



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ДОКЛАД

О КАДАСТРЕ

**антропогенных выбросов парниковых газов
из источников и их абсорбции поглотителями
за 1990 – 2024 гг.**

Часть 2

Литература и источники данных. Приложения

Москва 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Приложение I – Ключевые категории	3
Приложение II – Оценка неопределенности	9
Приложение III – Описание базового подхода (ОТО 1.A)	25
Приложение IV – План оценки и контроля качества	29
Приложение V – Дополнительная информация	30
V.1 – Национальные коэффициенты выбросов парниковых газов для категорий 1.B.1.a и 1.B.1.b	30
V.2 – Национальные коэффициенты выбросов парниковых газов для категорий 1.B.2.a, 1.B.2.b, 1.B.2.c	33
V.3 – Оценка фугитивных выбросов парниковых газов от газораспределения с использованием альтернативных данных	38
V.4 – Данные по сельскому хозяйству	42
V.5 – Методика оценки запасов и баланса углерода в лесах Российской Федерации на основе комплексной обработки данных дистанционного зондирования и выборочных наземных измерений (версия 1.00)	67
V.6 – Потери углерода при обезлесении по субъектам Российской Федерации в последнем отчетном году кадастра	161
V.7 – Справка об обводненных торфяниках и торфяных пожарах на нарушенных торфяниках Российской Федерации	164
V.8 – Общие изменения запасов углерода пахотных земель, переведённых в луговые угодья, за 50 лет переходного периода по субъектам Российской Федерации	171
Приложение VI – Сокращения, условные обозначения и единицы измерения	173
VI.1 – Сокращения и условные обозначения	173
VI.2 – Формулы и обозначения химических соединений и наименования промышленной продукции	178
VI.3 – Внесистемные единицы измерения	179
VI.4 – Дольные и кратные единицы измерения	180
Приложение VII – Общие таблицы отчетности	181
Литература и источники данных	182

ПРИЛОЖЕНИЕ I – Ключевые категории

Таблица I.1

Ключевые категории по вкладу в совокупный выброс парниковых газов в последнем отчетном году

Код категории	Наименование категории	Парнико- вый газ	Величина выброса в последнем отчет- ном году, тыс.т. СО ₂ -эquiv.	Абсолютное значе- ние величины вы- броса в последнем отчетном году, тыс.т. СО ₂ -эquiv.	Вклад категории в совокупный вы- брос	Вклад категории в совокупный вы- брос нарастающим итогом
1	2	3	4	5	6	7
4.А.1 Лесные земли, остающи- еся лесными землями	Биомасса	СО ₂	-935507,6	935507,6	0,261	0,261
1.А.1 Энергетическая промыш- ленность	Газообразные топлива	СО ₂	542404,2	542404,2	0,151	0,412
1.А.3 Транспорт	Жидкие топлива	СО ₂	250162,7	250162,7	0,070	0,481
1.А.1 Энергетическая промыш- ленность	Твердые топлива	СО ₂	238174,0	238174,0	0,066	0,548
1.А.4 Другие сектора	Газообразные топлива	СО ₂	136890,5	136890,5	0,038	0,586
4.А.1 Лесные земли, остающи- еся лесными землями	Мертвая древесина	СО ₂	-100534,2	100534,2	0,028	0,614
2.С.1 Производство чугуна, же- леза прямого восстановления и стали		СО ₂	94201,0	94201,0	0,026	0,640
4.А.1 Лесные земли, остающи- еся лесными землями	Минеральные почвы	СО ₂	-92555,9	92555,9	0,026	0,666
1.В.2.С Газоотведение и сжига- ние	Сжигание попутного нефтя- ного газа	СО ₂	65577,6	65577,6	0,018	0,684
5.А.1 Управляемое захоронение отходов на свалках и полигонах		СН ₄	61307,3	61307,3	0,017	0,701
1.А.2 Промышленное производ- ство и строительство	Газообразные топлива	СО ₂	60606,0	60606,0	0,017	0,718

1	2	3	4	5	6	7
4.А.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями	Мгновенная эмиссия CO ₂ от пожаров	CO ₂	58127,9	58127,9	0,016	0,734
4.С.2.2 Пахотные земли, переведенные в пастбищные угодья	Минеральные почвы	CO ₂	-52554,5	52554,5	0,015	0,749
1.А.1 Энергетическая промышленность	Жидкие топлива	CO ₂	51218,7	51218,7	0,014	0,763
1.А.4 Другие сектора	Жидкие топлива	CO ₂	43801,9	43801,9	0,012	0,778
1.А.2 Промышленное производство и строительство	Жидкие топлива	CO ₂	42604,0	42604,0	0,012	0,790
3.А Внутренняя ферментация		CH ₄	42475,9	42475,9	0,012	0,802
4.В.1 Возделываемые земли	Биомасса	CO ₂	41301,9	41301,9	0,012	0,813
3.Д.а Прямые выбросы N ₂ O от почв		N ₂ O	35542,2	35542,2	0,010	0,823
1.А.3 Транспорт	Газообразные топлива	CO ₂	35089,1	35089,1	0,010	0,833
1.А.1 Энергетическая промышленность	Другие топлива	CO ₂	28372,0	28372,0	0,008	0,840
2.В.1 Производство аммиака		CO ₂	27643,2	27643,2	0,008	0,848
1.В.2.В Природный газ	Транспорт	CH ₄	27640,9	27640,9	0,008	0,856
2.А.1 Производство цемента		CO ₂	26467,8	26467,8	0,007	0,863
2.Ф.1 Использование заменителей ОРВ в системах кондиционирования воздуха и охлаждения		HFCs	25064,2	25064,2	0,007	0,870
1.А.5 Другие сектора и виды сжигания топлива, не учтенные ранее	Жидкие топлива	CO ₂	23751,5	23751,5	0,007	0,876
1.В.1.А.1 Добыча угля подземным способом	Извлечение	CH ₄	19204,3	19204,3	0,005	0,881
1.А.2 Промышленное производство и строительство	Твердые топлива	CO ₂	18500,9	18500,9	0,005	0,887
4.А.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями	Подстилка	CO ₂	-17678,9	17678,9	0,005	0,891
1.В.1.А.2 Добыча угля открытым способом	Извлечение	CH ₄	16267,6	16267,6	0,005	0,896
1.А.2 Промышленное производство и строительство	Другие топлива	CO ₂	15602,0	15602,0	0,004	0,900
4.В.1 Возделываемые земли	Органогенные почвы, CO ₂	CO ₂	13679,0	13679,0	0,004	0,904
1.В.2.В Природный газ	Распределение	CH ₄	13191,4	13191,4	0,004	0,907

Продолжение таблицы 1.1.

1	2	3	4	5	6	7
4.А.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями	Мгновенная эмиссия CH ₄ от пожаров	CH ₄	12655,3	12655,3	0,004	0,911
1.А.5 Другие сектора и виды сжигания топлива, не учтенные ранее	Твердые топлива	CO ₂	11518,6	11518,6	0,003	0,914
1.А.5 Другие сектора и виды сжигания топлива, не учтенные ранее	Газообразные топлива	CO ₂	11438,1	11438,1	0,003	0,917
5.Д.2 Очистка промышленных сточных вод		CH ₄	11198,8	11198,8	0,003	0,920
4.С.2.2 Пахотные земли, переведенные в пастбищные угодья	Биомасса	CO ₂	-10993,4	10993,4	0,003	0,923
1.В.2.С Газоотведение и сжигание	Сжигание попутного нефтяного газа	CH ₄	10311,8	10311,8	0,003	0,926
4.С.1 Постоянные пастбищные угодья	Органогенные почвы, CO ₂	CO ₂	9951,1	9951,1	0,003	0,929
4.А.2 Земли, переведенные в лесные земли	Биомасса	CO ₂	-9326,4	9326,4	0,003	0,931
4.С.2.2 Пахотные земли, переведенные в пастбищные угодья	Мертвое орган. в-во	CO ₂	-9186,6	9186,6	0,003	0,934
2.А.2 Производство извести		CO ₂	9033,1	9033,1	0,003	0,936
3.Д.Косвенный выброс N ₂ O		N ₂ O	8444,7	8444,7	0,002	0,939
2.В.10 Прочие - производство водорода		CO ₂	8080,906625	8080,906625	0,002218345	0,941
2.В.9а Попутные выбросы при производстве фторсодержащих соединений		HFCs	7033,839848	7033,839848	0,001930908	0,943
5.Д.1 Очистка коммунально-бытовых сточных вод		CH ₄	6804,44023	6804,44023	0,001867934	0,945
4.А.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями	Мгновенная эмиссия N ₂ O от пожаров	N ₂ O	6613,298469	6613,298469	0,001815462	0,947
3.В.а Системы сбора, хранения и утилизации навоза и помета (выбросы CH ₄)		CH ₄	6587,596733	6587,596733	0,001808407	0,948
2.С.3 Производство алюминия		CO ₂	6440,162016	6440,162016	0,001767933	0,950

Таблица 1.2

Ключевые категории по вкладу в тенденцию совокупного выброса парниковых газов между базовым годом и последним отчетным годом кадастра

Код категории	Наименование категории	Газ	Величина выброса в базовом году, тыс.т. CO ₂ -экв.	Величина выброса в последнем отчетном году, тыс.т. CO ₂ -экв.	Величина тенденции выброса	Вклад категории в тенденцию выброса, %	Вклад категории в тенденцию выброса нарастающим итогом, %
1	2	3	4	5	6	7	8
4.А.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями	Биомасса	CO ₂	-704511,4	-935507,6	0,268174	0,268	0,268
1.А.1 Энергетическая промышленность	Газообразные топлива	CO ₂	510577,3	542404,2	0,136325	0,136	0,404
1.А.3 Транспорт	Жидкие топлива	CO ₂	208127,9	250162,7	0,068008	0,068	0,472
1.А.4 Другие сектора	Газообразные топлива	CO ₂	55608,8	136890,5	0,048152	0,048	0,520
4.А.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями	Минеральные почвы	CO ₂	4230,5	-92555,9	0,040407	0,040	0,561
1.А.5 Другие сектора и виды сжигания топлива, не учтенные ранее	Жидкие топлива	CO ₂	268650,2	23751,5	0,040252	0,040	0,601
4.А.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями	Мертвая древесина	CO ₂	-74203,3	-100534,2	0,029102	0,029	0,630
1.А.1 Энергетическая промышленность	Твердые топлива	CO ₂	409675,1	238174,0	0,025053	0,025	0,655
1.В.2.С Газоотведение и сжигание	Сжигание попутного нефтяного газа	CO ₂	27324,0	65577,6	0,022939	0,023	0,678
4.С.2.2 Пахотные земли, переведенные в пастбищные угодья	Минеральные почвы	CO ₂	-428,1	-52554,5	0,022412	0,022	0,700
1.А.1 Энергетическая промышленность	Жидкие топлива	CO ₂	235242,8	51218,7	0,022226	0,022	0,723

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
4.А.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями	Мгновенная эмиссия CO ₂ от пожаров	CO ₂	22144,5	58127,9	0,020722	0,021	0,743
5.А.1 Управляемое захоронение отходов на свалках и полигонах		CH ₄	30658,4	61307,3	0,020485	0,020	0,764
1.А.4 Другие сектора	Твердые топлива	CO ₂	122313,7	6031,8	0,020373	0,020	0,784
4.В.1 Возделываемые земли	Биомасса	CO ₂	-4870,2	41301,9	0,018591	0,019	0,803
2.С.1 Производство чугуна, железа прямого восстановления и стали		CO ₂	126097,3	94201,0	0,016653	0,017	0,819
1.А.2 Промышленное производство и строительство	Газообразные топлива	CO ₂	74578,3	60606,0	0,011943	0,012	0,831
2.Ф.1 Использование заменителей ОРВ в системах кондиционирования воздуха и охлаждения		HFCs	0,0	25064,2	0,010727	0,011	0,842
1.А.1 Энергетическая промышленность	Другие топлива	CO ₂	8143,1	28372,0	0,010615	0,011	0,853
1.В.2.В Природный газ	Транспорт	CH ₄	114093,0	27640,9	0,009582	0,010	0,862
4.А.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями	Подстилка	CO ₂	-2494,0	-17678,9	0,007098	0,007	0,869
2.В.1 Производство аммиака		CO ₂	28112,2	27643,2	0,006555	0,007	0,876
1.А.3 Транспорт	Газообразные топлива	CO ₂	107739,1	35089,1	0,005201	0,005	0,881
1.А.2 Промышленное производство и строительство	Жидкие топлива	CO ₂	69657,7	42604,0	0,005162	0,005	0,886
1.А.2 Промышленное производство и строительство	Другие топлива	CO ₂	9178,3	15602,0	0,004955	0,005	0,891
2.А.1 Производство цемента		CO ₂	34609,3	26467,8	0,004833	0,005	0,896
1.В.1.А.1 Добыча угля подземным способом	Извлечение	CH ₄	65417,9	19204,3	0,004058	0,004	0,900
3.Д.а Прямые выбросы N ₂ O от почв		N ₂ O	59862,8	35542,2	0,003977	0,004	0,904
4.А.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями	Мгновенная эмиссия CH ₄ от пожаров	CH ₄	7855,7	12655,3	0,003942	0,004	0,908

1	2	3	4	5	6	7	8
1.А.4 Другие сектора	Жидкие топлива	CO ₂	79221,9	43801,9	0,003879	0,004	0,912
1.А.5 Другие сектора и виды сжигания топлива, не учтенные ранее	Газообразные топлива	CO ₂	5585,0	11438,1	0,003847	0,004	0,916
3.А Внутренняя ферментация		CH ₄	117323,9	42475,9	0,003839	0,004	0,919
4.С.2.2 Пахотные земли, переведенные в пастбищные угодья	Мертвое орган. в-во	CO ₂	-1267,2	-9186,6	0,003694	0,004	0,923
1.В.2.С Газоотведение и сжигание	Сжигание попутного нефтяного газа	CH ₄	4296,6	10311,8	0,003607	0,004	0,927
2.В.10 Прочие - производство водорода		CO ₂	507,6	8080,9	0,003363	0,003	0,930
5.Д.2 Очистка промышленных сточных вод		CH ₄	8608,4	11198,8	0,003177	0,003	0,933
1.В.1.А.2 Добыча угля открытым способом	Извлечение	CH ₄	21760,3	16267,6	0,002879	0,003	0,936
1.В.2.В Природный газ	Распределение	CH ₄	15676,1	13191,4	0,002704	0,003	0,939
2.В.9а Попутные выбросы при производстве фторсодержащих соединений		HFCs	30109,5	7033,8	0,002640	0,003	0,941
1.А.2 Промышленное производство и строительство	Твердые топлива	CO ₂	55471,3	18500,9	0,002492	0,002	0,944
1.А.5 Другие сектора и виды сжигания топлива, не учтенные ранее	Твердые топлива	CO ₂	38891,8	11518,6	0,002369	0,002	0,946
4.С.2.2 Пахотные земли, переведенные в пастбищные угодья	Биомасса	CO ₂	-12672,4	-10993,4	0,002327	0,002	0,949
4.Д.1 Постоянные водно-болотные угодья	4(IV) Торфяные пожары	CO ₂	12346,7	478,6	0,002112	0,002	0,951

ПРИЛОЖЕНИЕ II – Оценка неопределенности

В настоящем кадастре выполнены оценки неопределенностей для всех секторов, парниковых газов и категорий источников и поглотителей. Оценки выполнены с использованием методических подходов Руководящих принципов национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК (МГЭИК, 2006). Оценка неопределенности для секторов «Энергетика», «Промышленные процессы и использование продукции» и «Отходы» выполнена в соответствии с подходом 1, в секторах «Сельское хозяйство» и «Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ) – в соответствии с подходом 2. Расчеты величин неопределенностей выполнены для доверительного интервала 95%. Оценка и обсуждение неопределенностей применительно к отдельным секторам и категориям приведены в соответствующих разделах доклада о кадастре.

Оценка объединенной неопределенности национального кадастра парниковых газов с учетом сектора ЗИЗЛХ представлена в таблице II.1, соответствующей таблице 3.2 тома 1 Руководящих принципов МГЭИК (МГЭИК, 2006).

Таблица II.1

Количественная оценка неопределенности национального кадастра парниковых газов с учетом вклада сектора ЗИЗЛХ

Категория МГЭИК	Газ	Выбросы или абсорбция в базовом году	Выбросы или абсорбция в отчетном году	Неопределенность данных о производственной деятельности	Неопределенность коэффициентов выбросов или параметров оценки	Объединенная неопределенность	Вклад в изменчивость по категориям в базовом году	Вклад в изменчивость по категориям в отчетном году	Чувствительность типа А	Чувствительность типа В	Неопределенность тенденции национальных выбросов или абсорбции, вводимая неопределенностью коэффициентов выбросов или параметров оценки	Неопределенность тенденции национальных выбросов или абсорбции, вводимая неопределенностью данных о деятельности	Неопределенность, вводимая в тенденцию суммарных национальных выбросов
		тыс. т CO ₂ -экв	тыс. т CO ₂ -экв	%	%	%			%	%	%	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 Энергетика													
1.А Сжигание топлива													
1.А.1 Энергетическая промышленность													
Жидкие топлива	CO ₂	51218,7	51218,7	5	6,12	8	0,5713	0,1409	0,0222	0,0219	0,1736	0,1550	0,0542
	CH ₄	57,1	57,1	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0017	0,0002	0,0000
	N ₂ O	107,7	107,7	5	50	50	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0033	0,0003	0,0000
Твердые топлива	CO ₂	238174,0	238174,0	5	5	7	1,4833	2,6075	0,0250	0,1019	0,6951	0,7208	1,0027
	CH ₄	70,6	70,6	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0021	0,0002	0,0000
	N ₂ O	962,2	962,2	5	50	50	0,0013	0,0022	0,0001	0,0004	0,0291	0,0029	0,0009
Газообразные топлива	CO ₂	542404,2	542404,2	5	7	9	3,5336	20,7411	0,1360	0,2321	2,2981	1,6415	7,9758
	CH ₄	279,2	279,2	5	50	50	0,0000	0,0002	0,0001	0,0001	0,0084	0,0008	0,0001
	N ₂ O	268,8	268,8	5	50	50	0,0000	0,0002	0,0001	0,0001	0,0081	0,0008	0,0001

Продолжение таблицы II.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Биомасса	CH ₄	156,0	16,7	20	50	54	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005	0,0002	0,0000
	N ₂ O	196,8	21,1	20	50	54	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0006	0,0003	0,0000
Торф	CO ₂	4610,2	232,6	5	7	9	0,0003	0,0000	0,0008	0,0001	0,0010	0,0007	0,0000
	CH ₄	1,2	0,1	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	N ₂ O	17,3	0,9	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Другие топлива	CO ₂	8143,1	28372,0	5	7	9	0,0009	0,0567	0,0106	0,0121	0,1202	0,0859	0,0218
	CH ₄	47,8	166,7	5	50	50	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0050	0,0005	0,0000
	N ₂ O	60,4	210,3	5	50	50	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0064	0,0006	0,0000
1.А.2 Промышленное производство и строительство													
Жидкие топлива	CO ₂	70071,1	42604,0	5	1,25	5	0,0231	0,0450	0,0052	0,0182	0,0263	0,1289	0,0173
	CH ₄	73,9	47,8	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0001	0,0000
	N ₂ O	137,5	90,3	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0027	0,0003	0,0000
Твердые топлива	CO ₂	54586,6	18500,9	5	7	9	0,0417	0,0241	0,0025	0,0079	0,0784	0,0560	0,0093
	CH ₄	137,9	46,5	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0001	0,0000
	N ₂ O	187,9	61,5	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0019	0,0002	0,0000
Газообразные топлива	CO ₂	76974,4	60606,0	5	7	9	0,0754	0,2590	0,0119	0,0259	0,2568	0,1834	0,0996
	CH ₄	39,6	31,2	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0001	0,0000
	N ₂ O	37,5	29,5	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0001	0,0000
Биомасса	CH ₄	22,6	3,0	20	50	54	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
	N ₂ O	28,5	3,8	20	50	54	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
Торф	CO ₂	6,2	26,2	5	7	9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000
	CH ₄	0,0	0,0	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	N ₂ O	0,0	0,1	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Другие топлива	CO ₂	9178,3	15602,0	5	7	9	0,0011	0,0172	0,0050	0,0067	0,0661	0,0472	0,0066
	CH ₄	53,9	91,6	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0028	0,0003	0,0000
	N ₂ O	68,0	115,7	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0035	0,0003	0,0000
1.А.3 Транспорт													
Жидкие топлива	CO ₂	208127,9	250162,7	10	0,21	10	0,7938	5,9647	0,0679	0,1071	0,0316	1,5142	2,2937
	CH ₄	1109,2	656,1	10	30	32	0,0002	0,0004	0,0001	0,0003	0,0119	0,0040	0,0002
	N ₂ O	3129,1	2496,4	10	30	32	0,0018	0,0059	0,0005	0,0011	0,0453	0,0151	0,0023
Газообразные топлива	CO ₂	107739,1	35089,1	10	5	11	0,2658	0,1466	0,0052	0,0150	0,1062	0,2124	0,0564
	CH ₄	67,6	200,1	10	30	32	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0036	0,0012	0,0000
	N ₂ O	54,2	188,1	10	30	32	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0034	0,0011	0,0000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.А.4 Другие сектора													
Жидкие топлива	CO ₂	79221,9	43801,9	5	6,52	8	0,0791	0,1258	0,0039	0,0187	0,1755	0,1326	0,0484
	CH ₄	420,2	131,5	5	50	50	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0040	0,0004	0,0000
	N ₂ O	4268,4	1047,7	5	50	50	0,0084	0,0026	0,0004	0,0004	0,0317	0,0032	0,0010
Твердые топлива	CO ₂	122313,7	6031,8	5	7	9	0,2028	0,0026	0,0204	0,0026	0,0256	0,0183	0,0010
	CH ₄	5135,1	494,5	5	50	50	0,0122	0,0006	0,0008	0,0002	0,0150	0,0015	0,0002
	N ₂ O	507,1	24,9	5	50	50	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0008	0,0001	0,0000
Газообразные топлива	CO ₂	55608,8	136890,5	5	7	9	0,0419	1,3211	0,0481	0,0586	0,5800	0,4143	0,5080
	CH ₄	143,1	352,3	5	50	50	0,0000	0,0003	0,0001	0,0002	0,0107	0,0011	0,0001
	N ₂ O	27,1	66,7	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0020	0,0002	0,0000
Биомасса	CH ₄	2784,6	423,8	20	50	54	0,0041	0,0005	0,0003	0,0002	0,0128	0,0051	0,0002
	N ₂ O	351,4	53,5	20	50	54	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0016	0,0006	0,0000
Торф	CO ₂	118,1	0,0	5	7	9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	CH ₄	9,4	0,0	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	N ₂ O	0,4	0,0	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Другие топлива	CO ₂	993,3	115,9	5	7	9	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0005	0,0004	0,0000
	CH ₄	58,3	6,8	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000
	N ₂ O	7,4	0,9	5	50	50	0,0791	0,1258	0,0039	0,0187	0,1755	0,1326	0,0484
1.А.5 Другие сектора и виды сжигания топлива, не учтенные ранее													
Жидкие топлива	CO ₂	268650,2	23751,5	5	4,54	7	0,5727	0,0233	0,0402	0,0102	0,0615	0,0719	0,0090
	CH ₄	1019,5	89,5	5	50	50	0,0005	0,0000	0,0002	0,0000	0,0027	0,0003	0,0000
	N ₂ O	576,6	50,7	5	50	50	0,0002	0,0000	0,0001	0,0000	0,0015	0,0002	0,0000
Твердые топлива	CO ₂	38891,8	11518,6	5	7	9	0,0205	0,0094	0,0024	0,0049	0,0488	0,0349	0,0036
	CH ₄	3407,6	1024,9	5	50	50	0,0054	0,0025	0,0002	0,0004	0,0310	0,0031	0,0010
	N ₂ O	161,3	48,5	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015	0,0001	0,0000
Газообразные топлива	CO ₂	5585,0	11438,1	5	7	9	0,0004	0,0092	0,0038	0,0049	0,0485	0,0346	0,0035
	CH ₄	14,4	29,4	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0001	0,0000
	N ₂ O	2,7	5,6	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000
Биомасса	CH ₄	168,5	53,2	20	50	54	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0016	0,0006	0,0000
	N ₂ O	21,3	6,8	20	50	54	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0001	0,0000
Торф	CO ₂	6,2	0,0	5	7	9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	CH ₄	0,5	0,0	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	N ₂ O	0,0	0,0	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Продолжение таблицы II.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Другие топлива	CO ₂	96,4	161,1	5	7	9	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0007	0,0005	0,0000
	CH ₄	5,7	9,5	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000
	N ₂ O	0,7	1,2	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1.В Эмиссия от утечек и испарения топлив													
1.В.1 Эмиссия от утечек и испарения при добыче и последующем обращении с углем													
1.В.1.А.1 Добыча угля подземным способом													
Извлечение	CH ₄	65417,9	19204,3	5,0	5	7	0,0372	0,0167	0,0041	0,0082	0,0551	0,0581	0,0064
Последующие операции	CH ₄	10026,8	5153,6	5,0	7	9	0,0014	0,0020	0,0003	0,0022	0,0228	0,0156	0,0008
1.В.1.А.2 Добыча угля открытым способом													
Извлечение	CH ₄	21760,3	16267,6	5,0	6	8	0,0051	0,0148	0,0029	0,0070	0,0571	0,0492	0,0057
Последующие операции	CH ₄	795,5	1289,7	5,0	7	9	0,0000	0,0001	0,0004	0,0006	0,0057	0,0039	0,0000
1.В.1.В Трансформация твердых видов топлив													
Производство древесного угля	CH ₄	60,6	102,1	5,0	95	95	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0058	0,0003	0,0000
	N ₂ O	1,1	1,9	5,0	119	119	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
Производство кокса	CO ₂	194,5	151,8	5,0	75	75	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0069	0,0005	0,0000
	CH ₄	64,5	50,3	5,0	495	495	0,0002	0,0006	0,0000	0,0000	0,0151	0,0002	0,0002
	N ₂ O	0,6	0,4	5,0	75	75	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1.В.2 Эмиссия от утечек и испарения нефти и природного газа													
1.В.2.А Нефть													
Разведка	CO ₂	5378,7	5246,0	5	50	50	0,0134	0,0662	0,0012	0,0022	0,1588	0,0159	0,0255
	CH ₄	3210,0	3130,8	5	100	100	0,0189	0,0936	0,0007	0,0013	0,1895	0,0095	0,0360
	N ₂ O	10,6	10,4	5	495	495	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0032	0,0000	0,0000
Добыча нефти и ГК	CO ₂	16,0	4,2	5	45	45	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
	CH ₄	15949,3	4165,3	5	47	47	0,1041	0,0369	0,0012	0,0018	0,1185	0,0126	0,0142
Транспорт нефти	CO ₂	0,3	0,3	5	100	100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	CH ₄	87,9	96,1	5	100	100	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0059	0,0003	0,0000
Первичная переработка	CH ₄	212,4	197,5	5	100	100	0,0001	0,0004	0,0000	0,0001	0,0117	0,0006	0,0001
Транспорт ГК	CO ₂	0,1	0,4	5	100	100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	CH ₄	40,7	166,4	5	100	100	0,0000	0,0003	0,0001	0,0001	0,0101	0,0005	0,0001
1.В.2.В Природный газ													
Добыча	CO ₂	2,6	85,2	5	19	20	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0003	0,0000

Продолжение таблицы П.1

Национальный доклад о кадастре

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	CH ₄	3580,8	3196,9	5	34	34	0,0008	0,0043	0,0009	0,0016	0,0391	0,0111	0,0017
Транспорт	CO ₂	5,0	5,4	5	34	34	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
	CH ₄	114093,0	24665,8	5	18	19	0,8322	0,2540	0,0096	0,0118	0,3011	0,0837	0,0977
Хранение	CO ₂	0,1	0,1	5	240	240	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	CH ₄	421,3	403,0	5	240	240	0,0028	0,0131	0,0001	0,0002	0,0711	0,0014	0,0051
Распределение	CO ₂	26,0	28,1	5	240	240	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0034	0,0001	0,0000
	CH ₄	15676,1	16980,2	5	240	240	3,0440	11,2110	0,0027	0,0056	2,0759	0,0399	4,3111
Утечки при производстве СПГ	CO ₂	0,0	194,2	1	5	5	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0006	0,0001	0,0000
	CH ₄	0,0	10,6	1	5	5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1.В.2.С Газоотведение и сжигание													
Газоотведение при добыче нефти и газового конденсата	CO ₂	0,0	0,0	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	CH ₄	0,0	0,0	5	50	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Сжигание природного газа	CO ₂	2077,4	1904,9	5	10	11	0,0001	0,0004	0,0005	0,0009	0,0115	0,0061	0,0002
	CH ₄	92,0	84,3	5	6	8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0003	0,0000
	N ₂ O	7,3	6,7	5	495	495	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0023	0,0000	0,0000
Факельное сжигание при производстве СПГ	CO ₂	0,0	559,4	1	5	5	0,0000	0,0000	0,0002	0,0002	0,0017	0,0003	0,0000
	CH ₄	0,0	28,4	1	5	5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
	N ₂ O	0,00	2,0	1	5	5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Сжигание попутного нефтяного газа	CO ₂	27324,0	60168,0	5	23	24	0,0751	2,2491	0,0229	0,0281	0,9086	0,1985	0,8649
	CH ₄	4296,6	9461,2	5	36	36	0,0044	0,1321	0,0036	0,0044	0,2232	0,0312	0,0508
	N ₂ O	60,3	132,9	5	495	495	0,0002	0,0051	0,0001	0,0001	0,0443	0,0004	0,0020
2 Промышленные процессы													
2.А Производство минеральных материалов													
2.А.1 Производство цемента													
	CO ₂	34609,28	26467,84	3	7	8	0,0133	0,0403	0,0048	0,0113	0,1149	0,0481	0,0155
2.А.2 Производство извести													
	CO ₂	12501,0	9033,08	30	2	30	0,0259	0,0703	0,0015	0,0039	0,0109	0,1640	0,0270
2.А.3 Производство стекла													
	CO ₂	455,5	1813,78	7	60	60	0,0001	0,0113	0,0007	0,0008	0,0654	0,0077	0,0043
2.А.4 Другие процессы с использованием карбонатов													

Продолжение таблицы П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	CO ₂	13630,6	4562,8	7	3	8	0,0020	0,0012	0,0006	0,0020	0,0083	0,0193	0,0004
2.А.4 Использование кальцинированной соды													
	CO ₂	1114,4	432,1	3	0,0	3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0008	0,0000
2.В Химическая промышленность													
2.В.1 Производство аммиака													
	CO ₂	28112,2	27643,2	3	5	6	0,0049	0,0248	0,0066	0,0118	0,0837	0,0502	0,0095
2.В.2 Производство азотной кислоты													
	N ₂ O	3192,43	5921,1	5	10	11	0,0002	0,0042	0,0019	0,0025	0,0358	0,0179	0,0016
2.В.4 Производство капролактама, глиоксаля и глиоксиловой кислоты													
	N ₂ O	552,4	772,7	3	40	40	0,0001	0,0009	0,0002	0,0003	0,0187	0,0014	0,0004
2.В.5 Производство карбидов													
	CO ₂	718,1	220,77	2	10	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0013	0,0003	0,0000
	CH ₄	11,5	29,97	2	10	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000
2.В.6 Производство диоксида титана													
	CO ₂	6,7	0,0	50	15	52	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2.В.8 Нефтехимическое производство и производство сажи													
2.В.8.а Производство метанола													
	CO ₂	2008,9	2324,63	3	5	6	0,0000	0,0002	0,0006	0,0010	0,0070	0,0042	0,0001
	CH ₄	161,5	250,35	3	55	55	0,0000	0,0002	0,0001	0,0001	0,0083	0,0005	0,0001
2.В.8.б Производство этилена													
	CO ₂	3431,4	6168,64	3	5	6	0,0001	0,0012	0,0020	0,0026	0,0187	0,0112	0,0005
	CH ₄	194,8	381,00	3	10	10	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0023	0,0007	0,0000
2.В.8.с Производство этилендихлорида и хлористого винила													
	CO ₂	131,0	267,94	3	35	35	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0057	0,0005	0,0000
	CH ₄	0,28	0,58	3	10	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2.В.8.д Производство окиси этилена													
	CO ₂	538,8	328,96	3	10	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0020	0,0006	0,0000
	CH ₄	31,3	19,10	3	60	60	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0000	0,0000
2.В.8.е Производство акрилонитрила													
	CO ₂	121,0	151,40	3	60	60	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0055	0,0003	0,0000

Продолжение таблицы II.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	CH ₄	0,6	0,76	3	10	10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2.В.8.f Производство сажи													
	CO ₂	3077,6	2759,76	3	5	6	0,0001	0,0002	0,0006	0,0012	0,0084	0,0050	0,0001
	CH ₄	1,6	1,46	3	85	85	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
2.В.9 Производство фторсодержащих соединений													
2.В.9а Попутные выбросы при производстве													
	HFCs	30109,5	7033,84	3	20	20	0,0679	0,0193	0,0026	0,0030	0,0851	0,0128	0,0074
2.В.9б Фугитивные выбросы при производстве													
	HFCs	0,0	2,62	3	100	100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000
	PFCs	3,5	12,62	3	100	100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0008	0,0000	0,0000
	SF ₆	1173,1	128,58	3	20	20	0,0001	0,0000	0,0002	0,0001	0,0016	0,0002	0,0000
2.В.10 Прочие - производство водорода													
	CO ₂	507,58	8080,91	10	5	11	0,0000	0,0078	0,0034	0,0035	0,0245	0,0489	0,0030
2.С Металлургия													
2.С.1 Производство чугуна, железа прямого восстановления и стали													
	CO ₂	126097,3	94201,00	3	10	10	0,3175	0,9215	0,0166	0,0403	0,5702	0,1711	0,3544
	CH ₄	139,6	105,74	3	25	25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0016	0,0002	0,0000
2.С.2 Производство ферросплавов													
	CO ₂	4110,9	3525,17	3	25	25	0,0020	0,0075	0,0007	0,0015	0,0533	0,0064	0,0029
	CH ₄	19,3	18,78	3	25	25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000
2.С.3 Производство алюминия													
	CO ₂	4880,1	6440,16	3	10	10	0,0005	0,0043	0,0018	0,0028	0,0390	0,0117	0,0017
	PFCs	13564,9	1220,77	3	20	20	0,0138	0,0006	0,0020	0,0005	0,0148	0,0022	0,0002
2.С.5 Производство свинца													
	CO ₂	29,0	86,43	10	50	51	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0026	0,0005	0,0000
2.С.6 Производство цинка													
	CO ₂	179,6	114,41	10	20	22	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0007	0,0000
2.Д Использование растворителей и неэнергетических продуктов из топлива													
2.Д.1 Использование смазочных материалов													
	CO ₂	2676,3	1824,50	5	100	100	0,0132	0,0318	0,0003	0,0008	0,1104	0,0055	0,0122

Продолжение таблицы II.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2.D.2 Использование твердых парафинов													
	CO ₂	81,7	60,71	5	100	100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0037	0,0002	0,0000
2.D.3 Использование карбамида в системах селективного каталитического восстановления													
	CO ₂	0,0	100,1	50,0	5,0	50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0030	0,0000
2.E Электронная промышленность													
	HFCs	0,0	0,28	5	100	100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	PFCs	2,65	17,27	5	100	100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0001	0,0000
	NF ₃	0,0	1,41	5	100	100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
	SF ₆	2,01	0,85	5	100	100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
2.F Использование заменителей озоноразрушающих веществ													
2.F.1 Использование в системах кондиционирования воздуха и охлаждения													
	HFCs	0,0	25064,22		25	25	0,0000	0,3741	0,0107	0,0107	0,3793	0,0000	0,1438
	PFCs	0,0	9,65	3	25	25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
2.F.2 Использование в пенообразователях													
	HFCs	0,0	529,16	10	50	51	0,0000	0,0007	0,0002	0,0002	0,0160	0,0032	0,0003
2.F.3 Использование в системах противопожарной защиты													
	HFCs	0,0	854,39	10	50	51	0,0000	0,0018	0,0004	0,0004	0,0259	0,0052	0,0007
	PFCs	7,03	249,47	10	50	51	0,0000	0,0002	0,0001	0,0001	0,0075	0,0015	0,0001
2.F.4 Использование в аэрозолях													
	HFCs	0,0	795,58	10	50	51	0,0000	0,0016	0,0003	0,0003	0,0241	0,0048	0,0006
2.F.6 Другие виды использования													
	HFCs	0,0	8,99	10	50	51	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0001	0,0000
2.G Производство и использование других продуктов													
2.G.1 Электрооборудование													
	SF ₆	57,76	398,10	10	60	61	0,0000	0,0006	0,0002	0,0002	0,0145	0,0024	0,0002
2.G.2.b Ускорители частиц													
	SF ₆	249,0	340,00	30	50	58	0,0000	0,0004	0,0001	0,0001	0,0103	0,0062	0,0001
2.G.3 N₂O от использования продуктов													
	N ₂ O	480,09	540,5	3	40	40	0,0001	0,0004	0,0001	0,0002	0,0131	0,0010	0,0002

Продолжение таблицы II.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3 Сельское хозяйство													
3.A Внутренняя ферментация													
	CH ₄	117323,9	42475,87	5	6,2335	8	0,1610	0,1098	0,0038	0,0182	0,1603	0,1285	0,0422
3.B Системы сбора, хранения и утилизации навоза и помета													
3.B.a Выбросы CH₄													
	CH ₄	15128,3	6587,60	5	20,7644	21	0,0191	0,0189	0,0000	0,0028	0,0828	0,0199	0,0073
3.B.b.1-4 Прямые выбросы N₂O													
	N ₂ O	7414,7	3399,60	5	117,2873	117	0,1388	0,1517	0,0001	0,0015	0,2413	0,0103	0,0584
3.B.b.5 Косвенные выбросы N₂O													
	N ₂ O	6207,3	3095,88	5	297,2983	297	0,6240	0,8073	0,0002	0,0013	0,5571	0,0094	0,3104
3.C Рисоводство													
	CH ₄	958,4	726,21	5	70,2331	70	0,0008	0,0025	0,0001	0,0003	0,0309	0,0022	0,0010
3.D Выбросы N₂O от с.х. почв													
3.D.a Прямые выбросы N₂O от почв													
	N ₂ O	59862,8	35542,17	5	102,8520	103	6,9604	12,7612	0,0040	0,0152	2,2126	0,1076	4,9072
3.D.Косвенный выброс N₂O													
	N ₂ O	15 005,7	8 444,7	5	105,8164	106	0,4629	0,7624	0,0008	0,0036	0,5409	0,0256	0,2932
3G Известкование													
	CO ₂	10074,2	876,74	9	50,7000	51	0,0492	0,0019	0,0015	0,0004	0,0269	0,0046	0,0007
3H Внесение мочевины													
	CO ₂	99,0	239,34	10	51,0000	52	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0074	0,0014	0,0001
4 Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство													
4.A Лесные земли													
4.A.1 Лесные земли, остающиеся лесными землями													
Биомасса	CO ₂	-704511,4	-987259,9	20	10	22	41,2026	467,4309	0,2837	0,4023	5,6890	11,3780	161,8235
Мертвая древесина	CO ₂	-74203,3	-103048,1	20	32	38	1,3018	14,5035	0,0294	0,0420	1,9002	1,1876	5,0211
Подстилка	CO ₂	-2494,0	-17275,1	10	62	63	0,0041	1,1289	0,0066	0,0070	0,6172	0,0995	0,3908
Минеральные почвы	CO ₂	4230,5	-90438,3	10	65	66	0,0129	33,9294	0,0376	0,0369	3,3874	0,5211	11,7463

Продолжение таблицы II.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Органогенные почвы	CO ₂	6093,4	4847,1	20	44	49	0,0162	0,0532	0,0009	0,0021	0,1304	0,0587	0,0204
Мгновенная эмиссия CO ₂ от пожаров	CO ₂	22144,5	58127,9	20	54	58	0,2979	10,6743	0,0207	0,0249	1,8999	0,7037	4,1047
Мгновенная эмиссия CH ₄ от пожаров	CH ₄	7855,7	12655,3	20	70	73	0,0599	0,8087	0,0039	0,0054	0,5362	0,1532	0,3110
Мгновенная эмиссия N ₂ O от пожаров	N ₂ O	4108,8	6613,3	20	60	63	0,0124	0,1667	0,0021	0,0028	0,2402	0,0801	0,0641
4.А.2 Земли, переведенные в лесные земли													
Биомасса	CO ₂	-14487,5	-9326,4	5	25	25	0,0250	0,0539	0,0013	0,0040	0,1411	0,0282	0,0207
Мертвая древесина	CO ₂	-2910,5	-2103,8	5	32	32	0,0016	0,0044	0,0004	0,0009	0,0407	0,0064	0,0017
Подстилка	CO ₂	-492,5	-50,9	5	62	62	0,0002	0,0000	0,0001	0,0000	0,0019	0,0002	0,0000
Минеральные почвы	CO ₂	-3851,6	-1147,6	5	65	65	0,0115	0,0053	0,0002	0,0005	0,0451	0,0035	0,0021
Мгновенная эмиссия CH ₄ от пожаров	CH ₄	7,8	5,0	20	70	73	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0001	0,0000
Мгновенная эмиссия N ₂ O от пожаров	N ₂ O	4,1	2,6	20	60	63	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
4 (II) Осушение почв													
Эмиссия N ₂ O от осушения органических почв	N ₂ O	1666,7	1325,8	5	39	40	0,0008	0,0026	0,0003	0,0006	0,0315	0,0040	0,0010
Эмиссия CH ₄ от осушения органических почв	CH ₄	643,1	511,6	5	79	80	0,0005	0,0016	0,0001	0,0002	0,0246	0,0015	0,0006
4.В.1 Возделываемые земли													
Биомасса	CO ₂	-4870,2	41301,9	5	75	75	0,0245	9,1821	0,0186	0,0177	1,8749	0,1250	3,5309

Продолжение таблицы II.1

Национальный доклад о кадастре

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Органогенные почвы, CO ₂	CO ₂	23655,0	13679,0	5	39	40	0,1609	0,2798	0,0014	0,0059	0,3254	0,0414	0,1076
Органогенные почвы, CH ₄	CH ₄	1668,9	965,2	5	87	88	0,0039	0,0068	0,0001	0,0004	0,0511	0,0029	0,0026
4.В.2 Земли, переведенные в возделываемые земли													
4.В.2.2 Пастбищные угодья, переведенные в возделываемые земли													
Биомасса	CO ₂	0,0	0,0	10	50	51	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Мертвое орган. в-во	CO ₂	0,0	0,0	10	12	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Минеральные почвы	CO ₂	0,0	24,8	10	13	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0001	0,0000
4.С.1 Постоянные пастбищные угодья													
Минеральные почвы	CO ₂	0,0	0,0	5	12	13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Органогенные почвы, CO ₂	CO ₂	13765,1	9951,1	5	49	49	0,0841	0,2287	0,0017	0,0043	0,2950	0,0301	0,0879
Мгновенная эмиссия CH ₄ от пожаров	CH ₄	195,4	827,3	20	108	110	0,0001	0,0079	0,0003	0,0004	0,0541	0,0100	0,0030
Мгновенная эмиссия N ₂ O от пожаров	N ₂ O	169,0	714,9	20	112	114	0,0001	0,0063	0,0003	0,0003	0,0485	0,0087	0,0024
4.С.2 Земли, переведенные в пастбищные угодья													
4.С.2.2 Пахотные земли, переведенные в пастбищные угодья													
Биомасса	CO ₂	-12672,4	-10993,4	7	44	44	0,0580	0,2268	0,0023	0,0047	0,2916	0,0466	0,0872
Мертвое орган. в-во	CO ₂	-1267,2	-9186,6	7	44	45	0,0006	0,1602	0,0037	0,0039	0,2451	0,0389	0,0616
Минеральные почвы	CO ₂	-428,1	-52554,5	7	13	15	0,0000	0,5840	0,0224	0,0225	0,4183	0,2227	0,2246
Органогенные почвы, CO ₂	CO ₂	0,0	0,0	7	49	49	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4.С.2.3 Водно-болотные угодья, переведенные в кормовые угодья													
Биомасса	CO ₂	0,0	0,0	5	44	44	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Продолжение таблицы П.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4.C.2.5 Прочие земли, переведенные в кормовые угодья													
Биомасса	CO ₂	0,0	0,0	10	44	45	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Мертвое орган. в-во	CO ₂	0,0	0,0	10	44	45	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Почвы	CO ₂	0,0	0,0	10	20	22	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4 (II) Осушение почв	CH ₄	788,0	569,7	7	70	70	0,0006	0,0015	0,0001	0,0002	0,0240	0,0024	0,0006
4.D.1 Постоянные водно-болотные угодья													
Выбросы CO ₂	CO ₂	3610,3	3651,9	50	53	73	0,0118	0,0854	0,0009	0,0015	0,1130	0,1064	0,0241
4(IV)Торфяные пожары													
Выбросы CO ₂	CO ₂	12346,7	478,6	10	12	15	0,0065	0,0001	0,0021	0,0002	0,0033	0,0029	0,0000
Выбросы CH ₄	CH ₄	2344,1	90,9	10	44	45	0,0021	0,0000	0,0004	0,0000	0,0024	0,0005	0,0000
4(II) Выбросы и абсорбция в результате осушения и повторного увлажнения и других видов регулирования органических и минеральных почв													
Peat extraction													
Выбросы CH ₄	CH ₄	291,6	293,7	50	80	94	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0142	0,0089	0,0003
Выбросы N ₂ O	N ₂ O	39,6	39,8	50	62	79	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015	0,0012	0,0000
Rewetted													
Выбросы CO ₂	CO ₂	0,0	66,8	10	74	74	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0030	0,0004	0,0000
Выбросы CH ₄	CH ₄	0,0	163,4	10	299	299	0,0000	0,0023	0,0001	0,0001	0,0296	0,0010	0,0009
Flooded													
Выбросы CO ₂	CO ₂	0,0	0,0	10	269	269	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Выбросы CH ₄	CH ₄	0,0	0,0	10	160	160	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Other wetland													
Выбросы CO ₂	CO ₂	0,0	0,0	10	53	54	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Выбросы CH ₄	CH ₄	0,0	0,0	10	80	81	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Выбросы N ₂ O	N ₂ O	0,0	0,0	10	62	63	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4.D.2 Земли, переведенные в водно-болотные угодья													
4.D.2.2 Земли, переведенные в земли под водой													
4.D.2.2.1 Лесные земли, переведенные в земли под водой													
Выбросы CO ₂	CO ₂	1,1	0,0	50	53	73	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4.D.2.2.1 Пастбищные угодья, переведенные в земли под водой													

Продолжение таблицы II.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Биомасса	CO ₂	1,0	0,0	10	12	16	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Мертвое орган. в-во	CO ₂	0,9	0,0	10	9	13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4.Е.1 Поселения, остающиеся поселениями													
Фитомасса поступление	CO ₂	0,0	0,0	20	25	32	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4.Е.2 Земли, переведенные в земли поселений													
4.Е.2.1 Из лесных земель													
Биомасса	CO ₂	8935,3	2430,4	20	10	22	0,0073	0,0028	0,0006	0,0010	0,0147	0,0294	0,0011
Мертвая древесина	CO ₂	1616,9	469,5	10	32	34	0,0005	0,0002	0,0001	0,0002	0,0091	0,0028	0,0001
Подстилка	CO ₂	1738,7	352,6	10	62	63	0,0022	0,0005	0,0002	0,0002	0,0132	0,0021	0,0002
Минеральные почвы	CO ₂	6077,4	1922,8	10	65	66	0,0293	0,0152	0,0003	0,0008	0,0756	0,0116	0,0059
Органогенные почвы	CO ₂	7,5	107,8	10	44	46	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0029	0,0007	0,0000
4 (III, IV) Прямые непрямы выбросы при минерализации N	N ₂ O	563,7	511,2	23	183	184	0,0020	0,0084	0,0001	0,0002	0,0565	0,0072	0,0032
4.Е.2.2 Из луговых угодий													
Биомасса	CO ₂	0,0	569,3	10	41	42	0,0000	0,0005	0,0002	0,0002	0,0140	0,0034	0,0002
Мертвое орган. в-во	CO ₂	0,0	534,4	10	45	46	0,0000	0,0006	0,0002	0,0002	0,0146	0,0032	0,0002
Почвы	CO ₂	0,0	4381,4	10	64	65	0,0000	0,0768	0,0019	0,0019	0,1698	0,0265	0,0295
4.Е.2.5 Из прочих земель													
Биомасса	CO ₂	0,0	0,0	10	24	26	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Почвы	CO ₂	0,0	0,0	10	47	48	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4.Е.2 Земли, переведенные в другие земли													
4 (III, IV) Прямые непрямы выбросы при минерализации N	N ₂ O	0,0	0,0	47	183	189	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Продолжение таблицы II.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4.F.2.1 Из лесных земель													
Биомасса	CO ₂	0,0	316,7	47	183	189	0,0000	0,0034	0,0001	0,0001	0,0350	0,0090	0,0013
Мертвое орган. в-во	CO ₂	0,0	120,8	47	183	189	0,0000	0,0005	0,0001	0,0001	0,0134	0,0034	0,0002
Почвы	CO ₂	0,0	721,9	47	183	189	0,0000	0,0177	0,0003	0,0003	0,0798	0,0205	0,0068
4.F.2.4 Из водно-болотных угодий													
Биомасса	CO ₂	0,0	1278,6	10	41	42	0,0000	0,0034	0,0005	0,0005	0,0302	0,0074	0,0010
Мертвое орган. в-во	CO ₂	0,0	2187,4	10	13	16	0,0000	0,0015	0,0009	0,0009	0,0164	0,0127	0,0004
Почвы, CO ₂	CO ₂	0,0	576,6	10	49	50	0,0000	0,0010	0,0002	0,0002	0,0165	0,0034	0,0003
Выбросы CH ₄	CH ₄	0,0	283,4	10	50	51	0,0000	0,0002	0,0001	0,0001	0,0086	0,0017	0,0001
Выбросы N ₂ O	N ₂ O	0,0	0,0	10	50	51	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4.F.2.3 Из луговых угодий													
Биомасса	CO ₂	0,0	565,9	10	44	45	0,0000	0,0008	0,0002	0,0002	0,0145	0,0033	0,0002
Мертвое орган. в-во	CO ₂	0,0	468,2	10	44	45	0,0000	0,0005	0,0002	0,0002	0,0120	0,0027	0,0002
Почвы	CO ₂	0,0	6992,5	10	46	47	0,0000	0,1294	0,0029	0,0029	0,1867	0,0407	0,0365
4.G Заготовленные лесоматериалы													
	CO ₂	-8001,6	-3312,0	5	21	21	0,0051	0,0045	0,0001	0,0014	0,0417	0,0100	0,0018
4(IV) Непрямые выбросы N₂O от обрабатываемых почв													
	N ₂ O	0,0	1018,1	22	204	205	0,0000	0,0414	0,0004	0,0004	0,1254	0,0137	0,0159
5 Отходы													
5.A.1 Управляемое захоронение отходов на свалках и полигонах													
	CH ₄	30658,4	61307,3	38	28	47	0,3733	7,7631	0,0205	0,0262	1,0209	1,3939	2,9852
5.A.3 Захоронения отходов на свалках и полигонах вне категории													
	CH ₄	3930,0	5927,7	100	40	108	0,0329	0,3891	0,0018	0,0025	0,1446	0,3588	0,1496
5.B.1 Компостирование отходов													
	CH ₄	33,6	322,3	10	100	100	0,0000	0,0010	0,0001	0,0001	0,0194	0,0020	0,0004
	N ₂ O	19,1	183,0	10	113	113	0,0000	0,0004	0,0001	0,0001	0,0125	0,0011	0,0002
5.D.1 Очистка коммунально-бытовых сточных вод													
	CH ₄	9885,6	6804,4	26	36	45	0,0358	0,0883	0,0011	0,0029	0,1493	0,1080	0,0339
	N ₂ O	2434,0	2598,3	34	2496	2496	6,7620	40,0771	0,0007	0,0011	3,9254	0,0535	15,4113
5.D.2 Очистка промышленных сточных вод													

Продолжение таблицы II.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	CH ₄	8608,4	11198,8	79	87	118	0,1876	1,6509	0,0032	0,0048	0,5896	0,5359	0,6348
ИТОГО		2454204,7	1021075,4				68,8	652,3					225,8
Процент неопределенности в суммарном кадастре (%)							8,3	25,5	Неопределенность тенденции (%)				15,0

ПРИЛОЖЕНИЕ III – Описание базового подхода (ОТО 1.А)

В соответствии с Руководящими принципами МГЭИК, для проведения расчетов выбросов CO₂ по базовому подходу был использован метод оценки по суммарному потреблению топлива в экономике страны с разделением по видам топлива (МГЭИК, 2006). Для каждого года были оценены выбросы CO₂ при сжигании первичных и вторичных видов топлива. Оценки в основном базировались на данных национального топливного баланса, подготовленного Росстатом. В случае 1990 года оценки выбросов проводились на основе топливного баланса СССР, в той части, которая относится к РФ.

Основными источниками выбросов CO₂ при реализации базового подхода является сжигание нефти, газового конденсата, природного газа, каменного и бурого углей, коксующегося угля и антрацитов. В незначительных количествах сжигается так же торф. Из вторичных топлив учитывается изменение нетто объемов, ввозимых в страну бензина, дизельного топлива, мазута, сжиженного газа, других видов моторного топлива, угольных брикетов и металлургического кокса.

В тексте данного раздела приведены оценки суммарных выбросов от сжигания жидких видов топлив при предположении, что суммарное количество жидких топлив распределяется по видам ТЭР в той же пропорции, как это было в 2023 году. Суммарное потребление в экономике страны жидких топлив составило в 2024 году 5341123 ТДж исключая использование на нетопливные нужды. Суммарный выброс от сжигания жидких топлив, оцененный по базовому подходу таким образом составит 406834,7 тыс. т CO₂, а суммарный выброс CO₂ от сжигания всех видов топлив в целом для страны в 2024 году составит 1544917,45 тыс. т CO₂.

В таблице III.1 временной ряд выбросов CO₂ при сжигании доступных видов топлива приведен с учетом открытых данных о суммарном потреблении жидких топлив в 2024 году. Оценки за 2023 год также приведены на основе данных о суммарном потреблении жидких топлив.

Таблица III.1

Выброс CO₂ при сжигании топлива по видам, Гт

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Всего, в том числе	2,37	1,47	1,33	1,36	1,38	1,49	1,47	1,49	1,54	1,52	1,48	1,48	1,45	1,50	1,47
Жидкое топливо	0,93	0,41	0,34	0,33	0,30	0,46	0,44	0,46	0,42	0,41	0,42	0,36	0,34	0,37	0,33
Твердое топливо	0,65	0,38	0,32	0,30	0,29	0,29	0,28	0,25	0,27	0,27	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25
Газ	0,78	0,67	0,68	0,73	0,79	0,74	0,75	0,78	0,85	0,84	0,81	0,88	0,86	0,88	0,88
Торф	0,007	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000

Исходные данные

Для расчетной оценки выбросов CO₂ использовался базовый подход МГЭИК. В качестве исходной информации использовались данные о производстве, экспорте, импорте и изменении стока первичных видов топлив. Производство вторичных видов топлив в расчете не использовалось для того, чтобы избежать двойного учета выброса CO₂ при переработке первичных видов топлив.

В соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 26 апреля 2023 г. № 1074-р (действующая редакция от 05.03.2024 года) с 2023 года приостанавливаются предоставление и распространение официальной статистической информации об объемах добычи нефти, включая газовый конденсат. Данное ограничение распространяется также на данные по импорту, экспорту и изменению запасов нефти за 2023 и 2024 гг. Кроме того, в соответствии с частью 10 статьи 5 Федерального закона № 282-ФЗ от 29.11.2007 с 2024 года недоступны данные по потреблению жидких топлив, а также по изменению запасов всех жидких топлив вторичного происхождения. Дополнительно данные по импорту и экспорту всех топливно-энергетических ресурсов

закрыты Федеральной таможенной службой с апреля 2022 года. Это ограничение действует для 2022, 2023 и 2024 гг.

В связи с этим в таблицах ОТО 1.А(б) по сжиганию топлива (базовый подход) за 2023 и 2024 гг. приводится обозначение, что информация об объемах добычи нефти, потреблении жидких топлив, изменении запасов жидких топлив, а также импорте и экспорте топливно-энергетических ресурсов и соответствующие выбросы CO₂ являются конфиденциальными ("С" – Confidential). Так же в связи с конфиденциальностью части данных за 2022, 2023 и 2024 гг., Краткий расчетный баланс энергоресурсов РФ за указанные годы не публикуется в открытых источниках.

С 1992 по 1999 гг. для расчетов использовались данные национальной статистики, представляемые Росстатом в банк данных МЭА. Для расчетов за 1990, 1991 и после 2000 гг. использовались данные по производству, экспорту, импорту и изменению запаса топлив, предоставленные Росстатом. Временной тренд потребления топлива в России, с разделением на жидкие, твердые и газовые топлива приведен в таблице III.2.

Таблица III.2

Динамика потребления топлива в России в % к 1990г.

	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Всего, в том числе	61,8	58,4	61,1	63,0	68,6	67,3	69,3	71,9	72,1	71,0	71,7	70,5	72,6	73,1
Жидкое топливо	44,3	38,3	37,4	34,6	54,5	52,3	54,6	51,0	50,6	51,3	43,6	41,9	44,6	41,3
Твердое топливо	59,3	51,5	50,1	48,2	49,0	47,4	43,9	45,9	45,0	41,5	42,9	41,8	43,4	43,2
Газ	77,0	77,6	85,1	92,6	88,8	88,4	92,5	100,5	101,7	100,1	107,3	106,5	108,3	112,1
Торф	49,6	42,9	21,8	16,8	15,1	16,8	14,0	16,4	18,2	17,1	4,6	4,3	3,9	3,7

В таблице ОТО 1.А(б) данные о потреблении топлив за все годы приведены в энергетических единицах (ТДж); таким образом, начиная с кадастра 2020 года была восстановлена однородность данных для всего временного ряда (в соответствии с рекомендацией Е.9 отчета о рассмотрении кадастра 2018 года). Исходные данные в физических единицах (т, м³) не могут быть представлены в таблицах ОТО в связи с тем, что эта информация является конфиденциальной и не публикуется в открытых источниках.

Динамика выбросов углекислого газа

Динамика выбросов углекислого газа от сжигания топлив в РФ определялась в основном изменением компонентного состава топливного баланса и объемов их потребления (рис. III.1, табл. III.2). В период с 1990 по 1998 гг. в стране наблюдалось значительное снижение выбросов CO₂, выбросы 1998 г. составили 56,6% от выбросов 1990 г. После 1998 г. наметилась их стабилизация. Относительный спад выбросов парниковых газов отмечался в 2009-2010 г., что может быть результатом кризиса 2008 г., однако уже в 2011 г. выбросы CO₂ снова стали увеличиваться. В последние годы наблюдается относительная стабилизация объемов выбросов.

С 1990 произошло значительное изменение доли потребления различных видов топлив, а, следовательно, и вкладов от сжигания твердых, жидких и газообразных топлив в суммарную эмиссию CO₂ в России (табл. III.3, рис. III.2). В последнем отчетном году по сравнению с 1990 г. на 98436 тыс. т CO₂ выросли выбросы диоксида углерода от сжигания природного газа, а выбросы, обусловленные сжиганием твердых топлив, сократились на 398496 тыс. т CO₂. После относительного снижения потребления природного газа в 2016 гг. (на 0,5% по отношению к 2015 г.), в 2017 г. объемы сжигания газа вернулись к уровню 2015 года, а в 2018 году вышли на уровень 1990 года. В последний отчетный год объем сжигания природного газа увеличился на 3,5% по сравнению с предыдущим годом и составил 112,6% по отношению к 1990 году. Потребление жидкого топлива снизилось на 7,5%, а твердого топлив снизилось на 0,3%.

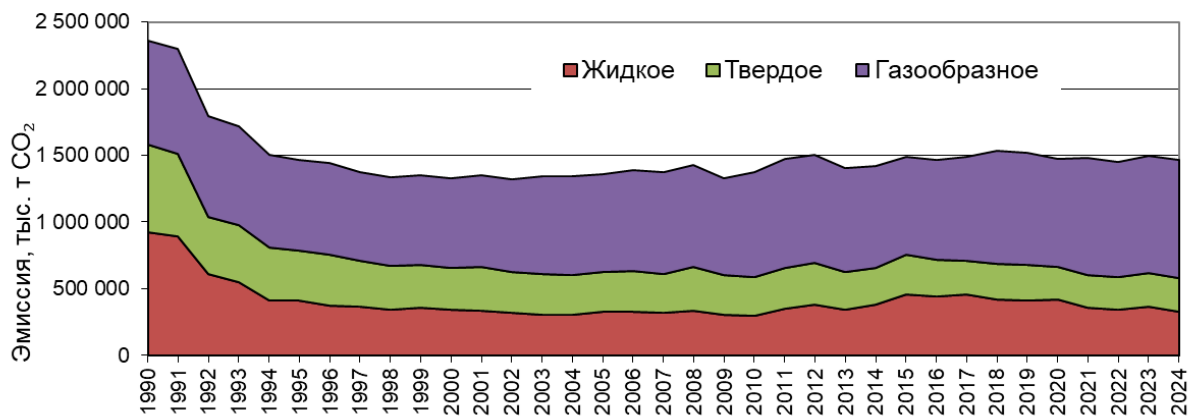


Рисунок III.1– Тренды выбросов углекислого газа от сжигания различных видов топлива, тыс.т

Таблица III.3

Временной тренд выбросов CO₂ в России в % к 1990г.

	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Всего, в том числе	61,9	56,3	57,4	58,1	62,8	62,1	62,9	64,9	64,0	62,3	62,5	61,2	63,3	61,8
Жидкое топливо	44,5	36,7	35,4	31,9	49,8	47,7	49,2	45,3	44,8	45,5	38,8	36,9	39,6	35,4
Твердое топливо	57,6	48,3	45,7	44,4	44,6	42,8	38,9	41,3	40,9	36,7	37,6	37,1	38,7	39,0
Газ	86,0	86,1	93,5	100,8	93,8	95,5	99,5	108,2	106,5	103,7	111,7	110,3	111,6	112,6
Торф	49,6	42,9	21,8	16,8	15,1	16,8	14,0	16,4	18,2	17,1	4,6	4,3	3,9	3,7

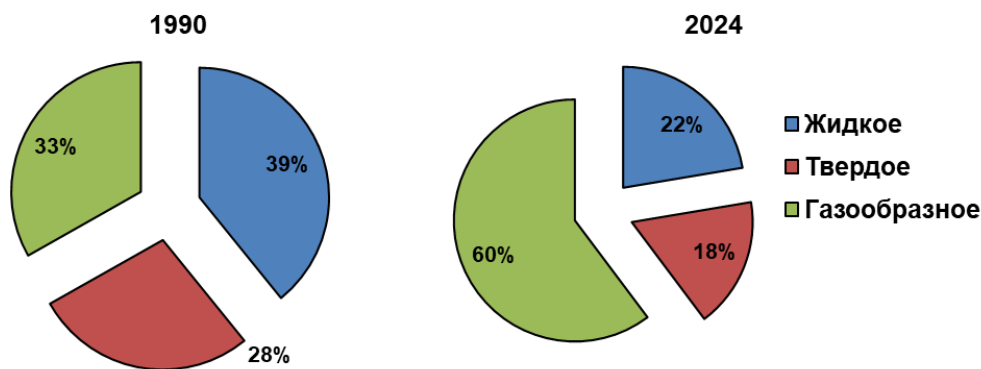


Рисунок III.2– Вклад различных видов топлив в суммарный выброс CO₂ от сжигания топлива

3.2.4.2 Методологические вопросы

Фактическое потребление топлива рассчитывали с использованием данных о производстве, экспорте, импорте и изменении стока первичных видов топлив, а также экспорте, импорте и изменении стока вторичных видов топлив по формуле 3.4 (МГЭИК, 2006):

$$\text{Фактическое потребление} = \text{Производство} + \text{Импорт} - \text{Экспорт} - \text{Международный бункер} - \text{Изменение запасов} \quad (\text{III.1})$$

Количество топлива (дизельное топливо, мазут, авиационный керосин), используемого в качестве международного бункера было получено расчетным путем, на основании данных национальной статистики и оценки экспертов. Подробное описание используемой методики и исходных данных приведено в разделе 3.2.2 тома 1.

Обеспечение и контроль качества по категории в целом

Для оценки и контроля качества применялись стандартные процедуры, включая контроль данных о деятельности и сравнение значений оценок выбросов за разные годы. Обеспечение качества инвентаризации выполняется на этапах сбора и электронного ввода данных о деятельности коэффициентов эмиссии и расчетных коэффициентов. Исходные данные и результаты расчетов сравниваются по годам и отдельным категориям источников.

При вводе исходных данных в расчетные таблицы разработана специальная система контроля качества, позволяющая избежать ошибок ввода данных, которая состоит из трех этапов:

- На первом этапе проводится сравнение рассчитанных значений общего объема топлив с учетом, добычи, импорта и изменения запасов с данными топливно-энергетического баланса для всех видов топлив, включая вторичные;
- Второй этап контроля качества состоит в сравнении расчетных данных об общем потреблении топлива в стране с учетом экспорта с данными топливно-энергетического баланса;
- На третьем этапе из расчетов удаляются данные о производстве вторичных топлив и производится расчет внутреннего потребления топлив в соответствии с Руководящими принципами МГЭИК (МГЭИК, 2006).

Мероприятия проводятся регулярно и выполняются поэтапно, по мере подготовки кадастра парниковых газов. По методическим вопросам сбора данных проводились консультации со специалистами Росстата, Минтранса России, Энергетического углеродного фонда, МЭА. Элементом контроля качества кадастра является внешняя проверка исходных данных и оценок выбросов специалистами федеральных министерств и ведомств. В частности, большой объем работы по проверке исходных данных проведен специалистами Росстата.

Предпринятые процедуры контроля качества соответствуют уровню 2.

Перерасчеты и изменения, сделанные в ответ на рассмотрения кадастров

Пересчеты в базовом подходе, проведенные в Кадастре 2026 года связаны:

- с уточнением нетопливного использования угля в доменном производстве, нетопливном использовании кокса, мазута и природного газа в черной металлургии;
- с устранением неточностей импорта прочих нефтепродуктов за 1992 г. в расчете кажущееся потребление топлива;
- с устранением неточностей нетопливного использования прочих нефтепродуктов в экспорте за 2021 г.

Проведенные уточнения позволили сократить расхождение между базовым и секторным подходом для всего временного ряда.

Планируемые усовершенствования

Проведение усовершенствований в расчетах по базовому подходу не планируется за исключением возможного влияния на базовый подход дальнейших работ по разработке национальных коэффициентов выбросов отдельных видов топлив и уточнения исходных данных.

**ПРИЛОЖЕНИЕ IV – План оценки
и контроля качества**

Наименование	Ответственный исполнитель	Срок (ежегодно)
Обеспечивать представление в Росгидромет данных государственной статистической отчетности и иных данных о процессах и видах деятельности, в результате которых происходят антропогенные выбросы из источников и абсорбция поглотителями парниковых газов; данных государственного учета выбросов парниковых газов, реестра углеродных единиц; данных краткого топливно-энергетического баланса	Минприроды России, Минэкономразвития России, Минпромторг России, Минэнерго России, Минтранс России, Минсельхоз России, Росстат, Росреестр, Рослесхоз	До 15 сентября года, предшествующего году представления кадастра в РКИК ООН. (Краткий топливно-энергетический баланс – до 31 декабря)
Осуществлять оценку и контроль качества данных ОТО и НДК	ИГКЭ	До 10 февраля
Осуществлять согласование кадастра	Минприроды России, Минэкономразвития России, Минпромторг России, Минэнерго России, Минтранс России, Минсельхоз России, Росстат, Росреестр, Рослесхоз	В течение 30 календарных дней со дня поступления кадастра из Росгидромета.
Осуществлять перерасчеты выбросов и абсорбции парниковых газов, доработку ОТО и разделов НДК в соответствии с замечаниями, полученными в процессе согласования кадастра	ИГКЭ	ОТО и секторные разделы текста НДК - до 15 марта; Общие разделы текста НДК – до 19 марта
Представлять в Минприроды России кадастр, содержащий данные и оценку объемов антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов за период с 1990 года по год, предшествующий предыдущему, согласованный с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти	Росгидромет	До 25 марта
Осуществлять рассмотрение согласованного федеральными органами исполнительной власти кадастра	Минприроды России	В течение 10 календарных дней со дня поступления кадастра из Росгидромета

ПРИЛОЖЕНИЕ V – Дополнительная информация

V.1 – Национальные коэффициенты выбросов парниковых газов для категорий 1.B.1.a и 1.B.1.b

Используемые в настоящем кадастре национальные коэффициенты выбросов метана от подземной добычи угля и последующих операций с ним и коэффициенты выбросов метана от открытой добычи угля и последующих операций с ним основаны на результатах следующих исследований (Тайлаков и др., 2009, Бердин и др. 2024). Результаты исследований (Тайлаков и др. 2009) были использованы для оценки выбросов за период с 1990 по 2000 г., а результаты (Бердин и др. 2024) для оценки выбросов за период с 2017 г., между данными периодами проведена линейная интерполяция коэффициентов выбросов. Ниже описана методика разработки коэффициентов выбросов (Тайлаков и др. 2009). При проведении данного исследования использовались исходные технические данные, полученные от угледобывающих компаний, справочные данные по характеристикам угледобывающих бассейнов и месторождений Российской Федерации, разработка которых началась в советское время (Газоносность, 1979), а также техническая информация по технологиям разработки угольных месторождений (Малышев, Айруни, 1999). Использование таких источников согласуется с приведенными в 1 томе Руководящих принципов МГЭИК (МГЭИК, 2006), рекомендациями по использованию достоверных, прозрачных и рецензируемых источников данных при разработке национальных коэффициентов.

Выбросы метана от подземной добычи угля

Методика разработки коэффициентов выбросов метана от подземной добычи угля основывалась (Тайлаков и др., 2009), на использовании данных компаний-операторов шахт по абсолютной метанообильности шахт ($\text{м}^3/\text{год}$), данных компаний по метаноносности угольных бассейнов (Газоносность, 1979), $\text{м}^3/\text{т}$, и данных по относительной метанообильности шахт ($\text{м}^3/\text{т}$).

Для оценки выбросов метана от подземных угольных шахт использовались следующие формулы:

$$E_{\text{CH}_4} = \sum (A_m * CF_{\text{CH}_4}), \quad (\text{V.1.1})$$

где:

E_{CH_4} – величина эмиссии CH_4 , тыс.т;
 A_m – абсолютная метанообильность угольной шахты, $\text{м}^3 * \text{год}^{-1}$;
 CF_{CH_4} – коэффициент пересчета объемных долей CH_4 в весовые, равный $0,67 * 10^{-6}$ тыс.т $\cdot \text{м}^{-3}$ при плотности метана в условиях $T = 20^\circ\text{C}$ и давлении 1 атм. (МГЭИК, 2006), и:

$$E_{\text{CH}_4} = \sum (1,15 * C_m * M_c * CF_{\text{CH}_4}), \quad (\text{V.1.2})$$

где:

E_{CH_4} – величина эмиссии CH_4 , тыс.т;
 C_m – метаноносность угольного пласта, $\text{м}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{т}^{-1}$;
 M_c – масса добытого угля, т;
 CF_{CH_4} – коэффициент пересчета объемных долей CH_4 в весовые, равный $0,67 * 10^{-6}$ тыс.т $\cdot \text{м}^{-3}$ при плотности метана в условиях $T = 20^\circ\text{C}$ и давлении 1 атм. (МГЭИК, 2006).

Для шахт, по которым имелись данные по относительной или абсолютной метанообильности расчёт выполнялся по формуле (V.1.1). В случаях, когда данные для конкретной шахты по метанообильности отсутствовали, использовались данные шахт того же угольного бассейна

или шахт, добывающих уголь схожего марочного состава. Расчет выполнялся по средней метанообильности этих шахт, с учётом данных справочной литературы о марочном составе углей и принадлежности шахт к угольным бассейнам (Газоносность, 1979).

Если величины метанообильности угольных шахт и соседних месторождений были неизвестны, оценка выбросов CH_4 производилась по формуле (V.1.2) на основе данных метаноносности угольных пластов (Газоносность, 1979). Коэффициент 1,15 в формуле (V.1.2) использовался для учета дополнительной эмиссии метана из пластов-спутников, которая составляла в среднем 15% от эмиссии угольного пласта.

При разработке коэффициентов учитывались данные о технологиях дегазации шахт, при которых метан, поступающий в подземные выработки из угольных пластов, удаляется при помощи систем дегазации, принудительной вентиляции и систем управления газовыделением в целях обеспечения безопасности (Малышев, Айруни, 1999). При этом часть удаленного метана утилизируется путем его сжигания для получения тепловой энергии. В настоящее время шахтный метан в России утилизируется на шахтах Печорского бассейна и отдельными предприятиями; данные об утилизации учитываются при ежегодной оценке выбросов от подземной добычи угля в национальном кадастре.

Оценка выбросов метана от последующих операций с углём, добытым подземным способом проводилась по формуле:

$$E_{\text{CH}_4} = \sum (C_m * M_c * E_{\text{FCH}_4} * C_{\text{FCH}_4}), \quad (\text{V.1.3})$$

где:

E_{CH_4} – величина эмиссии CH_4 , тыс.т;

C_m – метаноносность угольного пласта, $\text{м}^3 \text{CH}_4 * \text{т}^{-1}$;

M_c – масса добытого угля, т;

E_{FCH_4} – коэффициент эмиссии метана при последующих операциях;

C_{FCH_4} – коэффициент пересчета объемных долей CH_4 в весовые, равный $0,67 * 10^{-6}$ тыс.т $\cdot \text{м}^{-3}$ при плотности метана в условиях $T = 20^\circ\text{C}$ и давлении 1 атм. (МГЭИК, 2006).

Величины метаноносности угольных пластов были взяты из справочной литературы (Газоносность, 1979). Выбросы метана от некоторых шахт Северного региона (Печорский угольный бассейн) рассчитывались с применением коэффициента выбросов метана 10% от общего объёма метана в добытом угле ($C_m * M_c$), так как на данных шахтах применяется предварительная дегазация угольных пластов (Тайлаков и др., 2009). Для остальных шахт применялся коэффициент эмиссии метана, приведённый в рецензируемых источниках (МГЭИК 2000).

Выбросы метана от открытой добычи угля

Оценка выбросов метана от открытой добычи угля на разрезах проводилась по формуле:

$$E_{\text{CH}_4} = \sum (C_m * M_c * C_{\text{FCH}_4}), \quad (\text{V.1.4})$$

где:

E_{CH_4} – величина эмиссии CH_4 , тыс.т;

C_m – метаноносность угольного пласта, $\text{м}^3 \text{CH}_4 * \text{т}^{-1}$;

M_c – масса добытого на разрезе угля, т;

C_{FCH_4} – коэффициент пересчета объемных долей CH_4 в весовые, равный $0,67 * 10^{-6}$ тыс.т $\cdot \text{м}^{-3}$ при плотности метана в условиях $T = 20^\circ\text{C}$ и давлении 1 атм.

Анализ геологических данных, например, одной из крупных угледобывающей компаний России «Кузбассразрезуголь», в состав которой входит большая часть угольных разрезов Кузбасса, показал, что десорбционные свойства угольных пластов, обрабатываемых разрезами, исследованы недостаточно. Поэтому их метаноносность (C_m) определялась по данным о марочном составе углей, добываемых на отдельных разрезах, и соответствии газоносности пластов определенному марочному составу и глубине залегания (Газоносность, 1979).

При открытой добыче угля последующие выбросы метана незначительны, поскольку он весь выделяется в атмосферу во время вскрытия и разработки угольного пласта (МГЭИК,

2000). Соответственно, эмиссия метана от последующих операций с углем, добытым открытым способом оценивается с применением коэффициентов, приведённых в Руководящих принципах (МГЭИК, 2006).

В исследовании (Бердин и др., 2024) вышеупомянутые коэффициенты были обновлены для отдельных федеральных округов Российской Федерации в связи с модернизацией оборудования на угольных шахтах и разрезах, расширения и интенсификации дегазации пластов, внедрения новых стандартов по технологиям угледобычи, а также закрытия шахт с большим содержанием метана в пластах). Методика разработки новых национальных коэффициентов во многом аналогична выше приведённой. Более детальная информация приведена в публикации (Бердин и др. 2024).

Для выполнения расчетов выбросов метана от подземной и открытой добычи угля по формулам (V.1.2 – V.1.4) необходимы данные о добыче угля, которые были взяты из отчетности о производственной деятельности отдельных угольных шахт и разрезов территории Российской Федерации, а также шахт, разрабатываемых Россией в порядке концессии на о. Шпицберген.

Коэффициенты выбросов метана

Коэффициенты выбросов метана от подземной и открытой добычи угля, применяемые в национальном кадастре были получены следующим образом:

1. Были произведены расчёты выбросов CH_4 по каждому разрезу и шахте согласно вышеприведённой методике (использовались данные более 90 шахт и более 100 угольных разрезов);
2. Результаты расчётов были агрегированы по угольным бассейнам и соответствующим федеральным округам.
3. На основе суммарной добычи угля и рассчитанных выбросов метана определялись удельные выбросы метана на тонну добытого угля по каждому федеральному округу.

В национальном кадастре применяются коэффициенты выбросов метана, полученные для федеральных округов, согласно п. 3 выше. Для оценки выбросов метана от добычи угля используются ежегодные данные статистики по федеральным округам в которых ведется угледобыча: Центральному, Северо-Западному, Южному, Приволжскому, Уральскому, Сибирскому, Дальневосточному.

Таким образом, национальные коэффициенты выбросов метана от подземной и открытой добычи угля, применяемые в национальном кадастре, разработаны на основе рецензируемых открытых литературных источников (Бердин и др., 2024, Тайлаков и др., 2009; Малышев, Айруни, 1999; Газоносность, 1979). Коэффициенты учитывают средние данные характеристик угольных бассейнов и марочный состав добываемых в России углей, полученные на основе данных отдельных разрезов и шахт, что соответствует 2 уровню МГЭИК.

Разработка национальных коэффициентов выбросов метана от добычи угля выполнялась в соответствии с принципами, приведёнными для разработки коэффициентов выбросов парниковых газов уровня 2 Руководящих принципов МГЭИК (МГЭИК, 2006). Разработанные национальные коэффициенты более точно отражают уровень выбросов метана от угледобычи в России, по сравнению с коэффициентами по умолчанию приведёнными в (МГЭИК, 2006).

V.2 – Национальные коэффициенты выбросов парниковых газов для категорий 1.B.2.a, 1.B.2.b, 1.B.2.c

Категория 1.B.2.a.2

Категория выбросов от добычи и подготовки нефти 1.B.2.a.2 являлась ключевой в национальном кадастре за период 1990 – 2021 гг.: в 2021 г., суммарные выбросы от продувок и утечек в данной подкатегории составили 36,14 млн. т. CO₂ экв.

В ходе выполнения важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ), утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2022 г. № 3240-р. в 2024 г. были разработаны новые национальные коэффициенты выбросов CO₂ и CH₄ от утечек и продувок при добыче и подготовке нефти.

Исходные данные

Для разработки коэффициентов выбросов был проведен анализ выборки месторождений, данные которой считались бы представительными в целом для Российской Федерации. Так как добыча нефти осуществляется в разных субъектах Российской Федерации, объединённых несколькими нефтегазоносными провинциями, которые приблизительно по границам соответствуют макрорегионам России, было принято решение о выделении групп месторождений, которые бы релевантно отображали бы удельные выбросы парниковых газов в каждом макрорегионе.

Всего, для разработки коэффициентов было отобрано 18 месторождений на разных стадиях разработки, с разным газовым фактором, и видом запасов из разных макрорегионов.

По каждому месторождению за каждый год с 2019 по 2021 производился сбор следующих данных:

- выбросы метана как загрязняющего вещества;
- средний состав добываемого попутного нефтяного газа;
- газовый фактор месторождения;
- добыча всех видов углеводородного сырья;
- технологические потери попутного нефтяного газа.

Данные о выбросах метана как загрязняющего вещества представляют собой результаты расчетов по апробированным методикам, перечень которых официально утверждён Министерством природных ресурсов Российской Федерации. Все данные, использованные для разработки коэффициентов, были получены от компаний-операторов месторождений и являются конфиденциальными.

Методика расчёта коэффициентов

Расчёт коэффициента выбросов CH₄ от добычи и подготовки нефти проводился по следующей формуле:

$$EF_{\text{доб.нефти,CH}_4,y} = \frac{\sum_i E_{\text{CH}_4,3B,I,y}}{\sum_i Q_{\text{доб нефти},i,y}}; \quad (\text{V.2.1})$$

где:

$E_{\text{CH}_4,3B,I,y}$ – выбросы метана как загрязняющего вещества на i -м месторождении в год y , тыс. т;

$Q_{\text{доб нефти},i,y}$ – добыча нефти на i -м месторождении в год y , тыс. м³;

Согласно данным исследований в составе попутного нефтяного газа в России присутствует и CH₄ и CO₂. Было принято допущение, что все прямые выбросы CO₂ в атмосферу происходят вместе с CH₄ в составе попутного нефтяного газа (далее ПНГ). Учитывая это, расчёт коэффициента выбросов CO₂ производился через расчёт выбросов ПНГ по данным о выбросах CH₄, и объёмных долях CO₂ и CH₄ в составе ПНГ:

$$EF_{\text{доб.нефти,CO}_2,y} = \frac{\sum_i ((E_{\text{CH}_4,3B,I,y} \div (w_{\text{CH}_4,\text{ПНГ},i,y} \times 10^{-2}) \div p_{\text{CH}_4}) \times (w_{\text{CO}_2,\text{ПНГ},i,y} \times 10^{-2}) \times P_{\text{CO}_2})}{\sum_i Q_{\text{доб нефти},i,y}}; \quad (\text{V.2.2})$$

где:

$(E_{CH_4,3B,I,y} \div (w_{CH_4,ПНГ,y} \times 10^{-2}) \div p_{CH_4})$ – выбросы ПНГ, тонн;
 w_{CH_4} – объёмная доля CH_4 в составе ПНГ i -го месторождения в год y ;
 p_{CH_4} – плотность CH_4 по данным (Минприроды России, 2022), т/ тыс. m^3 ;
 $w_{CO_2,ПНГ,y}$ – объёмная доля CO_2 в составе ПНГ i -го месторождения в год y ;
 p_{CO_2} – плотность CO_2 (Минприроды России, 2022), т/ тыс. m^3 .

Полученные коэффициенты для каждого года усреднялись между собой по данным о добыче нефти на месторождениях для получения средневзвешенных среднемноголетних коэффициентов выбросов.

Разработанные национальные коэффициенты выбросов парниковых газов от добычи нефти релевантны для периода с 2017 г., так как учитывают уровень технологического развитие месторождений в 2019, 2020 и 2021 г. Для корректного отображения динамики выбросов и развития нефтяной отрасли с 1990 года, был восстановлен временной ряд коэффициентов выбросов по отношению: технологические потери ПНГ / добыча нефти (далее – удельные технологические потери ПНГ).

Согласно Методическим рекомендациям по определению и обоснованию технологических потерь природного газа, газового конденсата и попутного газа при добыче, технологически связанных с принятой схемой и технологией разработки месторождения утверждённых Минэнерго России, технологические потери ПНГ происходят в результате:

- опорожнения трубопроводов и технологического оборудования системы сбора и подготовки нефти перед проведением ремонтных работ;
- дегазации технологических жидкостей;
- уноса жидкостью;
- отбора проб;
- и обслуживания предохранительных клапанов.

Нормативы технологических потерь ежегодно утверждаются Минэнерго по данным операторов месторождений. В таблице V.2.1 приведены данные по удельным технологическим потерям ПНГ, рассчитанным на основе данных федеральной статистики.

Таблица V.2.1

Удельные технологические потери ПНГ, тыс. m^3 /тыс. m^3 добытой нефти

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2022
1,3 ⁽¹⁾	2,6 ⁽¹⁾	1,6 ⁽¹⁾	1,7 ⁽²⁾	1,4 ⁽²⁾	0,5 ⁽²⁾	0,4 ⁽²⁾

⁽¹⁾ – данные экстраполированы назад через объем добычи ПНГ;

⁽²⁾ – рассчитано по данным Росстата; информация с 2022 г. формируется в соответствии с Федеральным планом статистических работ Минэнерго России.

Результаты расчёта коэффициентов

В таблице V.2.2 приведены результаты расчёта коэффициентов выбросов и их сравнение с коэффициентами (МГЭИК 2006).

Таблица V.2.2

Национальные коэффициенты выбросов от добычи и подготовки нефти и их сравнение с коэффициентами выбросов МГЭИК 2006.

Источник	CH_4 Гг· $10^{-3}m^{-3}$	Неопределённость	CO_2 Гг· $10^{-3}m^{-3}$	Неопределённость
МГЭИК 2006	$1,8 \cdot 10^{-3(1)}$	±100%	$1,3 \cdot 10^{-4(1)}$	±100%
	$7,2 \cdot 10^{-4(2)}$		$9,5 \cdot 10^{-5(2)}$	
Результаты	$2,74 \cdot 10^{-4(3)}$	±47%	$7,6 \cdot 10^{-6(3)}$	±45%

⁽¹⁾⁽²⁾ – коэффициенты выбросов при утечках⁽¹⁾ и продувках⁽²⁾ при добыче обычной нефти на суше, приведённые в руководящих принципах МГЭИК 2006;

⁽³⁾ – разработанные национальные коэффициенты применимы для периода с 2017 г.

Из таблицы V.2.2 следует, что значения разработанных национальных коэффициентов выбросов и их неопределённость значительно ниже использованных ранее средних коэффициентов выбросов для утечек и коэффициентов выбросов для продувок, приведённых в таблице 4.2.4 тома 2, главы 4 Руководящих принципов МГЭИК 2006 (далее - коэффициенты МГЭИК 2006), однако они входят в диапазон упоминаемых коэффициентов. Учитывая выше сказанное, можно предположить, что использование ранее средних значений из диапазона приводимых коэффициентов МГЭИК 2006 приводило к завышению оценок выбросов парниковых газов от добычи и подготовки нефти и газового конденсата, в то время как применение национальных коэффициентов уточнило данные оценки, которые согласуются с диапазоном значений, приведённых в Руководящих принципах МГЭИК 2006.

В таблице V.2.3 приведены результаты восстановления коэффициентов выбросов для оценки всего временного ряда.

Таблица V.2.3

Восстановленные национальные коэффициенты выбросов для всего временного ряда, начиная с 1990 года, Гг/тыс. м³.

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2022
CH ₄	9,6*10 ⁻⁴	1,9*10 ⁻³	1,2*10 ⁻³	1,2*10 ⁻³	1,0*10 ⁻³	3,8*10 ⁻⁴	2,7*10 ⁻⁴
CO ₂	2,7*10 ⁻⁵	5,4*10 ⁻⁵	3,3*10 ⁻⁵	3,5*10 ⁻⁵	2,9*10 ⁻⁵	1,1*10 ⁻⁵	7,6*10 ⁻⁶

Из таблицы V.2.3 видно, что динамика разработанных коэффициентов выбросов отображает основные этапы технологического развития нефтяной отрасли такие как:

- воздействие кризисных явлений в экономике в 1990-е годы;
- реструктуризация отрасли, восстановление и увеличение нефтедобычи на старых месторождениях в 2000-2010;
- введение законодательных ограничений на нерациональную утилизацию ПНГ в 2012 г.;
- постепенная технологическая модернизация нефтедобычи на месторождениях, начиная с 2015 года.

Категории 1.B.2.b.2/3/4, 1.B.2.c2.ii

Для операций с природным газом в кадастре используются следующие национальные коэффициенты:

- коэффициенты выбросов метана и диоксида углерода от добычи и подготовки, и магистрального транспорта природного газа (Dedikov et. al., 1999; Uvarova et. al., 2017);
- коэффициенты выбросов метана и диоксида углерода от добычи и подготовки, и факельного сжигания природного газа (Ишков и др., 2025)
- коэффициенты выбросов метана и диоксида углерода от магистрального транспорта газа, применённые для временного ряда с 2017 г. (Метан и климатические изменения, 2022).
- коэффициенты выбросов метана и диоксида углерода от магистрального транспорта газа, применённые для временного ряда с 2019 г. (Ишков и др., 2024).

Первые из упоминаемых выше национальных коэффициентов (Uvarova et. al., 2017; Dedikov et. al., 1999) разработаны по данным исследований, проводившихся в 1999 году на газодобывающих объектах одной из крупнейших газодобывающих компаний ООО «Газпромдобыча Ямбург» и на объектах ООО «Волготрансгаз» - одного из крупнейших дочерних обществ единого оператора всей газотранспортной сети России ПАО «Газпром» (далее – Компания). Учитывая, что ООО «Газпром добыча Ямбург» является одним из крупнейших газодобывающих компаний страны, а ООО «Волготрансгаз» (в настоящее время ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» входит в состав газотранспортных обществ Компании, обслуживающих единую газотранспортную систему России, действующую по единым стандартам, данные полученные в ходе проведённых исследований были экстраполированы на всю операционную деятельность по добыче и транспортировке природного газа в России.

Вторые из упомянутых коэффициентов (Ишков и др. 2025) разработаны по данным корпоративной отчётности ПАО «Газпром» о выбросах метана как загрязняющего вещества на газодобывающих объектах (форма 2ТП воздух) и выбросах метана как парникового газа (форма 49-год).

Данные из указанных форм были собраны за каждый год с 2012 по 2021 год по дочерним компаниям ПАО «Газпром», которые являются операторами газовых месторождений, доля которых в добыче газа в целом по Компании составляет более 99%, а по Российской Федерации более 60%. Благодаря комбинированию данных формы 2ТП воздух и 49-год возможно получить наиболее цельную оценку фугитивных выбросов от утечек и продувок при добыче газа. Коэффициенты выбросов от факельного сжигания были разработаны по данным формы 49-год. В кадастре применялись средние значения коэффициентов, полученные за указанный период, однако в будущем планируется проведение анализа динамики выбросов метана и релевантности использования ежегодных значений коэффициентов с 2012 года.

Коэффициенты (Метан, 2022) были разработаны на основе фактических данных о деятельности единой газотранспортной системы, полученных от ПАО «Газпром» по всей стране для периода с 2010 по 2018 год. Однако, в 2019 году Компанией внедрена технология сохранения транспортируемого по трубопроводам газа при их ремонте с использованием мобильных компрессорных станций (МКС). Технология заключается в перекачке газа из планируемого к ремонту участка газопровода в соседнюю нитку с помощью компрессоров, установленных на специальном транспорте. Объемы сохранения с 2019 года составили более 1 млрд м³ из-за чего выбросы от утечек уменьшились. По данным Компании с 2019 по 2022 год были разработаны новые коэффициенты летучих выбросов CO₂ и CH₄ от магистрального транспорта газа (Ишков и др. 2024).

Все перечисленные коэффициенты были разработаны согласно Руководящим принципам МГЭИК 2006: в них учитываются потери природного газа на газодобывающих и газотранспортных объектах, включая потери, направляемые на факельное сжигание, доли CH₄ и CO₂ в составах добываемого и транспортируемого в Российской Федерации газа и доли компаний в общем объеме операционной деятельности в стране. Значения неопределенности коэффициентов ниже аналогичных параметров для коэффициентов из Руководящих принципов МГЭИК 2006 (Dedikov et al., 1999; Уварова и др., 2017; Uvarova et al., 2017; Метан и климатические изменения, 2022, Ишков. и др., 2024, Ишков и др. 2025). Также следует отдельно отметить, что в Компании существуют действующие стандарты организации (СТО), в соответствии с которыми осуществляется расчёт технологических потерь газа на газодобывающих (РД 153-39.0-111-2001) и газотранспортных объектах (СТО Газпром 3.3-2-044-2016).

Специфика технологической деятельности российской газовой отрасли не позволяет определить национальные коэффициенты выбросов от отдельных операций, связанных с добычей и первичной переработкой добытого газа. Поэтому были разработаны единые национальные коэффициенты выбросов CO₂ и CH₄, которые охватывают эмиссию от утечек и газоотведения, связанных с добычей и первичной переработкой добытого газа. Также не представляется возможным разделить эмиссии от утечек и газоотведения при осуществлении магистрального транспорта газа по российской газотранспортной системе. Соответственно разработанные национальные коэффициенты эмиссии включают выбросы и от утечек, и от газоотведения при осуществлении газотранспортных операций (Уварова и др., 2017; Uvarova et al., 2017; Метан, 2022, Ишков и др., 2024, Ишков и др. 2025).

Аналогично разработаны единые коэффициенты эмиссии CO₂ и CH₄, которые охватывают операции неэнергетического сжигания природного газа при его добыче и первичной переработке (Уварова и др., 2017; Uvarova et al., 2017, Ишков и др. 2025).

Таким образом, можно считать, что используемые 10 национальных коэффициентов (по два: EF_{CO2} и EF_{CH4} от утечек и продувок при добыче природного газа, EF_{CO2} и EF_{CH4} для факельного сжигания природного газа (Уварова и др. 2017, Ишков и др. 2025), и EF_{CO2} и EF_{CH4} для транспорта газа до 2000 года/ после 2017 года /после 2019 года (Уварова и др. 2017, Метан, 2022, Ишков и др. 2024) более адекватно отображают выбросы парниковых газов от добычи, подготовки и транспортировки природного газа в России, чем коэффициенты по умолчанию приведенные в Руководящих принципах (МГЭИК, 2006), так как они учитывают характеристики технологических потерь и состава природного газа и их временную динамику на объектах добычи и магистрального транспорта природного газа России (Уварова и др., 2017; Uvarova et al., 2017; Метан, 2022, Ишков и др., 2024, Ишков и др., 2025)

Применяемые национальные коэффициенты для операций с природным газом прошли необходимую апробацию в соответствии с требованиями МГЭИК (МГЭИК, 2006; (Уварова и др., 2017; Uvarova et al., 2017; Метан и климатические изменения, 2022, Ишков и др., 2024, Ишков и др., 2025)

др., 2025). Распределение временных периодов, для которых применялись указанные коэффициенты приведено в таблице 3.43 раздела 3.3.2.4. тома 1 Кадастра.

Применение динамических рядов коэффициентов выбросов обусловлено тем, что с 2000 г. «ПАО» Газпром» начало комплексную программу перевооружения и модернизации газотранспортных объектов, одним из результатов которой стало сокращение выбросов. Также, в 2000 году была принята Концепция энергосбережения Компании на 2001–2010 гг., затем утверждена Концепция энергосбережения и повышения энергоэффективности Компании на период 2011–2020 гг. Мероприятия по сокращению потерь газа прописаны в программах энергосбережения, которые утверждаются ПАО «Газпром» каждые 3 года, кроме того постоянно реализуются программы реконструкции и технического перевооружения объектов транспорта газа, программы комплексного капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов.

Таким образом, на основе данных Компании, осуществляющей более 60% операционной деятельности по добыче и подготовке природного газа и 100% деятельности по его магистральному транспорту в Российской Федерации, были разработаны параметры оценки выбросов почти для всей категории 1.В.2.в. за исключением операций по газораспределению.

В.3 – Оценка фугитивных выбросов парниковых газов от газораспределения с использованием альтернативных данных

Для проведения оценки фугитивных выбросов от газораспределения в национальном кадастре в качестве данных о деятельности в настоящее время используются данные об общем потреблении природного и попутного газа в экономике Российской Федерации. Такая оценка приводит к завышению выбросов, поскольку не весь потребляемый газ попадает в газораспределительные системы, в качестве которых выступают газопроводы среднего и низкого давления. Некоторая часть потребляемого природного и попутного газа используется на собственные нужды газовых промыслов, работу магистральных газопроводов (в этом случае фугитивные выбросы включены в выбросы от транспортировки газа) и на других объектах.

В связи с этим в ИГКЭ была выполнена альтернативная оценка выбросов CO₂ и CH₄, основанная на использовании данных Росстата о поступлении ресурсов природного и попутного газов на предприятия, специализирующимся на газораспределении газа (исключая его добычу). Результаты этой оценки и их сравнение с оценками выбросов, включенными в кадастр, приведены в таблице V.3.1.

Таблица V.3.1

Фугитивные выбросы парниковых газов от газораспределения

	Год							
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Газораспределение, млн. м ³	229682	232926	231370	207599	233043	220688	218218	240947
Выбросы CH ₄ , тыс.т	252,65	256,22	254,51	228,36	256,35	242,76	240,04	265,04
Выбросы CO ₂ , тыс.т	11,71	11,88	11,80	10,59	11,89	11,26	11,13	12,29
Выбросы NMVOC, тыс.т	3,67	3,73	3,70	3,32	3,73	3,53	3,49	3,86
Выброс, CO ₂ -экв. (на основе данных о поступлении газа на предприятия), тыс.т	7086	7186	7138	6405	7190	6808	6732	7433
Выброс, CO ₂ -экв. (на основе данных о потреблении газа), тыс.т	14530	15777	15969	15711	17327	16729	17008	13213,26

Из таблицы V.3.1 видно, что при использовании данных о поступлении ресурсов природного и попутного газа на предприятия оценки выбросов оказываются значительно (примерно в 2 раза) ниже оценок, полученных на основе общего объема использования газа в Российской Федерации. Оценки, выполненные данным методом, могут быть использованы в последующих кадастрах, в том числе и для ретроспективного перерасчета фугитивных выбросов от газораспределения.

Используемые в настоящем кадастре национальные коэффициенты выбросов метана от подземной добычи угля и последующих операциях с ним и коэффициенты выбросов метана от открытой добычи угля и последующих операций с ним основаны на результатах следующих исследований (Тайлаков и др., 2009, Бердин и др. 2024). Результаты исследований (Тайлаков и др. 2009) были использованы для оценки выбросов за период с 1990 по 2000 г., а результаты (Бердин и др. 2024) для оценки выбросов за период с 2017 г., между данными периодами проведена линейная интерполяция коэффициентов выбросов. Ниже описана методика разработки коэффициентов выбросов (Тайлаков и др. 2009). При проведении данного исследования использовались исходные технические данные, полученные от угледобывающих компаний, справочные данные по характеристикам угледобывающих бассейнов и месторождений Российской Федерации (Газоносность, 1979), разработка которых началась в советское время, а также техническая информация по технологиям разработки угольных месторождений (Малышев, Айруни, 1999). Использование таких источников согласуется с приведенными в 1 томе Руководящих принципов МГЭИК (МГЭИК, 2006), рекомендациями по использованию достоверных, прозрачных и рецензируемых источников данных при разработке национальных коэффициентов.

Выбросы метана от подземной добычи угля

Методика разработки коэффициентов выбросов метана от подземной добычи угля основывалась (Тайлаков и др., 2009), на использовании данных компаний-операторов шахт по абсолютной метанообильности шахт ($\text{м}^3/\text{год}$), данных компаний по метаносности угольных бассейнов (Газоносность, 1979), $\text{м}^3/\text{т}$, и данных по относительной метанообильности шахт ($\text{м}^3/\text{т}$).

Для оценки выбросов метана от подземных угольных шахт использовались следующие формулы:

$$E_{\text{CH}_4} = \sum (A_m * CF_{\text{CH}_4}), \quad (\text{V.1.1})$$

где:

E_{CH_4} – величина эмиссии CH_4 , тыс.т;

A_m – абсолютная метанообильность угольной шахты, $\text{м}^3 * \text{год}^{-1}$;

CF_{CH_4} – коэффициент пересчета объемных долей CH_4 в весовые, равный $0,67 * 10^{-6}$ тыс.т $\cdot \text{м}^{-3}$ при плотности метана в условиях $T = 20^\circ\text{C}$ и давлении 1 атм. (МГЭИК, 2006), и:

$$E_{\text{CH}_4} = \sum (1,15 * C_m * M_c * CF_{\text{CH}_4}), \quad (\text{V.1.2})$$

где:

E_{CH_4} – величина эмиссии CH_4 , тыс.т;

C_m – метаносность угольного пласта, $\text{м}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{т}^{-1}$;

M_c – масса добытого угля, т;

CF_{CH_4} – коэффициент пересчета объемных долей CH_4 в весовые, равный $0,67 * 10^{-6}$ тыс.т $\cdot \text{м}^{-3}$ при плотности метана в условиях $T = 20^\circ\text{C}$ и давлении 1 атм. (МГЭИК, 2006).

Для шахт, по которым имелись данные по относительной или абсолютной метанообильности расчёт выполнялся по формуле (V.1.1). В случаях, когда данные для конкретной шахты по метанообильности отсутствовали, использовались данные шахт того же угольного бассейна или шахт, добывающих уголь схожего марочного состава. Расчет выполнялся по средней метанообильности этих шахт, с учётом данных справочной литературы о марочном составе углей и принадлежности шахт к угольным бассейнам (Газоносность, 1979).

Если величины метанообильности угольных шахт и соседних месторождений были неизвестны, оценка выбросов CH_4 производилась по формуле (V.1.2) на основе данных метаносности угольных пластов (Газоносность, 1979). Коэффициент 1,15 в формуле (V.1.2) использовался для учета дополнительной эмиссии метана из пластов-спутников, которая составляла в среднем 15% от эмиссии угольного пласта.

При разработке коэффициентов учитывались данные о технологиях дегазации шахт, при которых метан, поступающий в подземные выработки из угольных пластов, удаляется при помощи систем дегазации, принудительной вентиляции и систем управления газовойделением в целях обеспечения безопасности (Малышев, Айруни, 1999). При этом часть удаленного метана утили-

зируется путем его сжигания для получения тепловой энергии. В настоящее время шахтный метан в России утилизируется на шахтах Печорского бассейна и отдельными предприятиями; данные об утилизации учитываются при ежегодной оценке выбросов от подземной добычи угля в национальном кадастре.

Оценка выбросов метана от последующих операций с углём, добытым подземным способом проводилась по формуле:

$$E_{\text{CH}_4} = \sum (C_m * M_c * E_{\text{FCH}_4} * C_{\text{FCH}_4}), \quad (\text{V.1.3})$$

где:

- E_{CH_4} – величина эмиссии CH_4 , тыс.т;
- C_m – метаноносность угольного пласта, $\text{м}^3 \text{CH}_4 * \text{т}^{-1}$;
- M_c – масса добытого угля, т;
- E_{FCH_4} – коэффициент эмиссии метана при последующих операциях;
- C_{FCH_4} – коэффициент пересчета объемных долей CH_4 в весовые, равный $0,67 * 10^{-6}$ тыс.т $\cdot \text{м}^{-3}$ при плотности метана в условиях $T = 20^\circ\text{C}$ и давлении 1 атм. (МГЭИК, 2006).

Величины метаноносности угольных пластов были взяты из справочной литературы (Газоносность, 1979). Выбросы метана от некоторых шахт Северного региона (Печорский угольный бассейн) рассчитывались с применением коэффициента выбросов метана 10% от общего объёма метана в добытом угле ($C_m * M_c$), так как на данных шахтах применяется предварительная дегазация угольных пластов (Тайлаков и др., 2009). Для остальных шахт применялся коэффициент эмиссии метана, приведённый в рецензируемых источниках (МГЭИК 2000).

Выбросы метана от открытой добычи угля

Оценка выбросов метана от открытой добычи угля на разрезах проводилась по формуле:

$$E_{\text{CH}_4} = \sum (C_m * M_c * C_{\text{FCH}_4}), \quad (\text{V.1.4})$$

где:

- E_{CH_4} – величина эмиссии CH_4 , тыс.т;
- C_m – метаноносность угольного пласта, $\text{м}^3 \text{CH}_4 * \text{т}^{-1}$;
- M_c – масса добытого на разрезе угля, т;
- C_{FCH_4} – коэффициент пересчета объемных долей CH_4 в весовые, равный $0,67 * 10^{-6}$ тыс.т $\cdot \text{м}^{-3}$ при плотности метана в условиях $T = 20^\circ\text{C}$ и давлении 1 атм.

Анализ геологических данных, например, одной из крупных угледобывающей компаний России «Кузбассразрезуголь», в состав которой входит большая часть угольных разрезов Кузбасса, показал, что десорбционные свойства угольных пластов, отрабатываемых разрезами, исследованы недостаточно. Поэтому их метаноносность (C_m) определялась по данным о марочном составе углей, добываемых на отдельных разрезах, и соответствии газоносности пластов определённому марочному составу и глубине залегания (Газоносность, 1979).

При открытой добыче угля последующие выбросы метана незначительны, поскольку он весь выделяется в атмосферу во время вскрытия и разработки угольного пласта (МГЭИК, 2000). Соответственно, эмиссия метана от последующих операций с углём, добытым открытым) способом оценивается с применением коэффициентов, приведённых в Руководящих принципах (МГЭИК, 2006).

В исследовании (Бердин и др., 2024) вышеупомянутые коэффициенты были обновлены для отдельных федеральных округов Российской Федерации в связи с модернизацией оборудования на угольных шахтах и разрезах, расширения и интенсификации дегазации пластов, внедрения новых стандартов по технологиям угледобычи, а также закрытия шахт с большим содержанием метана в пластах). Методика разработки новых национальных коэффициентов во многом аналогична выше приведённой. Более детальная информация приведена в публикации (Бердин и др. 2024).

Для выполнения расчетов выбросов метана от подземной и открытой добычи угля по формулам (V.1.2 – V.1.4) необходимы данные о добыче угля, которые были взяты из отчетности о производственной деятельности отдельных угольных шахт и разрезов территории Российской Федерации, а также шахт, разрабатываемых Россией в порядке концессии на о. Шпицберген.

Коэффициенты выбросов метана

Коэффициенты выбросов метана от подземной и открытой добычи угля, применяемые в национальном кадастре были получены следующим образом:

4. Были произведены расчёты выбросов CH_4 по каждому разрезу и шахте согласно вышеприведённой методике (использовались данные более 90 шахт и более 100 угольных разрезов);
5. Результаты расчётов были агрегированы по угольным бассейнам и соответствующим федеральным округам.
6. На основе суммарной добычи угля и рассчитанных выбросов метана определялись удельные выбросы метана на тонну добытого угля по каждому федеральному округу.

В национальном кадастре применяются коэффициенты выбросов метана, полученные для федеральных округов, согласно п. 3 выше. Для оценки выбросов метана от добычи угля используются ежегодные данные статистики по субъектам Российской Федерации, агрегированные по федеральным округам в которых ведется угледобыча: Центральному, Северо-Западному, Южному, Приволжскому, Уральскому, Сибирскому, Дальневосточному.

Таким образом, национальные коэффициенты выбросов метана от подземной и открытой добычи угля, применяемые в национальном кадастре, разработаны на основе рецензируемых открытых литературных источников (Тайлаков и др., 2009; Малышев, Айруни, 1999; Газоносность, 1979). Коэффициенты учитывают средние данные характеристик угольных бассейнов и марочный состав добываемых в России углей, полученные на основе данных отдельных разрезов и шахт, что соответствует 2 уровню МГЭИК.

Разработка национальных коэффициентов выбросов метана от добычи угля выполнялась в соответствии с принципами, приведёнными для разработки коэффициентов выбросов парниковых газов уровня 2 Руководящих принципов МГЭИК (МГЭИК, 2006). Разработанные национальные коэффициенты более точно отражают уровень выбросов метана от угледобычи в России, по сравнению с коэффициентами по умолчанию, приведёнными в (МГЭИК, 2006).

V.4 – Данные по сельскому хозяйству

Таблица V.4.1

Значения коэффициенты переваримости кормов для КРС молочного и мясного направлений

Направление КРС	Вид корма				
	концентраты (без комби- корма)	комбикорма	грубые корма	сочные корма	пастбищные корма
молочное	78,90	82,91	60,61	65,15	64,98
мясное	78,48	82,47	60,29	64,81	64,63

Таблица V.4.2

Средние значения содержания кормовых единиц, сухого вещества и сырого протеина (г) в 1 кг разных видов кормов свиней и пересчетные коэффициенты, по (Шпакова, 1991)³

Вид корма	Кормовые единицы	Сырой протеин, г	Сухое вещество, г	Коэффициент перевариваемо- сти, %	Кормовых еди- ниц в 1 кг су- хого вещества	Сырого протеина в сухом веще- стве, %
Сочные корма						
Среднее	0,23	31,60	276,56	49,53	0,86	13,78
Грубые корма						
Среднее	0,48	114,46	821,51	40,27	0,58	13,83
Концентраты						
Среднее	0,86	171,93	723,76	75,20	1,16	23,51
Комбикорма						
Среднее	0,98	272,93		79,43	1,12	31,14
Животные корма						
Среднее	1,02	285,65	777,70	90,84	1,70	41,73

Таблица V.4.3

Валовой сбор и посевные площади культурных растений, по данным Росстата

Культура	1990	1995	2000	2005	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Валовой сбор, млн. тонн														
Пшеница озимая	32,8	13,8	17,2	29,0	42,1	52,4	62,0	52,9	53,4	63,2	53,0	74,0	63,8	56,7
Пшеница яровая	16,8	16,3	17,3	18,7	19,7	21,0	24,0	19,2	21,1	22,7	23,0	30,2	29,0	25,9
Рожь озимая	16,4	4,1	5,4	3,6	2,1	2,5	2,5	1,9	1,4	2,4	1,7	2,2	1,7	1,2
Рожь яровая	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Кукуруза на зерно	2,5	1,7	1,5	3,1	13,1	15,3	13,2	11,4	14,3	13,9	15,2	15,8	16,6	14,0
Ячмень озимый	3,1	1,3	1,8	1,6	2,1	2,2	2,2	1,8	2,5	2,3	2,9	3,1	2,9	2,7
Ячмень яровой	24,1	14,5	12,3	14,1	15,4	15,8	18,5	15,2	17,9	18,7	15,1	20,3	18,2	14,0
Овес	12,3	8,6	6,0	4,5	4,5	4,8	5,5	4,7	4,4	4,1	3,8	4,5	3,3	3,0
Просо	1,9	0,5	1,1	0,5	0,6	0,6	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,3
Гречиха	0,8	0,6	1,0	0,6	0,9	1,2	1,5	0,9	0,8	0,9	0,9	1,2	1,5	1,2
Рис	0,9	0,5	0,6	0,6	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	0,9	1,1	1,3
Тритикале	включено в валовой сбор пшеницы				0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Сорго	0,06	0,01	0,08	0,03	0,19	0,3	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Зернобобовые	4,9	1,5	1,2	1,6	2,4	2,9	4,3	3,4	3,3	3,4	3,8	4,6	6,0	5,4
Соя	0,7	0,3	0,3	0,7	2,7	3,1	3,6	4,0	4,4	4,3	4,8	6,0	6,8	7,1
Льноволокно	0,07	0,07	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03
Конопля среднерусская	0,01	0,0	0,01	0,0	0,0	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003	0,006
Сахарная свекла	32,3	19,1	14,1	21,3	39,0	51,3	51,9	42,1	54,4	33,9	41,2	48,9	53,1	45,1
Семена подсолнечника ¹⁾	3,4	4,2	3,9	6,5	9,3	11,0	10,5	12,8	15,4	13,3	15,7	16,4	17,3	16,9
Рапс ¹⁾	0,26	0,12	0,15	0,30	1,0	1,0	1,5	2,0	2,1	2,6	2,8	4,5	4,2	4,7
Лен-кудряш ¹⁾	0,02	0,02	0,01	0,03	0,5	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	1,3	1,7	1,2	1,3
Горчица ¹⁾	0,19	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,10	0,12	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1
Прочие масличные культуры ^{1);2)}	0,049	0,003	0,004	0,007	0,253	0,374	0,182	0,080	0,143	0,149	0,192	0,280	0,107	0,106
Прочие технические культуры ³⁾	0,033	0,008	0,013	0,005	0,017	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Картофель	30,8	39,9	29,5	28,1	25,4	22,5	21,7	22,4	22,1	19,6	18,0	18,8	20,2	17,8

Продолжение таблицы V.4.3

Культура	1990	1995	2000	2005	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Овощи	10,3	11,3	10,8	11,3	13,2	13,2	13,6	13,7	14,1	13,9	13,0	13,6	13,8	13,9
бахчевые культуры	1,1	0,6	0,5	0,8	1,8	1,9	1,8	2,0	1,8	1,6	1,9	1,6	1,7	1,6
кукуруза на силос, зеленый корм и сенаж	189,0	88,7	50,7	25,4	28,3	24,0	24,7	25,0	27,2	24,8	22,7	26,8	29,8	31,1
кормовые корнеплоды, включая сахарную свеклу	17,2	5,1	3,1	1,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
прочие кормовые культуры (бахчевые кормовые и кормовые на силос (без кукурузы))	40,4	14,0	9,9	4,9	2,7	2,5	2,8	2,2	2,4	2,1	1,4	1,6	1,4	1,5
сено многолетних трав	25,2	17,3	14,0	11,2	9,0	9,9	9,4	8,7	7,9	8,3	7,0	7,6	6,2	6,7
сено однолетних трав	5,6	2,6	2,0	1,6	2,2	2,7	2,4	2,2	2,3	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0
Посевная площадь, тыс. га														
Пшеница озимая	9 731	8 194	7 933	10 363	13 364	14 041	14 954	15 296	15 835	16 914	15 669	16 723	15695	16191
Пшеница яровая	14 513	15 715	15 272	14 979	13 463	13 668	12 969	11 968	12 256	12 530	13 135	12 790	14059	12332
Рожь озимая	7 989	3 233	3 530	2 333	1291	1262	1180	978	849	980	1033	892	804	632
Рожь яровая	18	14	8	5	1	2	5	2	1	2	3	1	1	1
Кукуруза на зерно	869	643	798	820	2 762	2 887	3 019	2 452	2 593	2 855	2 954	2 852	2668	2696
Ячмень озимый	691	468	534	493	521	560	522	480	621	731	759	660	696	616
Ячмень яровой	13 032	14 242	8 616	8 589	8 344	7 762	7 488	7 845	8 172	7 799	7 417	7 316	7247	6325
Овес	9 100	7 928	4 513	3 325	3 047	2 860	2 887	2 853	2 545	2 421	2 291	2 145	1832	1686
Просо	1 936	698	1 589	499	595	435	265	260	393	446	295	237	295	286
Гречиха	1 278	1 604	1 576	917	957	1 205	1 692	1 045	811	873	981	1 139	1295	1103
Рис	287	171	175	144	202	208	187	182	194	197	190	174	192	209
Тритикале	включено в посевную площадь пшеницы				251	228	175	154	140	111	125	110	98	95
Сорго	67	11	121	22	224	229	141	71	85	81	90	115	57	33
Зернобобовые	3 556	1 784	920	1 103	1 587	1 752	2 221	2 754	2 164	1 960	2 065	2 350	2955	3889
Соя	675	487	421	718	2 131	2 237	2 636	2 949	3 079	2 858	3 068	3 507	3668	4337
Лен-долгунец	418	177	108	96	53	49	48	45	50	53	40	35	36	40
Конопля среднерусская	41	9	17	3	2	3	4	8	10	10	13	13	11	16
Сахарная свекла	1 460	1 085	805	799	1 021	1 107	1 198	1 127	1 145	926	1 004	1 027	1064	1169
Подсолнечник	2 739	4 127	4 643	5 568	7 013	7 607	7 994	8 160	8 584	8 545	9 753	10 121	9869	9811
Рапс	257	276	232	244	1 022	980	1 005	1 576	1 547	1 488	1 685	2 343	2112	2737
Лен-кудряш	43	5	22	31	642	709	569	746	816	1 030	1 564	2 093	1410	1671

Продолжение таблицы V.4.3

Культура	1990	1995	2000	2005	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Горчица	226	247	162	107	192	181	157	334	374	201	213	245	432	221
Прочие масличные культуры ²⁾	67	7	9	12	519	608	271	176	215	275	340	419	207	187
Прочие технические культуры ³⁾	184	55	39	38	130	140	79	54	77	97	132	115	97	123
Картофель	3 124	3 409	2 834	2 277	1 562	1 441	1 350	1 325	1 255	1 188	1 107	1 102	1075	1010
Овощи	618	758	744	641	563	551	535	526	517	512	479	482	481	471
Бахчевые культуры	146	117	133	95	181	170	152	140	128	104	112	94	93	93
Кукуруза на силос, зеленый корм и сенаж	10 089	6 147	3 668	1 570	1 382	1 245	1 365	1 307	1 267	1 258	1 289	1 383	1335	1327
Кормовые корнеплоды, включая сахарную свеклу	732	243	151	70	26	22	20	18	17	16	15	14	13	13
Прочие кормовые культуры (бахчевые кормовые и кормовые на силос (без кукурузы))	2 818	1 765	1 082	481	289	254	262	255	239	178	152	134	133	140
Многолетние травы	18 287	19 518	18 046	14 557	10 760	10 717	10 588	10 558	10 196	9 927	9 346	8 813	8591	8229
Однолетние травы	12 612	9 350	5 946	4 930	4 536	4 187	4 107	3 986	3 706	3 373	3 055	2 833	2929	2799
Кормовые угодья ⁴⁾	80 139	78 669	72 642	70 482	70 648	70 789	70 952	70 966	71 183	71011	70 899	71 020	71143	72890

¹⁾ До 2011 года – в первоначально оприходованном весе, с 2011 г. – в весе после доработки,

²⁾ Прочие масличные включают рыжик, клецевина, кунжут, сафлор, арахис, мак масличный, сурепица, перилла, ляллеманция,

³⁾ Прочие технические включают табак, цикорий, хлопок, махорка, конопля южная, лекарственные культуры, эфирно-масличные и прочие культуры,

⁴⁾ По данным Росреестра

⁵⁾ без Республики Крым

Таблица V.4.4

Поголовье коров в хозяйствах всех категорий по регионам Российской Федерации
по состоянию на 1 января, тыс. голов, по данным Росстата

Субъект Российской Федерации	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Белгородская область	150,8	115,5	90,3	87,3	88,2	88,2	93,8	97,1	93,9	94,0	93,0	88,9
Брянская область	134,2	96,5	155,2	176,7	189,5	195,4	199,6	196,3	205,3	214,1	221,5	198,3
Владимирская область	70,7	59,4	58,6	58,6	56,7	57,1	58,2	58,2	57,4	56,5	56,5	57,2
Воронежская область	181,8	145,6	179,5	181,3	176,7	178,5	183,0	186,2	183,4	176,1	172,2	163,2
Ивановская область	52,1	38,3	29,4	29,1	29,1	28,2	27,3	26,4	27,2	26,2	26,1	25,6
Калужская область	73,7	55,5	53,2	56,1	57,6	66,2	74,1	86,9	99,4	107,8	113,0	110,9
Костромская область	53,8	36,0	25,7	24,7	23,9	23,4	22,0	21,6	21,5	20,6	20,8	20,9
Курская область	148,2	91,0	67,6	62,6	60,9	57,0	53,4	57,1	54,9	59,3	60,7	58,0
Липецкая область	96,9	57,8	48,8	49,0	48,0	45,2	44,6	43,4	43,4	44,2	44,0	42,8
Московская область ¹⁾	181,6	136,0	107,7	103,8	101,7	102,7	99,2	95,2	99,3	98,9	98,4	91,0
Орловская область	94,2	56,2	41,1	39,0	39,1	41,5	42,8	42,0	42,7	44,0	43,3	42,3
Рязанская область	129,9	79,8	68,1	67,3	66,3	66,6	63,4	69,9	70,0	72,0	72,9	74,3
Смоленская область	118,4	75,8	50,6	47,0	48,7	53,4	53,8	60,0	57,7	56,9	55,5	38,4
Тамбовская область	95,9	54,9	46,4	41,4	39,6	39,2	38,6	37,9	36,8	35,8	34,8	33,0
Тверская область	129,7	87,9	52,5	50,8	49,7	48,8	46,3	44,6	43,0	38,8	38,0	38,7
Тульская область	91,2	48,4	35,3	34,5	31,4	35,4	41,8	48,7	59,5	60,8	62,0	58,2
Ярославская область	91,2	67,7	53,9	52,5	54,4	51,9	52,7	50,2	50,1	49,8	51,3	51,8
Республика Карелия	16,2	13,4	10,6	10,7	10,7	9,7	10,1	10,0	9,1	8,9	9,1	9,0
Республика Коми	26,4	19,0	15,6	15,3	14,8	14,4	14,2	13,6	13,2	12,8	12,4	12,3
Архангельская область	37,4	28,2	21,5	21,4	21,1	20,9	20,5	20,3	20,1	19,7	19,2	18,9
Вологодская область	113,0	93,5	76,1	75,8	75,7	76,4	77,0	76,3	76,7	75,4	75,0	75,4

¹⁾ Включая г. Москва

Продолжение таблицы V.4.4

Субъект Российской Федерации	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Калининградская область	53,1	31,4	46,8	50,0	53,8	58,9	62,3	68,6	76,6	77,7	77,5	74,4
Ленинградская область	91,1	84,1	76,2	76,5	78,8	78,6	78,2	76,6	77,0	74,5	75,3	75,2
Мурманская область	4,2	3,9	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,4	3,2	3,1	2,9	3,0
Новгородская область	36,4	24,9	18,1	17,7	17,4	16,2	15,7	14,8	14,6	14,5	13,8	13,5
Псковская область	87,1	57,4	40,4	37,9	37,5	36,5	35,4	33,4	33,0	30,2	29,4	30,8
Республика Адыгея	24,7	26,5	24,3	24,3	24,2	24,2	23,5	24,1	24,4	23,0	21,5	21,9
Республика Калмыкия	96,1	252,8	357,6	344,6	327,3	310,3	312,1	305,8	258,2	210,4	212,8	214,9
Республика Крым			49,2	50,7	50,9	50,8	50,1	49,9	48,6	49,9	46,7	43,2
г. Севастополь			0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7
Астраханская область	86,3	118,9	146,2	146,1	141,6	155,9	156,2	156,2	156,7	156,8	156,8	156,9
Волгоградская область	169,1	150,4	164,8	158,7	158,0	158,4	163,2	171,8	179,4	181,0	181,9	183,4
Ростовская область	278,1	253,6	290,1	281,2	280,7	289,0	297,1	301,2	301,1	302,3	301,1	299,4
Краснодарский край	296,0	264,9	218,2	216,5	215,1	213,4	210,9	211,4	215,2	216,6	216,2	210,1
Республика Дагестан	383,9	401,5	474,0	483,6	485,6	488,6	473,8	472,2	463,9	476,1	483,3	486,4
Ингушская Республика	29,6	31,2	27,2	29,7	29,8	29,6	34,0	33,6	37,5	41,3	42,6	42,8
Кабардино-Балкарская Республика	103,3	108,4	137,2	134,7	134,3	134,4	130,9	132,9	134,9	138,1	139,7	146,3
Карачаево-Черкесская Республика	67,9	103,1	103,4	96,8	80,4	74,8	75,2	79,9	76,1	79,8	88,4	88,4
Республика Северная Осетия - Алания	53,3	60,6	53,1	42,1	34,2	34,1	34,3	36,7	39,7	40,8	41,8	41,2
Чеченская Республика	116,7	115,3	114,3	114,5	117,0	115,6	119,9	121,6	123,3	126,0	128,5	130,8
Ставропольский край	175,4	176,2	173,0	169,9	165,1	154,7	152,1	147,8	139,9	134,0	132,4	131,4
Республика Башкортостан	689,1	655,6	458,4	436,0	407,5	397,0	394,5	396,1	384,5	372,2	360,5	349,2
Республика Марий-Эл	73,5	48,9	35,2	31,9	31,3	31,0	30,3	29,6	30,5	29,9	30,4	31,6

Продолжение таблицы V.4.4

Субъект Российской Федерации	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Республика Мордовия	127,7	102,0	86,3	82,2	77,5	76,0	74,8	72,8	71,8	70,1	69,4	69,2
Республика Татарстан	460,1	425,8	373,0	366,5	362,6	354,2	354,3	344,7	336,5	327,3	331,1	324,4
Удмуртская Республика	185,6	148,8	137,3	133,4	133,2	134,8	133,2	132,2	132,2	134,5	133,5	134,6
Чувашская Республика	143,9	116,2	88,6	88,2	87,3	88,0	85,8	85,8	86,9	87,0	86,8	86,6
Кировская область	160,1	108,2	92,8	94,2	94,6	95,5	96,8	99,0	100,0	101,8	100,6	100,4
Нижегородская область	194,3	137,7	127,4	122,4	116,8	113,5	109,2	107,7	106,1	104,3	101,7	100,9
Оренбургская область	332,6	309,1	271,3	259,1	246,0	245,0	238,4	238,7	240,2	230,2	235,6	237,7
Пензенская область	166,9	127,5	82,0	79,6	77,6	71,4	68,5	66,8	66,1	57,1	56,5	59,2
Пермский край	160,6	113,4	100,9	101,8	102,1	102,6	104,5	103,0	103,5	99,9	97,4	96,1
Самарская область	140,7	100,5	110,9	112,2	109,2	107,9	102,9	104,2	102,6	101,8	98,1	90,0
Саратовская область	241,1	238,2	189,6	184,7	184,8	190,7	193,1	194,5	195,2	194,7	189,0	181,9
Ульяновская область	91,0	64,3	47,8	47,9	46,3	46,4	46,5	46,9	46,6	41,8	39,5	37,5
Курганская область	110,3	93,1	57,1	53,9	49,5	48,4	50,3	50,0	50,7	50,7	51,0	51,7
Свердловская область	165,4	120,7	118,8	117,0	116,0	116,8	114,1	116,3	115,7	114,9	110,8	109,6
Тюменская область	127,9	123,3	109,1	106,0	106,5	109,6	109,0	106,5	104,1	102,1	98,7	92,4
Челябинская область	208,6	187,4	132,8	127,3	119,9	117,4	118,2	114,8	110,9	104,0	99,3	91,9
Республика Алтай	59,7	85,2	111,1	111,6	115,6	119,9	122,5	122,4	112,7	115,7	116,8	115,8
Республика Тыва	49,1	60,0	67,8	69,8	69,2	71,2	72,7	75,9	77,3	82,1	87,7	85,0
Республика Хакасия	56,9	65,6	70,5	74,2	74,3	74,4	74,3	72,2	71,9	72,4	73,0	70,6
Алтайский край	411,0	370,9	319,1	300,9	299,2	297,9	301,3	295,9	285,7	270,7	260,1	239,1
Красноярский край	200,1	166,0	148,9	147,6	141,9	143,1	139,4	137,8	133,0	120,6	117,1	110,3
Иркутская область	170,4	140,5	134,4	129,5	136,2	134,7	133,4	132,8	139,0	138,0	136,6	134,4
Кемеровская область	123,6	97,7	80,4	78,7	77,0	71,2	67,1	65,1	63,1	57,1	54,5	50,6
Новосибирская область	307,7	224,2	186,8	187,8	185,1	189,8	190,3	197,9	191,1	185,9	177,4	163,4
Омская область	258,4	211,9	181,2	171,6	155,4	155,4	153,1	149,7	149,3	143,7	141,1	136,7
Томская область	48,5	42,6	35,1	35,0	34,2	33,7	32,9	32,3	32,6	31,5	30,8	30,0
Республика Бурятия	131,4	143,0	144,2	146,5	143,8	142,7	140,7	138,9	140,2	144,5	141,1	134,7
Республика Саха (Якутия)	107,4	95,8	77,2	75,3	74,6	74,2	70,3	70,7	72,1	74,0	71,6	67,6

Продолжение таблицы V.4.4

Субъект Российской Федерации	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Приморский край	41,9	31,1	31,9	32,8	33,2	31,9	31,5	30,9	30,6	28,4	25,1	23,3
Хабаровский край	20,1	13,9	10,0	9,3	8,5	7,1	7,1	6,6	6,3	6,3	6,2	5,8
Амурская область	50,0	40,2	34,1	34,4	32,1	31,4	33,7	33,5	32,0	30,2	29,8	28,6
Камчатский край	4,9	3,9	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,3	4,4
Магаданская область	2,2	1,7	1,7	1,5	1,5	1,8	1,5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8
Сахалинская область	8,4	7,6	7,6	7,5	8,5	9,1	9,9	11,3	12,0	12,4	12,6	12,7
Забайкальский край	165,9	173,5	187,5	184,4	180,1	179,5	183,2	183,8	187,9	187,6	181,8	182,3
Еврейская автономная обл.	8,2	7,5	3,8	3,5	3,1	3,0	3,1	3,1	2,9	2,9	2,7	2,6
Чукотский автономный округ	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица V.4.5

Поголовье крупного рогатого скота (без коров) в хозяйствах всех категорий по регионам Российской Федерации по состоянию на 1 января, тыс. голов, по данным Росстата

Субъект Российской Федерации	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Белгородская область	206,5	152,8	130,7	135,7	137,2	135,8	137,8	139,0	140,1	142,1	142,1	131,2
Брянская область	115,3	92,5	250,5	247,4	260,8	267,1	291,6	286,3	299,8	322,7	332,5	336,5
Владимирская область	88,4	79,0	76,1	76,4	76,7	76,7	77,8	77,1	75,9	77,0	77,4	77,5
Воронежская область	276,3	212,6	271,6	281,6	289,3	285,3	281,9	303,6	331,5	329,1	318,1	286,2
Ивановская область	63,8	45,3	38,1	37,2	37,1	37,3	36,3	36,8	36,8	35,3	33,7	33,0
Калужская область	80,3	73,9	74,3	80,1	86,9	90,5	95,3	114,5	123,0	124,4	119,4	131,1
Костромская область	60,0	39,3	32,5	31,4	31,4	30,1	28,6	28,5	26,3	26,2	26,1	26,1
Курская область	159,0	116,9	90,9	90,0	88,6	103,6	104,9	109,4	112,6	114,3	108,3	106,6
Липецкая область	149,5	100,4	74,4	74,7	74,2	69,8	71,8	71,4	71,6	69,0	71,9	67,9
Московская область ¹⁾	212,2	157,5	125,3	122,9	119,9	118,6	114,0	115,0	111,6	105,2	103,0	99,0
Орловская область	134,4	95,5	75,1	119,4	122,8	105,8	130,9	120,4	125,1	96,1	104,9	106,2
Рязанская область	152,1	113,9	101,0	100,5	99,0	98,8	97,2	96,6	99,6	101,3	100,0	99,3
Смоленская область	81,0	59,8	45,9	49,1	51,4	52,6	57,9	63,1	70,7	69,8	71,8	48,3
Тамбовская область	116,7	98,5	93,4	79,4	66,2	61,0	56,6	57,9	54,6	48,6	46,7	44,6
Тверская область	132,8	97,9	61,0	58,3	58,2	57,4	53,0	49,6	48,5	44,6	42,5	42,8
Тульская область	87,6	62,3	50,1	48,8	52,3	73,8	83,8	79,9	88,0	92,4	79,3	75,5
Ярославская область	108,1	83,1	65,8	65,6	63,6	65,5	63,6	63,3	62,5	61,3	61,3	60,8
Республика Карелия	19,9	16,6	12,8	13,7	13,6	13,0	12,5	11,7	10,3	9,5	9,8	9,0
Республика Коми	23,3	20,9	19,9	19,1	19,2	18,6	17,4	16,3	16,2	15,6	15,3	14,7
Архангельская область	42,3	31,6	25,8	25,7	25,9	25,0	23,6	23,0	22,9	22,2	22,7	22,4
Вологодская область	125,3	110,9	86,5	88,0	90,3	89,6	88,8	89,8	89,5	87,5	88,1	86,1

¹⁾ Включая г. Москва

Продолжение таблицы V.4.5

Субъект Российской Федерации	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Калининградская область	49,3	30,0	51,1	59,4	61,6	64,7	74,9	85,6	92,2	91,8	90,4	83,1
Ленинградская область	101,8	98,6	99,1	102,5	101,6	101,7	101,6	101,8	101,4	99,9	96,6	103,3
Мурманская область	4,7	3,9	3,8	3,7	3,5	3,7	3,5	3,2	3,1	2,9	2,7	2,7
Новгородская область	27,5	20,6	18,6	17,9	17,3	16,8	14,9	14,1	14,1	13,8	13,5	13,4
Псковская область	58,3	56,9	42,6	41,4	38,9	38,3	36,2	34,2	32,7	30,9	31,5	29,4
Республика Адыгея	19,4	21,4	22,6	22,5	22,2	22,5	23,1	22,8	22,7	21,1	19,3	19,3
Республика Калмыкия	115,8	190,0	207,5	193,2	183,8	171,6	133,1	121,1	101,6	87,3	85,4	93,7
Республика Крым			46,6	43,2	46,0	47,3	50,8	52,4	52,7	50,9	48,7	45,6
г. Севастополь			0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,3
Астраханская область	97,9	118,4	129,2	129,2	142,8	132,3	137,6	137,9	137,4	137,7	137,8	137,8
Волгоградская область	208,5	165,4	157,3	148,3	150,1	138,6	138,8	146,3	160,3	161,5	162,7	165,7
Ростовская область	328,9	312,1	327,4	309,4	299,9	303,7	309,9	313,5	320,5	322,7	326,3	324,3
Краснодарский край	440,3	407,2	324,7	322,8	331,2	329,9	322,3	327,4	338,4	335,5	341,8	349,7
Республика Дагестан	429,9	459,9	518,1	524,3	524,0	515,4	486,7	479,9	470,1	466,3	466,1	453,7
Ингушская Республика	23,6	27,7	21,1	24,7	25,6	27,4	31,4	33,7	32,0	32,3	32,3	32,1
Кабардино-Балкарская Республика	134,9	124,6	141,9	140,6	136,7	131,3	134,2	135,7	136,5	134,2	133,3	131,0
Карачаево-Черкесская Республика	71,6	98,1	90,3	87,5	76,7	82,7	82,2	80,9	77,4	73,0	74,4	74,5
Республика Северная Осетия - Алания	59,7	65,9	62,9	56,5	55,2	49,3	56,9	55,9	56,1	57,7	58,2	52,7
Чеченская Республика	94,3	109,4	128,6	124,8	128,1	124,0	131,7	131,2	129,7	130,8	130,0	133,5
Ставропольский край	201,5	187,8	184,4	186,1	169,4	164,4	148,7	145,6	138,5	131,3	131,2	133,1
Республика Башкортостан	1017,7	1098,0	761,7	674,9	641,0	631,9	580,7	544,2	523,1	495,7	491,9	478,2
Республика Марий-Эл,	84,6	60,4	43,2	44,2	42,6	45,0	45,3	47,3	50,5	50,7	50,8	48,5
Республика Мордовия,	188,9	193,4	155,0	149,5	139,9	139,2	132,9	127,3	120,0	117,4	117,7	115,0

Продолжение таблицы V.4.5

Субъект Российской Федерации	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Республика Татарстан	690,0	698,6	656,4	667,3	666,4	671,7	657,6	655,1	641,6	611,1	583,7	566,5
Удмуртская Республика	260,7	235,8	215,1	214,0	213,8	210,5	205,8	203,7	201,7	202,3	202,3	205,4
Чувашская Республика	117,9	106,8	107,7	105,0	103,4	105,4	104,7	107,2	110,1	110,8	111,9	110,8
Кировская область	272,4	180,5	145,8	146,2	144,5	145,6	146,8	145,7	142,0	143,3	141,1	139,7
Нижегородская область	260,5	188,9	157,5	154,8	150,3	147,4	140,4	140,7	142,0	139,1	139,7	135,1
Оренбургская область	420,3	392,6	352,1	337,6	330,2	323,5	312,3	304,2	310,4	296,0	298,4	299,2
Пензенская область	170,9	170,4	100,2	99,7	98,2	95,8	94,0	93,2	91,2	84,2	85,4	82,1
Пермский край	221,2	164,9	142,0	143,0	138,4	136,7	138,4	136,5	133,6	129,1	126,3	125,5
Самарская область	170,2	98,6	132,6	124,5	126,6	120,7	123,3	120,1	119,9	115,6	112,2	118,2
Саратовская область	279,4	299,7	226,3	220,9	223,3	234,1	237,5	238,0	240,9	237,8	229,1	219,7
Ульяновская область	103,3	82,3	70,1	71,4	70,4	72,2	72,1	72,5	72,6	65,9	59,4	56,4
Курганская область	135,2	108,6	71,7	69,8	68,0	68,5	71,7	70,7	69,8	65,0	63,1	66,2
Свердловская область	200,9	148,4	148,2	144,3	141,7	141,8	143,5	143,9	145,8	142,2	148,7	145,9
Тюменская область	165,0	151,0	146,5	147,2	154,1	156,1	155,3	153,7	150,6	149,1	140,9	130,2
Челябинская область	254,2	213,1	144,3	135,4	127,7	124,9	121,8	113,9	107,3	99,8	93,8	94,1
Республика Алтай	80,3	98,5	119,7	115,1	113,0	111,6	106,2	101,5	93,6	94,8	91,9	83,5
Республика Тыва	48,8	78,6	88,3	92,0	90,9	92,8	94,2	101,9	110,3	107,0	113,4	106,9
Республика Хакасия	82,3	94,2	103,2	103,4	99,3	100,0	97,4	97,0	96,3	99,0	98,8	95,5
Алтайский край	535,3	505,5	453,1	441,9	432,9	433,7	424,2	418,9	397,9	373,8	360,2	331,6
Красноярский край	312,4	259,5	230,3	229,5	229,2	228,3	219,9	218,3	210,3	187,8	180,7	173,5
Иркутская область	175,9	155,8	144,6	145,1	147,7	155,6	156,8	156,7	165,7	163,1	165,9	159,9
Кемеровская область	146,2	113,6	87,8	90,2	92,0	85,7	79,5	78,9	77,3	69,8	66,3	63,5
Новосибирская область	459,8	335,3	269,7	270,8	260,0	269,1	264,9	264,2	252,3	241,9	241,0	226,0
Омская область	325,3	223,5	231,8	228,5	215,4	212,8	208,5	205,2	201,1	192,5	191,2	182,9
Томская область	61,3	54,9	49,6	50,4	51,9	50,2	47,3	45,8	46,5	43,7	42,3	41,8
Республика Бурятия	186,8	207,3	200,5	194,2	185,6	186,9	188,2	188,3	190,4	191,9	200,9	209,0
Республика Саха (Якутия)	178,3	151,0	113,7	111,9	111,9	113,8	113,2	112,6	108,8	104,2	98,8	91,4

Продолжение таблицы V.4.5

Субъект Российской Федерации	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Камчатский край	6,4	5,6	5,5	5,8	5,8	5,8	5,3	5,1	5,3	5,4	5,6	5,7
Приморский край	35,1	29,9	33,2	32,0	32,4	32,8	30,1	31,3	29,6	26,6	24,4	22,3
Хабаровский край	20,2	16,1	12,1	11,7	11,0	11,1	10,5	10,1	8,8	7,7	6,9	6,5
Амурская область	65,6	47,5	47,1	47,7	49,2	49,6	45,0	39,5	36,1	33,8	30,9	30,7
Магаданская область	2,1	2,0	2,2	1,9	2,0	1,9	2,3	2,1	2,2	1,9	1,9	1,7
Сахалинская область	10,3	10,2	10,6	10,7	11,8	12,6	13,8	15,4	16,4	16,6	15,9	15,7
Забайкальский край	250,4	265,7	292,2	285,1	273,1	271,9	269,6	270,2	268,0	270,1	260,3	253,9
Еврейская АО	10,3	9,2	4,7	4,3	4,3	4,1	3,7	3,8	3,8	3,4	3,6	3,6
Чукотский АО	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица V.4.6

Валовая энергия потребления коровами по регионам Российской Федерации, МДж/сутки

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Белгородская область	184,15	187,42	194,59	197,68	208,00	209,44	212,56	215,80	217,18	215,30
Брянская область	163,37	150,12	180,59	184,60	182,14	197,33	188,10	158,70	172,73	175,19
Владимирская область	197,05	202,96	130,85	214,47	220,08	229,77	225,07	236,45	230,62	234,67
Воронежская область	180,45	187,16	184,82	196,20	209,59	220,42	220,66	218,82	216,89	224,34
Ивановская область	159,83	166,19	173,85	171,90	184,80	193,28	194,29	196,90	205,13	209,09
Калужская область	173,38	185,39	186,61	202,05	211,41	209,83	205,08	194,08	204,45	212,75
Костромская область	152,12	155,08	156,52	154,73	151,65	166,00	157,94	171,63	168,00	180,09
Курская область	164,01	166,58	178,24	198,99	209,24	213,20	213,26	225,41	230,27	219,83
Липецкая область	173,77	185,51	181,46	195,51	208,51	213,98	216,74	214,58	213,23	209,35
Московская область	170,30	175,91	175,37	179,97	192,56	202,08	199,31	199,79	224,10	232,90
Орловская область	178,72	203,80	208,25	220,61	216,98	234,84	188,89	203,41	217,53	219,02
Рязанская область	167,36	167,48	183,61	192,08	202,33	214,47	222,38	220,94	237,00	231,53
Смоленская область	178,58	180,18	214,01	220,45	213,42	220,43	219,19	166,63	170,21	191,22

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Тамбовская область	192,36	191,62	195,35	194,40	202,47	210,88	207,42	213,93	196,26	203,03
Тверская область	140,86	138,87	137,86	144,48	152,96	158,11	152,85	171,75	178,15	185,48
Тульская область	161,81	170,78	188,60	183,49	201,30	197,23	185,37	165,64	177,33	177,33
Ярославская область	159,01	166,31	172,45	181,23	189,60	192,86	161,55	182,08	187,05	194,93
Республика Карелия	158,13	154,40	156,04	160,95	167,83	174,07	172,63	175,65	170,82	174,24
Республика Коми	144,70	147,57	153,76	143,17	155,12	178,28	164,61	158,03	167,97	166,83
Архангельская область	291,41	295,54	292,07	301,45	304,53	314,43	311,16	326,50	321,40	336,73
Вологодская область	198,92	209,45	208,82	214,11	227,17	233,91	228,45	233,74	235,86	226,21
Калининградская область	198,84	192,27	225,38	224,60	225,20	219,45	200,74	170,80	180,17	197,44
Ленинградская область	200,42	204,50	208,69	211,09	217,56	219,42	221,39	220,44	219,05	229,57
Мурманская область	138,45	124,61	133,76	136,84	130,87	133,90	130,82	161,56	143,94	143,94
Новгородская область	160,80	197,41	183,97	170,20	181,46	170,37	185,29	217,40	195,74	205,88
Псковская область	149,22	155,42	164,83	157,90	166,30	162,96	164,94	182,02	184,05	189,45
Республика Адыгея	183,04	177,88	190,87	146,83	178,22	157,37	164,14	172,70	178,40	179,09
Республика Дагестан	102,28	110,64	116,12	104,12	104,05	102,17	114,67	123,75	118,28	114,37
Ингушская Республика	104,40	111,69	121,18	105,90	129,36	150,31	139,45	150,19	144,94	144,94
Кабардино-Балкарская Республика	163,07	166,50	178,87	176,19	169,17	182,37	185,62	183,66	197,74	204,36
Республика Калмыкия	106,08	102,52	107,77	100,50	105,89	97,00	99,38	89,66	92,94	94,33
Карачаево-Черкесская Республика	145,33	142,77	120,23	120,36	159,17	149,37	151,25	142,71	134,28	134,70
Республика Северная Осетия	123,67	127,69	150,96	122,61	131,97	130,18	146,00	129,11	132,57	157,28
Чеченская Республика	114,37	131,13	149,74	143,81	150,84	155,02	154,72	155,19	181,53	176,24
Краснодарский край	197,61	204,34	207,02	211,92	218,60	217,98	225,25	234,16	230,48	234,44
Ставропольский край	170,72	174,39	172,07	160,62	180,68	177,54	182,03	189,08	188,18	189,91
Астраханская область	89,66	92,12	90,42	98,73	122,90	85,08	93,41	83,95	91,09	79,81
Волгоградская область	186,51	209,45	196,93	214,11	227,17	233,91	228,45	216,59	220,92	226,21
Ростовская область	162,66	176,08	178,90	171,95	177,67	177,25	176,19	183,24	186,12	194,66
Республика Башкортостан	174,56	182,48	183,53	185,35	192,63	198,78	202,26	203,79	203,03	206,67

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Республика Марий-Эл,	196,96	215,25	227,30	225,86	226,97	243,71	232,69	252,97	226,29	235,86
Республика Мордовия,	172,13	172,06	179,75	181,37	191,65	195,37	201,02	210,35	210,77	211,87
Республика Татарстан	188,55	191,81	197,94	203,91	211,74	218,02	225,08	221,24	219,71	234,50
Удмуртская Республика	184,31	188,61	191,05	196,41	202,84	211,48	217,51	224,61	220,48	225,67
Чувашская Республика	197,99	204,96	212,44	211,15	214,30	220,21	223,05	224,68	216,55	209,27
Пермский край	182,30	179,21	180,98	187,47	194,80	200,76	198,29	204,44	207,63	214,30
Кировская область	190,70	198,68	201,27	204,01	208,97	212,90	218,02	224,31	221,30	228,48
Нижегородская область	164,36	170,07	176,01	179,00	183,27	191,56	194,00	199,40	199,63	196,32
Оренбургская область	154,28	155,90	159,03	156,11	153,04	158,56	167,37	165,03	174,28	161,00
Пензенская область	168,79	188,61	194,15	202,91	210,91	224,74	232,84	222,64	225,52	243,88
Самарская область	179,90	182,34	188,49	189,45	197,41	207,60	211,11	201,73	199,80	218,21
Саратовская область	162,37	157,12	166,43	164,32	170,46	171,94	171,09	170,97	189,03	195,99
Ульяновская область	167,76	164,54	167,00	174,37	181,67	183,44	191,74	195,38	206,43	212,13
Курганская область	177,91	164,39	182,35	180,16	179,14	183,59	185,57	186,09	178,71	177,47
Свердловская область	189,93	193,56	200,16	205,33	212,86	219,09	222,16	227,22	227,12	229,59
Тюменская область	206,44	199,60	205,15	211,46	221,91	212,90	215,88	223,01	222,04	223,99
Челябинская область	179,60	185,73	190,41	203,38	207,26	211,72	207,91	211,25	210,60	212,41
Республика Алтай	127,62	126,06	127,06	125,23	138,83	136,65	127,64	135,39	129,64	127,37
Республика Бурятия	158,26	150,95	152,44	141,59	161,78	142,96	169,67	152,43	129,42	105,30
Республика Тыва	76,97	72,40	72,02	73,40	72,51	72,37	70,48	68,61	71,60	75,03
Республика Хакасия	167,84	162,40	181,88	179,31	168,67	190,02	175,47	177,09	174,42	211,65
Алтайский край	157,67	163,20	165,00	168,93	174,75	174,79	175,27	183,45	179,49	183,46
Красноярский край	184,34	183,53	185,41	188,94	196,32	200,88	205,48	213,97	210,41	213,69
Иркутская область	176,70	173,93	178,62	182,18	189,76	190,86	193,72	201,46	173,92	185,58
Кемеровская область	180,10	178,60	180,08	178,77	185,98	187,50	199,78	205,62	198,84	191,47
Новосибирская область	156,43	161,25	165,29	168,57	175,26	185,66	192,45	204,20	199,02	203,22
Омская область	179,44	174,51	178,99	181,95	187,82	188,63	191,33	196,97	189,22	193,98
Томская область	177,24	185,76	196,16	198,89	201,61	205,11	206,07	211,05	208,07	210,76

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Забайкальский край (Читинская область)	146,04	140,24	137,49	143,19	141,58	148,58	166,19	164,29	174,18	158,75
Республика Саха (Якутия)	112,72	118,24	129,58	128,05	124,27	144,25	130,81	130,24	121,77	126,16
Камчатский край	158,37	160,61	172,86	177,84	192,12	199,13	203,36	210,32	185,34	184,24
Приморский край	143,59	145,35	159,03	164,23	188,97	205,78	210,24	233,72	193,92	194,42
Хабаровский край	140,30	135,16	126,03	147,61	147,08	124,05	105,40	115,53	129,21	129,21
Амурская область	158,81	160,67	161,35	162,69	171,10	173,52	193,71	179,27	194,05	212,54
Магаданская область	110,70	112,27	104,58	106,78	87,60	99,21	99,22	97,29	96,50	96,50
Сахалинская область	165,13	168,01	175,96	175,66	180,44	189,31	182,43	214,83	211,57	203,52
Еврейская АО	83,00	94,32	100,33	100,43	99,08	118,32	101,69	100,66	100,66	100,66
Чукотский АО	65,34	46,29	37,31	48,39	47,48	75,92	66,08	138,02	118,27	97,81
Республика Крым	199,88	159,40	167,39	165,38	170,14	177,61	188,75	208,84	199,04	196,74

Национальный доклад о кадастре

Таблица V.4.7

*Валовая энергия потребления поголовьем крупного рогатого скота (без коров)
по регионам Российской Федерации, МДж/сутки*

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Белгородская область	109,65	107,10	113,08	113,68	114,80	114,09	115,22	110,82	139,58	133,88
Брянская область	141,16	133,17	154,99	155,00	152,03	161,14	150,84	122,00	125,50	134,97
Владимирская область	117,97	115,84	117,06	121,09	39,69	128,06	125,15	131,23	129,49	130,12
Воронежская область	116,31	113,63	119,44	118,44	117,61	121,08	116,54	115,36	115,52	116,80
Ивановская область	101,93	100,59	107,76	106,65	110,18	110,49	102,85	111,21	115,91	119,03
Калужская область	117,58	120,70	117,60	122,76	127,64	138,38	128,72	112,87	119,52	125,69
Костромская область	112,98	108,98	109,54	109,42	107,56	115,01	104,07	98,71	110,89	116,92
Курская область	102,86	104,42	100,56	101,12	101,53	101,51	101,21	105,47	108,90	110,02
Липецкая область	114,60	115,75	119,85	125,49	124,63	125,27	125,72	123,03	124,62	117,95
Московская область	103,27	101,66	105,81	106,51	109,61	115,06	115,12	112,85	114,46	114,02
Орловская область	109,77	132,87	137,64	154,69	140,96	162,48	123,13	123,29	126,06	120,18
Рязанская область	108,95	105,62	116,04	118,17	121,17	126,24	127,16	129,28	131,34	126,37
Смоленская область	116,70	126,99	155,99	155,11	151,45	153,44	147,96	118,12	109,85	139,07
Тамбовская область	132,17	126,06	133,12	133,29	132,01	132,53	137,02	134,24	127,39	128,44
Тверская область	114,66	108,69	110,11	115,43	116,89	118,32	117,08	128,49	121,65	136,83
Тульская область	109,11	109,85	117,42	113,51	130,50	130,33	120,99	105,78	115,03	115,19
Ярославская область	109,12	113,87	115,55	119,20	121,69	122,99	99,87	106,54	111,87	145,34
Республика Карелия	100,51	95,54	95,73	98,95	100,54	102,54	103,52	106,58	106,41	108,15
Республика Коми	109,15	106,19	115,25	106,45	110,30	135,24	113,18	105,55	120,95	119,02
Архангельская область	130,84	130,24	129,78	134,40	134,05	134,97	133,67	133,17	134,45	138,22
Вологодская область	112,24	116,87	116,34	115,16	117,32	117,67	114,07	116,50	118,25	110,24
Калининградская область	150,92	144,71	170,12	167,72	166,68	156,87	143,47	118,85	135,97	140,99
Ленинградская область	110,89	110,58	114,09	115,74	114,30	113,13	115,32	115,44	116,98	120,64
Мурманская область	86,90	80,90	84,97	83,89	78,42	80,17	76,11	79,86	78,16	82,32

Продолжение таблицы V.4.7

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Новгородская область	126,62	134,68	138,36	130,56	138,71	130,65	138,28	132,53	139,71	150,21
Псковская область	110,31	104,57	115,22	106,30	115,77	112,09	110,62	118,55	114,52	115,04
Республика Адыгея	116,87	109,80	121,60	112,77	131,14	109,54	116,40	117,18	121,08	122,42
Республика Дагестан	98,96	106,78	109,75	103,33	102,37	102,72	130,53	118,63	115,52	114,24
Ингушская Республика	54,99	68,57	68,59	84,87	99,64	59,46	71,34	109,79	91,19	91,19
Кабардино-Балкарская Республика	114,36	119,33	127,86	127,13	121,46	124,30	122,15	148,79	134,95	140,47
Республика Калмыкия	118,89	118,13	120,99	118,85	122,90	117,19	121,02	114,56	118,97	125,49
Карачаево-Черкесская Республика	160,35	139,28	113,80	124,31	143,48	157,60	120,93	117,47	116,59	79,54
Республика Северная Осетия	104,17	93,21	112,72	90,00	108,05	89,44	120,55	98,24	91,79	125,98
Чеченская Республика	94,41	96,40	109,92	104,20	126,17	124,44	137,13	130,91	136,30	137,03
Краснодарский край	109,55	107,57	109,76	113,55	112,05	107,65	110,17	111,84	111,36	110,74
Ставропольский край	124,88	124,46	127,22	117,34	131,97	130,41	133,28	132,49	128,15	130,71
Астраханская область	85,79	90,76	87,70	102,11	117,78	77,55	89,12	83,93	89,93	82,83
Волгоградская область	112,24	116,87	69,12	67,91	69,02	117,67	114,07	126,79	132,21	110,24
Ростовская область	117,89	123,80	131,58	127,65	129,05	128,91	130,16	130,64	128,66	131,37
Республика Башкортостан	162,84	167,98	168,56	169,87	173,79	175,03	177,60	176,20	173,82	177,99
Республика Марий-Эл,	104,69	113,76	103,40	96,73	96,42	107,70	103,24	116,69	113,32	110,76
Республика Мордовия,	100,68	99,16	104,42	103,47	104,72	104,76	106,45	107,17	107,69	106,68
Республика Татарстан	135,62	134,86	142,08	143,35	141,11	145,99	150,16	149,02	147,01	154,54
Удмуртская Республика	118,44	118,13	120,98	123,67	121,78	124,64	125,91	129,71	126,90	125,41
Чувашская Республика	128,67	133,84	136,96	135,74	138,01	140,12	135,11	140,27	139,62	139,56
Пермский край	164,32	163,30	164,02	166,35	166,27	166,78	164,80	176,79	174,01	166,58
Кировская область	121,23	122,31	126,23	127,24	128,17	127,88	129,54	131,67	130,77	132,67
Нижегородская область	111,08	111,39	118,08	118,92	116,56	120,13	120,33	122,46	125,31	124,02
Оренбургская область	137,07	138,57	142,32	142,57	142,31	146,68	151,08	152,82	164,28	151,62
Пензенская область	130,21	138,68	142,72	154,79	156,53	164,81	159,90	153,20	151,71	141,51
Самарская область	123,04	116,94	122,96	122,96	128,23	130,66	131,95	123,70	127,12	136,66
Саратовская область	121,13	111,69	124,19	129,64	130,37	131,74	132,51	132,03	140,94	140,48

Продолжение таблицы V.4.7

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ульяновская область	117,19	116,94	113,93	118,48	115,45	117,62	122,82	119,41	128,76	138,77
Курганская область	143,42	134,14	146,92	146,54	140,73	140,75	137,62	144,18	138,29	137,04
Свердловская область	127,26	122,77	131,07	133,00	132,01	134,35	135,35	134,57	137,03	135,32
Тюменская область	132,22	124,49	132,97	135,56	137,01	129,35	129,30	136,91	138,56	141,38
Челябинская область	112,56	107,57	116,62	121,84	120,24	121,66	120,77	118,88	118,69	121,07
Республика Алтай	115,87	117,82	122,34	117,25	128,61	129,21	121,08	128,82	127,42	127,12
Республика Бурятия	153,86	151,70	144,64	153,67	167,34	147,21	153,93	130,30	125,79	131,45
Республика Тыва	81,80	82,96	81,11	80,41	82,94	84,10	85,10	85,02	85,83	89,17
Республика Хакасия	123,94	123,34	129,51	136,04	131,12	147,99	137,58	132,59	133,26	158,71
Алтайский край	114,32	118,40	118,00	121,08	123,41	122,90	123,80	127,41	128,82	131,12
Красноярский край	129,20	127,20	128,84	132,31	132,34	132,76	133,45	137,54	138,44	136,12
Иркутская область	145,65	145,38	145,85	150,30	152,15	152,91	151,95	158,42	141,97	147,37
Кемеровская область	134,24	134,04	133,56	137,25	136,47	136,02	146,13	147,20	144,80	142,39
Новосибирская область	119,64	122,72	124,71	126,24	129,50	132,91	133,42	140,41	134,73	136,76
Омская область	132,09	126,12	133,29	134,12	137,10	138,38	141,70	143,04	141,03	147,00
Томская область	121,76	126,78	135,57	136,20	132,44	128,45	129,7	138,18	142,20	141,20
Забайкальский край (Читинская область)	145,20	131,63	132,51	146,55	136,41	143,21	159,27	162,24	174,12	173,28
Республика Саха (Якутия)	102,26	102,68	109,70	98,55	106,13	117,28	116,82	114,23	111,67	114,33
Камчатский край	115,79	115,22	116,92	122,78	128,94	127,92	134,05	138,23	129,09	108,12
Приморский край	109,37	106,91	114,71	124,12	142,87	152,34	144,05	159,93	143,69	138,88
Хабаровский край	107,90	92,87	95,26	107,53	103,84	94,66	76,76	72,35	95,06	95,06
Амурская область	123,79	113,14	124,56	127,96	129,27	136,70	142,71	143,57	148,83	150,23
Магаданская область	72,19	72,81	81,08	83,66	71,32	86,30	78,63	78,86	78,63	78,63
Сахалинская область	123,68	129,40	129,67	126,75	126,20	128,84	123,77	144,34	140,40	138,26
Еврейская АО	75,50	110,04	81,13	108,98	82,27	107,34	64,91	74,83	94,76	94,76
Чукотский АО	73,33	57,39	44,34	44,30	44,35	58,50	54,72	55,94	79,07	71,02
Республика Крым	121,66	116,82	126,08	112,49	112,86	107,07	110,12	115,40	117,31	113,94

Таблица V.4.8

Коэффициенты выброса метана при внутренней ферментации коров по регионам Российской Федерации, кг СН₄/гол, *год

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Белгородская область	78,51	79,90	82,96	84,28	88,68	89,29	90,62	92,00	92,95	91,79
Брянская область	69,65	64,00	76,99	78,70	77,65	84,13	80,19	67,66	73,64	74,69
Владимирская область	84,01	86,53	55,79	91,44	93,83	97,96	95,95	100,81	98,32	100,05
Воронежская область	79,93	79,79	78,79	83,64	89,35	93,97	94,07	93,29	92,46	95,64
Ивановская область	68,14	70,85	74,12	73,28	78,78	82,40	82,83	83,94	87,45	89,14
Калужская область	73,92	79,04	79,56	86,14	90,13	89,46	87,43	82,74	87,16	90,70
Костромская область	64,85	66,11	66,73	65,96	64,65	70,77	67,33	73,17	71,62	76,78
Курская область	69,92	71,02	75,99	84,84	89,20	90,89	90,92	96,10	98,17	93,72
Липецкая область	74,08	79,09	77,36	83,35	88,89	91,23	92,40	91,48	90,91	89,25
Московская область	76,60	75,00	74,77	76,73	82,09	86,15	84,97	85,17	95,54	99,29
Орловская область	76,19	86,88	88,78	94,05	92,50	100,12	80,53	86,72	92,74	93,37
Рязанская область	71,35	71,40	78,28	81,89	86,26	91,43	94,81	94,19	101,04	98,71
Смоленская область	76,13	76,82	91,24	93,98	90,99	93,97	93,45	71,04	72,57	81,52
Тамбовская область	82,01	81,69	83,28	82,88	86,32	89,90	88,43	91,20	83,67	86,55
Тверская область	60,05	59,21	58,77	61,60	65,21	67,41	65,16	73,22	75,95	79,07
Тульская область	68,98	72,81	80,41	78,23	85,82	84,09	79,03	70,62	75,60	75,60
Ярославская область	67,79	70,90	73,52	77,26	80,83	82,22	68,87	77,63	79,74	83,11
Республика Карелия	67,41	65,83	66,52	68,62	71,55	74,21	73,60	74,88	72,83	74,28
Республика Коми	61,69	62,91	65,55	61,04	66,13	76,01	70,18	67,37	71,61	71,12
Архангельская область	124,23	126,00	124,52	128,51	129,83	134,05	132,66	139,19	137,02	143,56
Вологодская область	84,81	89,29	89,03	91,28	96,85	99,72	97,40	99,65	100,55	96,44
Калининградская область	84,77	81,97	96,09	95,75	96,01	93,56	85,58	72,82	76,81	84,17
Ленинградская область	85,44	87,18	88,97	89,99	92,75	93,54	94,39	93,98	93,39	97,87
Мурманская область	59,02	53,13	57,03	58,34	55,79	57,09	55,77	68,88	61,36	61,36

Продолжение таблицы V.4.8

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Новгородская область	68,55	84,16	78,43	72,56	77,36	72,63	78,99	92,68	83,45	87,77
Псковская область	63,62	66,26	70,27	67,32	70,90	69,47	70,32	77,60	78,46	80,77
Республика Адыгея	78,03	75,83	81,37	62,60	75,98	67,09	69,98	73,63	76,06	76,35
Республика Дагестан	43,61	47,17	49,50	44,39	44,36	43,56	48,88	52,76	50,42	48,76
Ингушская Республика	44,51	51,03	51,66	45,15	55,15	64,08	59,45	64,03	61,79	61,79
Кабардино-Балкарская Республика	69,52	70,98	76,26	75,11	72,12	77,75	79,13	78,30	84,30	87,13
Республика Калмыкия	45,22	43,71	45,94	42,85	45,14	41,35	42,37	38,23	39,62	40,22
Карачаево-Черкесская Республика	61,96	60,87	51,26	51,31	68,09	63,68	64,48	60,84	57,25	57,42
Республика Северная Осетия	52,72	54,44	64,36	52,72	56,26	55,50	62,24	55,04	56,52	67,05
Чеченская Республика	48,76	55,90	63,84	61,31	64,31	66,09	65,96	66,16	77,39	75,14
Краснодарский край	84,25	87,11	88,26	90,35	93,20	92,93	96,03	99,83	98,26	99,95
Ставропольский край	72,78	74,35	73,36	68,48	77,03	75,69	77,60	80,61	80,22	80,97
Астраханская область	38,23	39,27	38,58	42,09	52,40	36,27	39,82	35,79	38,83	34,03
Волгоградская область	84,81	89,29	89,03	91,28	96,85	99,72	97,40	99,65	94,18	96,44
Ростовская область	69,34	75,07	76,27	73,31	75,74	75,57	75,11	78,12	79,35	82,99
Республика Башкортостан	74,42	77,80	78,24	79,02	82,13	84,75	86,23	86,88	86,56	88,11
Республика Марий-Эл,	83,97	91,76	96,90	96,29	96,76	103,90	99,20	107,85	96,47	100,55
Республика Мордовия,	73,38	73,35	76,63	77,32	81,71	83,29	85,70	89,68	89,86	90,33
Республика Татарстан	80,38	81,77	84,39	86,93	90,27	92,95	95,96	94,32	93,67	99,97
Удмуртская Республика	78,58	80,41	81,45	83,74	86,47	90,16	92,73	95,76	94,00	96,21
Чувашская Республика	84,41	87,38	90,57	90,02	91,36	93,88	95,09	95,79	92,32	89,22
Пермский край	77,72	76,40	77,16	79,92	83,05	85,59	84,54	87,16	88,52	91,36
Кировская область	81,30	84,70	85,81	86,98	89,09	90,76	92,95	95,63	94,35	97,41
Нижегородская область	70,07	75,51	75,04	76,31	78,13	81,67	82,71	85,01	85,11	83,69
Оренбургская область	65,77	66,47	67,80	66,56	65,24	67,60	71,35	70,36	74,30	68,64
Пензенская область	71,96	80,41	82,77	86,50	89,92	95,81	99,26	94,92	96,15	103,97
Самарская область	76,70	77,73	80,36	80,77	84,16	88,51	90,00	86,00	85,18	93,03
Саратовская область	69,22	66,98	70,95	70,05	72,67	73,30	72,94	72,89	80,59	83,56

Продолжение таблицы V.4.8

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ульяновская область	71,52	70,15	71,20	73,34	77,45	78,20	81,74	83,30	88,01	90,44
Курганская область	75,85	70,08	77,74	76,81	76,37	78,27	79,11	79,33	76,19	75,66
Свердловская область	80,97	82,52	85,33	87,54	90,75	93,40	94,71	96,87	96,83	97,88
Тюменская область	88,01	85,09	87,46	90,15	94,61	90,77	92,03	95,08	94,66	95,49
Челябинская область	76,57	79,18	81,17	86,71	88,36	90,26	88,64	90,06	89,79	90,55
Республика Алтай	54,41	53,74	54,17	53,39	59,19	58,26	54,42	57,72	55,27	54,30
Республика Бурятия	67,47	64,35	64,99	60,36	68,97	60,95	72,34	64,99	55,18	44,89
Республика Тыва	32,82	30,86	30,71	31,29	30,91	30,85	30,05	29,25	30,52	31,99
Республика Хакасия	71,55	69,23	77,54	76,44	71,91	81,01	74,81	75,50	74,36	90,23
Алтайский край	67,22	69,58	70,34	72,02	74,50	74,52	74,72	78,21	76,52	78,22
Красноярский край	78,59	78,25	79,04	80,55	83,70	85,64	87,60	91,22	89,70	91,10
Иркутская область	75,33	74,15	76,15	77,67	80,90	81,37	82,59	85,89	74,15	79,12
Кемеровская область	76,78	76,14	76,77	76,21	79,29	79,93	85,17	87,66	84,77	81,63
Новосибирская область	66,69	68,74	70,47	71,87	74,72	79,15	82,04	87,06	84,85	86,64
Омская область	76,50	74,40	76,31	77,57	80,07	80,42	81,57	83,97	80,67	82,70
Томская область	75,56	79,20	83,63	84,79	85,95	87,44	87,85	89,97	88,71	89,85
Забайкальский край (Читинская область)	62,26	59,79	58,61	61,04	60,36	63,34	70,85	70,04	74,26	67,68
Республика Саха (Якутия)	48,06	50,41	55,36	54,59	52,98	61,50	55,77	55,52	51,91	53,78
Камчатский край	67,52	68,47	73,69	75,82	81,91	84,89	86,70	89,67	79,02	78,54
Приморский край	61,22	61,97	67,80	70,02	80,56	87,73	89,63	99,64	82,67	82,89
Хабаровский край	59,81	57,62	53,73	62,93	62,71	52,89	44,94	49,25	55,08	55,08
Амурская область	67,70	68,50	68,79	69,36	72,95	73,98	82,59	76,43	82,73	90,61
Магаданская область	47,20	47,86	44,58	45,52	37,35	42,30	42,44	41,48	41,14	41,14
Сахалинская область	70,40	71,63	75,01	74,89	76,93	80,71	77,77	91,59	90,20	86,76
Еврейская автономная обл,	35,39	40,21	42,77	42,82	42,24	50,44	43,35	38,44	42,91	42,91
Чукотский автономный округ	27,86	19,74	15,91	20,63	20,24	32,37	28,17	29,35	50,42	41,70
Республика Крым	85,21	67,96	71,36	70,51	72,54	75,72	80,47	89,04	84,86	83,87

Таблица V.4.9

Коэффициенты выброса метана при внутренней ферментации поголовья крупного рогатого скота (без коров)
по регионам Российской Федерации, кг СН₄/гол, *год

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Белгородская область	46,75	45,66	48,21	48,47	48,94	48,64	49,12	47,25	59,51	57,08
Брянская область	60,18	56,77	66,08	66,08	64,81	68,70	64,31	52,01	53,50	57,54
Владимирская область	50,29	49,39	49,91	51,62	52,56	54,59	53,35	55,94	55,20	55,47
Воронежская область	49,58	48,45	50,92	50,49	50,14	51,62	49,68	49,18	49,25	49,79
Ивановская область	43,46	42,88	45,94	45,47	46,97	47,10	43,85	47,41	49,42	50,75
Калужская область	50,13	51,46	50,14	52,34	54,42	59,00	54,88	48,12	50,96	53,59
Костромская область	48,17	46,46	46,70	46,65	45,85	49,03	44,37	42,08	47,28	49,85
Курская область	43,85	44,52	42,87	43,11	43,29	43,28	43,15	44,97	46,43	46,90
Липецкая область	48,86	49,35	51,10	53,50	53,13	53,41	53,60	52,45	53,13	50,29
Московская область	44,03	43,34	45,11	45,41	46,73	49,05	49,08	48,11	48,80	48,61
Орловская область	46,80	56,65	58,68	65,95	60,09	69,27	52,49	52,56	53,74	51,24
Рязанская область	46,45	45,03	49,47	50,38	51,66	53,82	54,21	55,12	56,00	53,88
Смоленская область	49,75	54,14	66,50	66,13	64,57	65,41	63,08	50,36	46,83	59,29
Тамбовская область	56,35	53,74	56,75	56,82	56,28	56,50	58,42	57,23	54,31	54,76
Тверская область	48,88	46,34	46,94	49,21	49,83	50,44	49,91	54,78	51,86	58,34
Тульская область	46,52	46,83	50,06	48,39	55,64	55,56	51,58	45,10	49,04	49,11
Ярославская область	46,52	48,55	49,26	50,82	51,88	52,43	42,58	45,42	47,69	61,96
Республика Карелия	42,85	40,73	40,81	42,18	42,86	43,72	44,13	45,44	45,37	46,10
Республика Коми	46,53	45,27	49,13	45,38	47,02	57,66	48,25	45,00	51,56	50,74
Архангельская область	55,78	55,52	55,33	57,30	57,15	57,54	56,99	56,77	57,32	58,93
Вологодская область	47,85	49,82	49,60	49,10	50,02	50,17	48,63	49,67	50,41	47,00

Продолжение таблицы V.4.9

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Калининградская область	64,34	61,69	72,78	71,51	71,06	66,88	61,16	50,67	57,97	60,11
Ленинградская область	47,28	47,14	48,64	49,34	48,73	48,23	49,17	49,22	49,87	51,43
Мурманская область	37,05	34,49	36,23	35,76	33,43	34,18	32,45	34,04	33,32	35,10
Новгородская область	53,98	57,42	58,99	55,66	59,13	55,70	58,95	56,50	59,56	64,04
Псковская область	47,03	44,58	49,12	45,32	49,36	47,79	47,16	50,54	48,82	49,05
Республика Адыгея	49,82	46,81	51,84	48,08	55,91	46,70	49,62	49,96	51,62	52,19
Республика Дагестан	42,19	45,52	46,79	44,05	43,64	43,79	55,65	50,57	49,25	48,70
Ингушская Республика	23,44	29,23	29,24	36,18	42,48	25,35	30,41	46,81	38,88	38,88
Кабардино-Балкарская Республика	48,75	50,87	54,51	54,20	51,78	52,99	52,08	63,43	57,53	59,89
Республика Калмыкия	50,68	50,36	51,58	50,67	52,40	49,96	51,59	48,84	50,72	53,50
Карачаево-Черкесская Республика	68,36	59,38	48,51	53,00	61,17	67,19	51,55	50,08	49,71	33,91
Республика Северная Осетия	44,41	39,74	48,05	38,37	46,06	38,13	51,39	41,88	39,13	53,71
Чеченская Республика	40,25	41,10	46,86	44,42	53,79	53,05	58,46	55,81	58,11	58,42
Краснодарский край	46,70	45,86	46,79	48,41	47,77	45,89	46,97	47,68	47,48	47,21
Ставропольский край	53,24	53,06	54,24	50,03	56,26	55,60	56,82	56,48	54,63	55,72
Астраханская область	36,58	45,86	37,39	43,53	50,21	33,06	38,00	35,78	38,34	35,31
Волгоградская область	47,85	38,69	29,47	28,95	29,42	50,17	48,63	49,67	56,37	47,00
Ростовская область	50,26	49,82	56,10	54,42	55,02	54,96	55,49	55,70	54,85	56,01
Республика Башкортостан	69,42	71,61	71,86	72,42	74,09	74,62	75,72	75,12	74,10	75,88
Республика Марий-Эл,	44,63	48,50	44,08	41,24	41,11	45,92	44,01	49,75	48,31	47,22
Республика Мордовия,	42,92	42,27	44,52	44,11	44,65	44,66	45,38	45,69	45,91	45,48
Республика Татарстан	57,82	57,49	60,57	61,11	60,16	62,24	64,02	63,53	62,67	65,89
Удмуртская Республика	50,49	50,36	51,58	52,73	51,92	53,14	53,68	55,30	54,10	53,46
Чувашская Республика	54,86	57,06	58,39	57,87	58,84	59,74	57,60	59,80	59,52	59,50
Пермский край	70,05	69,62	69,93	70,92	70,88	71,10	70,26	75,37	74,18	71,02
Кировская область	51,68	52,14	53,81	54,24	54,64	54,52	55,23	56,14	55,75	56,56
Нижегородская область	47,36	47,49	50,34	50,70	49,69	51,21	51,30	52,21	53,42	52,87

Продолжение таблицы V.4.9

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Оренбургская область	58,44	59,07	60,67	60,78	60,67	62,53	64,41	65,15	70,03	64,64
Пензенская область	55,51	59,12	60,84	65,99	66,73	70,26	68,17	65,31	64,68	60,33
Самарская область	52,46	49,85	52,42	52,42	54,67	55,70	56,26	52,74	54,19	58,26
Саратовская область	51,64	47,62	52,94	55,27	55,58	56,17	56,49	56,29	60,09	59,89
Ульяновская область	49,96	49,85	48,57	50,51	49,22	50,14	52,36	50,91	54,89	59,16
Курганская область	61,14	57,19	62,64	62,47	60,00	60,01	58,67	61,47	58,96	58,42
Свердловская область	54,25	52,34	55,88	56,70	56,28	57,28	57,70	57,37	58,42	57,69
Тюменская область	56,37	53,07	56,69	57,97	58,41	55,15	55,12	58,37	59,07	60,27
Челябинская область	47,99	45,86	49,72	51,94	51,26	51,86	51,49	50,68	50,60	51,62
Республика Алтай	49,40	50,23	52,16	49,99	54,83	55,09	51,62	54,92	54,32	54,19
Республика Бурятия	65,59	64,67	61,66	65,51	71,34	62,75	65,62	55,55	53,63	56,04
Республика Тыва	34,87	35,37	55,21	34,28	35,36	35,85	36,28	36,24	36,59	38,02
Республика Хакасия	52,84	52,58	50,31	58,00	55,90	63,09	58,65	56,52	56,81	67,66
Алтайский край	48,74	50,48	54,93	51,62	52,61	52,40	52,78	54,32	54,92	55,90
Красноярский край	55,08	54,23	62,18	56,41	56,42	56,60	56,89	58,64	59,02	58,03
Иркутская область	62,10	61,98	56,94	64,08	64,87	65,19	64,78	67,54	60,53	62,83
Кемеровская область	57,23	57,14	53,17	58,51	58,18	57,99	62,30	62,75	61,73	60,70
Новосибирская область	51,00	52,32	56,83	53,82	55,21	56,66	56,88	59,86	57,44	58,30
Омская область	56,31	53,77	57,80	57,18	58,45	59,00	60,41	60,98	60,12	62,67
Томская область	51,91	54,05	55,21	58,06	56,46	54,76	55,33	58,91	60,63	60,20
Забайкальский край (Читинская область)	61,90	56,12	56,49	62,48	58,15	61,05	67,90	69,17	74,23	73,87
Республика Саха (Якутия)	43,60	43,78	46,77	42,02	45,24	50,00	49,80	48,70	47,61	48,74
Камчатский край	49,37	49,12	49,84	52,34	54,97	54,54	57,15	58,93	55,03	46,10
Приморский край	46,63	45,58	48,90	52,92	60,91	64,95	61,41	68,18	61,26	59,21
Хабаровский край	46,00	39,59	40,61	45,84	44,27	40,36	32,72	30,85	40,53	40,53
Амурская область	52,78	48,23	53,10	54,55	55,11	58,28	60,84	61,21	63,45	64,05

Продолжение таблицы V.4.9

Субъект Российской Федерации	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Магаданская область	30,78	31,04	34,57	35,66	30,41	36,79	33,52	33,62	33,52	33,52
Сахалинская область	52,73	55,17	55,28	54,04	53,80	54,93	52,77	61,54	59,86	58,94
Еврейская автономная обл,	32,19	47,03	34,59	46,46	46,09	45,76	27,67	31,90	40,40	40,40
Чукотский автономный округ	31,26	24,47	18,90	18,89	18,91	24,94	23,33	23,85	33,71	30,28
Республика Крым	54,36	49,80	51,30	47,96	48,11	45,64	46,95	49,20	50,01	48,58

V.5 – Методика оценки запасов и баланса углерода в лесах Российской Федерации на основе комплексной обработки данных дистанционного зондирования и выборочных наземных измерений (версия 1.00)

Методика разработана специалистами Института космических исследований Российской Академии Наук (ИКИ РАН) и Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской Академии Наук (ЦЭПЛ РАН) в ходе выполнения важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ), утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2022 г. № 3240-р.

Авторский коллектив:

Гл. научный сотрудник ИКИ РАН, д.т.н., профессор
Вед. научный сотрудник ЦЭПЛ РАН, к.т.н.
Начальник отдела ФГБУ «Рослесинфорг», к.с.-х.н.
Вед. научный сотрудник ИКИ РАН, к.т.н.
Ст. научный сотрудник ИКИ РАН, к.т.н.
Ст. научный сотрудник ИКИ РАН, к.т.н.
Научный сотрудник ИКИ РАН, к.т.н.
Научный сотрудник ИКИ РАН, к.ф.-м.н.
Вед. инженер ИКИ РАН, к.т.н.
Инженер ИКИ РАН
Инженер ИКИ РАН
Инженер ИКИ РАН

Барталев С.А.
Ершов Д.В.
Вечеров В.В.
Егоров В.А.
Хвостиков С.А.
Стыценко Ф.В.
Ховратович Т.С.
Жарко В.О.
Стыценко Е.А.
Сайгин И.А.
Богодухов М.А.
Ворушилов И.И.

1. Введение

В силу огромной площади и значительной продуктивности, российские леса вносят существенный вклад в глобальный углеродный цикл и играют основополагающую роль в реализации национальной стратегии низкоуглеродного развития Российской Федерации (Стратегия ..., 2021). При этом, наряду с колоссальными размерами занимаемых территорий, леса Российской Федерации отличаются высокой динамичностью как в силу естественных процессов роста и сукцессионного развития, так и в результате деструктивных изменений под воздействием крупномасштабных природных (пожары, болезни, вспышки массового размножения насекомых фитофагов и др.) и антропогенных (рубки, техногенные нарушения и др.) факторов. Указанные уникальные отличительные особенности (огромная территория при высоком уровне динамичности) лесов страны делают задачу организации регулярного мониторинга их бюджета углерода чрезвычайно сложной, требующей разработки и применения передовых технологий сбора и обработки информации на основе оптимального сочетания методов дистанционного зондирования Земли (далее ДЗЗ) из космоса, выборочных наземных измерений и экологического моделирования. Именно на достижение этой цели и направлена «Методика оценки запасов и баланса углерода в лесах Российской Федерации на основе комплексной обработки данных дистанционного зондирования и выборочных наземных измерений» (далее Методика), разработанная в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 29 октября 2022 г. № 3240-р.

Разработанная Методика отличается следующими принципиальными возможностями:

1. Получение унифицированных оценок параметров бюджета углерода лесов на всей территории Российской Федерации вне зависимости от ведомственной принадлежности или целевого назначения земель;
2. Получение ежегодно актуализируемых оценок параметров бюджета углерода лесов;

3. Получение оценок параметров бюджета углерода лесов на выбранном уровне территориальной агрегации (ячейка регулярной сети заданного размера, муниципальный район, субъект Российской Федерации, страна в целом) или на произвольной территории, заданной координатами своих границ;

4. Получение однородных многолетних оценок параметров бюджета углерода лесов на ретроспективу с исторической глубиной, определяемой наличием архивов спутниковых данных ДЗЗ с требуемыми характеристиками;

5. Получение информации об уровне неопределённости оценок запасов и баланса углерода лесов для выбранных территориальных агрегаций и временных срезов.

Разработка методики выполнена учеными и специалистами следующих, входящих в состав консорциума «Углерод в наземных экосистемах: мониторинг» важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ), организаций:

- Институт космических исследований Российской академии наук;
- Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук;
- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Рослесинфорг».

Получаемые на основе Методики результаты апробированы Институтом глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля при подготовке данных для Национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом.

2. Основные концептуальные положения методики

Методика определения запасов и баланса углерода в лесах, логическая схема которой представлена на рисунке V.5.1, основана на совместном использовании данных ДЗЗ из космоса, информации выборочных наземных измерений характеристик насаждений на сети тестовых полигонов (ТП) важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ), и постоянных пробных площадях государственной инвентаризации лесов (ППП ГИЛ), с применением комплекса моделей, описывающих ход роста лесов и взаимосвязи между различными их характеристиками, включая коэффициенты конверсии значений растительной биомассы в содержание углерода в отдельных его пулах.

Многолетние временные ряды данных ДЗЗ обеспечивают возможность определения с использованием методов обучаемой классификации и множественной регрессии таких характеристик лесов, как занимаемая ими площадь, преобладающая древесная порода, запас стволовой древесины, относительная полнота, бонитет и возраст (Барталев и др., 2016; Барталев и Лукина, 2023), выявлять участки их нарушений под воздействием пожаров и других деструктивных факторов с оценкой степени повреждения насаждений (Барталев и др., 2015, Стыщенко и др., 2013).

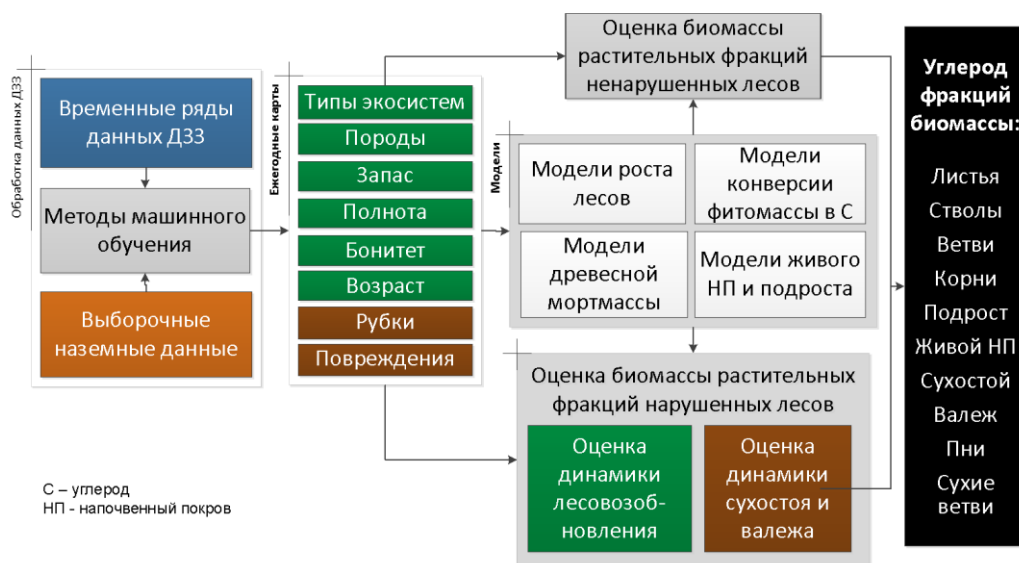


Рисунок V.5.1 – Логическая схема метода оценки запаса углерода в лесах

Важной составляющей методики оценки углеродного бюджета лесов являются различные типы моделей, использующие в качестве входных данных результаты дистанционных или наземных измерений характеристик насаждений. В частности, это модели, позволяющие оценивать на основе измеряемых по данным ДЗЗ характеристик лесов запас углерода отдельных их пулов с использованием коэффициентов конверсии BCEF (Biomass Conversion and Expansion Factors, Schepaschenko et al., 2018). Коэффициенты конверсии BCEF позволяют преобразовать запас стволовой древесины в массу углерода живых фракций древесных растений (стволы, ветви, листва, корни) в зависимости от породы, возраста, бонитета и полноты насаждений. Аналогичные модели используются и для преобразования объема детрита (сухостой, валеж, пни, сухие ветви) в содержание углерода (Shvidenko et al., 2023).

Другая часть комплекса моделей направлена на описание связей между различными характеристиками лесов. К такого рода моделям следует отнести модели хода роста лесов (Швиденко и др., 2008), описывающие для основных лесообразующих древесных пород изменения запасов стволовой древесины, средних значений высоты и диаметра стволов в зависимости от возраста насаждений и их бонитета. Такого рода модели призваны обеспечить возможность прогнозирования роста лесов (например, моделирования процессов восстановления древесной растительности на участках гарей, погибших лесов и вырубок). Также приведенные справочные материалы (Швиденко и др., 2008) содержат модели оценки запаса углерода напочвенного покрова.

Методикой также предусмотрено использование моделей, обеспечивающих вычисление объема фракций мортмассы (сухостоя, валежа, пней, сухих ветвей) на основе их взаимосвязи с запасом стволовой древесины в ненарушенных лесах в зависимости от древесной породы, региона, возраста и бонитета насаждений. Для нарушенных лесов используются модели скорости разложения в них сухостоя и валежа, зависящие от древесной породы и климатических условий.

Методикой оценки углеродного бюджета лесов России предусмотрено ежегодное построение на основе автоматизированных методов обработки данных ДЗЗ совокупности динамических карт, отражающих пространственное распределение типов растительного покрова (наземных экосистем) и различных характеристик лесов. Спутниковые карты наземных экосистем предназначены для выделения покрытых лесом территорий, а также получения информации об изменениях лесов под воздействием деструктивных природных и антропогенных факторов, процессах лесовозобновления и сукцессионной динамики лесной растительности. Методикой предусмотрено построение согласованного временного ряда карт типов наземных экосистем с использованием унифицированной технологии динамического картографирования, включающей в себя следующие основные компоненты:

- построение по данным ДЗЗ временного ряда разносезонных композитных изображений, очищенных от влияния облаков и других мешающих факторов;
- формирование и ежегодная динамическая актуализация опорной выборки;
- локально-адаптивная классификация типов земного покрова;
- ежегодное картографирование гарей и погибших насаждений;
- формирование и постобработка временных рядов ежегодных карт наземных экосистем.

Спутниковые карты преобладающих древесных пород формируются на основе локально-адаптивной классификации временных рядов данных ДЗЗ высокого временного разрешения, отражающих особенности фенологической динамики спектрально-отражательных характеристик насаждений различных пород в течение вегетационного сезона. Динамически обновляемые карты характеризуют пространственное распределение основных лесообразующих пород в лесах и их многолетнюю динамику. В рамках разработанной методики данные карты используются на различных этапах для стратификации лесного покрова по породам, а также для построения карт бонитета и возраста лесов, для выбора конверсионных коэффициентов преобразования запаса стволовой древесины в углерод живых фракций, определения объема фракций детрита, применения моделей хода роста насаждений.

Одним из ключевых элементов Методики является ежегодная дистанционная оценка совокупного (включая древесную фито- и мортмассу) запаса стволовой древесины с дальнейшим отдельным определением обеих указанных составляющих и соответствующих им пулов углерода. В основе метода дистанционной оценки совокупного запаса стволовой древесины лежит использование спутниковых композитных изображений земной поверхности с наличием снежного покрова, полученных в красной и ближней ИК областях спектра (Барталев и др., 2016; Барталев и др., 2022; Жарко

и др., 2018; Zharko et al., 2020). В качестве источников опорных данных для формирования обучающей выборки при этом используются материалы ГИЛ и существующие глобальные информационные продукты по биомассе лесов, такие как Globbiomass (Santoro et al., 2018). Оценка запасов стволовой древесины в лесах выполняется с помощью алгоритмов множественной непараметрической регрессии при условии синхронизации времени получения спутниковых данных и актуализированной опорной выборки. Построенные таким образом деревья решений (случайные леса) используются для обработки многолетних данных и формирования временной серии спутниковых карт запасов стволовой древесины лесов. При этом на первом этапе проводится дистанционная оценка суммарных запасов стволовой древесины растущих (включая подрост) и сухостойных деревьев. Последующая раздельная оценка указанных составляющих суммарного запаса стволовой древесины в ненарушенных лесах достигается на основе модельных соотношений в зависимости от древесной породы, бонитета и возраста насаждений.

Результаты дистанционной оценки характеристик горизонтальной структуры лесов, включая лесистость территории и относительную полноту древостоев, входят в число ключевых параметров, необходимых для моделирования динамики запаса стволовой древесины насаждений на основе моделей хода роста. Под лесистостью понимается отношение покрытой лесом площади к общей площади территории, а изменения этого показателя прежде всего связывают с исчезновением лесного покрова под воздействием различных деструктивных факторов или с его появлением в результате зарастания земель древесно-кустарниковой растительностью (ДКР). Относительная полнота насаждений характеризуется отношением суммы поперечных сечений стволов к абсолютной полноте эталонного (нормального) древостоя заданной породы, возраста и бонитета, получаемых с использованием моделей хода роста лесов. Оба показателя горизонтальной структуры лесов оцениваются с использованием ежегодных композитных спутниковых изображений, полученных на основе значений яркости в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах при наличии снежного покрова на земной поверхности (Барталев и др. 2022). Основой для построения опорной выборки значений лесистости служат данные глобальной карты основных типов земного покрова WorldCover (Zanaga et al., 2021). Предварительная обработка указанных данных включает в себя их фильтрацию для построения пространственно распределенной и согласованной по времени выборки значений анализируемых показателей. Для восстановления зависимости между искомыми характеристиками и данными ДЗЗ используются регрессионные методы. Применение регрессионной модели к ежегодным спутниковым данным ДЗЗ позволяет получать временные ряды показателей лесистости и относительной полноты лесов.

Получаемые по данным ДЗЗ оценки запаса стволовой древесины характеризуют весь представленный на соответствующем пикселу участке лес без учета занимаемой им площади, что диктует необходимость использования показателя лесистости в качестве нормирующего коэффициента для оценки удельного запаса насаждения в единице площади покрытой лесом территории. Относительная полнота насаждений необходима также в качестве нормирующего коэффициента при приведении дистанционных оценок запаса лесов к их модельным значениям при абсолютной (1,0) или модальной (часто принимаемой 0,7) полноте для корректного сопоставления измеряемых и определяемых на основе моделей хода роста значений. Информация об относительной полноте лесов также необходима для оценки значений коэффициентов конверсии запаса в углерод, определения пулов углерода подроста и живого наземного покрова.

Методикой оценки углеродного бюджета лесов в качестве одного из ключевых показателей предусмотрено определение продуктивности насаждений, выражаемой классом бонитета. Совместное применение моделей хода роста насаждений с использованием данных о фактической многолетней динамике запаса стволовой древесины, древесной породе и некоторых других вспомогательных характеристик в качестве признаков (независимых переменных) позволяет оценивать класс бонитета лесов. Полученные оценки бонитета используются в моделях конверсии запаса стволовой древесины в углерод, и для моделирования динамики запаса подроста в нарушенных лесах.

Полученная информация о классе бонитета и преобладающей древесной породе насаждений позволяет оценить их возраст, пользуясь связью последнего с запасом стволовой древесины, однозначно определяемой моделями хода роста лесов. Для применения моделей хода роста лесов измеренный по ДЗЗ запас стволовой древесины в пикселе корректируется на полноту и лесистость насаждений. Наличие информации о возрасте насаждений обеспечивает применимость моделей конверсии запаса стволовой древесины в углерод, и позволяет оценивать фракции древесной морт-массы лесов.

Для оценки бюджета углерода лесов необходима информация об их изменениях, вызванных природными (пожары, усыхания от биогенных факторов и др.) и антропогенными (вырубки, техногенные загрязнения) деструктивными воздействиями. Одним из наиболее масштабных факторов деструктивного воздействия на леса являются пожары. В рамках Методики предусмотрено получение данных о пирогенных и других изменениях лесов на основе тематических информационных продуктов, полученных по данным ДЗЗ (Барталев и др., 2015, Стыценко и др., 2013). Для выявления нарушенных лесов также используются глобальные информационные продукты, отражающие изменения лесного покрова (Hansen et al., 2013). Комплексное использование полученной информации дает возможность оценки площади нарушений лесного покрова пожарами, рубками и прочими факторами.

Использование полученных карт нарушений лесов позволяет оценивать доли запаса растущих деревьев и сухостоя на горях и в усыхающих по другим причинам насаждениях, а также определять изменение запаса вырубленных лесов. Кроме того, полученные данные о динамике суммарного запаса насаждений позволяют характеризовать интенсивность процессов вывала сухостоя на горях и на участках усыхания лесов, а информация о древесной породе и классе бонитета используется для моделирования динамики лесовосстановления в нарушенных лесах.

Совокупность полученных данных обеспечивает возможность оценки углерода в лесах. Модельные коэффициенты ВСЕФ позволяют оценивать распределение запаса углерода растущих деревьев по их основным фракциям (листья, ветви, ствол с корой, корни) с учетом имеющихся данных о древесной породе, классе бонитета, возрасте и относительной полноте. Использование моделей мортмассы позволяет на основе информации о древесной породе, запаса стволовой древесины, возрасте и классе бонитета оценивать содержание углерода в сухостое, валеже, а также пнях и сухих ветвях. Применение указанных моделей в нарушенных лесах для описания процессов разложения сухостоя и валежа, а также для моделирования динамики подроста, позволяет детально учитывать динамику углерода фитомассы и мортмассы на рубках, горях и на участках усыхания по различным причинам.

Реализующая настоящую Методику автоматизированная технология оценки углеродного бюджета лесов России предусматривает последовательное выполнение следующих этапов:

1. Формирование на основе многолетних данных ДЗЗ и ПП ГИЛ временных рядов ежегодных карт типов наземных экосистем, преобладающих лесных древесных пород, запасов стволовой древесины и характеристик горизонтальной структуры лесов;

2. Использование полученных данных о многолетней динамике запасов стволовой древесины, преобладающей древесной породе и показателях горизонтальной структуры насаждений совместно с моделями их хода роста и другими вспомогательными спутниковыми характеристиками для получения карт возраста и бонитета лесов;

3. Получение ежегодных данных о нарушениях лесного покрова, включая информацию об участках повреждений лесов пожарами, биогенными факторами и рубками;

4. Оценку пулов углерода лесов России, включающую:
 - 4.1 Вычисление запаса углерода ненарушенных лесов на основе комплексирования регрессионных моделей со спутниковыми оценками преобладающих древесных пород, запаса стволовой древесины, характеристик горизонтальной структуры насаждений, их бонитета и возраста;
 - 4.2 Оценку пулов углерода нарушенных лесов с определением прямых эмиссий от деструктивных процессов, учетом перехода углерода из пула живой фитомассы в пулы сухостоя и валежа, с последующим мониторингом долгосрочных процессов деструкции и разложения органических остатков и лесовозобновления после нарушений;

- 5 Ежегодная оценка параметров бюджета углерода в лесах, включая поглощение углерода и его эмиссии от различных типов повреждений, с разбиением по категориям земель, субъектам Российской Федерации и другим объектам территориальной агрегации.

3. Исходные данные

3.1 Наземные данные

3.1.1 Данные научной сети тестовых полигонов

В рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ), производится наземная оценка характеристик лесов на сети тестовых полигонов (далее – ТП). ТП представляет

собой квадрат размером 2х2 км, размещаемый в горизонтальном положении на местности. В исключительных случаях форма ТП может отличаться от квадрата, но при этом его площадь должна соответствовать 4 км². Сеть включает ТП с разными уровнями сбора наземных данных характеристик растительности и почв, а именно: полигоны экстенсивного и интенсивного (I и II типа) уровней, а также полигоны в биогеоценозах (БГЦ). ТП экстенсивного уровня предназначены для калибровки и верификации спутниковых продуктов национального уровня. ТП интенсивного уровня I типа предназначены для дополнительной калибровки и углубленной верификации результатов оценки бюджета углерода наземных экосистем, в том числе данных, собираемых на сети ТП экстенсивного уровня. Наземные наблюдения на тестовых полигонах интенсивного уровня II типа и БГЦ полигонах выполняются на пяти постоянных пробных площадях (ППП), данные которых используются для уточнения конверсионных коэффициентов, необходимых для оценки бюджета углерода и потоков парниковых газов в доминирующих типах биогеоценозов России.

Проект сети тестовых полигонов разработан на основе комплексного анализа спутниковых карт наземных экосистем (Барталев и др., 2016), карт экорегионов (Dinerstein et al., 2017), пространственных данных о запасах углерода в растительности (Sprawn et al., 2020) и почвах (Чернова и др., 2021) с учетом доступности территории Российской Федерации. Размещение ТП основано на результатах анализа распределения характерных типов растительности в пределах регулярной сети ячеек размером 1×1 градус (Приложение V.2.1.B.1).

Общее количество полигонов проектной сети составило 1317 ТП, из которых 1020 ТП будут развернуты в лесных экосистемах. Доминирующее количество ТП приходится на экстенсивный уровень, из которых в лесах будет развернуто 962 ТП. Большая часть лесных тестовых полигонов (720 ТП) размещается в ненарушенных здоровых насаждениях. При этом они закладываются таким образом, чтобы включать в себя как минимум одну ППП ГИЛ для установления взаимосвязей показателей, измеряемых различными методами, в рамках ГИЛ и на ТП.

В погибших и поврежденных насаждениях, а также в лесах, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения, закладываются специализированные тестовые полигоны (СТП). Количество СТП определяется в пределах 20-30 % от общего количества ТП в здоровых насаждениях. Пространственное размещение СТП в поврежденных лесах проводится на основе имеющихся данных о воздействии на леса пожаров и других деструктивных факторов.

На каждом ТП экстенсивного уровня закладывается 101 пробная площадь (ПП). Это обеспечивает возможность определения общего запаса стволовой древесины для ТП со случайной погрешностью не более 5%. При этом каждая закладываемая круговая ПП (КРПП) характеризует участок земного покрова площадью около 4 га в пределах ТП, что сопоставимо с размером пиксела данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения.

На КРПП выполняется таксация насаждений для определения их количественных и качественных характеристик (Приложение V.2.1.B.1), в том числе:

- характеристики деревьев, такие, как порода, диаметр ствола, высота, возраст, параметры кроны и категория санитарного состояния. Обработка результатов измерений позволяет для каждого элемента леса (породы) рассчитать такие показатели, как запас древесины, число стволов и сумма их площадей сечений на 1 га, средние значения диаметра, высоты и возраста, а также коэффициент состава и класс бонитета;
- характеристики живого напочвенного покрова, включая положение относительно древесного полога, вид растений и их проективное покрытие;
- характеристики подроста и подлеска, с учетом их распределения по породам и группам высот и с расчетом их объема;
- характеристики детрита, включая учет хвороста, валежа и пней.

На каждом ТП экстенсивного уровня на месте расположения пробной площади ГИЛ выполняется закладка пяти ППП размером 50×50 м, на которых выполняются детальные геоботанические и почвенные исследования с пятью почвенными разрезами и геоботаническими площадками 20×20 м для оценки запасов углерода в почвах и напочвенном покрове.

Тестовые полигоны интенсивного уровня I типа закладываются в основном в лесных экосистемах. Их количество определяется из соотношения один полигон интенсивного уровня на 30 полигонов экстенсивного уровня. Проектирование сети наземных ППП состоит из двух этапов. На первом этапе на разносезонных продуктах спутниковых данных высокого пространственного разрешения выделяются границы однородных сегментов площадью 1 га, центрами которых являются рекогносцировочные ПП (РКП). Сеть из 400 РКП используется для наземной экспресс-оценки основных

характеристик растительности и почв тестового полигона. Таксация насаждений выполняется аналогично методикам, выполняемым на круговых ПП полигонов экстенсивного уровня. На этом же этапе выполняется площадная воздушная фотосъемка и лазерное сканирование полигона с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), на основе которой создаются ортофотопланы, цифровые модели местности и рельефа. Результаты экспресс-оценки растительности и почв используются в качестве исходных данных для выбора 30 ППП из 400 РКП. На втором этапе работ с помощью ортофотопланов и геодезических приборов выполняется закладка на местности 30 ППП размером 50×50 м, на которых проводится таксация, геоботанические и почвенные исследования аналогично методикам, применяемым на площадке ГИЛ полигонов экстенсивного уровня. По результатам полевых работ формируется единая база данных таксации, включающая в себя таксацию насаждений на первом и втором этапе закладки полигона интенсивного уровня I типа.

3.1.2 Данные сети постоянных пробных площадей ГИЛ

При проведении работ по оценке состояния и характеристик лесов в рамках ГИЛ, выполняемых организациями Рослесхоза, закладывается сеть постоянных пробных площадей (ППП), на которых примерно каждые 10 лет проводятся полевые наблюдения с определением количественных и качественных характеристик насаждений. В рамках ГИЛ также проводится таксация насаждения на таксационно-дешифровочных участках (ТДУ) площадью 2,25 га (150×150 м).

ППП представляет собой круговую пробную площадь постоянного радиуса 12,62 м, в целях оптимизации объема выборки деревьев различного диаметра для измерений таксационных показателей используют три концентрических инвентаризационных круга. Для отдельных концентрических инвентаризационных кругов определены пороговые значения диаметров измеряемых деревьев.

В ходе полевых работ на ППП ГИЛ определяются породный состав, возраст, диаметры и высоты деревьев, их состояние, характеристики напочвенного покрова, подлеска и подроста, наличие сухостоя, хвороста, валежа и пней, степень повреждения отдельных деревьев, характер лесовосстановления и другие показатели. Для валежа и пней также учитывается степень разложения.

На основе обработки результатов полевых измерений, в том числе данных подеревного учета, для каждой ППП ГИЛ собирается информация, в том числе, о следующих основных характеристиках насаждений:

- коэффициенты участия пород в насаждении по запасу;
- удельный запас стволовой древесины насаждения, в том числе, отдельно для сухостоя;
- среднее значение возраста деревьев;
- среднее значение диаметра стволов деревьев;
- среднее значение высоты деревьев;
- класс бонитета насаждения;
- количество ярусов и тип сомкнутости полога насаждения;
- общий объем и характеристики валежа каждой древесной породы;
- общий объем и характеристики пней каждой древесной породы;
- процент покрытия подстилающей поверхности хворостом;
- наличие, толщина и тип лесной подстилки;
- степень покрытия земной поверхности живым напочвенным покровом.

3.2 Требования к данным ДЗЗ и их предварительной обработке

3.2.1 Данные ДЗЗ для оценки лесов на национальном уровне

В качестве данных ДЗЗ для оценки лесов на национальном уровне используются спутниковые изображения среднего пространственного разрешения, с размером пиксела от 100 до 500 м. Все исходные данные должны быть пространственно согласованы и покрывать всю территорию Российской Федерации.

Для оценки лесов на национальном уровне используется следующий набор спутниковых данных ДЗЗ:

- регулярные композитные изображения, прошедшие процедуру предварительной обработки и фильтрации помех, вызванных влиянием облаков и других мешающих факторов, характеризующие отражательную способность свободной от снежного покрова земной поверхности;

- непрерывные во времени реконструированные ряды изображений, соответствующие временным срезам значений отражательной способности земной поверхности с заданной периодичностью в течение вегетационного периода лесов;
- композитные изображения земной поверхности с наличием снежного покрова, построенные на основе критериев однородности геометрических условий солнечного освещения и спутниковых наблюдений;
- многолетние композитные изображения снежного покрова, прошедшие процедуру межгодовой и пространственной яркостной нормализации.

Предварительная обработка спутниковых данных ДЗЗ служит для фильтрации эффектов влияния облачного и снежного покрова и основана на использовании измерений отраженного подстилающей поверхностью излучения в заданном наборе спектральных диапазонов (Приложение V.2.1.Б). Подробно построение этого набора данных представлено в Приложении V.2.1.В.2.

Построенные композитные изображения, в зависимости от выбранного временного разрешения, могут содержать пропуски в данных и остаточные шумы. На заключительном этапе предварительной обработки данных происходит анализ временных рядов для фильтрации выбросов, заполнения пропусков, сглаживания и реконструкции данных (Приложение V.2.1.В.2).

Спутниковые данные ДЗЗ зимнего и весеннего периода наблюдений при наличии снега на земной поверхности фильтруются по геометрическим условиям однородности освещения и положения сенсора с последующим формированием однородных бесшовных композитных изображений. Полученные изображения формируют многолетние временные ряды, представленные данными спутниковых наблюдений в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах. Подробно построение этого набора данных представлено в Приложении В.2.

3.2.2 Данные ДЗЗ для оценки лесов тестовых полигонов

Оценка состояния лесов ТП экстенсивного уровня осуществляется с использованием спутниковых данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения (10-30 м). Существующие на данный момент спутниковые системы ДЗЗ позволяют получать изображения с пространственным разрешением 10 м с периодичностью 2-3 дня в средних широтах. Приборы, установленные на таких спутниках, проводят измерения в ряде спектральных каналов в видимом/ближнем инфракрасном диапазоне (VNIR) и коротковолновом инфракрасном диапазоне (SWIR) (Приложение V.2.1.Б).

Поставка спутниковых данных ДЗЗ может осуществляться в виде продуктов высокого уровня предварительной обработки (уровень Level-2A), скорректированных на влияние атмосферы и характеризующих отражательную способность подстилающей поверхности. Также в поставке данных содержится вспомогательная информация об облачности, теневых и сбойных участках изображения в виде соответствующих масок.

Летние бесснежные композитные изображения земной поверхности формируются за период май-сентябрь. В их построении участвуют измерения отражательной способности свободных от снежного покрова участков, очищенные от влияния облаков и теней. Для маскирования зашумленных измерений используются как стандартные маски, так и результаты обработки спутниковых данных ДЗЗ, на основы методики, представленной в Приложении В.2.

Композитные изображения земной поверхности с наличием снежного покрова формируются по очищенным от влияния облаков данным ДЗЗ, получаемым в период январь-апрель каждого календарного года,

Оценка характеристик лесов и запаса углерода в растительности и почвах на полигонах интенсивного уровня I типа выполняется по разносезонным данным аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования с пространственным разрешением 10-30 см. Воздушная съемка территории полигона проводится не менее двух раз в течение вегетационного сезона.

Поставка данных БПЛА на тестовые полигоны включает в себя ортофотопланы в видимых (красный, зеленый, голубой) и инфракрасном (красный край, ближний ИК) спектральных диапазонах длин волн, цифровые модели местности и рельефа, трехмерные облака точек отражения лазерного луча от растительности с отметками высот.

3.3 Международные данные глобального спутникового мониторинга лесов

В качестве дополнительного источника пространственной информации о лесах Методикой предусмотрено использование ряда следующих, созданных международным научным сообществом, спутниковых информационных продуктов глобального уровня:

- *Глобальная карта основных типов земного покрова WorldCover 2020 (Европейское космическое агентство) (Zanaga et al., 2021).*

WorldCover представляет собой глобальную карту типов земного покрова по состоянию на 2020 год, включающую 11 тематических классов. Легенда карты основана на системе иерархической классификации земного покрова LCCS (Land Cover Classification System), разработанной Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных наций (ФАО ООН). Информационный продукт получен с использованием данных спутниковых систем Sentinel-2 и Sentinel-1 и имеет пространственное разрешение 10 м. Методикой предусмотрено использование информационного продукта WorldCover для построения обучающей выборки покрытых и непокрытых древесной растительностью земель для оценки лесистости территорий.

- *Глобальная карта основных типов земного покрова Globland30 (Национальный центр геоматики Китая) (Chen et al., 2015)*

Globland30 представляет собой глобальную карту типов земного покрова по состоянию на 2020 год, включающую 10 тематических классов, таких как леса, кустарники, водно-болотные угодья, пахотные земли, луга, водные объекты, тундра, урбанизированные территории, открытая почва, ледники и вечные снега. Продукт построен на основе данных Landsat TM5, ETM+ и данных спутника КНР HJ-1. Методикой предусмотрено использование данных GlobeLand30 для подготовки обучающей выборки для классов урбанизированных территорий и водных объектов при получении ежегодных карт распространения древесно-кустарниковой растительности.

- *Глобальная цифровая модель рельефа SRTM (Rodriguez et al., 2005)*

Цифровая модель рельефа (ЦМР) содержит информацию о высотах земной поверхности, полученную Национальным агентством аэронавтики и космонавтики США NASA в 2000 году. Пространственное разрешение данных составляет около 25 м. Методикой предусмотрено использование цифровой модели рельефа для получения информации об углах наклона и ориентации склона, совместно с абсолютными значениями высоты поверхности над уровнем моря в качестве дополнительных признаков при оценке характеристик лесного покрова.

- *Глобальная карта биомассы лесов GlobBiomass 2010 (Европейское космическое агентство) (Santoro et al., 2018)*

Продукт GlobBiomass отражает оценки запаса древостоя ($\text{м}^3/\text{га}$) и биомассы надземной его части ($\text{т}/\text{га}$) по состоянию на 2010 год. Для создания продукта использованы радарные данные ALOS PALSAR (L-канал) и Envisat ASAR (C-канал), а в качестве вспомогательных и калибровочных применялись оптические (Landsat-7) и лидарные (IceSAT GLAS) спутниковые данные. Пространственное разрешение продукта – 100 м. Методикой предусмотрено использование продукта GlobBiomass в качестве дополнительного источника опорных данных для формирования обучающей выборки по запасу лесов на территориях с низкой плотностью сети ППП ГИЛ.

- *Глобальная карта изменений лесного покрова Global Forest Change (Университет Мерилленда) (Hansen et al., 2013)*

Продукт Global Forest Change включает в себя ежегодные глобальные карты нарушений лесного покрова за период с 2000 года и по настоящее время. Для создания информационного продукта использованы временные ряды данных спутников серии Landsat, а его пространственное разрешение составляет 30 м. Дополнительно в рамках информационного продукта предоставляются сведения об участках лесовозобновления, а также информация о доле покрытия лесом территории, соответствующей пикселу данных. Настоящей методикой предусмотрено использование продукта Global Forest Change в качестве источника информации об участках деструктивных изменений лесного покрова.

4. Методы оценки характеристик лесов по данным ДЗЗ

4.1 Оценка площади, покрытой лесной древесно-кустарниковой растительностью

Используемый метод картографирования лесной ДКР основан на особенностях сезонной динамики спектрально-отражательных характеристик лесного покрова по спутниковым данным ДЗЗ. Характеристикой площади древесно-кустарникового покрова, полученной на основе данных ДЗЗ национального уровня, служит занимаемая ДКР доля площади земной поверхности в пределах пиксела.

Для оценки доли покрытия земной поверхности лесной ДКР используются следующие входные данные:

Ежегодные композитные изображения, построенные на основе данных ежедневных наблюдений в красном и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах спектра в период с наличием снежного покрова на земной поверхности;

Ежегодные композитные изображения, построенные на основе данных ежедневных наблюдений в видимом, ближнем ИК и среднем ИК спектральных диапазонах на момент достижения максимума вегетации зеленой растительности;

Признаки, рассчитанные на основе ЦМР, включая углы наклона и ориентации склона, а также высоту местности над уровнем моря.

Метод включает в себя независимую оценку трех показателей для пикселей данных ДЗЗ – долей покрытия земной поверхности древесной растительностью, кустарниковой растительностью и безлесными территориями, такими как пашня, открытая вода, урбанизированные территории и некоторыми другими типами земного покрова. При формировании обучающих выборок для оценки указанных выше показателей на основе методов машинного обучения используются следующие источники данных (см. раздел 3.3):

- глобальная карта основных типов земного покрова WorldCover 2020;
- глобальная карта основных типов земного покрова Globland30;
- информация о пространственном распределении кустарниковой растительности по материалам поведельных лесотаксационных обследований.

Оценка указанных показателей по спутниковым данным ДЗЗ включает в себя три последовательных этапа:

- формирование и фильтрация опорной выборки данных;
- настройка регрессионной модели машинного обучения на основе архитектуры случайных лесов (Random Forest);
- последовательное применение настроенных моделей к данным ДЗЗ каждого года для получения временных рядов ежегодных оценок доли покрытия территории различными типами лесной ДКР.

Результаты обработки объединяются для получения итоговой оценки доли площади, занимаемой лесной ДКР на территории, соответствующей пикселу спутниковых данных ДЗЗ. На заключительном этапе происходит сглаживание построенных временных рядов данных для получения ежегодных оценок площади, покрытой древесно-кустарниковой растительностью.

Более подробное описание используемого метода приведено в Приложении Г.1.

4.2 Оценка запасов стволовой древесины лесов

В основе метода оценки запасов стволовой древесины лесов по данным ДЗЗ лежит использование результатов спутниковых наблюдений в условиях наличия устойчивого снежного покрова на земной поверхности.

По спутниковым данным ДЗЗ формируются временные ряды ежегодных композитных изображений покрытой снегом земной поверхности в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах, прошедшие взаимную радиометрическую нормализацию для приведения изображений за разные годы к единой яркостной шкале (Приложение V.2.1.B.2).

Исходные величины отражательной способности в указанных спектральных диапазонах используются для расчета индекса RIND, представляющего собой логарифм их линейной комбинации с эмпирически полученными весовыми коэффициентами, что позволяет минимизировать различия

между листопадными и хвойными вечнозелеными лесами и скомпенсировать нелинейность зависимости величины запаса стволовой древесины лесов от значения используемого признака. На основе значений отражательной способности покрытой снегом земной поверхности также рассчитывается величина индекса NDVI. Рассчитанные таким образом индексы являются входными данными для оценки запасов стволовой древесины лесов.

Опорная выборка для проведения машинного обучения формируется в два этапа. На первом этапе данные наземных обследований лесов на уровне таксационных выделов, скорректированные для учета всех пулов углерода надземной древесной фитомассы на основе материалов ППП ГИЛ (раздел 3.2), и данные глобальной карты биомассы лесов GlobBiomass (раздел 3.3) используются для построения начальной опорной выборки. На втором этапе выполняется регуляризация выборки на основе обучения регрессионной модели LightGBM (Ke et al., 2017) и получения по расширенному набору данных ДЗЗ за соответствующий год новых оценок запасов, формирующих итоговую опорную выборку.

Подготовленная итоговая опорная выборка используется для настройки регрессионной модели машинного обучения на основе архитектуры случайных лесов (random forest regression). В качестве признаков для оценки запасов древесины используются вышеупомянутые индексы NDVI и RIND. Обученная модель затем применяется к совокупности радиометрически нормализованных ежегодных композитных изображений земной поверхности с наличием снега за период начиная с 2001 года и по настоящее время для формирования многолетнего временного ряда оценок удельных запасов стволовой древесины. Для снижения уровня влияния остаточных шумовых эффектов производится сглаживание временного ряда ежегодных оценок запаса стволовой древесины лесов.

Подробное описание метода оценки запасов стволовой древесины лесов приведено в Приложении Г.2.

4.3 Оценка породного состава лесов

Оценка породного состава лесов выполняется на основе классификации временных рядов спутниковых данных ДЗЗ с использованием методов машинного обучения. Насаждения с преобладанием разных пород развиваются в течение вегетационного сезона по-разному, и имеют различные сроки наступления фенологических фаз, таких как появление/изменение цвета/опадание листьев, цветение, и т. д. Это проявляется в особенностях динамики спектрально-отражательных характеристик лесов разных пород по данным спутниковых измерений. Указанные особенности древесных пород используются для их взаимного разделения на основе спутниковых данных ДЗЗ высокого временного разрешения.

Исходными данными для оценки породного состава лесов являются многолетние временные ряды ежедневных безоблачных композитных изображений по спутниковым данным ДЗЗ, описанные в разделе 3.2.1. Для классификации используются спутниковые изображения в информативных для изучения растительности красном, ближнем инфракрасном (ИК) и среднем ИК спектральных диапазонах за период с мая по октябрь с временным разрешением 5 дней, а также композитные изображения земной поверхности с наличием снежного покрова в красном и ближнем ИК диапазонах длин волн.

Обучающая выборка данных для обучения классификатора содержит информацию о пространственном распределении участков, более 90% лесного покрова которых занято насаждениями с преобладанием одной породы, и формируется на основе материалов наземного обследования лесов на уровне таксационных выделов. При этом отбираются наиболее достоверные результаты наземных обследований стабильных участков лесного покрова с использованием моделей хода роста насаждений, многолетних временных рядов карт типов лесных и нелесных земель (раздел 4.6), и международных информационных продуктов глобального спутникового мониторинга лесов (см. раздел 3.3).

Классификация вышеописанных временных рядов спутниковых данных ДЗЗ выполняется методом случайных лесов (Breiman, 2001) с использованием локально-адаптивного подхода и программного комплекса LAGMA (Bartalev et al., 2014). При этом сформированная выборка используется для обучения классификатора, а также учитывается информация об ареалах лесов различных преобладающих пород на территории России, подготовленная на основе вышеупомянутых карт типов лесных и нелесных земель и материалов лесоустройства.

Результаты классификации данных ДЗЗ для участков с наличием лесного покрова согласно картам характеристик лесов (см. разделы 4.1, 4.6) формируют карту преобладающих древесных пород

леса по состоянию на заданный год. Формирование карт за последующие годы для построения их многолетнего ряда выполняется на основе анализа изменений в лесах по временным сериям карт типов наземных экосистем и лесистости территории.

Выделяется три группы пикселей: 1) пиксели без изменений породной структуры; 2) пиксели с изменениями породной структуры; 3) пиксели, ранее относившиеся к нелесным классам. Для пикселей, отнесенных ко второй и третьей группам, выполняется новая классификация временных рядов данных ДЗЗ за соответствующий год.

Формируемый по результатам обработки спутниковых данных ДЗЗ многолетний временной ряд ежегодных карт характеризует пространственное распределение 20 тематических классов лесного покрова с преобладанием различных древесных пород и 4 классов кустарниковой растительности на территории страны за период с 2001 года и по настоящее время. Более детальное описание метода оценки породного состава лесов дано в Приложении Г.3.

4.4 Оценка относительной полноты лесов

Метод оценки по данным ДЗЗ относительной полноты насаждений основан на моделировании связи между наземными измерениями данного показателя и спектрально-отражательными характеристиками земной поверхности.

В качестве признаков для оценки относительной полноты лесов используются следующие входные данные:

- ежегодные композитные изображения земной поверхности с наличием снежного покрова в красном и ближнем ИК диапазонах спектра, построенные на основе данных ежедневных спутниковых наблюдений;
- ежегодные композитные изображения земной поверхности в видимом, ближнем ИК и среднем ИК спектральных диапазонах на момент достижения максимума нормализованного разностного вегетационного индекса, построенные на основе данных ежедневных спутниковых наблюдений;
- признаки, рассчитанные на основе ЦМР местности, включая углы наклона и ориентации склона, а также высоту над уровнем моря.

Обучающая выборка опорных данных по относительной полноте лесов формируется на основе поведельных материалов лесоустройства.

Метод оценки относительной полноты лесов по данным ДЗЗ включает в себя следующие последовательные этапы:

- формирование и фильтрация обучающей выборки с использованием моделей хода роста насаждений и данных о доле покрытия участка ДКР (см. раздел 4.1);
- настройка регрессионной модели машинного обучения на основе архитектуры случайных лесов и сбалансированной по диапазонам относительной полноты опорной выборки данных;
- последовательное применение настроенной модели к данным ДЗЗ каждого года для получения временных рядов ежегодных оценок относительной полноты лесов;
- маскирование непокрытых лесом территорий на основе данных о доле покрытия ДКР соответствующего пикселу участка местности (см. раздел 4.1);
- сглаживание построенных временных рядов ежегодных оценок относительной полноты ДКР.

4.5 Оценка бонитета и возраста лесов

Оценка бонитета и возраста лесов основана на использовании методов машинного обучения, репрезентативной обучающей выборки, полученной по данным лесной таксации, и оптимальном наборе многолетних признаков на основе спутниковых данных ДЗЗ.

Бонитет и возраст лесов связаны с их продуктивностью. Значения бонитета напрямую определяют скорость роста деревьев, в то время как возраст позволяет установить текущую продуктивность в зависимости от стадии развития древостоя. В свою очередь продуктивность древостоя отражается в многолетней динамике характеристик лесов, например, через изменение их запаса стволовой древесины. Таким образом, значения бонитета и возраста лесов могут быть установлены на основе многолетних спутниковых наблюдений их характеристик.

В качестве признаков используются многолетние оценки характеристик лесов, включая запас стволовой древесины, преобладающую породу и относительную полноту, а также лесистость тер-

ритории. Кроме этого, используются исходные спутниковые измерения коэффициента спектральной яркости (КСЯ) в красном, ближнем и среднем инфракрасных каналах, полученные для различных временных срезов и позволяющие характеризовать фенологическую динамику насаждений.

Необходимая для применения методов машинного обучения опорная выборка основана на наземных данных лесной таксации. Слабая изменчивость бонитета во времени позволяет использовать разновременные данные лесной таксации. Для возраста лесов проводится дополнительная коррекция и фильтрация данных на основе информации о давности проведения лесоустройства, выявленных на основе спутниковых данных ДЗЗ повреждениях лесов и с использованием оценок динамики запаса стволовой древесины на основе моделей хода роста насаждений.

Для применения методов машинного обучения с учетом большого числа признаков и наличия репрезентативной опорной выборки данных выполняется анализ значимости признаков с исключением из дальнейшей классификации малоинформативных характеристик. Выбор значимых признаков основан на построении классификатора для полного набора признаков и их ранжирования по значимости. Для построения карт бонитета и возраста лесов используется поднабор наиболее значимых признаков, минимизирующий падение точности в связи с исключением остальных признаков.

Для оценки возраста и бонитета используется метод градиентного бустинга на основе деревьев решения. Обучение происходит на репрезентативной обучающей выборке и поднаборе из наиболее значимых признаков. Применение обученного метода градиентного бустинга к полному набору спутниковых данных позволяет получить карты бонитета и возраста лесов. Подробно метод оценки бонитета и возраста лесов описан в Приложении Г.5.

4.6 Картографирование типов лесных и нелесных земель

Для выделения основных типов лесных и нелесных земель используется технология картографирования на основе спутниковых данных ДЗЗ, с использованием метода LAGMA (locally-adaptive global mapping algorithm, Bartalev et al., 2014). Технология позволяет выделять основные классы наземных экосистем, включая леса, травянисто-кустарниковую растительность, водно-болотные комплексы, гари и некоторые другие классы.

В качестве исходных используются данные об отражательной способности земной поверхности в красном (Red), ближнем ИК (NIR) и среднем ИК (SWIR) спектральных диапазонах.

Используются очищенные от влияния облаков и других маскирующих земную поверхность факторов разносезонные композитные изображения. Композитные изображения летнего, осеннего и весеннего периодов используются с включением данных измерений во всех трех спектральных диапазонах, в то время как использование композитных изображений земной поверхности с наличием снега ограничено спектральными каналами Red и NIR.

Для формирования опорной выборки данных используется метод динамической актуализации, предполагающий ее рекурсивное формирование для рассматриваемого года на основе результатов картографирования земного покрова в предшествующем году с фильтрацией претерпевших изменения территорий на основе данных ДЗЗ и имеющейся вспомогательной информации о воздействии на леса различных деструктивных факторов. Первичная выборка эталонов различных классов выполнена на основе имеющихся карт наземных экосистем, а также вспомогательной наземной информации с использованием статистической и контекстной фильтрации.

В ежегодные карты, созданные на основе описанной технологии, интегрируются независимо полученные маски гарей, пахотных земель, вечных снегов и урбанизированных территорий. Отдельный этап технологии обеспечивает картографирование необлесенных гарей.

Карты наземных экосистем России формируются ежегодно и отражают пространственное распределение основных типов лесных и нелесных земель.

5. Оценка по данным ДЗЗ последствий воздействия на леса деструктивных факторов

5.1 Оценка воздействия на леса пожаров

В качестве показателей степени повреждения лесов пожарами используются характеристики средневзвешенной категории состояния (СКС) и степени усыхания (СУ) лесов, а также площадь погибших от пожаров лесов.

Для оценки характеристик СКС и СУ используется технология обработки спутниковых данных ДЗЗ с использованием следующих производных продуктов:

- ежедневные данные об отражательной способности земной поверхности, прошедшие процедуру фильтрации влияния облаков и других мешающих факторов с реконструкцией непрерывных временных рядов;
- среднесезонные опорные ежедневные данные об отражательной способности неповрежденных пожарами лесов (статистическая норма);
- ежегодные данные о пройденных огнем территориях и датах пожаров, полученные по результатам их детектирования на основе спутниковых данных ДЗЗ;
- ежегодные карты лесных экосистем, полученные на основе спутниковых данных ДЗЗ;
- ежегодные карты лесистости территории, полученные на основе спутниковых данных ДЗЗ.

Технология ежегодной оценки показателей СКС и СУ поврежденных пожарами лесов на уровне отдельных пикселей по данным ДЗЗ включает следующие основные этапы:

1. Построение ежедневной временной серии разностного вегетационного индекса RdSWVI, характеризующего отклонение его значений для поврежденного огнем леса от статистической нормы;
2. Расчет медианного значения индекса RdSWVI для каждого пикселя, для измерений, полученных после воздействия огня;
3. Оценка значений СКС и СУ на основе уравнения связи данных показателей и значения медианы индекса RdSWVI.

Вычисления проводятся для каждого пикселя, соответствующего пройденным огнем лесам согласно данным их спутникового картографирования по состоянию на предшествующий пожару год. Результатом работы технологии является попиксельная оценка значений СУ и СКС нарушенных пожарами лесов в заданном году. Оценки значения показателя СУ используются в дальнейшем для расчета запаса погибших от пожаров лесов. Оценки значения показателя СКС используются для оценки площади погибших от пожаров лесов с учетом лесистости территории. Более подробно технология оценки степени повреждения лесов пожарами и площади погибших насаждений представлена в Приложении Д.1

5.2 Оценка воздействия на леса биогенных и других деструктивных факторов

Выявление и оценка повреждений лесов болезнями, насекомыми, промышленными загрязнениями и другими деструктивными факторами выполняется на основе технологии ежегодного картографирования степени усыхания (СУ) насаждений. Технология основана на использовании данных ДЗЗ полученных в красном, ближнем и среднем инфракрасных спектральных диапазонах, и построенных на их основе вегетационных индексах NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и SWVI (Short Wave Vegetation Index), а также их разновременных версий RdNDVI и RdSWVI.

Для расчета степени усыхания лесов используется следующий набор спутниковых данных ДЗЗ и информационных продуктов:

- композитные изображения с данными об отражательной способности земной поверхности, построенные за летний и зимний периоды;
- ежегодные данные о пройденных огнем территориях и датах пожаров, полученные по результатам их детектирования на основе спутниковых данных ДЗЗ;
- ежегодные карты наземных экосистем.

Технология включает следующие основные этапы:

1. Предварительная обработка композитных спутниковых изображений, включающая их взаимную радиометрическую нормализацию;
2. Расчет индексов RdSWVI и RdNDVI, полученных на основе летних и зимних композитных изображений соответственно;
3. Расчет СУ на основе уравнений связи данного показателя и индексов RdNDVI и RdSWVI для лесных земель;
4. Фильтрация неустойчивых изменений, а также изменений, связанных с пожарами и сплошными рубками.

Более подробно технология оценки степени усыхания нарушенных лесов представлена в Приложении Д.2.

5.3 Оценка воздействия на леса сплошных рубок

Оценка воздействия на леса сплошных рубок выполняется на основе анализа многолетней динамики запасов стволовой древесины по данным ДЗЗ среднего пространственного разрешения (см. раздел 4.2), и многолетних временных рядов композитных изображений по данным ДЗЗ высокого пространственного разрешения (10-30 м), полученных в период наличия снежного покрова на земной поверхности (см. раздел 3.2.2).

Входными данными для метода детектирования сплошных рубок служат многолетние временные ряды оценок запасов древесины.

Метод включает в себя ряд последовательных этапов:

1. Поиск максимального по величине падения запаса стволовой древесины между соседними годами многолетнего временного ряда наблюдений;
2. Расчет статистических характеристик распределения запаса древесины за предшествующие падению запаса семь лет наблюдений в пикселах с выявленным на предыдущем этапе падением запаса;
3. Статистическая фильтрация выявленных изменений с исключением пикселей, в которых падение величины запаса древесины мало отличается от его естественной вариабельности за семилетний период, предшествовавший изменению;
4. Исключение участков, не относящихся к лесному покрову на основе карты типов лесных и нелесных земель предшествующего выявленному изменению года, или с долей покрытия ДКР менее заданного порога (см. раздел 4.1);
5. Исключение пикселей, в которых снижение запасов древесины вызвано воздействием пожаров (см. раздел 5.1);
6. Буферизация выявленных ежегодных изменений с применением фокального фильтра с учетом сохранения условия уменьшения запаса в буферной зоне;
7. Оценка размеров выявленных участков изменений и фильтрация участков, значительно превышающих характерные размеры сплошных рубок;
8. Сопоставление выявленных участков изменений с данными глобальной карты изменений лесного покрова Global Forest Change (см. раздел 3.3).

Результаты работы метода используются для определения объемов единовременно изъятой сплошными рубками древесины при оценке баланса углерода в лесах.

Для определения площади рубок используется метод детектирования участков нарушенных лесов на основе временных серий спутниковых данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения (10-30 м). Входными данными служат ежегодные композитные изображения, построенные на основе очищенных от облаков и теней данных ежедневных наблюдений в ближнем ИК спектральном диапазоне, полученные при наличии снежного покрова на земной поверхности. На этапе предварительной обработки данные проходят процедуру взаимной нормализации для учета межгодовых вариаций количества безоблачных дней в период сбора композита и неоднородности снежного покрова (см. раздел 3.2.1).

Оценка вероятности наличия древесного покрова проводится на основе машинного обучения с помощью регрессионной модели “Случайный лес”. Опорная выборка данных для обучения модели формируется на основе статистической фильтрации глобальной карты типов земного покрова WorldCover 2020 (см. раздел 3.3). В результате последовательного применения обученной модели к спутниковым данным ДЗЗ за каждый год формируется многолетний временной ряд оценок вероятности наличия древостоя на участке, соответствующем пикселу данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения.

Детектирование изменений осуществляется на основе анализа динамики полученных оценок вероятности с помощью набора пороговых правил для выявления резкого и устойчивого падения рассматриваемой характеристики. В результате формируется карта изменений в лесах, соответствующих вырубкам, с датировкой по году максимального падения вероятности отнесения пиксела спутникового изображения к лесному покрову. Полученные карты вырубок высокого пространственного разрешения используются для оценки их площадей. Подробное описание метода приводится в Приложении Д.3.

6. Оценка запасов и баланса углерода лесов по результатам обработки данных ДЗЗ

6.1 Оценка запасов и баланса углерода в ненарушенных лесах

Оценка запасов и баланса углерода в ненарушенных лесах основана на полученных по данным ДЗЗ оценках характеристик лесов, к которым применяется комплекс моделей для оценки запаса углерода различных фракций.

Оценка запаса углерода в мортмассе основана на регрессионных моделях, устанавливающих связи между фракциями мортмассы и запасом стволовой древесины и другими характеристиками лесов. Модели используют результаты спутниковой оценки преобладающей древесной породы, запаса стволовой древесины, относительной полноты, бонитета и возраста, и позволяют оценить запасы углерода во фракциях сухостоя, валежа, пней и сухих ветвей.

Оценка запаса углерода во фракциях фитомассы основана на конверсионных коэффициентах ВСЕФ, получаемых с использованием спутниковых оценок относительной полноты, запаса сырорастущей стволовой древесины, преобладающей породы, бонитета и возраста для оценки углерода следующих фракций: стволы, ветви, листья и корни. Для оценки объема сырорастущей стволовой древесины используется полученная ранее оценка объема сухостоя, которая исключается из спутниковых оценок запаса стволовой древесины.

Для оценки запаса углерода напочвенного покрова используются модели динамики фитомассы, оценивающие его на основе информации о древесной породе, относительной полноте, возрасте и бонитете леса.

Таким образом, подход к оценке запаса углерода в ненарушенных лесах использует следующие спутниковые оценки характеристик лесов: преобладающая древесная порода, запас стволовой древесины, полнота, бонитет и возраст. На их основе с помощью моделей даются оценки запаса углерода во фракциях фитомассы (стволы, корни, ветви, листва и напочвенный покров и мортмассы (сухостой, валеж, пни и сухие ветви).

Подробно метод оценки запаса углерода в ненарушенных лесах описан в Приложении Е.

6.2 Оценка запасов и баланса углерода в нарушенных лесах

Описанные в разделе 6.1 оценки соотношения между запасом углерода фитомассы и мортмассы действительны для ненарушенных лесов. Для нарушенных деструктивными факторами лесов учитывается изменение соотношений между фракциями, зависящее от типа повреждений:

- для рубок соответствующая часть живых деревьев исключается из пула углерода, имевшийся до рубки запас сухостоя переводится в валеж, остальные фракции остаются неизменными;
- для лесов, поврежденных пожарами или другими деструктивными факторами, погибшие деревья переводятся в сухостой, а имевшиеся до этого остальные фракции остаются неизменными. Для этой категории поврежденных лесов также осуществляется мониторинг их динамики на основе спутниковых данных ДЗЗ. В частности, падение запаса стволовой древесины по данным ДЗЗ интерпретируется как выпадение сухостоя, и приводит к переводу его пула в валеж.

Для оставшегося после нарушения сухостоя и валежа производится моделирование их разложения и связанной с ним потери углерода с учетом климатических условий и преобладающей породы лесов до повреждения.

Для моделирования процессов лесовозобновления методика предполагает использование моделей хода роста лесов, на основе которых воспроизводится динамика запаса стволовой древесины после повреждений насаждения. Оценка углерода лесовозобновления проводится на основе моделей, описанных в разделе 6.1 настоящей Методики.

Подробно метод оценки запаса углерода в нарушенных лесах описан в Приложении Е.

6.3 Оценка запасов и баланса углерода лесов на национальном уровне

Оценка запаса углерода лесов на национальном уровне выполняется с помощью полученных локальных оценок на уровне пикселей спутниковых данных ДЗЗ, описанных в разделах 6.1 и 6.2 настоящей Методики. Оценка запаса углерода на уровне субъектов Российской Федерации достигается сложением соответствующих попиксельных оценок. Аналогично получается оценка запаса углерода отдельных фракций (живой части, сухостоя, валежа и др.). Такая оценка запаса углерода в лесах на национальном уровне выполняется для каждого года для получения данных о динамике изменения искомой характеристики.

Оценка баланса углерода лесов на национальном уровне основана на информации об изменении запаса углерода в пикселе за год. Суммирование изменений запаса углерода в пикселях, лежащих в границах субъекта Российской Федерации, дает оценку суммарного баланса для лесов рассматриваемой территории.

Отнесение пикселя к классам покрытой или непокрытой лесом территории проводится на основе спутниковой оценки лесистости (раздел 4.1). То есть пиксел относится к лесу при превышении определенного порога по критерию лесистости, в противном случае он не учитывается при оценке запаса углерода лесов. Аналогично, пиксел относится к классу редин (редколесий), если соответствующая ему по данным ДЗЗ оценка значения относительной полноты древесной растительности ниже заданного порога (раздел 4.4). При этом запасы и баланс углерода лесов и редин могут быть учтены независимо (раздел 9).

Описанный метод позволяет оценивать объем нетто-поглощения углерода лесной растительностью, или поглощения с учетом деструктивных нарушений лесов. Для оценки поглощения углерода лесной древесной растительностью при отсутствии повреждений (потенциальное поглощение) методика предполагает исключение влияния повреждений на запас и баланс углерода лесов. Для этого в каждом пикселе поврежденных лесов выполняется замена наблюдаемой по ДЗЗ реальной динамики запаса стволовой древесины на ее оценку по моделям хода роста. Замена оценок запаса проводится с момента первого детектирования повреждения по спутниковым данным ДЗЗ. С этого момента прирост запаса стволовой древесины лесов определяется его модельными, а не спутниковыми оценками. Применение к полученным оценкам запаса стволовой древесины моделей для ненарушенных лесов (раздел 6.1) дает оценку их динамики углерода.

7. Погрешности оценки запасов и баланса углерода в лесах по данным ДЗЗ

Погрешность оценки запасов и баланса углерода в лесах страны определяется на основе метода Монте-Карло. Метод Монте-Карло предполагает создание множества оценок (реализаций) запаса и баланса углерода, каждая из которых порождается случайной вариацией входных характеристик лесов и параметров моделей с учетом их распределения погрешностей. Агрегация всех реализаций дает оценку погрешности.

Для оценки неопределенности запаса и баланса углерода учитываются погрешности спутниковых карт характеристик лесов, включая породу, запас, лесистость, полноту и бонитет, а также погрешности коэффициентов конверсии запаса в биомассу (ВСЕФ). Для каждого из этих параметров были сгенерированы их вероятностные распределения, полученные на уровне пикселей для спутниковых оценок характеристик лесов и глобально на уровне страны для модельных коэффициентов.

Для каждой реализации Монте-Карло на основе гистограмм погрешностей генерируется новое значение входных характеристик лесов и параметров моделей. Для этих новых значений в соответствии с подходом, описанным в разделе 6, создаются новые оценки запаса и баланса углерода. В результате выполнения заданного количества реализаций получается множество оценок запаса и баланса, формирующих некоторое их распределение. Это распределение должно характеризовать погрешность оценок запаса и баланса углерода с учетом погрешности входных данных. Для формальной оценки погрешности используются стандартные статистические метрики, такие как стандартное отклонение и доверительные интервалы. Погрешность может быть рассчитана как в масштабах страны, так и на уровне субъектов Российской Федерации или любом другом уровне территориальной агрегации.

Подробно метод оценки погрешности определения запасов и баланса углерода в лесах описан в Приложении Ж.

8. Оценка запасов и поглощения углерода в лесах на основе данных ППП ГИЛ

Наличие большого объема данных ППП ГИЛ в части территории страны позволяет опционально получать альтернативную оценку запаса и поглощения углерода в лесах, основанную на обработке выборочных данных наземных наблюдений, их агрегации и статистической обработке для получения описания характеристик лесов, которое используется для расчета пулов углерода и их динамики.

На основе данных ГИЛ происходит расчет следующих показателей:

- площадь поперечного сечения стволов;
- расчетная высота деревьев;
- распределенная по экземплярам учетных деревьев площадь ППП;
- объем стволов живых деревьев;
- распределенная по ППП площадь лесов субъекта Российской Федерации.

На первом этапе информация об отдельных деревьях переводится на уровень всей ППП. При использовании данных разновременных наблюдений для определения показателей года учета (возраста, запаса) они приводятся к одному учетному году с помощью таблиц хода роста насаждений (Швиденко и др., 2008).

Необходимая для расчета углерода информация о преобладающей породе в древостое ППП оценивается на основе максимальной величины запаса породы. Бонитет насаждений определяется на основе шкалы М.М. Орлова с использованием высоты и возраста основного полога древостоя ППП.

Для расчета углерода информация с уровня площадок агрегируется на уровень субъектов Российской Федерации. Для выполнения моделирования данные года учета корректируются к целевому модельному году с использованием моделей хода роста лесов.

Алгоритм расчета содержания углерода основан на использовании моделей хода роста модельных насаждений (Швиденко и др., 2008), которые дают возможность учитывать региональные особенности, древесную породу, возраст и бонитет древостоев. Таксационные показатели (порода, запас древесины, возраст, бонитет) и принадлежность к лесорастительной зоне (субъекту Российской Федерации), определенные в первом цикле ГИЛ, служат параметрами входа в модели хода роста.

Аналогичным образом с помощью моделей оценивают запасы различных фракций мертвой древесины (сухостой, валеж, пни). С использованием конверсионных коэффициентов ВСЕФ (Scheraschenko et. al., 2018) запасы древесины преобразуют в биомассу, а затем в углерод. Запасы крупных древесных остатков (КДО) по фракциям (сухостой, валеж, пни) вычисляют исходя из запаса древостоев и конверсионных коэффициентов КДО.

Содержание углерода в пулах лесной подстилки и почве определяется по средним значениям в соответствии с методическими рекомендациями по количественному определению объема поглощения парниковых газов (Распоряжение Минприроды России от 30 июня 2017 года, N 20-р; Приказ Минприроды России от 27.05.2022 №371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов»).

Применение упомянутых выше моделей оценки углерода к агрегированным на уровень субъектов Российской Федерации данным ППП ГИЛ позволяет оценить следующий набор характеристик:

1 Средний запас для лесных культур рассчитывается исходя из запаса и площади хвойных пород в возрасте до 80 лет.

2 Общий запас лесных культур представляет собой произведение запаса на гектар для лесных культур и площади лесных культур.

3 Общий запас древостоя представляет собой сумму произведений запаса на гектар на прогнозируемую площадь с учётом коэффициента коррекции.

4 Средний запас древостоя представляет собой частное общего запаса к общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента коррекции.

5 Общий запас насаждений естественного происхождения представляет собой разницу между общим запасом древостоя и запасом лесных культур.

6 Средний запас древостоя естественного происхождения представляет собой частное общего запаса древостоя естественного происхождения и площади древостоя естественного происхождения.

7 Объем биомассы надземной и подземной части древостоя берётся из таблицы расчёта содержания и изменения углерода на лесных землях с учётом коэффициента коррекции.

8 Средний объём биомассы надземной и подземной части древостоя представляет собой частное общего объёма биомассы надземной и подземной части древостоя и общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента перерасчёта.

9 Объём биомассы мёртвой древесины представляет собой частное суммы запасов углерода сухостоя и валежа и коэффициента содержания углерода в древесине (0,5) с учётом коэффициента коррекции.

10 Средний запас биомассы мёртвой древесины представляет собой частное общего объёма биомассы мёртвой древесины и общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента коррекции.

11 Объём углерода в биомассе надземной и подземной части древостоя представляет собой произведение объёма указанной биомассы на коэффициент содержания углерода в древесине (0,5).

12 Средний запас углерода в биомассе надземной и подземной части древостоя представляет собой частное объёма углерода в указанной биомассе и общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента коррекции.

13 Общий объём углерода в мёртвой древесине представляет собой сумму запасов углерода сухостоя и валежа с учётом коэффициента коррекции.

14 Средний запас углерода в мёртвой древесине представляет собой частное общего запаса углерода в мёртвой древесине и общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента коррекции.

15 Общий объём углерода в лесной подстилке и почве представляет собой сумму произведений площади древостоев по породам и возрастным периодам и коэффициента содержания углерода, соответственно в лесной подстилке и почве с учётом коэффициента коррекции.

16 Средний запас углерода в лесной подстилке и почве представляет собой частное общего объёма углерода, соответственно в лесной подстилке и почве и общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента коррекции.

Подробно метод расчёта описанных выше показателей приведен в Приложении 3.

Методикой предусмотрено опциональное зонирование территории Российской Федерации с выделением зоны ДЗЗ и зоны ГИЛ, в каждой из которых устанавливается соответствующий метод оценки запаса и баланса углерода в лесах. Зонирование осуществляется в границах субъектов Российской Федерации с целью обеспечения наиболее достоверной оценки запаса и баланса углерода лесов на основании комплексного анализа следующих критериев:

- плотность сети ППП ГИЛ, рассчитываемая как отношение количества пробных площадей ГИЛ к площади покрытых лесом земель;
- погрешности оценки запаса древесины лесов субъекта Российской Федерации на основе использования данных ППП ГИЛ и методов ДЗЗ.

Допустимая погрешность оценки запаса древесины лесов на основе использования данных ППП ГИЛ в субъекте Российской Федерации или части субъекта Российской Федерации для 68% уровня доверительной вероятности составляет в зависимости от зоны до $\pm 5\%$, до $\pm 7\%$, до $\pm 10\%$ (Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 06.05.2022 г. N 556 «Об утверждении Регламента организации и проведения мероприятий по государственной инвентаризации лесов центральным аппаратом Рослесхоза, территориальными органами Рослесхоза и подведомственными Рослесхозу организациями»). Метод определения погрешности оценки запаса стволовой древесины на основе использования данных ДЗЗ приведен в Приложении Г.2 настоящей Методики.

9. Оценка нетто-поглощения углерода лесной растительностью различных категорий земель

Методикой предусмотрена оценка запасов и баланса углерода в лесах на землях следующих категорий:

1. Земли лесного фонда, включая:
 - земли, на которых расположены управляемые леса (эксплуатационные и защитные леса);
 - земли, на которых расположены резервные леса;
2. Земли ООПТ, населенных пунктов, обороны и безопасности, иных категорий, на которых расположены управляемые леса;

Земли, на которых расположены леса, указанные в пп. 1-2, характеризуются наличием материалов лесоустройства, сведения о них занесены в Государственный лесной реестр.

3. Земли иных категорий, занятые неучтенными государством лесными насаждениями, детектируемыми с помощью спутниковых данных ДЗЗ, для которых отсутствуют материалы лесоустройства.

Оценка запаса и баланса углерода в лесах, расположенных на землях различного целевого назначения, осуществляется с использованием карты целевого назначения земель, включающей следующие классы:

- земли лесного фонда, на которых расположены управляемые леса (защитные и эксплуатационные);
- земли лесного фонда, на которых расположены резервные леса;
- земли иных категорий (земли ООПТ, населенных пунктов, обороны и безопасности, иных категорий), на которых расположены управляемые леса;
- земли иных категорий, на которых расположены необеспеченные материалами лесоустройства неучтенные государством леса.

Запас углерода лесной растительности, произрастающей на землях различных категорий, рассчитывается путем суммирования определенных по результатам обработки данных ДЗЗ значений запаса углерода в пикселах, пространственно попадающих в каждый класс целевого назначения земель. Оценка нетто-поглощения углерода лесной растительностью различных категорий земель проводится согласно пункту 6.3 данной Методики, соответственно, для каждого класса целевого назначения земель.

10. Программная и информационно-аналитическая поддержка применения методики оценки запасов и баланса углерода в лесах

10.1 Программный модуль ежегодной оценки запасов и баланса углерода в растительной биомассе лесов

Программный модуль, реализующий функционал оценки запаса и баланса углерода лесов, написан на языке C++ и представляет собой программу с интерфейсом на основе командной строки, предназначенную для работы в операционной системе Windows.

На вход модуля подаются результаты ежегодной оценки характеристик лесов, включая преобладающую породу, запас стволовой древесины, относительную полноту, бонитет и возраст лесов, а также данные о лесистости территории. Все входные геопространственные данные должны быть представлены в виде растровых файлов в заданном формате.

Также на вход модуля подается информация о моделях, в том числе значения параметров моделей оценки фитомассы (ВСЕФ), мортмассы, параметры моделей хода роста, коэффициенты декомпозиции мортмассы. Файлы с параметрами моделей предоставляются в виде таблиц в заданном формате. Пути к файлам задаются в текстовом файле конфигурации программного модуля.

Модуль выполняет операции по подготовке входных данных. В частности, модуль конвертирует данные о повреждениях в требуемый формат, характеризующий накопленную долю площади поврежденных лесов на уровне пиксела спутниковых данных ДЗЗ, и корректирует возраст поврежденных лесов. Также модуль рассчитывает вспомогательные статистики, такие как преобладающая древесная порода и средняя полнота за весь период наблюдений, и корректирующий фактор для оценки запаса полных нормальных насаждений.

Модуль реализует оценку углерода посредством последовательного применения моделей к входным данным о характеристиках лесов. Подробно подход к оценке бюджета углерода в лесах описан в разделе 6 Методики.

На выходе модуля формируется ежегодная информация о запасе углерода каждой фракции лесной экосистемы за весь период наблюдения. Информация выводится в виде растровых файлов, каждый из которых характеризует оценку одной фракции для одного года. В частности, выводятся данные по следующим содержащим углерод фракциям:

- фитомасса: запас углерода в стволах, корнях, ветвях, листьях, живом напочвенном покрове, а также суммарный запас углерода фитомассы;
- мортмасса: запас углерода сухостоя, валежа, пней и сухих ветвей;

- суммарный запас углерода фитомассы и мортмассы, как фактические значения, так и значения для потенциального сценария при отсутствии деструктивных нарушений лесов.

Также модуль осуществляет построение суммарной статистики на основе полученной оценки параметров бюджета углерода, в том числе суммарный запас углерода по годам для всех фракций. Дополнительно модуль рассчитывает запас углерода лесов для различных территориальных агрегаций, таких как покрытые лесом, редины и кустарниками земли, различные категории земель, субъекты Российской Федерации и др. Также модуль позволяет рассчитать потенциальное поглощение углерода лесной растительностью при отсутствии деструктивных нарушений в лесах.

Модуль реализует моделирование неопределенности получаемых оценок на основе метода Монте-Карло. Для повышения эффективности вычислений модуль поддерживает многопоточный запуск нескольких инсталляций программы для разных участков территории России.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. ГОСТ Р 8.736-2011 Национальный стандарт Российской Федерации. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. (Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. N 1045-ст) Стандартинформ, 2013, 20 с.
2. РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения (Приняты Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации, протокол от 14 ноября 2013 № 44) Стандартинформ, 2014, 56с.
3. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р.
4. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
5. Барталев С.А., Ворушилов И.И., Егоров В.А. Построение и радиометрическая нормализация безоблачных композитных спутниковых изображений покрытой снегом земной поверхности для мониторинга лесов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 57-69. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-57-69.
6. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 9-27.
7. Барталев С.А., Егоров В.А., Крылов А.М., Стыценко Ф.В., Ховратович Т.С. Исследование возможностей оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т.7. № 3. С. 215-225.
8. Барталев С.А., Лукина Н.В. Новая методология космического мониторинга углерода в лесах России // Земля и Вселенная. 2023. № 5. С. 44-58.
9. Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83-94.
10. Дейвис Ш.М., Ландгребе Д.А., Филлипс Т.Л., Свейн Ф.Х., Хоффер Р.М., Ланденлауб Д.С., Ле Р.Ф. Сиева. Дистанционное зондирование: количественный подход: Пер. с англ. М.: Недра, 1983. 415 с.
11. Жарко В.О., Барталев С.А., Егоров В.А. Исследование возможностей оценки запасов древесины в лесах Приморского края по данным спутниковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 157-168. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-157-168.
12. 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.

13. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 304 с.
14. Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Букась А.В., Ершов Д.В., Сайгин И.А. Возможности пролонгированной оценки постпожарного состояния хвойных вечнозеленых лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 217-227.
15. Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А. Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т.10. № 1. С. 254-266.
16. Ховратович Т.С. Методы оценки показателей горизонтальной структуры лесов по оптическим данным дистанционного зондирования земли: дис. канд. техн. наук: 25.00.34 / Ховратович Татьяна Сергеевна. – М., 2021. 121 с.
17. Чернова О. В., Голозубов О. М., Алябина И. О., Щепашенко Д. Г. Комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2021. №3. С.273–286. DOI: 10.31857/S0032180X21030047
18. Швиденко А.З., Щепашенко Д. Г., Нильссон С., Булуй Ю.И, Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы), Издание второе, дополненное, Москва 2008.
19. Asner G. P. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance // Remote sensing of Environment. 1998. Vol. 64. N. 3. P. 234-253.
20. 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.
21. Belitz K., Stackelberg P. E. Evaluation of six methods for correcting bias in estimates from ensemble tree machine learning regression models // Environmental Modelling & Software. 2021. Т. 139. С. 105006.
22. Breiman L. Random Forests. // Machine Learning. 2001. Vol. 45. P. 5–32. DOI: 10.1023/A:1010933404324.
23. Chen J., Chen J., Liao A. et al. Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 2015. 103. 7–27.
24. Clark M. L., Roberts D. A., Clark D. B. Hyperspectral discrimination of tropical rain forest tree species at leaf to crown scales // Remote sensing of environment. 2005. Vol. 96. No. 3-4. P. 375-398. DOI: 10.1016/j.rse.2005.03.009.
25. Dinerstein E., Olson D., Joshi A. et al. An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm // BioScience. 2017. Vol. 67. No. 6. P. 534–545. DOI: 10.1093/biosci/bix014.
26. Fassnacht F.E., Latifi H., Stereńczak K. et al. Review of studies on tree species classification from remotely sensed data // Remote Sensing of Environment. 2016. Vol. 186. P. 64-87. DOI: 10.1016/j.rse.2016.08.013.
27. Gao B., NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. 1996. Vol 58. P. 257-266.
28. Grant L. Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance // Remote Sensing of Environment. 1987. Vol. 22. No. 2. P. 309-322.
29. Ke G., Meng Q., Finley T., Wang T., Chen W., Ma W., Ye Q., Liu T-Y. Lightgbm: A highly efficient gradient boosting decision tree // Advances in neural information processing systems. 2017. Vol. 30. P. 3146-3154.
30. Leckie D. G. et al. Issues in species classification of trees in old growth conifer stands // Canadian Journal of Remote Sensing. 2005. Vol. 31. No. 2. P. 175-190.
31. Meinshausen N., Ridgeway G. Quantile regression forests // Journal of machine learning research. 2006. Vol. 7. No. 6. P. 983-999.
32. Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore R. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. Vol. 342. No. 6160. P. 850-853. DOI: 10.1126/science.1244693.
33. Rodriguez E., Morris C.S., Belz J.E., Chapin E.C., Martin J.M., Daffer W., Hensley S. An assessment of the SRTM topographic products // Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 2005. 143 p.

34. Rouse J.W, Haas R.H., Scheel J.A., Deering D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS // Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium. 1974. Vol. 1. P. 48-62.
35. Santoro M., Cartus O., Mermoz S., Bouvet A., Le Toan T., Carvalhais N., Rozendaal, D., Herold M., Avitabile V., Quegan S., Carreiras J., Rauste Y., Balzter H., Schmullius C., Seifert F. M. A detailed portrait of the forest aboveground biomass pool for the year 2010 obtained from multiple remote sensing observations. // Geophysical Research Abstracts. Vol. 20, Article EGU2018-18932.
36. Schepaschenko D., Moltchanova E., Shvidenko A., Blyshchyk V., Dmitriev E., Martynenko O., See L., Kraxner F. Improved estimates of biomass expansion factors for Russian forests // Forests. 2018. Vol. 9. No. 6. Article 312.
37. Spawn S.A., Sullivan C.C., Lark T.J. et al. Harmonized global maps of above and below-ground biomass carbon density in the year 2010 // Scientific Data. 2020. No. 7. P. 112. DOI: 10.1038/s41597-020-0444-4.
38. Tachikawa T., Hato M., Kaku M., Iwasaki A. Characteristics of ASTER GDEM version 2 // 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2011. P. 3657–3660.
39. Virtanen P., Gommers R., Oliphant T.E. et al. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python // Nat. Methods. 2020. Vol. 17. P. 261–272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2.
40. Wright M. N., Ziegler A. ranger: A fast implementation of random forests for high dimensional data in C++ and R // Journal of Statistical Software, 2017. Vol. 77. Iss.1. P. 1–17. DOI: 10.18637/jss.v077.i01.
41. Zanaga D., Van De Kerchove R., De Keersmaecker W. et al. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. 2021. DOI: 10.5281/zenodo.5571936.
42. Zharko V.O., Bartalev S.A., Sidorenkov V.M. Forest growing stock volume estimation using optical remote sensing over snow-covered ground: a case study for Sentinel-2 data and the Russian Southern Taiga region // Remote Sensing Letters. 2020. Vol. 11. Iss. 7. P. 677-686. DOI: 10.1080/2150704X.2020.1755473.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Определение погрешностей при оценке количественных характеристик лесов по данным ДЗЗ

Оценка точности заданных в непрерывных шкалах характеристик лесов проводится на уровне регулярной сетки, образованной границами пикселей спутниковых данных и, если это возможно, на уровне отдельных регионов или страны в целом. В первом случае оценивается погрешность получаемой оценки характеристики лесов в пикселе, во втором случае – погрешность суммы значений характеристики для рассматриваемой территории.

Под погрешностью оценки характеристики леса в пикселе (e) понимают ее отклонение от истинного значения:

$$e = |x - \hat{x}| \quad (\text{A.1})$$

где x – значение характеристики леса, \hat{x} – значение её оценки. По виду влияния на результат погрешность оценки представляют в виде суммы систематической (e_s) и случайной (e_r) её составляющей (РМГ 29-2013):

$$e = e_s + e_r \quad (\text{A.2})$$

При оценке характеристики леса x на основе некоторой регрессионной модели под систематической ошибкой понимают ошибку прогноза модели. Для ее оценки используется опорная выборка реальных значений характеристики леса x . Для каждого возможного значения характеристики леса x на основе множества полученных оценок \hat{x} , соответствующих значению x , рассчитывается выборочное среднее значение и случайная доверительная погрешность. В предположении нормальности распределения и числа оценок в выборке более 100 границы интервала можно записать как (ГОСТ Р 8.736-2011):

$$x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{x}_i \pm t_p \frac{\sigma_{\hat{x}}}{\sqrt{N}} \quad (\text{A.3})$$

где N – число оценок \hat{x} , t_p – квантиль нормального распределения уровня $1 - \frac{p}{2}$, $\sigma_{\hat{x}}$ – выборочное стандартное отклонение. Таким образом, систематическая ошибка может быть выражена как:

$$e_s = x - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{x}_i \quad (\text{A.4})$$

В результате строится зависимость между значением оценки характеристики леса \hat{x} и ее систематической модельной ошибкой (e_s), которая используется для расчета систематической составляющей погрешности в каждом конкретном пикселе.

Случайная ошибка связана с возможными случайными колебаниями значений входных признаков, вызванными рядом неконтролируемых факторов, например, различием угла съемки, освещенности, проницаемости атмосферы в момент съемки, деградацией сенсора, помехами и другими причинами. Наиболее сильно подобные факторы проявляют себя в межгодовой динамике, поэтому случайная погрешность вычисляется на основе временных рядов полученных оценок рассматриваемой характеристики. На первом шаге из рассмотрения исключаются все территории, где произошли направленные изменения, связанные с вырубками, ветровалами и пожарами, которые несут в себе систематическую составляющую погрешности. Затем в каждом пикселе фиксированной сетки данных строится линейная регрессия оценок рассматриваемой характеристики лесов от времени:

$$\hat{x} = A * year + B \quad (\text{A.5})$$

где A , B – коэффициенты, вычисленные на основе полученных значений оценок \hat{x} . Затем для каждого года вычисляется квадрат разности между предполагаемым значением оценки, полученным на основе построенной линейной регрессии, и реальным значением оценки:

$$\Delta = (A * year + B - \hat{x})^2 \quad (A.6)$$

Для каждого возможного значения оценки характеристики лесов \hat{x} на основе всего временного ряда вычисляется выборочное стандартное отклонение, которое и служит оценкой случайной составляющей погрешности e_r :

$$e_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^V \Delta_{i,\hat{x}}}{V - 1}} \quad (A.7)$$

где V – количество пикселей со значением оценки характеристики лесов \hat{x} .

С помощью построенных зависимостей систематической и случайной погрешности от оценки характеристики лесов \hat{x} для каждого пикселя построенного временного ряда оценок в рассматриваемый год при предположении, что соответствующие погрешности являются независимыми случайными величинами, общая погрешность оценки в пикселе данных (e) вычисляется как:

$$e = \sqrt{e_s^2 + e_r^2} \quad (A.8)$$

Полученные зависимости общей погрешности от значения оценки характеристики лесов \hat{x} позволяют распространить данные оценки на всю исследуемую территорию и, без ограничения общности, на другие даты по времени. В результате строится временной ряд карт погрешностей оценки в пикселе, который используется для дальнейших вычислений погрешностей по областям.

Для оценки погрешности суммы значений характеристики для региона или страны используется предположение о том, что соседние пиксели изображения могут влиять на погрешности друг друга. С помощью оценки значения характеристики в пикселе данных и ее погрешности рассматриваемая территория разбивается на связные области, между которым предполагается существование независимости между погрешностями оценки характеристик лесов. Для каждой связной области по формуле о погрешности суммы характеристики рассчитывается по формуле (Новицкий П.В., Зограф И.А., 1991):

$$e^{seg} = \sum_{i=1}^{N_j} e_i, \quad (A.9)$$

где N_j – количество пикселей в j -ом сегменте с погрешностями e_i .

В предположении о независимости погрешности отдельных сегментов, общая погрешность суммы значений характеристики для области вычисляется согласно формуле (Новицкий П.В., Зограф И.А., 1991):

$$e_{общая} = \sqrt{\sum_{j=1}^T e_j^{seg^2}} \quad (A.10)$$

где T – количество сегментов с соответствующими значениями погрешностей e_j^{seg} .

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Спутниковые системы ДЗЗ, потенциально используемые в рамках Методики

Данные ДЗЗ для оценки лесов на национальном уровне

Определение характеристик лесов для оценки их запасов и баланса углерода на национальном уровне в рамках Методики может быть выполнено с использованием данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения следующих спутниковых систем:

- Данные спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниках Terra и Aqua. Данные прибора MODIS, разработанного для изучения биологических и физических процессов и для исследований типов и характеристик земного покрова, в том числе растительного покрова, в глобальном масштабе, доступны начиная с 2000 года с периодичностью наблюдений не реже, чем раз в 1-2 дня. Параметры основных спектральных каналов прибора, используемых в рамках Методики для определения характеристик лесов, приведены в таблице Б.1. Пространственное разрешение данных MODIS в указанных каналах составляет 250-500 м.

Таблица Б.1

Основные спектральные каналы прибора MODIS

Канал	Длина волны (нм)	Пространственное разрешение (м)
Band 1 – Red	648	250
Band 2 – NIR1	858	250
Band 3 – Blue	470	500
Band 4 – Green	555	500
Band 5 – NIR2	1240	500
Band 6 – SWIR1	1640	500
Band 7 – SWIR2	2130	500

- Данные радиометра VIIRS, установленного на спутниках Suomi NPP, NOAA-20 и NOAA-21. Данные прибора VIIRS, разработанного для мониторинга и исследований изменений и характеристик растительности, земного покрова/землепользования, гидрологических циклов и энергетического баланса Земли, доступны начиная с 2011 года с периодичностью наблюдений не реже, чем раз в день. Параметры основных спектральных каналов прибора, используемых в рамках разработанной методики для определения характеристик лесов, приведены в таблице Б.2. Пространственное разрешение данных VIIRS в указанных каналах составляет 375-750 м.

Таблица Б.2

Основные спектральные каналы прибора VIIRS

Канал	Длина волны (нм)	Пространственное разрешение (м)
Band I1 – Red	640	375
Band I2 – NIR1	865	375
Band M3 – Blue	483	750
Band M4 – Green	555	750
Band M8 – NIR2	1240	750
Band I3 – SWIR1	1610	375
Band M11 – SWIR2	2260	750

- Данные российского прибора КМСС, установленного на спутниках серии Метеор-М №2. Данные КМСС, разработанного для гидрометеорологического обеспечения, мониторинга климата и окружающей среды, изучения растительности и природных ресурсов Земли, доступны начиная с 2011 года с периодичностью наблюдений не реже, чем раз в 2-3 дня. Параметры основных спектральных каналов прибора, которые могут использоваться в рамках Методики для определения характеристик лесов, приведены в таблице Б.3. Пространственное разрешение данных КМСС в указанных каналах составляет 60-120 м.

Таблица Б.3

Основные спектральные каналы прибора КМСС

Канал	Длина волны (нм)	Пространственное разрешение (м)
Band 1	555	60
Band 2	655	60
Band 3	830	60
Band 4	410	120
Band 5	480	120
Band 6	635	120

Данные ДЗЗ для оценки лесов тестовых полигонов

Для определения характеристик лесов, необходимых для оценки их запасов и баланса углерода, на тестовых полигонах в рамках Методики могут использоваться данные ДЗЗ высокого пространственного разрешения следующих спутниковых систем:

- Данные прибора MSI, установленного на спутниках серии Sentinel-2. Данные прибора, разработанного, в том числе, для мониторинга окружающей среды и изменений земного покрова, детальной оценки параметров растительного покрова, доступны начиная с 2015 года с периодичностью наблюдений не реже, чем раз в 3-5 дней. Параметры основных спектральных каналов прибора, используемых в рамках Методики для определения характеристик лесов, приведены в таблице Б.4. Пространственное разрешение данных Sentinel-2 в указанных каналах составляет 10-20 м.

Таблица Б.4

Основные спектральные каналы прибора MSI

Канал	Длина волны (нм)	Пространственное разрешение (м)
Band 2 – Blue	492,4	10
Band 3 – Green	559,8	10
Band 4 – Red	664,6	10
Band 8 – NIR	832,8	10
Band 11 – SWIR	1613,7	20
Band 12 – SWIR	2202,4	20

- Данные приборов OLI/OLI-2, установленных на спутниках серии Landsat. Данные OLI/OLI-2, разработанные для наблюдения земной поверхности в интересах сельского и лесного хозяйства, геологии, картографии и других исследовательских и прикладных задач изучения и мониторинга состояния окружающей среды, доступны начиная с 2013 года с периодичностью наблюдений не реже, чем раз в 8 дней. Параметры основных спектральных каналов прибора, используемых в рамках Методики для определения характеристик лесов, приведены в таблице Б.5. Пространственное разрешение данных Landsat в указанных каналах составляет 30 м.

Таблица Б.5

Основные спектральные каналы данных спутников Landsat

Канал	Длина волны (нм)	Пространственное разрешение (м)
Band 1 – Blue	482	30
Band 2 – Green	562	30
Band 3 – Red	655	30
Band 4 – NIR	865	30
Band 5 – SWIR1	1609	30
Band 7 – SWIR2	2201	30

ПРИЛОЖЕНИЕ В.1. Данные о характеристиках лесов, получаемые по результатам измерений в рамках научной сети тестовых полигонов

Схема расположения научной сети потенциальных тестовых полигонов (ТП) на территории Российской Федерации приведена на рисунке В.1.1.

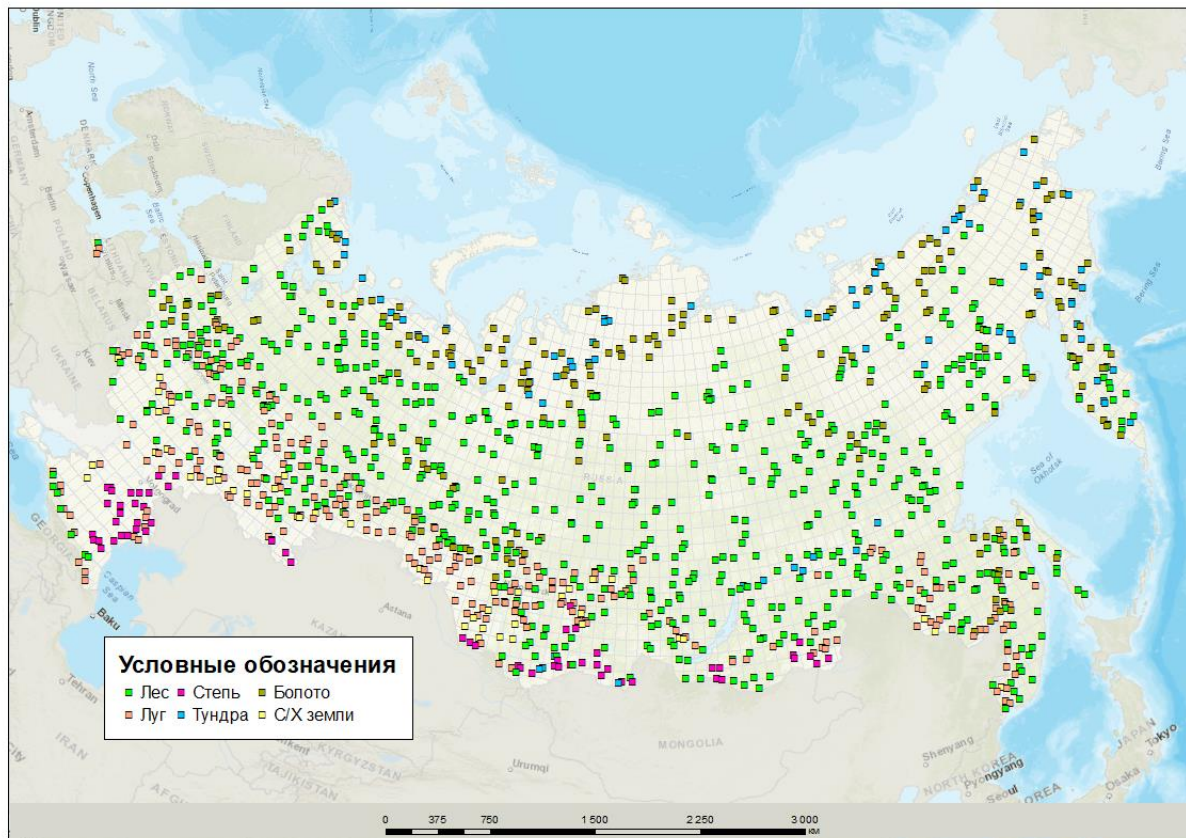


Рисунок В.1.1 – Проект сети тестовых полигонов по типам наземных экосистем

Для каждого ТП предоставляется информация о его идентификационном номере и типе, принадлежности к экорегиону, его лесистости и субъекте Российской Федерации, на территории которого он находится.

В пределах каждого ТП указываются данные об уникальных номерах и координатах центров, заложенных в его пределах, почвенных разрезов и пробных площадей (ПП).

Для каждой ПП дополнительно указывается дата ее закладки, тип (реласкопическая ПП или круговая площадь постоянного радиуса), категория земель и информация об исполнителе, выполнявшем измерения. Также дана детальная информация о характеристиках различных пулов углерода на ПП.

Данные о характеристиках живого напочвенного покрова на ПП включают в себя положение центра ПП относительно крон древесного полога, названия травянистых растений и параметры их проективного покрытия (таблица В.1.1)

Информация о характеристиках подроста и подлеска на ПП дается в разрезе древесных пород/кустарников и групп их высот с расчетом общего объема древесины приведена в таблице В.1.2.

Таблица В.1.1

Структура атрибутивной информации csv-файла GroundVegetation с характеристикой живого напочвенного покрова на ПП

№ п/п	Имя поля	Тип поля и размерность	Описание поля	Справочник или примечания (при наличии)
1	Key	String (10)	Уникальное ключевое поле для присоединения к пространственным слоям с центрами закладки ПП	
2	Placement	Integer64 (1)	Положение центра ПП относительно крон древесного полога	1 – подкроновое; 2 - межкоровое
3	VegName_rus	String (50)	Русское название травянистого растения на учётной площадке	В случае эпигейных лишайников и мхов «Лишайники, мхи»
4	VegName_lat	String (50)	Латинское название травянистого растения на учётной площадке	В случае эпигейных лишайников и мхов «Lichenes, Bryophyta»
5	ProjCover_percent	Integer64 (3)	Проективное покрытие травянистого вида в %	В случае эпигейных лишайников и мхов общее покрытие в %
6	ProjCover_class	Integer64 (3)	Проективное покрытие травянистого вида в баллах	В случае эпигейных лишайников и мхов общее покрытие в баллах

Таблица В.1.2

Структура атрибутивной информации csv-файлов Undergrowth/Understory с характеристикой подроста/подлеска на ПП

№ п/п	Имя поля	Тип поля и размерность	Описание поля	Справочник или примечания (при наличии)
1	Key	String (10)	Уникальное ключевое поле для присоединения к пространственным слоям с центрами закладки ПП	
2	UG(US)_Record_area	Integer64 (1)	Положение учётной площадки по сторонам света относительно центра ПП	1 – северная; 2 - южная
3*	UG_Origin_type	Integer64 (1)	Происхождение подроста	1 – естественное; 2 - искусственное
4	UG(US)_Cover_area	Integer64 (2)	Площадь учёта подроста	По умолчанию – 10 м ²
5	UG(US)_TreeSpecies	String (100)	Древесная порода или кустарник	qconSpecies
6	UG(US)_Condition-Class	Integer64 (1)	Категория состояния подроста	1 – неблагонадёжный; 2 - благонадёжный
7	UG(US)_Height-Group	Integer64 (1)	Группа высот	1 – 0,2-0,5 м; 2 – 0,5-1,5 м; 3 – 1,5-3,0 м; 4 – более 5 м
8	UG(US)_Quantity	Integer64 (2)	Количество учтённых экземпляров группы подроста, шт.	
9	UG(US)_Age	Integer64 (2)	Средний возраст группы подроста, лет	
10	UG(US)_MeanDiameter	Real (3, 1)	Средний диаметр группы подроста, мм	
11	UG(US)_MeanHeight	Real (3, 1)	Средняя высота группы подроста, м	
12	UG(US)_Volume	Real (5, 1)	Объём группы подроста, м ³	
13	UG(US)_Volume_ha	Real (10, 1)	Общий объём группы подроста на 1 га, м ³	

*параметр указывается только для подроста

Характеристики валежа и пней на ПП приводятся единообразно, также в разрезе древесных пород/кустарников с учетом их степени разложения и расчетом общего объема древесины (таблица В.1.3).

Таблица В.1.3

Структура атрибутивной информации csv-файла Deadwood с характеристикой валежа на ПП

№ п/п	Имя поля	Тип поля и размерность	Описание поля	Справочник или примечания (при наличии)
1	Key	String (10)	Уникальное ключевое поле для присоединения к пространственным слоям с центрами закладки ПП	
2	DW_Cover_area	Integer64 (2)	Площадь учёта валежа	По умолчанию – 300 м ²
3	DW_TreeSpecies	String (100)	Древесная порода или кустарник валежа	qconSpecies
4	DW_Decomposition	String (50)	Степень разложения	DecompositionClass
5	DW_DecompositionClass	Integer64 (1)	Степень разложения (код)	DecompositionClass
6	DW_Quantity	Integer64 (2)	Количество учтённых экземпляров валежа древесной породы, шт.	
7	DW_MeanDiameter	Real (3, 1)	Срединный диаметр валежа, см	
8	DW_Lenght	Real (3, 1)	Длина валежа, м	
9	DW_Volume	Real (5, 1)	Объём валежа, м ³	
10	DW_Volume_ha	Real (10, 1)	Общий объём валежа на 1 га, м ³	

Также приводится информация о характеристиках хвороста на ПП с указанием его проективного покрытия и объема (таблица В.1.4).

Таблица В.1.4

Структура атрибутивной информации csv-файла Brushwood с характеристикой хвороста на ПП

№ п/п	Имя поля	Тип поля и размерность	Описание поля	Справочник или примечания (при наличии)
1	Key	String (10)	Уникальное ключевое поле для присоединения к пространственным слоям с центрами закладки ПП	
2	BW_Cover_area	Integer64 (2)	Площадь учёта хвороста	По умолчанию – 300 м ²
5	BW_ProjCover_percent	Integer64 (3)	Проективное покрытие хвороста в %	
6	BW_ProjCover_class	Integer64 (3)	Проективное покрытие хвороста в баллах	
5	BW_Volume	Real (5, 1)	Объём хвороста, м ³	
6	BW_Volume_ha	Real (10, 1)	Общий объём хвороста на 1 га, м ³	

При учете древостоя на ПП для каждого измеряемого дерева указывают его принадлежность к элементу леса и древесной породе/кустарникам, а также различные параметры его толщины и категории санитарного состояния. Для модельных (учетных) деревьев дополнительно предоставляется информация об их возрасте, высоте и геометрических параметрах кроны (таблица В.1.5).

Таблица В.1.5

Структура атрибутивной информации csv-файлов TreeModels/Trees с характеристиками деревьев на ПП

№ п/п	Имя поля	Тип поля и размерность	Описание поля	Справочник или примечания (при наличии)
1	Key	String (10)	Уникальное ключевое поле для присоединения к пространственным слоям с центрами закладки ПП	
2	Tree_id	Integer64 (3)	Номер дерева по порядку	
3	StandElement_id	Integer64 (2)	Номер элемента леса (ЭЛ)	
4	TreeSpecies	String (100)	Древесная порода или кустарник	qconSpecies
5	G_ha	Real (5, 1)	Сумма площадей сечений на 1 га, м ²	
6	DBH	Real (5, 1)	Диаметр на высоте груди, см	
7	DiameterClass	Real (5, 1)	Степень толщины, см	
8	g	Real (8, 4)	Площадь сечения ствола на высоте груди, м ²	
9	TreeCondition	Integer64 (2)	Категория санитарного состояния дерева	treesCondition
10*	ModelAge	Integer64 (3)	Возраст модельного дерева, лет	
11*	H	Real (5, 1)	Высота модельного дерева, м	
12*	H_crown	Real (5, 1)	Высота начала живой кроны, м	
13*	L_crown	Real (5, 1)	Протяжённость живой кроны, м	
14*	D_crown	Real (5, 1)	Средний диаметр кроны, м	

* указывается только для модельных (учетных) деревьев

Обработка указанных материалов позволяет получить информацию о средних характеристиках древостоя на ПП, включая тип леса и лесорастительных условий, бонитет, и параметры насаждений в разрезе элементов леса, включая древесную породу или кустарник, возраст, высоту/диаметр, а также запас древесины и коэффициент участия в насаждении (таблица В.1.6).

Таблица В.1.6

Структура атрибутивной информации csv-файла Plot со средней характеристикой древостоя на ПП

№ п/п	Имя поля	Тип поля и размерность	Описание поля	Справочник или примечания (при наличии)
1	Key	String (10)	Уникальное ключевое поле для присоединения к пространственным слоям с центрами закладки ПП	
2	PlotArea	Real (5, 2)	Площадь ПП, га	Для РПП рассчитывается исходя из среднего диаметра на ПП
3	ForestType	String (10)	Тип леса (ТЛ)	
4	ForestCondition	String (10)	Тип лесорастительных условий (ТЛУ)	
5	Bon	String (10)	Класс бонитета	

Продолжение таблицы В.1.6

№ п/п	Имя поля	Тип поля и размерность	Описание поля		Справочник или примечания (при наличии)
6	Altitude	Real (5, 1)	Высота над уровнем моря, м		
7	StandElement_id	Integer64 (2)	Номер элемента леса (ЭЛ)		
8	TreeSpecies	String (100)	Древесная порода или кустарник		qconSpecies
9	N_ha	Integer64 (5)	Число стволов на 1 га, шт.		
10	PlotAge	Integer64 (3)	Возраст, лет		
11	PlotD	Real (5, 1)	Диаметр на высоте груди, см		
12	PlotH	Real (5, 1)	Высота ЭЛ, м		
13	PlotG	Real (5, 1)	Сумма площадей сечений на 1 га, м ²		
14	M_ha	Integer64 (4)	Запас ЭЛ на 1 га, м ³		
15	CoeffComposition	Real (3, 1)	Коэффициент состава ЭЛ		
16	CoeffCondition	Real (2, 1)	Средневзвешенная категория санитарного состояния древостоя		

ПРИЛОЖЕНИЕ В.2. Методы предварительной обработки данных ДЗЗ

1. Методы, используемые для предварительной обработки спутниковых данных ДЗЗ и реконструкции временных срезов отражательной способности свободной от снега земной поверхности

Методы предварительной обработки спутниковых данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения служат для фильтрации эффектов влияния облачного и снежного покрова и основаны на использовании измерений отраженного подстилающей поверхностью излучения в наборе спектральных каналов, представленных в системах Terra/Aqua-MODIS, SNPP/NOAA20-VIIRS и некоторых других. Для данных ДЗЗ должна быть предварительно проведена процедура коррекции влияния атмосферы.

Набор данных измерений на примере Terra/Aqua-MODIS состоит из наблюдений в спектральных каналах (таблица В.2.1) и сопутствующей геометрической информации положения прибора и Солнца в каждой точке наблюдения.

Таблица В.2.1

Набор спектральных каналов системы Terra/Aqua-MODIS

Номер канала	Длина волны, мкм	Пространственное разрешение, м
1	0.620-0.670	231
2	0.841-0.876	231
3	0.459-0.479	462
4	0.545-0.565	462
5	1.230-1.250	462
6	1.628-1.652	462
7	2.105-2.155	462

Для создания масок облачного и снежного покрова по данным MODIS используются значения коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) в каналах, представленных в таблице В.2.2.

Таблица В.2.2

Спектральные каналы, необходимые для построения маскирующих изображений облачного и снежного покрова по данным MODIS

Обозначения канала		λ (мкм)
RED	B01	0.620 – 0.670
NIR	B02	0.841 – 0.876
BLUE	B03	0.459 – 0.479
SWIR	B06	1.628 – 1.652

Облачный и снежный покров отличаются высокой отражательной способностью в видимом и ближнем ИК диапазонах и низкой ее величиной в среднем ИК диапазоне спектра (1.6 мкм, 2.2 мкм). Для фильтрации в данных наблюдений участков облачного и снежного покрова используется разностный нормализованный индекс снега NDSI, реализации которого различаются в зависимости от используемых спектральных каналов:

$$NDSI_{blue} = \frac{R_{blue} - R_{swir}}{R_{blue} + R_{swir}}, NDSI_{red} = \frac{R_{red} - R_{swir}}{R_{red} + R_{swir}}, NDSI_{green} = \frac{R_{green} - R_{swir}}{R_{green} + R_{swir}} \quad (B.2.1)$$

где R – значение коэффициента спектральной яркости в соответствующем спектральном канале.

Схема метода построения безоблачных композитных изображений открытой от облаков и свободной от снега земной поверхности представлена на рисунке В.2.1.

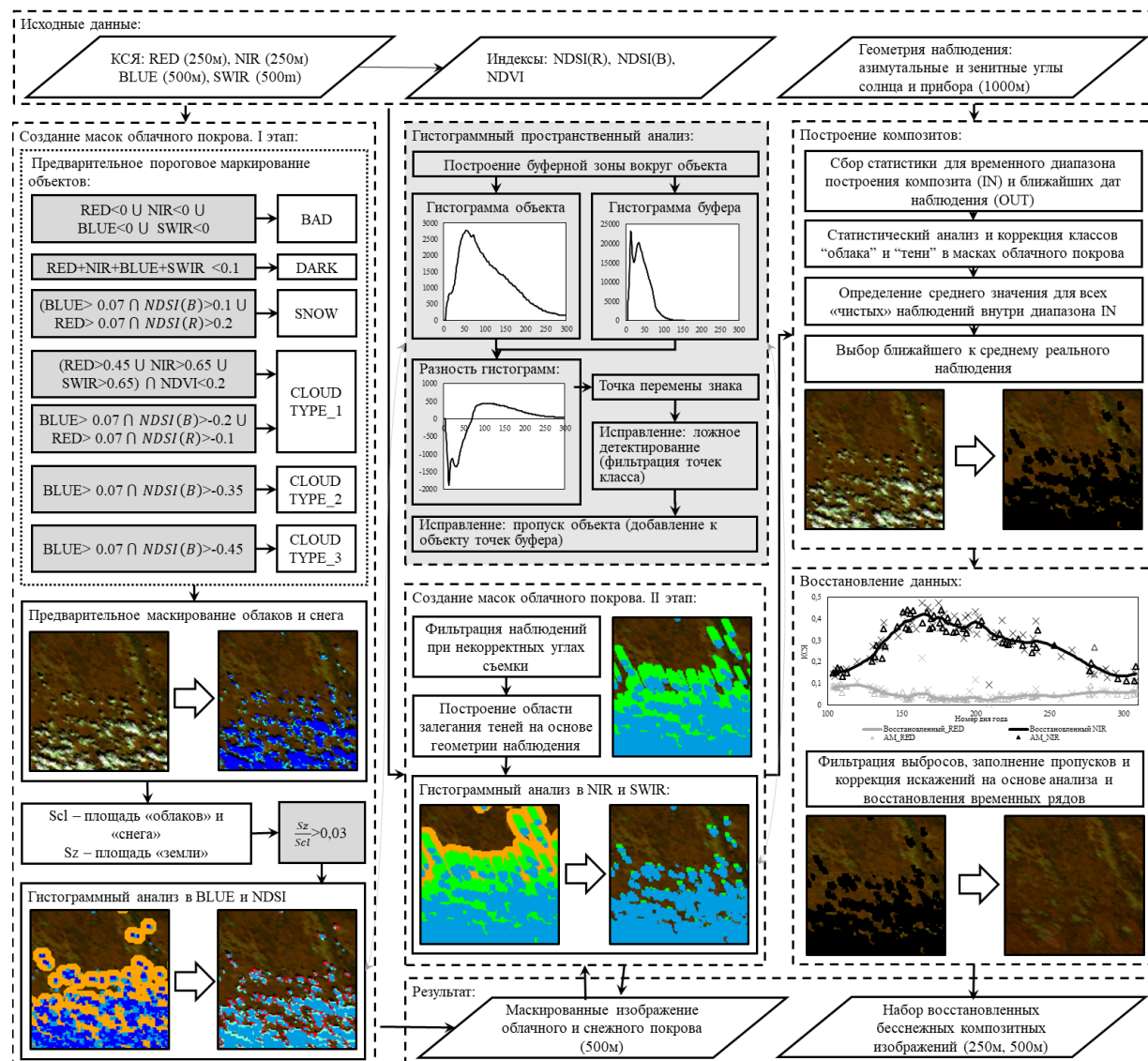


Рисунок В.2.1 – Метод построения безоблачных изображений свободной от снега земной поверхности

При создании маски облачного покрова применяются индексы NDSI, построенные с использованием голубого (BLUE) и красного (RED) спектральных каналов. Значения индексов NDSI(R) и NDSI(B), а также КСЯ в каналах, перечисленных в таблице В.2.3, используются для предварительного порогового маскирования участков облачного и снежного покрова.

Таблица В.2.3

Набор пороговых значений для предварительного маскирования облаков

Маркер	Характеристика	Условия маркирования
BAD	Темные объекты: водная поверхность, тени, ошибки	B01<0; B02<0 B03<0; B06<0
SNOW	Снег, сильная облачность	B01>0.07; NDSI(R)>0.1 B03>0.07; NDSI(B)>0.1
CLD	Высокая облачность	B01>0.07; NDSI(R)>-0.2 B03>0.07; NDSI(B)>-0.2 Оконтуривание: 3×3 пиксела
SLD	Средняя облачность	B01>0.07; NDSI(R)>-0.35 B03>0.07; NDSI(B)>-0.35 Оконтуривание: 3×3 пиксела
MLD	Дымка, смешанные пиксела	B03>0.07; NDSI(B)>-0.45

Пример построения предварительной маски участков облачного и снежного покрова, для представленного на рисунке В.2.2а изображения приведен на рисунке В.2.2б. Пример содержит мелкие облака, сопоставимых по размеру с пространственным разрешением данных ДЗЗ. Такие облака сложно детектировать из-за спектрального смещения облаков с подстилающей поверхностью. Для фильтрации смешанных пикселей на предварительном этапе используется оконтуривание матрицей 3×3 пиксела для облаков типа CLD и SLD (рисунки В.2.2в и В.2.2г).

Недостатком порогового метода является высокий процент ошибок детектирования (ложное детектирование и пропуски цели). Возможность достоверного разделения чистых наблюдений и облачного покрова варьируется в зависимости от плотности облаков, времени года, спектрально-отражательных характеристик земного покрова. Для уточнения маскирующих изображений и повышения адаптивности метода в целом, используется пространственный гистограммный анализ значений КСЯ в голубом канале и индекса NDSI.

Методом пространственного гистограммного анализа для каждого класса облаков строится буферная зона (рисунок В.2.2д), которая в дальнейшем подвергается коррекции (рисунок В.2.2е). Гистограммы распределения значений внутри класса «облако» (рисунок В.2.3а) и «буфер облака» (рисунок В.2.3б) частично пересекаются. На рисунке В.2.3в представлена нормализованная разница гистограмм распределения значений КСЯ в голубом канале для облаков типа SLD и соответствующего буфера.

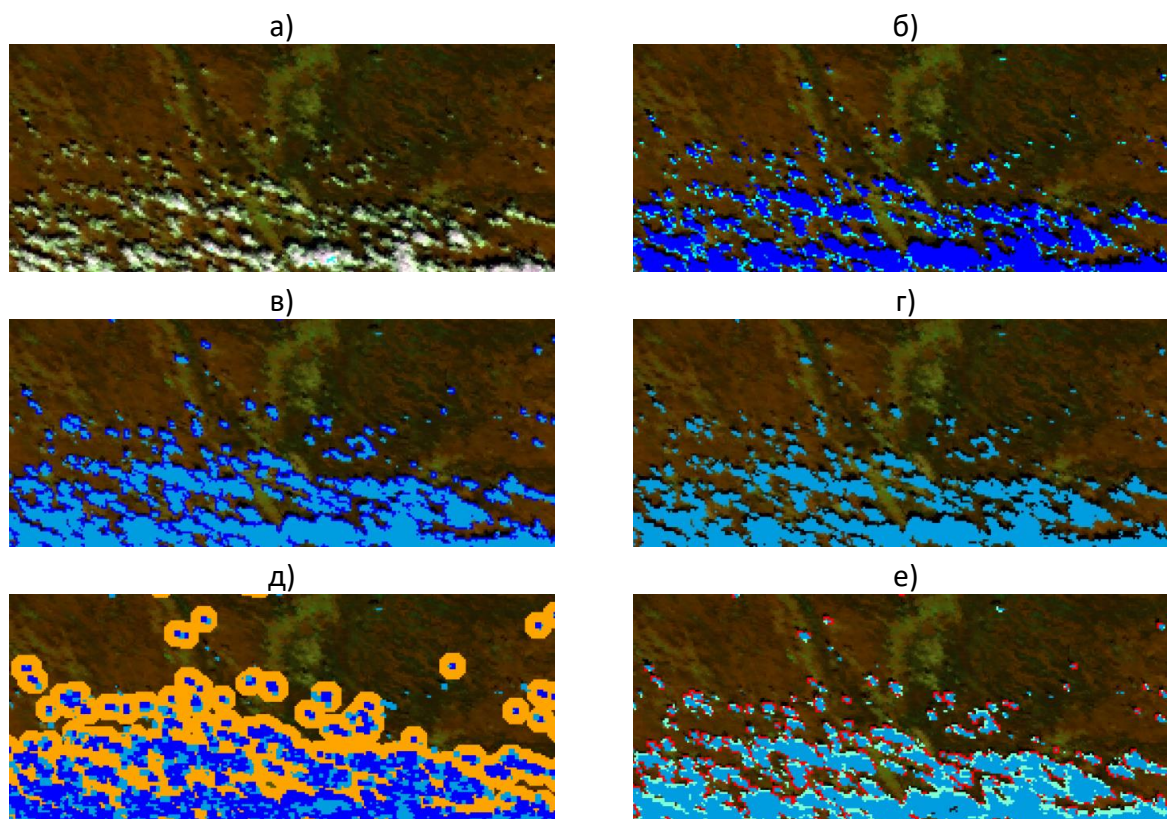


Рисунок В.2.2 – а) исходные данные. RGB синтез каналов: B02, B06, B01; б) предварительное маскирование облачного покрова: темно-синий – облака типа CLD, синий – облака типа SLD, голубой – облака типа MLD; в) оконтуривание облаков типа CLD и SLD: голубой – все маркеры облачности, синий – оконтуривание облаков; г) предварительное маскирование облачного покрова; д) построение буферной зоны (оранжевый) вокруг облаков типа CLD (синий); е) коррекция буферной зоны (красный) облачного покрова

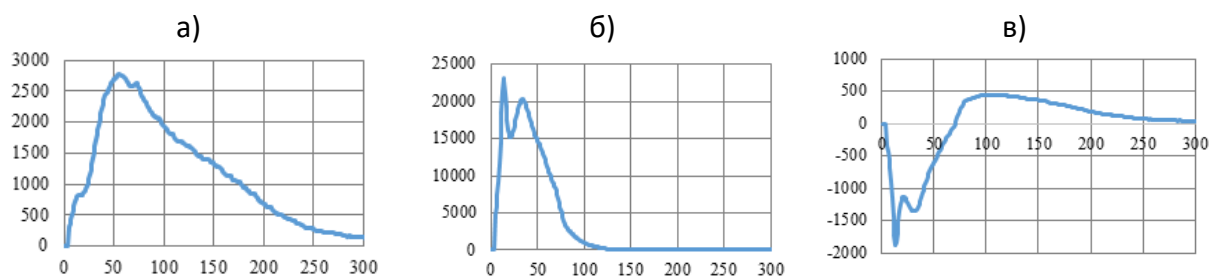


Рисунок В.2.3 – а) гистограмма КСЯ в канале В03 для облаков типа SLD; б) гистограмма КСЯ в голубом канале В03 для буферной зоны; в) разностная гистограмма объектов класса «облако» и «буфер облака»

Точка смены знака разностной гистограммы позволяет уточнить порог разделения классов для конкретного изображения. Полученный порог рассчитывается дважды: для фильтрации ошибок ложного детектирования внутри класса «облако», и, после перестроения буферной зоны, для детектирования облачности внутри буфера.

Неотъемлемым следствием присутствия облачности на спутниковых изображениях является наличие теней от облаков. Для маскирования теневых участков помимо яркостных характеристик используется и информация о геометрии наблюдений. Направление теней определяется исходя из геометрии взаимного расположения Солнца и прибора ДЗЗ в момент съемки. Длина теневое участка зависит от высоты облачного покрова. На предварительном этапе, при построении геометрического направления тени, высота облаков принимается не ниже 8 км.

На рисунке В.2.4а приведен пример построения теней от облаков с использованием маски облачного покрова и данных об азимутальных и зенитных углах Солнца и прибора ДЗЗ. При этом область влияния теней заведомо избыточна, относительно реальной ее величины. Приведенный выше метод пространственного гистограммного анализа используется также и для коррекции класса «тени». Для класса «тени» также строится буферная зона (рисунок В.2.4б). Разностные гистограммы распределения значений КСЯ в NIR и SWIR каналах позволяют получить пороги разделения классов «тени» и «чистая поверхность» для выбранного изображения. При этом исправляются только ошибки ложного детектирования.

На рисунке В.2.4в приведен результат построения маскирующего изображения облачного и снежного покрова, теней от облаков, шумов и т.д. Маски используются для фильтрации наблюдений, непригодных для анализа состояния земного покрова. При этом, как видно на рисунке В.2.4г, это приводит к пропускам в наблюдениях.

Поскольку в течение каждого дня может быть несколько сеансов наблюдений, создание композитных изображений позволяет частично заполнить пропуски в данных. Для различных задач могут быть использованы однодневные, либо многодневные синтезированные изображения. Для построения композитных изображений используются данные сеансов наблюдения внутри выбранного временного интервала, а также наблюдения в расширенном временном диапазоне для статистической фильтрации наблюдений в каждой точке.

Метод восстановления данных включает в себя построение интерполирующих полиномов второй степени в скользящем окне динамического размера в p значащих точек. Число значащих точек зависит от временного разрешения данных, а длина полинома по оси абсцисс зависит от числа пропусков. На рисунке В.2.5 приведен набор аппроксимирующих полиномов для временного ряда ежедневных композитных изображений КСЯ в NIR канале.

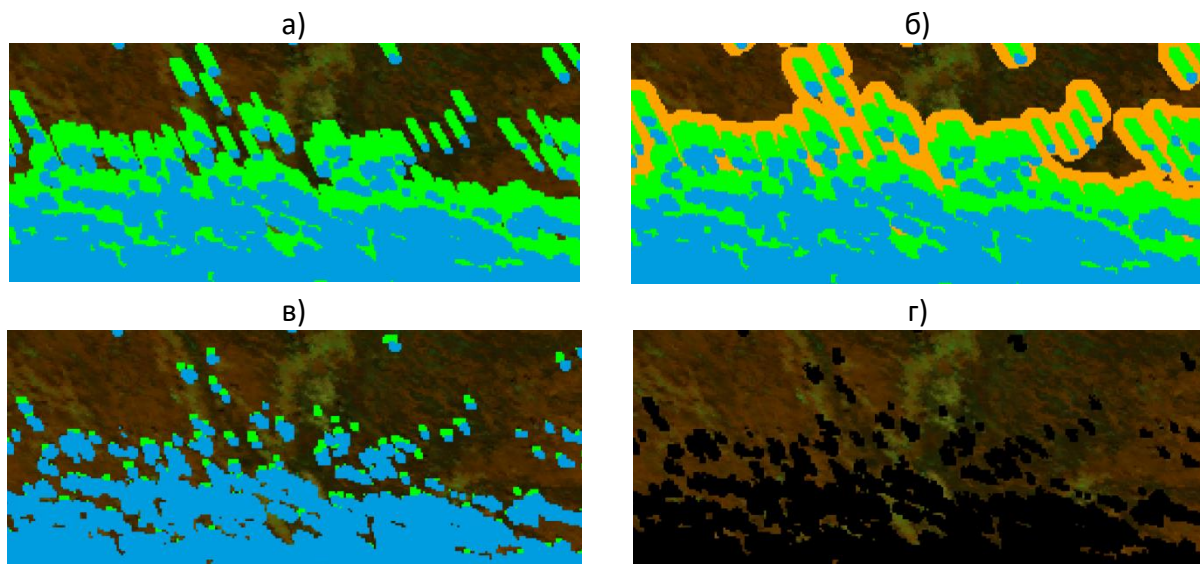


Рисунок В.2.4 – а) построение теней (зеленый) от облаков (голубой);
 б) построение буферной зоны (оранжевый) вокруг теней (зеленый);
 в) маскирующее изображение снежного, облачного, покрова и теней от облаков;
 г) фильтрация искаженных данных (черный)

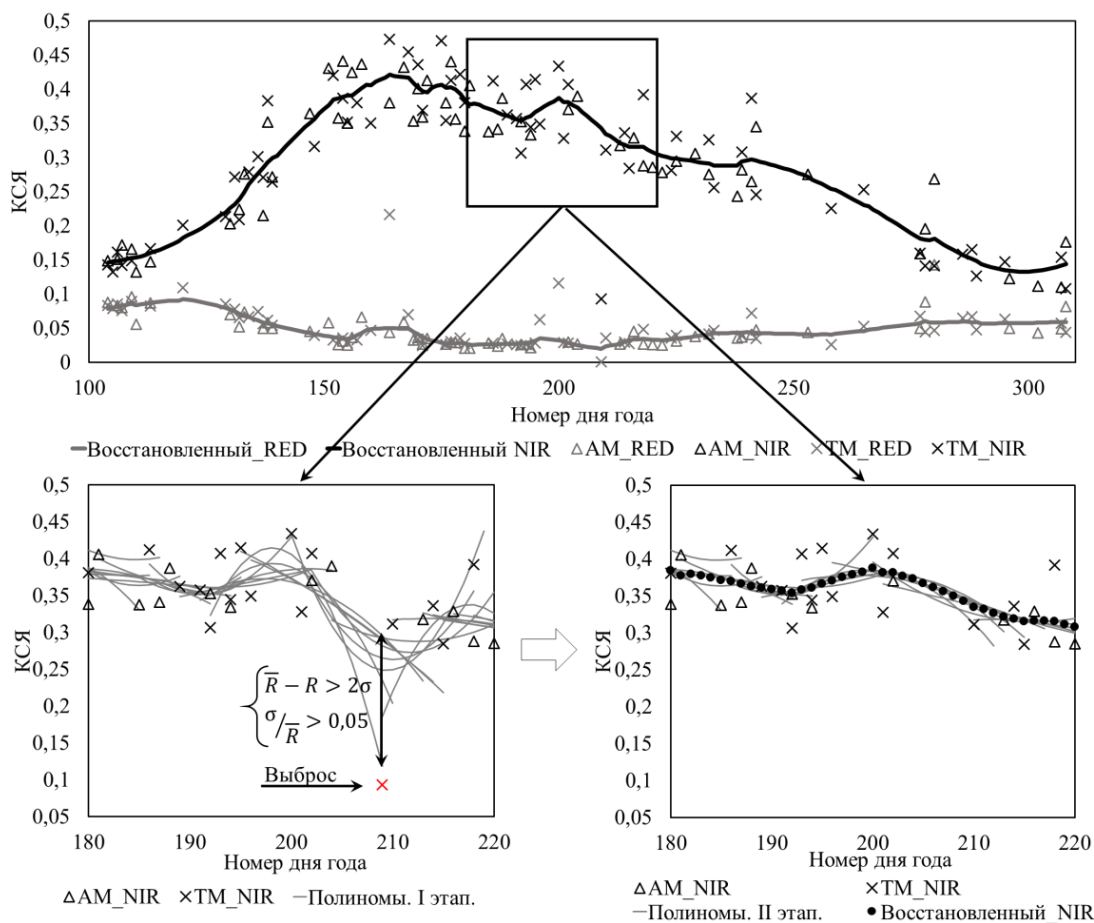


Рисунок В.2.5 – Интерполяционный алгоритм восстановления ежедневного временного ряда композитных изображений КСЯ в спектральном канале NIR

Результаты записываются в интерполяционную матрицу IM (2). Для каждой точки временного ряда получается набор интерполяционных оценок значения характеристики: при $p=5$ до 4 оценок для пропуска и до 5 для значащей точки во временном ряду. Реальные наблюдения сравниваются с интерполяционными оценками. При отклонении в две дисперсии от среднего наблюдение считается искаженным и фильтруется. После фильтрации выбросов интерполяционная матрица оценок перестраивается, и пропуски заполняются усредненными значениями интерполяционных оценок.

$$IM = \begin{pmatrix} a_1^{11} & a_2^{21} & b_3^1 & a_4^{31} & a_5^{41} & a_6^{51} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & a_2^{12} & b_3^2 & a_4^{22} & a_5^{32} & a_6^{42} & a_7^{52} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & a_4^{13} & a_5^{23} & a_6^{33} & a_7^{43} & b_8^3 & a_9^{53} & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_5^{14} & a_6^{24} & a_7^{34} & b_8^4 & a_9^{44} & a_{10}^{54} & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_6^{15} & a_7^{25} & b_8^5 & a_9^{35} & a_{10}^{45} & a_{11}^{55} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_7^{16} & b_8^6 & a_9^{26} & a_{10}^{36} & a_{11}^{46} & a_{12}^{56} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (B.2.2)$$

В матрице IM элементы a_T^{ij} соответствуют полученным оценкам в значащих точках, а элементы b_T^i – пропущенным данным. T – порядковый номер наблюдения во временном ряду, i – положение значащей точки в окне интерполяции, j – шаг окна интерполяции (совпадает с номером строки), а величина окна выбрана $p=5$.

На рисунке В.2.6 проиллюстрированы ключевые этапы предварительной обработки данных.

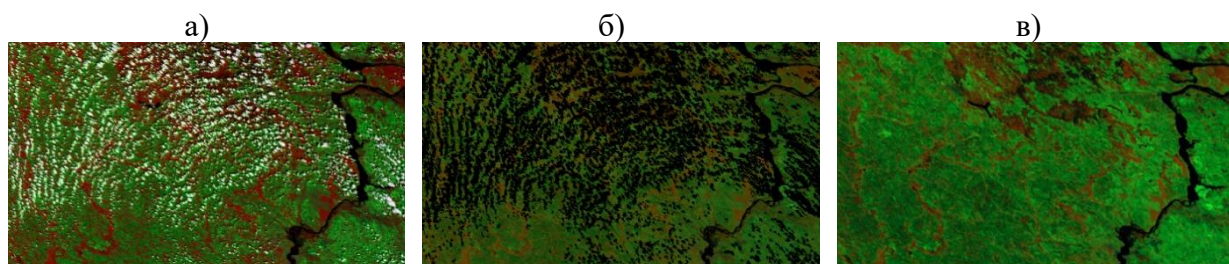


Рисунок В.2.6 – Этапы обработки изображения: а) исходные данные; б) однодневное композитное изображение; в) восстановленное изображение

Описанный выше подход к предварительной обработке данных спутниковых наблюдений позволяет получать изображения, очищенные от влияния шумов, облачного и снежного покрова, теней, а также влияния их краевых эффектов, и других мешающих факторов. В результате обработки временных серий данных ДЗЗ формируются непрерывные ряды изображений, необходимые при дальнейшем мониторинге и анализе состояния растительного покрова.

2. Методы построения и межгодовой и пространственной яркостной нормализации зимних композитных изображений снежного покрова

Предварительная обработка и построение композитных изображений покрытой снегом земной поверхности включает в себя следующую последовательность основных этапов обработки данных ДЗЗ:

- первичная пороговая классификация исходных спутниковых изображений с выделением таких классов, как облака, отбрасываемые ими на земную поверхность тени и свободные от снега участки, а также территории с открытым снежным покровом и леса с наличием снега на земле и/или кронах;

- статистический анализ временных рядов данных ДЗЗ со взаимной переклассификацией, ошибочно отнесенных на предыдущем этапе к классам открытого снежного покрова и лесов пикселов;
- реконструкция рядов данных ДЗЗ, основанная на однородности освещения и положения сенсора с восстановлением спектрально-отражательных характеристик земной поверхности в пикселах спутниковых изображений;
- выбор наиболее оптимальных в заданном временном интервале значений спектрально-отражательных характеристик покрытой снегом земной поверхности с фиксированным положением освещения и положения сенсора, и формирование на их основе соответствующих композитных изображений.

Выполняемая на первом шаге первичная пороговая классификация одномоментных спутниковых изображений направлена на выделение таких классов как (1) облака, (2) тени от облаков и свободная от снега земная поверхность, (3) открытый снег и лесной покров с наличием снега на земной поверхности и/или на кронах деревьев. Соответствующие пикселям классов (1) и (2) данные ДЗЗ совокупно исключаются из использования при дальнейшем построении композитных изображений. Для первичной классификации используется двумерное распределение значений R_b и R_{sw} – коэффициентов спектральной яркости (КСЯ), измеренных соответственно в голубом и среднем ИК диапазонах спектра. В данном пространстве значений КСЯ участки с наличием снега, в том числе находящимся под кронами деревьев, характеризуются в видимой области спектра более высокой отражательной способностью по сравнению со свободной от снежного покрова земной поверхностью. Предварительное построение гистограммы двумерного распределения значений R_b и R_{sw} по данным спутниковых наблюдений зимнего периода позволяет оценить пороговые значения для разделения заданных классов.

При этом непосредственное использование для этой цели в качестве разделяющего признака нормализованного разностного индекса снега $NDSI$ (формула В.2.3) не является оптимальным, поскольку леса высокой сомкнутости (прежде всего, хвойных вечнозеленых пород) и лишенные снежного покрова безлесные территории характеризуются близкими его значениями:

$$NDSI = (R_b - R_{sw}) / (R_b + R_{sw}) \quad (B.2.3)$$

Следует отметить, что в выбранном пространстве признаков использование $NDSI$ в качестве параметра может быть выражено в виде:

$$R_b = R_{sw}(1 + NDSI) / (1 - NDSI), \quad R_b = R_{sw} \text{ при } NDSI = 0 \quad (B.2.4)$$

При этом наличие снега приводит к снижению значений КСЯ земной поверхности в среднем ИК диапазоне, а эффект снижения отражательной способности снежного покрова проявляется уже на длине волны 1,2 мкм и возрастает на длинах волн 1,6 и 2,2 мкм.

Представленная на рисунке В.2.7 двумерная гистограмма значений КСЯ в голубом и среднем ИК диапазонах спектра иллюстрирует возможности разделения по данным ДЗЗ необходимых классов на основе задания следующих пороговых значений:

- «снег», если $R_b > 0,05$ и $0,03 < R_{sw} < 0,2$;
- «облачность, тени и прочие территории», если $R_{sw} < 0,03$ или $R_{sw} > 0,2$ или $R_b < 0,05$.

Заданные пороговые значения КСЯ обеспечивают умеренно консервативную фильтрацию пикселов, гарантированно соответствующих облакам и свободным от снега участкам земной поверхности. Однако близость КСЯ некоторых типов облаков и открытого снега не позволяет обеспечить их разделение по одномоментным спутниковым изображениям с достаточной степенью надежности.

Дальнейшее разделение указанных объектов и фильтрация пикселов для покрытых лесом территорий с наличием снега на кронах деревьев достигается на основе анализа временных рядов КСЯ участков, отнесенных на этапе первичной классификации спутниковых изображений к снежному покрову.

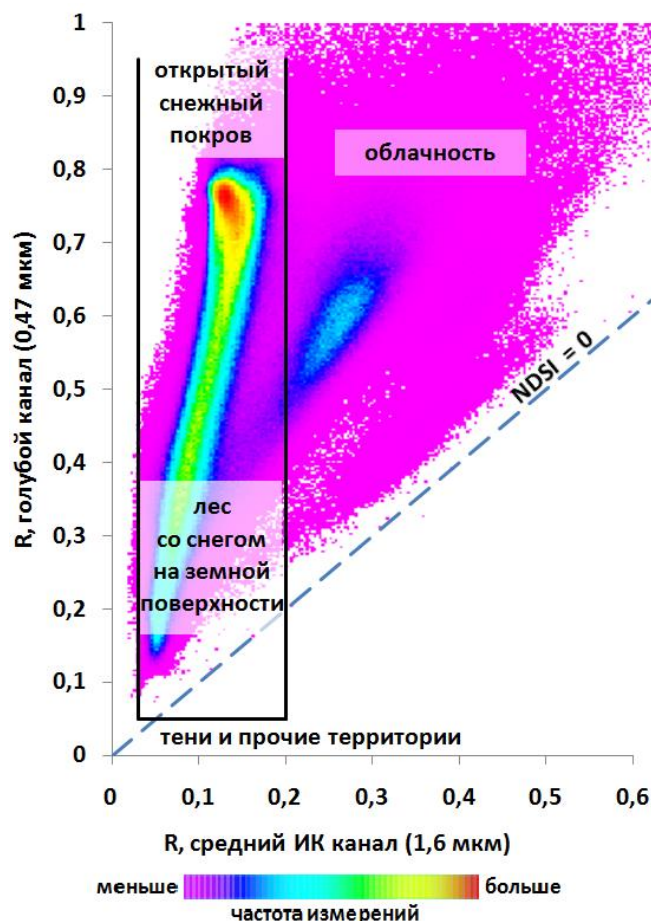


Рисунок В.2.7 – Иллюстрация пороговой классификации исходных спутниковых изображений в двумерном пространстве значений КСЯ в голубом и среднем ИК диапазонах спектра на примере данных системы MODIS

Статистический анализ временного ряда значений КСЯ $R(x, y, t)$ в точке с координатами (x, y) в момент времени t на участках с выявленным наличием снега исходит из предположения значительно большего числа наблюдений, свободных от маскирующего влияния облаков, в сравнении зашумленными. При этом для повышения уровня репрезентативности статистического анализа возможно использование спутниковых данных ДЗЗ снежного покрова, полученных в соседние годы, но необходимо учитывать возрастающую возможность проявления негативного влияния фактора межгодовых изменений лесного покрова. Для снижения влияния этого фактора предпочтительно включать в анализ дополнительные данные ДЗЗ, полученные в предшествующие годы. Временные ряды данных КСЯ используются для оценки их средней величины $M_R(x, y, t_1: t_2)$ и стандартного отклонения $\sigma_R(x, y, t_1: t_2)$ в данной точке за период времени с t_1 по t_2 . Необходимость использования временных рядов данных спутниковых наблюдений обусловлена низким уровнем разделимости по одиночным изображениям в пространстве признаков R_b и R_{sw} устойчивого снежного покрова на земной поверхности и снежного облачного фронта в атмосфере. Выделение участков с высоким уровнем случайного шума в точке $R(x, y, t)$ осуществляется отдельно по данным измерений КСЯ в красном (R_{red}) и ближнем ИК (R_{NIR}) спектральных диапазонах на основе критерия (В.2.5):

$$|R(x, y, t) - M_R(x, y, t_1: t_2)| > 2 * \sigma_R(x, y, t_1: t_2) \quad (B.2.5)$$

Необходимо отметить, что прошедшие фильтрацию временные ряды данных спутниковых наблюдений могут существенно отличаться в различные годы характером внутригодового распределения дат измерений КСЯ снежного покрова. Указанные отличия в датах спутниковых измерений, в свою очередь, проявляются в вариациях значений КСЯ земной поверхности, прежде всего, за счет влияния различий высоты Солнца. Характерные для зимнего периода года низкие значения последней приводят к повышенному вкладу теней от деревьев, форм рельефа и некоторых других

вертикальных элементов местности в межгодовые различия спектрально-отражательных характеристик земной поверхности. Для компенсации этого фактора при построении композитных изображений покрытой снегом земной поверхности предусмотрена процедура реконструкции временных рядов данных на участках пропусков, образовавшихся после фильтрации зашумленных измерений. Указанная процедура включает в себя детектирование и фильтрацию остаточных шумов, а также заполнение пропусков и сглаживание временных рядов данных ДЗЗ, обеспечивая получение регулярных и непрерывных во времени значений КСЯ земной поверхности.

В результате предварительной обработки данных ДЗЗ значительно снижается влияние мешающих факторов, что дает возможность построения композитных изображений покрытой снегом земной поверхности. Построение композитных изображений осуществляется путем фильтрации по однородности геометрических условий освещения и положения сенсора с последующим формированием однородных бесшовных композитных изображений. Следует обратить внимание, что существует взаимосвязь между зенитным углом Солнца и величиной формируемой деревьями тени. Таким образом, при небольшой высоте Солнца над горизонтом вклад в яркостные характеристики теней от деревьев значительно выше вклада самих деревьев, что негативно сказывается на оценке характеристик лесов. С другой стороны, высокое положение Солнца над горизонтом уменьшает вклад теней от деревьев в яркостные характеристики лесов, что приводит к потере влияния вклада вертикальной структуры деревьев. Для построения композитных изображений используется критерий величины фазового угла (угол между направлениями на Солнце и на сенсор в точке наблюдения). Для данных MODIS оптимальным принято значение 45 градусов. Получаемые изображения формируют многолетние временные ряды, представленные данными наблюдений в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах.

Пример композитного изображения покрытой снегом земной поверхности с использованием данных Terra-MODIS (230 м, 2021 год) с 1 января по 30 апреля представлен на рисунке В.2.8.

Описанный выше подход предварительной обработки позволяет получать многолетние временные ряды очищенных от маскирующего влияния облаков композитных спутниковых изображений, характеризующих спектрально-отражательные свойства покрытой снегом земной поверхности. Вместе с тем, анализ ежегодных композитных изображений показывает наличие межгодовых вариаций значений КСЯ, обусловленных, как уже отмечалось выше, не только динамикой лесов, но и изменчивостью отражательных характеристик снежного покрова, вызванных влиянием различных факторов, включая наличие ледяной корки, уровень влагосодержания снега, степень шероховатости его поверхности. Наличие такого рода факторов варибельности значений КСЯ может приводить к искажению результатов анализа многолетних композитных изображений, в частности, при решении задач оценки характеристик и дистанционного мониторинга лесов. Кроме того, к числу факторов потенциально способных приводить к искажению результатов анализа многолетних спутниковых данных можно отнести и изменение радиометрических характеристик сенсора съемочной системы ДЗЗ, вызванных, как правило, постепенным снижением его чувствительности на протяжении жизненного цикла эксплуатации.

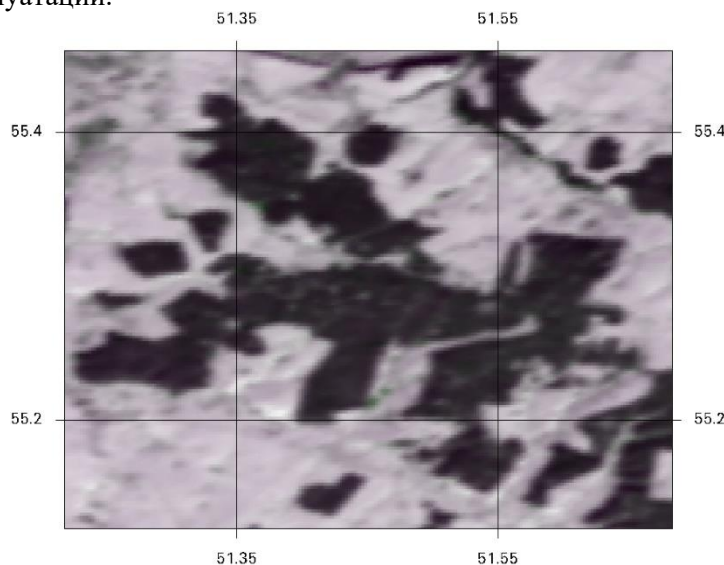
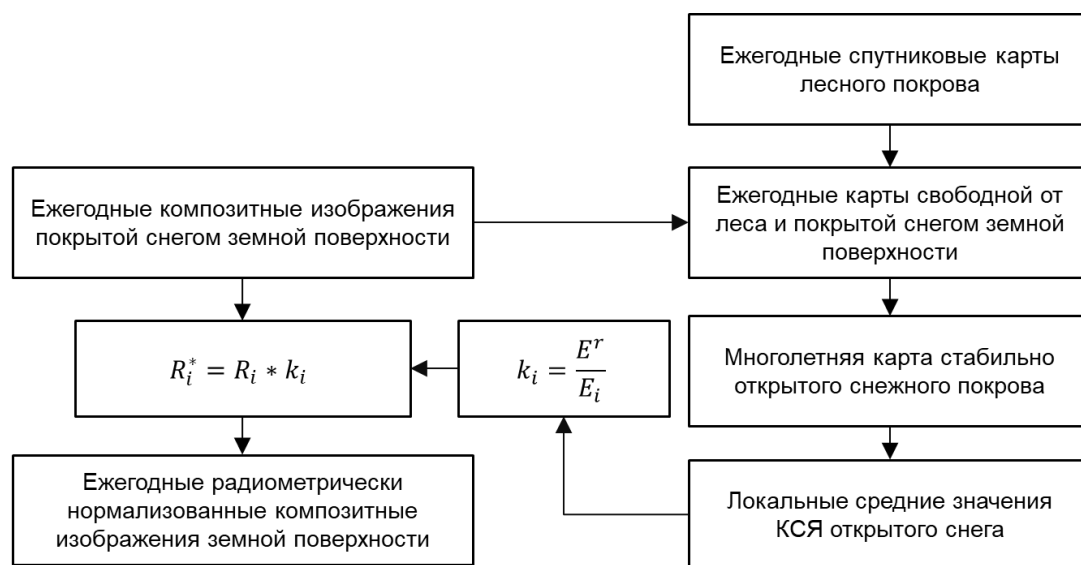


Рисунок В.2.8 – Композитное изображение покрытой снегом земной поверхности (R_{red} (R), R_{NIR} (G), R_{red} (B)): а) по данным MODIS (230 м)

Этап межгодовой радиометрической нормализации позволяет привести многолетний временной ряд композитных изображений к единой яркостной шкале и уменьшить влияние изменений характеристик сенсора. На основе алгоритма локально-адаптивного расчета яркостных характеристик LAGMA (Bartalev et al., 2014) проводится ежегодное вычисление локализованных средних значений яркости открытого снежного покрова. Далее в качестве опорного года берется одно из изображений ряда, остальные изображения корректируются относительно полученных средних значений. Для проведения радиометрической нормализации изображений в качестве опорного используется 2010 год. Этот же подход используется для внутригодовой нормализации яркости открытой поверхности.

Для компенсации влияния вышеуказанных факторов межгодовой вариабельности многолетних композитных изображений покрытой снегом земной поверхности разработана технология их взаимной радиометрической нормализации, логическая схема которой представлена на рисунке В.2.9. В основе лежит локально-адаптивная оценка на свободных от леса территориях КСЯ открытого снега в предположении полного покрытия им участков, соответствующих пикселям изображений. Для этого из используемого для радиометрической нормализации композитных изображений множества пикселей необходимо исключить участки с наличием древесно-кустарниковой растительности.

Локально-адаптивная оценка КСЯ покрытых снегом безлесных участков осуществляется методом LAGMA в узлах регулярной пространственной сети. Для отбора опорных участков используются ежегодно обновляемые спутниковые карты растительного покрова (раздел 4.6). По ежегодным композитным изображениям определяются максимальные значения КСЯ в красном и ближнем ИК диапазонах спектра на занятых лесом территориях с последующим исключением из рассмотрения участков с более низкой отражательной способностью. Дополнительная пространственная фильтрация направлена на исключение из рассмотрения участков, непосредственно примыкающих к покрытым лесом территориям, или расположенных в буферной зоне заданной ширины. Для взаимной радиометрической нормализации многолетних композитных изображений в качестве опорных территорий отбираются участки открытого снега, остающиеся свободными от древесной растительности на протяжении всего рассматриваемого периода спутниковых наблюдений.



E_i и E^r - локальные средние значения КСЯ открытого снежного покрова, полученные на регулярной сети с использованием композитных изображений произвольного i - го и опорного годов; R_i и R_i^* - значения КСЯ в пикселях исходного и радиометрически нормализованного композитных изображений; k_i - заданные на регулярной сети значения коэффициентов радиометрической нормализации композитного изображения.

Рисунок В.2.9 – Логическая схема радиометрической нормализации композитных изображений покрытой снегом земной поверхности

Таким образом, на вход алгоритма LAGMA поступают опорная выборка пикселей, соответствующих стабильно безлесным территориям и временной ряд композитных спутниковых изображений покрытой снегом земной поверхности. На основе ежегодных данных проводится вычисление локализованных средних значений КСЯ открытого снежного покрова E_i с их присвоением узлам регулярной сети с заданным размером ячейки. При этом территория локализованного сбора статистики значений КСЯ по опорной выборке пикселей должна заведомо превышать заданные размеры ячейки регулярной сети. С использованием полученных локализованных средних значений КСЯ открытого снега проводится вычисление коэффициентов радиометрической нормализации k_i . При этом коэффициенты радиометрической нормализации временного ряда изображений вычисляются относительно года, выбранного в качестве опорного, т.е.:

$$k_i = \frac{E^r}{E_i} \quad (\text{B.2.6})$$

Последующая процедура радиометрической нормализации временного ряда композитных изображений (исключая опорный год) выполняется согласно выражению:

$$R_i^* = R_i * k_i \quad (\text{B.2.7})$$

На рисунке В.2.10 отображены гистограммы разности исходных и радиометрически нормализованных значений КСЯ в ближнем ИК диапазоне для территории России по данным съемки MODIS 2010 и 2012 годов. Сравнение представленных гистограмм показывает, что процедура радиометрической нормализации композитных изображений позволяет существенно уменьшить величину систематического смещения между двумя распределениями КСЯ. При этом следует учитывать, что в рассматриваемый период на территории происходили и реальные изменения площади и характеристик лесов, также оказавшие влияние на распределение разности сравниваемых изображений.

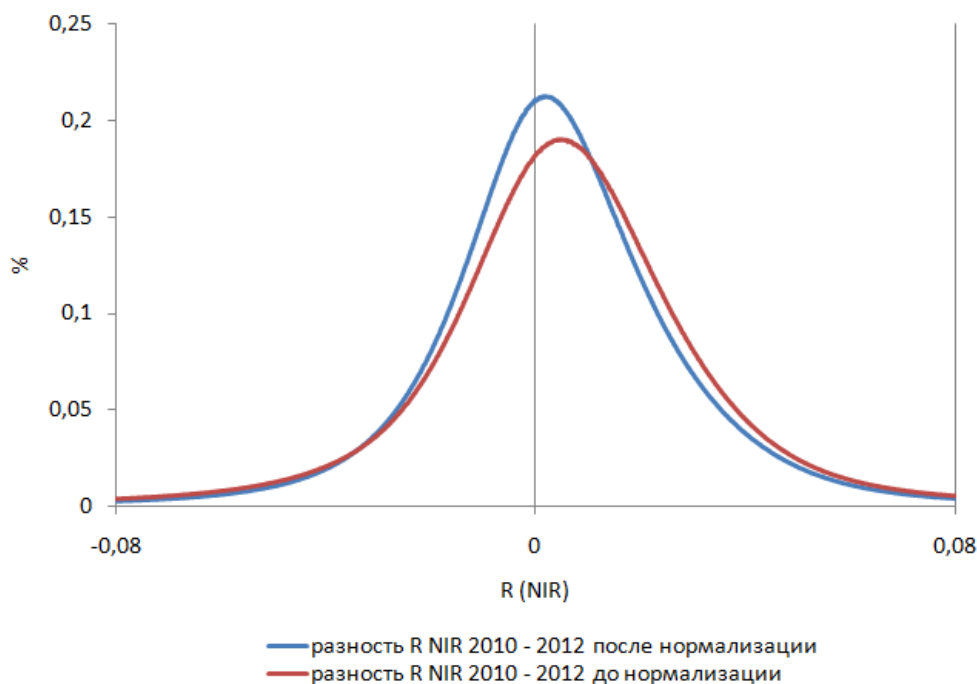


Рисунок В.2.10 – Гистограммы распределения разностей КСЯ в ближнем ИК диапазоне по данным MODIS 2010 и 2012 годов с использованием исходных и радиометрически нормализованных композитных изображений территории России с наличием снежного покрова на земной поверхности

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.1. Метод оценки площади, покрытой лесной древесно-кустарниковой растительностью

Метод картографирования древесно-кустарниковой растительности (ДКР) основывается на использовании особенностей сезонной динамики спектрально-отражательных характеристик лесов по отношению к другим типам земного покрова.

Для оценки доли покрытия ДКР соответствующего пикселу участка местности используются следующие входные данные:

- ежегодные композитные изображения, построенные на основе ежедневных данных прибора MODIS в период наличия снежного покрова на земной поверхности, спектральные каналы 1-2: красный (0.648 нм) и ближний ИК (0.858 нм);
- ежегодные композитные изображения, построенные на основе ежедневных данных прибора MODIS на момент достижения максимума нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) в период вегетации, спектральные каналы 1-7: красный (0.648 нм), ближний ИК-1 (0.858 нм), голубой (0.47 нм), зеленый (0.555 нм), ближний ИК-2 (1.24 нм), средний ИК-1 (1.64 нм), средний ИК-2 (2.13 нм);
- признаки, рассчитанные на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) местности Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): угол наклона, угол ориентации склона, высота над уровнем моря (раздел 3.3).

Характеристикой площади ДКР, полученной на основе спутниковых данных ДЗЗ, служит доля занимаемой пологом ДКР территории (лесистость). Ввиду необходимости охвата большой территории и ежегодной оценки лесистости, в том числе в исторической ретроспективе, для восстановления зависимости между спектрально-отражательными характеристиками земной поверхности и искомой характеристикой используются методы машинного обучения, требующие репрезентативной опорной выборки. В качестве входных данных для построения опорных выборок в рамках подхода используются:

- глобальный продукт WorldCover 2020 (раздел 3.3);
- глобальный продукт GLC_FCS30 2020 (раздел 3.3);
- поведельная таксационная информация по данным цифровой основы (ЦО) ГИЛ.

Метод оценки по данным ДЗЗ лесистости территории включает две независимые ветви обработки данных, состоящие из трех последовательных шагов: построение обучающей выборки, настройка регрессионной модели, применение настроенной модели к временному ряду данных. Схема основных шагов представлена на рисунке Г.1.1.

Первая ветвь обработки предусматривает оценку лесистости территории с учетом двух фракций растительности, древесной и кустарниковой:

- *формирование опорных выборок древесной и кустарниковой растительности.* На основе данных WorldCover 2020 и данных о кустарниках ЦО ГИЛ строятся бинарные маски покрытых деревьями и кустарниками территорий с пространственным разрешением 10 м. Полученные маски покрытия ДКР приводятся к необходимому разрешению и подвергаются фильтрации с помощью итерационного восстановления регрессионной зависимости и удаления из обучающей выборки пикселов, сильно отличающихся по результатам оценки лесистости.
- *настройка регрессионной модели.* Применяется модель Случайного леса (Random Forest) библиотеки sklearn, язык Python 3. Для настройки модели на территории Российской Федерации используется 10 млн случайно выбранных пикселов данных опорной выборки и 1 млн в качестве контрольной выборки. В качестве признаков используются вышеперечисленные каналы композитных изображений MODIS за 2020 год, признаки на основе ЦМР и пространственные координаты пиксела. Точности настройки модели при обучении на основе подхода out-of-bag (ООВ): $ООВ(R^2) = 0,84$ для кустарниковой и $ООВ(R^2) = 0,96$ для древесной растительности.
- *применение модели и объединение результатов.* Настроенные по двум выборкам модели последовательно применяются к данным каждого года. В результате строятся временные ряды ежегодных оценок доли покрытия древесной и кустарниковой фракций растительности, которые затем объединяются.

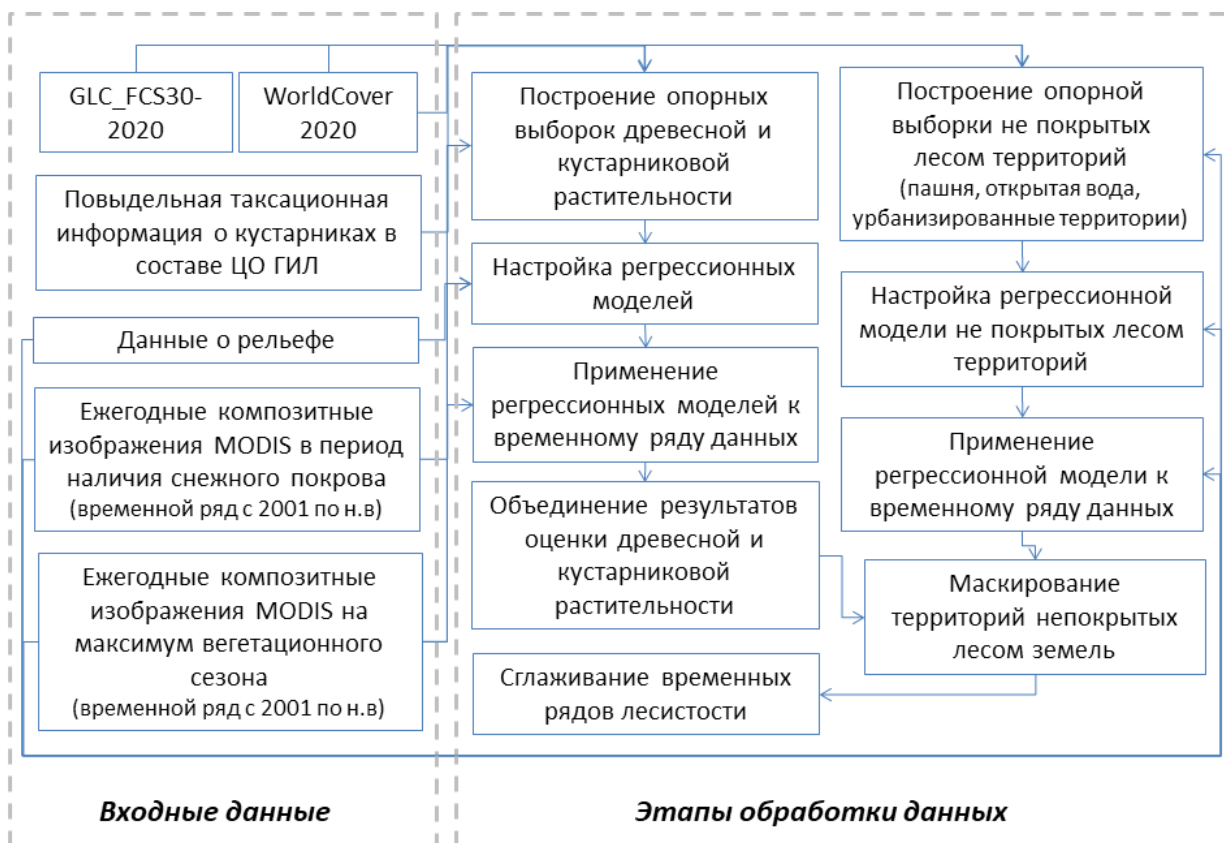


Рисунок Г.1.1 – Схема обработки данных ДЗЗ для оценки лесистости территории

Вторая ветвь обработки данных включает построение оценки доли нелесных типов покрова, таких как пашня, открытая вода и урбанизированные территории в пикселе данных, необходимой для фильтрации ошибок оценки лесистости в регионах с неустойчивым снежным покровом на земной поверхности:

- *формирование опорной выборки.* Для формирования опорной выборки используются данные об урбанизированных территориях и водной поверхности данных (GLC_FCS30) и пахотных землях (WorldCover 2020).
- *настройка регрессионной модели.* Применяется модель Случайного леса (Random Forest) библиотеки sklearn, язык Python 3. Для настройки модели используется 10 млн пикселей данных опорной выборки, выбранных равномерно по количеству из интервалов лесистости территории от 0 до 100% с шагом в 10%. и 1 млн случайно выбранных пикселей в качестве контрольной выборки. В качестве признаков используются вышеперечисленные композитные изображения MODIS за 2020 год и признаки на основе ЦМР. Точность настройки модели при обучении: ООВ (R^2) = 0,77.
- *применение модели.* Настроенная модель последовательно применяется к данным каждого года. В результате строится временной ряд оценок наличия безлесных классов, таких как пашня, открытая вода и урбанизированные территории, в пикселе данных.

Результаты обработки объединяются на этапе маскирования территорий непокрытых лесом для расчета оценок лесистости. На финальном этапе происходит сглаживание построенных временных рядов данных в пикселе с помощью фильтра на основе алгоритма STL с размером окна 7.

Применение метода обеспечивает ежегодную оценку лесистости территории на основе спутниковых данных ДЗЗ. Пример карты лесистости территории Российской Федерации за 2022 год представлен на рисунке Г.1.2.



Рисунок Г.1.2 – Пример карты лесистости территории России

На основе временного ряда построенных карт лесистости и относительной полноты (Приложение V.2.1.Г.4) с использованием класса лесных гарей карты типов наземных экосистем (Барталев и др., 2016) создан ежегодный временной ряд карт покрытых лесом территорий и получены оценки динамики их площади (рисунок Г.1.3)

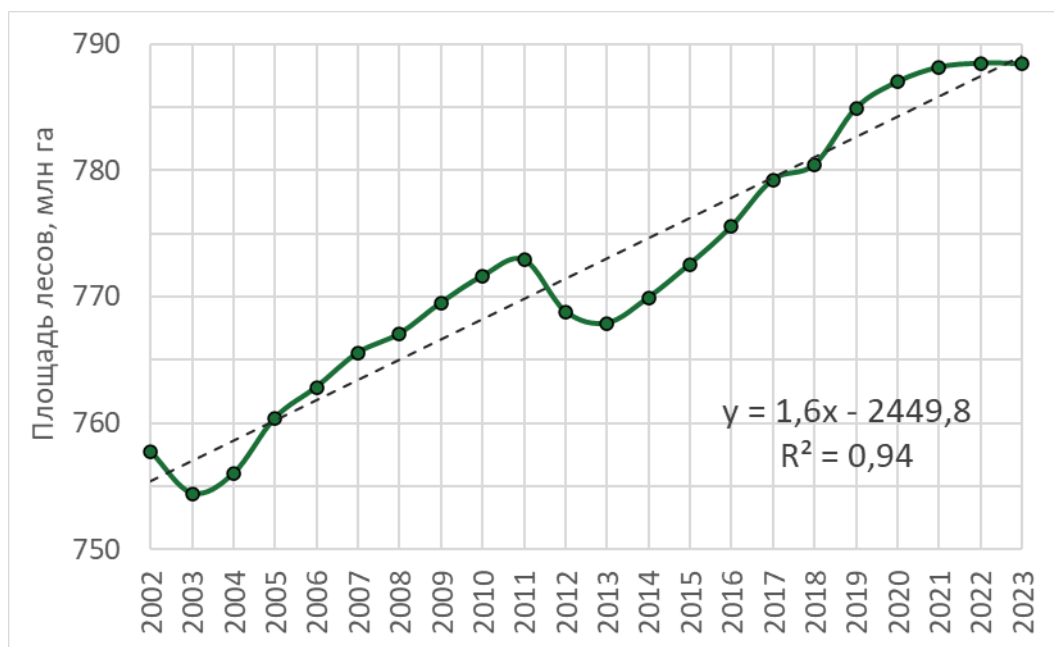


Рисунок Г.1.3 – График изменения площади лесов Российской Федерации
*к лесам отнесены неповрежденные пожарами территории, покрытые ДКР с полнотой более 0.25

На основе опорной выборки, содержащей более 595 млн элементов и карты лесистости территорий по состоянию на 2020 год была получена попиксельная оценка погрешности построенных про-

дуктов согласно методике, описанной в Приложении А. Средняя величина отклонения, рассчитанная по опорной выборке, составила 4,22%. Кроме того, были построены зависимости случайной и систематической составляющих погрешности показателя лесистости от значения оценок (рисунок Г.1.4).

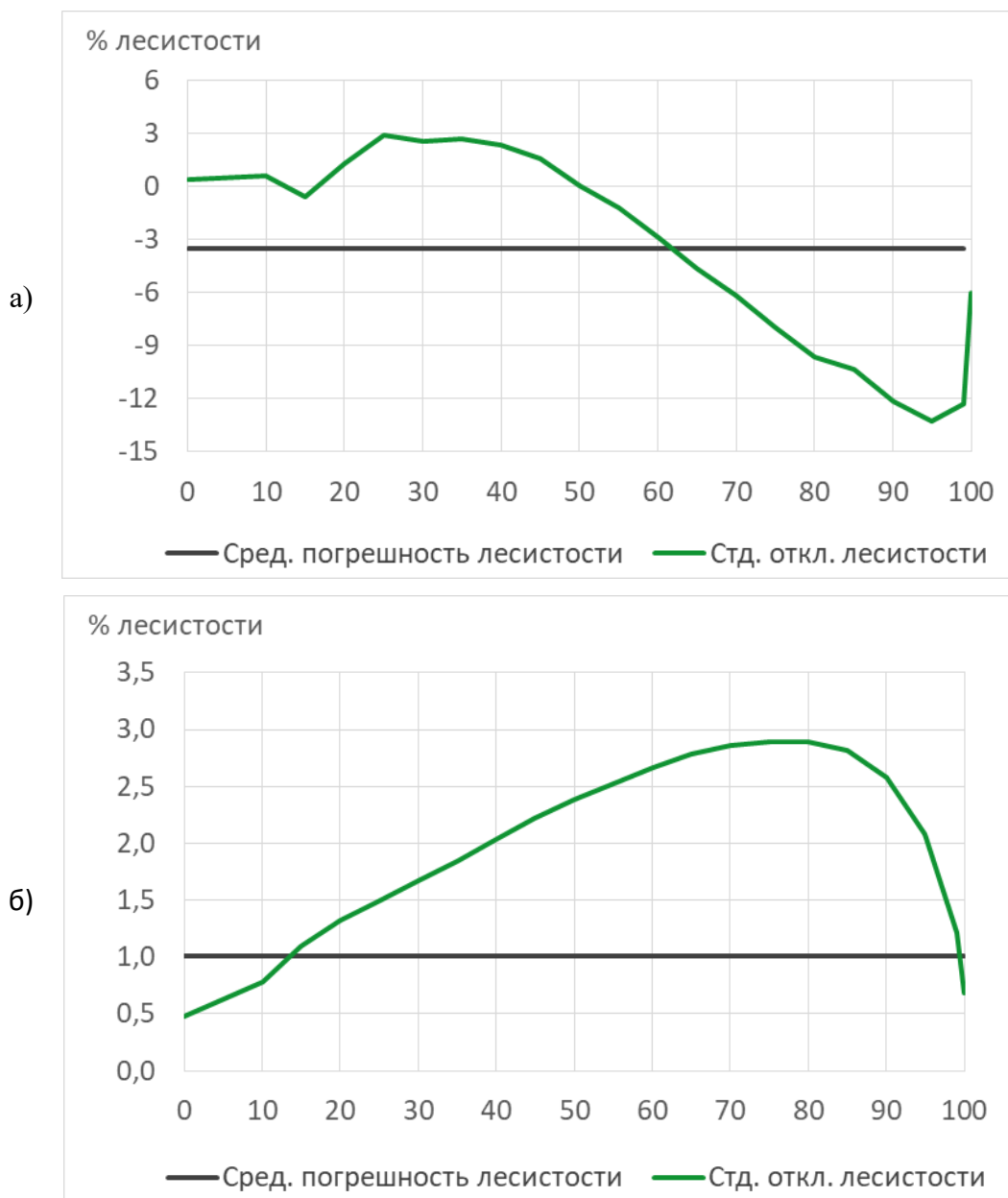


Рисунок Г.1.4 – Зависимости систематической (а) и случайной (б) составляющей погрешности определения значения показателя лесистости от оценки её величины

С помощью построенных зависимостей были восстановлены предполагаемые значения погрешности для каждого пикселя изображения, а затем, значения погрешности в каждом пикселе рассматриваемого временного ряда данных.

Для оценки погрешности определения площади лесов Российской Федерации на территория страны с помощью алгоритма пороговой сегментации на основе значения оценки лесистости и ее погрешности в текущем году разбивалась на однородные области. Суммарная погрешность вычислялась согласно методике, описанной в Приложении А. В результате построен график динамики погрешности определения площади лесов на основании предложенного подхода (рисунок Г.1.5). Суммарная погрешность оценки общей площади лесов России в зависимости от года изменяется в пределах от 24,8 млн га до 38,0 млн га, что составляет от 3,2% до 4,5%.

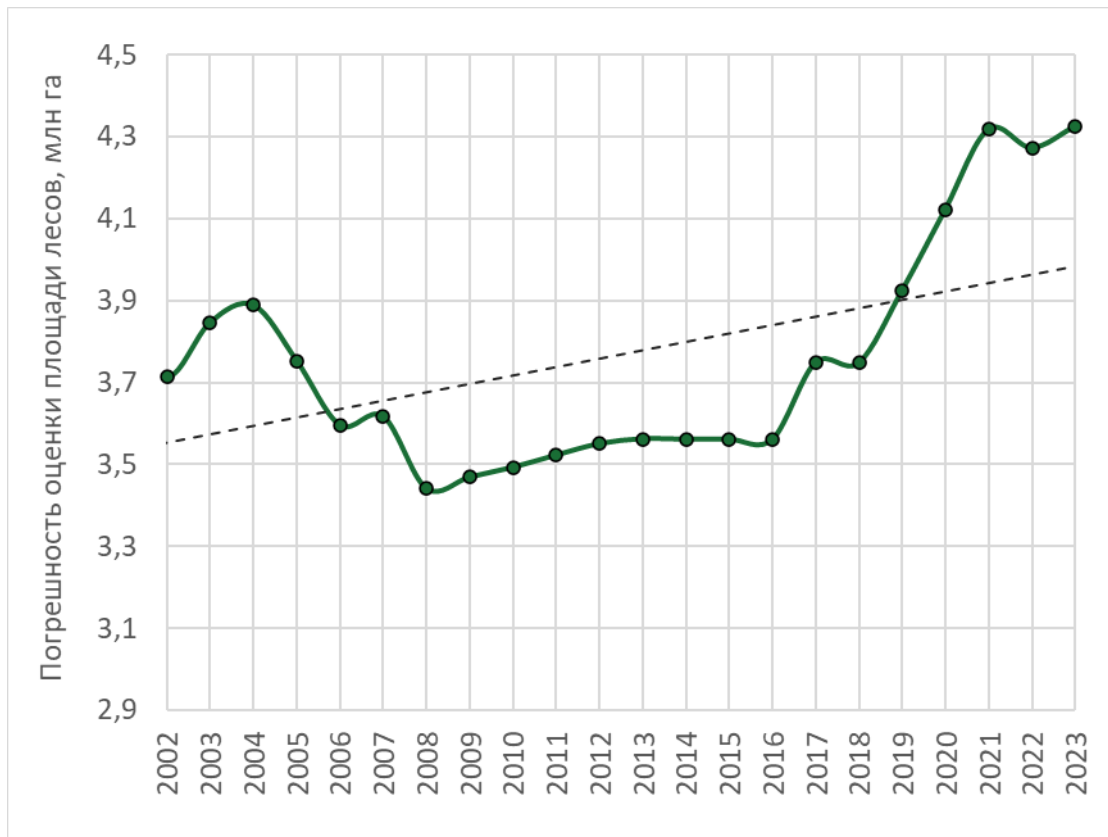


Рисунок Г.1.5 – График изменения погрешности ежегодной оценки площади лесов Российской Федерации

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.2. Метод оценки запасов стволовой древесины лесов

В основе метода оценки запасов стволовой древесины лесов по данным ДЗЗ лежит использование результатов спутниковых наблюдений в условиях наличия устойчивого снежного покрова на земной поверхности.

Информативность данных ДЗЗ зимнего периода для оценки запасов обусловлена маскированием на спутниковых изображениях всех типов земного покрова, кроме древесно-кустарниковой растительности (ДКР), в условиях присутствия снежного покрова, в том числе под пологом леса. Снежный покров формирует однородно высокие фоновые значения отражательной способности в видимых и ближнем инфракрасных (ИК) спектральных диапазонах, и вариации яркости спутниковых изображений зимнего периода определяются площадью кроны деревьев и их теней в пикселе данных ДЗЗ, то есть размером и количеством деревьев. Эти характеристики ДКР непосредственно связаны с величиной удельного запаса стволовой древесины [$\text{м}^3/\text{га}$] насаждений, что обуславливает эффективность использования данных спутниковых измерений отражательной способности покрытой снегом земной поверхности для оценки запаса (Барталев и др., 2016; Жарко и др., 2018; Zharko et al., 2020).

В рамках используемого метода по спутниковым данным ДЗЗ формируются многолетние временные ряды композитных изображений отражательной способности покрытой снегом земной поверхности в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах. Для этого данные ежедневных наблюдений за заданный период, очищенные от влияния облачности и других мешающих факторов на основе статистической фильтрации и пороговых критериев на значения отражательной способности в информативных спектральных каналах, используются для реконструкции временных рядов спутниковых измерений. При этом выполняется детектирование и фильтрация остаточных шумов, а также заполнение пропусков и сглаживание временных рядов данных ДЗЗ, обеспечивая получение регулярных и непрерывных во времени значений отражательной способности покрытой снегом земной поверхности с ежедневным временным разрешением. Восстановленные таким образом временные ряды данных используются для формирования зимних композитных изображений с включением в них результатов измерений отражательной способности, полученных в оптимальных условиях освещения и положения сенсора.

При этом для корректной оценки многолетней динамики запасов древесины на основе сформированных временных рядов ежегодных зимних композитных изображений необходимо исключить факторы пространственно-временной изменчивости отражательной способности, не связанной с динамикой запасов, такие как вариации характеристик снежного покрова и параметров сенсора. Для этого выполняется межгодовая радиометрическая нормализация многолетних временных рядов сформированных композитных изображений. На основе локально-адаптивного подхода LAGMA (Bartalev et al., 2014) выполняется ежегодное локализованное вычисление средних значений спектральной отражательной способности открытого снежного покрова в узлах регулярной сетки, пространственно распределенной на территории Российской Федерации. Рассчитанные средние значения используются для расчета пространственно-распределенных локализованных коэффициентов радиометрической нормализации, которые применяются к значениям спектральной отражательной способности для приведения зимних композитных изображений за разные годы к единой яркостной шкале. Подробное описание методов формирования и радиометрической нормализации используемых композитных изображений приведено в приложении В.2.

Входными данными для оценки запасов древесины лесов по спутниковым данным ДЗЗ являются радиометрически нормализованные многолетние временные ряды ежегодных композитных изображений покрытой снегом земной поверхности в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах. При этом используемые спектральные диапазоны демонстрируют различную зависимость от величины запаса для хвойных вечнозеленых и листопадных лесов. Зависимости медианного значения отражательной способности от величины запаса древесины для красного и ближнего ИК каналов зимнего композитного изображения для вечнозеленых и листопадных лесов, построенные по территории России, представлены на рисунке Г.2.1а, б. Различия в зависимости от величины запаса обусловлены физическими характеристиками спектральных каналов, реагирующих на наличие зеленой хвои, а также строением кроны хвойных вечнозеленых лесов. Для минимизации яркостных различий между вечнозелеными и листопадными лесами исходные величины отражательной способности переводятся в эмпирически полученный производный индекс RIND:

$$RIND = \ln(Red + 0,86 * NIR) \quad (Г.2.1)$$

Линейная комбинация отражательной способности в красном (Red) и ближнем ИК (NIR) спектральных диапазонах с весовым коэффициентом минимизирует различия между типами лесов, а процедура логарифмирования в значительной степени устраняет нелинейность полученной зависимости (рисунок Г.2.1в).

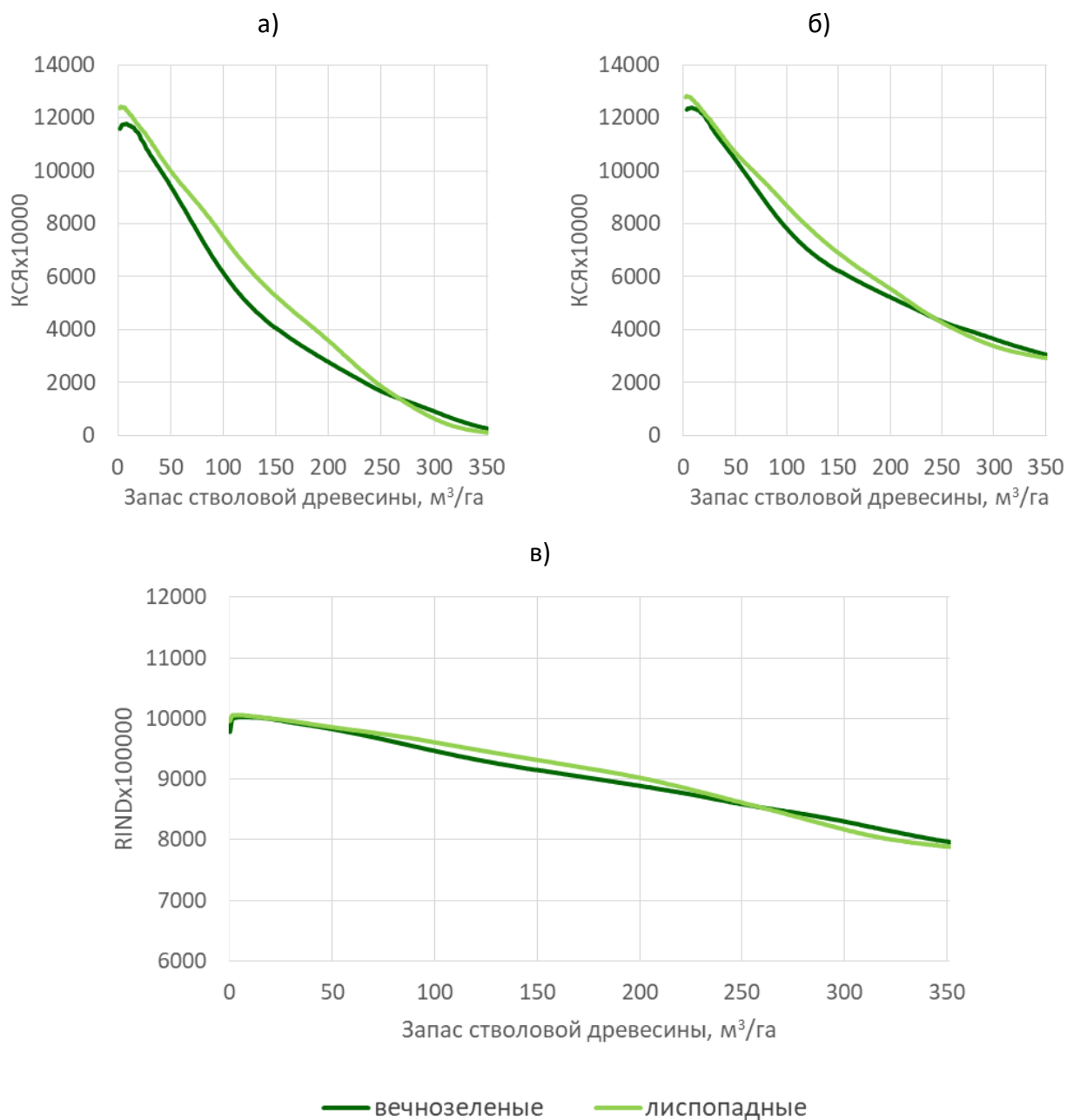


Рисунок Г.2.1 – Зависимость медианного значения отражательной способности (КСЯ, в красном (а) и ближнем ИК (б) каналах) и индекса RIND (в) от величины запаса древесины вечнозеленых и листопадных лесов

Кроме того, на основе значений отражательной способности покрытой снегом земной поверхности сформированных композитных изображений в красном и ближнем ИК каналах также рассчитывается величина нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI:

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red) \quad (Г.2.2)$$

Индекс NDVI, рассчитанный на основе данных ДЗЗ зимнего периода, характеризует долю пиксела данных, занятую как вегетативными (для хвойных вечнозеленых лесов), так и древесными элементами насаждений на фоне снежного покрова под пологом леса, что делает его информативным для оценки запаса стволовой древесины лесов. Рассчитанные таким образом значения индексов RIND и NDVI используются в качестве признаков для регрессионной оценки запасов стволовой древесины лесов на основе методов машинного обучения.

Применяемые для оценки запасов древесины по спутниковым данным ДЗЗ методы машинного обучения предполагают наличие опорной выборки о пространственном распределении удельного запаса стволовой древесины [м³/га] на уровне пикселей данных ДЗЗ по территории России. В рамках метода формирования опорной выборки происходит в несколько этапов.

В основе подготовки опорной выборки лежат данные наземного обследования лесов на уровне таксационных выделов. Для формирования выборки используются однородные выдела с наиболее достоверными результатами наземных измерений характеристик лесов, отфильтрованные на основе моделей хода роста насаждений и информации о нарушениях лесного покрова глобального продукта Global Forest Change по спутниковым данным высокого пространственного разрешения (раздел 3.3 Методики). Модели хода роста лесов также используются для получения дополнительных оценок наиболее динамичных характеристик насаждений, таких как запас древесины и возраст, приведенных к значениям по состоянию на единый опорный год (2010) для всей территории России. Неоднородные выдела фильтруются на основе данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения, полученных в период с наличием снежного покрова под пологом леса, которые, как уже было отмечено, характеризуют структуру древесного полога. При этом результаты измерений запасов древесины лесов на уровне выделов характеризуют главный ярус насаждений, что определяет необходимость их модельной коррекции для учета всех пулов углерода наземной древесной фитомассы, необходимых для его мониторинга.

Коррекция запасов древесины в выделах выполняется с использованием данных постоянных пробных площадей (ППП) Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), описанных в разделе 3.1.2 Методики и включающих измерения запаса стоящих деревьев всех ярусов, в том числе сухостой и молодняков/подроста. Для моделирования взаимосвязи значений скорректированного запаса стволовой древесины и характеристик лесов на уровне таксационных выделов отбираются пары выделов и находящиеся в их пределах ППП, удовлетворяющие следующим условиям:

- преобладающая порода по информации в выделе и по данным ППП совпадает;
- площадь выдела менее 35 га (информация о характеристиках лесов на выделах большой площади, как правило, имеет менее высокую точность, поскольку она была получена в рамках проведения лесоустройства по более низкому разряду);
- удельный запас на ППП больше, чем в выделе (в рамках предположения о том, что измерения запаса древесины на ППП содержат информацию о дополнительных фракциях насаждений относительно запаса главного яруса в повыдельных материалах).

В результате применения вышеописанных критериев фильтрации для дальнейшего анализа отбирается около 12500 пар ППП-выдел.

Выбранные таким образом отфильтрованные дынные таксационных выделов и ППП используются для моделирования взаимосвязи запаса стволовой древесины, включающего все пулы углерода надземной древесной фитомассы, необходимые для его мониторинга, и характеристик леса на уровне выделов. В качестве зависимой переменной используются измерения запаса всех стоящих деревьев на ППП, включая сухостой и молодняки/подрост, а в качестве независимых переменных – преобладающая порода, запас древесины, полнота, возраст и бонитет из повыдельных данных. Кроме того, в качестве зависимых переменных используются уникальный код лесничества, географические координаты выдела, а также средние значения и стандартные отклонения отражательной способности в выделе по зимним данным ДЗЗ высокого пространственного разрешения. Моделирование выполняется на основе регрессии методом случайных лесов (Random Forest Regression), реализованной средствами языка программирования R.

Пример результатов коррекции удельных запасов стволовой древесины в материалах таксационных выделов на основе построенной модели приведен на рисунке Г.2.2. После коррекции для большинства выделов значения запасов древесины заметно увеличиваются. Таким образом, используемая модель позволяет скорректировать пространственно-распределенные оценки удельных запасов в повыдельных материалах для учета всех стоящих деревьев, включая сухостой и молодняки/подрост, в дополнение к главному ярусу насаждений.

Описанная модель применяется к данным наиболее достоверных таксационных выделов, удовлетворяющих вышеупомянутым критериям фильтрации. Таким образом формируются пространственно-распределенные оценки удельных запасов стволовой древесины на уровне выделов, скорректированные для учета всех пулов углерода надземной древесной фитомассы, приведенные к единому опорному году (2010) для всей территории России. При этом сформированные данные главным образом характеризуют распределение насаждений с достаточно высокими запасами. Для дополнения полученных данных информацией о распределении низких запасов древесины используется глобальная карта биомассы лесов GlobBiomass (раздел 3.3 Методики). В рамках разработанного подхода данные карты Globbiomass используются для территорий, не покрытых повыдельными данными, при условии значений запаса менее 100 м³/га.

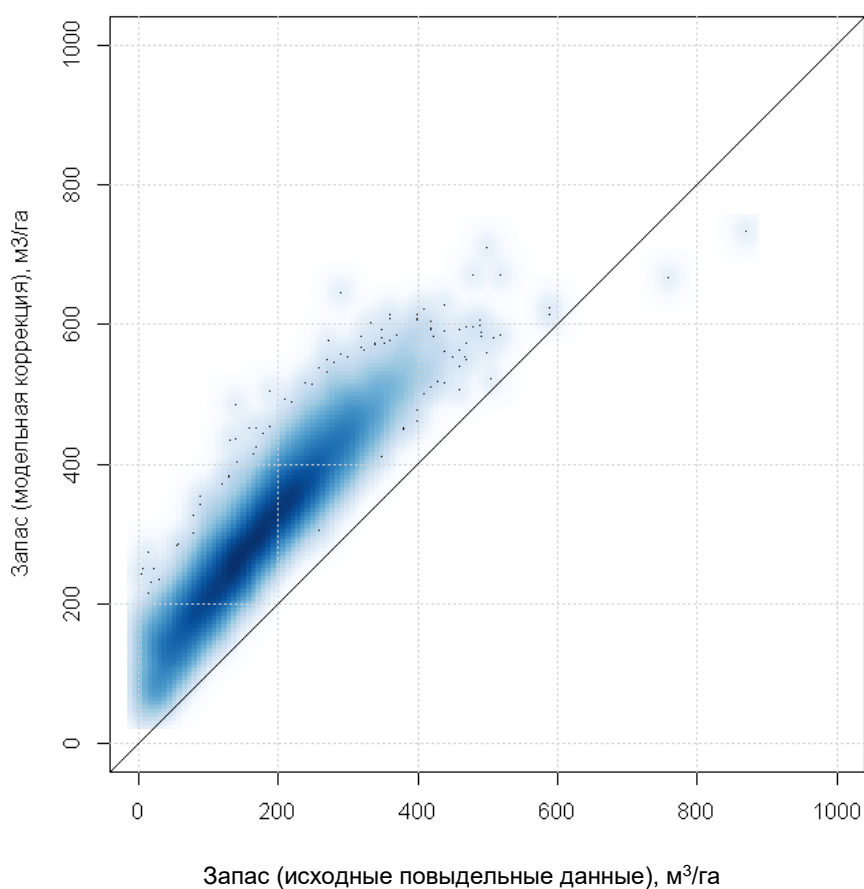


Рисунок Г.2.2 – Пример результатов коррекции запасов в материалах таксационных выделов на основе данных ППП ГИЛ и регрессионного моделирования

Подготовленные скорректированные результаты обработки материалов таксационных выделов и данные карты Globbiomass используются совместно для формирования промежуточной обучающей выборки пикселей среднего пространственного разрешения для всей территории России с расчетом удельных запасов стволовой древесины по состоянию на 2010 год в их пределах. Полученные данные также проходят дополнительную фильтрацию на основе информации об участках нарушений лесного покрова за период с 2000 года по данным вышеупомянутого проекта Global Forest Change (раздел 3.3 Методики) и спутникового мониторинга лесных пожаров, а также экспертного анализа. На заключительном этапе обработки дополнительно применяется фильтрация краевых пикселей.

Сформированная таким образом промежуточная опорная выборка характеризуется неоднородностью распределения запасов древесины по территории России, поскольку при ее подготовке используются материалы из двух различных источников и применяются жесткие критерии фильтрации для отбора наиболее достоверных данных. Для использования в рамках метода оценки запасов стволовой древесины лесов выполняется регуляризация промежуточной опорной выборки на основе расширенного набора данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения и методов машинного обучения. В дополнение к описанным ранее данным зимних композитных изображений за 2010 год также используются временные ряды композитных изображений за вегетационный период с шагом 15 дней, сформированные на основе восстановленных временных рядов данных ежедневных спутниковых наблюдений с 1 июня по 15 сентября 2010 года (приложение V.2.1.B.2). Таким образом для регуляризации промежуточной опорной выборки в качестве признаков используются значения отражательной способности в видимых, ближнем ИК и средних ИК каналах по данным временных рядов композитных изображений за вегетационный период (всего 42 признака) и значения вышеописанных индексов NDVI и RIND по данным зимнего композитного изображения.

Все данные ДЗЗ для регуляризации промежуточной обучающей выборки формируются за соответствующий ей 2010 год. Выборка делится на две части – одна используется для обучения регрессионной модели LightGBM на основе архитектуры градиентного бустинга, а вторая – для контроля точности модели при оптимизации ее параметров. Выполняется итеративное обучение модели при различных комбинациях значений параметров и расчет среднеквадратического отклонения (RMSE) получаемых оценок запасов древесины. Для дальнейшей обработки фиксируется оптимальный набор параметров, обеспечивающий минимальное значение RMSE. Далее оптимизированная модель применяется к расширенному набору данных ДЗЗ для оценки пространственного распределения удельных запасов стволовой древесины на территории России. Полученные таким образом данные, отфильтрованные для исключения участков нарушений в лесах и не покрытых ДКР территорий (на основе информации о лесистости, раздел 4.1 Методики) формируют итоговую опорную выборку для оценки запасов стволовой древесины лесов по данным ДЗЗ в рамках используемого метода.

Подготовленная итоговая опорная выборка используется для настройки регрессионной модели машинного обучения на основе архитектуры случайных лесов. При этом в качестве признаков для оценки запасов используются только вышеописанные индексы NDVI и RIND, рассчитанные на основе значений отражательной способности покрытой снегом земной поверхности в красном и ближнем ИК спектральных диапазонах. Обученная модель затем применяется к совокупности радиометрически нормализованных ежегодных зимних композитных изображений за период начиная с 2001 года и по настоящее время для формирования многолетнего временного ряда оценок удельных запасов стволовой древесины. Для уменьшения влияния остаточных шумовых эффектов производится сглаживание временного ряда ежегодных оценок запаса методом STL с параметром размера окна 7. Полученные данные используются для оценки многолетней динамики запасов стволовой древесины лесов России и национального мониторинга пулов и потоков их углерода. Пример карты запасов древесины в лесах по состоянию на 2022 год, сформированной по данным ДЗЗ на основе описанного метода, и многолетняя динамика суммарного объема древесины лесов Российской Федерации приведены на рисунках Г.2.3 и Г.2.4 соответственно.

Используемый метод предполагает выполнение оценки как случайной, так и систематической погрешностей определения запасов стволовой древесины согласно методу, описанному в Приложении А. Были построены зависимости случайной и систематической составляющих погрешности от значения получаемых оценок (рисунок Г.2.5).

Также с помощью всей опорной выборки, содержащей более 280 млн элементов, и построенной карты запаса стволовой древесины 2011 года была оценена среднеквадратичная ошибка оценки запаса (RMSE), которая составила $9,12 \text{ м}^3$ на га.

Для оценки погрешности суммарного объема стволовой древесины используется полученная функция зависимости среднеквадратической погрешности от величины запаса древесины в пикселе данных. Территория страны разбивается на однородные области с помощью алгоритма пороговой сегментации на основе значения оценки запаса стволовой древесины и ее погрешности в текущем году. Затем по методу, представленному в Приложении А, вычисляется суммарная погрешность для территории страны. Суммарная погрешность оценки общего запаса стволовой древесины на всей территории России в зависимости от года изменяется в пределах от 1,97 млрд м^3 до 3,27 млрд м^3 ,

что составляет от 1,57% до 2,3% от суммарной величины запаса. График зависимости ошибки ежегодной оценки объемов стволовой древесины лесов Российской Федерации представлен на рисунке Г.2.6.



Рисунок Г.2.3 – Карта удельных запасов стволовой древесины в лесах России в 2022 году

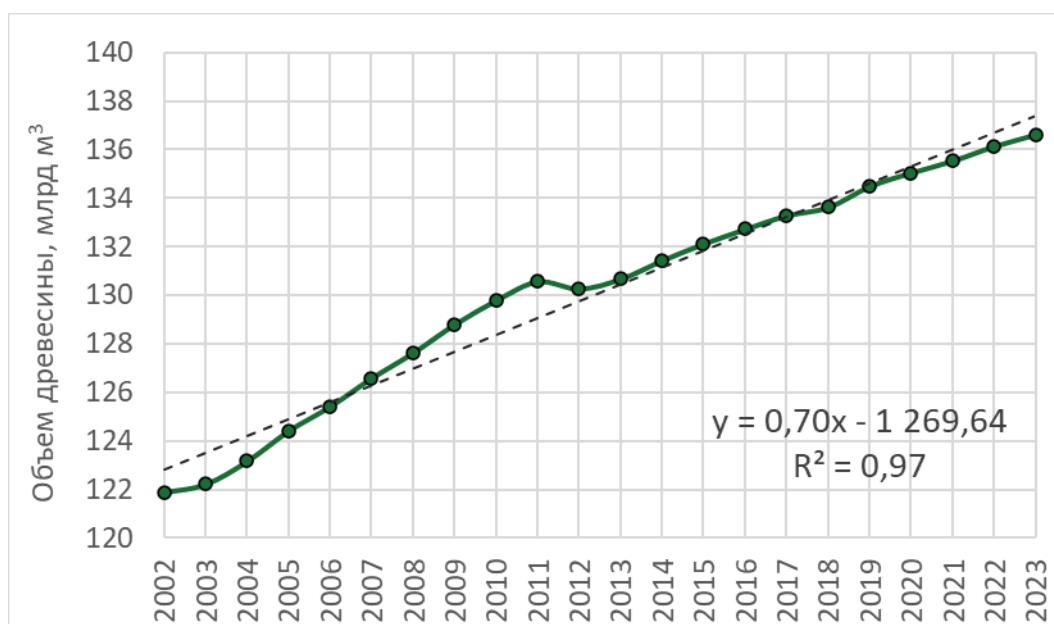


Рисунок Г.2.4 – График изменения объемов стволовой древесины в лесах России

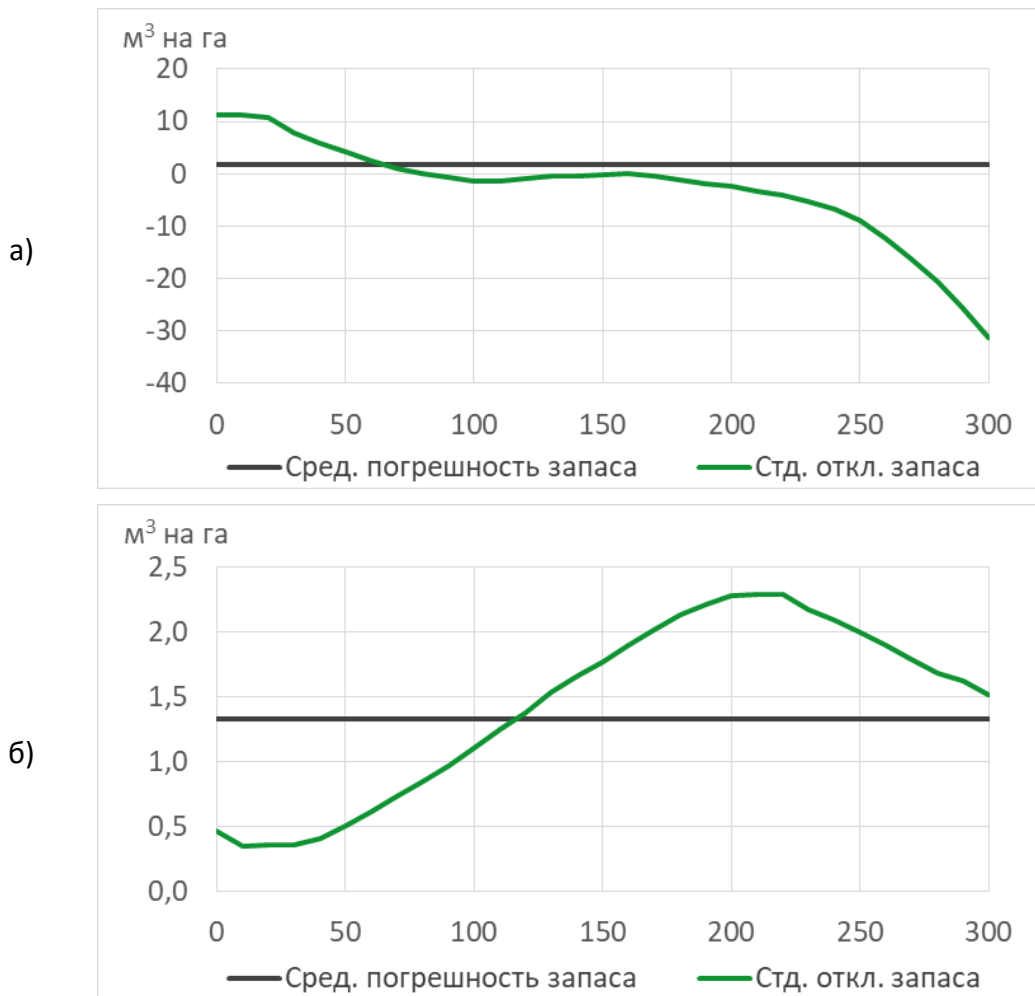


Рисунок Г.2.5 – Зависимости систематической (а) и случайной (б) составляющих погрешности определения значения запаса от оценки его величины

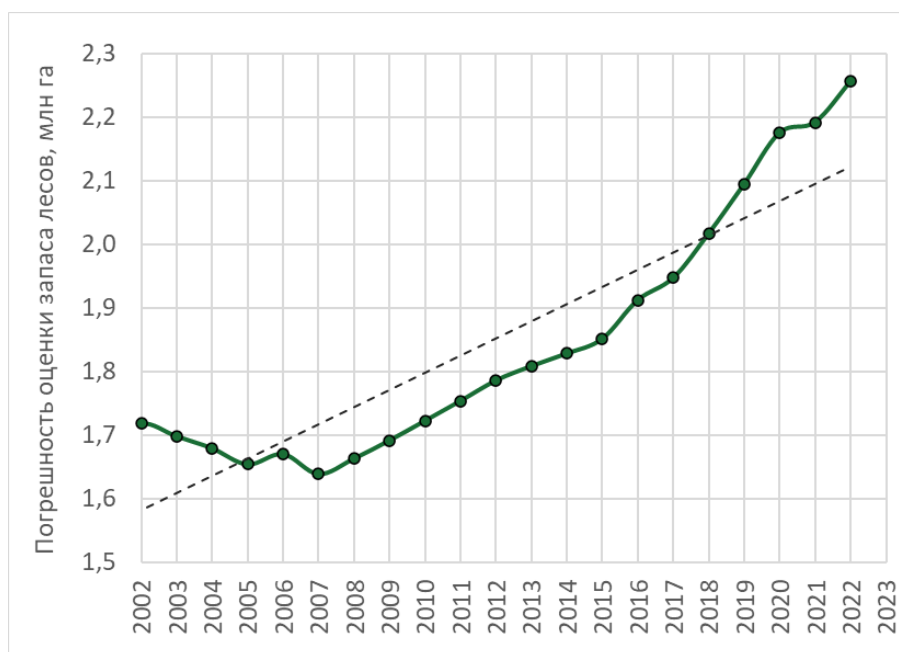


Рисунок Г.2.6 – График изменения погрешности оценки объемов стволовой древесины в лесах России

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.3. Метод оценки породного состава лесов

Работа метода картографирования преобладающих древесных пород в лесах России на основе спутниковых данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения организована в 2 этапа – построение опорной карты преобладающих пород за заданный год и формирование многолетнего временного ряда карт на основе анализа изменений в лесах.

Построение опорной карты преобладающих древесных пород лесов России выполняется на основе контролируемой классификации временных рядов спутниковых данных ДЗЗ высокого временного разрешения.

В качестве признаков распознавания преобладающих пород используются многолетние непрерывные ряды ежедневных бесснежных наблюдений по спутниковым данным MODIS (Приложение V.2.1.B.2). Указанные реконструированные временные ряды ежедневных спутниковых изображений на всю территорию России за период начиная с 2000 года и по настоящее время обеспечивают возможность оценки многолетней динамики ключевых характеристик лесов, включая преобладающие древесные породы, для национального мониторинга углерода наземных экосистем. Данные временные ряды формируются по результатам массовой совместной обработки данных MODIS со спутников Terra и Aqua с использованием усовершенствованной технологии предварительной обработки спутниковых данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения.

Используются временные ряды композитных изображений в информативных для изучения растительности красном (0,65 мкм), ближнем ИК (0,86 мкм) и среднем ИК (2,13 мкм) спектральных каналах за период с мая по октябрь с временным разрешением 5 дней и зимние композитные изображения в красном и ближнем ИК каналах. Данные в видимом диапазоне характеризуют, прежде всего, пигментный состав растительных элементов, в том числе количество и состояние зеленой растительности (Fassnacht et al., 2016). Данные в ближнем ИК спектральном диапазоне характеризуют клеточную структуру и количество слоев зеленых фракций растительности, что также делает их информативными при оценке характеристик лесов (Asner, 1998; Clark et al., 2005; Grant, 1987; Leskic et al., 2005). Данные среднего ИК диапазона характеризуют содержание влаги в растительности (Дейвис и др., 1983), которое, в том числе, коррелирует с объемом живой биомассы растительных элементов. Зимние данные, полученные в условиях наличия снежного покрова под пологом леса, также информативны при распознавании преобладающих древесных пород насаждений (Бартаев и др., 2016).

Кроме того, проводится дополнительная обработка подготовленных временных рядов данных ДЗЗ для обеспечения одинакового количества значащих измерений на всей территории России, поскольку различные метеорологические условия приводят к тому, что время появления первых значащих измерений спектрально-отражательных характеристик земной поверхности в начале сезона отличается для различных территорий. Для обеспечения одинакового количества измерений в течение вегетационного сезона недостающие значения коэффициента спектральной яркости (КСЯ) заполняются данными, соответствующими первому значащему измерению в начале сезона. Аналогичная процедура используется в конце вегетационного сезона для обеспечения одинакового числа измерений КСЯ временного ряда.

В основе обучающей выборки для классификации лежит сформированный набор данных о пространственном распределении преобладающих древесных пород и кустарниковой растительности в лесах страны с разрешением 230 м, включающий пиксели, в пределах которых весь лесной покров или наибольшая его часть занята насаждениями с преобладанием одной и той же породы. Дополнительно реализована фильтрация сформированных опорных данных о преобладающих породах лесов на основе моделей хода роста насаждений и тематической согласованности с данными карт типов лесных и нелесных земель (раздел 4.6).

Модели хода роста насаждений по запасу стволовой древесины, использующиеся для фильтрации опорных данных, построены на основе материалов наземного обследования лесов на уровне таксационных выделов из цифровой основы (ЦО) Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ). Для каждого выдела на основе данных о породе, возрасте и бонитете оценивались допустимые значения запаса, которые сравнивались с фактическим запасом в выделе. Таким образом, все выдела были разделены на 3 категории – 1. прошедшие фильтрацию; 2. не прошедшие фильтрацию и 3. те, для которых фильтрация невозможна в силу отсутствия данных о какой-то из характеристик леса.

Пикселы среднего разрешения, в которые попали выдела 2 или 3 категории, исключаются из набора опорных данных о преобладающих древесных породах.

Фильтрация опорных данных на основе информации временного ряда карт типов лесных и нелесных земель направлена на формирование единой обучающей выборки пикселов устойчивого лесного покрова, которая может использоваться для классификации многолетних временных рядов данных ДЗЗ при формировании ежегодной серии карт преобладающих древесных пород. Для этого карты типов лесных и нелесных земель за период с 2001 г и по настоящее время анализируются с целью выявления пикселов среднего разрешения, устойчиво относящихся к одному и тому же классу древесно-кустарниковой растительности каждый год: темнохвойные и светлохвойные леса, лиственные и хвойные листопадные леса, 3 класса смешанных лесов, а также лиственные и хвойные кустарники. Полученная маска устойчивых пикселов лесных классов используются для фильтрации массива опорных данных при формировании обучающей выборки для классификации преобладающих пород с учетом их тематического соответствия информации о типе древесно-кустарниковой растительности по картам типов лесных и нелесных земель. Также данные указанных карт позволяют выделить в обучающей выборке класс лиственных реди.

Дополнительно формируются наборы данных априорных вероятностей (ареалов) о возможном пространственном распределении лесов всех преобладающих пород и всех видов кустарниковой растительности, входящих в подготовленный набор опорных данных, на территории России. Карты априорных вероятностей формируются на уровне лесничеств на основе данных вышеупомянутых карт типов лесных и нелесных земель, информации Государственного лесного реестра (ГЛР) и материалов ЦО ГИЛ. В лесничествах, где присутствие какого-либо типа древесно-кустарниковой растительности считается невозможным по результатам анализа указанных данных, значения априорной вероятности устанавливается равным 0, что исключает соответствующий класс из классификации на рассматриваемой территории; в противном случае классификация выполняется с участием всех классов. Примеры наборов данных априорных вероятностей приведены на рисунке Г.3.1.

Классификация подготовленных признаков распознавания на основе сформированных опорных данных выполняется методом случайных лесов (Breiman, 2001) с использованием локально-адаптивного подхода LAGMA (Bartalev et. al, 2014). Полученная опорная карта преобладающих древесных пород лесов России за 2021 год изображена на рисунке Г.3.2. При построении многолетнего временного ряда карт преобладающих пород карта за заданный год (целевая карта) формируется на основе уже построенной карты за предыдущий/последующий год (базовой карты), с итеративным повторением данного процесса начиная с вышеописанной опорной карты преобладающих древесных пород лесов России.

Формирование целевой карты предусматривает выделение трех категорий пикселов, относящихся к лесным/кустарниковым экосистемам по данным вышеупомянутых карт типов лесных и нелесных земель на основе анализа изменений в лесах: 1) пикселы, в которых не зафиксировано изменений породной структуры относительно базовой карты; 2) пикселы с изменениями породной структуры; 3) дополнительные пикселы, не относившиеся к лесным экосистемам в базовой карте. При отсутствии зафиксированных изменений породной структуры информация о преобладающей породе переносится напрямую из базовой в целевую карту, поскольку данная характеристика является достаточно устойчивой и не изменяется в течение года в результате естественного развития леса (при отсутствии нарушений, приводящих к ее изменению, таких как выборочные рубки или усыхания).

Изменения породной структуры проявляются, в том числе, в изменениях спектрально-отражательных характеристик лесного покрова, а значит и в результатах спутникового картографирования наземных экосистем. Таким образом, к пикселям второй категории относятся те, для которых зафиксированы изменения групп пород/классов кустарниковой растительности между картами типов наземных экосистем России за соответствующие годы. Пикселы третьей категории также определяются путем прямого сопоставления соответствующих карт типов лесных и нелесных земель. Для пикселов второй и третьей категорий выполняется новая классификация признаков распознавания, подготовленных на основе вышеописанного подхода для целевой карты, и сформированной единой обучающей выборки стабильных пикселов с информацией о преобладающих древесных породах/типах кустарников.

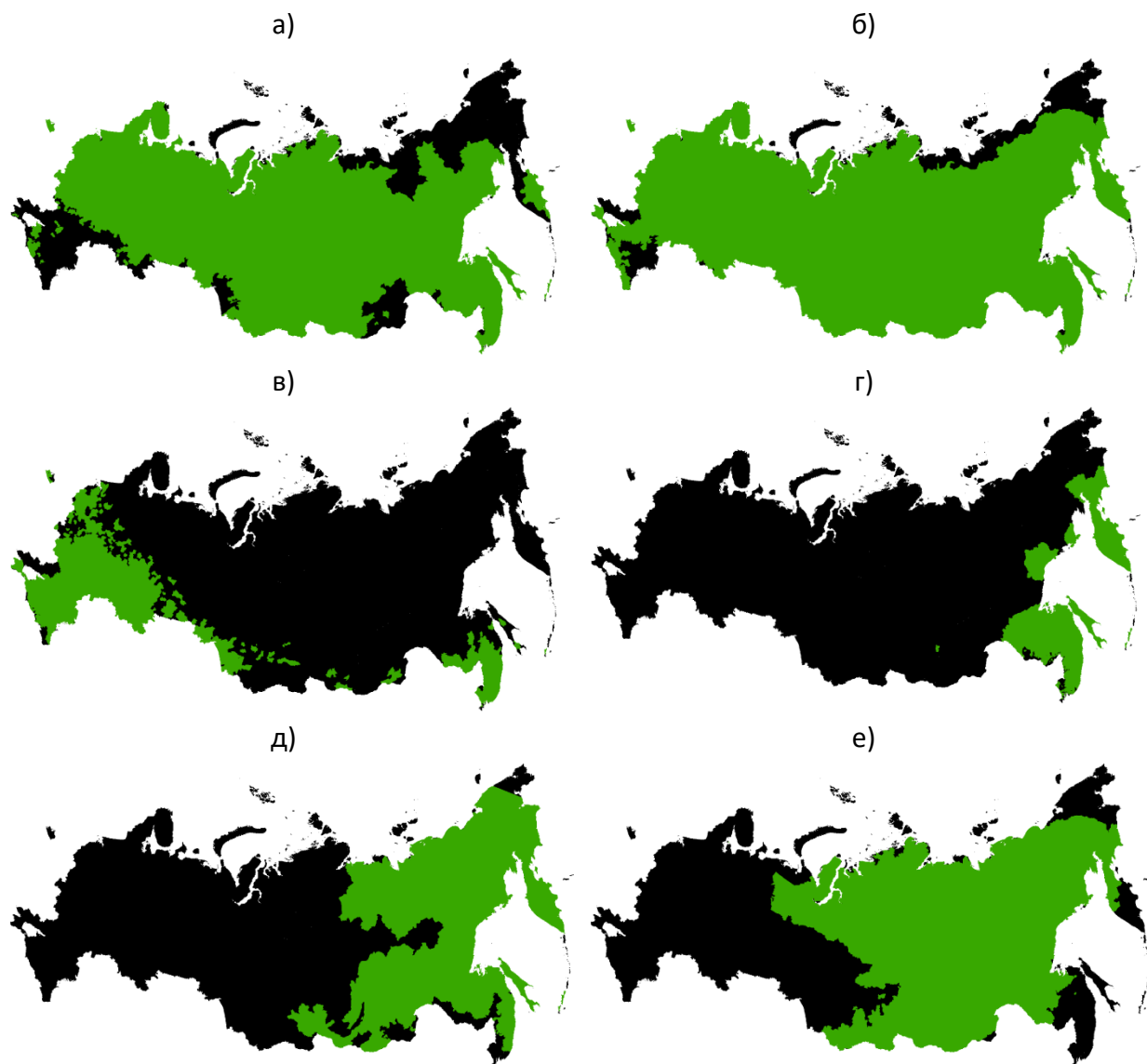


Рисунок Г.3.1 – Примеры карт априорных вероятностей (ареалов): а) ель; б) береза; в) вяз; г) каменная береза; д) кедровый стланик; е) карликовая береза

Таким образом, разработанный метод картографирования преобладающих древесных пород лесов России обеспечивает возможность формирования многолетнего временного ряда ежегодных карт, характеризующих распределение 20 тематических классов лесного покрова с преобладанием различных пород и 4 классов кустарниковой растительности на территории страны за период с 2001 года и по настоящее время с пространственным разрешением 230 м.

В рамках верификации результатов определения преобладающих древесных пород в лесах России по спутниковым данным среднего пространственного разрешения выполнена оценка точности формируемых карт на уровне пикселей данных ДЗЗ. В основе оценки точности лежали пиксели, в пределах которых весь лесной покров или наибольшая его часть заняты насаждениями с преобладанием одной и той же породы, в составе сформированных опорных данных, и не использовавшиеся для обучения классификатора. Общая точность, определенная по матрице перепутывания (таблица Г.3.1), составила 91,8%.



Рисунок Г.3.2 – Опорная карта преобладающих древесных пород лесов России

В таблице также представлены значения меры F_1 (F_1 -score) для групп различных преобладающих пород/типов кустарников, полученные по результатам предварительной валидации. Значения меры F_1 изменяются в широких пределах от 50,5% для Ольхи черной до 97,7% для лиственницы. При этом необходимо отметить, что низкие значения меры F_1 в основном демонстрируют насаждения, не вносящие значительного вклада в общую лесную площадь России. Так, тематические классы, соответствующие насаждениям с преобладанием пород с мерой $F_1 < 60\%$, занимают менее 5% общей площади лесных насаждений, а классы с мерой $F_1 < 75\%$ занимают менее 10% общей площади.

Также проведена предварительная оценка точности на уровне пробных площадей (ПП). Для этого использовались данные ПП ГИЛ 2007–2020 годов с коэффициентом преобладающей породы по запасу 6 и более, попавшие в однородные участки лесного покрова (размером не менее 3×3 пиксела MODIS, отнесенных к одной и той же породе по результатам оценки) – всего более 8 тысяч ПП. Общая точность, определенная по матрице перепутывания, составила 71,7%. Снижение точности в этом случае является ожидаемым, так как размер ПП (порядка 25 м) значительно меньше размера пиксела данных ДЗЗ среднего разрешения (100-500 м), что может приводить к ошибкам для пикселей смешанных лесов.

Таким образом, выполненная верификация демонстрирует уровень точности определения преобладающих пород в лесах России по данным ДЗЗ среднего пространственного разрешения на основе используемого метода в диапазоне 71,7-91,8% в зависимости от степени однородности лесного покрова по породному составу.

Таблица Г.3.1

Матрица перепутывания, полученная по результатам верификации оценок преобладающих древесных пород в лесах России по спутниковым данным среднего пространственного разрешения на уровне пикселей данных ДЗЗ

		Опорная выборка																				
Порода	№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	F1-score	
	Результат классификации	Сосна	1	150578	1178	312	11437	1279	9	0	1	0	1	1197	129	6	2	8	5	118	0	0
Ель		2	540	127883	7235	3417	12444	34	1	12	0	20	690	128	7	4	21	18	11	9	0	86.6%
Пихта		3	57	5712	45355	328	11533	2	0	5	0	15	542	268	0	0	4	5	0	0	1	73.2%
Лиственница		4	1763	1176	131	1074852	947	22	0	1	0	36	1167	134	9	0	2	172	4116	32	50	97.7%
Кедр		5	497	6466	6908	816	139010	1026	2	614	39	24	3820	250	11	0	794	0	3	2	1	84.1%
Дуб		6	4	0	0	6	144	58705	291	344	117	36	2954	1369	102	45	1240	0	0	1	0	88.2%
Бук, Граб		7	0	0	0	0	0	233	5791	36	16	0	28	17	23	29	5	0	0	0	0	93.2%
Ясень, Вяз		8	0	4	0	0	783	624	1	2529	16	3	376	207	19	3	343	0	0	0	0	55.9%
Клен		9	0	0	0	0	1	49	8	35	1305	0	107	73	3	10	1171	0	0	0	0	56.9%
Береза кам.		10	3	45	10	69	37	124	0	7	0	39338	1076	41	150	0	5	18	0	0	50	95.0%
Береза, в т.ч. Куст.		11	570	398	139	7457	2993	3752	114	171	91	1270	343903	18029	789	184	1194	69	1598	55	57	87.8%
Осина, тополь		12	132	45	68	495	259	1706	6	155	32	14	36978	59236	206	33	1064	6	12	1	0	65.1%
Ольха серая		13	8	2	0	7	0	55	6	15	2	641	2895	511	3062	81	91	4	0	1	14	51.0%
Ольха черная		14	1	3	0	3	0	29	21	8	6	0	883	89	156	838	30	0	0	0	0	50.5%
Липа		15	0	1	2	1	754	1297	1	197	202	3	1722	746	19	9	10305	0	0	0	0	65.3%
Кедровый стланик		16	7	38	1	1782	3	1	0	0	0	66	28	0	1	0	0	21502	243	8	53	94.2%
Редк. Лиственница		17	237	23	0	12630	0	2	0	0	0	1	302	10	0	0	0	90	300309	36	30	96.6%
Куст. Ива		18	12	13	1	615	6	0	0	0	0	0	91	2	0	1	0	2	1049	1457	25	59.3%
Куст. Ольха		19	1	0	0	493	0	0	0	0	0	358	87	0	9	0	0	15	609	18	4831	83.8%
																						91.8%

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.4. Метод оценки относительной полноты леса

Метод оценки относительной полноты насаждений по данным спутниковой съемки основывается на моделировании связи между спектрально-отражательными характеристиками земной поверхности по данным ДЗЗ и наземными измерениями искомой характеристики.

В качестве признаков в рамках метода для оценки относительной полноты используются следующие входные данные:

- ежегодные композитные изображения, построенные на основе ежедневных данных прибора MODIS в период наличия снежного покрова, спектральные каналы 1-2: красный (0.648 нм) и ближний ИК (0.858 нм);
- ежегодные композитные изображения, построенные на основе ежедневных данных прибора MODIS на момент достижения максимума нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) в период вегетации, спектральные каналы 1-7: красный (0.648 нм), ближний ИК-1 (0.858 нм), голубой (0.47 нм), зеленый (0.555 нм), ближний ИК-2 (1.24 нм), средний ИК-1 (1.64 нм), средний ИК-2 (2.13 нм);
- признаки, рассчитанные на основе цифровой модели рельефа местности Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): углы наклона и ориентации склона, высота над уровнем моря (раздел 3.3).

Метод оценки относительной полноты лесов включает набор последовательных шагов, представленных на рисунке Г.4.1: формирование обучающей выборки, настройка регрессионной модели, применение модели к временным рядам спутниковых данных, маскирование территорий, не покрытых лесом, и сглаживание временных рядов полученных оценок.



Рисунок Г.4.1 – Схема обработки данных ДЗЗ для оценки относительной полноты лесов

Построение опорной выборки относительной полноты

В качестве опорных данных используется пывыдельная таксационная информация об относительной полноте на территории Российской Федерации в составе цифровой основы (ЦО) ГИЛ. Исходные значения полноты в выделе переводятся в непрерывную шкалу (0-1000) и относительная полнота в пикселе оценивается как среднее значение полноты пропорционально площади фрагментов выделов, покрываемых рассматриваемым пикселем данных. Значение полноты леса в пикселе

данных вычисляется после нормировки среднего значения полноты на площадь, покрытую лесом по данным высокого пространственного разрешения. В обучающую выборку входят только пиксели, для которых соответствующие им выдела прошли фильтрацию на основе моделей хода роста насаждений.

Настройка регрессионной модели

Используется модель Случайного леса (Random Forest) библиотеки `sklearn`, язык Python 3. Для настройки модели используется 10 млн пикселей данных опорной выборки, выбранных равномерно по количеству случайным образом из интервалов относительной полноты с границами [0, 0.25, 0.35, 0.45, 0.55, 0.65, 0.75, 0.85, 1]. В качестве контрольной выборки используется выборка размером 1 млн пикселей. В качестве признаков используются вышеперечисленные каналы композитных изображений MODIS за 2010 год и признаки на основе ЦМР. Точность модели на этапе обучения, определенная на основе подхода out-of-bag (OOB), составила $OOB(R^2) = 0,75$.

Применение модели

Настроенная модель последовательно применяется к данным каждого года. В результате строится временной ряд оценок относительной полноты.

Маскирование территорий непокрытых лесом

На этапе маскирования из полученных ежегодных слоев данных удаляются оценки относительной полноты для полностью непокрытых древесно-кустарниковой растительностью пикселей согласно соответствующему по времени продукту оценки доли покрытия ДКР (раздел 4.1).

Сглаживание временных рядов относительной полноты

Для сглаживания временных рядов используется фильтр STL с размером окна 7.

Используемый метод позволяет строить ежегодные оценки относительной полноты на основе спутниковых данных ДЗЗ. Пример карты относительной полноты лесов за 2022 год представлен на рисунке Г.4.2.

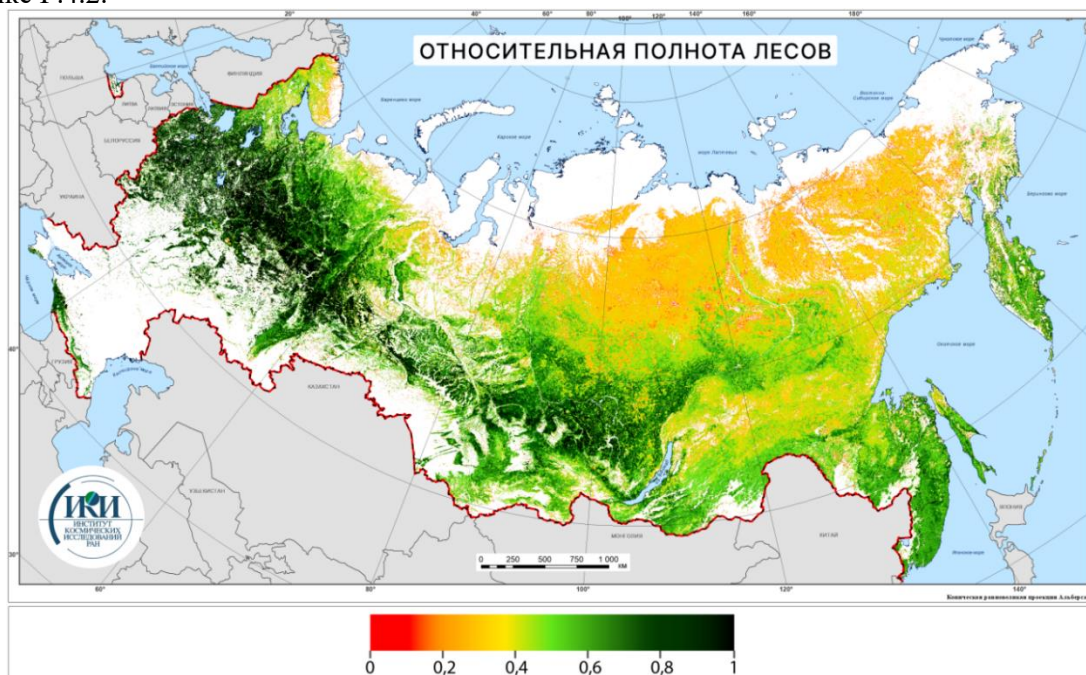


Рисунок Г.4.2 – Пример построенной карты относительной полноты лесов

Оценка точности определения относительной полноты лесов по спутниковым данным ДЗЗ выполняется на основе данных опорной выборки, содержащей более 117 млн элементов и построенной карты относительной полноты 2020 года. Среднеквадратичная ошибка оценки относительной полноты (RMSE) составила 0,06 в долях единицы. Кроме того, согласно методике, описанной в Приложении А, построены зависимости случайной и систематической составляющих погрешности от значения получаемых оценок (рисунок Г.4.3). Благодаря построенным графикам для каждого пикселя временного ряда карт полноты была получена оценка его погрешности.

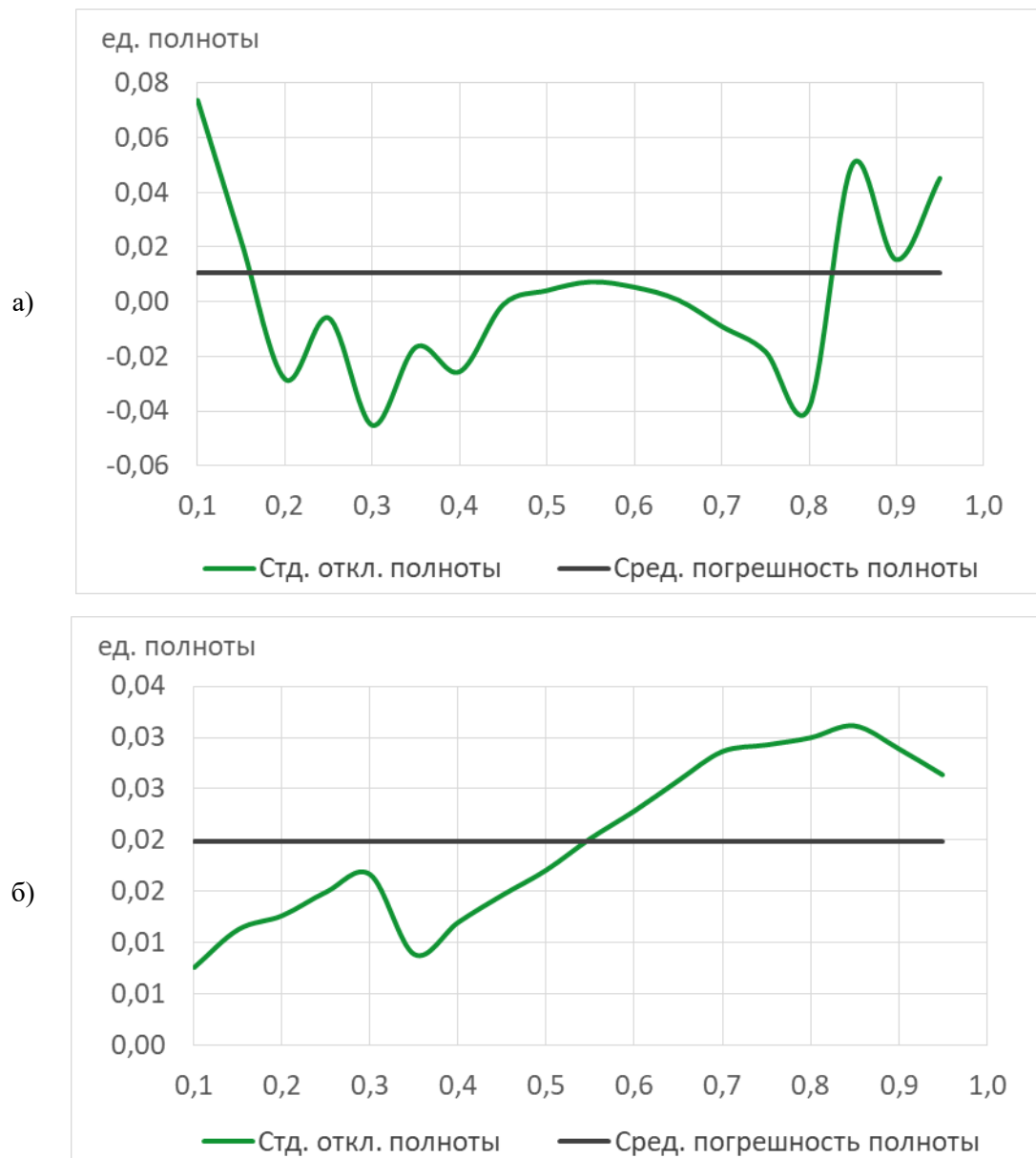


Рисунок Г.4.3 – Зависимость систематической (а) и случайной (б) составляющих погрешности определения относительной полноты от её значения

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.5. Методы оценки бонитета и возраста лесов

Оценка бонитета и возраста основана на методах машинного обучения с использованием опорной выборки, построенной по повыдельным данным лесоустройства, и многолетнем ряде спутниковых индикаторов. Повыдельные данные лесоустройства проходят дополнительную фильтрацию, включающую следующие шаги:

1) Выполняется сравнение с полученными картами наземных экосистем (раздел 4.6 Методики). Информация не включается в обучающую выборку, если она расходится с оценками по данным ДЗЗ, например, если на этой территории по спутниковой карте отсутствует лес, или тип леса (хвойные, широколиственные, лиственница) не совпадает по разным источникам данных.

2) Исключаются области, на которых в период наблюдения выявлены нарушения. Нарушения за период 2000–2021 гг. детектируются на основе данных продукта Global Forest Change (Hansen et al., 2013), использовавшего данные Landsat с разрешением 30 м.

3) Проводится фильтрация по моделям хода роста. Для этого по повыдельным данным лесоустройства строятся модели хода роста лесов (Швиденко 2008). Выделы, динамика запаса стволовой древесины которых отклоняется от моделей более чем на 2 бонитета, не используются для обучения.

4) Проводится экспертная фильтрация явных ошибок, не устраненных на предыдущих этапах.

Прошедшие фильтрацию выделы усредняются на уровне пикселей MODIS. На этом этапе исключаются пикселы, в которых наблюдается неоднородность значений бонитета и возраста на уровне выделов. В результате обработки формируется обучающая выборка, включающая более чем 28 млн пикселей MODIS с информацией о возрасте и бонитете лесов.

Выбор признаков для оценки бонитета и возраста основан на предположении, что эти характеристики определяют многолетнюю динамику лесных насаждений, и могут быть оценены по изменению запасов стволовой древесины и других характеристик лесов. В связи с этим для оценки бонитета и возраста используется набор признаков за период наблюдения MODIS с 2001 по 2022 годы. В частности, используются следующие признаки:

1) Ежедневные композитные изображения MODIS, полученные на основе методов фильтрации и интерполяции, разработанных в ИКИ РАН (Миклашевич и др., 2019, раздел 3.2.1 Методики). Ввиду большого объема данных, используются не все данные ежедневных наблюдений, а их подмножество. В частности, используются коэффициенты спектральной яркости в 1, 2, 6 и 7 спектральных каналах MODIS, полученные в четырех временных срезах: конце весны, в начале и конце лета, и в начале осени (раздел 4.6 Методики).

2) Многолетние ряды характеристик лесов, метод получения которых описан в разделе 4 Методики. Ряд характеристик лесов включает информацию о преобладающей породе, запасе стволовой древесины, лесистости территории и относительной полноте лесных насаждений.

3) Информация о рельефе основанная на ЦМР ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) (Tachikawa et al., 2011)

Полный набор спутниковых индикаторов включает 669 признаков, характеризующих динамику лесных насаждений за период в 22 года. Большой объем выборки и большое количество признаков затрудняет сравнение точности разных методов машинного обучения и построение итоговых карт бонитета и возраста. В связи с этим набор признаков проходит процедуру оптимизации.

Для сокращения набора признаков используется метод оценки их значимости, основанный на замене признака на случайный шум и оценки уменьшения точности регрессии, построенной на полном наборе данных. В основе метода лежит предположение, что если замена признака на шум не приводит к падению точности регрессии, то этот признак не значим, и наоборот. Используется реализация этого метода из библиотеки `scipy – permutation_importance` (Virtanen et al., 2020), примененная к регрессии на основе метода `LightGBM` (Ke et al., 2017). На основе этого подхода отбираются 100 наиболее значимых признаков, при этом сокращение набора признаков ухудшает RMSE менее чем на 0,5% от показателя, получаемого по полному набору признаков.

Для построения регрессии используется метод LightGBM (Ke et al., 2017), основанный на построении ансамбля деревьев решений с использованием подхода градиентного бустинга. Сравнение LightGBM с рядом других методов машинного обучения представлено в таблице Г.5.1. Таблица показывает явное преимущество метода при решении задачи оценки продуктивности, в связи с чем LightGBM используется для оценки продуктивности и возраста лесов.

Для построения итоговых карт регрессия обучается на выборке из 25 млн элементов, еще 3 млн элементов выбираются для оценки точности построенной регрессии. Ввиду проблемы исключения краев гистограммы при использовании деревьев решения в режиме регрессии результат метода LightGBM корректируется на основе метода EDM (Empirical Distribution Matching) (Belitz и Stackelberg, 2021). Применение построенной регрессии и метода EDM для территории страны позволяет получить итоговые карты бонитета и возраста, представленные на рисунках Г.5.1 и Г.5.2.

Таблица Г.5.1

Сравнение точности построенных разными методами регрессий для оценки бонитета лесов

Метод		R ²	RMSE	Время обучения, минут
Линейная регрессия	Базовая	0,65	0,81	0,05
	Ridge	0,65	0,81	0,05
	Lasso	0,65	0,81	2
	Elastic Net	0,65	0,81	2
Случайный лес		0,776	0,65	75
XGBoost		0,783	0,64	5
LightGBM		0,816	0,59	8

Оценка точности определения бонитета и возраста лесов по спутниковым данным ДЗЗ выполняется как на основе данных подготовленной опорной выборки, так и с использованием материалов наземного обследования ГИЛ.

При определении погрешности оценки возраста и класса бонитета на основе опорной выборки используется ее часть, не участвовавшая в обучении регрессионной модели. Определенные таким образом значения среднеквадратических ошибок оценок бонитета и возраста составили 0,5 класса бонитета и 32,1 года соответственно при величине средней абсолютной ошибки (MAE) 0,4 класса бонитета и 22,7 года соответственно. Согласованность оценок бонитета и возраста лесов по данным ДЗЗ и по опорной выборке характеризуется величиной коэффициента детерминации $R^2=0,87$ и $R^2=0,74$ соответственно.

Для оценки точности определения бонитета и возраста на основе материалов ГИЛ используются данные наземного обследования сети таксационно-дешифровочных участков (ТДУ) (раздел 3.1.2 Методики). По результатам сравнения с материалами ГИЛ на уровне ТДУ значения среднеквадратических ошибок оценок бонитета и возраста составили 1,24 класса бонитета и 1,24 класса возраста соответственно при величине средней абсолютной ошибки (MAE) 0,86 класса бонитета и 0,87 класса возраста соответственно. При этом более, чем в 80% случаев результаты наземных обследований на ТДУ и оценки бонитета и возраста по данным ДЗЗ отличаются менее, чем на 1 класс бонитета/возраста соответственно.

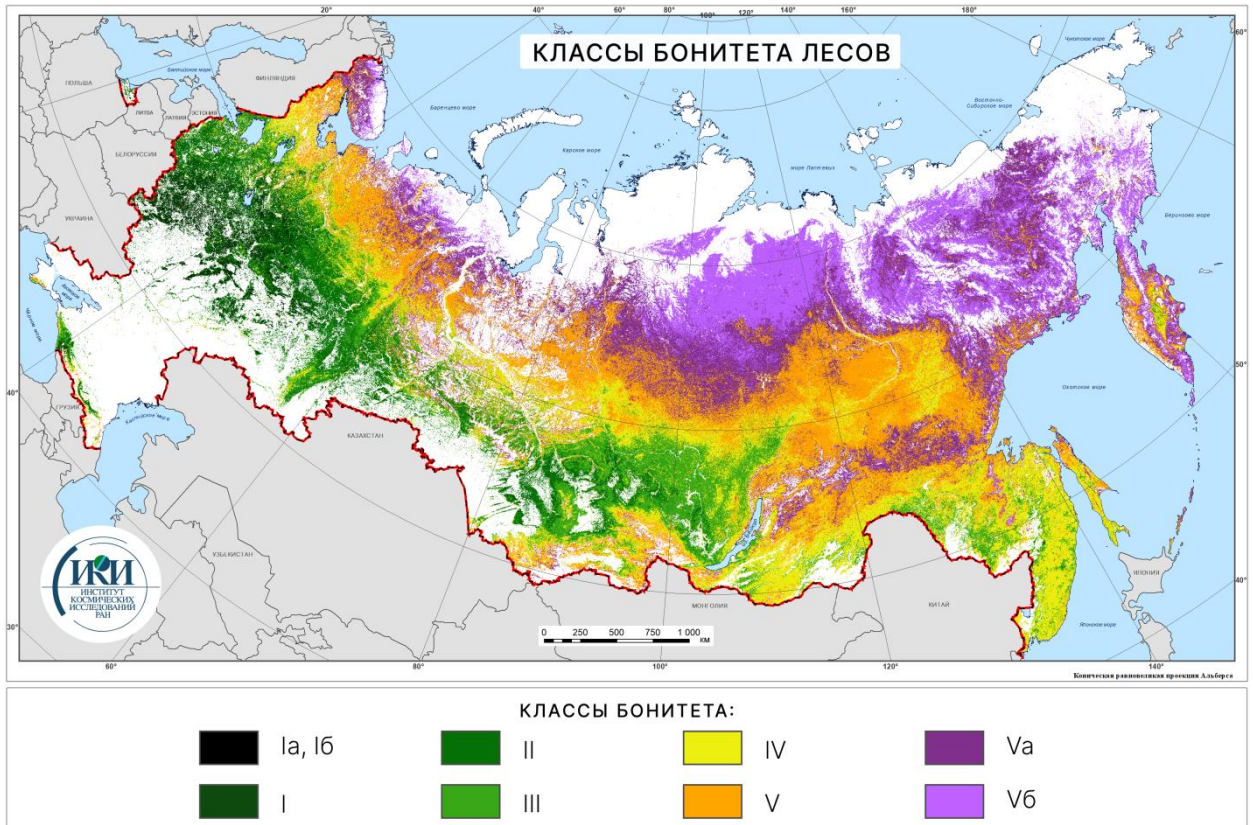


Рисунок Г.5.1 – Карта классов бонитета лесов России



Рисунок Г.5.2 – Карта групп возраста лесов России

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.1. Методы оценки воздействия на леса пожаров

В качестве показателей, отражающих степень повреждения лесов пожарами, используются характеристики степени усыхания (СУ) и средневзвешенной категории состояния (СКС), рассчитываемые следующим образом:

$$СУ = \frac{\sum_{i=5}^5 K_i \times 100\%}{\sum_{i=1}^5 K_i} \quad (Д.1.1)$$

$$СКС = \frac{\sum_{i=1}^5 iK_i}{\sum_{i=1}^5 K_i} \quad (Д.1.2)$$

где K_i – число деревьев i -ой категории состояния деревьев согласно лесопатологической классификации.

Данный показатель базируется на определении количества деревьев в насаждении со следующими категориями состояния: здоровые (1), ослабленные (2), сильно ослабленные (3), усыхающие (4), сухой текущий год (5а), сухой прошлых лет (5б). Таким образом, СУ отражает долю погибших деревьев в насаждении. Для показателя СКС устанавливаются следующие верхние границы интервалов значений СКС для отнесения насаждения к различным категориям состояния: 1,5 – здоровое насаждение; 2,5 – ослабленное; 3,5 – сильно ослабленное; 4,5 – усыхающее. Насаждения со значениями СКС выше 4,5 относятся к погибшим.

В основе технологии картографирования показателей СУ и СКС по спутниковым данным ДЗЗ лежит анализ результатов измерений отражательной способности лесного покрова после воздействия огня с расчетом значений степени усыхания на основе эмпирически установленной зависимости между указанными параметрами и разностным вегетационным индексом RdSWVI (Relative difference ShortWave Vegetation Index). Общая схема технологии представлена на рисунке 1.

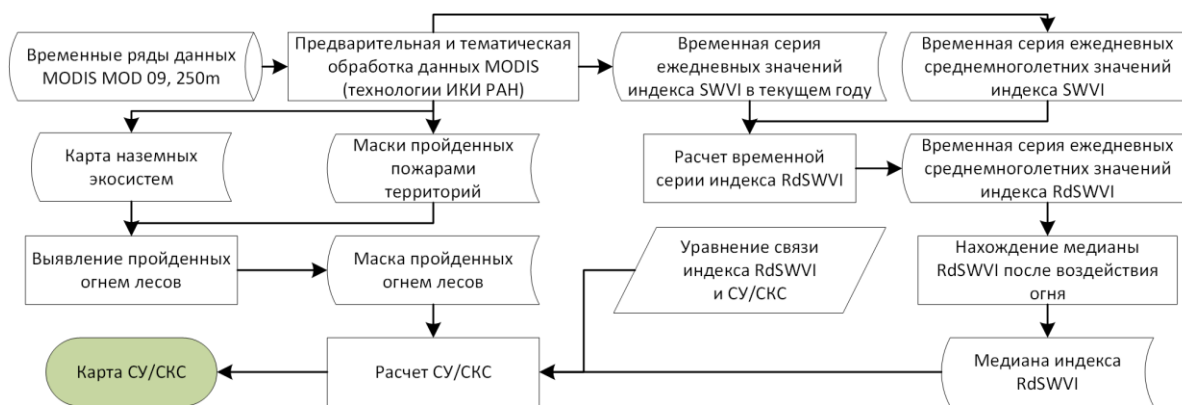


Рисунок Д.1.1 – Общая схема технологии выявления и ежегодной оценки состояния нарушенных пожарами лесов на основе спутниковых данных ДЗЗ

Исходными данными для оценки степени усыхания нарушенных пожарами лесов являются:

- ежедневные данные об отражательной способности земной поверхности, прошедшие процедуру фильтрации влияния облаков и других мешающих факторов с реконструкцией непрерывных временных рядов;
- рассчитанные на основе многолетних временных рядов опорные ежедневные данные об отражательной способности неповрежденных пожарами лесов, включающие среднее значение и стандартное отклонение (так называемая, статистическая норма) (Барталев и др., 2012);
- ежегодные данные о пройденных огнем территориях и датах пожаров, полученные по результатам их детектирования на основе спутниковых данных ДЗЗ (Барталев и др., 2012);
- ежегодные карты наземных экосистем, полученные на основе технологии динамического картографирования (Барталев и др., 2016).

Технология оценки СУ/КС нарушенных пожарами лесов по спутниковым данным ДЗЗ основана на использовании разностного относительного вегетационного индекса RdSWVI (Relative difference ShortWave Vegetation Index) (Барталев и др., 2010), вычисляемого по данным измерений отражательной способности лесов до и после воздействия пожара, согласно уравнению:

$$RdSWVI = \frac{SWVI_{pre} - SWVI_{post}}{\sqrt{SWVI_{pre} + 1}} \quad (Д.1.3)$$

где $SWVI_{pre}$ – среднемноголетнее значение вегетационного индекса SWVI в пикселе до воздействия пожара; $SWVI_{post}$ – значение вегетационного индекса в пикселе после воздействия пожара.

В свою очередь индекс SWVI (Gao, 1996) вычисляется согласно уравнению:

$$SWVI = \frac{R_{NIR} - R_{SWIR}}{R_{NIR} + R_{SWIR}} \quad (Д.1.4)$$

где R_{NIR} и R_{SWIR} – отражательная способность в ближнем (0.8 мкм) и среднем (1.6 мкм) ИК диапазонах спектра соответственно.

В основе технологии лежит установленная зависимость между значением медианы вегетационного индекса RdSWVI, рассчитанной после воздействия огня и показателями СУ/КС. Выявление и оценка степени усыхания нарушенных пожарами лесов предусматривают последовательное выполнение описанных ниже шагов.

Подготовка данных

На основе архива спутниковых данных ДЗЗ с применением существующих технологий предварительной и тематической обработки за интересующий год формируются следующие необходимые материалы:

- карта наземных экосистем за предшествующий пожару год;
- карта пройденных природными пожарами территорий, выявленных на основе совместной обработки данных об изменении отражательной способности земной поверхности и тепловых аномалиях, включающая также информацию о дате первого детектирования;
- временная серия сглаженных ежедневных значений индекса SWVI, полученная в год пожара;
- временная серия сглаженных среднемноголетних опорных ежедневных данных об отражательной способности неповрежденных пожарами лесов, включающих среднее значение (статистическая норма) индекса SWVI, полученных за предшествующие 5 лет.

Статистическая норма временных рядов SWVI задается среднемноголетними значениями $M_{swvi}^N(\theta, t)$ индекса для каждого пиксела с координатами θ в день года t следующим образом:

$$M_{swvi}^N(\theta, t) = \frac{1}{N} \sum_{y=1}^Y \sum_{t-\Delta t}^{t+\Delta t} SWVI(\theta, t, y) \quad (Д.1.5)$$

$\forall t(t = 1, 365)$ и $\forall y(y = 1, Y)$

где y - индекс года внутри опорного периода продолжительностью $Y=5$;

$\Delta t=3$ - ширина временного скользящего окна для статистической оценки внутригодовой динамики индекса SWVI;

$N = Y(2\Delta t + 1)$ - общее количество измерений, используемых при оценке индекса SWVI для заданного пиксела с координатами θ в день t .

Выявление потенциально нарушенных пожарами лесов

На основе карты наземных экосистем и карты пройденных природными пожарами территорий путем их пространственного сопоставления строится карта пройденных огнем лесов. Важным элементом технологии является наличие информации о дате первого детектирования аномалий отражательной способности, которая позволяет анализировать данные только после воздействия огня на лесные экосистемы.

Расчет временной серии индекса RdSWVI

На основе ежедневных и среднемноголетних данных об отражательной способности земной поверхности в ближней и средней инфракрасной областях спектра строится ежедневная временная

серия разностного вегетационного индекса RdSWVI, характеризующего отклонение спектрально-временной динамики пройденных огнем лесов от «нормальной» траектории, имевшей место до воздействия огня.

Индекс RdSWVI рассчитывался на основе многолетних временных серий SWVI следующим образом:

$$RdSWVI = \frac{M_{swvi}^N(\Theta, t) - SWVI^C(\Theta, t)}{\sqrt{M_{swvi}^N(\Theta, t) + 1}} \quad (Д.1.6)$$

где $SWVI^C$ - значение пиксела в текущем году.

Расчет медианы индекса RdSWVI после воздействия огня

Для всех пикселов, соответствующих пройденным огнем лесам, проводится поиск медианы индекса $RdSWVI_{MED}$ на временном отрезке от даты обнаружения пожара до завершения вегетационного сезона. При этом из рассмотрения исключаются значения индекса, полученные в течении 10 дней после даты обнаружения пожара, а также 3 наибольших значений индекса.

Вычисление показателей CY/CKC

На основе значения сезонного максимума индекса $RdSWVI_{MED}$ проводится расчет показателя степени усыхания на основе уравнения следующего вида:

$$CY = a * RdSWVI_{MED} + b \quad (Д.1.7)$$

$$CKC = a * RdSWVI_{MED} + b \quad (Д.1.8)$$

Параметры данного уравнения определены на основе наземных обследований нарушенных пожарами лесов на территории тестовых полигонов. Используемые регрессионные уравнения имеют следующий вид:

$$CY = 370 * RdSWVI_{MED} - 5.03; CKC = 10.1 * RdSWVI_{MED} + 2.33 \quad (Д.1.9)$$

Вычисления проводятся для каждого пиксела, соответствующего пройденным огнем лесам согласно данным их спутникового картографирования по состоянию на предшествующий пожару год. Результатом является растровый файл, содержащий совокупность пикселов со значениями степени усыхания, соответствующими нарушенным пожарами лесам в исследуемом году на всей территории России. Пример результатов работы технологии представлен на рисунке Д.1.2.

Данные о степени усыхания лесов используются для оценки запасов погибших в результате воздействия пожаров деревьев. Данные о средневзвешенной категории состояния используются для выделения класса погибших лесов и оценки площади гибели лесных насаждений в результате воздействия огня.

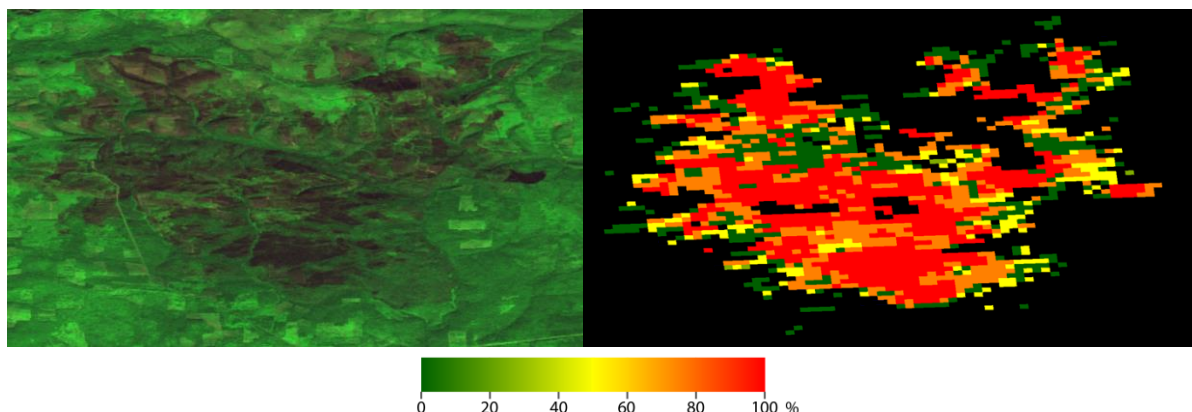


Рисунок Д.1.2 – Пример результата работы технологии оценки степени усыхания лесов, нарушенных пожарами. Приведен пример пожара 2019 года в лесах республики Саха

Алгоритм расчета площади погибших от пожаров лесов

Для расчета площади погибших лесов используются векторные карты, содержащие границы субъектов Российской Федерации. Каждому пикселу, в котором выявлена гибель лесных насаждений, присваивается следующая информация на основе данных, полученных из соответствующих спутниковых карт, полученных по состоянию на предшествующий пожару год:

- преобладающая порода лесов (Барталев и др., 2016);
- группа возраста лесов (раздел 4.5);
- класс бонитета лесов (раздел 4.5);
- лесистость территории (Ховратович, 2021).

Расчет площади погибших лесов проводится путем суммирования значений площади покрытых лесом земель, в пикселах которых выявлена гибель лесов от пожаров.

Для оценки площади лесов, погибших от пожаров, используются временные ряды карт СКС и карт лесистости территории. Погибшим считается лес с СКС $\geq 4,5$. На основании вышеуказанных характеристик для каждого пиксела каждого года вычисляется площадь погибшего леса. Суммарное значение ежегодной площади погибших лесов на территории страны с 2006 по 2023 годы представлено на рисунке Д.1.3.

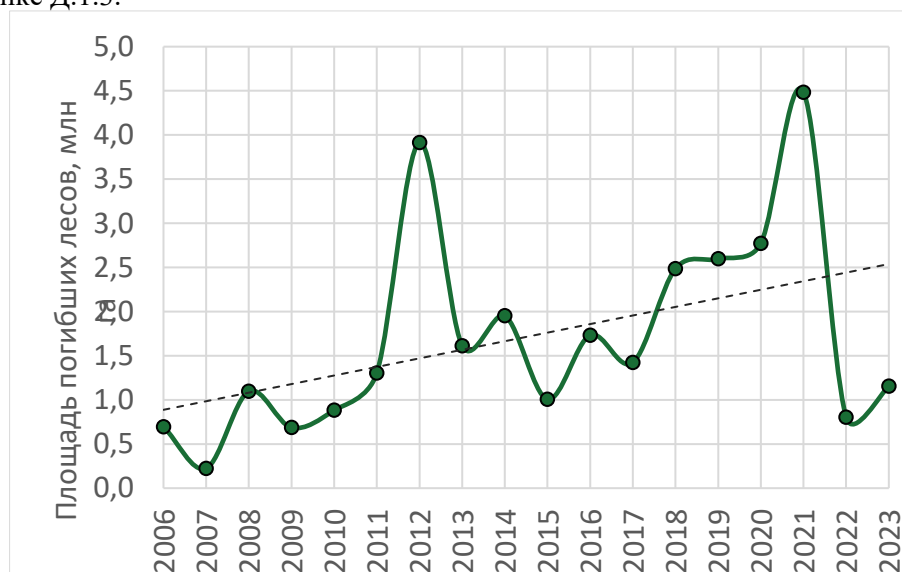


Рисунок Д.1.3 – График динамики площадей лесов, погибших от пожаров

Оценка точности определения площади погибших лесов производится согласно методике, представленной в Приложении А. Построение опорной выборки значений СКС для оценки погрешности основывается на совместном использовании данных наземных обследований лесных гарей от пожаров 2022 года и соответствующим им по времени проведения съемки данных спутниковых изображений Sentinel-2. На основе сравнения опорной выборки и карты СКС 2022 года по данным MODIS для каждого значения СКС получены оценки погрешности определения СКС в пикселе. В качестве оценки систематической составляющей погрешности используется среднее значения отклонения между полученной оценкой и опорной выборкой, а в качестве случайной составляющей – стандартное отклонение упомянутой выше величины, нормированное на значение корня из количества пикселей с заданным значением оценки. Графики полученных зависимостей представлены на рисунке Д.1.4.

Погрешность оценки площади погибших лесов в пикселе в рассматриваемый год вычисляется как сумма погрешности оценки площади лесов в пикселе в год за предыдущий год и погрешности оценки СКС в пикселе с поправкой на долю леса в пикселе.

Для вычисления суммарной погрешности площади погибших лесов поврежденная пожарами территория страны разбивалась на сегменты, где отдельная гарь являлась отдельной областью. Для каждой гари ошибка оценки площади погибших насаждений вычислялась как сумма ошибок пикселей с СКС более 4.5. Общая ошибка согласно методу оценки погрешности, предложенному в Приложении А, равна корню из суммы квадратов погрешностей отдельных гарей. Полученные оценки погрешности площади погибших лесов представлены на рисунке Д.1.5 и составляют от 5,3 до 9,4% от площади погибших лесов в зависимости от года.

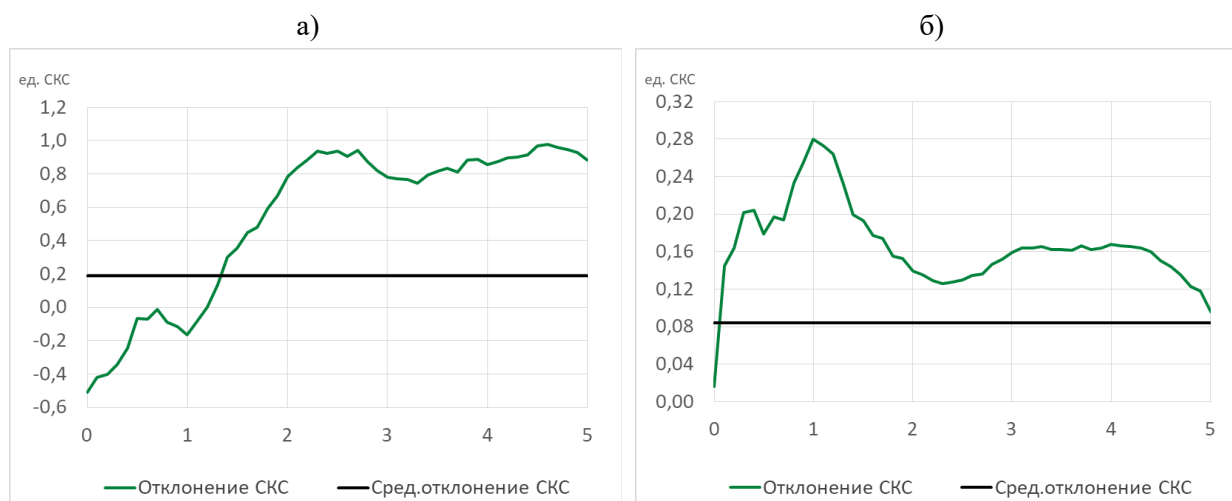


Рисунок Д.1.4 – Зависимость систематической (а) и случайной (б) составляющих погрешности СКС от оценки ее значения

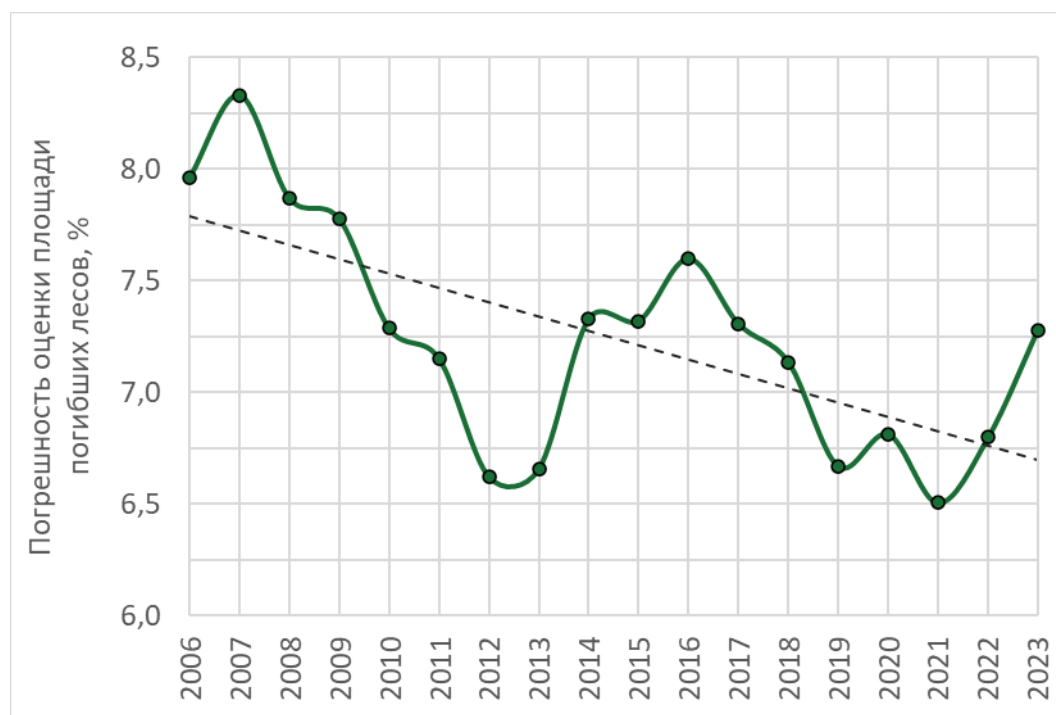


Рисунок Д.1.5 – Динамика погрешности определения площади погибших лесов

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.2. Методы оценки воздействия на леса биогенных и других деструктивных факторов

Для оценки эмиссии углерода в лесах необходим учет степени их усыхания от воздействия не-пирогенных факторов, таких как болезни, вспышки массового размножения насекомых фитофагов, промышленные загрязнения и др.

В качестве такого показателя используется параметр, отражающий долю погибших деревьев, рассчитываемый на основе следующего уравнения:

$$CU = \frac{\sum_{i=5}^5 K_i \times 100\%}{\sum_{i=1}^5 K_i} \quad (Д.2.1)$$

где CU – степень усыхания, K_i – число деревьев i -ой категории состояния деревьев согласно лесопатологической классификации.

В основе технологии оценки CU лежит использование спутниковых данных ДЗЗ, полученных как в зимний период времени, наиболее эффективных для выявления изменений хвойных вечнозеленых лесов, так и в летний период для оценки состояния листопадных лесов. Общая схема технологии представлена на рисунке Д.2.1.

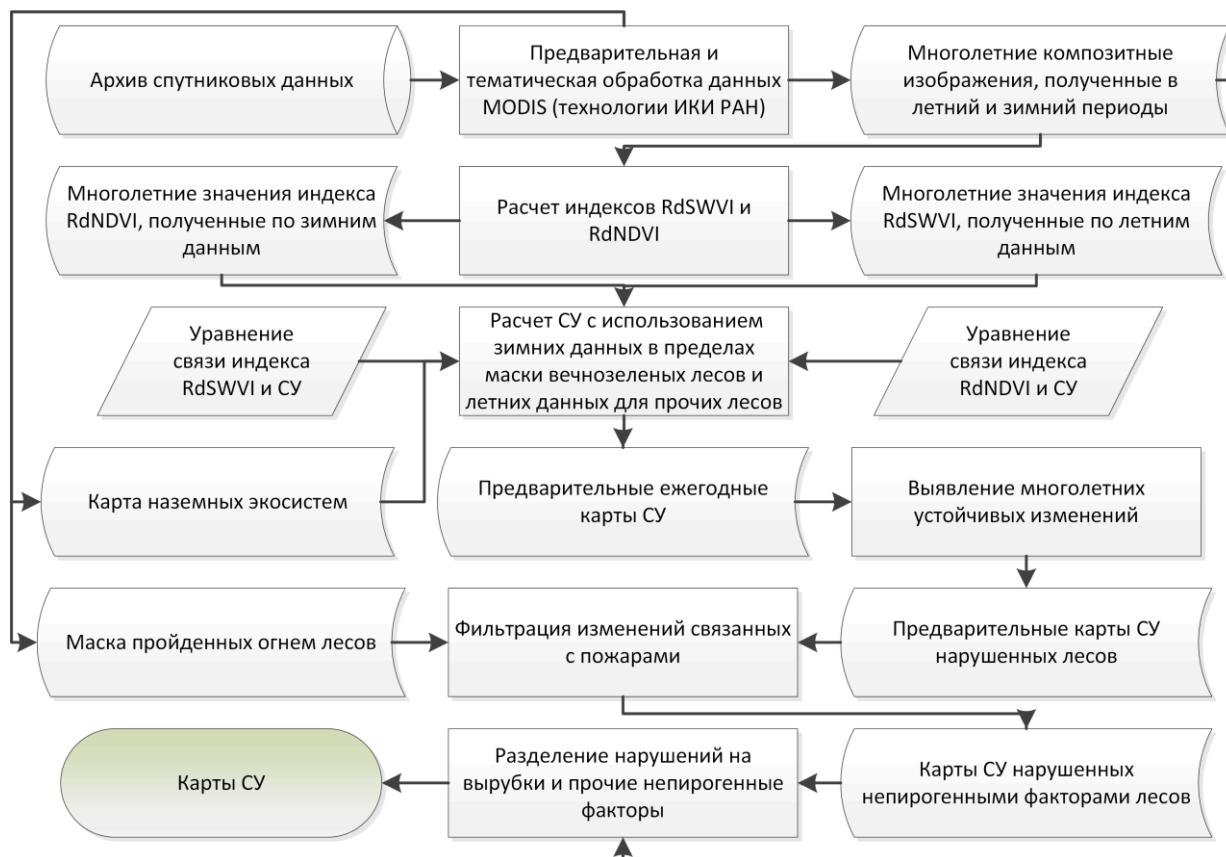


Рисунок Д.2.1 – Общая схема технологии выявления и ежегодной оценки степени усыхания нарушенных непирогенными факторами лесов на основе спутниковых данных ДЗЗ

Технология основана на использовании данных спутниковых наблюдений, полученных приборами ДЗЗ в красном, ближнем и среднем инфракрасных спектральных диапазонах, и построенных на их основе индексах. В частности, используются вегетационные индексы NDVI (Normalized

Difference Vegetation Index) и SWVI (Short Wave Vegetation Index), а также их разновременные версии RdNDVI и RdSWVI. Индексы RdSWVI и RdNDVI рассчитывается следующим образом:

$$RdSWVI = \frac{SWVI_{pre} - SWVI_{post}}{\sqrt{SWVI_{pre} + 1}} \quad (Д.2.2)$$

$$RdNDVI = \frac{NDVI_{pre} - NDVI_{post}}{\sqrt{NDVI_{pre} + 1}} \quad (Д.2.3)$$

где $NDVI_{pre}/SWVI_{pre}$ – значения вегетационных индексов в пикселе до нарушения лесов; $NDVI_{post}/SWVI_{post}$ – значения вегетационных индексов в пикселе после воздействия негативных факторов.

В свою очередь индексы NDVI (Rouse et. al, 1974) и SWVI (Gao, 1996) вычисляется согласно уравнениям:

$$SWVI = \frac{R_{NIR} - R_{SWIR}}{R_{NIR} + R_{SWIR}} \quad (Д.2.4)$$

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}} \quad (Д.2.5)$$

где R_{NIR} , R_{SWIR} и R_{Red} – значения коэффициентов отражения в ближнем ИК, среднем ИК и красном диапазонах спектра соответственно.

В основе оценки используется установленная взаимосвязь между показателем СУ и вегетационными индексами RdNDVI и RdSWVI, рассчитанными на основе спутниковых данных ДЗЗ, полученных в зимний и летний период соответственно (Стыцenco и др., 2019) (рисунок Д.2.2).

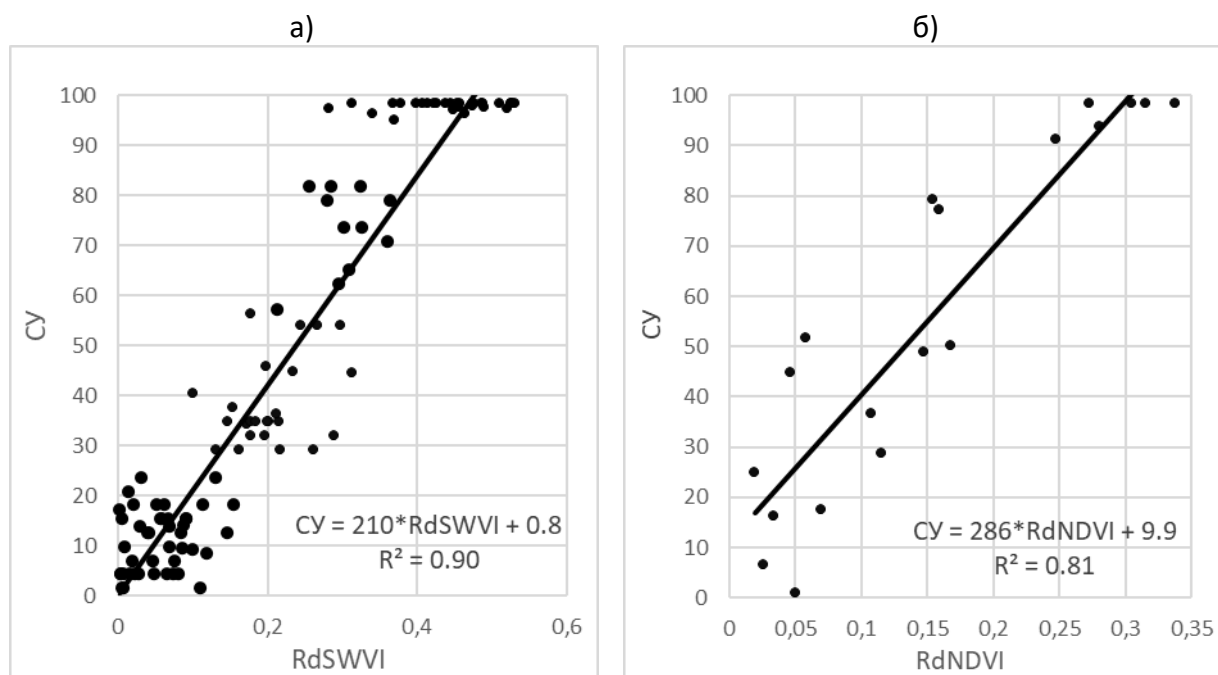


Рисунок Д.2.2 – Уравнение связи между показателем СУ и вегетационными индексами RdNDVI и RdSWVI в зимний* (а) и летний (б) периоды (*для хвойных вечнозеленых лесов)

Исходными данными для оценки степени усыхания нарушенных непирогенными факторами лесов являются:

- композитные изображения с данными об отражательной способности земной поверхности, построенные за летний и зимний периоды (Баргалеv и др., 2022);

- ежегодные данные о пройденных огнем территориях и датах пожаров, полученные по результатам их детектирования на основе спутниковых данных ДЗЗ (Барталев и др., 2012);
- ежегодные карты наземных экосистем, полученные на основе технологии динамического картографирования (Барталев и др., 2016).

Выявление и оценка степени усыхания нарушенных непирогенными факторами лесов включает последовательное выполнение описанных ниже шагов.

Предварительная обработка данных MODIS

Технология основана на использовании многолетних композитных изображений, полученных в зимний и летний периоды с последующим поиском устойчивых во времени изменений.

Предварительная обработка спутниковых данных ДЗЗ включает взаимную радиометрическую нормализацию композитных изображений в красной и ближней ИК областях спектра для зимних композитных изображений, а также в красной, ближней и средней ИК областях спектра для летних композитных изображений. Радиометрическая нормализация спутниковых изображений обеспечивает приведение гистограмм композитных изображений к гистограмме изображения эталонного года, в качестве которого был выбран 2001 год.

Расчет индексов RdSWVI и RdNDVI

На основе прошедших предварительную обработку композитных изображений строятся временные серии ежегодных изображений индексов NDVI и SWVI для последующего расчета разностных индексов RdNDVI и RdSWVI с использованием в качестве опорных данных изображений, отражающих состояние леса до деструктивного воздействия.

Расчет СУ

Многолетние временные серии вегетационных индексов RdNDVI и RdSWVI, полученные по зимним и летним данным соответственно, в дальнейшем пересчитываются в значения показателя СУ с использованием установленных на основе результатов наземных обследований эмпирических уравнений связи:

$$СУ = 209.7 * RdSWVI + 0.8 \quad (Д.2.6)$$

$$СУ = 286.0 * RdNDVI + 9.9 \quad (Д.2.7)$$

Таким образом получают ежегодные изображения со значениями показателя СУ, для которых проводится пороговая фильтрация с отсечением пикселей, не удовлетворяющих условию $СУ > 30\%$, что позволяет рассматривать только участки со значительными негативными изменениями характеристик лесного покрова.

Для исключения из рассмотрения не относящихся к лесу участков, а также для разделения лесов на хвойные вечнозеленые и листопадные используется карта наземных экосистем (Барталев и др., 2016). Так как процессы дефолиации и дехромации хвойных вечнозеленых насаждений оказывают основное влияние на изменения отражательных характеристик лесов, измеряемых в зимний период при наличии снежного покрова, для них используются оценки СУ, основанные на зимних композитных изображениях. Для остальных типов леса используются результаты оценки СУ, полученные на основе летних данных ДЗЗ.

Выявление устойчивых многолетних изменений

Для фильтрации случайных изменений отражательных свойств земного покрова, которые могут быть связаны как с шумами временных рядов композитных изображений, так и с природными факторами, такими как различия во влажности снежного покрова, засухи в отдельные годы, аномальные осадки и др., выявленные изменения проверяются на устойчивость и в дальнейшем рассмотрении оставляются только участки, детектируемые на протяжении как минимум трех последовательных лет. При этом в качестве времени появления нарушения в лесах присваивается год первого детектирования, а в качестве базовой оценки СУ принимается значение, полученное в этот же год.

Фильтрация вызванных пожарами изменений лесов

Поскольку изменения лесного покрова могут быть вызваны, в том числе, воздействием огня, проводится фильтрация полученной карты с исключением пройденных пожарами участков леса. Для этого используются результаты детектирования пройденных огнем площадей, полученных по данным MODIS с пространственным разрешением 230 метров (Барталев и др., 2012). Область вероятных пирогенных изменений при этом расширяется с применением буферной зоны на основе плавающего окна размером 7×7 пикселей.

Отделение участков рубки и усыхания леса

Для выделения в полученных результатах нарушений, вызванных рубками, используются оценки, описанные в Приложении Д.3 настоящей Методики.

Результатом применения технологии является набор растровых файлов, содержащих совокупность пикселей с оценкой степени усыхания для поврежденных непиrogenными деструктивными факторами лесов на всей территории России. Кроме того, сохраняются файлы с ежегодной оценкой показателя степени усыхания лесов, используемые для оценки их многолетней динамики.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.3. Метод оценки воздействия на леса сплошных рубок¹

Для автоматизированной идентификации нарушенных сплошными рубками участков лесного покрова на основе спутниковых данных ДЗЗ используются временные ряды данных о запасах стволовой древесины лесов (раздел 4.2 Методики). Входными данными служит ежегодная динамика величин запасов, определенных по спутниковым изображениям среднего пространственного разрешения. При этом в качестве основного критерия выявления участка рубки в пикселе служит резкое падение величины запаса стволовой древесины лесов.

Метод, схема которого представлена на рисунке Д.3.1, состоит из ряда последовательных этапов:

1. Поиск и маскирование максимального по величине падения величины запаса стволовой древесины во многолетнем временном ряду спутниковых измерений данного показателя;
2. Расчет среднего значения и среднеквадратического отклонения величины запаса стволовой древесины лесов за предшествующие семь лет наблюдений в пикселях, выявленных на предыдущем шаге;
3. Фильтрация выявленных изменений с исключением пикселей, в которых падение величины запаса стволовой древесины лесов не превышает четырех стандартных отклонений от среднего значения величины до выявления изменения;
4. Исключение участков, не относящихся к лесному покрову на основе карты наземных экосистем предшествующего выявленному изменению года (раздел 4.6), а также со значением лесистости территории менее 20% (раздел 4.1);
5. Исключение влияния пройденных огнем площадей на основе результатов, полученных в рамках метода учета последствий пожаров (раздел 5.1);
6. Буферизация выявленных ежегодных изменений с применением фокального фильтра 3×3 пиксела с учетом сохранения условия уменьшения величины запаса стволовой древесины лесов в буферной зоне;
7. Оценка характерных размеров выявленных участков изменений и фильтрация участков, значительно превышающих характерные размеры сплошных рубок;
8. Сопоставление участков изменений с внешними спутниковыми информационными продуктами высокого пространственного разрешения, отражающими пространственное распределение лесного покрова на территории России.

В качестве внешнего источника данных, характеризующего участки изменений, используется глобальный продукт высокого пространственного разрешения Global Forest Change (Hansen et al., 2013). В данном продукте с пространственным разрешением 30 м возможно запаздывание года датировки изменения, однако эти данные позволяют оценить размеры и характер изменений. В каждом пикселе MODIS 230×230 м рассчитывается доля изменений по данным с размерами пиксела 30×30 м. Таким образом производится масштабирование данных о рубках леса с высокого на среднее пространственное разрешение.

Используемый метод идентификации нарушенных сплошными рубками участков леса на основе временных рядов спутниковых данных ДЗЗ применяется для оценок объемов изъятых, вследствие сплошных рубок, стволовой древесины. Для оценки площадей рубок результаты работы метода комбинируются с данными ДЗЗ высокого пространственного разрешения.

Для определения размеров рубок используется метод детектирования участков нарушенных лесов на основе временных рядов спутниковых данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения. Входными данными метода служат ежегодные композитные изображения, построенные на основе данных Sentinel-2, полученных в период наличия снежного покрова на земной поверхности и очищенных от влияния облаков и теней. Ввиду большого объема данных обработка изображений высокого пространственного разрешения проводится по ячейкам регулярной сети размером 100 км². На этапе предварительной обработки данные проходят процедуру взаимной нормализации для устранения различий, вызванных количеством безоблачных дней в различные периоды и неоднородностью снежного покрова в отдельные годы.

¹ В национальном докладе о кадастре используются данные о фактических объемах лесозаготовок и площадях сплошных рубок, предоставляемые Рослесхозом. В этом приложении излагается альтернативный метод, основанный на ДЗЗ.



Рисунок Д.3.1 – Схема метода идентификации нарушенных сплошными рубками участков леса на основе временных рядов спутниковых продуктов ДЗЗ

Метод использует оценки вероятности наличия в пикселе лесного покрова, полученные на основе спутниковых данных Sentinel-2 и модели машинного обучения “Случайный лес” (Random Forest). В качестве основы при построении опорной выборки для обучения регрессионной модели используется класс лесов карты основных типов земного покрова WorldCover 2020 с пространственным разрешением 10 м (раздел 3.3). Для получения опорной выборки маска лесов проходит специальную процедуру фильтрации изменённых территорий на основе статистических оценок динамики коэффициентов спектральной яркости в рассматриваемом временном ряду данных. В качестве признака используются данные Sentinel-2, полученные в ближнем ИК спектральном канале (0.841-0.876 нм). Обученная на основе указанных данных модель применяется ко всему временному ряду спутниковых данных ДЗЗ для восстановления оценок вероятности наличия в пикселе лесов.

Дальнейший анализ динамики полученных оценок вероятности принадлежности пиксела к покрытым лесом участкам на основе набора пороговых правил, представленных на рисунке Д.3.2, в скользящем окне размером 4 года, позволяет выявлять произошедшие изменения, связанные с резким и стабильным во времени падением рассматриваемой характеристики. В результате строится карта изменений с датировкой, соответствующей году максимального падения вероятности. Пример фрагмента построенной карты нарушений представлен на рисунке Д.3.3.

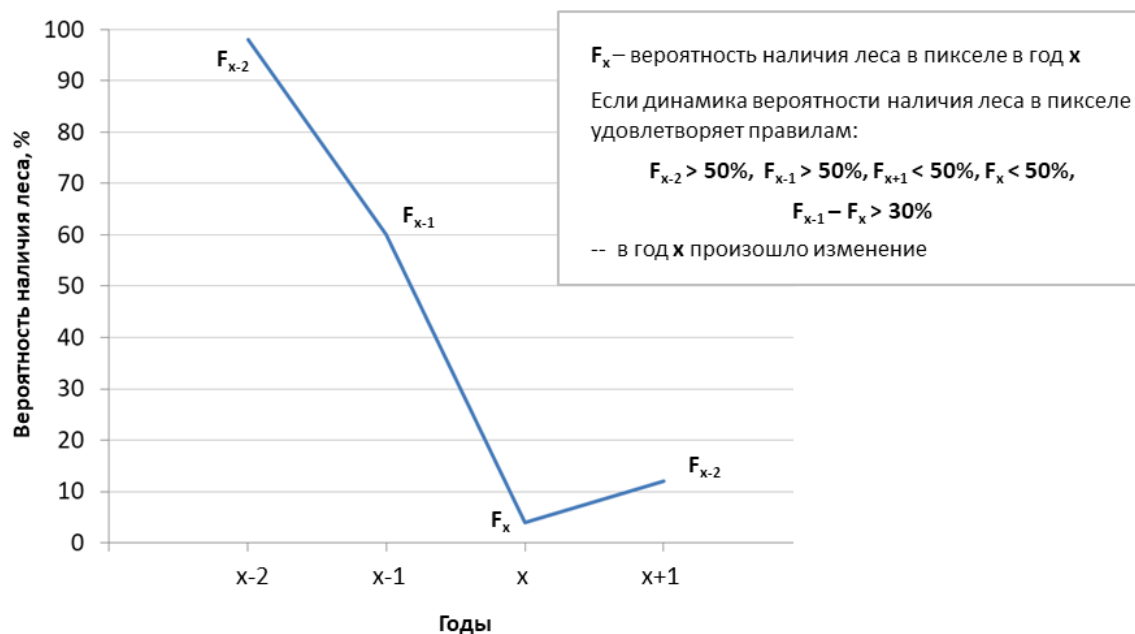


Рисунок Д.3.2 – Пороговые правила для детектирования изменений с помощью анализа динамики вероятности наличия леса на соответствующих пикселям участков

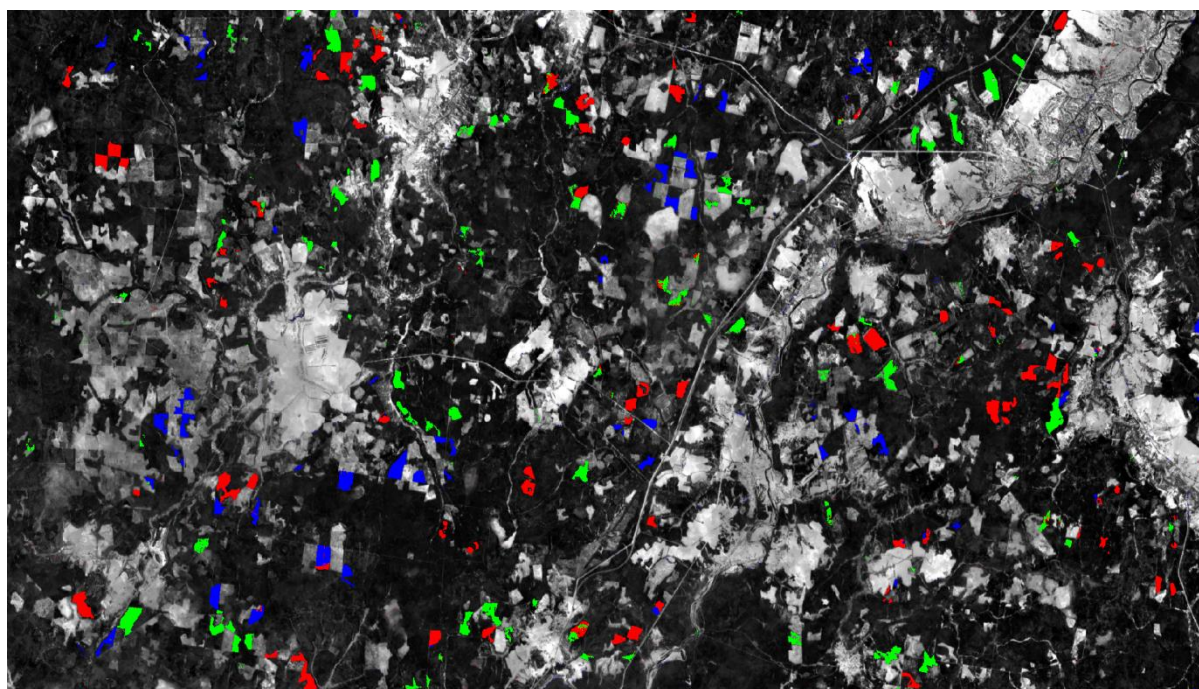


Рисунок Д.3.3 – Пример выявления нарушенных сплошной рубкой участков леса в 2021, 2022, 2023 годах

Полученные карты вырубок высокого пространственного разрешения используются для оценки их площадей.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Методы оценки запасов и баланса углерода лесов по результатам обработки данных ДЗЗ

Список используемых моделей

Оценка запаса и баланса углерода лесов основывается на ряде моделей, позволяющих оценить различные характеристики лесов и выполнять их конверсию в запас углерода, типичный для лесов данного типа. Полный список моделей приведен далее:

1) Модели хода роста лесов, описывающие динамику изменения ряда их характеристик в зависимости от возраста для насаждений заданных древесных пород и продуктивности (бонитета) – раздел 1.2.1;

2) Модели динамики запаса углерода живого напочвенного покрова и подроста, отражающие эти характеристики в зависимости от возраста леса, древесной породы, продуктивности и относительной полноты насаждений – раздел 1.1.3;

3) Модели оценки объема и массы мертвых фракций (сухостоя, валежа, пней и сухих ветвей) в ненарушенных древесных насаждениях – раздел 1.1.1;

4) Конверсионные модели перевода запаса стволовой древесины в массу углерода фитомассы – раздел 1.1.2.

Метод оценки запасов и баланса углерода в лесах России на основе данных ДЗЗ основывается на динамически обновляемых спутниковых картах лесов и наборе моделей, связывающих характеристики насаждений между собой. Метод оценки включает в себя следующие этапы:

1) Оценка запаса углерода в лесах без нарушений;

2) Оценка запаса углерода в нарушенных лесах.

Метод применяется для всей покрытой лесом территории России. Для оценки наличия и площади леса используется спутниковая оценка лесистости территории (раздел 4.1). Расчет запаса углерода выполняется для всех пикселей, для которых доля леса в пикселе превышает заданный порог.

1. Оценка запаса углерода в лесах без нарушений

В основе оценки запасов и баланса углерода в лесах лежит использование набора методов вычисления запаса углерода фитомассы и мортмассы в ненарушенных насаждениях. Подробная схема вычисления представлена на рисунке Е.1. На схеме выделяются три основных компонента – оценка запасов углерода в пулах фитомассы лесов, оценка объема фракций мортмассы и запасов углерода в их пулах и моделирование запасов углерода подроста и напочвенного покрова.

Оценка объема и запаса углерода пулов мортмассы

Метод позволяет оценить запасы углерода следующих пулов мортмассы – сухостой, валеж (элементы свыше 1 см), пни и сухие ветви. Схема оценки показана в нижнем левом углу рисунка Е.1 и базируется на регрессионных моделях. Объем всех четырех пулов мортмассы вычисляется с помощью коэффициентов конверсии на основе данных о запасе сырораствующей стволовой древесины в лесах.

Для сухостоя и валежа коэффициент конверсии оценивается в два этапа. Сначала оценивается средний коэффициент $R_{(сух/влж)}C$:

$$R_{(сух/влж)}C = a11 \cdot \exp(-b11 \cdot A) + a12 \cdot \exp(b12 \cdot A) \quad (E.1)$$

где A – возраст, C – средний класс бонитета, а $a11$, $b11$, $a12$, $b12$ - модельные коэффициенты, рассчитанные для разных пород и экорегионов России на основе данных наземных наблюдений.

Затем проводится коррекция среднего коэффициента $R_{(сух/влж)}C$ на продуктивность (бонитет) насаждений:

$$R_{(сух/влж)}SI = R_{(сух/влж)}C + (SI - C) \cdot \Delta \quad (E.2)$$

где SI – класс бонитета, $a21$, $b21$, $a22$, $b22$ – модельные коэффициенты для конкретных пород и регионов, Δ – величина межбонитетного интервала:

$$\Delta = a21 \cdot \exp(-b21 \cdot A) + a22 \cdot \exp(b22 \cdot A) \quad (E.3)$$

Оценка фракций фитомассы, мортмассы и углерода различных пулов

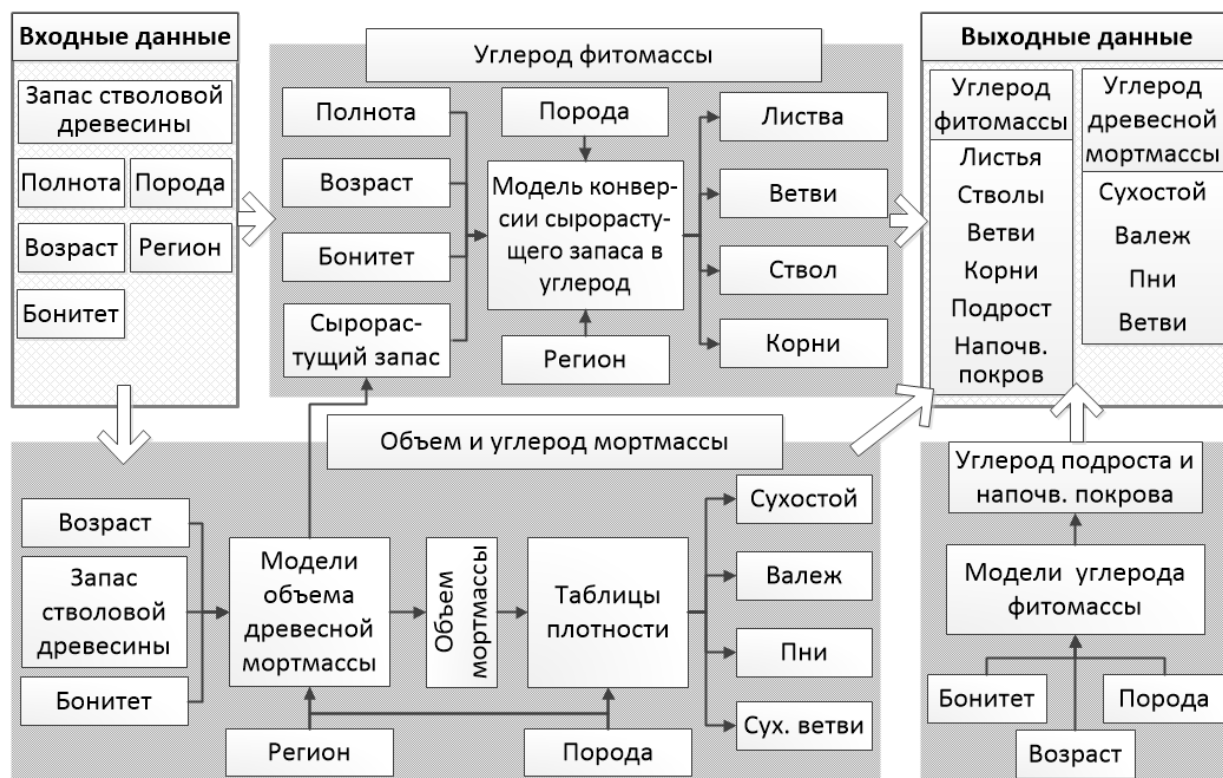


Рисунок E.1 – Схема оценки запасов углерода в пулах фитомассы и мортмассы ненарушенных лесов

Данные ДЗЗ позволяют оценивать совокупный запас стволовой древесины живых деревьев и сухостоя. Для выделения запаса сыrorастущей древесины из результатов обработки данных ДЗЗ используется формула:

$$GSV_{сыр} = GSV_{ДЗЗ} * (1 / (1 + R_{сухSI})) \quad (E.4)$$

После этого запас сухостоя и запас валежа может быть получен умножением коэффициента на запас сыrorастущей древесины:

$$GSV_{сух} = GSV_{сыр} * R_{сухSI} \text{ и } GSV_{вал} = GSV_{сыр} * R_{влжSI} \quad (E.5)$$

В используемом методе запас сухих ветвей зависит только от породы и возраста леса, а конверсионный коэффициент для него оценивается по формуле:

$$R_{ветви} = c_0 + c_1 * Age + c_2 * Age^2 + c_3 * Age^3 \quad (E.6)$$

где Age – возраст, а c_{0-3} – коэффициенты, зависящие от породы. Тогда объем ветвей равен:

$$GSV_{ветви} = GSV_{сыр} * R_{ветви} \quad (E.7)$$

Коэффициент соотношения для пней берется из таблиц с данными по разным породам и регионам, а их объем получается по формуле:

$$GSV_{пни} = GSV_{сыр} * R_{пни}(порода, регион) \quad (E.8)$$

Для каждого пула мортмассы были составлены таблицы плотности, содержащие коэффициенты конверсии полученных объемов в массу фракций мортмассы для разных пород и регионов страны. Запаса углерода пулов мортмассы получается умножением массы фракции на 0,5.

Оценка запаса углерода пулов фитомассы

Схема оценки запаса углерода пулов фитомассы приведена в средней верхней части рисунка Е.1. Для ее использования необходимы данные о запасе сырораствующей древесины насаждений, получаемые вычитанием из значения полученного по данным ДЗЗ общего запаса древесины лесов величины пулов сухостоя.

Для оценки запаса углерода пулов фитомассы используются коэффициенты BCEF (Schepashenko et al., 2018). Коэффициенты BCEF были оценены по данным наземных наблюдений, включающих деструктивные измерения биомассы лесных насаждений. Эти измерения позволили для каждой породы и региона России построить регрессионную зависимость вида:

$$\text{logit } BCEF_{fr} = a_0 + a_1 * \text{log}A + a_2 * \text{log}SI + a_3 * \text{log}RS + a_4 * A + a_5 * RS \quad (E.9)$$

где $BCEF_{fr}$ - конверсионный коэффициент фракции фитомассы fr (ствол с корой, ветви, листья, корни); A – средний возраст древостоя; RS – относительная полнота; SI – класс бонитета; и a_0 – a_5 - коэффициенты модели, полученные на основе наземных данных для территории России.

На основе созданных спутниковых карт различных характеристик лесов можно получить все необходимые для формулы Е.9 входные данные и оценить коэффициенты конверсии. Умножение запаса сырораствующей древесины на коэффициент конверсии позволяет получить массу ствола, ветвей, корней и листьев:

$$MASS_{fr} = BCEF_{fr} * GSV_{сыр.} \quad (E.10)$$

Запас углерода данных фракций получается умножением на величину 0,5.

Пример того, как меняются соотношения разных фракций фитомассы со временем, представлен на рисунке Е.2.

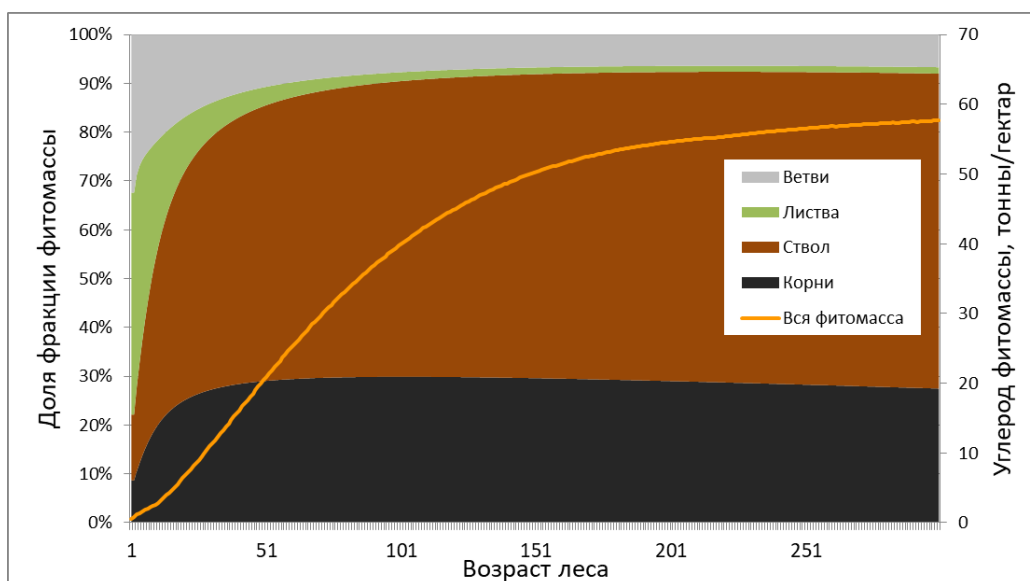


Рисунок Е.2 – Пример динамики запаса суммарного запаса углерода и его доли в различных пулах фитомассы для лиственницы

Моделирование запаса углерода подроста и живого напочвенного покрова

Метод оценки запаса углерода подроста и живого напочвенного покрова приведен в правом нижнем углу рисунка Е.1. Метод использует модели динамики фитомассы, описанные в таблицах хода роста (Швиденко и др., 2008). Модели характеризуют зависимость запаса углерода в подросте или наземном покрове от породы, бонитета, полноты и возраста, выраженную в виде уравнения:

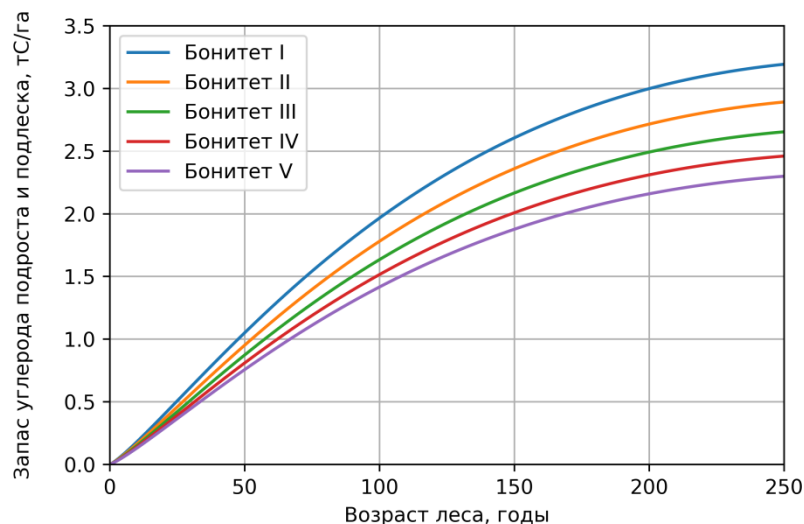
$$M_{fr} = c_0 SI^{c_1} A^{(c_2 + c_3 * RS + c_4 * RS^2)} \quad (E.11)$$

где M_{fr} - масса фракции (подрост или наземный покров), c_{0-4} – коэффициенты, зависящие от породы, SI – код бонитета, A – возраст древостоя, а RS – его относительная полнота. Запас углерода

рассчитывается умножением массы фракции на константу 0,5. Примеры динамики запасов углерода в напочвенном покрове и подросте представлены на рисунках Е.3а,б.

Оцененный методами ДЗЗ запас стволовой древесины включает запас подроста, в связи с чем запас углерода подроста не оценивается с помощью модельного подхода.

а)



б)

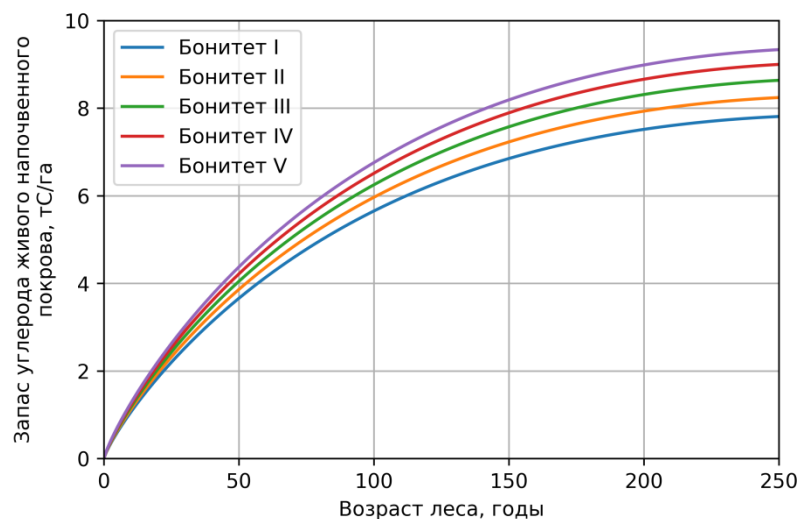


Рисунок Е.3 – Динамика запасов углерода подроста (а) и живого напочвенного покрова (б) для насаждений сосны с относительной полнотой 0,6

2. Оценка запаса углерода в нарушенных лесах

Представленные выше соотношения между запасом стволовой древесины, с одной стороны, и запасом сухостоя, валежа и других фракций, с другой стороны, действительны только для ненарушенных лесов. Оценка запаса углерода в нарушенных лесах требует специального подхода, и общая схема такой оценки представлена на рисунке Е.4. В соответствии с используемой схемой сначала проводится перераспределение фракций объема фитомассы и мортмассы, а затем выполняется моделирование их динамики после нарушения с учетом вывала сухостоя, разложения органических остатков и процессов лесовосстановления.

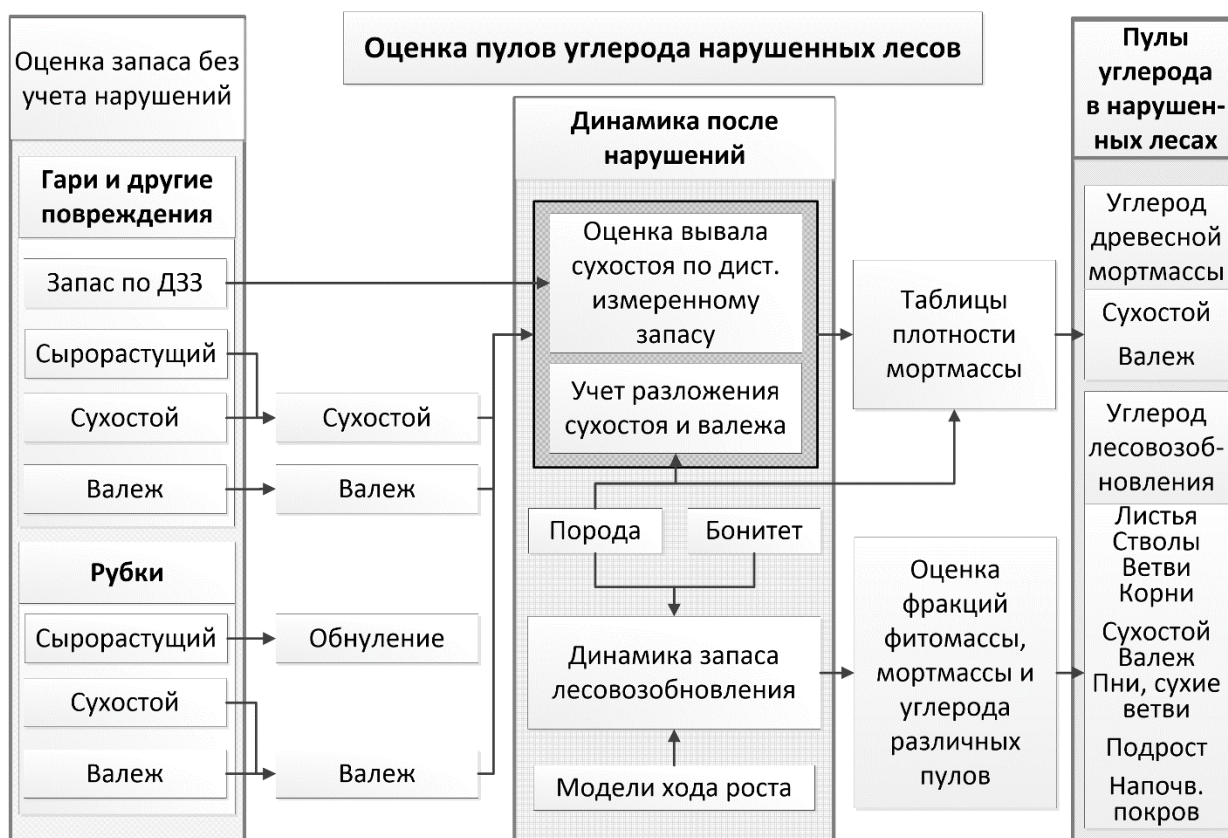


Рисунок Е.4 – Схема оценки запасов углерода в пулах фитомассы и мортмассы нарушенных лесов

Для реализации этой схемы используются данные о характеристиках лесных земель, нарушенных пожарами, вырубками и другими факторами лесов России (раздел 5 данной Методики).

Модели хода роста

Для оценки восстановления леса после повреждений необходима информация о динамике его характеристик в зависимости от времени с начала восстановления. Такая информация может быть получена на основе моделей хода роста (Швиденко и др., 2008). Модели хода роста характеризуют связь запаса стволовой древесины леса и возраста насаждений с учетом их породы и бонитета, и позволяют на ее основе восстанавливать ежегодную динамику прироста запаса. Необходимая для моделирования информация о бонитете и породном составе может быть получена на основе построенных карт по данным ДЗЗ.

В моделях динамика запаса стволовой древесины задается уравнениями вида:

$$X_i = c_1(SI)[1 - e^{-c_2(SI)A}]^{c_3(SI)} \tag{E.12}$$

где A – возраст леса, X_i – значение запаса стволовой древесины для текущего возраста, c_i – табличные коэффициенты, зависящие от кода бонитета SI (Site Index) по формуле:

$$\begin{aligned} c_1 &= c_{11}SI^2 + c_{12}SI + c_{13} \\ c_2 &= c_{21}SI^2 + c_{22}SI + c_{23} \\ c_3 &= c_{31}SI^2 + c_{32}SI + c_{33} \end{aligned} \tag{E.13}$$

где все коэффициенты вида c_{ij} задаются отдельно для каждой породы.

Пример модельной динамики запаса стволовой древесины представлен на рисунке Е.5. Значения запаса монотонно увеличиваются по мере старения насаждений, а также при улучшении класса бонитета.

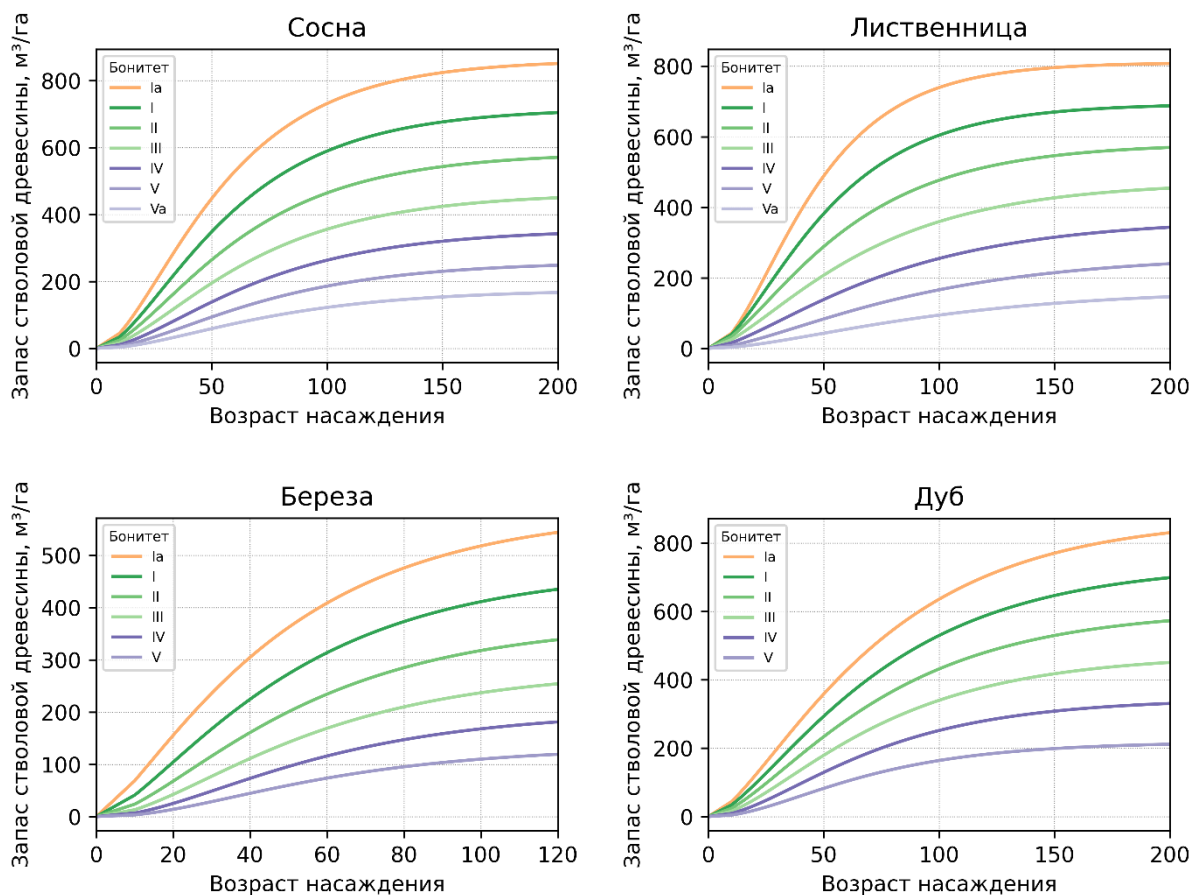


Рисунок Е.5 – Динамика модельной оценки запаса стволовой древесины в зависимости от возраста насаждений и бонитета для нескольких пород

Оценка влияния повреждений на запас углерода лесов

В поврежденных лесах выполняется перераспределение запаса древесины между фракциями. При этом запас валежа остается в соответствующем пуле, а запас пней и сухих ветвей добавляются в пул валежа, что позволяет оценить их долгосрочную динамику. На гарях запас сырораствующей стволовой древесины переводится в сухостой, дополняя советующий ему пул. На рубках запас сырораствующей древесины изымается, а запас сухостоя добавляется в пул валежа.

Так как оценка запаса углерода выполняется на уровне пикселей пространственного разрешения 230 м, то важно учитывать долю площади нарушенных лесов в пикселе. Метод предполагает разделение леса в пикселе на две части в соответствии с долей площади нарушенных лесов. В одной части находятся ненарушенные леса, в другой – поврежденные, в отношении которых проводится описанное выше перераспределение запаса древесины. Для нормальных лесов используются значения запасов углерода всех фракций в предшествующий нарушению год, эти значения умножаются на долю площади ненарушенных лесов в пикселе. Учитывается, что доля площади нарушений может увеличиваться со временем, что приводит к уменьшению пулов ненарушенных лесов и росту пулов сухостоя и валежа в нарушенных лесах.

После учета нарушений и перераспределения запасов углерода в пулах фитомассы и мортмассы лесов выполняется оценка их последующей динамики. Так как после возникновения нарушений в лесах данные MODIS в силу пространственного разрешения не позволяют оценить динамику остающихся ненарушенными лесов, для них проводится моделирование динамики на основе моделей хода роста с использованием данных о возрасте, бонитете и породе лесов, имевших место до их повреждения. Модельная оценка прироста запаса стволовой древесины ненарушенной части лесов добавляется к его запасу до момента деструктивного воздействия, формируя их ожидаемую динамику.

Для нарушенной части лесов проводится моделирование трех процессов. Во-первых, по моделям хода роста оценивается ход естественного лесовозобновления, считая, что новый лес начинает расти сразу после нарушения. Для сгоревших лесов и других типов повреждений моделируется процесс выпадения сухостоя с использованием оценки динамики запаса стволовой древесины по данным ДЗЗ, из которой вычитается запас древесины части ненарушенных лесов и лесовосстановления. Оставшаяся часть запаса при этом может быть отнесена к пулу сухостоя. Кроме этого, проводится моделирование процесса разложения сухостоя и валежа с применением соответствующих таблиц, учитывающих преобладающую породу до нарушения и климатические условия.

Полученный объем пулов фитомассы и мортмассы лесов позволяет оценить их запасы углерода с использованием изложенных выше подходов. Для ненарушенных и восстанавливающихся лесов применяются все описанные выше этапы оценки. Для сухостоя и валежа в нарушенных лесах их пулы углерода оцениваются с помощью таблиц плотности. Таким образом, метод позволяет получить запас углерода в нарушенных лесах с учетом влияния нарушений, процессов лесовосстановления и разложения органических остатков растений после нарушения.

Используемый подход к оценке запаса углерода нарушенных лесов может привести к расхождениям между полученными модельными оценками запаса стволовой древесины и оценками по данным ДЗЗ. Предполагается, что оценки запаса стволовой древесины по данным ДЗЗ предоставляют объективную и достоверную оценку этого параметра, что приводит к необходимости синхронизации модельных оценок с ними, что достигается несколькими методами. Во-первых, для рубок доля вырубленной территории оценивается по потере запаса древесины после рубки. Это позволяет более корректно учесть извлеченный запас древесины, биомассу и углерод, и улучшает синхронизацию оценок ДЗЗ и моделей. Для гарей и других повреждений такая синхронизация заложена в самом описанном выше подходе. Во-вторых, иногда для нарушенных лесов может наблюдаться более быстрый рост запаса стволовой древесины, в сравнении с прогнозом его динамики по моделям хода роста. В связи с этим «недостающий» запас добавляется к запасу нормальных лесов, что обеспечивает 100% совпадение оценок запаса стволовой древесины по данным ДЗЗ и моделей.

Стоит отметить, что используемый метод также позволяет оценить, как развивались бы леса без нарушений. Для этого нужно для всех нарушенных лесов установить площадь нормальной, ненарушенной части равной всему пикселу, таким образом, полностью заменив фактическую динамику запаса стволовой древесины после нарушения на его модельную оценку по таблицам хода роста. Можно назвать такую оценку запаса углерода потенциальной, предполагающей полное отсутствие нарушений в лесах. Сравнение потенциального поглощения и реальной оценки баланса углерода позволяет оценить влияние различных типов нарушений на пулы углерода лесов.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Погрешности оценки запасов и баланса углерода в лесах по данным ДЗЗ

Неопределенность описанного выше комплексного подхода оценки запаса углерода очевидно зависит от точности его двух основных компонент: входных данных, полученных на основе спутникового мониторинга, и параметров используемых моделей. Но ввиду сложности подхода даже при известных погрешностях данных и моделей затруднительно оценить погрешность оценок таких сложных систем напрямую аналитическими методами. Одним из возможных подходов к оценке неопределенности в таких случаях является метод Монте-Карло. В соответствии с этим методом необходимо установить источники неопределенности, получить для них вероятностные распределения, и создать множество реализаций оценок запаса углерода, каждая из которых получена по случайно выбранным из вероятностного распределения параметрам. Используются неопределенности для следующих параметров – спутниковые карты характеристик лесов, включая породу, запас стволовой древесины, лесистость, относительную полноту и бонитет, а также коэффициентов конверсии запаса древесины в биомассу (VCEF).

Для коэффициентов VCEF их неопределенность представлена в статье (Schepashenko et al., 2018). Для каждой породы и каждого региона в статье дано стандартное отклонение коэффициента, на основании которого при предположении нормального распределения можно построить необходимое вероятностное распределение для генерации случайных значений VCEF.

Для карты пород получена матрица перепутывания, дающая для каждой породы вероятность того, что на самом деле в пикселе итоговой карты преобладает другая порода. Это распределение позволяет генерировать необходимую вариацию оценки преобладающей породы лесов для использования метода Монте-Карло.

Ряд других продуктов (запас стволовой древесины, относительная полнота, лесистость) получены с помощью метода случайных лесов (Random Forest), работающего в режиме непараметрической множественной регрессии. Для случайных лесов разработан метод вывода перцентилей (Meinshausen и Ridgeway, 2006), который позволяет в каждом пикселе воспроизвести диапазон возможных значений параметра с его вероятностями. Генерация перцентилей реализована с помощью библиотеки skranger (Wright и Ziegler, 2015).

Для оценки бонитета и возраста используется метод градиентного бустинга на основе библиотеки LightGBM. Но для этого метода затруднительно оценить погрешность на уровне пиксела, ввиду сложности построения перцентилей оценки. В связи с чем для этих характеристик используется одна глобальная оценка погрешности – среднее квадратическое отклонение (Приложение V.2.1.Г.5 к Методике).

Также необходимо учитывать пространственную связь погрешностей разных пикселов между собой. Например, если в одном пикселе в процессе Монте-Карло добавляется погрешность в +50 м³/га, то очень маловероятно, что в соседнем в нем пикселе той же породы, возраста и бонитета погрешность будет составлять -50 м³/га.

Для учета этого фактора делается предположение, что погрешность для лесов в похожих условиях будет сравнимой. Выделяются группы лесов по породе, классу возраста, бонитету, относительной полноте. Предполагается, что их погрешности синхронизированы и задаются один раз для каждой реализации метода Монте-Карло.

Таким образом, для каждого пиксела формируется гистограмма возможных распределений входных значений и параметров метода оценки запаса углерода в лесах России, что позволяет вычислить неопределенности. Для этого генерируется большое число (500) возможных значений каждого параметра, и они подаются на вход метода, с сохранением запаса углерода всех фракций на выходе для каждой реализации. Их агрегация позволяет получить разброс возможных значений параметров, а также оценить стандартные параметры, такие как стандартное отклонение или 95% интервал достоверности. Эти оценки могут быть агрегированы на уровень лесничеств, областей или всей страны.

На основе предложенного подхода выполняется оценка неопределенностей расчета запасов и баланса углерода лесов России за 2020 год. Гистограммы вероятностных распределений запаса и баланса углерода представлены на рисунках Ж.1 и Ж.2. Вероятностное распределение этих характеристик близко к нормальному распределению, в связи с чем неопределенность может быть адекватно описана стандартными статистиками, приведенными в таблице Ж.1. Среднее квадратическое

отклонение оценок суммарного запаса углерода составляет 3,1 млрд т С (4,9% от запаса 2020 года), 95% доверительный интервал (интервал, включающий 95% вероятностного распределения запаса углерода) лежит в границах ± 6 млрд т С (от 57 до 69 млрд т С). Для бюджета углерода среднеквадратическое отклонение составило 87,8 млн т CO₂, границы 95% доверительного интервала отклоняются на 170 млн т CO₂ от среднего (от 1468 до 1801 млн т CO₂ в год).

Полученные распределения неопределенностей показывают достаточно высокую достоверность оценки запасов и баланса углерода в растительной биомассе лесов Российской Федерации, полученных на основе комплексирования данных дистанционного зондирования и актуальных моделей.

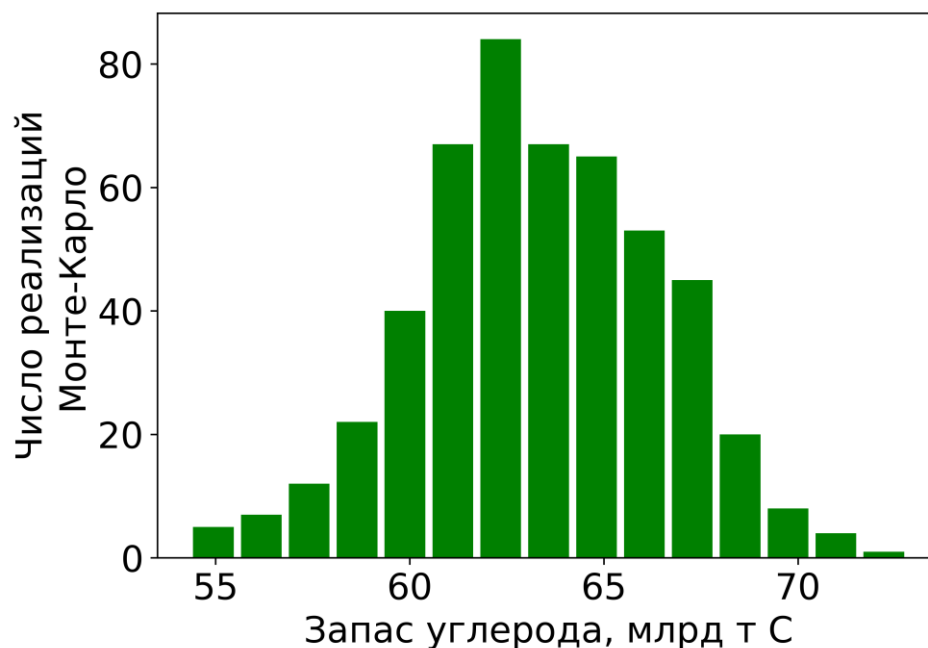


Рисунок Ж.1 – Вероятностное распределение оценок запаса углерода, полученное на основе метода Монте-Карло

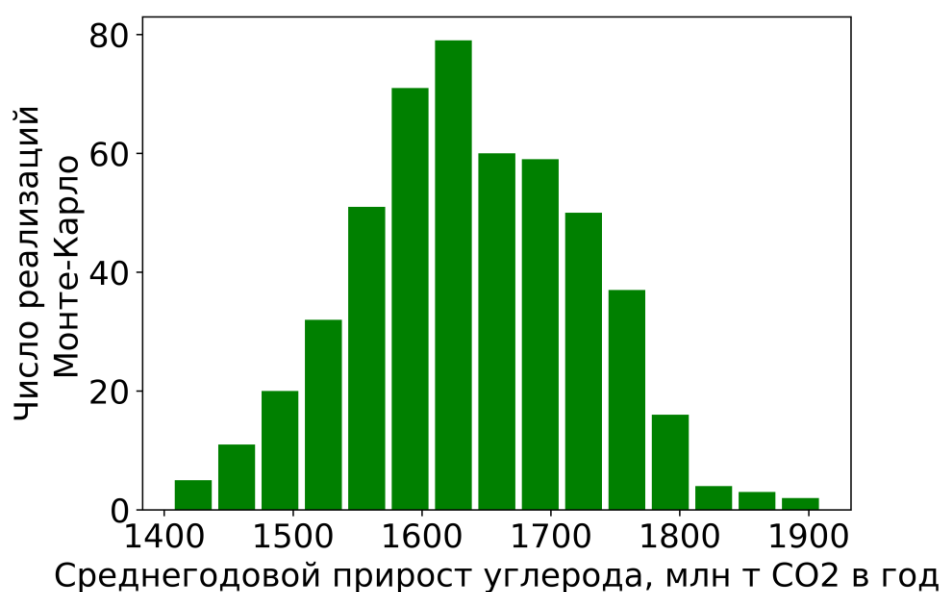


Рисунок Ж.2 – Вероятностное распределение оценок баланса углерода, полученное на основе метода Монте-Карло

Оценка уровня неопределенности суммарного запаса углерода в растительной биомассе лесов России и его баланса

	Запас углерода	Баланс углерода
Среднеквадратическое отклонение	3,1 млрд т С	87,8 млн т CO ₂ в год
Доверительный интервал 95%	56,9 – 69,1 млрд т С	1468 – 1801 млн т CO ₂ в год

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Метод оценки запасов и баланса углерода лесов на основе данных ППП ГИЛ

Исходная информация для формирования таблиц по расчету массы углерода в лесных экосистемах, формируется на основе баз данных ГИЛ.

Информация формируется на основе следующих производных (расчетных в ходе камеральной обработки полевых БД ППП) показателей баз данных ГИЛ:

- площадь поперечного сечения ствола;
- расчетная высота дерева;
- распределенная по экземплярам учетных деревьев площадь ППП (в среде ПО ПИК ГИЛ – «репрезентативная» площадь дерева);
- объем стволов живых деревьев;
- распределенная по ППП лесная площадь субъекта Российской Федерации (в среде ПО ПИК ГИЛ – «репрезентативная» площадь ППП).

Перечисленные производные показатели рассчитываются в среде ПО ПИК ГИЛ по следующим алгоритмам:

Площадь поперечного сечения ствола учетного дерева

Показатель исчисляется по формуле площади круга:

$$G = \pi \cdot \left(\frac{D}{2000} \right)^2 \quad (3.1)$$

где D – диаметр ствола, 2000 – перевод диаметра ствола дерева в радиус и из миллиметров в метры.

Расчетная высота дерева

В среде ПО ПИК ГИЛ расчетная высота определяется по корреляционному уравнению, имеющему вид экспоненциальной функции:

$$H = 1.3 + \exp \left(b + a \cdot \frac{1}{D} \right) \quad (3.2)$$

Коэффициенты корреляционного уравнения (a и b) определяются методом наименьших квадратов с минимизацией суммы квадратов отклонений фактических значений высоты от ее расчетных значений. Для этого экспоненциальная функция путем логарифмирования её левой и правой частей приводится к линейному виду $\ln H = a \cdot \frac{1}{D} + b$ (константа 1.3 – высота на уровне груди на данном этапе выводится за пределы уравнения) и, применяя формулы исчисления коэффициентов a и b, выполняется их расчет по каждой древесной породе. Формулы расчета коэффициентов имеют вид:

$$a = \frac{n \cdot \sum \left(\frac{1}{D_i} \cdot \ln H_i \right) - \sum \frac{1}{D_i} \cdot \sum \ln H_i}{n \cdot \sum \frac{1}{D_i^2} - \left(\sum \frac{1}{D_i} \right)^2} \quad (3.3)$$

$$b = \frac{\sum \frac{1}{D_i^2} \cdot \sum \ln H_i - \sum \frac{1}{D_i} \cdot \sum \left(\frac{1}{D_i} \cdot \ln H_i \right)}{n \cdot \sum \frac{1}{D_i^2} - \left(\sum \frac{1}{D_i} \right)^2} \quad (3.4)$$

По полученным корреляционным уравнениям исчисляются высоты по всем экземплярам учетных деревьев.

Площадь ППП, распределенная по экземплярам учетных деревьев

Данный показатель является отражением долевого участия учетного дерева, выраженного в площадном измерении, и определяется по формуле:

$$S_i = 0.05 \cdot \left(\frac{G_i}{\sum G_i} + \frac{H_i}{\sum H_i} \right) / 2 \quad (3.5)$$

Суть уравнения сводится к определению среднего арифметического значения между долей «репрезентативной» площади сечения ствола (RepreBasalArea_m2) от суммы «репрезентативных» площадей сечений всех деревьев на постоянных пробных площадях, включая подрост/подлесок, и долей «репрезентативной» высоты дерева (RepreHeight_m) от суммы «репрезентативных» высот всех деревьев на ППП, включая подрост/подлесок, умноженного на площадь ППП в га.

При нулевом значении площади сечения по формуле:

$$S_i = 0.05 \cdot \frac{H_i}{\sum H_i}, \quad (3.6)$$

при нулевом значении высоты:

$$S_i = 0.05 \cdot \frac{G_i}{\sum G_i} \quad (3.7)$$

Объем стволов живых деревьев

Объемы стволов определяются по справочной таблице, сформированной на основе региональных сортиментно-сортных таблиц. Входами для определения объема ствола является: код древесной породы, расчетная высота, измеренный диаметр и разряд высот.

Алгоритм расчёта содержания углерода на лесных землях

Алгоритм расчета содержания углерода основан на использовании моделей хода роста модельных насаждений (Швиденко и др., 2008), которые дают возможность учитывать региональные особенности, древесную породу, возраст и бонитет древостоев. Таксационные показатели (порода, запас древесины, возраст, бонитет) и принадлежность к лесорастительной зоне (субъекту Российской Федерации), определенные в первом цикле ГИЛ, служат параметрами входа в модели хода роста.

Аналогичным образом с помощью моделей оценивают запасы различных фракций мертвой древесины (сухостой, валеж, пни). С использованием конверсионных коэффициентов – Biomass Conversion and Expansion Factors (Scheraschenko et. al., 2018) запасы древесины преобразуют в объем биомассы, а затем в углерод. Запасы крупных древесных остатков (КДО) по фракциям (сухостой, валеж, пни) вычисляют исходя из запаса древостоев и конверсионных коэффициентов КДО.

Содержание углерода в пулах лесной подстилки и почве определяется по средним значениям в соответствии с методическими рекомендациями по количественному определению объема поглощения парниковых газов (Приказ Минприроды России от 27.05.2022 №371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов»).

Все модели хода роста, конверсионные коэффициенты и средние значения содержания углерода в пулах подстилки и почвы сформированы в среде MS Excel, и совмещены с распределением запасов древесины по каждой породе, возрастным периодам и субъектам Российской Федерации.

В Методических рекомендациях по проведению государственной инвентаризации лесов (утв. приказом Рослесхоза от 10.11.2011 № 472) являющихся руководством при закладке и обработке ППП 1-го цикла работ ГИЛ, на начальной стадии работ не было предусмотрено определение преобладающей (доминирующей) породы в древостое ППП и класса бонитета. В силу этого, на подготовительной стадии работы алгоритма осуществляется определение этих показателей.

Этап 1 Определение преобладающей (доминирующей) породы в древостое ППП.

Преобладающей породой признается порода, имеющая наибольший запас в древостое ППП. Запас по учетным на ППП породам определяется по формуле:

$$M_{tree} = \sum (V_{itree} \times N_{itree} \times K_{itree}) \times 20 \quad (3.8)$$

где M_{tree} – запас по роду древесной породы, м³/га; N_{itree} – количество экземпляров деревьев в записи i-того учетного дерева, шт; K_{itree} – коэффициент инвентаризационного круга, на котором расположено i-тое учетное дерево; 20 – число приведения площади ППП к 1 га.

Класс бонитета определяется по шкале М.М. Орлова от исчисленных средней высоты и возраста основного полога древостоя ППП по формулам:

$$H_{avg} = \frac{\sum H_i \times V_i}{\sum V_i} \quad (3.9)$$

$$A_{avg} = \frac{\sum A_i \times V_i}{\sum V_i} \quad (3.10)$$

где H_{avg} – средняя высота древостоя ППП, м; A_{avg} – средняя высота древостоя ППП, лет; H_i – высота i -того учетного дерева м; A_i – возраст i -того учетного дерева лет; V_i – объем i -того учетного дерева, м³.

В алгоритме применен метод двухступенчатой агрегации.

Первая ступень агрегации

Агрегирование количественных и качественных показателей с подервного уровня на поплощадной.

Агрегированная таблица поплощадного уровня содержит следующие показатели:

1. Показатели общей информации:

- девятизначный номер ППП;
- код рода преобладающей породы по справочникам ГИЛ;
- код рода преобладающей породы по справочникам ГЛР;
- группа производительности древостоя ППП (1 – 1⁶-2 классы бонитета, 2 – 3-4 классы, 3 – 5-5⁶ классы);
- класс бонитета древостоя на ППП;
- средний возраст древостоя ППП. Максимально допустимый возраст преобладающей породы, определяется по справочнику или возрасту, выявленному при закладке ППП, и определяется по условию: при $A_{cnp} \geq A_{avg}$, $A_{max} = A_{cnp}$; при $A_{cnp} < A_{avg}$, $A_{max} = A_{avg}$, где A_{max} – максимально допустимый возраст древостоя ППП; A_{avg} – максимальный возраст, выявленный при закладке ППП; A_{cnp} – максимально допустимый возраст преобладающей породы по справочнику, лет.

2. Показатели на год закладки ППП:

- год закладки ППП;
- возраст древостоя на год закладки ППП;
- запас древостоя на распределенной площади ППП, определяется по формуле:

$$M_{total} = \sum (V_i \cdot N_i \cdot K_i \cdot 20) \cdot S_{total} \quad (3.11)$$

где S_{total} – распределенной площади ППП га – это распределенные определенным способом по ППП лесные земли субъекта Российской Федерации. На распределенную площадь распространяются количественные и качественные характеристики древостоя ППП.

- запас древостоя на 1 га определяется по формуле:

$$M_{ha} = \sum (V_i \cdot N_i \cdot K_i \cdot 20) \quad (3.12)$$

3. Показатели на год учета (срединного года по циклу работ ГИЛ):

- при разновременных периодах закладки ППП необходимо количественные и качественные характеристики исчисленные и определенные на год закладки ППП привести к единому учетному году, учетный год определяется как год, на который сумма заложенных ППП составила или превысила 50% от их общего количества; период выраженный в количестве лет между годом закладки ППП и годом учета (далее – Interval):

$$Interval = Year_{act} - Year_{work} \quad (3.13)$$

где $Year_{act}$ – год учета; $Year_{work}$ – год закладки ППП.

- приведенный к учетному году возраст насаждения:

$$A_{act} = A_{fact} + Interval \quad (3.14)$$

где A_{act} при определении актуального возраста если он в результате исчисления принимает отрицательное значение или превышает максимальный возраст, определенный для преобладающей породы, осуществляется его переопределение: при $A_{act} < 0$, $A_{act} = A_{max} + A_{act}$; при $A_{act} = 0$, $A_{act} = 1$; при $A_{act} > A_{max}$, $A_{act} = A_{act} - A_{max}$.

- запас древостоя, приведенный к году учета. Для приведения запаса к году учета разработана справочная таблица коэффициентов математической модели годичных процентов прироста от возраста насаждений, дифференцированных по основным лесообразующим древесным породам и классам бонитета, за основу взяты данные из сборника таблиц хода роста А.З. Швиденко (Швиденко А.З. и др. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы), издание второе, дополненное, Москва 2008, стр. 80-129). Математические модели годичных процентов текущего изменения запаса, отпада и текущего прироста, являются экспоненциальной функцией имеющий вид:

$$T(O)\% = \exp(b + a \cdot A_{act}) \quad (3.16)$$

где a, b – коэффициенты математической модели; $T\%$ – годичный процент текущего изменения запаса; $O\%$ – годичный процент естественного отпада. Коэффициенты математической модели исчислены по методу наименьших квадратов по формулам:

$$a = \frac{n \times \sum(A_{act} \times T(O)\%) - \sum A_{act} \times \sum T(O)\%}{n \times \sum A_{act}^2 - (\sum A_{act})^2} \quad (3.17)$$

$$b = \exp \left[\frac{\sum A_{act}^2 \times \sum T(O)\% - \sum A_{act} \times \sum (A_{act} \times T(O)\%)}{n \times \sum A_{act}^2 - (\sum A_{act})^2} \right] \quad (3.18)$$

Актуальный на год учета запас определяется по формулам:

$$M_{act} = M_{fact} \left(1 + \frac{T\% \cdot Interval}{100} \right), \text{ при } Year_{act} \geq Year_{work} \quad (3.19)$$

$$M_{act} = \frac{M_{fact}}{\left(1 + \frac{T\% \cdot Interval}{100} \right)} + M_{fact} \left(1 + \frac{O\% \cdot Interval}{100} \right), \text{ при } Year_{act} < Year_{work} \quad (3.20)$$

где $T\%$ – годичный процент текущего изменения запаса; $O\%$ – годичный процент естественного отпада.

- запас на ППП при кардинально измененном возрасте (перевод древостоев в молодняк при актуализации возраста, превысившего максимальный, или переводе древостоев на максимальный возрастной уровень при отрицательном значении актуального возраста) определяется по математической модели являющиеся степенной функцией обратного значения актуального возраста и имеющая вид:

$$M_{act} = \frac{1}{b \cdot A_{act}^a}, \quad (3.21)$$

- коэффициенты уравнения исчисляются методом наименьших квадратов по ряду распределения запасов к возрасту древостоев на год закладки ППП по формулам:

$$a = \frac{n \times \sum \left(\ln \frac{1}{A_{fact}} \times \ln M_{fact} \right) - \sum \ln \frac{1}{A_{fact}} \times \sum \ln M_{fact}}{n \times \sum \left(\ln \frac{1}{A_{fact}} \right)^2 - \left(\sum \ln \frac{1}{A_{fact}} \right)^2}, \quad (3.22)$$

$$b = \frac{\sum \left(\ln \frac{1}{A_{fact}} \right)^2 \times \sum \ln M_{fact} - \sum \ln \frac{1}{A_{fact}} \times \sum \left(\ln \frac{1}{A_{fact}} \times \ln M_{fact} \right)}{n \times \sum \left(\ln \frac{1}{A_{fact}} \right)^2 - \left(\sum \ln \frac{1}{A_{fact}} \right)^2} \quad (3.23)$$

- (приведенный к учетному году запас на 1 га, исчисляется путем деления исчисленного запаса на распределенную площадь ППП):

$$M_{act_ha} = \frac{M_{act}}{A_{act}} \quad (3.24)$$

4. Показатели на год ретроспективы или прогноза (год модели):

- год модели, определяется пользователем;
- период выраженный в количестве лет между годом учета и годом модели;
- приведенный к году модели возраст насаждения, определяется также, как и актуальный возраст, но с заменой года закладки ППП на год актуализации, а год актуализации на год модели;
- запас древостоя приведенный к году модели, определяется аналогично алгоритму определения запаса на год учета с заменой запаса года закладки ППП на запас исчисленный к году учета, а возраст года учета на возраст к году модели, но с существенной разницей выраженной в том, что при разнице в годах учета и модели превышающем 10 лет, сначала организуется цикл по количеству 10-летних периодов в котором запас актуализируется по их количеству, а по окончанию цикла, на остаток лет части заключительного десятилетия.
- приведенный к году модели запас на 1 га, исчисляется путем деления исчисленного запаса на распределенную площадь ППП.

Вторая ступень агрегации

Агрегирование количественных и качественных показателей с поплощадного уровня на уровень по следующим группирующим показателям:

- производительность древостоя;
- преобладающая порода;
- класс 10-летнего возрастного периода, определяется по формуле:

$$A_{class} = trunc \left(\frac{A_{fact}-1}{10} \right) \cdot 10 + 6, \text{ при } A_{fact} > 0 \quad (3.25)$$

1. На первом шаге второй ступени агрегируются, путем суммирования, данные по году закладки ППП. Агрегируются следующие показатели:

- сумма распределенных площадей ППП:

$$S_j = \sum S_{ппп} \quad (3.26)$$

где $S_{ппп}$ – площадь по группирующим показателям

- запас на распределенной площади ППП:

$$M_j = \sum M_{ппп}, \quad (3.27)$$

где $M_{ппп}$ – запас по группирующим показателям

- запас на 1 га:

$$M_{j_ha} = \frac{\sum M_{ппп}}{\sum S_{ппп}} \quad (3.28)$$

2. На втором шаге агрегируются данные по году учета, группирующие показатели те же, но класс возрастного периода определяется по возрасту, приведенному к году учета. Площадь, запас

и запас на 1 га агрегируются аналогично предыдущему пункту. По окончании агрегирования, данные по идентичным группирующим показателям внедряются в таблицу.

3. На третьем шаге агрегируются данные по году модели, группирующие показатели те же, но класс возрастного периода определяется по возрасту, приведенному к году модели. Площадь, запас и запас на 1 га агрегируются аналогично предыдущим пунктам. По окончании агрегирования, данные по идентичным группирующим показателям внедряются в таблицу.

Этап 2 Проведение расчёта содержания и изменения углерода на лесных землях для национального кадастра

1 Средний запас для лесных культур рассчитывается исходя из запаса и площади пород.

2 Общий запас лесных культур представляет собой произведение запаса на гектар для лесных культур и площади лесных культур.

3 Общий запас древостоя представляет собой сумму произведений запаса на гектар на прогнозируемую площадь с учётом коэффициента коррекции.

4 Средний запас древостоя представляет собой частной общего запаса на общую площадь покрытых лесом земель с учётом коэффициента коррекции.

5 Общий запас насаждений естественного происхождения представляет собой разницу между общим запасом древостоя и запасом лесных культур.

6 Средний запас древостоя естественного происхождения представляет собой частное общего запаса древостоя естественного происхождения и площади древостоя естественного происхождения.

7 Объём биомассы надземной и подземной части древостоя берётся из таблицы расчёта содержания и изменения углерода на лесных землях с учётом коэффициента коррекции.

8 Средний объём биомассы надземной и подземной части древостоя представляет собой частное общего объёма биомассы надземной и подземной части древостоя и общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента перерасчёта.

9 Объём биомассы мёртвой древесины представляет собой частное суммы запасов углерода сухостоя и валежа и коэффициента содержания углерода в древесине (0,5) с учётом коэффициента коррекции.

10 Средний запас биомассы мёртвой древесины представляет собой частное общего объёма биомассы мёртвой древесины и общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента коррекции.

11 Объём углерода в биомассе надземной и подземной части древостоя представляет собой произведение объёма указанной биомассы на коэффициент содержания углерода в древесине (0,5).

12 Средний запас углерода в биомассе надземной и подземной части древостоя представляет собой частное объёма углерода в указанной биомассе и общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента коррекции.

13 Общий объём углерода в мёртвой древесине представляет собой сумму запасов углерода сухостоя и валежа с учётом коэффициента коррекции.

14 Средний запас углерода в мёртвой древесине представляет собой частное общего запаса углерода в мёртвой древесине и общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента коррекции.

15 Общий объём углерода в лесной подстилке и почве представляет собой сумму произведений площади древостоев по породам и возрастным периодам и коэффициента содержания углерода, соответственно в лесной подстилке и почве с учётом коэффициента коррекции.

16 Средний запас углерода в лесной подстилке и почве представляет собой частное общего объёма углерода, соответственно в лесной подстилке и почве и общей площади покрытых лесом земель с учётом коэффициента коррекции.

V.6 – Потери углерода при обезлесении по субъектам Российской Федерации в последнем отчетном году кадастра

Таблица V.6.1

Потери углерода при обезлесении по субъектам Российской Федерации в последнем отчетном году кадастра, тыс. т С год⁻¹

Субъект Российской Федерации	Надземная био-масса	Подземная био-масса	Мертвая древесина	Подстилка	Почва с полным окислением С	Почва с неполным окислением С	Итого
Белгородская область	0	0	0	0	0	0	0
Брянская область	765	189	228	105	346	83	1716
Владимирская область	1495	350	469	221	440	209	3185
Воронежская область	565	172	170	74	224	55	1260
Ивановская область	171	41	51	25	90	21	399
Калужская область	236	61	63	30	112	26	527
Костромская область	570	137	168	87	307	71	1340
Курская область	1385	402	357	134	174	134	2586
Липецкая область	418	120	130	53	155	41	917
Московская область	14700	3653	4446	1898	5752	1604	32054
Орловская область	18	5	4	2	0	2	30
Рязанская область	551	140	163	78	273	69	1274
Смоленская область	6688	1721	1723	978	281	1263	12654
Тамбовская область	232	61	74	32	105	24	529
Тверская область	2055	509	613	329	155	376	4037
Тульская область	985	261	216	80	36	101	1679
Ярославская область	5808	1413	1623	863	0	1078	10785
Республика Карелия	1859	414	671	920	1130	263	5257
Республика Коми	1571	474	455	820	940	562	4820
Архангельская область	0	0	0	0	0	0	0
Вологодская область	5446	1371	1624	1490	1983	663	12577
Калининградская область	173	44	43	19	0	22	301
Ленинградская область	14517	3550	4779	2520	7958	1908	35233
Мурманская область	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы V.6.1

Субъект Российской Федерации	Надземная биомасса	Подземная биомасса	Мертвая древесина	Подстилка	Почва с полным окислением С	Почва с неполным окислением С	Итого
Новгородская область	92	22	25	14	50	12	215
Псковская область	30	7	8	5	0	6	55
Ненецкий автономный округ	394	127	131	221	30	193	1096
Республика Адыгея (Адыгея)	20	6	4	2	0	2	33
Республика Калмыкия	223	83	43	99	377	82	907
Краснодарский край	16	5	3	1	0	1	27
Астраханская область	3	1	1	1	0	1	6
Волгоградская область	4	1	1	1	0	1	8
Ростовская область	4	1	1	1	0	1	7
Республика Дагестан	0	0	0	0	0	0	0
Республика Ингушетия	18	5	3	2	0	2	31
Кабардино-Балкарская Республика	10394	3279	1855	903	2708	759	19899
Карачаево-Черкесская Республика	64	17	15	6	2	7	111
Республика Северная Осетия — Алания	62	20	12	4	11	4	113
Чеченская Республика	1437	460	287	133	248	125	2690
Ставропольский край	932	297	208	125	65	134	1761
Республика Башкортостан	14302	3778	3452	2253	6513	2084	32383
Республика Марий Эл	1588	390	474	258	893	208	3812
Республика Мордовия	14539	3839	3938	1916	5468	1797	31495
Республика Татарстан (Татарстан)	15611	4251	4004	2050	7835	1600	35351
Удмуртская Республика	2093	547	671	347	2320	122	6101
Чувашская Республика	1156	306	289	171	595	138	2654
Кировская область	304	80	97	87	152	35	755
Нижегородская область	4438	1053	1262	689	438	804	8684
Оренбургская область	188	63	48	33	95	29	457
Пензенская область	7926	2030	2131	1061	559	1255	14961
Пермский край	2941	820	935	866	1962	336	7859
Самарская область	3260	1024	942	513	1993	379	8111
Саратовская область	2857	850	663	478	57	544	5450
Ульяновская область	169	44	52	23	137	12	437
Курганская область	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение таблицы V.6.1

Субъект Российской Федерации	Надземная биомасса	Подземная биомасса	Мертвая древесина	Подстилка	Почва с полным окислением С	Почва с неполным окислением С	Итого
Свердловская область	9665	2375	2997	2894	8846	714	27491
Тюменская область	4043	920	934	642	3327	811	10676
Челябинская область	5114	1260	1445	754	3678	580	12832
Ханты-Мансийский автономный округ — Югра	693	149	189	356	771	201	2359
Ямало-Ненецкий автономный округ	25388	9899	7885	13440	121082	6616	184309
Республика Алтай	4937	1291	1043	500	4899	590	13260
Республика Бурятия	335	121	104	71	378	80	1089
Республика Тыва	12373	3682	2752	1526	4758	4291	29382
Республика Хакасия	0	0	0	0	0	0	0
Алтайский край	15	4	5	2	0	4	30
Забайкальский край	8654	3314	2378	1887	17372	1584	35190
Красноярский край	73946	24287	19681	15458	142205	12660	288236
Иркутская область	149457	40445	37949	19530	16892	36850	301123
Кемеровская область - Кузбасс	2255	514	574	385	1430	575	5732
Новосибирская область	2352	547	515	412	495	729	5050
Омская область	230	52	45	34	189	44	593
Томская область	472	107	107	68	1203	0	1958
Республика Саха (Якутия)	1195	655	362	386	4620	336	7553
Камчатский край	0	0	0	0	0	0	0
Приморский край	0	0	0	0	0	0	0
Хабаровский край	0	0	0	0	0	0	0
Амурская область	0	0	0	0	0	0	0
Магаданская область	18658	11517	4822	8272	6460	13533	63262
Сахалинская область	5412	1756	1523	983	249	1634	11556
Еврейская автономная область	6280	1681	1251	923	2762	1880	14778
Чукотский автономный округ	7308	3613	1783	4603	6322	8729	32359
Республика Крым	290	94	65	25	79	18	572

V.7 – Справка об обводненных торфяниках и торфяных пожарах на нарушенных торфяниках Российской Федерации

Приводится информация о площадях обводненных торфяников по субъектам Российской Федерации на 2024 год, методике их оценки и предлагаемых коэффициентах эмиссии для расчета эмиссии парниковых газов.

Общая информация

Включены данные о выявленных торфяниках, обводненных в Российской Федерации за последние годы при финансовой поддержке федерального и региональных бюджетов, международных проектов, неправительственных организаций, бизнеса и других источников. Границы предлагаемых к учету торфяников, где проводились мероприятия по обводнению, были получены: Московская область (Институт лесоведения Российской академии наук – ИЛАН РАН при содействии МОС АВС), Владимирская область (Национальный парк «Мещера»²), Тверская область (Тверской государственный технический университет³), Республика Башкортостан (ИЛАН РАН). Методика оценки состояния объектов обводнения по данным спутникового мониторинга разрабатывалась, верифицировалась по наземным данным и апробировалась в Центре сохранения и восстановления болотных экосистем ИЛАН РАН. Методика оценки и ее апробация на примере Московской области представлена (Сирин и др., 2021; Сирин и др., 2023; Sirin et al., 2021) и может быть использована для Национальной отчетности, расчетов на региональном уровне и для конкретных проектов обводнения (Сирин, 2022).

Методика классификации

Основы методики были предложены при выполнении проекта INTAS Thematic Call with ESA Project 06-100025-9182 «Remote Sensing Methods for Environmental Assessment of Eurasian Peatlands and Associated Ecosystems under Climate Change (PACINE)» (2006–2008) (Медведева и др., 2011) на примере Национального парка «Мещера» (Владимирская область). НП «Мещера» граничит с востока с Московской областью, характеризуется значительной площадью торфяников, измененных торфоразработками и другими воздействиями, и является пионером масштабных работ в Российской Федерации по обводнению торфяников для предотвращения пожаров и восстановления болотных экосистем (Сирин и др., 2011; Sirin et al., 2011; Vozbrannaya et al., 2023). Доработка методики проводилась при проведении мониторинга объектов, обводненных в 2010–2013 гг. в рамках подпрограммы «Повышение пожарной безопасности на торфяниках, расположенных на территории Московской области» программы Московской области «Экология Подмосковья» (Обводнение ..., 2021).

Методика предполагает выделение классов земного покрова, определяемых по данным мультиспектральной космической съемки, и признанных пригодными для оценки состояния пожароопасных и обводненных торфяников. Методика прошла проверку по наземным данным, апробирована для различных объектов, опубликована в российских (Медведева и др., 2011; 2017; 2019; Сирин и др. 2020) и международных (Medvedeva et al. 2017; Sirin et al. 2018; 2020) рецензируемых научных журналах.

В качестве обводненных торфяников, определяемых Дополнением МГЭИК для водно-болотных угодий (IPCC, 2014), предлагается рассматривать два класса земного покрова (рис. V.7.1): 1) «гидрофильные сообщества» с рогозом, осокой, тростником и другой водно-болотной растительностью; 2) «водоемы» – открытые водные поверхности, образовавшиеся преимущественно после обводнения. Оба класса представляют собой участки территории, которые являются и будут в дальнейшем развиваться как водно-болотные угодья.

Согласно разработанной методике (Медведева и др., 2011; 2017; 2019; Medvedeva et al., 2017; Сирин и др. 2020; Sirin et al., 2018; 2020) для разделения классов земного покрова требуются спутниковые данные: с видимым диапазоном, включая красный (RED); ближнего инфракрасного БИК 1

² Возбранная А.Е.

³ Панов В.В., Шахматов К.Л.

(NIR) спектрального диапазона; коротковолновые инфракрасные каналы БИК 2 и БИК 3 (SWIR), обеспечивающие лучшее разделение классов (рис. V.7.2). Этим требованиям отвечают сенсоры спутников Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-2 и других аппаратов, ведущих съемку, включая коммерческую сверхвысокого разрешения.



Рисунок V.7.1 – «Гидрофильные сообщества» с рогозом, осокой, тростником и другой водно-болотной растительностью (сверху), «водные поверхности» – открытые водоемы, образовавшиеся преимущественно после обводнения (снизу)

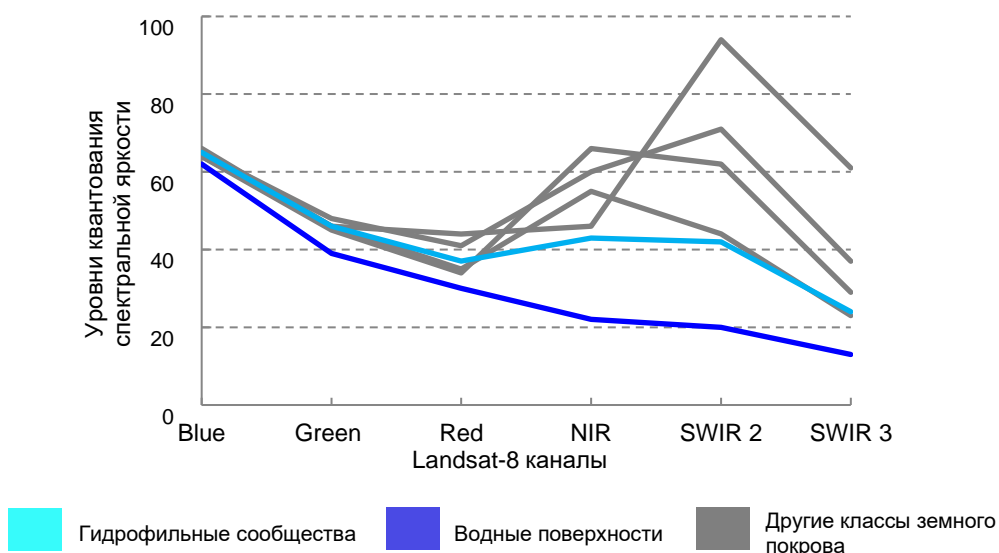


Рисунок V.7.2 – Средние значения спектральной яркости на примере каналов съемки Landsat-8 для двух классов, характеризующих обводненные торфяники (гидрофильные сообщества и водные поверхности) и других классов земного покрова

При обработке данных проводится предварительная подготовка снимков, включая, при необходимости, геометрическую и атмосферную коррекцию. Для каждого класса на основе имеющихся наземных данных и визуального экспертного анализа определяются опорные наземные площади. С использованием обучающей выборки проводится попиксельная классификация с обучением методом минимального расстояния («minimum distance»). На рисунке V.7.2 показаны средние значения спектральной яркости площадей, относящиеся к обводненным торфяникам (rewetted organic soils), на фоне распознаваемых классов земной поверхности, полученных на основе используемых многоспектральных спутниковых изображений и данных обучающей выборки.

На рисунке V.7.3. показано разделение классов с использованием разных спектральных каналов на примере данных Landsat-8. Возможно занижение площадей класса «гидрофильные сообщества» из-за зарастания древесно-кустарниковой растительностью. Для повышения точности классификации (Медведева и др., 2011; Сирин и др. 2020; Sirin et al., 2018; 2020) и улучшения выделения класса «гидрофильные сообщества» используются данные за снежный период: покрытые снегом нелесные территории более эффективно отделяются от лесных с уже опавшим с крон снегом по методу классификации без обучения «ISODATA» (Маслов и др., 2016).

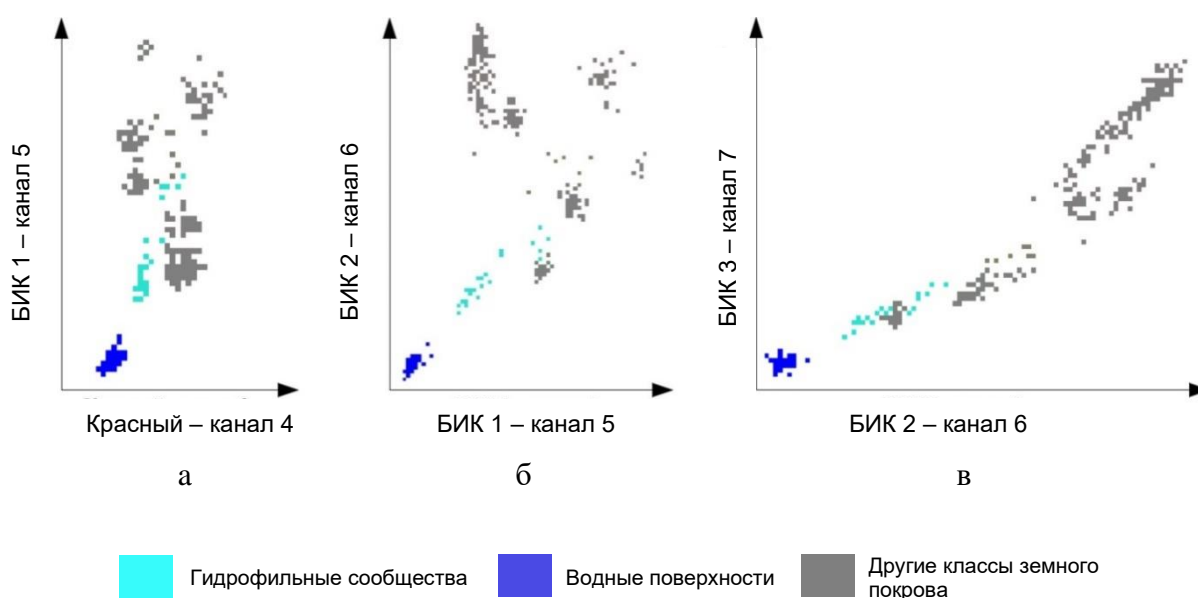


Рисунок V.7.3 – Области разных классов в двумерном пространстве значений спектральной яркости для различных сочетаний каналов Landsat-8. Видно близкое расположение пикселей областей классов данных обучения в спектральных диапазонах Красный – БИК (а); в других диапазонах пиксели расположены более свободно, что определяет более точное разделение классов (б) и (в).

Используемые спутниковые данные

Для анализа состояния торфяников в период вегетационного сезона использовались композитные изображения Sentinel-2 за август 2024 года и за снежный период для Московской и Тверской областей, снимки Landsat-8 за 31 августа 2024 года и за снежный период 17 марта 2024 года для НП Мещера. Для анализа в период вегетационного сезона массива Берказан-Камыш (Республика Башкортостан) использовались данные Landsat-8 за 07 августа 2024 года и для зимнего периода использовались композиты Sentinel-2 (Кашницкий и др., 2022).

Площади обводненных торфяников по субъектам Российской Федерации (на 2024 г.)

В таблице V.7.1 представлены оценки площадей обводненных торфяников по субъектам Российской Федерации на 2024 г.

Таблица V.7.1

Площади, предлагаемые для отнесения к обводненным торфяникам – гидрофильные сообщества и водные поверхности («rewetted organic soils» и «flooded lands» соотв., IPCC 2014, 2019) для включения в «Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом», по субъектам Российской Федерации.

Субъект Российской Федерации	Общая площадь объектов обводнения*, (га)	Обводненные торфяники, (га)	В том числе (га)	
			Гидрофильные сообщества	Водные поверхности
Московская область	73186	15348	11824	3524
Владимирская область**	7269	2410	2293	117
Тверская область	16277	5030	4667	363
Республика Башкортостан***	1071	310	293	17
Всего	96732	23098	19077	4021

* – справочная информация,

** – Национальный парк «Мещера»,

*** – урочище «Берказан Камыш», Природный парк Аслы-Куль

Проведение обводнения

Обводнение в Московской области проводилось в период с осени 2010 по конец 2013 года. В 2014 году гидротехнические объекты были переданы для обслуживания специализированной организации МОС АВС (Обводнение ..., 2021). В Тверской области обводнение осуществлялось с разной интенсивностью, начиная с 2002, по 2018 год. Работы по обводнению могли происходить на разных торфяных массивах в несколько этапов, в некоторых случаях с перерывом. Эффект воздействия сооружения ГТС на изменение водного режима может растягиваться на несколько лет.

Коэффициенты эмиссии, предлагаемые для обводненных торфяников

Коэффициенты эмиссии/поглощения (emission factors – EF) парниковых газов для обводненных торфяников (rewetted organic soils) рассмотрены в главе 3 (Chapter 3. «Rewetted organic soils») Дополнения к Руководству МГЭИК 2006 (IPCC, 2006) по водно-болотным угодьям (IPCC, 2014). Коэффициенты эмиссии для водно-болотных угодий (wetlands), которые относятся к категории затопленных земель (flooded lands), были обновлены в Уточнении 2019 года к Руководящим принципам МГЭИК (IPCC, 2019).

После принятия Дополнения к Руководству МГЭИК 2006 по водно-болотным угодьям (IPCC, 2014) была проведена актуализация и частичная корректировка рекомендуемых оценок (Wilson et al., 2016), подготовленных и опубликованных авторами главы 3 «Rewetted organic soils» указанного Дополнения. В настоящее время идет работа по анализу данных, полученных, в том числе, в Республике Беларусь и Российской Федерации для предложения специфичных для страны («country specific») коэффициентов эмиссии/поглощения диоксида углерода и метана для осушенных и обводненных торфяников. Эти данные в виде коэффициентов эмиссии, приведенных к годовым значениям, до настоящего времени не опубликованы в рецензируемых научных изданиях и не пока могут быть рекомендованы согласно требованиям МГЭИК/РКИК ООН для использования в национальной отчетности.

На данном этапе предлагается использовать для обводненных торфяников коэффициенты эмиссии диоксида углерода и метана, закиси азота, а также значения выноса растворенного углерода – dissolved organic carbon (DOC), приведенные в таблице V.7.2.

Для площадей с гидрофильными сообществами предлагается использовать значения по умолчанию (default factors) для коэффициентов эмиссии диоксида углерода, метана, закиси азота и для выноса растворенного углерода (dissolved organic carbon – DOC), данных в Дополнении МГЭИК (IPCC, 2014) для обводненных торфяников («rewetted organic soils») с учетом предложенного разделения площадей по богатству почвы (трофности) на богатые («rich») и бедные («poor»). Согласно Дополнению МГЭИК (IPCC, 2014), ключевым критерием при разделении почв по богатству является электропроводность почвенной влаги, которая в бедных торфяных почвах обычно составляет 40–50 $\mu\text{S cm}^{-1}$ и менее, а в богатых от 50 $\mu\text{S cm}^{-1}$ и более (Rydin, Jeglum 2006).

Для «водных поверхностей» предлагается использовать коэффициенты эмиссии для затопленных земель (flooded lands) (табл. III.3.2), данные в Уточнении 2019 года к Руководящим принципам МГЭИК 2006 года по национальным инвентаризациям парниковых газов (IPCC, 2019). Отнесение рассматриваемых территорий к климатическим условиям сделано согласно климатическим зонам МГЭИК (Приложение 3А.5.1 на стр. 3.38, IPCC, 2006) в ее уточненной версии (Приложение 3А.5.1 на стр. 3.47, IPCC, 2019), которые корректировке не подвергались.

Таблица V.7.2

Коэффициенты эмиссии для обводненных торфяников – среднее значение
(в скобках – 95% доверительный интервал)

Агент	Единицы	Владимирская, Московская, Тверская области	Источник данных
Обводненные органогенные почвы «rewetted organic soils» (IPCC, 2014)			
CO₂	тCO ₂ -C га ⁻¹ год ⁻¹	0,50 (-0,71–1,71) Temperate rich	IPCC 2014, стр. 3.12, табл. 3.1
DOC		0,24 (0,14–0,36) Temperate	IPCC 2014, стр. 3.14, табл. 3.2
CH₄ оп	кгCH ₄ -C га ⁻¹ год ⁻¹ †	216 (3–445) Temperate rich	IPCC 2014, стр. 3.18, табл. 3.3
CH₄ кн		216*	—
N₂O	кгN ₂ O-N га ⁻¹ год ⁻¹	Незначительная (“negligible”)	IPCC 2014, стр. 3.19
Затопленные земли «flooded lands» (IPCC, 2019)			
CO₂	тCO ₂ -C га ⁻¹ год ⁻¹	1,02 (1,00–1,04) Cool temperate	IPCC 2019, стр. 7.23, табл. 7.13
DOC		0**	—
CH₄ оп	кгCH ₄ га ⁻¹ год ⁻¹	84,7 (78,8–90,6) Cool temperate	IPCC 2019, стр. 7.26, табл. 7.15
CH₄ кн		84,7*	—
N₂O	кгN ₂ O-N га ⁻¹ год ⁻¹	0***	IPCC 2019, стр. 7.24

CH₄ оп и CH₄ кн – эмиссия метана с основной поверхности и канала соответственно.

† – значения даны в кгCH₄-C га⁻¹ год⁻¹.

* – эмиссия метана принята 216 и 84,7 в связи с перекрытием каналов для обводненных органогенных почв и затопленных земель, соответственно.

** – эмиссия CO₂, обусловленная выносом растворенного углерода, принята 0 в связи с сокращением стока с обводненных территорий.

*** – эмиссия закиси азота принята 0 в связи с комментарием МГЭИК (IPCC 2019), о том, что она определяется окружающими управляемыми землями.

Выбросы от парниковых газов от вторично обводненных торфяников представлены в таблице V.7.3. Итоговые значения выбросов парниковых газов от вторично обводненных торфяников, занимающих площадь 21751 га, в 2024 г. составили 213,5 тыс. т CO₂-экв.

Таблица V.7.3

Выбросы парниковых газов от вторично обводненных торфяников

Субъект Российской Федерации	Гидрофильная растительность	Водные поверхности	Итого
Площадь, га			
Московская область	10874	3883	14757
Владимирская область	2186	72	2258
Тверская область	3936	505	4441
Республика Башкортостан	272	23	295
Итого	17 268	4 483	21751
Эмиссия, т CO₂ год⁻¹			
Московская область	21 677,3	13 179,8	34 857,1
Владимирская область	4 203,8	437,6	4 641,4
Тверская область	8 556,2	1 357,6	9 913,8
Республика Башкортостан	537,2	63,6	600,7
Итого	34 974,5	15 038,5	50 013,0
Эмиссия, т CH₄ год⁻¹			
Московская область	3 405,3	298,5	3 703,8
Владимирская область	660,4	9,9	670,3
Тверская область	1 344,1	30,7	1 374,8
Республика Башкортостан	84,4	1,4	85,8
Итого	5 494,2	340,6	5 834,8
Вынос растворенного органического вещества, т CO₂ год⁻¹			
Московская область	10 405,1	0	10 405,1
Владимирская область	2 017,8	0	2 017,8
Тверская область	4 107,0	0	4 107,0
Республика Башкортостан	257,8	0	257,8
Итого	16 787,8	0	16 787,8
Суммарная эмиссия, т CO₂-экв. год⁻¹			
Московская область	127431,2	21537,3	148968,5
Владимирская область	24712,4	715,1	25427,5
Тверская область	50297,8	2218,5	52516,3
Республика Башкортостан	3157,8	103,9	3261,7
Итого	205599,2	24574,7	230173,9

Оценка площади торфяных пожаров на нарушенных торфяниках по данным температурных аномалий MODIS⁴

В специализированную Базу данных (БД) торфяных месторождений регионов Российской Федерации, разработанную Институтом лесоведения РАН, были интегрированы научные данные и отраслевые, в том числе результаты инвентаризации торфяных залежей, почвенные, геоботанические, топографические карты, и другие источники исходной информации.

Для оценки площадей торфяных пожаров были использованы данные о температурных аномалиях, выделенных по спутниковым снимкам из Коллекции 6 Terra/Aqua MODIS, предоставленные Центром коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» Института космических исследований РАН (<http://ckp.geosmis.ru/>). Площади торфяных пожаров оценивались путем пересечения границ всех природных пожаров с границами нарушенных торфяников БД торфяных месторождений регионов РФ. Данные по торфяным пожарам представлены в таблице V.7.4. Неопределенность оценки площадей торфяных пожаров составляет ±4% (Лупян и др., 2021; Сирин и др., 2023).

⁴ Подготовлено к.б.н., заместителем директора по проектной деятельности, с.н.с. ИЛАН РАН М.А. Медведевой

Площади пожаров на нарушенных торфяниках

Годы	Площади торфяных пожаров, га				
	Московская область	Владимирская область	Тверская область	Республика Башкортостан	Итого
2001	588,7	2305,2	79,3	65,9	3039,1
2002	42728,0	30700,7	40856,2	61,1	114346,0
2003	855,4	423,3	3083,3	388,7	4750,7
2004	1956,6	609,5	539,0	334,0	3439,1
2005	2113,3	1671,9	282,4	59,2	4126,7
2006	14082,3	2866,8	9236,0	663,7	26848,8
2007	8053,0	14921,3	3336,2	14,3	26324,7
2008	2797,7	331,2	2021,5	807,9	5958,2
2009	11132,9	2322,8	3435,9	91,9	16983,5
2010	45548,5	29311,6	14480,9	392,5	89733,5
2011	6458,8	1587,0	902,2	28,1	8976,1
2012	121,0	134,0	162,9	71,2	489,1
2013	400,3	267,8	172,8	25,1	865,9
2014	3418,5	1217,5	8178,3	63,5	12877,8
2015	3089,5	587,1	1181,8	72,7	4931,2
2016	1187,0	343,7	468,8	13,5	2013,0
2017	2027,6	267,8	138,1	5,0	2438,4
2018	1665,8	1358,5	632,7	98,0	3755,0
2019	2417,5	698,2	691,9	135,2	3942,8
2020	2031,2	229,3	362,9	36,0	2659,3
2021	698,6	584,0	423,7	40,6	1746,8
2022	104,3	686,5	313,0	3,4	1107,2
2023	665,9	77,7	155,5	51,8	950,9
2024	338,2	324,2	410,7	0,1	1073,2
2025	289,7	181,1	93,2	18,3	582,3

V.8 – Общие изменения запасов углерода пахотных земель, переведённых в луговые угодья, за 50 лет переходного периода по субъектам Российской Федерации

Таблица V.8.1

Общие изменения запасов углерода пахотных земель, переведённых в луговые угодья, за 50 лет переходного периода по субъектам Российской Федерации

№	Субъекты Российской Федерации	Накопление за 50 лет, т С · га ⁻¹
1	Архангельская область	35,99
2	Ненецкий авт. округ	29,98
3	Вологодская область	0,86
4	Мурманская область	0,47
5	Республика Карелия	0,63
6	Республика Коми	0,61
7	Ленинградская область	1,28
8	Новгородская область	28,77
9	Псковская область	30,47
10	Калининградская область	1,28
11	Брянская область	34,67
12	Владимирская область	43,01
13	Ивановская область	40,72
14	Тверская область	35,95
15	Калужская область	40,86
16	Костромская область	35,83
17	Московская область	27,38
18	Орловская область	39,97
19	Рязанская область	46,31
20	Смоленская область	26,04
21	Тульская область	41,07
22	Ярославская область	32,73
23	Нижегородская область	48,05
24	Кировская область	39,13
25	Республика Марий-Эл	43,96
26	Республика Мордовия	62,72
27	Чувашская Республика	47,78
28	Белгородская область	39,94
29	Воронежская область	33,07
30	Курская область	39,58
31	Липецкая область	47,19
32	Тамбовская область	55,58
33	Астраханская область	9,85
34	Волгоградская область	9,91
35	Самарская область	27,77
36	Пензенская область	42,74
37	Саратовская область	8,33
38	Ульяновская область	55,03
39	Республика Калмыкия	35,93
40	Республика Татарстан	53,13

№	Субъекты Российской Федерации	Накопление за 50 лет, т С · га ⁻¹
41	Краснодарский край	6,32
42	Республика Адыгея	14,66
43	Ставропольский край	4,68
44	Карачаево-Черкесская Республика, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Северная Осетия - Алания, Республика Ингушетия, Чеченская Республика	12,35
45	Ростовская область	16,03
46	Республика Дагестан	16,42
47	Курганская область	11,02
48	Оренбургская область	17,61
49	Пермский край	26,57
50	Коми-Пермяцкий авт. округ Пермского края	31,94
51	Свердловская область	27,14
52	Челябинская область	23,35
53	Республика Башкортостан	29,98
54	Удмуртская Республика	47,55
55	Алтайский край	27,11
56	Республика Алтай	48,53
57	Кемеровская область	38,42
58	Новосибирская область	39,40
59	Омская область	33,63
60	Томская область	36,65
61	Тюменская область	46,69
62	Ханты-Мансийский авт. округ	39,14
63	Ямало-Ненецкий авт. округ	39,14
64	Красноярский край	35,62
65	Республика Хакасия	31,94
66	Иркутская область	20,18
67	Усть-Ордынский Бурятский округ Иркутской области	36,84
68	Забайкальский край	17,90
69	Агинский Бурятский округ Иркутской области	34,15
70	Республика Бурятия	32,88
71	Республика Тыва	36,62
72	Приморский край	23,08
73	Хабаровский край	35,24
74	Еврейская авт. область	31,00
75	Амурская область	29,26
76	Камчатский край	56,33
77	Корякский округ Камчатского края	98,16
78	Магаданская область	76,90
79	Чукотский авт. округ	76,90
80	Сахалинская область	85,66
81	Республика Саха (Якутия)	59,78

**ПРИЛОЖЕНИЕ VI – Сокращения,
условные обозначения и единицы
измерения**

VI.1 - Сокращения и условные обозначения

<i>АТС</i>	<i>Автотранспортное средство</i>
<i>АО</i>	<i>Акционерное общество</i>
<i>БД</i>	<i>База данных</i>
<i>БПК</i>	<i>Биохимическое потребление кислорода</i>
<i>ВВП</i>	<i>Валовый внутренний продукт</i>
<i>ВИП ГЗ</i>	<i>Важнейший инновационный проект государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ»</i>
<i>ВМО</i>	<i>Всемирная метеорологическая организация</i>
<i>ВМР</i>	<i>Вторичные материальные ресурсы</i>
<i>ВОЗ</i>	<i>Всемирная организация здравоохранения</i>
<i>ВСХП-2016</i>	<i>Всероссийская сельскохозяйственная перепись 2016 г.</i>
<i>ГИБДД МВД РФ</i>	<i>Государственная инспекция безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел Российской Федерации</i>
<i>ГИЛ</i>	<i>Государственная инвентаризация лесов</i>
<i>ГИС</i>	<i>Геоинформационная система</i>
<i>ГЛР</i>	<i>Государственный лесной реестр</i>
<i>ГК «Росатом»</i>	<i>Государственная корпорация по атомной энергии</i>
<i>ГО ВТ</i>	<i>Гидроочистка вакуумного газойля</i>
<i>ГО ДТ</i>	<i>Гидроочистка дизельного топлива</i>
<i>ГОК</i>	<i>Горно-обогатительный комбинат</i>
<i>Госсанэпиднадзор</i>	<i>Государственная санитарно-эпидемиологическая служба Российской Федерации</i>
<i>ГУЛФ</i>	<i>Государственный учет лесного фонда</i>
<i>ДВП</i>	<i>Древесноволокнистая плита</i>
<i>ДЗЗ</i>	<i>Дистанционное зондирование Земли</i>
<i>ДСП</i>	<i>Древесно-стружечная плита</i>
<i>ДРЛОиУ</i>	<i>Дальнее радиолокационное обнаружение и управление</i>
<i>ЕАЭС</i>	<i>Евразийский экономический союз</i>
<i>ЕГРПР</i>	<i>Единый государственный реестр почвенных ресурсов России</i>

<i>ЕМИСС</i>	<i>Единая межведомственная информационно-статистическая система</i>
<i>ЕС</i>	<i>Европейский союз</i>
<i>ЕТР</i>	<i>Европейская территория России</i>
<i>ЕУК</i>	<i>Единица установленного количества</i>
<i>ЕЧР</i>	<i>Европейская часть России</i>
<i>ЖБО</i>	<i>Жидкие бытовые отходы</i>
<i>ЗАО «ЦНИИМФ»</i>	<i>Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота</i>
<i>ЗИЗЛХ</i>	<i>Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство</i>
<i>ЗЛМ</i>	<i>Заготовленные лесоматериалы</i>
<i>ИАА «ПортНьюс»</i>	<i>Информационно-аналитическое агентство «ПортНьюс»</i>
<i>ИГКЭ</i>	<i>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академии наук» (ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН»)</i>
<i>ИКИ РАН</i>	<i>Институт космических исследований Российской академии наук</i>
<i>ИЛАН РАН</i>	<i>Институт лесоведения Российской академии наук</i>
<i>ИСДМ-Рослесхоз</i>	<i>Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства</i>
<i>КАО «Азот»,</i>	<i>Кемеровское акционерное общество «Азот»</i>
<i>КБС</i>	<i>Коммунально-бытовые сточные воды</i>
<i>КПГ</i>	<i>Компримированный природный газ</i>
<i>КраЗе</i>	<i>Кременчугский автомобильный завод</i>
<i>КРС</i>	<i>Крупный рогатый скот</i>
<i>МАДИ</i>	<i>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет</i>
<i>МГЭИК</i>	<i>Межправительственная группа экспертов по изменению климата</i>
<i>ММО</i>	<i>Международная морская организация</i>
<i>МСЗ</i>	<i>Мусоросжигательный завод</i>
<i>Минжилкомхоз РСФСР</i>	<i>Министерство жилищно-коммунального хозяйства РСФСР</i>
<i>Минздрав России</i>	<i>Министерство здравоохранения Российской Федерации</i>
<i>Минприроды России</i>	<i>Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации</i>
<i>Минпромторг России</i>	<i>Министерство промышленности и торговли Российской Федерации</i>

<i>Минстрой России</i>	<i>Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации</i>
<i>Минтранс России</i>	<i>Министерство транспорта Российской Федерации</i>
<i>Минэнерго России</i>	<i>Министерство энергетики Российской Федерации</i>
<i>МОС АВС</i>	<i>Государственное казенное учреждение Московской области «Московская областная специализированная аварийно-восстановительная служба»</i>
<i>МЭА</i>	<i>Международное энергетическое агентство</i>
<i>НДК</i>	<i>Национальный доклад о кадастре</i>
<i>НИИАТ</i>	<i>Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта</i>
<i>НИИСХ</i>	<i>Научно-исследовательский институт сельского хозяйства</i>
<i>НМЛОС</i>	<i>Неметановые летучие органические соединения</i>
<i>НПЗ</i>	<i>Нефтеперерабатывающий завод</i>
<i>НП «Мецера»</i>	<i>Национальный парк «Мецера»</i>
<i>НТП-АПК</i>	<i>Нормы технологического проектирования</i>
<i>ОАО ФЦГС «Экология»</i>	<i>Открытое акционерное общество «Федеральный центр геоэкологических систем»</i>
<i>ОАО «ЧЦЗ»</i>	<i>ОАО Челябинский цинковый завод</i>
<i>ОК РУСАЛ</i>	<i>Объединенная компания РУСАЛ</i>
<i>ОКВЭД</i>	<i>Общероссийский классификатор видов экономической деятельности</i>
<i>ОКПД</i>	<i>Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности</i>
<i>ОНТП</i>	<i>Общесоюзная норма технологического проектирования</i>
<i>ООО</i>	<i>Общество с ограниченной ответственностью</i>
<i>ООО «ИПЭиГ»</i>	<i>ООО Институт Проектирования, Экологии и Гигиены</i>
<i>ООО</i>	<i>ООО «Сибирская генерирующая компания»</i>
<i>ООПТ</i>	<i>Особо охраняемая природная территория</i>
<i>ООС</i>	<i>Органические остатки сортировки</i>
<i>ОПИ</i>	<i>Коэффициент окисления при использовании</i>
<i>ОСВ</i>	<i>Отстой сточных вод (осадок и ил)</i>
<i>ОСТ</i>	<i>Отраслевой стандарт</i>
<i>ОТО</i>	<i>Общие таблицы отчетности национальных кадастров парниковых газов</i>
<i>ОФД</i>	<i>Общая форма доклада</i>
<i>ОЭМК</i>	<i>Оскольский электрометаллургический комбинат</i>
<i>ПАО «Газпром»</i>	<i>Публичное акционерное общество «Газпром»</i>

<i>ПАО НЛМК</i>	<i>Публичное акционерное общество «Новолипецкий металлургический комбинат»</i>
<i>ПВХ</i>	<i>Поливинилхлорид</i>
<i>ПГ</i>	<i>Парниковый газ</i>
<i>ПГП</i>	<i>Потенциал глобального потепления</i>
<i>ППБ</i>	<i>Правила противопожарной безопасности</i>
<i>ППИП</i>	<i>Промышленные процессы и использование продукции</i>
<i>ППП ГИЛ</i>	<i>Постоянная пробная площадь государственной инвентаризации лесов</i>
<i>РАН</i>	<i>Российская Академия Наук</i>
<i>РАСХН</i>	<i>Российская академия сельскохозяйственных наук (Россельхозакадемия)</i>
<i>РАО «ЕЭС России»</i>	<i>Российское акционерное общество «ЕЭС России»</i>
<i>РКИК ООН</i>	<i>Рамочная Конвенция ООН об изменении климата</i>
<i>Росавиация</i>	<i>Федеральное агентство воздушного транспорта</i>
<i>Росалкогольрегулирование</i>	<i>Федеральная служба по регулированию алкогольного рынка</i>
<i>Росводоресурс</i>	<i>Федеральное агентство водных ресурсов</i>
<i>Росгидромет</i>	<i>Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды</i>
<i>Рослесхоз</i>	<i>Федеральное агентство лесного хозяйства</i>
<i>Росприроднадзор</i>	<i>Федеральная служба по надзору в сфере природопользования</i>
<i>Росреестр</i>	<i>Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии</i>
<i>Росстат</i>	<i>Федеральная служба государственной статистики</i>
<i>РУЭП-ЗИЗЛХ</i>	<i>Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства</i>
<i>РФ</i>	<i>Российская Федерация</i>
<i>СНГ</i>	<i>Содружество независимых государств</i>
<i>СНиП</i>	<i>Строительные нормы и правила</i>
<i>СПГ</i>	<i>Сжиженный природный газ</i>
<i>СТО</i>	<i>Свалки (полигоны) твердых отходов</i>
<i>СУЭК</i>	<i>АО «Сибирская угольная энергетическая компания»</i>
<i>ТКО</i>	<i>Твердые коммунальные отходы</i>
<i>ТП</i>	<i>Тестовый полигон</i>
<i>ТПО</i>	<i>Твердые промышленные отходы</i>
<i>ТУ</i>	<i>Технические условия</i>
<i>ТЭБ</i>	<i>Топливо-энергетический баланс</i>

<i>ТЭС</i>	<i>Тепловая электростанция</i>
<i>ТЭР</i>	<i>Топливо-энергетические ресурсы</i>
<i>ТЭЦ</i>	<i>Теплоэлектроцентраль</i>
<i>УДС</i>	<i>Улично-дорожная сеть</i>
<i>ФАО</i>	<i>Продовольственная и сельскохозяйственная организация Организации Объединённых Наций</i>
<i>ФАУ «ФЦС»</i>	<i>Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве»</i>
<i>ФГБУ «ИГКЭ»</i>	<i>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Изразля»</i>
<i>ФГБУ РЭА Минэнерго России</i>	<i>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российское энергетическое агентство» Министерства энергетики Российской Федерации</i>
<i>ФГБУ «ЦДУ ТЭК»</i>	<i>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса»</i>
<i>ФЗ</i>	<i>Федеральный закон</i>
<i>ФТС России</i>	<i>Федеральная таможенная служба Российской Федерации</i>
<i>ХПК</i>	<i>Химическая потребность в кислороде</i>
<i>ЦБСД</i>	<i>Центральная база статистических данных Росстата</i>
<i>ЦДУ ТЭК</i>	<i>Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса</i>
<i>ЦЭНЭФ</i>	<i>Центр по эффективному использованию энергии</i>
<i>ЦЭПЛ РАН</i>	<i>Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А.С. Исаева Российской Академии Наук</i>
<i>IE¹⁾</i>	<i>Включено в другом месте (Included elsewhere)</i>
<i>NA¹⁾</i>	<i>Не применимо (Not applicable)</i>
<i>NE¹⁾</i>	<i>Не оценивалось (Not estimated)</i>
<i>NO¹⁾</i>	<i>Отсутствует (Not occurring)</i>

¹⁾ Условное обозначение согласно Пересмотренным руководящим принципам РКИК ООН для представления информации о годовых кадастрах⁵

⁵ Документ FCCC/CP/2013/10/Add.3 (<http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/rus/10a03r.pdf>)

VI.2 - Формулы и обозначения химических соединений и наименования промышленной продукции

<i>CaO</i>	<i>Оксид кальция (окись кальция, негашеная известь)</i>
<i>CH₄</i>	<i>Метан</i>
<i>CO</i>	<i>Оксид углерода (окись углерода)</i>
<i>CO₂</i>	<i>Диоксид углерода (углекислый газ)</i>
<i>CO₂-экв.</i>	<i>Эквивалент диоксида углерода</i>
<i>HFC (ГФУ)</i>	<i>Гидрофторуглероды</i>
<i>ПФУ</i>	<i>Перфторуглероды</i>
<i>HNO₃</i>	<i>Азотная кислота</i>
<i>MgO</i>	<i>Оксид магния</i>
<i>N₂O</i>	<i>Оксид азота (I), (оксид диазота, закись азота)</i>
<i>NF₃</i>	<i>Фторид азота (III) (трифторид азота)</i>
<i>NO_x</i>	<i>Оксиды азота (за исключением N₂O)</i>
<i>SF₆</i>	<i>Гексафторид серы (элегаз)</i>
<i>SO₂</i>	<i>Оксид серы (IV), (диоксид серы, двуокись серы, сернистый газ)</i>

VI.3 - Внесистемные единицы измерения

<i>°С</i>	<i>Градус Цельсия</i>
<i>га</i>	<i>Гектар</i>
<i>Дж</i>	<i>Джоуль</i>
<i>кВт-ч</i>	<i>Киловатт-час</i>
<i>м³</i>	<i>Метр кубический</i>
<i>т</i>	<i>Тонна</i>
<i>т.у.т.</i>	<i>Тонна условного топлива</i>

VI.4 - Дольные и кратные единицы измерения

Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки		Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		Между-народное	Русское			Между-народное	Русское
10^{15}	пета	P	П	10^1	дека	da	да
10^{12}	тера	T	Т	10^{-1}	деци	d	д
10^9	гига	G	Г	10^{-2}	санти	c	с
10^6	мега	M	М	10^{-3}	милли	m	м
10^3	кило	k	к	10^{-6}	микро	μ	мк
10^2	гекто	h	г	10^{-9}	нано	n	н

ПРИЛОЖЕНИЕ VII – Общие таблицы отчетности

В соответствии с решением 18/СМА.1 Конференции Сторон, действующей в качестве совещания Сторон Парижского соглашения, Общие таблицы отчетности для представления информации, содержащейся в национальных докладах о кадастрах антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов (ОТО) разрабатываются и представляются в секретариат РКИК ООН в электронном формате. ОТО размещаются на сайте секретариата РКИК ООН в сети Интернет.⁶

⁶ <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review/reporting-and-review-under-the-paris-agreement/national-inventory-reports>

Литература и источники данных

Литература и источники данных к разделу 1

Груза Г.В., Ранькова Э.Я. (2012). Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. – Обнинск, ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», ВНИИГМИ-МЦД, – 194 с.

ГУ ИГКЭ (2007) Регламент хранения и архивирования в ГУ ИГКЭ Росгидромета и РАН данных, относящихся к национальному кадастру антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов Российской Федерации. – М.: ИГКЭ.

ГУ ИГКЭ (2007а). Порядок обеспечения и контроля качества национального кадастра парниковых газов, подготавливаемого в ГУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН» - М.: ИГКЭ.

Кароль И.Л., Киселев А.А. (2013). Парадоксы климата. Ледниковый период или обжигающий зной? – М.: АСТ-ПРЕСС КНИГА, – 288 с.

МГЭИК (2013). Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа. Вклад рабочей группы I в пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. МГЭИК, – 222 с.

Правительство Российской Федерации. (2019). Постановление от 21 сентября 2019 г. № 1228. О принятии Парижского соглашения.

МГЭИК (2006). Руководящие принципы МГЭИК 2006 года для национальных кадастров парниковых газов. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК-ИГЭС-ОЭСР-МЭА, ИГЕС, Япония.

Росгидромет (2014). Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М., – 60 с.

Росгидромет (2023). Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. – М., – 108 с.

Росгидромет (2022а). Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. С-Пб., - 126 с.

Российская Федерация. 1994. Федеральный закон от 4 ноября 1994 г. № 34-ФЗ. Собрание законодательства Российской Федерации от 1994 г., № 28, 2927 с.

Российская Федерация (2004). Федеральный закон от 4 ноября 2004 г. № 128-ФЗ. Собрание законодательства Российской Федерации от 2004 г., –№ 45, – 4378 с.

IPCC (2014а). 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

IPCC (2014b) Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M. and Troxler T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

IPCC (2023). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. – 1-34 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

WMO (2015). Understanding climate, (https://www.wmo.int/pages/themes/climate/understanding_climate.php)

Литература и источники данных к разделу 3

Акопова Г.С., Круглова Н.Ю., Юлкин Г.М. (2012). Результаты инвентаризации выбросов метана на примере пилотного проекта ООО «Газпром добыча Ямбург» // «Территория Нефтегаз». –№ 9, –76-81 с.

Башмаков И.А., Мышак А.Д. (2012). Факторы, определяющие динамику выбросов парниковых газов в секторе «Энергетика» России. Анализ на основе данных национального кадастра. –М.: АНО «Метеоагентство Росгидромета». – 131с.

Бердин, В.Х., Уледова, Н.В., Кевбрина, И.А., Миронов, А.А., Попов, Н.В., Третьяк, О.С., Бобылев, П.М., Кабанов, Н.С., Гитарский, М.Л. (2024) Актуализация оценок эмиссии метана в угледобывающей промышленности России, Фундаментальная и прикладная климатология, т. 10, № 4, с. 541-560, doi:10.21513/2410-8758-2024-4-541-560.

Внутренний рынок газа (2015). Экспертно-аналитический доклад// Фонд национальной энергетической безопасности, – М., – 17 с.

Векилов Э.Х., Демидюк Л.М., Дмитриев А.М., Перемятова Н.А., Фридман А.И. (1992). Предварительная оценка эмиссии парниковых газов (CO₂, CH₄), выделяющихся из объектов горной, нефтегазодобывающей промышленности и сравнительный анализ антропогенной и естественной эмиссии на территории Российской Федерации. Объяснительная записка. – М.: Инженерный центр по оценке геологического и техногенного риска. – 102 с.

Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР (1979). В 3-х т. / Гл. ред.: А.И. Кравцов, – М.: Недра.

ГОСТ 30319.1-96 «Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки».

ГОСТ Р 54097-2010. Наилучшие доступные технологии. Методология идентификации

Годовой отчет ПАО «Газпром» за 2015 год
(<http://www.gazprom.ru/f/posts/26/228235/gazprom-annual-report-2015-ru.pdf>)

Грабар В.А., Дмитриева Т.М., Гитарский М.Л. (2009). К оценке атмосферной эмиссии диоксида углерода от международных авиаперевозок. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – М.: ИГКЭ. –т. XXII. –207-215 с.

Грабар В.А., Гитарский М.Л., Дмитриева Т.М., Глуховская Е.П., Хорькова Н.И., Киричков С.В. (2011). Оценка эмиссии парниковых газов от гражданской авиации в России. Метеорология и гидрология. – №1, –30-38 с.

Грабар В.А., Гитарский М.Л., Говор И.Л., Чернов В.В. (2015). Эмиссия парниковых газов при международном сообщении водным транспортом. Экология и промышленность России. –№ 11, с. 28-31.

Демиденко К.А. (2000). Нефти и газовые конденсаты России: Справочник. – Т.1. Нефти Европейской части и газовые конденсаты России. (Под ред. К.А. Демиденко). – М.: ООО «ТУМА ГРУПП». Издательство «Техника». – 192 с.

Демиденко К.А. (2002). Нефти и газовые конденсаты России: Справочник. – Т.2. Нефти Сибири. (Под ред. К.А. Демиденко). – М.: ООО «ТУМА ГРУПП». Издательство «Техника». – 160 с.

Зяблицкая Н.В. (2012). Общая характеристика развития ХМАО – Югры // Теория и практика общественного развития. –№ 10. –299-302 с.

Ишков А., Романов К., Колошкин Е., Неретин Д., Романовская К., Нахутин А., Попов В., Третьяк О. (2024). Применение уточненных коэффициентов выбросов парниковых газов при транспортировке и хранении природного газа в национальном кадастре России // Энергетическая политика. Т. 7. С. 26-37.

Ишков А.Г., Акопова Г.С., Круглова Н.Ю., Юлкин Г.М., Арабский А.К., Арно О.Б. (2014) Патент на изобретение № 2515242, дата регистрации 13.03.2014 г. Способ утилизации газов выветривания.

Комков В.И. (2015). Расчет выбросов парниковых газов и их предшественников от автотранспортного транспорта Российской Федерации в 1990, 2000, 2005, 2010 и 2013 гг. и представление результатов расчета в национальный кадастр парниковых газов Российской Федерации. Отчет. – М.

Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. (1996). Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта // Итоги науки и техн. ВИНТИ. – Т19. – 340 с. (Автомобильный транспорт).

Лытов, В.М., Трофименко, Ю.В., Гинзбург, В.А., Якубович, А.Н., Шелмаков, С.В., Деянов, Д.А., Шашина, Е.В., Зеленова, М.С., Зайнулин, С.М. (2024). Актуализация оценок выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта в национальном кадастре за 2010-2021 гг., Экологический мониторинг и моделирование экосистем, т. XXXV, No 1-2, с. 101-123, doi:10.21513/0207-2564-2024-1-2-101-123.

Лытов В.М., Трофименко Ю.В., Гинзбург В.А., Якубович А.Н., Шелмаков С.В., Деянов Д.А., Шашина Е.В., Зеленова М.С., Зайнулин С.М. (2024) Реализация транспортной модели для оценки выбросов парниковых газов от автомобильного и внедорожного транспорта на национальном уровне. Системы контроля окружающей среды – 2024 / Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. – Севастополь, 05 – 08 ноября 2024 г. – Севастополь: ИП Куликов А.С., 85 С.

Малышев Ю. Н., Айруни А. Т. (1999). Комплексная дегазация угольных шахт. – М.: Изд-во Акад. горн. наук. – 327с.

МГЭИК (1997). Пересмотренные Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов 1996г. //Т. 1-3. МГЭИК-ОЭСР-МЭА. Париж.

МГЭИК (2000). Руководящие указания по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов. /МГЭИК-ОЭСР-МЭА. // Хайяма.

МГЭИК (2006). Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г./Подготовлены Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Под ред. С. Игглестона, Л.Буэндиа, К.Мива, Т.Нгара и К.Танабе. // Т.1-5. – ИГЕС// Хайяма.

Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты (2022). / Под ред. академика РАН Бондура В.Г., академика РАН Мохова И.И., члена-корреспондента РАН Макоско А.А. – М.: Российская академия наук, 388 с.

Методологические положения по расчету топливно-энергетического баланса Российской Федерации в соответствии с международной практикой (1999). Утверждены постановлением Госкомстата Российской Федерации № 46 от 23.06.1999.

Методические рекомендации «Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте» (2008). – М.: ОАО «НИИАТ» – Компания «Автополис-плюс».

Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации. Утверждены распоряжением МПР № 15-р от 16.04.2015.

Миронов А.А., Бердин В.Х., Уледова Н.В. и др. (2024). Обновленная оценка эмиссии метана в угольной отрасли России. Уголь, № 12, с.26-33.

Назаров И.М., Фридман А.И., Фридман Ш.Д., Воробьев В.А., Перемятова Н.А., Абрамов Н.Р., Бекилов Э.Х., Демидюк Л.М., Дмитриев А.М. (1992). Антропогенная эмиссия метана в странах СНГ и Прибалтики. Метеорология и гидрология. № 11, с. 15-20. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-12-26-33.

НДК (2009). Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2007 гг. – М.– 353 с.

НДК (2011). Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2009 гг. в 2 томах. – М.

НДК (2014). Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2012 гг. в 2 томах. – М.

Об утверждении форм федерального статистического наблюдения и указаний по их заполнению для организации Министерством энергетики Российской Федерации федерального статистического наблюдения за технико-экономическими показателями работы организаций, осуществляющих добычу сырой нефти, нефтяного (попутного) и природного газа: приказ Росстата от 17.11.2023 № 581: [Электронный ресурс]. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=460154> (дата обращения: 22.01.2026).

Отчет в области устойчивого развития (2017). – М.: ПАО «Роснефть». –155 с.
(<https://www.rosneft.ru/Development/reports/>)

Отчет о выбросах парниковых газов за 2023 год / ОАО «Ямал СПГ». – [Б. м.], 2024. – 32 с.

Отчет о выбросах парниковых газов за 2024 год / ОАО «Ямал СПГ». – [Б. м.], 2025. – 32 с.

Отчет по плану управления выбросами за 2020 год / ОАО «Ямал СПГ». – [Б. м.], 2021. – 14 с.

Отчет по плану управления выбросами за 2021 год / ОАО «Ямал СПГ». – [Б. м.], 2022. – 12 с.

ПАО «Газпром» (2024а). Данные за 2012-2021 г., Фонд ФГБУ «ИГКЭ».

ПАО «Газпром» (2024б). Справочник «Газпром в цифрах 2019-2023». – 42 с./ Официальный сайт ПАО "Газпром", электронный ресурс, URL: <https://www.gazprom.ru/f/posts/24/142887/gazprom-in-figures-2019-2023-ru.pdf?ysclid=mbhyvp1idx81690573> (дата обращения 20.01.2025)

Попов Н.В., Говор И.Л., Гитарский М.Л. (2021). Эмиссия парниковых газов от сжигания попутного нефтяного газа в России // Метеорология и гидрология. – №5, –54-61 с.

Постановление Правительства Российской Федерации от 8. 01. 2009 г. № 7 (2009).

Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2010 № 1205 (2010).

Постановление Правительства Российской Федерации от 8.11.2012 г. № 1148 (2012).

Применение уточненных коэффициентов выбросов парниковых газов при добыче и подготовке природного газа в национальном кадастре при оценке выбросов от нефтегазового сектора / А. Г. Ишков, К. В. Романов, П. Б. Попов [и др.] // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2025. – № 2(62). – С. 205-213.

Программа инновационного развития ОАО «Газпром» до 2020 г., утверждена решением Совета директоров ОАО «Газпром» от 01 июня 2011 г. № 1825 (<http://www.gazprom.ru/f/posts/97/653302/programma-razvitiya.pdf>)

Промышленность России (2002-2014). Стат. сб. – М.: Госкомстат России.

Региональный кадастр выбросов парниковых газов в Сахалинской области за 2021 год. – Южно-Сахалинск, 2022. – 110 с.

Региональный кадастр выбросов парниковых газов в Сахалинской области за 2022 год. – Южно-Сахалинск, 2023. – 145 с.

Региональный кадастр выбросов парниковых газов в Сахалинской области за 2023 год. – Южно-Сахалинск, 2024. – 148 с.

Региональный кадастр выбросов парниковых газов в Сахалинской области за 2024 год. – Южно-Сахалинск, 2025. – 148 с.

Российский статистический ежегодник (1996-2024). Стат. сб. Госкомстат России. –М.: Логос.

Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух (2008). – М.: ОАО «НИИАТ».

РД 37.009.015-98. Методическое руководство по определению стоимости автотранспортных средств с учетом естественного износа и технического состояния на момент предъявления.

Реестр наилучших доступных технологий, обеспечивающих экологически безопасное освоение, подготовку, транспортировку, хранение и переработку углеводородного сырья ОАО «Газпром», утвержденный Членом Правления ОАО «Газпром», начальником Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа 17.11.2014 г.

Седьмое национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола (2017). – М.: МПР – Росгидромет. – 348 с. (<https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/national-communications-and-biennial-reports-annex-i-parties/seventh-national-communications-annex-i>)

СТО Газпром 2-1.19-128-2007 Технические нормы выбросов и утечек природного газа от технологического оборудования.

СТО Газпром 031-2007 Методика проведения измерений объемов эмиссии метана в атмосферу на объектах ОАО «Газпром».

Тайлаков, О.В. (2009). Эмиссия метана при добыче угля в России. / Тайлаков О.В. , Кормин А.Н., Гитарский М.Л., Тайлаков В.О. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Том XXII. – М.: ИГКЭ. –216-227 с.

Трофименко Ю.В., Ефремов А.В., Фурсов С.Б. (1992). Упрощенная методика прогнозирования численности парка автотранспортных средств // Совершенствование автомобильных и тракторных двигателей: сборник научных трудов. – М.: МАДИ. – 152 – 27-32 с.

Трофименко Ю.В. (2015). Сбор, анализ и обобщение данных о деятельности автотранспортного транспорта за 1990, 2000, 2005, 2010 и 2013 гг. в формате, необходимом для расчета выбросов парниковых газов, представление обобщенных данных в национальный кадастр парниковых газов Российской Федерации. Отчет. – М.

Уварова Н.Е. (2012). Атмосферная эмиссия парниковых газов от нефтегазового сектора России. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. по спец. Геоэкология. – М.: ИГКЭ. –123 с.

Уварова Н.Е., Грабар В.А., Гитарский М.Л., Нахутин А.И., Дыган М.М., Бердин В.Х. (2017). Национальные параметры для расчета эмиссии парниковых газов в российском нефтегазовом секторе. Экологический вестник России. –№11, –12-17 с.

Указ Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 года № 889 (2008).

ФГБУ «ИГКЭ» (2024). Отчет о научно-исследовательской работе «Осуществление технического перевооружения, цифровизации и актуализации Национального кадастра, совершенствование сбора исходных данных» регистрационный номер 224022600438-3, дата регистрации 22 августа 2024 г.

Экологический отчет (2017). ОАО «Сургутнефтегаз». – 64 с.
(<https://www.surgutneftegas.ru/responsibility/ecology/ekologicheskie-otchety/>)

Эмиссии парникового газа российской системы экспортных газопроводов для транспортировки природного газа (2005). Окончательный отчет. Вуппертальский институт климата, экологии и энергетики, Химический институт Макса Планка. Вупперталь-Майнц. – 54 с.

British Petroleum (2019). BP Statistical Review of World Energy, 68th edition. – 62 p.

COPERT III (2000). Computer programme to calculate emissions from road transport Methodology and emission factors. Version 2.1. ETC/AEM. – November.

COPERT IV (2005). Beta Version Software Description / Santiago Bel, Charis Kouridis, Leonidas Ntziachristos. –Thessaloniki, December. – 52 p.

COPERT IV (2011). Description of new elements in COPERT 4. – Version 9.0. – November

COPERT IV (2012). Компьютерная программа для расчета выбросов, создаваемых дорожным транспортом. Руководство пользователя (версия 9.0). ETC/AEM. – Февраль 2012.

Dedikov J.V., Akopova G.S., Gladkaja N.G., Piotrovskij A.S., Markellov V.A., Salichov S.S., Kaesler H., Ramm A., Muller von Blumencron A., Lelieveld J. (1999). Estimating Methane Releases from Natural Gas Production and Transmission in Russia. Atmospheric Environment. – 3291-3299 p.

EMEP/EEA (2013). Air pollutant emission inventory guidebook .EEA Technicalreport N 12.

Energy Institute (2024). Statistical Review of World Energy 2024: Электронный ресурс, URL: https://www.energyinst.org/__data/assets/pdf_file/0006/1542714/684_EI_Stat_Review_V16_DIGITAL.pdf (дата обращения: 20.01.2025)

Hayhurst A.N., Lawrence A.D. (1992). Emissions of nitrous oxide from combustion sources. Prog. Energy Combwt. Sci. – Vol. IS. – 529-552 p.

2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories/ eds. E. Calvo Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc [et al.]. – Geneva: IPCC, 2019. – Электронный ресурс. – URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/2_Volume2/19R_V2_0_Cover.pdf (дата обращения: 27.01.2026).

IEA, 2006: <http://www.iea.org>

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC/OECD/IEA. –Vol. 2.

IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES/OECD/IEA.

IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (Eds.). – Vol. 2 Energy, IPCC/IGES.

James G. Speight (2015). Subsea and Deepwater Oil and Gas Science and Technology, Gulf Professional Publishing. – 1-43 p.

Lechtenbohmer S., Dienst C., Fishedick M., Hanke T., Fernandez R., Robinson D., Kantamaneni R., Gillis B. (2007). Wuppertal Institute for Climate, Environment, Energy, Germany, US Environmental Protection Agency, United States, ICF International, United States. Tapping the leakages: Methane losses, mitigation options and policy issues for Russian long distance gas transmission pipelines. International Journal of Green house Gas Control 1, – 387-395 p.

Lelieveld J., Lechtenböhmer S., Assonov S.S., Brenninkmeijer C.A.M., Dienst C., Fishedick M., Hanke T. (2005). Max Planck Institute for Chemistry, Germany; Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy”, Germany. “Low methane leakage from gas pipelines. Nature Publishing Group. –Vol 434 14.

Lytov V.M.(2024). Updating of greenhouse gas emission estimates from road transport in the National Inventory for 2010-2021.In: Preliminary - Book of Abstracts - 11th International Carbon Dioxide Conference. Campinas: Galoá, 2024. Accessed: 30 Sep. 2024. Available from: <https://proceedings.science/icdc-2024/papers/updating-of-greenhouse-gas-emission-estimates-from-road-transport-in-the-nationa?lang=en>.

Optimising Russian Natural Gas (2006). OECD/IEA. – 200 p.

Trofimenko Y. V., Yakubovich A. N. and Lytov V. M. (2023). Development of Approaches to Updated Database on the Vehicle Fleet of Various Countries for Assessing Gross Greenhouse Gas Emissions; 2023 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), Moscow, Russian Federation, pp. 1-5, doi:10.1109/TIRVED58506.2023.10332670.

Speight, James G. (2015). Subsea and Deepwater Oil and Gas Science and Technology, Gulf Professional Publishing, –1-43 p. Uvarova N.E., Nakhutin A.I., Berdin V. Kh., Dygan M.M., Gytarsky M.L. (2017). The country-specific Emission Factors and Parameters for Greenhouse Gas Inventory in the Russian Oil and Gas Sector. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017 Proceedings. – Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology LTD. – 605-612 p.

Литература и источники данных к разделу 4

Адамова Н.А. Российский рынок диоксида титана: реалии и перспективы. – Вестник химической промышленности № 5, 2016, - с. 48- 53.

Айрапетов Г.А., Безродный О.К., Жолобов А.Л. и др. Строительные материалы: учебно-справочное пособие. – Ростов-на-Дону, Феникс, 2005, – 603 с.

Академия конъюнктуры промышленных рынков. Рынок хладагентов в России. Отчет маркетингового исследования. – М.: АКПР, 2007.

Аксенов Е.М., Шевелев А.И., Тимесков В.А., Сабитов А.А. Количественная и геолого-экономическая оценка ресурсов неметаллических полезных ископаемых: метод. пособие в 3 т. Т.3: Нерудное металлургическое сырье. Казань: Новое знание, 2007, – 93 с

Аникушин Б.М., Бакурова Э.Ю., Валов С.В., Давлетшина А.Р., Заволокин К.А., Имшенник Е.В., Сосна М.Х. (2024). Разработка национальных коэффициентов выбросов CO₂ от производства метанола на предприятиях Российской Федерации. Экологический мониторинг и моделирование экосистем. - т. 35, № 1-2, -73-88 с.

Бабакин Б.С. Стефанчук В.И. Ковтунов Е.Е. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе. – М.: Колос, 2000, – 160 с.

Бизнесстат. Анализ рынка карбида кальция в России в 2018 – 2022 гг., прогноз на 2023 – 2027 гг. в условиях санкций, 2022, 53 с.

Бирюлев Г.Н., Гонюх В.М., Корнилов А.В. Минеральное сырье. Сырье стекольное. Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999, – 27 с.

Буланов Ю.В., Чайка Ф.Н., Состояние отечественного производства огнеупорной продукции. «Огнеупоры и техническая керамика», № 6, 2002, С. 10-13.

Василик Г.Ю., Еремина Е.М. Цементная промышленность России в 2017 г. Цемент и его применение, ноябрь-декабрь 2017, с. 22 – 31.

Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005, – 768 с.

Госкомстат России. Здравоохранение в России: Стат. сб. /Госкомстат России. – М.: 2001, – 356 с.

Госкомстат России. Здравоохранение в Российской Федерации: Стат. сб. /Госкомстат России. – М.: 1996, –101 с.

Госкомстат РФ. Промышленность России 1995-2002 Статистический сборник, Госкомстат РФ, – М.: 1996 – 2003.

Госкомстат РФ. Российский статистический ежегодник 1998 – 2004. Статистический сборник. Госкомстат РФ. М.: 1998 – 2004.

ГОСТ 23671-79. Известняк для стекольной промышленности (кусковой).

ГОСТ 23672-79. Доломит для стекольной промышленности (кусковой и молотый).

Ершов М.А., Савеленко В.Д., Горбатюк Е.Д., Ильин А.В. Отчет по результатам научно-исследовательской работы по теме: «Разработка научно-обоснованных подходов к количественной оценке образования диоксида углерода на дополнительных установках НПЗ при реализации различных технологических решений по производству водорода, с привлечением различных видов сырьевых потоков. Установление соответствующих национальных коэффициентов образования диоксида углерода», ООО «ЦМНТ», М., 2024, 133 с.

Жарко В.И., Высоцкий Е.В., Черников А.В. Цементная промышленность России в 2016 году. Производство, рынок, перспективы. Цемент и его применение, январь-февраль 2017, с. 24 – 27.

Жмай Л. (ООО «Азотэкон») Аммиачная селитра в России и в мире. Современная ситуация и перспективы. Доклад на конференции «Современное состояние и проблемы производства аммиачной селитры», г. Москва, 26 февраля 2004.

Жмай Л. (ООО «Азотэкон») Перспективы внутреннего рынка удобрений в России. Доклад на I Межрегиональной конференции «Рынок и рациональное использование удобрений и агрохимической продукции», – С-Петербург, 31.05 – 1.06 2005.

Зайдель А.Н. Погрешности измерения физических величин. – Ленинград, Наука, 1985, – 112 с.

ЗАО НПО «ПиМ-Инвест». Хладоновая проблема в России – пути и методы решения. Информационно-аналитическая справка. – М.: ЗАО НПО «ПиМ-Инвест», 2002.

Инфолайн. Обзор рынка водорода («серого», «голубого», «зеленого») и оборудования для его производства. Инфолайн, 2021, 153 с.

ИТС 26-2021 Производство чугуна, стали и ферросплавов. – Москва, 2021, - 562 с.

Катунин В.В., Юзов О.В., Исаев В.А. Тенденции изменения расхода основных материальных и топливно-энергетических ресурсов в черной металлургии России. Бюллетень «Черная металлургия», № 11-12, 2000, С. 5-15.

Катунин В.В., Исаев В.А., Петракова Т.М. Итоги работы черной металлургии России в 2000 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 4, 2001, С. 3-13.

Катунин В.В. Итоги работы черной металлургии России за 2001 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 2, 2002, С. 3-16.

Катунин В.В. Итоги работы предприятий черной металлургии России в 2002 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 2, 2003, С. 6-19.

Катунин В.В. Основные показатели работы черной металлургии России в 2003 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 2, 2004, С. 3-16.

Катунин В.В. Черная металлургия России в 2004 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 2, 2005, С. 3-17.

Катунин В.В. Основные показатели работы черной металлургии России в 2005 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 2, 2006, С. 3-17.

Катунин В.В. Основные показатели работы черной металлургии России в 2007 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 2, 2008, С. 9-25.

Катунин В.В. Основные показатели работы черной металлургии России в 2008 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 3, 2009, С. 5-21.

Катунин В.В. Основные показатели работы черной металлургии России в 2010 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 3, 2011, С. 5-24.

Катунин В.В., Петракова Т.М., Иванова И.М. Основные показатели работы черной металлургии России в 2014 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 3, 2015, С. 3-23.

Катунин В.В., Петракова Т.М., Иванова И.М. Основные показатели работы черной металлургии России в 2016 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 3, 2017, С. 3-23.

Катунин В.В., Антипин В.Г. Черная металлургия России в начале XXI века. Бюллетень «Черная металлургия», № 3, 2013, С. 10-29.

Катунин В.В., Петракова Т.М., Иванова И.М. Основные показатели работы черной металлургии России в 2017 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 4, 2018, С. 6-28.

Катунин В.В., Зиновьева Н.Г., Петракова Т.М., Иванова И.М. Основные показатели работы черной металлургии России в 2018 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 3, 2019, С. 293-314.

Катунин В.В., Зиновьева Н.Г., Иванова И.М., Петракова Т.М. Основные показатели работы черной металлургии России в 2019 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 4, 2020, С. 309 – 334.

Катунин В.В., Зиновьева Н.Г., Иванова И.М., Петракова Т.М. Основные показатели работы черной металлургии России в 2020 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 4, 2021, С. 367 – 393.

Курина Л.Н., Князев А.С., Водянкина О.В. Разработка процесса каталитического синтеза глиоксаля. Успехи современного естествознания, № 6, 2002, С. 97 – 98.

МГЭИК. Руководящие принципы МГЭИК 2006 года для национальных кадастров парниковых газов. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК-ИГЭС-ОЭСР-МЭА, ИГЭС, Япония, 2006.

Минпромэнерго России, 2006.

Минпромэнерго России, 2007.

Михайлов В. Короли глиоксаля. Эксперт Сибирь, №21, 2012. <https://expert.ru/siberia/2012/21/koroli-glioksalya/>

Михайлов М.В., Зеленцова Н.И., Меньшиков В.А., Сотников А.А., Илларионова Е.В., Васьков С.Ю., Харламов С.М. (2023). Отчет по теме «Подготовка научно-обоснованных предложений для разработки национальных коэффициентов выбросов CO₂ от производства этилена (пиролиза углеводородного сырья) для различных видов печей пиролиза, технологий и сырья» ВНИИОС-наука. –М., –120 с.

Михайлов М.В., Ковешников А.В., Зеленцова Н.И., Илларионова Е.В., Васьков С.Ю. (2024) Динамика коэффициента выбросов диоксида углерода от производств этилена в России в 1990 – 2022 годы. Экологический мониторинг и моделирование экосистем.- т. 35, № 1-2, - 90 – 100 с.

Науменко С.Н. (2024) Отчет по теме: «Сбор и обработка информации для разработки уточненных параметров расчета выбросов ГФУ от холодильно-отопительных установок рефрижераторных контейнеров» ФГБУ ИГКЭ – М., 61 с.

НДК. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2020 гг. в 2 томах. – М.: 2021.

НП «Алюминий». Объемы производства алюминия сырца на предприятиях РФ. – М.: НП «Алюминий», 2007.

ООО «Проект Е4» (2023). Отчет по теме «Подготовка научно-обоснованных предложений для разработки национальных коэффициентов выбросов CO₂ от производства технического углерода (сажи) для различных видов технологических процессов и сырья в Российской Федерации с 2000 по 2022 гг.». – М., –187 с.

Оскольский электрометаллургический комбинат. Годовой отчет ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат», 2003.

Оскольский электрометаллургический комбинат. Годовой отчет ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат», 2004.

Оскольский электрометаллургический комбинат. Годовой отчет ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат», 2005.

ОСТ 1484-82. Доломит сырой металлургический. 1982.

ОСТ 1485-82. Доломит обожженный металлургический. 1982.

Павлушкин, Н.М., ред. Стекло: Справочник – М.: Стройиздат, 1973. – 487 с.

Первое независимое рейтинговое агентство. Российский рынок пищевой стеклянной тары. Маркетинговое исследование. – М., 2006.

Пископпель Л.А. (ООО «Азотэкон») Мировое производство азотной кислоты и место России. Доклад на научно-практической конференции «Производство азотной кислоты», ОАО «Кирово-Чепецкий ХК», – Кирово-Чепецк, 27-28 ноября 2001 г.

Прокопов И.В. Состояние и перспективы алюминиевой промышленности России. www.aluminium-union.ru, 2005.

Романович И.Ф., Смолин П.П., Хайруллина Г.З. и др. Магнезит и брусит: Справочник / Науч. ред. Н. Н. Ведерников. – М.: Геоинформмарк, 1999. – 33с.

Росстат. Беларусь и Россия. Статистический сборник // Росстат, – М.: 2005 – 2015.

Росстат. Здравоохранение в России. Статистический сборник // Росстат, – М.: 2006 – 2025

Росстат. Промышленность России. Статистический сборник // Росстат, – М.: 2006 – 2019.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2005. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2006.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2007. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2008.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2008. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2009.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2010. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2011.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2011. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2012.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2012. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2013.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2013. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2014.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2014. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2015.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2015. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2016.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2016. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2017.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2017. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2018.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2018. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2019.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2019. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2020.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2020. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2021.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2021. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2022.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2022. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2023.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2023. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2024.

Росстат. Российский статистический ежегодник 2024. Статистический сборник, Росстат. – М.: 2025.

Савеленко В.Д., Ершов М.А., Горбатьюк Е.Д., Махова У., Бакурова Э.Ю., Имшенник Е.В. Углеродоемкость производства водорода на российских НПЗ. Нефтегазовая вертикаль, № 11, 2024, С. 96 – 100.

Сементовский Ю.В., Бобрикова Е.В. Минеральное сырье. Доломит. Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998, – 25 с.

Сементовский Ю.В., Минеральное сырье. Известняк. Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999, – 19 с.

Сементовский Ю.В., Мясников Н.Ф., Рахматуллин Э.Х. Минеральное сырье. Мел. Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997, – 19 с.

Сенаторов П.П., Хайдарова Н.З. и др. Отчет по теме «Сбор и обобщение информации об объемах использования карбонатных пород в качестве флюсов для черной и цветной металлургии, в производстве огнеупорных материалов и глинозема в Российской Федерации в 1990 – 2005 гг.». – Казань, «ЦНИИГеолнеруд», 2006.

Сенаторов П.П., Хайдарова Н.З. и др. Отчет по теме «Сбор и обобщение информации об объемах использования карбонатных пород для производства химических продуктов, получаемых путем их обжига, стекла, и для известкования кислых почв в Российской Федерации в 1990 – 2005 гг.». – Казань, «ЦНИИГеолнеруд», 2006.

Снегов С. Технологическое отставание заводов угрожает их будущему. Финансовые известия, 1997, № 48, С. 5.

Соколов Р.С. Химическая технология в 2 томах. «Гуманитарный изд. Центр ВЛАДОС». – М.: 2003.

Сосна М.Х., Алейнов Д.П. Модернизация азотной промышленности – требование времени. Химическая промышленность, № 5, 2001, С. 7-9.

Стрельцов А.Н., Шишов В.В. Справочник по холодильному оборудованию предприятий торговли и общественного питания. – М.: Издательский центр «Академия», 2006, – 400 с.

ТУ 14-8-232-77. Доломит дробленный для производства конвертерных огнеупоров.

ФГБУ «ИГКЭ» (2023). Итоговый отчет о выполнении научно-исследовательских работ по соглашению о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 бюджетного кодекса Российской Федерации между Минэкономразвития России и ФГБУ «ИГКЭ» от 1 марта 2023 года № 139-15-2023-004 в рамках достижения результата федерального проекта «Политика низкоуглеродного развития» и реализации Важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ в части осуществления технического перевооружения, цифровизации и актуализации национального кадастра, совершенствования сбора исходных данных. Книга 1. – М., – 490 с.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2021 год, – М., 2023.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2021 год, – М., 2022.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2020 год, – М., 2021.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2019 год, – М., 2020.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2018 год, – М., 2019.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2015 год, – М., 2016.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2014 год, – М., 2015.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2013 год, – М., 2014.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2012 год, – М., 2013.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2011 год, – М., 2012.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2010 год, – М., 2011.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2009 год, – М., 2010

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2008 год, – М., 2009.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2007 год, – М., 2008.

Цветков О.Б. Холодильные агенты в Киотском протоколе значатся. Холодильная техника, № 1, 2005, С. 8-11.

Цой А.Н., Архипов В.В. Современный подход к ведению больных бронхиальной астмой, 2007. Режим доступа: <http://www.medlinks.ru/article.php?sid=29046>, свободный.

Шишов В.В., Казакова А.А. и др. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Сбор и обработка информации для разработки уточненных параметров расчета выбросов ГФУ от холодильной техники на рефрижераторном автомобильном транспорте», НИИ ЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, - М., 2024, 92 с.

Шишкин А.В. Карбонатные породы. В сб. «Неметаллические полезные ископаемые СССР». – Москва, Недр, 1984, С.195-207.

Шевелев Л.Н. Об итогах развития черной металлургии в 1995 г. Бюллетень «Черная металлургия», № 2, 1996 С. 3-9.

Шурпяк В.К. Хладагент на замену. Интервью заместителя начальника отдела механического оборудования и систем Российского морского регистра судоходства Владимира Шурпяка ИАА «ПортНьюс», 2020, Доступно в интернете <https://www.xiron.ru/content/view/31068/28/>

Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И., Черноусов П.И. Промышленность и окружающая среда. ИКЦ «Академкнига», – М.: 2002, – 469 с.

ABARUS Market Research. Российский рынок пенополистирольной и пенополиуретановой теплоизоляции. – М.: ABARUS Market Research, 2010, – 125 с.

EEA. EMEP CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005 European Environment Agency. Technical report No 30. Copenhagen, Denmark: 2005. Available from web site: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en>

EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook (EEA, 2005).

Environment Agency Austria. Austria's National Inventory Report 2013. Vienna: Environment Agency Austria, 2013. – 776 с.

National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2008. Dessau: Federal Environment Agency Germany, 2010. – 672 с.

Federal Environment Agency. National Inventory Report, p. 294, Federal Environment Agency Germany, 2007.

IARC- 1,3-Butadiene, Ethylene oxide and Vinyl Halides (Vinyl Fluoride, Vinyl Chloride and Vinyl Bromide)/ IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2007: Lyon, France), 2008

IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by Task Force on National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia E., Tanabe K., Kranjc A., Baasansuren J., Fukuda M., Ngarise S., Osako A., Pyrozhenko Y., Shermanau P., Federici S. Japan: IGES, 2019.

IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Japan: IGES, 2006

IPCC. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC-IGES-OECD-IEA, Japan, 2000.

IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC-OECD-IEA, Paris, 1997.

National Inventory Report 2008 of the Republic of Lithuania, Vilnius.

National Inventory Report, 2003-2007 APAT – Agency for Environmental Protection and Technical Services, Italy, 2008.

Research Techart. Маркетинговое исследование рынка автоматических установок пожаротушения. – М.: Research Techart, 2012, – 55 с.

S&P Global. Vinyl Chloride Monomer (VCM) Chemical Economics Handbook. 2021. Электронный ресурс - Режим доступа: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/ci/products/vinyl-chloride-monomer-chemical-economics-handbook.html> Дата обращения: 15.01.2023.

Литература и источники данных к разделу 5

Абрамов М.Д. (1990). Особенности биологии размножения лисиц // Науч. Тр. НИИ пушного звероводства и кролиководства. –Т. 5, – 3-39 с.

Арилов А.Н., Натыров А.К., Эдгеев В.У., Косилов В.И., Старцева Н.В. Влияние зерносмесей на переваримость и использование питательных веществ рационов при откорме бычков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 6 (74). С. 197-20.

Балакирев Н.А., Кузнецов Г.А. (2006). Звероводство: учеб. для студентов вузов по специальности 110401 "Зоотехния". – М.: Колос. – 342 с.

Борисова Н.И., Бурцева С.Н., Родионов В.Н., Семенов Ю.И. (1978). Влияние влажности почвы на газообразные потери азота в результате денитрификации // Бюллетень Почвенного Института им В.В. Докучаева. – Вып. XIX, – 73-78 с.

Вагин Е.А. (1977). Пушное звероводство и кролиководство / Вагин Е.А., Квапиль А.И., Клецкин П.Т., Уткин Л.Г. – М.: Агропромиздат. – 65-83 с.

Валошин А.В., Глазков А.В. Использование "МИКРОВИТ-А" в качестве синтетической витаминной добавки откармливаемым бычкам черно-пестрой породы и влияние пива на мясную продуктивность при использовании его в рационах // Техника и технологии в животноводстве. 2021. № 4 (44). С. 69-76.

Вехов В.Н., Губанов И.А., Лебедева Г.Ф. (1978). Культурные растения СССР. Отв. ред. Т.А. Работнов. – М.: Мысль. – 336 с.

Гамко Л.Н., Менякина А.Г., Мицурина Е.А. Переваримость питательных веществ и использование азота у лактирующих коров при скармливании кормосмеси с минеральными добавками // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1 (57). С. 194-199.

Гидрометслужба СССР (1965-1966). Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеиздат. Часть 2. Вып. 1-34.

Гитарский М.Л., Лоджун Ж.Н., Нахутин А.И., Савин В.А., Карабань Р.Т., Алексахин Р.М., Назаров И.М. (2001). Эмиссия парниковых газов от сельскохозяйственных животных и птицы в аграрном секторе России // Сельскохозяйственная биология. – №6, –73-79.

Госкомстат России (1995а). Внесение минеральных и органических удобрений под урожай 1994 года. – М., – 66 с.

Госкомстат России (1996). Внесение удобрений под урожай 1995 года и проведение работ по химической мелиорации земель. – М.: – 80 с.

Госкомстат России (1998-2002). Сельское хозяйство в России. Стат. сборник.

Госкомстат России (1999). Внесение удобрений под урожай 1998 года и проведение работ по химической мелиорации земель. – М.: – 81 с.

Дускаев Г.К., Левахин Г.И., Нуржанов Б.С., Рысаев А.Ф., Петрунина Ю.Ю. Влияние кормовой добавки с включением эссенциальных химических элементов на переваримость и обмен веществ в организме крупного рогатого скота // Вестник мясного скотоводства. 2016. № 4 (96). С. 141-146.

Куракова Н.Г., Умаров М.М. (1984). Роль денитрификации в азотном балансе почв. Агрохимия. – № 5, –118-129 с.

Курзюкова Т.А., Крамаренко Н.А. Переваримость питательных веществ рационов при скармливании пробиотика "ЛЕВИСЕЛЛ SC" // Вестник КрасГАУ. 2012. № 8 (71). С. 123- 127.

Левин Ф.И. (1977). Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // Агрохимия. – № 8, – 36-42 с.

Левин Ф.И. (1983). Вопросы окультуривания, деградации и повышения плодородия пахотных почв. – М.: МГУ. – 93 с.

Ломако Е.И. (1992b). Определение количества растительных остатков в посевах полевых культур по урожаю основной продукции // Материалы юбилейной научной конференции Казанского сельскохозяйственного института. Часть 1. Казань: Татарское книжное издание. – 89-91 с.

Ломако Е.И. (1992a). К методике оценки хозяйственного баланса азота в посевах многолетних трав. // Материалы юбилейной научной конференции Казанского сельскохозяйственного института. Часть 1. Казань: Татарское книжное издание. – 91-94 с.

Макаров Б.Н. (1967). Влияние некоторых факторов на выделение азота из почвы // Агрохимия. – № 10, – 85-90 с.

Макаров Б.Н. (1994). Газообразные потери азота почвы и удобрений и приемы их снижения // Агрохимия. – № 1, с. 101-114.

МГЭИК (1997). Пересмотренные руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). Международное энергетическое агентство (МЭА). Париж. – Т.1, Т.2, Т.3.

МГЭИК (2000). Руководящие указания по эффективной практике и учет факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Под ред. Пинман Д., Крюгер Д., Галбалли И., Хирайши Т., Нуензи Б., Эмманул С., Буэндиа Л. и др. Япония: ИГЕС.

МГЭИК (2006). Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 года. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Под ред. Игглестон Х.С., Буэндиа Л., Мива К., Нгара Т., Танабе К. Япония: ИГЕС. –Т. 4. Часть 1. Часть 2.

Методические указания по проведению выборочного федерального статистического наблюдения за сельскохозяйственной деятельностью личных подсобных и других индивидуальных хозяйств граждан. Приказ Росстата от 25.09.2019 г. –№ 552.

Методические указания по проведению годовых расчетов расхода кормов скоту и птице в хозяйствах всех категорий. Приказ Росстата от 05.10.2012 г. –№ 516.

Миколайчик И.Н., Морозова Л.А., Арзин И.В. Практические аспекты применения микробиологических добавок в молочном скотоводстве // Аграрный вестник Урала. 2018. № 3 (170). С. 5

Минсельхоз (1983). Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета (ОНТП 17-81). – М.: Колос. – 32 с.

Минсельхоз (2001). НТП – АПК 1.10.05.001-01. Нормы технологического проектирования птицеводческих предприятий. – М., – 48 с.

Минсельхоз РСФСР (1980). Распределение земельного фонда с.х. угодий РСФСР по группам почв. Россельхозхимия. Главное управление землепользования и землеустройства. ВНИ и проектно-технологический институт химизации с.х. – М.– 107 с.

Минсельхозпрод (1999). НТП 1-99. Нормы технологического проектирования предприятий крупного рогатого скота. – М.,– 29 с.

Павлик С.В. (2012). Оценка эмиссии парниковых газов из сельскохозяйственных почв при использовании различных агротехнологий: Автореф. дис. канд. биол. наук. – СПб: ГНУ Агрофизический НИИ РАСХН. – 29 с.

Поляков А.Д. (2004). Серебристо-черная лисица (методические рекомендации производству). Кемерово: АНО ИПЦ «Перспектива». – 40 с.

РАСХН (1995). Агропромышленный комплекс России: ресурсы, продукция, экономика. Стат. сборник. Новосибирск. –Т.1, –260 с.

Романовская А.А. (2000). Антропогенная эмиссия закиси азота сельскохозяйственными землями России: Автореф. дис. канд. биол. наук. – М.,– 19 с.

Романовская А.А., Гитарский М.Л., Карабань Р.Т., Назаров И.М. (2002). Оценка эмиссии N₂O от не утилизируемой в аграрном секторе страны мортмассы сельскохозяйственных растений // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб: Гидрометеоздат. –Т. XVIII. – 276-286 с.

Росгидромет (2014). Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2013 год. – М.,– 109 с.

Росреестр (2007-2015). Земельный фонд России на 1 января. Минэкономразвития России. – М.,

Росреестр (2016). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2015 году. Минэкономразвития России. – 224 с.

Росстат (2004). Сельское хозяйство, охота и лесоводство в России. Стат. сборник. – М., – 478 с.

Росстат (2005-2024). Российский статистический ежегодник. Стат. сборник.

Росстат (2011). Торговля в России. Стат. сб. М.,– 519 с.

Росстат (2011-2017). Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесоводство в России. Стат. сборник. – М., –203-439 с.

Росстат (2019 - 2022). Баланс товарных ресурсов отдельных товаров (видов продукции): Стат. сборник.

Соловьев Г.А., Большева Т.Н., Куракова Н.Г., Степанов А.Л., Шабаев В.П., Умаров М.М. (1988). Оптимизация азотного баланса дерново-подзолистой почвы при внесении различных форм и доз азотных удобрений // Оптимизация водного и азотного режимов почвы. – М.: МГУ. –139-149 с.

Степанов А.Л. (2000). Микробная трансформация закиси азота в почвах: Автореф. дис. докт. биол. наук. – М.,– 49 с.

Умаров М.М., Шабаев В.П., Степанов А.Л., Большева Т.Н. (1996). Азотфиксирующая и денитрифицирующая активность серой лесной почвы и трансформация азота при внесении азотных удобрений // Агрехимия. – № 2, –3-10 с.

Унежев Х.М. (1996). Количество органических остатков у разных видов многолетних бобовых трав в горной зоне Северного Кавказа. // Тезисы докладов 4 международной научной конференции СОИСАФ «Биологический азот в растениеводстве». – М., – 99-100 с.

Чупрова В.В. (1997). Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири. Красноярск: Красноярский Государственный Университет. – 165 с.

Шильников И.А., Ермалаев С.А., Аканова Н.И. (2006). Баланс кальция и динамика кислотности пахотных почв в условиях известкования. – М.: ВНИИА. – 150 с.

Шпаков А.П., Назаров В.К., Певзнер И.Л., Пахомов И.Я. (1991). Кормовые нормы и состав кормов: Справочное пособие. Минск: Ураджай. – 384 с.

Christensen S. (1985). N₂O-formation during soil cropping // Denitrification in the nitrogen cycle. New York and London: Plenum press. – 135-144 p.

IPCC (2014). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M. and Troxler T.G. (eds). Published: IPCC Switzerland. – 354 p.

Romanovskaya A.A., Gytarsky M.L., Karaban' R.T., Konyushkov D.E., Nazarov I.M. (2002). Nitrous oxide emission from agricultural lands in Russia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. Vol.7, –No.1, –31-43 p.

Romanovskaya A.A., Gytarsky M.L., Karaban' R.T., Nazarov I.M. (2004). Nitrous oxide emission from residues of agricultural crops in Russia within 1990-2002 // Proceedings of 3rd International Nitrogen Conference (Nanjing, China, 12-16 October). –740-743 p.

Sneath R.W., Phillips V.R., Demmers G.M., Burgess L.R., Short J.L. (1997). Long term measurements of greenhouse gas emissions from UK livestock buildings // Livestock Environment: Proceedings of the Fifth International Symposium (Bloomington MN, May 29-31). Bio-Engineering Division, Silsoe Research Institute. Wrest Park, Silsoe, Bedford, MK45 4HS. –146-153 p.

Svensson B.H., Klemetsson L., Rosswall T. (1985). Preliminary field denitrification studies on nitrate- fertilized and nitrogen- fixing crops // Denitrification in the nitrogen cycle. New York and London: Plenum press. –pp. 157-170.

Литература и источники данных к разделу 6

Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов (2018) / Лукина Н.В., Тихонова Е.В., Шевченко Н.Е., Горнов А.В., Кузнецова А.И., Гераськина А.П., Смирнов В.Э., Горнова М.В., Ручинская Е.В., Анищенко Л.Н., Тебенькова Д.Н., Данилова М.А., Бахмет О.Н., Крышень А.М., Князева С.В., Шашков М.П., Быховец С.С., Чертов О.Г., Шанин В.Н. – М.: Товарищество научных изданий КМК. – 232 с.

Алексеев В.А., Бердси Р.А. (ред.) (1994). Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева. – 210 с.

Анучин, Н.П. (1981) Сортиментные и товарные таблицы, М., Лесная промышленность, 536 с.

Базилевич Н.И. (1993) Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. – М.: Наука. – 293 с.

Бамбалов Н.Н., Янковская Н.С. (1994). Фракционный состав азотного фонда органических удобрений и растений-торфообразователей // Агрохимия. Т. 78, – 55-61 с.

Барталев С.А., Беляев А.И., Егоров В.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Коршунов Н.А., Котельников Р.В., Лупян Е.А. (2005). Валидация результатов выявления и оценки площадей, поврежденных пожарами лесов по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. Выпуск 2, Т. II, –343-353 с.

Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. (2008). Информационная система дистанционного мониторинга лесных по-

жаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Выпуск 5, Т. II, – 419-429 с.

Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. (2010). Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Т.7. –№ 2, –97-105 с.

Барталев, С.А., Богодухов, М.А., Ворушилов, И.И., Егоров, В.А., Жарко, В.О., Лупян, Е.А., Сайгин, И.А., Стыщенко, Ф.В., Стыщенко, Е.А., Хвостиков, С.А., Ховратович, Т.С., Шабанов, Н.В., Шинкаренко, С.С. (2025) Состояние и потенциал развития системы космического мониторинга бюджета углерода наземных экосистем, Отчетная конференция «Углерод в наземных экосистемах: мониторинг. Результаты 1 этапа ВИП ГЗ «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ», г. Москва, ИКИ РАН, 25 февраля 2025 г., URL: http://smiswww.iki.rssi.ru/files/presentations/2025/bartalev_uglerod.pdf.

Беляев А.И., Лупян Е.А., Романюк Б.В., Сухинин А.И., Тащилин С.А. (2004). Национальная система сбора, обработки и анализа информации о природных пожарах и ее сопряжение с международными и региональными информационными сетями // Управление лесными пожарами на экорегиональном уровне. Материалы международного научно-практического семинара. Хабаровск. 9-12 сентября 2003. М.: Издательство "Алекс". –156-166 с.

Благодатский С.А., Ларионова А.А., Евдокимов И.В. (1993) Вклад дыхания корней в эмиссию CO₂ из почвы // Дыхание почвы. Пущино. – 26-32 с.

Болотина Н.И. (1976) Запасы гумуса и азота в основных типах почв СССР // Агрохимическая характеристика почв СССР. –Т.15, –187-202 с.

Бурдюков В.Г., Телюкин В.А. (1983). Биологическая активность почвы при разных условиях питания растений // Агрохимия. – № 4, – 90-94 с.

Васильев В.А., Филиппова Н.В. (1988) Справочник по органическим удобрениям. М.: Росагропромиздат. – 255 с.

Ведрова Э.Ф., Мухортова Л.В., Иванов В.В. Кривобоков Л.В., Болонева М.В. (2010) Восстановление запасов органического вещества после рубок в лесных экосистемах Восточного Прибайкалья // Известия Российской академии наук. Серия биологическая.– № 1. –83-94 с.

Воробьева Л. А., Ладонин Д. В., Лопухина О. В., Рудакова Т. А., Кирюшин А. В. (2012). Химический анализ почв. Вопросы и ответы.– 186 с.

Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. (2003) Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Учебное пособие. Под редакцией академика РАН Г.В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена. – 268 с.

Гидрометслужба СССР (1965-1966). Справочник по климату СССР. Часть 2. Выпуски 1-34. Ленинград: Гидрометеиздат.

Гиляров М.С. (гл. ред.) (1989). Биологический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия. – 384 с.

Гитарский М.Л., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Карабань Р.Т. (2006) Эмиссия и поглощение парниковых газов в лесном секторе страны как элемент выполнения обязательств по климатической конвенции ООН // Лесоведение. – № 6, –34-44 с.

Голубев Л.Г. (2005). Древесиноведение. Учебное пособие. Казань: Казанский государственный технологический университет. – 148 с.

Госкомлес СССР (1976а). Лесной фонд СССР (по учету на 01 января 1973 г.). Книга 1. – М.: Лесная промышленность. – 600 с.

Госкомлес СССР (1976b). Лесной фонд СССР (по учету на 01 января 1973 г.). Книга 2. – М.: Лесная промышленность. – 560 с.

Госкомлес СССР (1982а). Лесной фонд СССР (по учету на 01 января 1978 г.). Т.1, – М.: Типография МТ РСФСР. – 602 с.

Госкомлес СССР (1982b). Лесной фонд СССР (по учету на 01 января 1978 г.). Т. 2. – М.: Типография МТ РСФСР. – 684 с.

Госкомлес СССР (1990). Лесной фонд СССР (по учету на 1 января 1988 года). Стат. сб. в 2-х т. Т. 1. – М., – 1005 с.

Госкомлес СССР (1991). Лесной фонд СССР (по учету на 1 января 1988 года). Стат. сб. в 2-х т. Т. 2. – М., – 1021 с.

Госкомстат России (1993). Российская Федерация в 1992 году. Стат. ежегодник. – М.: Республиканский информационно-издательский центр. – 654 с.

Госкомстат России (1994). Внешние экономические связи Российской Федерации в 1993 году. Стат. Сборник. – М.,– 446 с.

Госкомстат России (1994). Российский статистический ежегодник. Стат. сборник.– М., – 799 с.

Госкомстат России (1995а). Использование минеральных удобрений в 1994 г. – М., – 80 с.

Госкомстат России (1995b). Сельское хозяйство в России. Стат. сборник. – М., – 503 с.

Госкомстат России (1998). Сельское хозяйство в России. Стат. сборник. – М., – 448 с.

Госкомстат России (2000). Сельское хозяйство в России. Стат. сборник. – М., – 414 с.

Госкомстат России (2002а). Строительство в России. Стат. сборник. – М., – 254 с.

Госкомстат России (2002b). Сельское хозяйство в России. Стат. сборник. – М., – 448 с.

Госкомстат РСФСР (1990). Народное хозяйство РСФСР в 1989 г.: стат. ежегодник. – М.: Республиканский информационно-издательский центр. – 692 с.

Госкомстат РСФСР (1991). Народное хозяйство РСФСР в 1990 г.: стат. ежегодник. М.: Республиканский информационно-издательский центр. – 592 с.

Госкомстат РСФСР (1993). Народное хозяйство РСФСР в 1992 году: статистический ежегодник. – М.: Республиканский информационно-издательский центр.

Госплан СССР (1962). Лесной фонд РСФСР. Статистический сборник (по материалам учета лесного фонда на 01 января 1961 г.). – М.: Гослесбумиздат. – 628 с.

Госстрой СССР (1973). СН 452-73. Нормы отвода земель для магистральных трубопроводов. – М.: Стройиздат. – 5 с.

Госстрой СССР (1974). СН 459-74. Нормы отвода земель под нефтяные и газовые скважины. – М., – 8 с.

Госстрой СССР (1974). СН 461-74. Нормы отвода земель для линий связи. – М.: Стройиздат. – 7 с.

Госстрой СССР (1975). СН 465-74. Нормы отвода земель для электрических сетей напряжением 0,4-500 кВ. – М.: Стройиздат. – 12 с.

Госстрой СССР (1985). СНиП 2.05.02-85. Строительные нормы и правила. Автомобильные дороги. – М., – 54 с.

Госстрой СССР (1995). СНиП 32-01-95. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм. – М., – 21 с.

ГОСТ 26213-91 Межгосударственный стандарт почвы. Методы определения органического вещества <https://docs.cntd.ru/document/1200180714>

ГОСТ 4598-2018. Межгосударственный стандарт. Плиты древесно-волоконистые мокрого способа производства.

ГОСТ 32274-2021. Межгосударственный стандарт. Плиты древесно-волоконистые сухого способа производства.

Государственный комитет СССР по лесу (1986). Лесной фонд СССР (по учету на 01 января 1983 г.). Том 1. – М.: ЦБНТИ. – 892 с.

Государственный комитет СССР по лесу (1987). Лесной фонд СССР (по учету на 01 января 1983 г.). Том 2. – М.: ЦБНТИ. – 976 с.

Государственный таможенный комитет Российской Федерации (1995-2003). Таможенная статистика внешней торговли Российской Федерации за 1994 год: годовой сборник. – М., – 502 с.

Государственный таможенный комитет Российской Федерации (2005а). Таможенная статистика внешней торговли Российской Федерации за 2004 год. Том 1. – М., – 342 с.

Государственный таможенный комитет Российской Федерации (2005b). Таможенная статистика внешней торговли Российской Федерации за 2004 год. Том 2. – М., – 726 с.

Грабар В.А. (2008) Оценка динамики углерода при лесозаготовке и лесопереработке в России: дисс. ... канд. биол. наук. – М., – 153 с.

Дукаревич Б.И. (1976). Справочник по минеральным удобрениям. – М.: Моск. рабочий. – 192 с.

Думнов А.Д., Максимов Ю.И., Рошупкина Ю.В., Аксенова О.А. (2005). Лесные пожары в Российской Федерации (статистический справочник). Под редакцией А.Д. Думнова и Н.Г. Рыбальского. – М.: НИИ-Природа. – 230 с.

Дьяконова К.В. (1961). Почва как источник углекислоты для растений в условиях, орошаемых и неорошаемых Предкавказских черноземов. Микроорганизмы и органическое вещество почвы. – М.: Изд-во АН СССР. – 119-182 с.

Елизаров Ф.А. (1963). Точность учета общих запасов насаждений при разных рядах лесоустройства и аэротаксации // Сборник статей по обмену производственно-

техническим опытом по лесному хозяйству и лесоустройству. Вып. 7. Л.: НТО по лесной промышленности и лесному хозяйству.– 35-42 с.

Елизаров Ф.А., Мошкалев А.Г. (1963). Мероприятия по повышению точности таксации лесного фонда // Сб. науч.-иссл. работ по лесн. хоз-ву ЛенНИИЛХ. Вып. VI, – 69-82 с.

Емельянов И.И. (1970). Динамика углекислоты и кислорода в темно-каштановых карботнатных почвах Целиноградской области // Труды Института почвоведения АН КазССР. Т.18. Алма-Ата. –25-44 с.

Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Каменщикова В.И. (2010). Эколого-биологические свойства урбаноземов г. Перми // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле. Вып. 4,– 56-63 с.

Жарикова Е.А. (2012). Оценка основных свойств почв лесных и парковых территорий города Владивостока // Земледелие, почвоведение и агрохимия. –№1(26), с.40-46.

Заварзин Г.А. (2001). Роль биоты в глобальных изменениях климата // Физиология растений. Т. 48, –№ 2, – 306-314 с.

Замолодчиков Д.Г. (2009). Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России: учет влияния пожаров и рубок // Лесоведение. –№ 4, – 3-15 с.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л., Блинов В.Г., Дмитриев В.В., Курц В.А. (2013). Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации в 1990-2050 гг.: ретроспективная оценка и прогноз // Метеорология и гидрология. –№10, с. 73-92.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. (2011). Динамика бюджета углерода лесов России за два прошедших десятилетия // Лесоведение. –№ 6, – 16-28 с.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л., Блинов В.Г., Дмитриев В.В., Курц В.А. (2013а). Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации в 1990-2050 гг.: ретроспективная оценка и прогноз // Метеорология и гидрология. –№ 10, – 73-92 с.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. (2013б). Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России // Лесоведение. № 5. С. 36-49.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Честных О.В. (2021). Новая оценка баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Биоразнообразие и функционирование лесных экосистем. –М.: Товарищество научных изданий КМК. – 153-174 с.

Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Гитарский М.Л. (2007). Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации // Лесоведение. –№ 6, – 23-34 с.

Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Честных О.В., Сонген Б. (2005а). Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России. – М.: Товарищество научных изданий КМК. – 198 с.

Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. (2005). Запасы дебриса, его разложение и депонирование в лесном фонде России: результаты расчетов // Проблемы лесной фитопатологии и микологии. Матер. 6-й Междунар. конф. 18-22 сентября 2005 г. – М., Петрозаводск: Научный совет РАН по лесу, Ин-т лесоведения РАН, Ин-т леса КНЦ РАН. – 138-143 с.

Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В. (2003). Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу основных лесобразующих пород России // Лесная таксация и лесоустройство. Вып. 1 (32). –119-127 с.

Зборищук Н.Г. (1979). Некоторые особенности динамики CO₂ в орошаемых Предкавказских черноземах // Вестник МГУ. Серия Почвоведение. –№ 3, – 40-44 с.

Зонн С.В., Алешина А.К. (1953). О газообмене между почвой и атмосферой под пологом лесных насаждений // Докл. АН СССР. Т. ХСII. –№5, – 40-44 с.

Зорина Е.Ф. (2000). Овраги, оврагообразование и потенциал развития // Эрозия почв и русловые процессы. Вып.12. – М.: МГУ. –72-95 с.

Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. (1995). Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России (Аналитический обзор). – М.: Центр экологической политики России. – 155 с.

Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замолодчиков Д.Г. (1993). Оценка запасов и годовичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. –№ 5, – 3-10 с.

Каталымов М.В. (ред.) (1960). Справочник по минеральным удобрениям: теория и практика применения. –М.: Сельхозгиз, – 552 с.

Кобак К.И. (1988). Биологические компоненты углеродного цикла. – Л.: Гидрометеоиздат. – 248 с.

Ковалев Н.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Бурцев М.А., Ершов Д.В., Кривошеев Н.П., Мазуров А.А. (2020). ИСДМ-Рослесхоз: 15 лет эксплуатации и развития // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 17. –№ 7. –283-291 с. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-283–291.

Ковалева А.Е., Булаткин Г.А. (1987). Динамика CO₂ серых лесных почв // Почвоведение. –№ 5, –111-114 с.

Козьмин Г.В., Гончарик Н.В., Алексахин Р.М., Козьмина Д.Н., Карабань Р.Т., Сафронов А.В. (1998). Эмиссия углекислого газа в животноводстве на территории Российской Федерации // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. –№ 2, – 42-44 с.

Комитет Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству (1993). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации. – М., – 95 с.

Кононова М.М. (1984). Органическое вещество и плодородие почвы // Почвоведение. –№ 8, –7-20 с.

Корзухин М.Д., Коротков В.Н. (2018). Модификация модели РОБУЛ для расчета углеродного баланса лесов России // Фундаментальная и прикладная климатология. Том 3. –30-53 с.

Коровин Г.Н., Андреев Н.А. (1988). Авиационная охрана лесов. – М.: Агропромиздат. –220с.

Коровин Г.Н., Гитарский М.Л., Исаев А.С., Замолодчиков Д.Г., Карабань Р.Т. (2006). О роли лесного сектора в смягчении изменения климата // Лесное хозяйство. – № 4, – 11-13 с.

Коротков В.Н. (2018). Оценка углероддепонирующей роли полезащитных и противозерозионных насаждений Российской Федерации, созданных в 1946-2016 гг. // Системы контроля окружающей среды / Тезисы докладов Международной научно-технической конференции. – Севастополь, 05 – 09 ноября 2018 г. – Севастополь: Колорит, –127 с.

Коротков В.Н., Романовская А.А. (2014). Оценка выбросов парниковых газов от торфоразработок в Российской Федерации за период с 1990 по 2012 год // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: Материалы второй международной научно-практической конференции (18-21 августа 2014 года, г. Томск, Россия). Томск: ООО «РГ Графика». –120-122 с.

Коротков В.Н., Романовская А.А., Карабань Р.Т., Смирнов Н.С. (2012). Оценка углеродного бюджета лесов России в рамках отчетности по Киотскому протоколу // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. Т. 90, Вып. 7. –58-64 с.

Котакова П.С. (1975). Продуцирование CO₂ выщелоченным черноземом при различном его сельскохозяйственном использовании // Науч. Тр. Орлов. обл. с-х опытной станции. Вып. 7. –181-190 с.

Котельников Р.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В. (2019). Космический мониторинг лесных пожаров: история создания и развития ИСДМ-Рослесхоз // Лесоведение. –№ 5,– 399-409. DOI: 10.1134/S0024114819050048.

Котельников Р.В., Флитман Е.В. (2007). Технология идентификации спутниковых данных о лесных пожарах с данными наземного и авиационного мониторинга с использованием ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Выпуск 4. Т. I. –162-166 с.

Кретинина Т.А., Пожилов В.И. (1989). Влияние систематического применения удобрений и орошения на биологические свойства светло-каштановой почвы // Агрохимия. № 5, –65-72 с.

Кривонос Л.А., Егоров В.П. (1983). Биологическая активность черноземов в агроценозах Курганской области // Почвы Зап. Сибири и повышение их биологической активности. Омск. – 8-14 с.

Кудеяров В.Н., Курганова И.Н. (2005). Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки // Почвоведение. –№ 9, –1112-1121 с.

Кудеяров В.Н., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф., Ильина А.А., Кузнецова Т.В., Тимченко А.В. (1995). Оценка дыхания почв России // Почвоведение. –№ 1, –33-42 с.

Кудеяров, В. Н. (2019). Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России / В. Н. Кудеяров // Агрохимия. – № 12. – С. 3-15. – DOI 10.1134/S000218811912007X. – EDN NOXCDB.

Кулик К.Н., Павловский Е.С. (2008). Стратегические направления защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 года // Защитное лесоразведение, мелиорация земель и проблемы земледелия в Российской Федерации: материалы международной научно-практической конференции. Волгоград, 23-26 сентября 2008 г. – Волгоград: ВНИАЛМИ. –9-19 с.

Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякшина Т.Н., Сапронов Д.В., Кудеяров В.Н. (2007). Оценка газообразных потерь углерода из почв агроэкосистем Российской Федерации // Материалы IV Всероссийской научной конференции «Гуминовые вещества в биосфере». МГУ, 19-21 декабря 2007 г. Санкт-Петербург. –54-57 с.

Куренкова С.В. (1998). Пигментная система культурных растений в условиях подзоны средней тайги Европейского Северо-Востока. Екатеринбург: УрО РАН. – 115 с.

Ларионова А.А. (1988). Динамика интенсивности дыхания серой лесной почвы в зависимости от агроэкологических факторов: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М., – 20 с.

Ларионова А.А., Розонова Л.Н. (1993). Суточная, сезонная и годовая динамика выделения CO₂ из почвы // Дыхание почвы. Пушино. –59-68 с.

Лебков В.Ф. (1965). Изменчивость таксационных признаков внутри выделов и ее влияние на точность таксации лесного фонда при лесоустройстве // Пути совершенствования инвентаризации лесов Сибири и Дальнего Востока. – М.: Наука. – 5-40 с.

Левин Ф.И. (1977). Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции // Агрохимия. – № 8,– 36-42 с.

Лесной кодекс Российской Федерации (1997). – М.: Ось-89,– 64 с.

Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В., Котельников Р.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Ковганко К.А., Колбудаев П.А., Крашенинникова Ю.С., Прошин А.А., Мазуров А.А., Уваров И.А., Стыщенко Ф.В., Сычугов И.Г., Флитман Е.В., Хвостиков С.А., Шуляк П.П. (2015). Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 12. –№ 5, – 222-250 с.

Лупян, Е.А., Барталев, С.А., Балашов, И.В., Бурцев, М.А, Кобец, Д.А., Стыщенко, Е.А. (2025) ИАС «Углерод-Э» – текущие задачи, возможности и планы развития, Отчетная конференция «Углерод в наземных экосистемах: мониторинг. Результаты 1 этапа ВИП ГЗ «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ», г. Москва, ИКИ РАН, 25 февраля 2025 г., URL: http://smiswww.iki.rssi.ru/files/presentations/2025/loupian_uglerod.pdf.

Любимов Б.П., Никольская И.И., Прохорова С.Д. (2000). Интенсивность современной овражной эрозии по Европейской территории России // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 12. – М.: МГУ. – 96-100 с.

Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. (2010). Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. – М.: ГЕОС. – 416 с.

Лядова Н.И. (1975). Влияние агротехнических приемов на биологическую активность южного чернозема // Пути повышения урожайности полевых культур на юге Украины. Одесса. – 3-7 с.

Макаров Б.Н. (1988). Газовый режим почв. – М.: Агропромиздат. – 105 с.

Макаров Б.Н. (1993) Дыхание почвы и роль этого процесса в углеродном питании растений // Агрохимия. –№ 8. – 94-104 с.

Массо В.Я. (1979). Динамика химического состава коровьего навоза при различных технологиях его использования // Агрохимия. –№ 5, –90-98 с.

Матгис Г.Я., Степанов А.М. (1998). Уроки «плана преобразования природы» // Защитное лесоразведение: история, достижения, перспективы (к 50-летию постановления «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрению травопольных севооборо-

тов, строительстве прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР»). – Волгоград. – 236 с.

МГЭИК (1997). Пересмотренные Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. МГЭИК, 1996. В 3-х томах. Режим доступа: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/russian.html>

МГЭИК (2000). Руководящие указания по эффективной практике и учет факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Режим доступа: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/russian/gpgaum_ru.html

МГЭИК (2003). Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Режим доступа: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/lucf/gp/lucf_languages.html

МГЭИК (2006). Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. в 5-ти томах. Том 4. Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования Хаяма: Институт глобальных стратегий окружающей среды. Режим доступа: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol4.html>

Медведева М. А., Коротков В. Н. (2026). Влияние обводнения осушенных торфяников на выбросы парниковых газов от торфяных пожаров в Московской области // Метеорология и гидрология, (1). – С. 110–118.

Межведомственная комиссия Российской Федерации по проблемам изменения климата (2002). Третье национальное сообщение Российской Федерации. – М.: – 158 с.

Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (2007). ГОСТ 78-2004 Шпалы деревянные для железных дорог широкой колеи. Технические условия. Минск.

Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения <https://docs.cntd.ru/document/1200076297/titles/8OU0LQ>

Министерство внешней торговли (1967). Внешняя торговля СССР в 1918-1966 гг.: Стат. сб. – М.: Международные отношения. – 42 с.

Министерство внешней торговли (1973-1989). Внешняя торговля СССР: Стат. сб. – М.: Финансы и статистика.

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации (2001). Результаты агрохимического мониторинга на реперных участках. – М.: Агроконсалт. – 80 с.

Минсельхоз России (1996). Промышленно-экономические показатели развития агропромышленного комплекса России в 1995 г. Часть 1. – М.: Информагробизнес. – 269 с.

Минсельхоз РСФСР (1980). Распределение земельного фонда сельскохозяйственных угодий РСФСР по группам почв. – М.: Россельхозхимия, Главное управление землепользования и землеустройства, ВНИ и проектно-технологический институт химизации с.х. – 107 с.

Минсельхоз СССР (1983). ОНТП 17-81. Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. – М.: Колос. – 32 с.

Мокроносов А.Т. (1999). Глобальный фотосинтез и биоразнообразие растительности // Глобальные изменения природной среды и климата. Круговорот углерода на территории России. Избранные научные труды по проблеме «Глобальная эволюция биосферы. Антропогенный вклад». Отд. выпуск под ред. Г.А. Заварзина. – М., –19-62 с.

МПС России (1997). ОСН 3.02.01-97. Отраслевые строительные нормы. Нормы и правила проектирования отвода земель для железных дорог. – М.

Мыц Е.А. (1996). Потери аммиачного азота из навоза и приготовленных по различным технологиям компостов в зависимости от сроков заправки // Агрехимия. –№ 7, – 74-76 с.

Нечаева Т. В. (2023). Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) //Почвы и окружающая среда. – Т. 6. – №. 2. – С. 1-32.

Наумов А.В. (1994). Сезонная динамика и интенсивность выделения CO₂ в почвах Сибири // Почвоведение. –№ 12, – 77-83 с.

Загреев В. В., Сухих В. И., Швиденко А. З., Гусев Н. Н., Мошкалев А. Г. (1992). Общесоюзные нормативы для таксации лесов. – М.: Колос. – 495 с.

Ольчев А. В. Гулев С. К. (2024) Карбоновые полигоны Российской Федерации: цели, задачи, перспективы // Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. – Москва: Российская академия наук, 2024. – С. 343-355. – EDN ZYMBBT.

Ольчев А. В., Прокушкин А. С., Панов А. В., Курбатова Ю. А. (2024) Эколого-климатические станции мониторинга потоков климатически активных веществ в рамках реализации государственных программ «Карбоновые полигоны» и «Ритм углерода» // Наука и технологии Сибири. – 2024. – № 2(13). – С. 96-101. – EDN FPEMKT.

Орлов Д.С. (1999). Запасы, поступление и круговорот углерода в почвах России. // Круговорот углерода на территории России. М.: Министерство науки и технологий Российской Федерации. – 271-299 с.

Орлов Д.С., Бирюкова О.М. (1995). Запасы углерода органических соединений в почвах Российской Федерации // Почвоведение. –№ 1, – 21-32 с.

Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. (1996). Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации // Почвоведение. –№ 2, – 197-207 с.

Орлов Д.С., Гришина Л.А. (1968). Методика по изучению содержания и состава гумуса в почве. М.: Изд-во МГУ. 83 с

Павлик С.В. (2012). Оценка эмиссии парниковых газов из сельскохозяйственных почв при использовании различных агротехнологий: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург. – 29 с.

Пацукевич З.В., Козловская М.Э. (2000). Эрозионно-аккумулятивные процессы в степной зоне Европейской части России // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 12. – М.: Изд-во МГУ. – 297 с.

Попов П.Д., Хохлов В.И., Егоров А.А. и др. (1988). Органические удобрения: Справочник. – М.: Агропромиздат. – 207 с.

Попова Э.П. (1968). Интенсивность дыхания почв под различными культурами // Труды Красноярского сельскохозяйственного ин-та. Т. XIX, – 157-163 с.

Рожков В.А., Вагнер В.В., Кагут Т.М. и др. (1997). Запасы органических и минеральных форм углерода в почвах России // Углерод в биогеоценозах. Чтения памяти академика В.Н. Сукачева. XV. – М., – 5-58 с.

Романенко Г.А., Тютюнников А.И., Сычев В.Г. (2000). Удобрения. Значение, эффективность применения. Справочное пособие. – М.: ЦИНАО. – 371 с.

Романовская А.А. (2006). Органический углерод в почвах залежных земель России // Почвоведение. – № 1, – 52-61 с.

Романовская А.А. (2008). Основы мониторинга антропогенных эмиссий и стоков парниковых газов (CO₂, N₂O, CH₄) в животноводстве, при сельскохозяйственном землепользовании и изменении землепользования в России: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. – М., – 42 с.

Романовская А.А. (2014) Динамика органического углерода почв при переводе земель в поселения и прочие земли // Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием «Гуминовые вещества в биосфере», 6-10 октября 2014 г. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. – 31-34 с.

Романовская А.А., Гитарский М.Л., Карабань Р.Т., Назаров И.М. (2002). Оценка эмиссии закиси азота от не утилизируемой в аграрном секторе страны мортмассы сельскохозяйственных растений. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 18. – СПб.: Гидрометеиздат. – 276-286 с.

Романовская А.А., Карабань Р.Т. (2007). Баланс почвенного углерода возделываемых земель России. В сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Том XXI. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат. стр. 58-74.

Романовская А.А., Карабань Р.Т. (2008). Региональные особенности баланса углерода почв на кормовых угодьях России // Известия РАН. Серия географическая. – № 4, – 96-104 с.

Романовская А.А., Коротков В.Н., Карабань Р.Т., Смирнов Н.С. (2012). Динамика элементов баланса углерода на неиспользуемых пахотных угодьях Валдайской возвышенности // Экология. № 5, – 347-352 с.

Романовская А.А., Коротков В.Н., Смирнов Н.С., Карабань Р.Т., Трунов А.А. (2014). Оценка вклада землепользования в России в антропогенную эмиссию парниковых газов // Метеорология и гидрология. – № 3, – 5-18 с.

Романовская А.А., Трунов А.А., Коротков В.Н., Карабань Р.Т. (2018). Проблема учета поглощающей способности лесов России в Парижском соглашении // Лесоведение. – № 5, – 323–334.

Романовская, А. А., Гинзбург, В. А., Гладильщикова, А. А., Коротков, В. Н., Бабиков, И. В., Вакурова, Э. Ю., Вертянкина, В. Ю., Говор, И. Л., Зайнулин, С. М., Зеленова, М. С., Имшенник, Е. В., Козлова, Е. Н., Лытов, В. М., Нахутин, А. И., Пожидаева, А. Е., Позднякова, Е. А., Полумиева, П. Д., Попов, Н. В., Самохвалов, Д. М., Сорокина, Д. Д., Трунов, А. А., Шепелева, И. С. (2025). Антропогенные потоки парниковых газов в России // Метеорология и гидрология, (9):58–82.

Росгидромет (1994-1996). Ежегодник качества поверхностных вод РФ. Обнинск: ВНИИ ГМИ-МЦД.

Росземкадастр (1996-2002). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации. – М.: РУССЛИТ.

Росземкадастр (2002). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2001 году. – М.: ФГУП «ФКЦ Земля». – 155 с.

Рослесхоз (1995а). Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. Утверждена приказом Федеральной службой лесного хозяйства России от 15.12.1994 г. –№ 265. (Зарегистрировано в Минюсте России 28.06.1995г., № 887). – М., – 19 с.

Рослесхоз (1995b). Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда на 1 января 1993 г.). Справочник. – М.: ВНИИЦлесресурс. – 280 с.

Рослесхоз (1997). Инструкция о порядке ведения государственного учета лесного фонда. Утверждена приказом Федеральной службой лесного хозяйства России от 30.05.97 г. –№ 72. М., –77 с.

Рослесхоз (1999). Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда на 1 января 1998 г.). Справочник. – М.: ВНИИЦлесресурс. – 650 с.

Рослесхоз (2002). Леса России. Пушкино: ВНИИЛМ. – 48 с.

Рослесхоз (2003а). Государственный доклад о состоянии и использовании лесных ресурсов Российской Федерации в 2002 году. – М.: ВНИИЛМ. – 116 с.

Рослесхоз (2003b). Лесное хозяйство России: начало третьего тысячелетия. – М.: ВНИИЛМ. – 176 с.

Рослесхоз (2003с). Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда на 1 января 2003 г.). Справочник. – М.: ВНИИЛМ. – 640 с.

Рослесхоз (2005). Государственный доклад о состоянии и использовании лесных ресурсов Российской Федерации в 2004 году. – М.: ВНИИЛМ. – 82 с.

Рослесхоз (2006). О состоянии и использовании лесных ресурсов Российской Федерации в 2005 году: государственный доклад. – М.: ВНИИЛМ. – 214 с.

Рослесхоз (2007). О состоянии и использовании лесных ресурсов Российской Федерации в 2006 году: государственный доклад. – М.: ВНИИЛМ. – 199 с.

Роснедвижимость (1990). Отчет о наличии земель и распределении их по категориям, угодьям, землевладельцам и землепользователям по состоянию на 1 ноября 1990 года. – М., – 6 с.

Роснедвижимость (2004). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2003 году. – М.: ФГУП «ФКЦ Земля». – 166 с.

Роснедвижимость (2005). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2004 году. –М.: ФГУП «ФКЦ Земля». – 194 с.

Роснедвижимость (2006а). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2005 году. – М.: ФГУП «ФКЦ Земля». – 200 с.

Роснедвижимость (2006b). Земельный фонд Российской Федерации на 1 января 2006 года. – М.: ФГУП «ФКЦ «Земля». – 698 с.

Роснедвижимость (2007a). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2006 году. – М.: ФГУП «ФКЦ Земля». – 238 с.

Роснедвижимость (2007b). Земельный фонд Российской Федерации на 1 января 2007 года. – М.: ФГУП «ФКЦ «Земля». – 269 с.

Роснедвижимость (2008a). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2007 году. – М.: ФГУП «ФКЦ Земля». – 270 с.

Роснедвижимость (2008b). Земельный фонд Российской Федерации на 1 января 2008 года. – М. Режим доступа: <http://www.rosreestr.ru>, свободный.

Роснедвижимость (2009a). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2008 году. – М.: ФГУП «ФКЦ Земля». – 260 с.

Роснедвижимость (2009b). Земельный фонд Российской Федерации на 1 января 2009 года. – М. Режим доступа: <http://www.rosreestr.ru>, свободный.

Росреестр (2010a). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2009 году. – М.: ФГУП «ФКЦ Земля». – 249 с.

Росреестр (2010b). Земельный фонд Российской Федерации на 1 января 2010 года. – М.: ФГУП «ФКЦ «Земля». – 710 с. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/>, свободный.

Росреестр (2011a). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2010 году. – М.: ФГУП «ФКЦ Земля». – 257с.

Росреестр (2011b). Земельный фонд Российской Федерации на 1 января 2011 года. – М.: ФГУП «ФКЦ «Земля». – 711 с. – Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/>, свободный.

Росреестр (2012a). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2011 году. – М.: ФГУП «ФКЦ Земля». – 248 с.

Росреестр (2012b). Земельный фонд Российской Федерации на 1 января 2012 года. – М.: ФГУП «ФКЦ «Земля». – 695 с. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/>, свободный.

Росреестр (2013a). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2012 году. – М., – 252 с.

Росреестр (2013b). Земельный фонд Российской Федерации на 1 января 2013 года. – М.: ФГУП «ФКЦ «Земля». – 694 с. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/>, свободный.

Росреестр (2014). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2013 году. – М., – 196 с. Режим доступа:

<https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/>, свободный.

Росреестр (2015). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2014 году. – М., – 224 с. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/>, свободный.

Росреестр (2016). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2015 году. – М., – 224 с. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/>, свободный.

Росреестр (2021). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2020 году. – М., – 197 с. Режим доступа: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/>, свободный.

Росреестр (2022). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2021 году. – М., – 197 с. Режим доступа: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/>, свободный.

Росреестр (2023). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2022 году. – М., – 185 с. Режим доступа: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/>, свободный.

Росреестр (2024). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2023 году. – М., – 185 с. Режим доступа: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/>, свободный.

Росреестр (2025). Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2024 году. – М., – 185 с. Режим доступа: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/>, свободный.

Росреестр (2017). Сведения о наличии и распределении земель в Российской Федерации на 01.01.2017 (в разрезе субъектов Российской Федерации). – М.: Росреестр. – 16 с. <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/>, свободный.

Росреестр (2018). Сведения о наличии и распределении земель в Российской Федерации на 01.01.2018 (в разрезе субъектов Российской Федерации). – М.: Росреестр. – 5 с. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii/>, свободный.

Росреестр (2019). Сведения о наличии и распределении земель в Российской Федерации на 01.01.2019 (в разрезе субъектов Российской Федерации). – М.: Росреестр. – 5 с. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyu-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/gosudarstvennyu-natsionalnyu-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii/>, свободный.

Росреестр (2020). Сведения о наличии и распределении земель в Российской Федерации на 01.01.2020 (в разрезе субъектов Российской Федерации). – М.: Росреестр. – 5 с. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyu-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/gosudarstvennyu-natsionalnyu-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii/>, свободный.

Росреестр (2021). Сведения о наличии и распределении земель в Российской Федерации на 01.01.2021 (в разрезе субъектов Российской Федерации). – М.: Росреестр. – 5 с. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyu-monitoring-zemel/sostoyanie-zemel-rossii/gosudarstvennyu-natsionalnyu-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii/>, свободный.

Российская Федерация (2006). Четвертое национальное сообщение Российской Федерации.

Российская Федерация (2007). Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2005 гг. – М., – 235 с.

Российская Федерация (2008). Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2006 гг. – М., – 259 с.

Российская Федерация (2010). Пятое национальное сообщение Российской Федерации. – М., – 196 с.

Российская Федерация (2011). Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2009 гг.

Российская Федерация (2023). Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2021 гг. в 2 томах, Москва.

Российская Федерация (2024). Национальный доклад Российской Федерации о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2022 гг. в 2 томах, Москва.

Росстат (2004). Сельское хозяйство, охота и лесоводство в России. Стат. сборник. – М., – 78 с.

Росстат (2005-2022). Российский статистический ежегодник. Стат. сборник. – М.

Росстат (2009). Сельское хозяйство, охота и лесоводство в России. Стат. сб. – М., – 439 с.

Росстат (2011). Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесоводство в России. Стат.сб. – М., – 446 с.

Росстат (2012). Российский статистический ежегодник. Стат. сборник. – М., –786 с.

Росстат (2013). Российский статистический ежегодник. Стат. сборник. – М., – 717 с.

Росстат (2015). Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесоводство в России. Стат.сб. – М., – 201 с.

Росстат (2016). Российский статистический ежегодник. Стат. сборник. – М., – 725 с.

Сапронов Д.В. (2007). Многолетняя динамика эмиссии CO₂ из серых лесных и дерново-подзолистых почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., – 20 с.

Сидорчук А.Ю., Сидорчук А.А. (1998). Система принятия решения для охраны почв в случае овражной эрозии. // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения. Тез. докл. всероссийской конференции. 16-18 июня 1998 г. Т. 2. – М., – 39-42 с.

Сирин А.А., Минаева Т.Ю. и другие. (2001). Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации /- М.: Геос. –190 с.

Смирнов В.Н. (1954). К вопросу о биологической активности почв под лесами южной части таежной зоны // Труды Института леса АН СССР. Т. 32, – 267-276 с.

Смирнов П.М., Муравин Э.А. (ред.) (1984). Агрехимия. – М.: Колос. – 304 с.

Соколов А.В., Розов Н.Н. (1976). Почвенно-агрехимическое районирование территории СССР // Агрехимическая характеристика почв СССР. Т. 15, – 5-16 с.

Стандартная рабочая методика для Органический углерод почвы <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9b2a6ffb-5a52-4914-9a28-19bcbc969e6a/content>

Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) (2008) / Швиденко А.З., Щепашенко Д. Г., Нильссон С., Булуй Ю.И. Издание второе, дополненное. – М.: Рослесхоз; Международный институт прикладного системного анализа. – 886 с.

Титлянова А.А., Булавко Г.И., Кудряшова С.Я., Наумов А.В., Смирнов В.В., Танащенко А.А. (1998). Запасы и потери органического углерода в почвах Сибири // Почвоведение. –№ 1. –51-59 с.

Титлянова А.А., Кудряшова С.Я., Косых Н.П., Шибарева С.В. (2005). Биологический круговорот углерода и его изменение под влиянием деятельности человека на территории Южной Сибири // Почвоведение. –№ 10, –1240-1250 с.

Титлянова А.А., Тесаржова М. (1991). Режимы биологического круговорота. Новосибирск: Наука. – 150 с.

Трофимова Т.А. (1989). Влияние различных обработок на показатели биологической активности чернозема обыкновенного // Почвозащитная обработка и рациональное применение удобрений. Каменная степь. – 46-49 с.

Тюлин В.В., Кузнецов Н.К. (1971) Содержание углекислого газа в почвенном воздухе и дыхание дерново-подзолистых почв // Труды Кировского с-х ин-та (агрехимия). Киров. – 280-289 с.

Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В., Коровин Г.Н., Зукерт Н.В. (2001) Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. –№ 5, – 8-23 с.

Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. (2003) Методы определения депонирования углерода фитомассы и нетто-продуктивности лесов (на примере Республики Беларусь) // Лесоведение. –№ 1, – 48-57 с.

Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В. (2004) Углеродные пулы фитомассы, почв и депонирование углерода в еловых лесах России // Хвойные бореальной зоны. Теоретический и научно-практический журнал. Вып. 2, – 21-30 с.

Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В., Коровин Г.Н. (2005). Пулы углерода фитомассы и почв в лесном фонде республики Саха (Якутия) // География и природные ресурсы. –№ 1, – 95-103 с.

Филиппов Г.В. (1975). О макроструктуре таксационных участков // Сб. научн. тр. ЛенНИИЛХ. Вып. 22. Л. – 38-44 с.

Филипчук А.Н., Страхов В.В., Борисов В.А. и др. (2000). Краткий национальный очерк о секторе лесного хозяйства и лесных товаров: Российская Федерация // Серия документов по сектору лесного хозяйства и лесной промышленности. Т. 18. Нью-Йорк, Женева: ООН. – 94 с.

Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Федоров С.В., Бердов А.М., Косицын В.Н., Югов А.Н., Кинигопуло П.С. (2022) Аналитический обзор количественных и качественных характеристик лесов Российской Федерации: итоги первого цикла государственной инвентаризации лесов // Лесохозяйственная информация. 2022. № 1. С. 5-34. DOI 10.24419/LNI.2304-3083.2022.1.01. EDN DWYGQL.

Фомин В.В., Рогачев В.Е., Агапитов Е.М., Михайлович А.П., Рогачев Л.Е., Костусова Е.А., Переходова Е.С., Коритняк Е.Б., Паршин С.П., Рублева С.С., Стратонов Д.Д., Голиков Д.Ю. (2024) Депонирование углерода основными лесообразующими древесными породами карбонового полигона Свердловской области // Леса России и хозяйство в них. – 2024. – № 4(91). – С. 4-16. – DOI 10.51318/FRET.2024.91.4.001. – EDN ILLHDY.

ЦСУ РСФСР (1962). Народное хозяйство РСФСР.: Стат. ежегодник. –М.: Госстатиздат. – 624 с.

ЦСУ РСФСР (1965-1976). Народное хозяйство РСФСР в 1963 г.: Стат. ежегодник. – М.: Статистика.

ЦСУ РСФСР (1981). Народное хозяйство РСФСР в 1980 г.: Стат. ежегодник. – М.: Госстатиздат. – 406 с.

ЦСУ РСФСР (1986). Народное хозяйство РСФСР в 1985 г.: Стат. ежегодник. – М.: Финансы и статистика. – 398 с.

ЦЭПЛ РАН (2008). Отчет о научно-исследовательской работе (итоговый) по Государственному контракту №МГ-04-06/65К от 3 июля 2007г. «Методическое обеспечение лесохозяйственной деятельности и регулярных оценок эмиссии и стоков углерода лесами в условиях выполнения Российской Федерацией обязательств по Рамочной конвенции ООН об изменении климата и Киотскому протоколу» Этап 4. «Проведение количественной оценки эмиссии и стока атмосферного углерода в управляемых лесах и при лесоразведении». – М.: ЦЭПЛ РАН. – 149 с.

Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. (1999) Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России // Лесоведение. –№ 2, – с. 13-21.

Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. (2004). Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России //Лесоведение. –№ 4, – 30-42 с.

Честных О.В., Лыжин В.А., Кокшарова А.В. (2007). Запасы углерода в подстилках лесов России // Лесоведение. – № 6, – 114-121 с.

Чимитдоржиева Г.Д., Егорова Р.А., Андрианова Л.В., Гомбоева Б.Б. (1990). Минерализационные потери органического вещества при применении нетрадиционных удобрений. // Экол. оптимиз. агролесоландшафтов бассейна оз. Байкал. АН СССР. Улан-Удэ: Бурят. Науч. Центр, Ин-т биологии. –164-173 с.

Швиденко, А.З., Щепаченко, Д. Г., Нильссон, С., Булуй, Ю.И. (2008) Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы), Издание второе, дополненное, М., Рослесхоз, Международный институт прикладного системного анализа, 886 с.

Шильников И.А., Ермалаев С.А., Аканова Н.И. (2006). Баланс кальция и динамика кислотности пахотных почв в условиях известкования. – М.: ВНИИА. – 150 с.

Шпаков А.П., Назаров В.К., Певзнер И.Л. и др. (ред.) (1991). Кормовые нормы и состав кормов: Справочное пособие. Минск: Ураджай. – 384 с.

Akagi S.K., Yokelson R.J., Wiedinmyer C., Alvarado M.J., Reid J.S., Karl T., Crounse J.D. and Wennberg P.O. (2011). Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models //Atmos. Chem. Phys. 11. – 4039-4072 p.

Coleman K., Jenkinson D.S., Roth C. (1996). A Model for the turnover of carbon in soil. // Evaluation of Soil Organic Matter Models. Ed. by Powlson D.S., Smith P., Smith J.U. Berlin, Heidelberg: Springer – Verlag. NATO ASI Series. V. 138, –237-246 p.

Hong-Kong Observatory (2003). 1961-1990 Global Climate Normals. National Climatic Data Centre of the United States. WMO. Available at: http://www.hko.gov.hk/wxinfo/climat/world/eng/europe/russia/russia_e.htm.

Inoko A. (1985). Evaluation of maturity of various composted materials // JARQ. Vol. 19, –№ 2. –103-108 p.

IPCC (2013). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Available at <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/index.html>

IPCC (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Edited by Eduardo Calvo Buendia, Kiyoto Tanabe, Andrej Kranjc, Baasansuren Jamsranjav, Maya Fukuda, Sekai Ngarize, Akira Osako, Yurii Pyrozhenko, Pavel Shermanau and Sandro Federici. Published: IPCC, Switzerland. Available at <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

Food and Agriculture Organization (2017). FAOSTAT Forestry data. Web site <http://faostat.fao.org/>

Jandl R., Lindner M., Vesterdal L., Bauwens B., Baritz R., Hagedorn F., Johnson D.W., Minkinen K., Byrne K. A. (2007) How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? // Geoderma, –137, –253-268 p.

Jenkinson D.S. (1990). The turnover of organic carbon and nitrogen in soil //Philosophical transactions of the Royal Society. V. B329, –361-368 p.

Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. (2014) Carbon cost of collective farming collapse in Russia // Global Change Biology. –20, – 938–947 p. – doi: 10.1111/gcb.12379

Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluk M., Jonas M., Obersteiner M. (2000). Full carbon account for Russia. Interim report IR-00-021. Austria: IIASA. –181 p. Available at <http://www.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-00-021.pdf>

Rochette P., Desjardins R.L., Gregorich E.G., Pattey E., Lessard R. (1992). Soil respiration in barley (*Hordeum vulgare* L.) and fallow fields // Canad. J. Soil Sc. V. 72, –№ 4, – 591-603 p.

Romanovskaya A. A., Korotkov V. N., Polumieva P. D., Trunov A.N., Vertyankina V.Yu., Karaban R.T. (2019). Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09885-2>

Romanovskaya, A. and Korotkov, V. (2024). Balance of anthropogenic and natural greenhouse gas fluxes of all inland ecosystems of the Russian Federation and the contribution of sequestration in forests // FORESTS, 15(4):707.

Schepaschenko D.G., Shvidenko A.Z., Usoltsev V., Lakyda P., Luo Y., Vasylyshyn R., Lakyda I., Myklush Y., See L., McCallum I., Fritz S., Kraxner F., Obersteiner M. (2017) A dataset of forest biomass structure for Eurasia // Scientific Data. – V. 4, Article number: 170070. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.70>

Schepaschenko D., Moltchanova E., Shvidenko A., Blyshchyk V., Dmitriev E., Martynenko O., See L., Kraxner F. (2018) Improved Estimates of Biomass Expansion Factors for Russian Forests // Forests. – 9, –312, –1-23 p. – <https://doi.org/10.3390/f9060312>

Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S. et al. (2021). Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported // Scientific reports. – Vol. 11. –12825 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>

Shvidenko, A., Mukhortova, L., Kapitsa, E., Kraxner, F., See, L., Pyzhev, A., Gordeev, R., Fedorov, S., Korotkov, V., Bartalev, S., Schepaschenko, D. (2023) A Modelling System for Dead Wood Assessment in the Forests of Northern Eurasia, Forests, vol. 14(1), p. 45, URL: <https://doi.org/10.3390/f14010045>.

Sirin A., Medvedeva M., Korotkov V. et al. (2021). Addressing peatland rewetting in Russian Federation climate reporting // LAND. –Vol. 10, – no. 11, –1200 p. <https://doi.org/10.3390/land10111200>.

Sirin A.A., Medvedeva M.A., Itkina V.Yu, Makarov D.A., Korotkov V.N. (2022). Peat fire detection to estimate greenhouse gas emissions // Russian Meteorology and Hydrology, том 47, –№ 10, –748-757 с.

Thomas S.C., Martin A.R. (2012). Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis // Forests. – 3, –332-352 p. <https://doi.org/10.3390/f3020332>

Литература и источники данных к разделу 7

Абрамов Н.Ф., Борисов Ю.А., Воробьев В.А. (1991). Отчет по теме: «Предварительная оценка величины эмиссии метана и углекислого газа в атмосферу от свалок твердых отходов, прогноз на 2000 – 2010 г.», – М.: Академия коммунального хозяйства. – 70 с.

Абрамов Н.Ф., Суворов В.Н., Борисов Ю.А. (1992). Отчет по теме: «Оценка и сравнительный анализ интенсивности антропогенной эмиссии метана с полигонов твердых и жидких бытовых отходов на территории России». – М.: Академия коммунального хозяйства. – 80 с.

Алексеев Д. (2024). Копрометация: подорожает ли вывоз жидких отходов после изменений. Известия – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://iz.ru/1718712/dmitrii-alekseev/koprometacii-podorozhaet-li-vyvoz-zhidkikh-otkhodov-posle-izmenenii> - Загл. с экрана. – Яз. рус.

АО «Мосводоканал» (2018). Годовой отчет АО «Мосводоканал» за 2017 год.: - М., Утвержден решением единственного акционера АО «Мосводоканал» от 22 июня 2018 г.

АО «Мосводоканал» (2024). Годовой отчет АО «Мосводоканал» за 2023 год.: - М., Утвержден решением единственного акционера АО «Мосводоканал» от 28.06.2024 г.

Бюро НДТ (2015а). ИТС 1-2015. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. – М., –465 с.

Бюро НДТ (2015б). ИТС 10-2015. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. – М., –377 с.

Бюро НДТ (2019). ИТС 10-2019. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. 2019. – М.: 416 с.

Бюро НДТ (2022). ИТС 1–2022. Целлюлозно-бумажное производство. – М., – 418 с.

Васильев Б.В., Григорьева Ж.Л. (2006). Обработка и утилизация осадков сточных вод в Санкт-Петербурге. Водоснабжение и санитарная техника. –№ 9, ч. 1, – 58-62 с.

Волынкина Е.П., Зайцева Т. Н. (2010). Инвентаризация полигонов и свалок КТО в России и оценка их метанового потенциала. ЭКиП: Экология и промышленность России. – №1. –30-31 с.

Воронов Ю. В. (2006). Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов. – 704 с.: ил.

Госкомстат России (1999). Российский статистический ежегодник 1998. Статистический сборник. – М.: ЗАО «Московский издательский дом». – 813 с.

Госкомстат России (1998). Социальное положение и уровень жизни населения России 1998. Статистический сборник. – М., – 440 с.

Госсанэпиднадзор России (2003) СанПиН 2.1.7.1322-03. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления. – М.: Деан. – 32 с.

Госстрой России (2004). Пособие по проектированию автономных инженерных систем многоквартирных и блокированных жилых домов (водоснабжение, канализация, теплоснабжение и вентиляция, газоснабжение, электроснабжение). МДС 40-2.2000 / Госстрой России, Торговый дом «Инженерное оборудование». – М.: ФГУП ЦПП. – 48 с.

Госстрой СССР (1986). СНиП 2.04.03-85/СП 32.13330.2010. Канализация. Наружные сети и сооружения. Утв. постановлением Госстрой СССР от 21.05.1985 г. №71.

Госстрой СССР (1989). СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Утв. Постановлением Госстроя СССР от 16.05.1989 N 78.

Гуляева И.С., Дьяков М.С., Савинова Я.Н., Русакова В.А., Глушанкова И.С. (2012). Анализ и обоснование методов обезвреживания и утилизации осадков сточных вод биологических

очистных сооружений. Вестн. ПНИПУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – Пермь, – № 2, –18-32 с.

Гурвич В. И. (2001). Гурвич В. И., Лифшиц А. Б. Добыча и утилизация свалочного газа (СГ) самостоятельная отрасль мировой индустрии / Энергоэффективность. –№ 04 (42), 25-31с.

Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. (1991). Метантенки. – М.: Стройиздат, – 128 с.

Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. (1996). Отчет по теме: «Определение количества и характеристик бытовых и промышленных (от различных отраслей хозяйства) сточных вод для оценки эмиссии CH₄ в атмосферу и утилизации биогаза, образующегося при обработке сточных вод в России» – М.: НПФ «БИФАР», 1996. – 68 с.

Данилович Д. А., Ванюшина А. Я. (2013) Анаэробное сбраживание-ключевая технология обработки осадков городских сточных вод (Ч. 1) / Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 10. – С. 58-65.

ЕМИСС (2025). Единая межведомственная информационно – статистическая система. Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/>, открытый.

Зайдель А.Н. (1985). Погрешности измерений физических величин. – Л.: Наука, –112 с.

Масленников А.Ю. (2006). Мусоросортировочные предприятия. Справочник. М., –127 с.

МГЭИК (2000). Руководящие указания по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов. МГЭИК, Хайяма.

МГЭИК (2003). Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_languages.html - Загл. с экрана. – Яз. рус.

МГЭИК (2006). Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. Т. 1-5. – МГЭИК, Хайяма.

Минжилкомхоз РСФСР, АКХ им. К.Д. Памфилова (1989). Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от мусоросжигательных и мусороперерабатывающих заводов. – М.: АКХ им. Памфилова.

Минздрав России (2001). СП 2.1.7.1038-01. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов. – М.: Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, –№ 33.

Минздрав СССР (1978). Методические указания по санитарной охране водоемов от загрязнения сточными водами целлюлозно-бумажной промышленности. – М.

Минприроды России (2013). Приказ Минприроды России от 14.08.2013 N 298 "Об утверждении комплексной стратегии обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации". – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/499041934> - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Минприроды России (2021). О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, – 864 с.

Минприроды России (2022). О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, – 684 с.

Минрегион России (2010). СП 42.13330.2011 Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Утв. Приказом Минрегиона России от 28.12.2010 N 820.

Минрегион России (2012а). СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99». – М., – 124 с.

Минрегион России (2012b). СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Утв. приказом Минрегиона России от 29.12.2011 г. N 635/11. – М.: ФАУ «ФЦС». – 106 с.

Минстрой России (2016). СП 42.13330.2016 Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2016 N 1034/пр

Минстрой России (2017). СП 320.1325800.2017 Свод правил. Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация. Утв. Приказом Минстрой России от 17.11.2017 г. N 1555/пр – М.: Стандартиформ

Минстрой России (2018). СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. Утв. приказом Минстроя России от 25.12.2018 г. N 860/пр. М.: Стандартиформ

Минстрой России (2022). Приказ от 16.03.2022 N 164/пр "Об утверждении Изменения N 1 СП 320.1325800.2017 Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация». – Электрон. дан. – Режим доступа: ИСС «Консультант» https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_415846/ - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Мирный А.Н., Абрамов Н.Ф. и др. (2005). Справочник. Санитарная очистка и уборка населенных мест. Под ред. А.Н. Мирного, Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. – М., – 315 с.

Мирный А.Н., Абрамов Н.Ф., Беньямовский Д.Н. и др. (1990). Справочник. Санитарная очистка и уборка населенных мест. Под ред. А.Н. Мирного. – 2-е изд., перераб. и доп., – М.: Стройиздат.– 413 с.

Мирный А.Н., Беньямовский Д.Н. и др. (1985). Справочник. Санитарная очистка и уборка населенных мест. Под ред. А.Н. Мирного. – М.: Стройиздат. – 245 с.

Мирный А.Н., Скворцов Л.С. (1997). Экология и промышленность России, –№3, – 41-43 с.

Мирный А.Н., Скворцов Л.С., Пупырев Е.И. и др. (2010). Справочник. Санитарная очистка и уборка населенных мест. – М.: Акад. коммун. хоз-ва им. К.Д. Памфилова.– 367 с.

Мирный А.Н., Скворцов Л.С., Пупырев Е.И., Корецкий В.Е. (2007). Коммунальная экология. Энциклопедический справочник. – М.: Прима-Пресс Экспо, – 806 с.

ОАО «Архангельский ЦБК» (2013). Отчет о выбросах парниковых газов за 2012 год.

ООО «ИПЭиГ» (2021). Единая концепция обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области (с возможностью разделения потоков ТКО). – С.-П., –453 с.

Правительство РФ (2022). Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2022 г. № 3240-р «Об утверждении важнейшего инновационного проекта государственного значения "Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ" и плана мероприятий ("дорожной карты") по реализации первого этапа (2022 - 2024 гг.) важнейшего инновационного проекта государственного значения "Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ"» – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405491263/> - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Президиум Совета при Президенте Российской Федерации (2018). Президиум Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16 "Паспорт национального проекта "Экология" – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_316096/ - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Пурим В.Р. (2002). Бытовые отходы. Теория горения. Обезвреживание. Топливо для энергетики. – М.: Энергоатомиздат. – 112 с.

Роспотребнадзор (2006). Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2005 году». – М., – 304 с.

Роспотребнадзор (2021). СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 05.02.2021, N 0001202102050027

Росприроднадзор (2018). Государственный реестр объектов размещения отходов. Электрон. дан. – Режим доступа: <http://rpn.gov.ru/opendata/7703381225-groro>, открытый.

Росприроднадзор (2021). Приказ Росприроднадзора от 02.02.2021 № 31 «Об утверждении Методологии расчета показателя «Количество несанкционированных свалок отходов» – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_395933/968cf2ebb91d215a9b714177cd10a76b77683154/ - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Росприроднадзор (2024а). Доклад о деятельности Росприроднадзора в 2023 году. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://rpn.gov.ru/upload/iblock/da8/x8cgrbq0y6fk8ziy6cdmf51s9e09nk9q/Doklad-2023-1_.pdf - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Росприроднадзор (2024б). Государственный реестр объектов размещения отходов. Электрон. дан. – Режим доступа: <http://rpn.gov.ru/opendata/7703381225-groro>, открытый.

Росприроднадзор (2025). Информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Росстандарт (2012). ГОСТ Р 54535-2011 Ресурсосбережение. Осадки сточных вод. Требования при размещении и использовании на полигонах. М.: Стандартинформ

Росстандарт (2021). ГОСТ Р 59748-2021 Технические принципы обработки осадков сточных вод. Общие требования. М.: ФГБУ "РСТ"

Росстат (2004а). Российский статистический ежегодник 2004. Статистический сборник. – М., ИИЦ «Статистика России». – 725 с.

Росстат (2004б). Социальное положение и уровень жизни населения России. Стат. сб. 2004. – М., ИИЦ «Статистика России».

Росстат (2007). Российский статистический ежегодник 2007. Стат. Сб. – М., ИИЦ «Статистика России».

Росстат (2010а). Российский статистический ежегодник 2010. Стат.сб./Росстат. – Р76 ИИЦ «Статистика России». – М., – 813 с.

Росстат (2010б). Тома официальной публикации итогов Всероссийской переписи населения 2010 года. Том 9. Жилищные условия населения – Электрон. дан. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Росстат (2010с). Социальное положение и уровень жизни населения России. Стат. сб. 2010. – М., ИИЦ «Статистика России».

Росстат (2013). Российский статистический ежегодник 2013. Стат.сб./Росстат. – Р76 ИИЦ «Статистика России». – М., – 717 с.

Росстат (2015). Российский статистический ежегодник. 2015: Стат.сб./Росстат. - Р76 ИИЦ «Статистика России». – М., – 728 с.

Росстат (2017а). Приказ от 21.08.2017 N 541 "Об утверждении статистического инструментария для организации федерального статистического наблюдения за деятельностью предприятий" – Электрон. дан. – Режим доступа: ИСС «Консультант» http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_223405/- Загл. с экрана. – Яз. рус.

Росстат (2017b). Российский статистический ежегодник. 2017: Стат.сб./Росстат. – ИИЦ «Статистика России». –М., – 686 с.

Росстат (2019). Российский статистический ежегодник. 2019: Стат.сб./Росстат. – М.,– 708 с.

Росстат (2020). Итоги ВПН-2020. Том 11 Жилищные условия населения – Электрон. дан. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/vpn/2020/Tom11_Zhilishchnye_usloviya_naseleniya - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Росстат (2023). Российский статистический ежегодник. 2023: Стат.сб./Росстат. – М.,– 701 с.

Росстат (2024). Российский статистический ежегодник. 2024: Стат.сб./Росстат. – М.,– 630 с.

Росстат (2025). Благоустройство жилищного фонда. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/statistics/zhilishhnye_usloviya - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Росстат (2025). Российский статистический ежегодник. 2025: Стат.сб./Росстат. – М.,– 621 с.

Сараев В. (2007). Непокоренная клоака // Эксперт. – N 32. – 62-70 с.

Сергушкин А. (2012). Новые технологии на полигоне «Преображенка»/ Областной журнал «Самара и Губерния», номер 4: декабрь – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.sgubern.ru/articles/6458/?sphrase_id=424463 - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Систер В.Г., Мирный А. Н., Скворцов Л. С. и др., (2001). Справочник. Твердые бытовые отходы: сбор, транспорт и обезвреживание. – М.: Академия коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. – 319 с.

Сперанская О., Цитцер О. (2004). Стойкие органические загрязнители: обзор ситуации в России. – М. ИРЕР. – 45 с.

Тимонин А.С. (2003). Инженерно-экологический справочник. Том 3. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой. – 1024 с.

ФАО (2024). Продовольственная и сельскохозяйственная организация Организации Объединенных Наций. База статистических данных FAOSTAT. Электрон. дан. – Режим доступа: <http://faostat.fao.org>, открытый.

ФГБУ ИГКЭ (2023). Итоговый отчет за 2023 год о выполнении научно-исследовательских работ по Соглашению о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации между Минэкономразвития России и ФГБУ «ИГКЭ» от 1 марта 2023 года № 139-15-2023-004 в рамках достижения результата федерального проекта «Политика низкоуглеродного развития» и реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» в части осуществления технического перевооружения, цифровизации и актуализации Национального кадастра, совершенствования сбора исходных данных. Книга 1. ИГКЭ. –М.

ФГБУ ИГКЭ (2024). Итоговый отчет за 2024 год о выполнении научно-исследовательских работ по Соглашению о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации между Минэкономразвития России и ФГБУ «ИГКЭ» от 1 марта 2023 года № 139-15-2023-004 в рамках достижения результата федерального проекта «Политика низкоуглеродного развития» и реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая

национальная система мониторинга климатически активных веществ» в части осуществления технического перевооружения, цифровизации и актуализации Национального кадастра, совершенствования сбора исходных данных. Книга 1. ИГКЭ. –М.

Федеральный закон (1998). Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 № 89-ФЗ – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ - Загл. с экрана. – Яз. рус.

Федеральный закон (1999). Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха". "Собрание законодательства Российской Федерации", 03.05.1999, –№ 18 –2222 с., "Российская газета", –№ 91, 13.05.1999.

Федеральный закон (2002). Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ - Загл. с экрана. – Яз. рус.

ЦСУ РСФСР (1966-1991). Народное хозяйство РСФСР: Статистический ежегодник. – М.: Статистика.

FCCC (2003). Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the Convention, Part I: UNFCCC reporting guidelines on annual greenhouse gas inventories. Decision 24/CP.19 Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention. Annex I., FCCC, Conference of the Parties.

IPCC (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

Литература и источники данных к приложениям V.1 и V.2

Бердин, В.Х., Уледова, Н.В., Кевбрина, И.А., Миронов, А.А., Попов, Н.В., Третьяк, О.С., Бобылев, П.М., Кабанов, Н.С., Гитарский, М.Л. (2024) Актуализация оценок эмиссии метана в угледобывающей промышленности России, Фундаментальная и прикладная климатология, т. 10, № 4, с. 541-560, doi:10.21513/2410-8758-2024-4-541-560.

Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР (1979). В 3-х т. / Гл. ред.: Кравцов А.И. – М.: Недра.

Ишков А.Г., Романов К., Колошкин Е., Неретин Д., Романовская К., Нахутин А., Попов В., Третьяк О. Применение уточненных коэффициентов выбросов парниковых газов при транспортировке и хранении природного газа в национальном кадастре России // Энергетическая политика. Т. 7 С. 26-37. 2024.

Мальшев Ю. Н., Айруни А.Т. (1999). Комплексная дегазация угольных шахт. – М.: Изд-во Акад. горн. наук. – 327 с.

МГЭИК (2006). Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г./Подготовлены Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Под ред. Игглестона С., Буэндия Л., Мивы К., Нгара Т., Танабе К. // Т.1-5. – ИГЕС// Хайяма.

Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты (2022). – М.: Российская академия наук. Под ред. академика РАН Бондура В.Г., академика РАН Мохова И.И., члена-корреспондента РАН Макоско А.А.

Методические рекомендации по определению и обоснованию технологических потерь природного газа, газового конденсата и попутного газа при добыче, технологически связанных с принятой схемой и технологией разработки месторождения. Электронный ресурс, URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71823792/?ysclid=mlaga9yrk8122351330>. Дата доступа 20.09.2024.

Минприроды России (2022). Распоряжение от 26.12.2022 № 38-р «Об утверждении Перечня методик расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарными источниками.» Электронный ресурс, URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/metodicheskie_dokumenty/metodiki_rascheta_vybrosov_vrednykh_zagryaznyayushchikh_veshchestv_v_atmosfernyy_vozdukh_statsionarn/perechn_metodik_rasheta_vybrosov_vrednyh_zagryaznyayushchikh_veshchestv_v_atmosfernyy_vozdukh_sta/?sphrase_id=754761&ysclid=m1afzuocwv199207732. Дата доступа: 20.09.2024.

Тайлаков О.В. (2009) / Эмиссия метана при добыче угля в России. / Тайлаков О.В., Кормин А.Н., Гитарский М.Л., Тайлаков В.О. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Том XXII. – М.: ИГКЭ. – 216-227 с.

ПАО «Газпром» (2024). Данные за 2012-2021 г., Фонд ФГБУ «ИГКЭ».

Попов Н.В., Говор И.Л., Гитарский М.Л., Эмиссия парниковых газов от сжигания попутного нефтяного газа в России // Метеорология и гидрология. 2021. – №5 – С. 54-61.

Справочник «Газпром в цифрах 2019-2023» - 42 с. / (Официальный сайт ПАО «Газпром», 2024, электронный ресурс, URL: <https://www.gazprom.ru/f/posts/24/142887/gazprom-in-figures-2019-2023-ru.pdf?ysclid=m6kzd1iwzv452507324> (дата обращения: 20.01.2025).

Уварова Н.Е., Грабар В.А., Гитарский М.Л., Нахутин А.И., Дыган М.М., Бердин В.Х. (2017). Национальные параметры для расчета эмиссии парниковых газов в российском нефтегазовом секторе. Экологический вестник России. – №11, – 12-17 с.

Филимонова И.В., Немов В.Ю., Проворная И.В., Мишенин И.В. Региональные особенности добычи и переработки нефти в России // Бурение и нефть. – 2020. – № 10.

Dedikov J.V., Akopova G.S., Gladkaja N.G., Piotrovskij A.S., Markellov V.A., Salichov S.S., Kaesler H., Ramm A., Muller von Blumencron A., Lelieveld J. (1999). Estimating Methane Releases from Natural Gas Production and Transmission in Russia. Atmospheric Environment, (33), – 3291-3299 p.

Литература и источники данных к приложению V.7

Ильясов Д.В., Сирин А.А., Суворов Г.Г., Метелева М.М., Маслов А.А., Мулдашев А.А., Широких П.С., Бикбаев И.Г., Мартыненко В.Б. Почвы и растительность антропогенно-измененного торфяника в степной зоне (на примере массива Берказан-Камыш, Башкирия) // Агрохимия. 2018. №12. С. 46-59. DOI: 10.1134/S0002188118120062

Кашницкий А.В., Бурцев М.А., Прошин А.А. Технология создания безоблачных композитных изображений по данным спутников серии Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. №19(5). С. 76-85. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-76-85

Маслов А.А., Гульбе А.Я., Гульбе Я.И., Медведева М.А., Сирин А.А. Оценка ситуации с зарастанием сельскохозяйственных земель лесной растительностью на примере Угличского района Ярославской области // Устойчивое лесопользование. 2016. №4. С. 6-14.

Медведева М.А., Возбранная А.Е., Барталев С.А., Сирин А.А. Оценка состояния заброшенных торфоразработок по многоспектральным спутниковым изображениям // Исследование Земли из космоса. 2011. №5. С. 80-88.

Медведева М.А., Возбранная А.Е., Сирин А.А., Маслов А.А. Возможности различных многоспектральных спутниковых данных для оценки состояния неиспользуемых пожароопасных и обводняемых торфоразработок // Исследование Земли из космоса. 2017. №3. С. 76-84. doi: 10.7868/S0205961417020051

Медведева М.А., Возбранная А.Е., Сирин А.А., Маслов А.А. Возможности различных мультиспектральных космических данных для мониторинга неиспользуемых пожароопасных

торфяников и эффективности их обводнения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. №16(2). С. 150-159. doi:10.21046/2070-7401-2019-16-2-150-159

Обводнение пожароопасных торфяников / Информационный выпуск о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2020 году Министерство экологии и природопользования Московской области. Красногорск, 2021. С. 104-108. <https://mer.mosreg.ru/download/document/10132535>

Сирин А.А., Медведева М.А., Ильясов Д.В., Коротков В.Н., Минаева Т.Ю., Суворов Г.Г. Обводненные торфяники в климатической отчетности Российской Федерации // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т.7 (3). С.84-112. doi: 10.21513/2410-8758-2021-3-84-112

Сирин А.А., Медведева М.А., Иткин В.Ю. Вторичное обводнение неиспользуемых осушенных торфяников и сокращение выбросов парниковых газов // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87 (4). С. 597-618. doi: 10.31857/S258755662304012X

Сирин А.А., Медведева М.А., Макаров Д.А., Маслов А.А. Юстен Х. Мониторинг растительного покрова вторично обводненных торфяников Московской области // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2019. Т. 65. Вып. 2. С. 321-334. doi: 10.21638/spbu07.2020.206

Сирин А.А., Минаева Т.Ю., Возбранная А.Е., Барталев С.А. Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. 2011. №2. С. 13-21.

Сирин А.А., Суворов Г.Г. Эмиссия парниковых газов на торфоразработках в центре Европейской России // Метеорология и гидрология. 2022. №3. 68-80. doi: 10.52002/0130-2906-2022-3-68-80

Чистотин М. В., Сирин А. А., Дулов Л. Е. Сезонная динамика эмиссии углекислого газа и метана при осушении болота в Московской области для добычи торфа и сельскохозяйственного использования //Агрехимия. 2006. №. 6. С. 54-62.

IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Program, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Volume 4. Agriculture, forestry and other land use. Chapter 7. Wetlands / Blain D., Row C., Alm J., Byrne K., Parish F., Duchemin É., Huttunen J.T., Tremblay A., Delmas R., Menezes C.F.S., Delmas R., Minayeva T., Pinguelli Rosa L.P., Sirin A.

IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Chapter 3. Rewetted organic soils / Blain D., Murdiyarslo D., Couwenberg J., Nagata O., Renou-Wilson F., Sirin A., Strack M., Tuittila E.-S., Wilson D., Evans C.D., Fukuda M., Parish F., Leifeld J., Sanz-Sánchez M.J.

IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

Medvedeva M.A., Vozbrannaya A.E., Sirin A.A., Maslov A.A. Capabilities of Multispectral Remote Sensing Data in an Assessment of the Status of Abandoned Fire Hazardous and Rewetting Peat Extraction Lands // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2017. No. 9, pp. 1070-1078. doi: 10.1134/S0001433817090201

Rydin H., Jeglum, J.K. The biology of peatlands // Oxford University Press. 2006. p. 162

Sirin A., Medvedeva M., Korotkov Vol., Itkin Vol., Minayeva T., Ilyasov D., Suворov G., Joosten H. Addressing Peatland Rewetting in Russian Federation Climate Reporting // Land. 2021. 10. 1200. doi: 10.3390/land10111200.

Sirin A., Minayeva T., Vozbrannaya A., Bartalev S. How to avoid peat fires? // Science in Russia. N2. 2011. P. 13-21.

Sirin A.A., Medvedeva M.A., Makarov D.A., Maslov A.A., Joosten H. Multispectral satellite-based monitoring of land cover change and associated fire reduction after large-scale peatland rewetting following the 2010 peat fires in Moscow Region (Russia) // *Ecological Engineering*. 2020. doi: 10.1016/j.ecoleng.2020.106044.

Sirin, A., Medvedeva, M., Maslov, A., Vozbrannaya, A. Assessing the Land and Vegetation Cover of Abandoned Fire Hazardous and Rewetted Peatlands: Comparing Different Multispectral Satellite Data. // *Land*. 2018. 7(71). 1-22. doi:10.3390/land7020071

Vozbrannaya A., Antipin V., Sirin A. After Wildfires and Rewetting: Results of 15+ Years' Monitoring of Vegetation and Environmental Factors in Cutover Peatland // *Diversity*. 2023. V 15. P.3. doi: 10.3390/d15010003

Wilson D., Blain D., Couwenberg J., Evans C.D., Murdiyarso D., Page S.E., Renou-Wilson F., Rieley J.O., Sirin A., Strack M., Tuittila E.-S. Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils // *Mires and Peat*. 2016. V. 17. Article 04. 1-28. doi: 10.19189/MaP.2016.OMB.222