



## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ УЧЁТА ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА СОСНОВО-БЕРЕЗОВЫМИ ЛЕСНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Дмитрий Н. Мамонов<sup>1</sup>✉, whbs@mail.ru, 0000-0003-4935-7329

Светлана С. Морковина<sup>1</sup>, tc-sveta@mail.ru, 0000-0003-3776-5181

Сергей М. Матвеев<sup>1</sup>, lisovod@bk.ru, 0000-0001-8532-1484

Сергей С. Шешнищан<sup>1</sup>, sheshnitsan@mail.ru, 0000-0002-8027-855X

Владан Иветич<sup>2</sup>, vladan.ivetic@sfb.bg.ac.rs, 0000-0003-0587-1422

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

<sup>2</sup>Белградский университет – Лесной факультет, ул. Князя Вышеслава, 1, г. Белград, 11030, Сербия

Современные исследования по проблеме оценки бюджета углерода лесов, как в России, так и за рубежом, характеризуются значительным разнообразием методических подходов и расчетных моделей. Как следствие, получаемые на выходе результаты оценок имеют расхождения. В статье представлены результаты сравнительного анализа методик, применяемых для оценки углерода сосново-березовых насаждений. Проанализированы состав, рост и биологическая продуктивность лесных насаждений и выполнен расчет запаса углерода сосново-березовыми древостоями различных возрастных групп в Центральной лесостепи. Представлена динамика биологической продуктивности модальных насаждений смешанного состава. Установлены значительные различия в полученных показателях по величине депонируемого насаждениями углерода, рассчитанной по разным методикам. Расхождения оценок содержания углерода в насаждениях разных возрастных групп и состава, полученных по разным методикам, варьируют от 2,0 до 33,9 %. Проблема достоверной оценки депонирования углерода лесными экосистемами Центральной лесостепи требует региональных подходов к разработке надёжных методов оценки, обеспечивающих получение достоверных результатов и минимизацию неопределённости.

**Ключевые слова:** фитомасса, биологическая продуктивность, депонирование углерода, смешанные насаждения


**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FZUR-2022-0005 Оценка биологической продуктивности и запаса углерода в различных типах лесных и сельскохозяйственных экосистем карбонового полигона FOR&ST CARBON). Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.


**Для цитирования:** Мамонов, Д. Н. Сравнительная оценка методов учёта депонирования углерода сосново-березовыми лесными насаждениями Воронежской области / Д. Н. Мамонов, С. С. Морковина, С. М. Матвеев, С.С. Шешнищан // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 3 (47). – С. 4–15. – Библиогр.: с. 11–14 (30 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1>.


**Поступила:** 16.08.2022 **Принята к публикации:** 25.09.2022 **Опубликована онлайн:** 01.10.2022


## COMPARATIVE EVALUATION OF CARBON SEQUESTRATION ACCOUNTING METHODS BY PINE-BIRCH FOREST PLANTATIONS IN VORONEZH REGION

Dmitry N. Mamonov<sup>1</sup>✉, whbs@mail.ru,  0000-0003-4935-7329

Svetlana S. Morkovina<sup>1</sup>, tc-sveta@mail.ru,  0000-0003-3776-5181

Sergey M. Matveev<sup>1</sup>, lisovod@bk.ru,  0000-0001-8532-1484

Sergey S. Sheshnitsan<sup>1</sup>, sheshnitsan@mail.ru,  0000-0002-8027-855X

Vladan Ivetic<sup>2</sup>, vladan.ivetic@sfb.bg.ac.rs,  0000-0003-0587-1422

<sup>1</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation

<sup>2</sup>University of Belgrade University of Belgrade – Faculty of Forestry, Knez Viseslav str., 1, Belgrade, 11030, Republic of Serbia

### Abstract

Current state of forest carbon budget accounting both in Russia and abroad is characterized by wide variety of methodological approaches and models. Therefore, final estimates have discrepancies. The results of comparative analysis of methods used to assess carbon sequestration in pine-birch forest stands are presented. The composition, growth and biological productivity of forest stands were analyzed as well as carbon stock was calculated for pine-birch forest stands in various age groups in the Central Forest-Steppe. The dynamics of biological productivity of modal forest stands with mixed composition is investigated. Significant differences were found in quantitative assessment of carbon deposited by forest stands obtained with three different methodologies. Discrepancies in carbon content estimations in forest stands with different age and composition obtained by different methods vary from 2.0 to 33.9%. The problem of reliable assessment of carbon sequestration by forest ecosystems of the Central Forest-Steppe requires regional approaches in development of assessment methods to provide precise results and minimize uncertainty of evaluations.

**Keywords:** phytomass, biological productivity, carbon sequestration, mixed forest stands

**Acknowledgments:** The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. FZUR-2022-0005)

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Mamonov D.N., Morkovina S.S., Matveev S.M., Sheshnitsan S.S. (2022) Comparative evaluation of carbon sequestration accounting methods by pine-birch forest plantations in Voronezh region. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 12, No. 3 (47), pp. 4-15 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1>.

**Received:** 16.08.2022 **Revised:** 18.09.2022 **Accepted:** 25.09.2022 **Published online:** 01.10.2022

## Введение

Вопросы климатических изменений, адаптации к ним экосистем и роли лесов в улавливании и депонировании углерода не теряют своей актуальности [1-3], что подчеркнуто на Конференции ООН по вопросам изменения климата (COP26) в Глазго в 2021 году [4]. Значительное количество стран присоединились к Парижскому соглашению и обязались повысить усилия в области сохранения, воспроизводства лесов и привлечь на эти цели более 19 миллиардов долларов. Несмотря на понимание важности лесных экосистем в вопросах депонирования углерода [5, 6], сохраняются отдельные неопределенности, связанные с оценкой углерододепонирующего потенциала отдельных древесных пород, насаждений и лесных экосистем в целом [7, 8]. Имеющиеся в настоящее время различные количественные оценки углеродного бюджета лесов страны варьируют в широких пределах, отличаясь крайне высокой степенью неопределенности. Безусловно, ключевые концепции оценки поглощения углерода лесами сложились с начала 1990-х годов. В первую очередь это работы Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Замолодчикова Д.Г., Грабовского В.И., Коровина Г.Н., Шуляка П.П., Романовской А.А., Курбатовой А.И., Филипчука А.Н. [5, 9-15].

Сама задача оценки запасов углерода в лесах, в том числе приходных и расходных частей его баланса в лесной экосистеме, является достаточно сложной. Её решение напрямую зависит не только от качества исходных данных, но и от применяемой методологии оценки [16]. Общие рекомендации оценки содержатся в Руководящих указаниях МГЭИК (2003, 2006), а методические указания количественного определения объема поглощения парниковых газов, утвержденные распоряжением от 30.06.2017 № 20-р, обеспечивают соответствие национальной отчетности указанным требованиям [17].

В последние годы находят своё применение разные системы оценки и прогноза запаса углерода в лесах, которые получили международное признание. В их числе методики ИЗИС ПАСА (Австрия), EFIMOD + ROMUL (Россия), РОБУЛ

(Россия), а также целый ряд методологий для расчета баланса углерода в лесах и наземных экосистемах России, разработанных отечественными специалистами (ВНИИЛМ, ИГКЭ Росгидромета-РАН, ИЛ имени В.Н. Сукачева РАН, ИФХБП РАН, УГЛТУ) и зарубежными учёными – СВМ-CFS3 (Лесная служба Канады), FORCARB2 (Лесная служба США).

Математические модели, получившие признание международного научного сообщества, многократно использовались для оценки и прогноза запасов углерода в лесах России и других стран. К таким работам относятся труды А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко (модель ИЗИС ПАСА, разработана Международным институтом прикладного системного анализа, Австрия), Д.Г. Замолодчикова (модель РОБУЛ, разработана Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов, Россия), В.А. Усольцева (Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода, разработана Уральским государственным лесотехническим университетом, Россия), С.И. Чумаченко (модель FORRUS, разработана Московским государственным университетом леса, Россия) [18, 19].

Как наиболее распространенную и базовую для составления Национального кадастра парниковых газов отметим методику РОБУЛ и специальные программы расчета бюджета углерода лесов, которые разработаны Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН.

Несомненный научный интерес представляет методика ФБУ ВНИИЛМ, в которой в качестве объекта расчетов стока/эмиссий CO<sub>2</sub> выступают все лесные земли на территории субъектов Российской Федерации и официальная статистическая отчетность Федерального агентства лесного хозяйства. Методика базируется на применении метода расчета «по среднему приросту запаса» и его изменениям во времени, которые приводят к поглощению или эмиссиям парниковых газов.

Информационная система определения и картирования депонируемого лесами углерода Уральского государственного лесотехнического университета позволяет оценить биологическую продуктивность древостоев. Под руководством

В.А. Усольцева научный коллектив УГЛТУ собрал обширную базу данных продукционных характеристик лесных насаждений Северной Евразии. В ней насчитывается 8 тыс. записей по фитомассе и 1,2 тыс. записей по чистой первичной продукции (NPP) [20-22].

С оперативной точки зрения оценка способности лесов поглощать углерод требует сравнения их текущего углеродного состояния с прогнозом их углеродоемкости [6].

Очевидно, что современные исследования по проблеме оценки бюджета углерода лесов, как в России, так и за рубежом, характеризуются значительным разнообразием методических подходов и расчетных моделей. Как следствие, получаемые на выходе результаты оценок имеют заметные расхождения. В этой связи исследования в данном направлении не теряют своей актуальности. Не менее актуальной является разработка научно обоснованной системы оценки выбросов и поглощения парниковых газов при осуществлении различных видов лесохозяйственных мероприятий.

Цель настоящей работы состояла в сравнительной оценке результатов применения методик расчёта величины депонирования углерода смешанными сосново-берёзовыми лесными насаждениями на примере Воронежской области.

### Материалы и методы

Для оценки депонирования углерода лесными насаждениями Центральной лесостепи Воронежской области были применены наиболее часто используемые в исследованиях баланса углерода лесных экосистем методики:

1) методика Международного института прикладного системного анализа – ИЗИС ПАСА (Австрия, разработчики Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильссон С.) (далее – методика № 1) [23-25];

2) методика Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН – РОБУЛ (Россия, разработчик Замолодчиков Д.Г.) (далее – методика № 2) [17, 26];

3) методика Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ, г. Екатеринбург) – Информационная система

определения и картирования депонируемого лесами углерода УГЛТУ (Россия, разработчик Усольцев В.А.) (далее – методика № 3) [20, 27].

Объектом настоящего исследования стали сосново-берёзовые насаждения, создаваемые в ходе мероприятий по лесовосстановлению для повышения секвестрационного потенциала лесов Центральной лесостепи Воронежской области. Исходные данные для расчётов были взяты из [24] и скорректированы для сосново-берёзовых насаждений с учетом состава 5С5Б (табл. 1). Для схемы смешения 7С3Б использовали информацию о биологической продуктивности модальных насаждений, представленную в табл. 2.

Значительная часть исследований сосредоточена на поиске способов наиболее полного расчета запасов углерода в разных пулах (надземная фитомасса, подземная фитомасса (корни), мертвая древесина (валежная и сухостойная) и лесная подстилка) и на их динамике во времени [28, 29]. В выполняемых нами расчетах под фитомассой древостоя принимали совокупность компонентов: ствол (в т. ч. кора), ветви, хвоя, листва, корни. Фитомасса насаждения включает собственно фитомассу древостоя, а также фитомассу подроста, подлеска и напочвенного покрова. Сумма показателей запасов углерода в древостое и лесной подстилке составляла углерод наличного насаждения, а сумма показателей запасов углерода в древостое, лесной подстилке и мёртвой древесине – углерод насаждения по общей продуктивности. Под общей продуктивностью в исследовании понимали сумму наличного запаса древостоя в определённом возрасте и суммарного отпада аналогичного возраста [30].

Вычисленные показатели сравнивали по средней для всего возрастного периода разнице (в %), а также минимальной и максимальной величинам для определённого возраста.

### Результаты и их обсуждение

В ходе исследования выполнены сравнительные расчеты текущего прироста по общей фитомассе, а также рассчитан углерод, накопленный фитомассой. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 1

Динамика биологической продуктивности модальных насаждений смешанного состава (схема смешения 5С5Б)  
Table 1

Biological productivity dynamics of modal forest stands with mixed composition (mixing scheme 5P5B)

Возраст, лет   Age, years	Фитомасса, т/га   Phytomass, t ha <sup>-1</sup>			Текущий прирост по общей фитомассе, т/га в год   Actual gain in total phytomass, t ha <sup>-1</sup> per year	Углерод фитомассы, т/га   Carbon in phytomass, t ha <sup>-1</sup>	
	Древостоя   Tree stand	Насаждения   Forest stand	Общая с отпадом   Total including dead wood		Древостоя   Tree stand	Насаждения   Forest stand
20	79,66	81,57	157,27	10,14	40,42	76,11
30	110,61	113,10	253,53	10,22	56,15	122,44
40	134,31	137,35	345,18	9,93	68,23	166,37
50	153,87	157,43	436,39	9,56	78,25	209,98
60	168,64	172,64	522,66	9,24	85,92	251,14
70	179,54	184,01	603,87	8,85	91,52	289,72
80	187,30	192,17	680,29	8,55	95,61	325,92
90	194,14	199,40	758,33	8,29	99,2	362,84

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: own calculations

Таблица 2

Динамика биологической продуктивности модальных насаждений смешанного состава (схема смешения 7С3Б)  
Table 2

Biological productivity dynamics of modal forest stands with mixed composition (mixing scheme 7P3B)

Возраст, лет   Age, years	Фитомасса, т/га   Phytomass, t ha <sup>-1</sup>			Текущий прирост по общей фитомассе, т/га в год   Actual gain in total phytomass, t ha <sup>-1</sup> per year	Углерод фитомассы, т/га   Carbon in phytomass, t ha <sup>-1</sup>	
	Древостоя   Tree stand	Насаждения   Forest stand	Общая с отпадом   Total including dead wood		Наличного насаждения   Existent forest stand	По общей продуктивности   Total productivity
20	76,48	78,51	149,52	9,61	38,86	72,42
30	108,05	110,74	243,59	9,83	54,93	117,74
40	133,03	136,37	335,87	9,71	67,70	161,98
50	153,48	157,42	427,71	9,42	78,10	205,91
60	169,31	173,78	516,24	9,22	86,43	248,16
70	181,41	186,44	601,20	8,90	92,67	288,55
80	190,46	195,98	682,82	8,70	97,44	327,23
90	198,04	204,04	764,88	8,48	101,44	366,06

Источник: собственные вычисления авторов  
Source: own calculations

На основе расчётов по методике № 1 было установлено, что годичный максимум текущего прироста, независимо от состава насаждения, приходится на возраст молодняков, в дальнейшем отмечается постепенное снижение этого показателя. При расчетах показателей запасов углерода в древостое, лесной подстилке и мёртвой древесине по методике № 2 и сравнении их с аналогичными результатами, рассчитанными по методике № 1, установили, что запасы

депонированного углерода наличного насаждения, рассчитанные по методике № 1, оказались ниже таковых, рассчитанных по методике № 2. Данная тенденция характерна для насаждений различного состава. Средняя величина расхождений составила 15,0 – 18,1 % при минимальном расхождении 8,7 % и максимальном – 29,0 %.

В расчётах по общей продуктивности насаждения следует отметить обратную тенденцию: показатели, полученные по методике

№ 1, значительно выше аналогичных, рассчитанных по методике № 2. Среднее различие колеблется в пределах 24,4 % – 30,5 %, минимальное – 15,8 %, максимальное – 33,9 %.

Результатирующая оценка была дана также и по методике № 3, при этом анализировались расчетные данные по углероду фитомассы наличного насаждения разного породного состава. Сравнительная оценка результатов, полученных всеми тремя методами, представлена в табл. 4. В этом варианте сравнения отсутствуют расчеты для насаждений по общей продуктивности, поскольку в таблицах Усольцева В.А. [20] не приведены данные по детриту. Уменьшен возрастной диапазон исследований (20–60 лет), что также обусловлено использованием имеющихся табличных данных.

Приведённые результаты расчётов (табл. 4) свидетельствуют, что так же, как и в предыдущем сравнении, существуют различия в полученных по разным методикам показателях углерода,

депонированного фитомассой насаждений. В целом эти различия больше для насаждения с преобладанием сосны. Среднее различие составляет 19,6 – 19,9 %, минимальное – 13,3 % для 60-летнего насаждения с составом 5С5Б, максимальное расхождение достигает 26,4 % для 40-летнего насаждения с составом 7С3Б. Следует отметить, что с увеличением возраста величина различий снижается.

Сравнение данных по запасам углерода в фитомассе насаждений различного состава, определенным по методикам № 3 и № 1, позволило установить расхождения в оценках, изменяющиеся в пределах от 2,0 до 13,5 % (табл. 4).

По результатам анализа данных, отражённых на рис. 1, очевидно, что запасы углерода в сосново-березовых насаждениях разного состава, рассчитанные по методике № 1 и методике № 3, имеют наименьший уровень различий.

Таблица 3

Сравнительная оценка углерода сосново-берёзовых насаждений, рассчитанного по методикам № 1 и № 2

Table 3

Comparative evaluation of pine-birch forest stand carbon calculated by methods № 1 and № 2

Схема смешения   Mixing scheme	Возраст, лет   Age, years	Углерод, т/га   Carbon, t ha <sup>-1</sup>					
		Наличного насаждения   Existent forest stand*		Различие, %   Difference, %	По общей продуктивности   Total productivity		Различие, %   Difference, %
		Методика №1   Method N 1	Методика №2   Method N 2		Методика №1   Method N 1	Методика №2   Method N 2	
5С5Б   5P5B	20	40,42	53,15	24,0	76,11	58,71	22,9
	30	56,15	72,30	22,3	122,44	89,28	27,1
	40	68,23	88,24	22,7	166,37	119,48	28,2
	50	78,25	90,41	13,4	209,98	140,05	33,3
	60	85,92	95,45	10,0	251,14	166,04	33,9
	70	91,52	101,54	9,9	289,72	193,73	33,1
	80	95,61	105,45	9,3	325,92	218,99	32,8
	90	99,20	108,68	8,7	362,84	244,27	32,7
Среднее   Mean	–	–	15,0	–	–	30,5	
7С3Б   7P3B	20	38,86	54,77	29,0	72,42	60,99	15,8
	30	54,93	76,56	28,3	117,74	95,13	19,2
	40	67,70	93,61	27,7	161,98	127,62	21,2
	50	78,10	93,12	11,1	205,91	147,81	28,2
	60	86,43	99,59	13,2	248,16	177,44	28,5
	70	92,67	105,98	12,6	288,55	208,13	27,9
	80	97,44	110,59	11,9	327,23	237,5	27,4
	90	101,44	113,78	10,8	366,06	266,24	27,3
Среднее   Mean	–	–	18,1	–	–	24,4	

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Таблица 4

Сравнительная оценка углерода сосново-берёзовых насаждений, рассчитанного по методикам №3, №2 и №1

Table 4

Comparative evaluation of pine-birch forest stand carbon calculated by methods N 3, N 2 and N1

Схема смешения   Mixing scheme	Возраст, лет   Age, years	Углерод наличного насаждения, т/га   Existent forest stand carbon, t ha <sup>-1</sup>			Различие, %   Difference, %	
		Методика №3   Method N 3	Методика №1   Method N 1	Методика №2   Method N 2	Методика №3 и №1   Method N 3 and N 1	Методика №3 и №2   Method N 3 and N 2
5С5Б   5Р5В	20	37,86	40,42	49,68	6,3	23,8
	30	58,64	56,15	75,59	4,3	22,4
	40	75,81	68,23	99,68	10,0	24,0
	50	88,57	78,25	105,22	11,7	15,8
	60	95,84	85,92	110,55	10,3	13,3
Среднее   Mean		–	–	–	6,7	19,9
7С3Б   7Р3В	20	33,61	38,86	41,57	13,5	19,2
	30	53,81	54,93	69,68	2,0	22,8
	40	71,98	67,70	97,77	6,0	26,4
	50	86,01	78,10	101,66	9,2	15,4
	60	94,18	86,43	109,92	8,2	14,3
Среднее   Mean		–	–	–	7,8	19,6

Источник: собственные вычисления автор(ов)

Source: own calculations

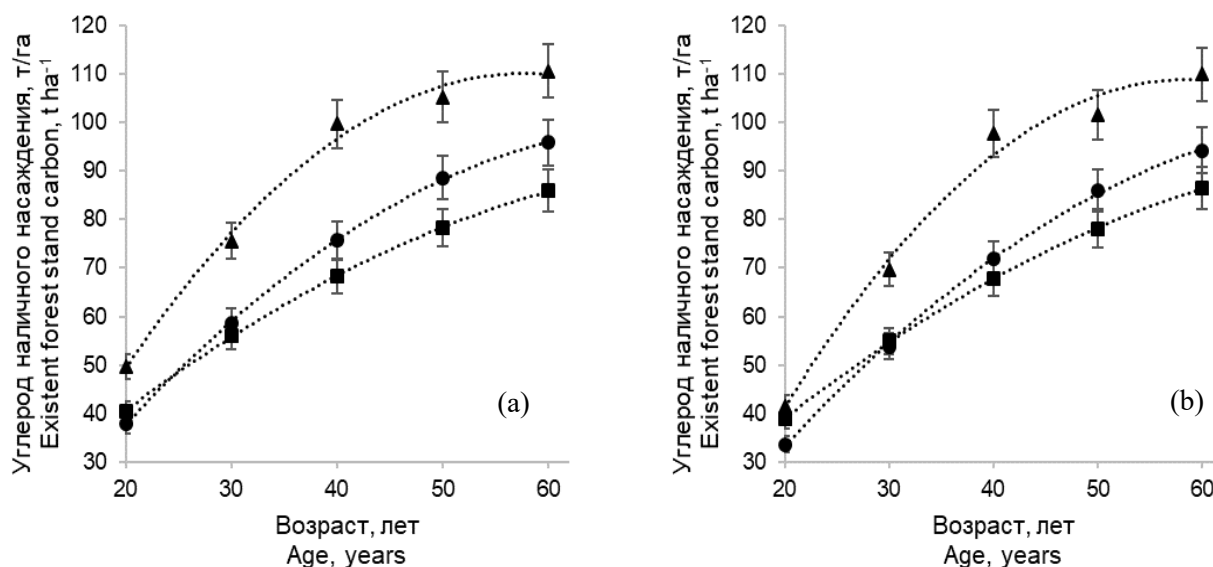


Рис. 1. Динамика запасов углерода наличного насаждения смешанного состава, рассчитанного по методикам №3(●), №2(▲) и №1(■). Схемы смешения: (а) – 5С5Б, (б) – 7С3Б.

Figure 1. Dynamics of carbon stocks in existing stands of mixed composition calculated using methods N3 (●), N2 (▲) and N1 (■). Mixing schemes: (a) – 5P5B, (b) – 7P3B.

Источник: собственная композиция авторов

Source: authors' composition

Это отражает сходство методических подходов к решению задачи оценки углерода в фитомассе древостоя.

Таким образом, оценки запасов углерода в сосново-березовых насаждениях, рассчитанные по разным методикам, имеют расхождения, которые в отдельных возрастных группах могут быть значительными. К подобным выводам пришёл ряд других исследователей [23, 27, 28].

### Заключение

Применение разных методик учёта депонирования углерода лесными насаждениями приводит к заметным отличиям в полученных оценках. Максимальные различия отмечены применительно к данным, полученным по методике № 2, по сравнению с данными, полученными по методикам № 1 и № 3. На наш взгляд, причиной таких значитель-

ных расхождений в сравнительных оценках значений углерода в фитомассе сосново-березовых насаждений разного состава является способ определения запасов депонируемого углерода. Так, в методике № 2 запасы депонируемого углерода определяются как произведение запаса насаждения на конверсионный коэффициент для конкретной возрастной группы и древесной породы, в то время как методики № 1 и № 3 направлены на оценку величины депонируемого насаждениями углерода с использованием данных по фитомассе насаждения по отдельным её фракциям.

Проблема достоверной оценки депонирования углерода лесными экосистемами Российской Федерации требует региональных подходов, разработки надёжных методов оценки, обеспечивающих получение достоверных результатов и минимизацию неопределённости.

### Список литературы

1. Huang L., Zhou M., Ly J., Chen K. Trends in global research in forest carbon sequestration: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*. 2020;252: 119908. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119908>.
2. Lin B., Ge J. Valued forest carbon sinks: How much emissions abatement costs could be reduced in China. *Journal of Cleaner Production*. 2019;224: 455–464. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.221>.
3. Shu Sh., Zhu W., Wang W. et al. Effects of tree size heterogeneity on carbon sink in old forests. *Forest Ecology and Management*. 2019;432: 637–648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.023>.
4. Haenssger M. J., Lechner A. M., Rakotonarivo S. et al. Implementation of the COP26 declaration to halt forest loss must safeguard and include Indigenous people. *Nature Ecology & Evolution*. 2022;6: 235–236. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01650-6>.
5. Schepaschenko D., Karminov V., See L. et al. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Scientific Reports*. 2021;11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>.
6. Roxburgh S. H., Wood S. W., Mackey B. G. et al. Assessing the Carbon Sequestration Potential of Managed Forests: A Case Study from Temperate Australia. *Journal of Applied Ecology*. 2006;43: 1149–1159.
7. Рамочная конвенция ООН об изменении климата. Официальный русский перевод. ООН, 1992. 30 с.
8. Киотский протокол к рамочной конвенции Организации Объединённых наций об изменении климата. Официальный русский перевод. ООН, 2005.
9. Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Углеродный бюджет лесов России. *Сибирский лесной журнал*. 2014. № 1. С. 69–92.
10. Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Краев Г. Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия. *Лесоведение*. 2011. № 6. С. 16–28.
11. Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Коровин Г. Н. Управление бюджетом углерода лесов дальнего востока России: прогнозный анализ по модели СВМ-CFS. *Лесная таксация и лесоустройство*. 2009. № 1 (41). С. 98–103.
12. Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Шуляк П. П., Честных О. В. Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России. *Лесоведение*. 2013. № 5. С. 36–49.



13. Коротков В. Н., Романовская А. А., Карабань Р. Т., Смирнов Н. С. Оценка углеродного бюджета лесов России в рамках отчетности по Киотскому протоколу. Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2012. № 7. С. 58–64.
14. Курбатова А. И. Аналитический обзор по современным исследованиям изменений биотических составляющих углеродного цикла. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28. № 4. С. 428–438.
15. Филипчук А. Н., Малышева Н. В., Моисеев Б. Н., Страхов В. В. Аналитический обзор методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы. Лесохозяйственная информация. 2016. № 3. С. 36–85.
16. Mackey B., Moomaw W., Lindenmayer D., Keith H. Net carbon accounting and reporting are a barrier to understanding the mitigation value of forest protection in developed countries. *Environmental Research Letters*. 2022;17: 054028. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01650-6>.
17. Методические указания по количественному определению объёма поглощения парниковых газов. Утверждены распоряжением МПР РФ от 30.06.2017 № 20-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456079177>.
18. Воронов М. П., Усольцев В. А., Часовских В. П. Исследование методов и разработка информационной системы определения и картирования депонируемого лесами углерода в среде Natural. Екатеринбург : УГЛТУ, 2012. 192 с.
19. Чумаченко С. И., Паленова М. М., Коротков В. Н. Прогноз динамики таксационных показателей лесных насаждений при разных сценариях ведения лесного хозяйства: модель динамики лесных насаждений FORRUS-S. Экология, мониторинг и рациональное природопользование. МГУЛ, 2001. Вып. 314. С. 128–146.
20. Усольцев В. А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург : УРО РАН, 2010. 570 с.
21. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Zukow W. Carbon deposition by Russian forests on the example of taiga and forest-steppe zones. *Ecological Questions*. 2021;32. DOI: <https://doi.org/10.12775/EQ.2021.023>.
22. Usoltsev V. A., Shobairi S. O. R., Tsepordey I. S. Feedback Modelling of Natural Stand and Plantation Biomass to Changes in Climatic Factors (Temperatures and Precipitation): A Special Case for Two-needles Pines in Eurasia. *Journal of Climate Change*. 2020;6: 15-32. DOI: <https://doi.org/10.3233/JCC200009>.
23. Швиденко А. З., Шепашенко Д. Г. Углеродный бюджет лесов России. Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.
24. Швиденко А. З., Шепашенко Д. Г., Нильссон С., Булуй Ю. И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). Изд. 2, доп. Москва, 2008. 886 с.
25. Schepaschenko D., Shvidenko A., See L. et al. A dataset of forest biomass structure for Eurasia. *Scientific data*. 2017;4: 170070. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.70>.
26. Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Краев Г. Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия. Лесоведение. 2011. № 6. С. 16–28.
27. Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии. Екатеринбург : УРО РАН, 2007. 637 с.
28. Федоров Б. Г., Моисеев Б. Н., Синяк Ю. В. Поглощающая способность лесов России и выбросы углекислого газа энергетическими объектами. Проблемы прогнозирования. 2011. № 3. С. 127–142.
29. Моисеев Б. Н., Филипчук А. Н. Методика МГЭИК для расчета годичного депонирования углерода и оценка ее применения для лесов России. Лесное хозяйство. 2009. № 4. С. 11–13.
30. Назаренко А. Е., Красноярова Б. А. Стоимостная оценка экосистемных услуг по депонированию углерода экосистемами Алтайского края как составляющая перехода к устойчивому развитию. Геополитика и экогеодинамика регионов. 2018. Т. 4 (14). Вып. 3. С. 89–99.

## References

1. Huang L., Zhou M., Ly J., Chen K. Trends in global research in forest carbon sequestration: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*. 2020;252: 119908. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119908>.
2. Lin B., Ge J. Valued forest carbon sinks: How much emissions abatement costs could be reduced in China. *Journal of Cleaner Production*. 2019;224: 455–464. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.221>.
3. Shu Sh., Zhu W., Wang W. et al. Effects of tree size heterogeneity on carbon sink in old forests. *Forest Ecology and Management*. 2019;432: 637–648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.023>.
4. Haenssger M. J., Lechner A. M., Rakotonarivo S. et al. Implementation of the COP26 declaration to halt forest loss must safeguard and include Indigenous people. *Nature Ecology & Evolution*. 2022;6: 235–236. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01650-6>.
5. Schepaschenko D., Karminov V., See L. et al. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Scientific Reports*. 2021;11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>.
6. Roxburgh S. H., Wood S. W., Mackey B. G. et al. Assessing the Carbon Sequestration Potential of Managed Forests: A Case Study from Temperate Australia. *Journal of Applied Ecology*. 2006;43: 1149-1159.
7. Ramochnaya konventsiya OON ob izmenenii klimata. *Ofitsial'nyy russkiy perevod*. OON, 1992. 30 s. (in Russian).
8. Kiotskiy protokol k ramochnoy konventsii Organizatsii Ob"edinennykh natsiy ob izmenenii klimata. *Ofitsial'nyy russkiy perevod*. OON, 2005 (in Russian).
9. Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G. Uglernodnyy byudzheth lesov Rossii. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2014. № 1. S. 69-92 (in Russian).
10. Zamolodchikov D. G., Grabovskiy V. I., Kraev G. N. Dinamika byudzheta ugleroda lesov Rossii za dva poslednikh desyatiletiya. *Lesovedenie*. 2011. № 6. S. 16-28 (in Russian).
11. Zamolodchikov D. G., Grabovskiy V. I., Korovin G. N. Upravlenie byudzhedom ugleroda lesov dal'nego vostoka Rossii: prognoznyy analiz po modeli CBM-CFS. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo*. 2009. № 1 (41). S. 98-103 (in Russian).
12. Zamolodchikov D. G., Grabovskiy V. I., Shulyak P. P., Chestnykh O. V. Vliyanie pozharov i zagotovok drevesiny na uglernodnyy balans lesov Rossii. *Lesovedenie*. 2013. № 5. S. 36-49 (in Russian).
13. Korotkov V. N., Romanovskaya A. A., Karaban' R. T., Smirnov N. S. Otsenka uglernodnogo byudzheta lesov Rossii v ramkakh otchetnosti po Kiotskomu protokolu. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoy vestnik*. 2012. № 7. S. 58-64 (in Russian).
14. Kurbatova A. I. Analiticheskiy obzor po sovremennym issledovaniyam izmeneniy bioticheskikh sostavlyayushchikh uglernodnogo tsikla. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2020. Vol. 28. № 4. S. 428-438 (in Russian).
15. Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Moiseev B. N., Strakhov V. V. Analiticheskiy obzor metodik ucheta vybrosov i pogloshcheniya lesami parnikovyykh gazov iz atmosfery. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya*. 2016. № 3. S. 36-85 (in Russian).
16. Mackey B., Moomaw W., Lindenmayer D., Keith H. Net carbon accounting and reporting are a barrier to understanding the mitigation value of forest protection in developed countries. *Environmental Research Letters*. 2022;17:054028. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01650-6> (in Russian).
17. Metodicheskie ukazaniya po kolichestvennomu opredeleniyu ob"ema pogloshcheniya parnikovyykh gazov. *Utverzhdeny rasporyazheniem MPR RF ot 30.06.2017 № 20-r*. URL: (in Russian).
18. Voronov M. P., Usol'tsev V. A., Chasovskikh V. P. Issledovanie metodov i razrabotka informatsionnoy sistemy opredeleniya i kartirovaniya deponiruemogo lesami ugleroda v srede Natural. *Ekaterinburg : UGLTU*, 2012. 192 s. (in Russian).

19. Chumachenko S. I., Palenova M. M., Korotkov V. N. Prognoz dinamiki taksatsionnykh pokazateley lesnykh nasazhdeniy pri raznykh stsenariyakh vedeniya lesnogo khozyaystva: model' dinamiki lesnykh nasazhdeniy FORRUS-S. *Ekologiya, monitoring i ratsional'noe prirodopol'zovanie*. MGUL, 2001. Iss. 314. S. 128-146 (in Russian).
20. Usoltsev V. A. *Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii*. Ekaterinburg: URO RAN, 2010. 570 s. (in Russian).
21. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S., Zukow W. Carbon deposition by Russian forests on the example of taiga and forest-steppe zones. *Ecological Questions*. 2021;32. DOI: <https://doi.org/10.12775/EQ.2021.023>.
22. Usoltsev V. A., Shobairi S. O. R., Tsepordey I. S. Feedback Modelling of Natural Stand and Plantation Biomass to Changes in Climatic Factors (Temperatures and Precipitation): A Special Case for Two-needles Pines in Eurasia. *Journal of Climate Change*. 2020;6: 15-32. DOI: <https://doi.org/10.3233/JCC200009>.
23. Shvidenko A. Z., Shepashchenko D. G. *Uglerodnyy byudzheta lesov Rossii*. Sibirskiy lesnoy zhurnal, 2014. № 1. S. 69-92 (in Russian).
24. Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Nil'sson S., Buluy Yu. I. *Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoy Evrazii (normativno-spravochnye materialy)*. 2<sup>nd</sup> ed., add. Moscow, 2008. 886 s. (in Russian).
25. Schepaschenko D., Shvidenko A., See L. et al. A dataset of forest biomass structure for Eurasia. *Scientific data*. 2017;4: 170070. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.70>.
26. Zamolodchikov D. G., Grabovskiy V. I., Kraev G. N. *Dinamika byudzheta ugleroda lesov Rossii za dva poslednikh desyatiletiya*. Lesovedenie. 2011. № 6. S. 16-28 (in Russian).
27. Usoltsev V. A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii*. Ekaterinburg: URO RAN, 2007. 637 s. (in Russian).
28. Fedorov B. G., Moiseev B. N., Sinyak Yu. V. Pogloshchayushchaya sposobnost' lesov Rossii i vybrosy uglekislogo gaza energeticheskimi ob"ektami. *Problemy prognozirovaniya*, 2011. No. 3. S. 127–142 (in Russian).
29. Moiseev B. N., Filipchuk A. N. *Metodika MGEIK dlya rascheta godichnogo deponirovaniya ugleroda i otsenka ee primeneniya dlya lesov Rossii*. Lesnoe khozyaystvo, 2009. No 4. S. 11–13 (in Russian).
30. Nazarenko A. E., Krasnoyarova B. A. *Stoimostnaya otsenka ekosistemnykh uslug po deponirovaniyu ugleroda ekosistemami Altayskogo kraya kak sostavlyayushchaya perekhoda k ustoychivomu razvitiyu*. Geopolitika i ekogeodinamika regionov. 2018. Vol. 4 (14). Iss. 3. S. 89-99 (in Russian).

### Сведения об авторах

✉ *Мамонов Дмитрий Николаевич* – кандидат с.-х. наук, руководитель карбонового полигона инжинирингового центра, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: [whbs@mail.ru](mailto:whbs@mail.ru).

*Морковина Светлана Сергеевна* – доктор экон. наук, проректор по науке и инновациям, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: [tc-sveta@mail.ru](mailto:tc-sveta@mail.ru).

*Матвеев Сергей Михайлович* – доктор биол. наук, заведующий кафедрой лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: [lisovod@bk.ru](mailto:lisovod@bk.ru).

*Шешницан Сергей Сергеевич* – кандидат биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории мониторинга и проектирования лесов инжинирингового центра, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: [sheshnitsan@gmail.com](mailto:sheshnitsan@gmail.com).

*Иветич Владан* – кандидат биол. наук, профессор Лесного факультета, Белградский университет, ул. Князя Вышеслава, 1, г. Белград, Республика Сербия, 11030, e-mail: [vladan.ivetic@sfb.bg.ac.rs](mailto:vladan.ivetic@sfb.bg.ac.rs).

### Information about the authors

✉ *Dmitry N. Mamonov* – Cand. Sci. (Agric.), Head of Carbon Polygon of Engineering Center, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: whbs@mail.ru

*Svetlana S. Morkovina* – Doct. Sci. (Econ.), Vice-rector for Science and Innovations, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: tc-sveta@mail.ru

*Sergey S. Matveev* – Doct. Sci. (Biol.), Head of Department of Silviculture, Forest Taxation and Planning, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: lisovod@bk.ru

*Sergey S. Sheshnitsan* – Cand. Sci. (Biol.), Chief Researcher of Laboratory of Forest Monitoring and Planning of Engineering Center, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: sheshnitsan@gmail.com

*Vladan Ivetic* – PhD, Full Professor, University of Belgrade University of Belgrade – Faculty of Forestry, Knez Visoslav str., 1, Belgrade, Republic of Serbia, 11030, e-mail: vladan.ivetic@sfb.bg.ac.rs

✉ – Для контактов/Corresponding author