

Двадцать первая международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

Развитие методов спутникового картографирования преобладающих древесных пород в лесах всей территории России по данным MODIS
















Жарко В.О., Барталев С.А., Богодухов М.А., Егоров В.А., Хвостиков С.А.

Институт космических исследований РАН

Москва, ИКИ РАН, 15 ноября 2023

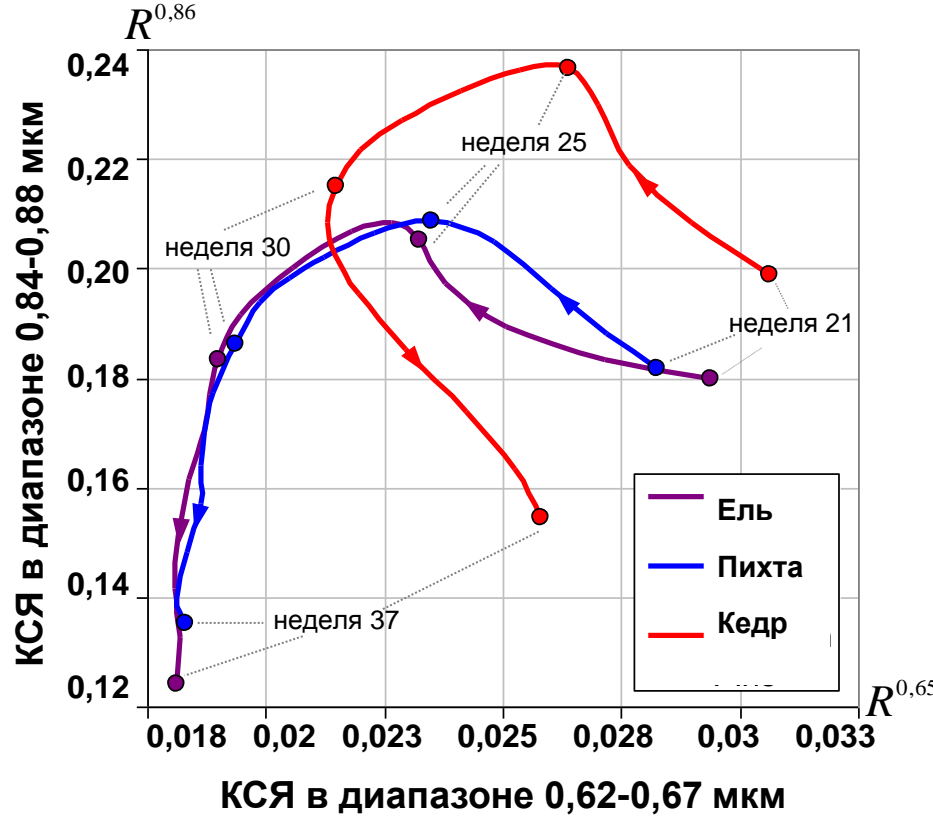
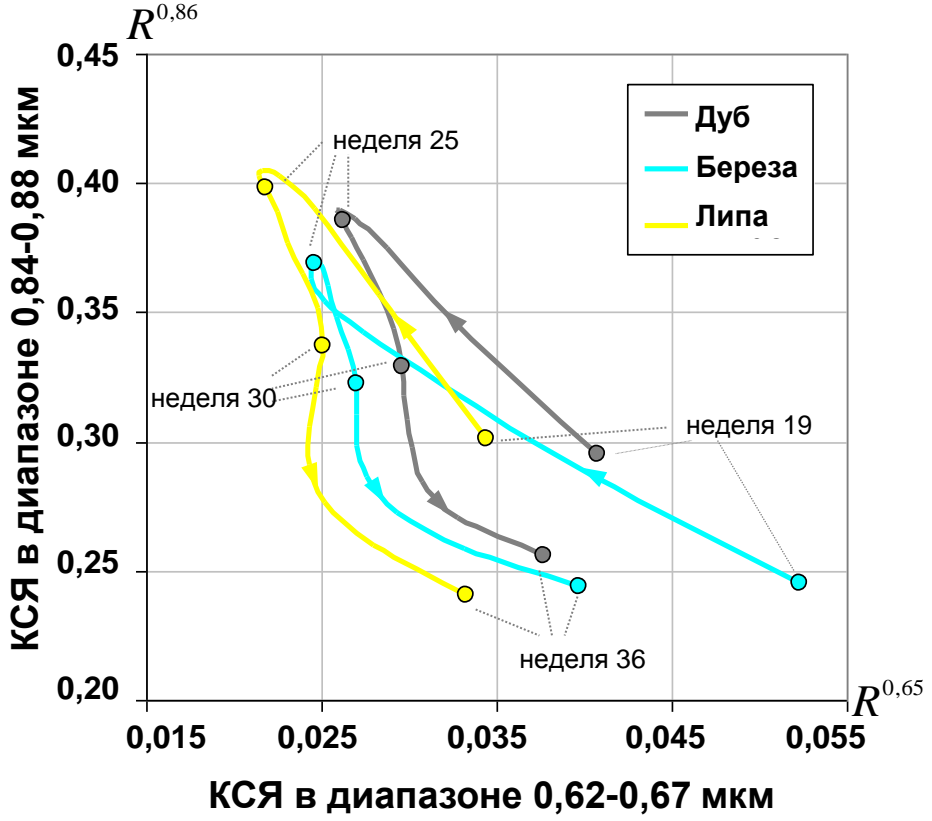
ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ ПОРОДЫ ЛЕСОВ



	Сосна		Дуб		Липа
	Ель		Бук		Клен
	Пихта		Береза каменная		Редкая лиственница
	Лиственница		Береза		Кедровый стланник
	Сибирский кедр		Осина		Лиственные кустарники

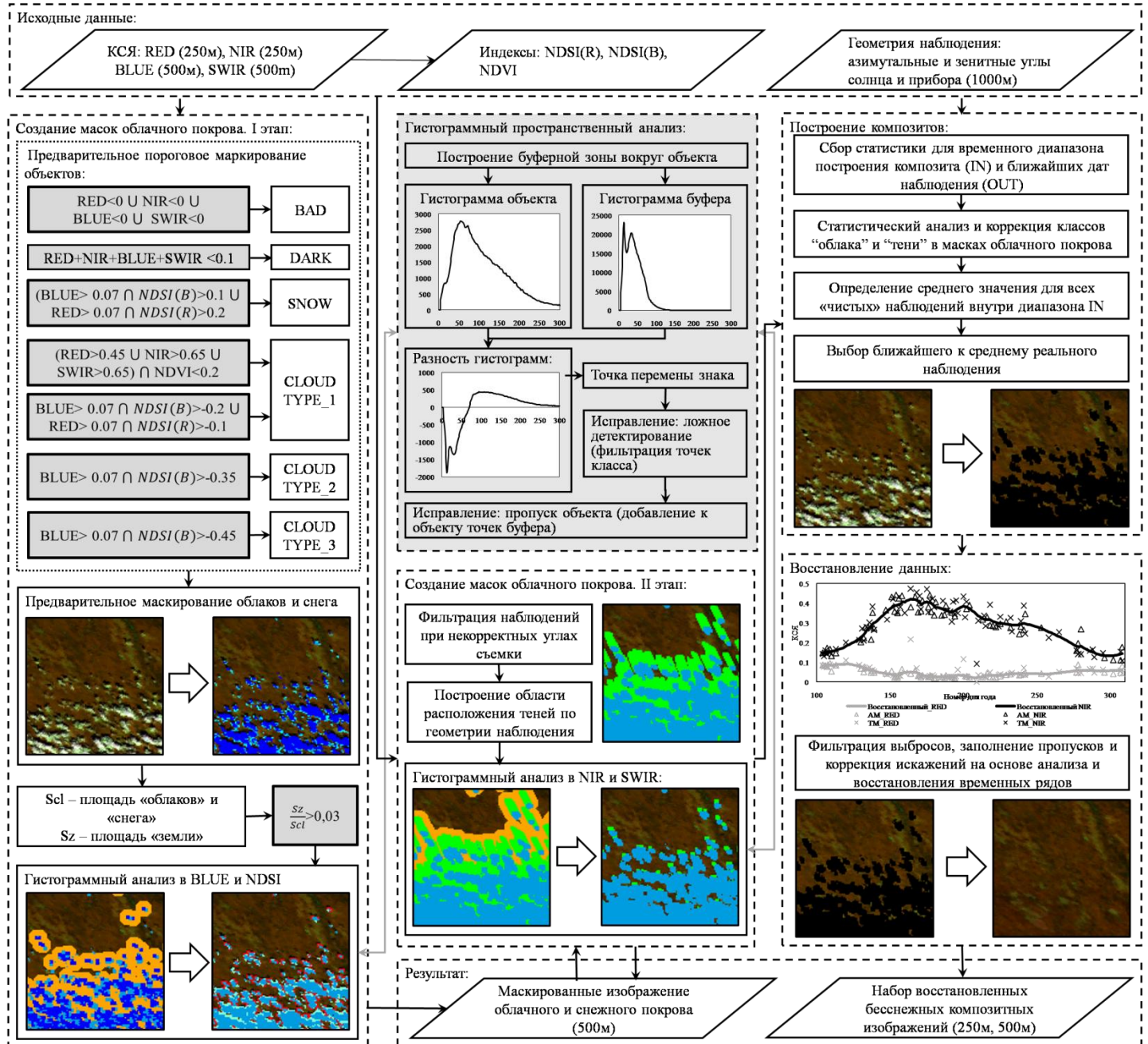
Коническая равноугольная проекция Альберса

Распознавание преобладающих древесных пород

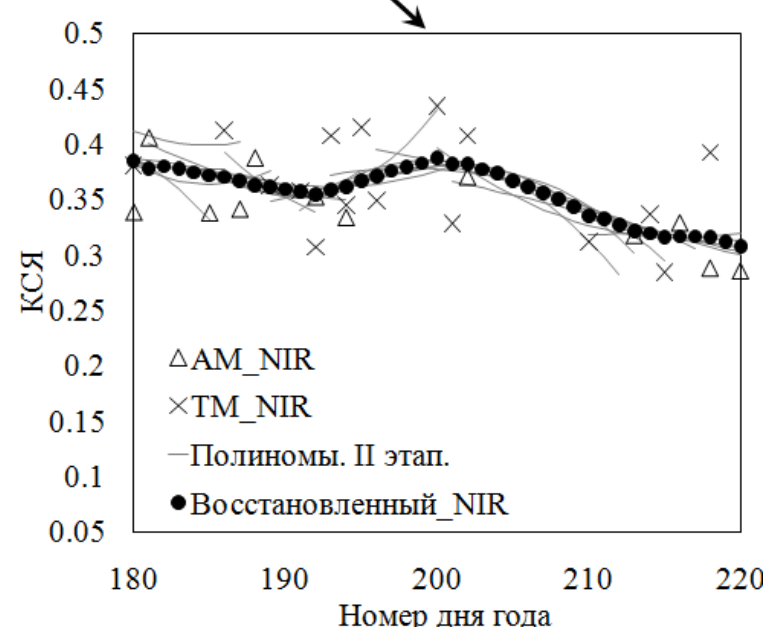
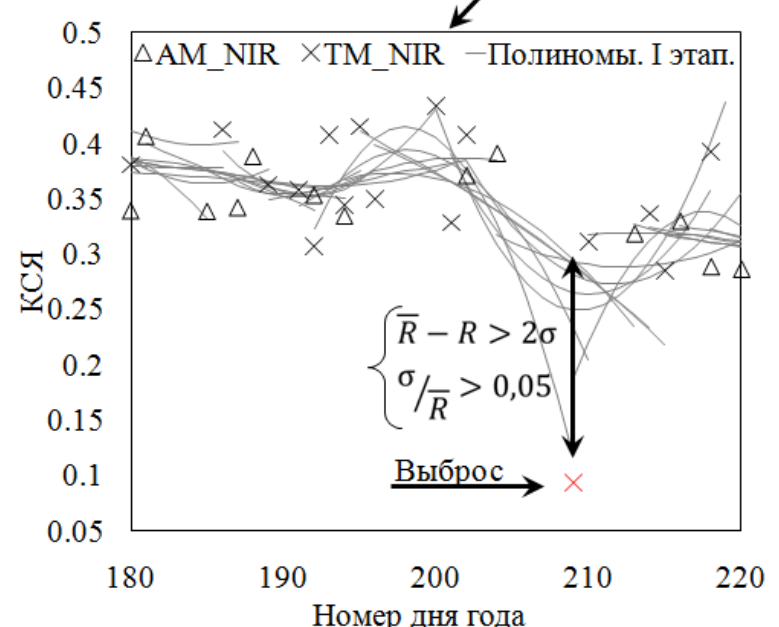
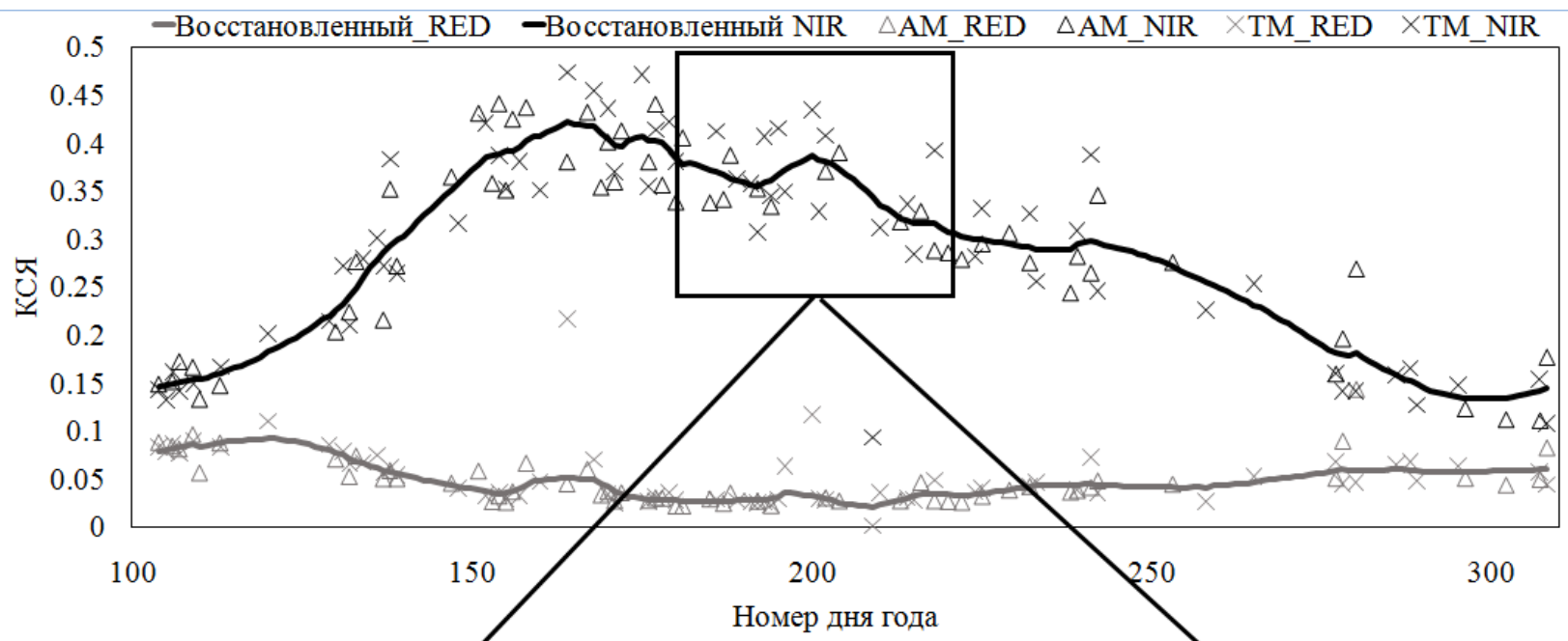


- Особенности фенологической динамики спектрально-отражательных характеристик лесов с преобладанием различных пород в информативных каналах по временным рядам спутниковых данных высокого временного разрешения;
- Ранее использовались 7-дневные композитные изображения красного и ближнего ИК каналов, сформированные по многолетним временным рядам данных MODIS, полученных в течение рассматриваемого года и 6 предыдущих лет.

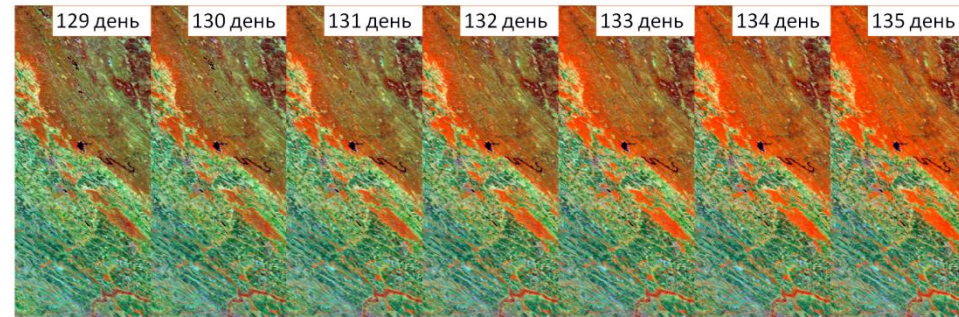
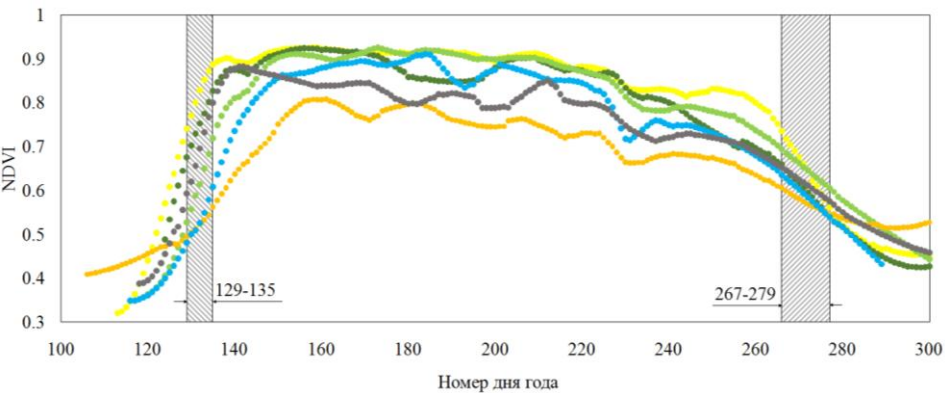
Развитие методов предварительной обработки (1)



Развитие методов предварительной обработки (2)



Развитие методов предварительной обработки (3)



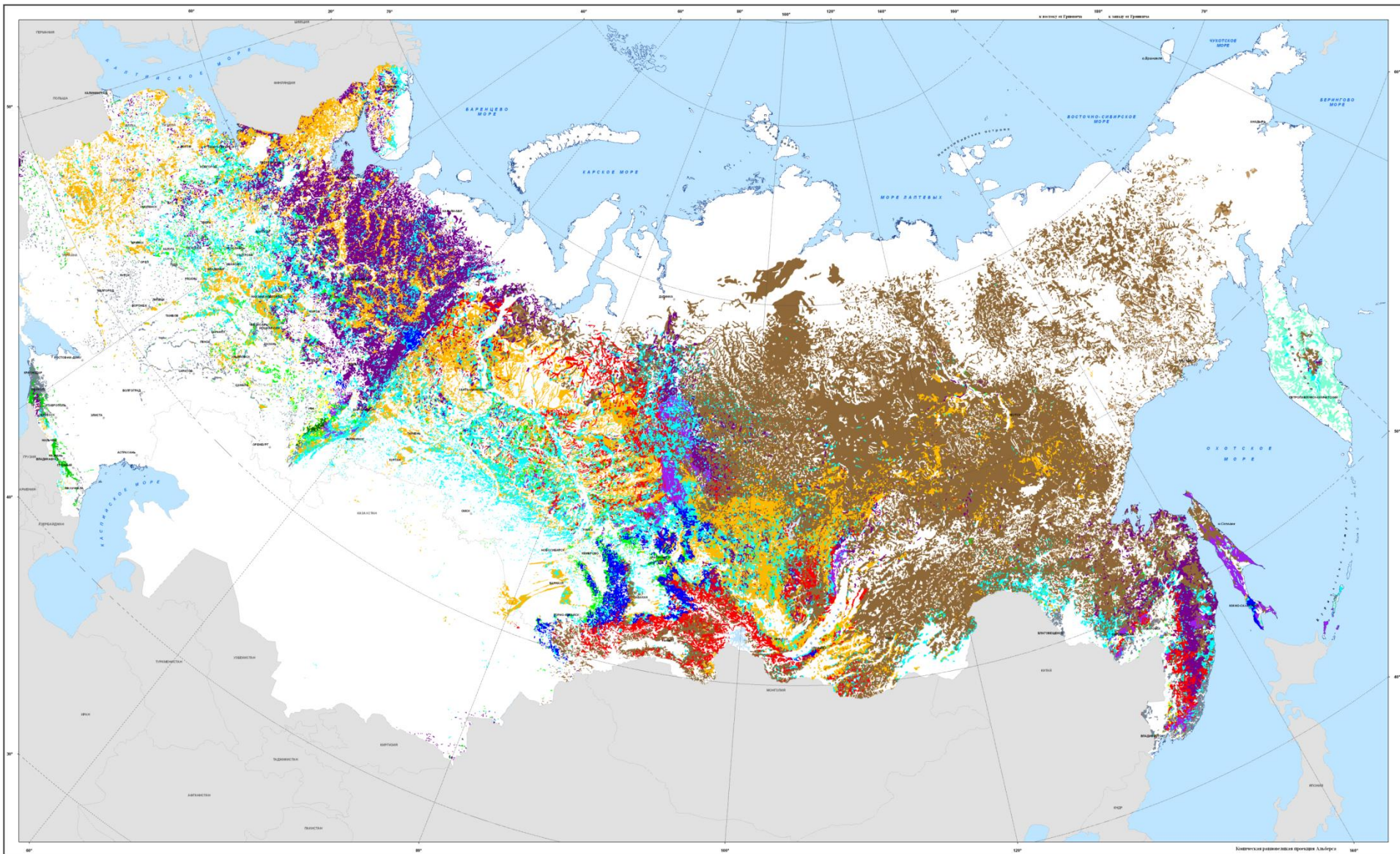
Миклашевич Т.С., Барталев С.А., Плотников Д.Е. Интерполяционный алгоритм восстановления длинных временных рядов данных спутниковых наблюдений растительного покрова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 143-154. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-143-154.

Миклашевич Т.С., Барталев С.А., Егоров В.А. Развитие предварительной обработки данных спутниковых наблюдений приборов VIIRS и MODIS для задачи мониторинга растительного покрова // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук. Москва, 2021. С. 366. DOI: 10.21046/19DZZconf-2021a.

Признаки распознавания преобладающих пород

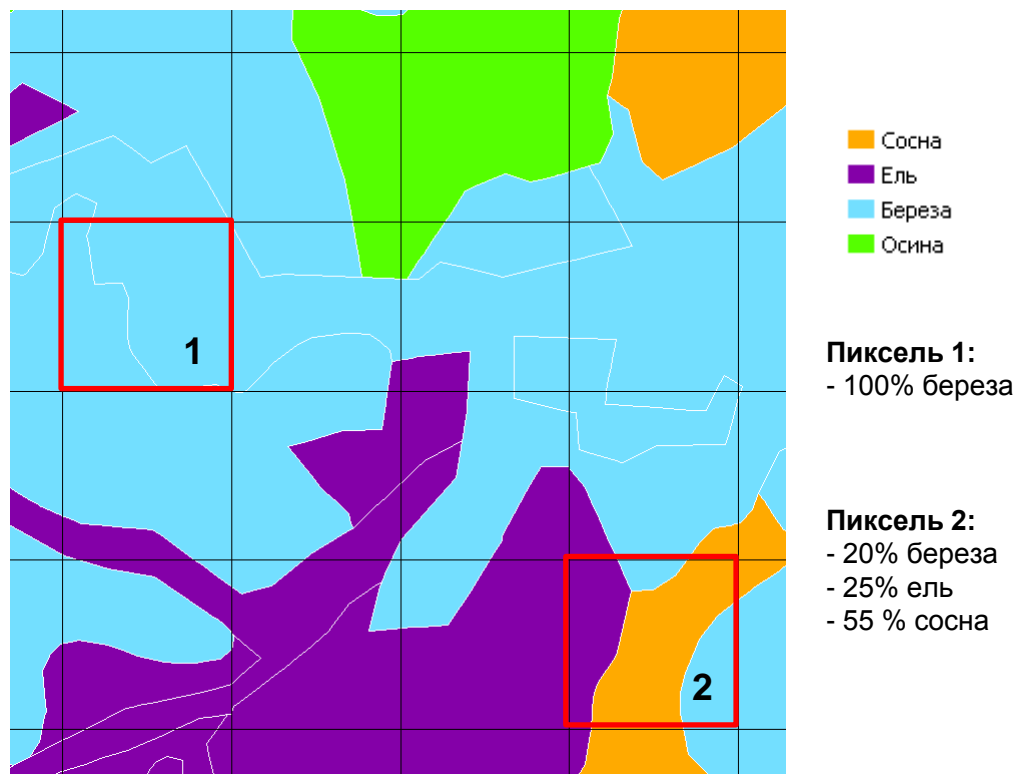
- Восстановленные временные ряды ежедневных безоблачных композитных изображений, полученные для всей территории России на основе совместной обработки данных Terra и Aqua MODIS только за рассматриваемый год;
- Данные за период с мая по октябрь с шагом 5 дней;
- Измерения отражательной способности в красном (0,65 мкм), ближнем ИК (0,86 мкм) и среднем ИК (2,13 мкм) диапазонах;
- Также используются зимние композитные изображения в условиях снежного покрова на земной поверхности в красном и ближнем ИК каналах;
- Пространственное разрешение данных 250 м (красный и ближний ИК каналы) и 500 м (средний ИК канал).

Опорные данные о преобладающих породах



Ранее использовались данные карты «Леса СССР» 1990 года масштаба 1:2,5 млн.

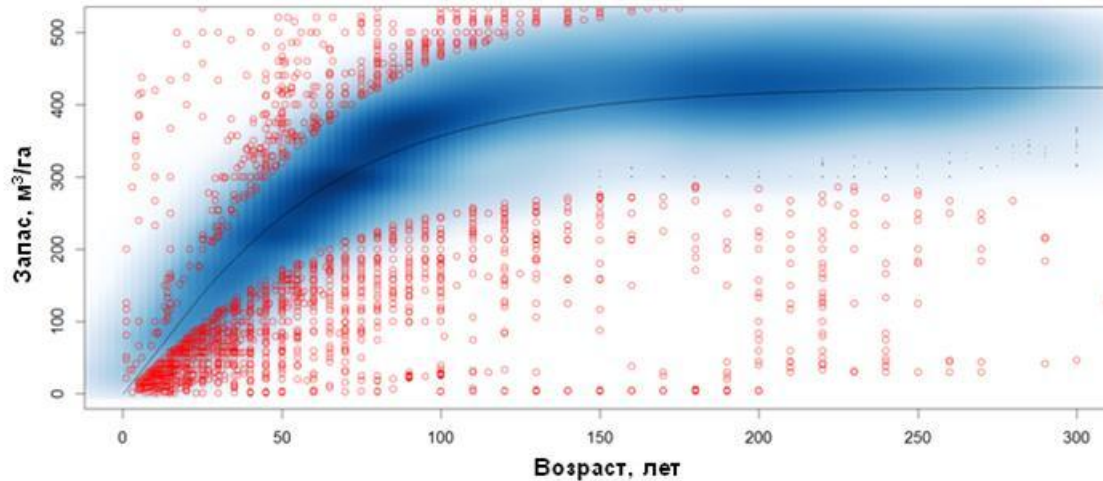
Опорные данные о преобладающих породах на уровне таксационных выделов



Пиксель MODIS включается в обучающую выборку, если выполняется хотя бы одно из условий:

- Более 90% площади пикселя занято выделами с преобладанием одной и той же древесной породы;
- Во всех пересекающих пиксель выделах одна и та же преобладающая порода.

Фильтрация опорных данных



Пример фильтрации опорных данных на уровне таксационных выделов для насаждений лиственницы 2 класса бонитета

- Фильтрация опорных данных на уровне таксационных выделов на основе построения моделей хода роста насаждений по запасу древесины;
- Фильтрация пикселей MODIS, соответствующих нелесным классам Карты растительности России (Барталев и др, 2016, Сайгин, Стыценко, 2022), или не согласующихся тематически с информацией о типе лесов по данным временного ряда указанных карт;
- Фильтрация пикселей MODIS, в пределах которых по данным Landsat разрешением 30 м в рамках проекта Global Forest Change (Hansen et al., 2013) зафиксированы участки нарушений лесного покрова за период 2000-2021 гг.

Барталев С.А. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.

Сайгин И.А., Стыценко Ф.В. Развитие метода картографирования растительного покрова // XIX Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования". ИКИ РАН. Москва. Электронный сборник. 13-15 апреля, 2022.

Hansen et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. V. 342(6160). P. 850–853. DOI: 10.1126/science.1244693.

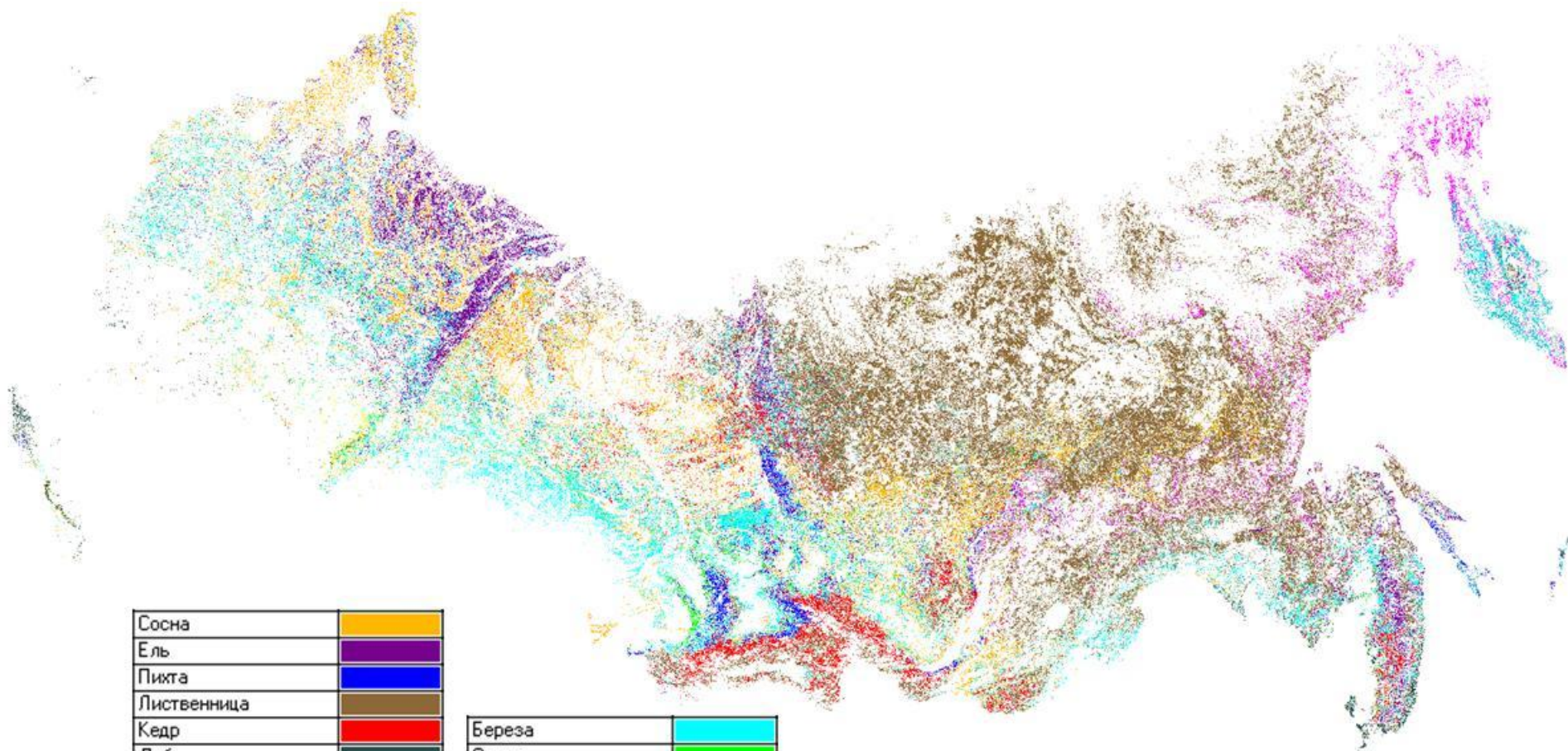
Распределение опорных данных

Преобладающая порода	Количество пикселей	Доля площади лесной растительности*
Сосна	8983050	6.21%
Ель	6577988	4.54%
Пихта	1351949	0.93%
Лиственница	30658592	21.18%
Кедр	4074570	2.82%
Дуб	628260	0.43%
Бук	84927	0.06%
Граб	13114	0.01%
Ясень	36338	0.03%
Клен	20817	0.01%
Вяз	13552	0.01%
Береза каменная	999543	0.69%
Береза	10095643	6.98%
Осина	1491371	1.03%
Ольха серая	142185	0.10%
Ольха черная	39593	0.03%
Липа	243080	0.17%
Тополь	28711	0.02%
Ива	22151	0.02%
Кедровый стланик	2719338	1.88%
Карликовая береза	1021386	0.71%
Ива кустарниковая	76342	0.05%
Ольха кустарниковая	321415	0.22%
Всего:	69643915	48.12%

*Согласно Карте растительности России (Барталев и др, 2016, Сайгин, Стыценко, 2022)

Барталев С.А. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
Сайгин И.А., Стыценко Ф.В. Развитие метода картографирования растительного покрова // XIX Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования". ИКИ РАН. Москва. Электронный сборник. 13-15 апреля, 2022.

Распределение опорных данных

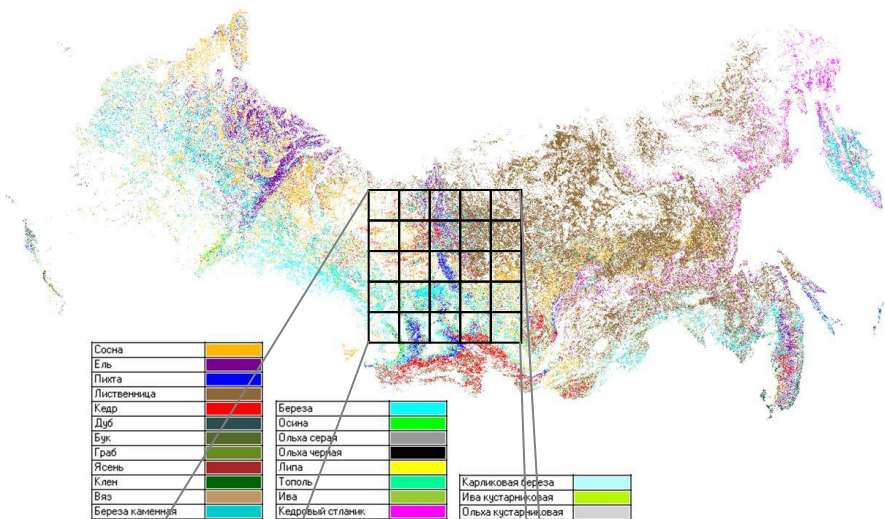


Сосна	
Ель	
Пихта	
Лиственница	
Кедр	
Дуб	
Бук	
Граб	
Ясень	
Клен	
Вяз	
Береза каменная	

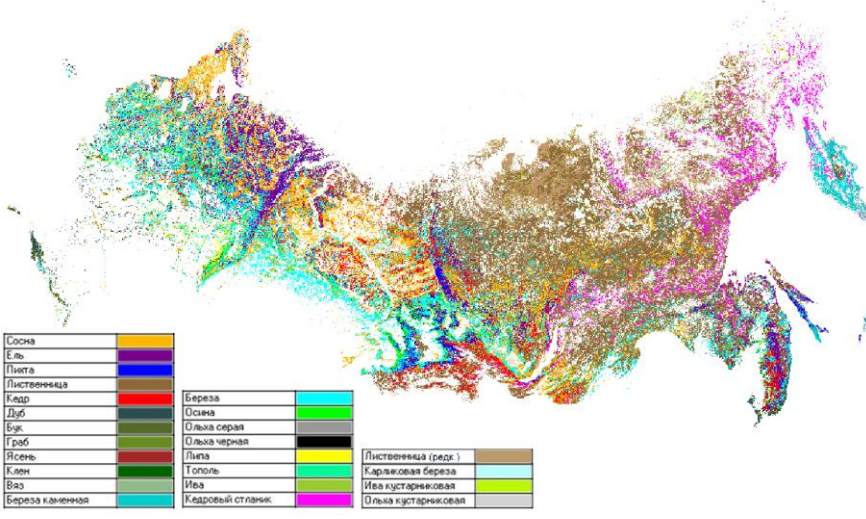
Береза	
Осина	
Ольха серая	
Ольха черная	
Липа	
Тополь	
Ива	
Кедровый стланик	

Карликовая береза	
Ива кустарниковая	
Ольха кустарниковая	

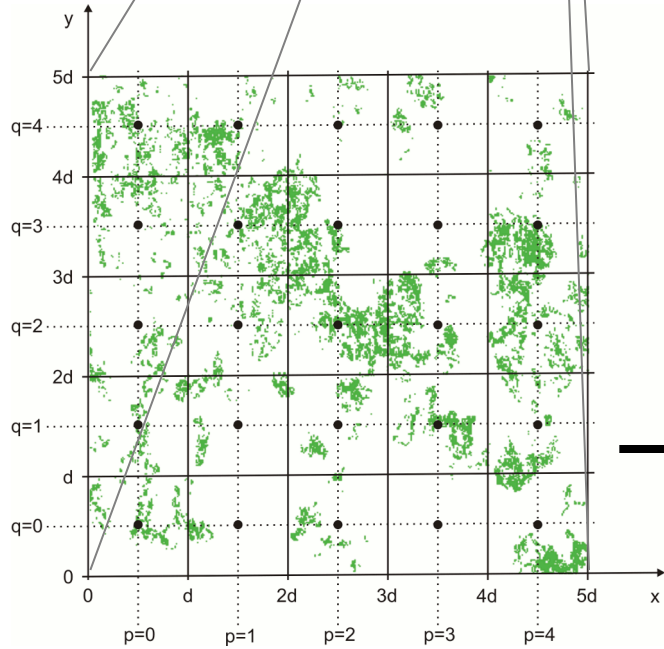
Локально-адаптивная классификация LAGMA



опорная выборка



результат классификации



$$p(P(x; y) | \omega_k) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}(B(x; y) - U_k(p; q))^T \Sigma_k(p; q)^{-1}(B(x; y) - U_k(p; q))\right)}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma_k(p; q)|^{1/2}}$$

$P(x; y)$ пиксель с координатами x, y

$\Sigma_k(p; q)$ ковариационная матрица

ω_k множество пикселей k -го класса

$U_k(p; q)$ вектор средних значений признаков

$G(p; q)$ узел регулярной сетки с координатами p, q

$B(x; y)$ вектор значений признаков пикселя

n число признаков

Локально-адаптивная классификация LAGMA

- Реализована возможность использования непараметрических методов классификации, в том числе метода случайных лесов (Random Forest, Breiman, 2001), который используется для картографирования преобладающих древесных пород;
- Реализована возможность использования пространственно-распределенной информации об априорных вероятностях присутствия лесов различных пород на рассматриваемой территории и подготовлены новые маски априорных вероятностей классов на основе Карты растительности России (Барталев и др, 2016, Сайгин, Стыценко, 2022), данных Государственного лесного реестра и материалов таксационных выделов;
- Технологические модификации и улучшение производительности.

Барталев С.А. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
Сайгин И.А., Стыценко Ф.В. Развитие метода картографирования растительного покрова // XIX Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования". ИКИ РАН. Москва. Электронный сборник. 13-15 апреля, 2022.

Bartalev S., Egorov V., Loupian E., Khvostikov S. A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data // Remote Sensing Letters. 2014. Vol. 5. Iss. 1. P. 55-64.

Breiman L. Random Forests // Machine Learning 45, 5–32 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ ПОРОДЫ ЛЕСОВ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- | | | |
|--|---|--|
|  Сосна |  Ясень |  Липа |
|  Ель |  Клен |  Тополь |
|  Пихта |  Вяз |  Ива |
|  Лиственница |  Береза каменная |  Кедровый стланник |
|  Сибирский кедр |  Береза |  Береза кустарниковая |
|  Дуб |  Осина |  Ива кустарниковая |
|  Бук |  Ольха серая |  Ольха кустарниковая |
|  Граб |  Ольха черная | |

Предварительные оценки точности на уровне пикселей MODIS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Precision	F1-score		
Сосна	1	597930	14174	3708	62360	16453	219	16	10	30	16	25	5	13181	1592	52	34	21	23	19	55	1670	12	37	1	84.0%	87.9%	
Ель	2	9900	523357	26295	26466	45444	102	7	0	56	2	34	284	9631	1219	88	36	212	19	16	129	785	6	35	2	81.3%	82.7%	
Пихта	3	1050	32004	175678	3271	43182	84	19	0	38	3	11	412	6785	3067	8	0	98	15	24	65	78	2	1	4	66.1%	69.5%	
Лиственница	4	13771	8620	1010	3320941	10449	339	0	0	12	0	13	372	12481	1009	41	3	28	69	26	2340	81417	643	197	252	96.1%	91.9%	
Кедр	5	10510	30242	27601	16371	494614	3620	0	6	1768	124	563	73	13197	954	35	0	2894	54	5	37	53	3	4	1	82.1%	79.8%	
Дуб	6	238	5	3	150	1063	162388	350	442	1130	442	525	114	11114	4708	370	267	3695	236	213	0	4	0	22	0	86.6%	86.2%	
Бук	7	3	0	3	0	0	293	10276	209	14	38	2	0	58	42	27	64	17	0	1	0	0	0	0	0	93.0%	92.0%	
Граб	8	3	2	0	0	5	497	334	711	47	4	3	0	35	28	52	14	13	4	4	0	0	0	0	0	40.5%	44.1%	
Ясень	9	62	93	18	7	2699	1781	5	3	6508	117	598	3	1245	575	58	35	841	38	106	0	0	0	7	0	44.0%	49.6%	
Клен	10	2	0	0	0	7	189	7	1	20	2612	60	0	232	117	8	11	2232	9	4	0	0	0	0	0	47.4%	52.6%	
Вяз	11	38	70	9	5	677	645	0	0	540	135	2171	8	608	154	23	15	187	75	76	0	1	0	10	0	39.9%	42.6%	
Береза кам.	12	3	753	209	858	192	552	0	0	7	71	17	108459	3544	94	500	0	32	46	96	403	171	1	0	135	93.4%	92.7%	
Береза	13	9982	8432	3177	70148	17198	10254	222	65	402	244	311	4085	994123	60068	2870	655	3522	370	502	116	2388	37	28	9	83.6%	83.4%	
Осина	14	1659	552	1306	4555	1603	4044	5	5	345	78	55	60	100460	158324	562	81	2402	18	93	4	124	2	4	0	57.3%	61.7%	
Ольха серая	15	133	82	2	89	2	284	8	5	12	12	32	1683	11526	1974	10669	324	254	11	105	46	23	5	0	83	39.0%	49.0%	
Ольха черная	16	75	42	0	14	2	157	28	8	7	25	9	0	3057	385	546	2476	64	10	51	7	2	0	0	0	35.5%	44.6%	
Липа	17	2	154	34	16	3115	3326	4	2	454	446	268	16	5795	2006	118	54	25246	28	11	0	1	0	1	0	61.4%	60.9%	
Тополь	18	39	88	23	661	34	113	1	1	13	3	27	44	1036	172	15	7	49	881	35	74	106	10	21	3	25.5%	32.3%	
Ива	19	404	237	75	1738	64	199	0	2	34	35	24	127	4466	436	58	68	19	70	1186	75	166	14	69	9	12.4%	19.5%	
Кедровый стланик	20	78	299	107	17007	278	6	0	0	4	0	4	0	744	61	1	18	0	0	5	8	73892	5488	393	39	239	74.9%	82.0%
Редк. Лиственница	21	2971	2463	200	225759	305	33	0	0	2	2	2	135	2350	148	4	1	2	9	6	2962	877234	1525	216	262	78.6%	83.4%	
Карл. Береза	22	62	112	5	12690	4	0	0	0	0	0	0	3	93	3	0	0	0	1	2	1008	9878	12292	301	180	33.6%	47.2%	
Куст. Ива	23	99	44	21	3986	17	12	0	0	5	1	2	1	193	10	1	1	1	10	18	98	4626	315	4585	82	32.5%	46.4%	
Куст. Ольха	24	5	8	1	3097	0	0	0	0	0	0	0	1288	18	0	18	0	0	2	319	3735	145	55	10238	54.1%	67.3%		
Recall		92.1%	84.2%	73.4%	88.1%	77.6%	85.9%	91.1%	48.4%	56.9%	59.2%	45.7%	92.0%	83.2%	66.8%	66.1%	59.7%	60.4%	44.0%	45.5%	90.5%	88.8%	79.8%	81.4%	89.0%		85.5%	

Классы с F1-Score < 50% занимают < 5% общей площади;

Классы с F1-Score < 70% занимают ~ 10% общей площади.

Предварительные оценки точности на уровне пробных площадей

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Precision	F1-score	
Сосна	1	2671	146	3	43	35	3	0	0	0	0	0	283	38	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82.7%	83.4%
Ель	2	121	575	11	18	9	2	0	0	0	0	3	149	36	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	61.8%	59.6%
Пихта	3	2	11	91	4	3	0	1	0	0	0	2	28	18	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	55.8%	52.0%
Лиственница	4	63	31	4	1186	20	0	0	0	0	0	11	160	13	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	79.4%	83.5%
Кедр	5	29	10	7	19	122	0	0	2	0	0	0	27	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54.7%	57.3%
Дуб	6	10	0	0	1	0	501	7	67	25	10	4	0	31	23	0	2	16	3	1	0	0	0	0	0	71.5%	80.6%
Бук	7	0	1	10	0	0	10	106	26	4	2	0	0	0	2	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	62.7%	74.4%
Граб	8	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72.7%	14.3%
Ясень	9	0	0	0	0	1	3	0	0	7	1	2	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	38.9%	24.1%
Клен	10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5%	7.7%
Вяз	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	50.0%	11.1%
Береза кам.	12	0	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	183	2	0	2	0	0	0	7	1	0	0	0	8	86.7%	87.6%
Береза	13	259	200	30	61	10	12	0	0	0	1	3	4	1996	407	27	28	31	1	19	0	0	0	2	0	64.6%	67.4%
Осина	14	14	17	26	3	2	3	0	0	0	3	0	137	328	2	0	13	0	5	0	0	0	0	0	0	59.3%	45.7%
Ольха серая	15	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	8	15	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	39.5%	31.3%
Ольха черная	16	2	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0	3	2	6	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63.3%	50.0%
Липа	17	3	3	1	0	0	2	0	0	1	3	2	0	12	3	1	0	96	0	0	0	0	0	0	0	75.6%	65.1%
Тополь	18	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	33.3%	18.2%
Ива	19	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%	-
Кедровый стланик	20	1	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	18.2%	22.2%
Редк. Лиственница	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Карл. Береза	22	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%	-
Куст. Ива	23	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.0%	-
Куст. Ольха	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Recall		84.1%	57.6%	48.7%	88.0%	60.1%	92.4%	91.4%	7.9%	17.5%	5.6%	6.3%	88.4%	70.4%	37.1%	25.9%	41.3%	57.1%	12.5%	0.0%	28.6%	-	-	0.0%	0.0%		71.8%

Пробные площади с коэффициентом преобладающей породы > 5;

Пиксели карты, окруженные пикселями своего класса.

Спасибо за внимание!

Работа выполнена 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. № 123030300031-6). Обработка данных ДЗЗ проводилась с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг», включая УНУ "Вега - Science" (Лупян и др., 2019), развиваемого и поддерживаемого в рамках темы «Мониторинг» (№ 122042500031-8).

Лупян и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С.151-170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.