

DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-2-1-15

УДК 574.4

## УГЛЕРОД ПОЧВ ЛЕСНЫХ РАЙОНОВ ЕВРОПЕЙСКО-УРАЛЬСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

© 2020 г. О.В. Честных<sup>1,2\*</sup>, В.И. Грабовский<sup>1</sup>, Д.Г. Замолдчиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук  
Россия, 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
биологический факультет, 119234, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

\*E-mail: ochestn@mail.ru

Поступила в редакцию: 17.02.2020 г.

Принята к печати 12.03.2020 г.

Оценка пула углерода почвенного блока Европейско-Уральской части России произведена на топ основе категорий земель, принятой в Государственном лесном реестре (всего 21 «биотоп»). Опубликованные данные 675 почвенных разрезов через координаты и описания разрезов были привязаны к биотопам и лесным районам (13). Суммарные запасы углерода в почвах лесных районов Европейско-Уральской части составили для глубины 0-30 см  $19.3 \cdot 10^9$  С т, для 0-50 –  $26.6 \cdot 10^9$  С т, для 0-100 см –  $34.2 \cdot 10^9$  С т. Общая площадь земель лесного фонда в европейской части России для этих лесных районов оценена в  $181.13 \cdot 10^6$  га. Приводятся агрегированные данные как по биотопам всего региона, так и по лесным районам. Результаты, полученные нами на топ основе лесообразующих пород и нелесных земель, сравниваются с оценками других авторов, полученными для различных типов почв.

**Ключевые слова:** земли лесного фонда России, лесообразующие породы, база данных, лесные почвы, запасы почвенного биологического углерода ( $C_{soil}$ )

Вызванная антропогенной модификацией углеродного цикла биосферы проблема глобального потепления климата стимулировала научный интерес к оценке запасов углерода для крупных территориальных единиц: природных зон, стран, частей континентов. Поскольку в арктических, бореальных и умеренных экосистемах значительная часть углерода содержится в органическом веществе почвы, территориальные расчеты запасов почвенного углерода стала популярным направлением исследований. Для почвенного покрова России в целом известен ряд значений суммарного пула углерода, опубликованных с начала 1990-х годов (Vinson, Kolchugina, 1993; Орлов и др., 1996; Рожков и др., 1997; Stolbovoi,

2002; Щепашенко и др., 2013). Имеется заметное число работ с расчетами углерода почв регионального (Титлянова и др., 2007; Пастухов, Каверин, 2013), биомного (Честных и др., 1999, 2004; Stolbovoi, 2006) и интразонального (Ефремова и др., 1997) уровней. Почва часто рассматривается в составе экосистемных оценок углеродных пулов (Алексеев, Бердси, 1994; Уткин и др., 2001; Замолдчиков и др., 2005, 2011; Shvidenko, Nilsson, 2002).

Процедуру получения площадных оценок почвенного углерода можно подразделить на две части. Первая состоит в выборе топографической основы, используемой для получения значений площадей тех или иных контуров, в пределах которых предполагается наличие

закономерно однородных запасов углерода почвы. Такие контуры могут быть выбраны по картам типов почв (Орлов и др., 1996; Рожков и др., 1997), ландшафтов (Честных и др., 1999) и растительных ассоциаций (Vinson, Kolchugina, 1993), материалам учета лесного фонда (Уткин и др., 2001; Честных и др., 2004). Последние годы при выборе топографической основы все большее внимание уделяется продуктам дистанционного зондирования (Пастухов, Каверин, 2013; Щепашенко и др., 2013).

Вторая часть процедуры состоит в поиске средних значений запасов углерода почвы, соответствующих тем или иным контурам. Это может быть сделано на основе баз данных, сформированных по материалам анализа почвенных профилей, либо с использованием типовых значений запасов углерода для категорий почв. Значительную известность получила база типовых почвенных профилей, приведенная в цифровом источнике (Stolbovoi, McCallum, 2002). Эта база включала 254 типовых профиля почвы и была использована для расчетов эталонных значений запасов углерода для типов почвы (Stolbovoi, 2002; 2006). Эти же почвенные профили предоставили информацию и для более поздней оценки запасов углерода почвы (Щепашенко и др., 2013), при этом были проведены детальные коррекции величин с учетом региональных вариаций содержания углерода в различных формах почвенного органического вещества. Тем не менее, современные по времени расчеты запасов углерода почв России базируются на ограниченном наборе почвенных профилей. Высокая вариабельность профиля почвы даже в пределах одного почвенного контура (Рыжова, 2008) и небольшой объем выборки приводит к высоким смещениям площадных оценок запасов углерода в почвах.

Оценки углеродного бюджета лесных экосистем производятся на основе выделения биотических единиц (элементов и типов растительного покрова). Включение почв в эту систему расчетов

представляет непростую задачу, поскольку почвенные карты и карты растительного покрова не всегда совпадают. Данные по запасам почвенного углерода регионального уровня, агрегированные по типам растительного покрова, существенно бы облегчили эту задачу.

В предлагаемой работе произведены оценки запасов углерода почв на региональном уровне, представленные с учетом распространенности в регионе местообитаний, в которых произведен каждый почвенный разрез. Такой подход позволяет получить уточненные региональные оценки запасов углерода, легко интегрируемые в экосистемные оценки углеродного бюджета.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Двумя авторами настоящей работы ранее по материалам открытых публикаций была создана база данных «Почвенные характеристики Северной Евразии» (Честных, Замолотчиков, 2018). Эта база служила основой для расчетов запасов углерода и азота в почвах лесов и тундр России (Честных и др., 1999, 2004; Честных, Замолотчиков, 2004; Замолотчиков и др., 2005, 2011; Уткин и др., 2001; Честных, Замолотчиков, 2017; и др.). Расчеты типовых значений углерода почвы выполнены на основе этой базы, из которой были использованы данные по почвенным разрезам на территории Европейско-Уральской части России в представлении по трем слоям почвенной толщи (0-30, 0-50, 0-100 см). Всего отобрано 675 почвенных разрезов, содержащих все необходимые для анализа данные: координаты, расчетные данные по содержанию углерода на различных почвенных уровнях (в слоях 0-30, 0-50 и 0-100 см), а также данные о биотопе, в котором проводился разрез.

Другим источником данных были БД ГУЛФ (Государственного Учета Лесного фонда) от 2008 года – последняя база, включающая описания земель лесного фонда на уровне лесхозов<sup>1</sup>. Основой для

<sup>1</sup> Последующие БД государственного лесного реестра (ГЛР) имеются в доступности лишь на уровне субъектов РФ

территориального деления природных зон Европейско-Уральской части России были выбраны «лесные районы», границы которых были определены приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18 августа 2014 г. № 367. Лесные районы были заданы здесь перечнем входящих в них субъектов РФ, муниципальных районов и иных административно-территориальных образований. В ЦЭПЛ РАН в рамках проектов Минприроды РФ и Рослесхоза создавались слои лесхозов и лесных районов для статистического и пространственного анализа данных ГУЛФ. По ГУЛФ 2008 рассчитаны доли площадей лесных земель разных категорий как для покрытых лесной растительностью земель, так и для не покрытых лесной растительностью лесных и нелесных земель (вырубки, редины, луга, пашни и т.д.). Методом «Пространственного соединения» из инструментария ArcGIS получены списки лесхозов, составляющих лесные районы. По этим спискам и долям площадей составлены доли земель различных категорий для лесных районов.

Категориям земель из ГУЛФ (для краткости будем называть их «биотопы») были сопоставлены описания местообитаний проведения почвенных разрезов. Всего таких биотопов оказалось 21.

В качестве источника картографических материалов были использованы шейп файлы лесных районов и лесхозов для Европейско-Уральской части России. Всего эта территория представлена 13 лесными районами и 1239 лесхозами. Средствами ArcGis и получены суммарные площади интересующих нас биотопов в каждом лесном районе.

По имеющимся координатам каждому почвенному разрезу был присвоен код лесного района, в котором находится разрез. Таким образом, исходная база для расчетов включала поля кода лесного района, биотоп и собственно 3 поля с данными о содержании углерода в разных слоях почвы. На основе этих данных были рассчитаны средние удельные показатели содержания углерода в почве для каждого лесного района и для каждого биотопа, а

также рассчитаны их статистические ошибки.

На следующем этапе полученные удельные средние значения содержания углерода в почвах были умножены на площади соответствующих биотопов в соответствующих лесных районах и, таким образом, получены суммарные показатели содержания углерода в почвах учтенных биотопов соответствующих лесных районов. Для того, чтобы получить оценки по всей площади лесных районов (ЛР) был рассчитан коэффициент пересчета на всю площадь ЛР. Получен он следующим образом. Из сумм площадей отдельных биотопов получены суммарные площади биотопов по каждому лесному району:

$$S_i = \sum_{j=1}^m s_{i,j}$$

где  $S_i$  – площадь  $i$ -го лесного района,  $s_{i,j}$  – площадь биотопа  $j$  в лесном районе  $i$ ,  $m = 21$  (общее количество биотопов).

Искомые коэффициенты рассчитываются как отношение площадей соответствующих лесных районов полученных из шейп файлов ( $\hat{S}_i$ ) к полученным площадям из сумм слагающих лесные районы биотопов:

$$k_i = \hat{S}_i / S_i$$

Иными словами, этот коэффициент позволяет компенсировать недостающую из сумм биотопов площадь лесного района. Этот недостаток обусловлен, во-первых, существованием земель, не относящихся к землям лесного фонда и, во-вторых, биотопов, в которых не проводились исследования почв. Результатом применения коэффициента пересчета является таблица суммарного содержания углерода в лесных районах Европейско-Уральской части РФ.

Расчеты проводились в среде R и ArcGis 10.4.

Настоящая работа базируется на результатах обработки базы данных лишь в отношении одного из почвенных элементов, а именно, углерода. Для пересчета запасов гумуса в углерод использован единый коэффициент 0.57. Оценка запаса по профилю включает как

углерод органического вещества почвы в верхних горизонтах, которые могут быть отнесены к подстилке, так и в заторфованных горизонтах подзолисто-болотных почв. Для определения объемного веса почвенных горизонтов разработана методика реконструкции закономерностей вертикального изменения плотности почв в пределах толщи (Честных, Замолодчиков, 2004).

Таким образом, суммарная оценка для профиля включает запасы органического углерода подстилки, органоминеральных и минеральных горизонтов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассматривая географическую изменчивость запасов углерода в разных слоях, можно отметить, что для анализа распределения по лесным районам – в тундре, северной, средней и южной тайге, в районе хвойно-широколиственных лесов, в лесостепном и степном районах, в северо-кавказском и уральском районах – не для всех почв имеются достаточно данных средних значений по выбранным категориям. В частности, для лиственницы и пихты в тундре или для березы и осины в северной тайге данные представлены единичными расчетами, что не дает возможности оценить их изменчивость.

При этом для основных категорий – таких как редины в тундре, сосна или ель в таежной зоне, пашни, пастбища и сенокосы в степи – общее количество может быть вполне репрезентативным. Так, в районе хвойно-широколиственных лесов общее количество разрезов почв под сенокосами достигает 42, тундре в редирах и под пашнями в степях – по 38, в дубняках кавказского района – 30.

В таблице 1 представлено распределение типовых средних значений углерода в слоях почвы 0-100, 0-50, 0-30 см для основных категорий, данные по которым представлены во всех лесных районах. Для слоя 0-100 см для основных лесообразующих пород, например, для сосны и ели, в целом идет увеличение средних величин запаса  $C_{soil}$  от тундры к северной тайге, со снижением во всех более южных районах и увеличением средних запасов углерода в Северо-Кавказском и Южно-Уральском районах. Наиболее высокие значения для ели свойственны торфяным почвам северной тайги  $211 \text{ т га}^{-1}$  и северо-уральского района  $248 \text{ т га}^{-1}$ , что ожидаемо; для сосны запасы несколько ниже, на этом фоне выделяются значения в  $784 \text{ т га}^{-1}$  в северо-уральском районе, где в расчет попадают разрезы заторфованных болот.

**Таблица 1.** Средние ( $\pm SE$ )\* запасы углерода в почве разных категорий лесных районов для Европейско-Уральской части России

Категория	Средний запас углерода, $\text{т га}^{-1}$			Число разрезов
	Глубина разрезов, см			
	0-30	0-50	0-100	
<b>ТУНДРЫ</b>				
Редины	104.5 $\pm$ 75.30	133.5 $\pm$ 110.7	167.4 $\pm$ 156.3	60
<b>РАЙОН ПРИТУНДРОВЫХ ЛЕСОВ И РЕДКОСТОЙНОЙ ТАЙГИ</b>				
Сосна	62.96 $\pm$ 48.48	76.69 $\pm$ 64.17	96.09 $\pm$ 81.73	13
Ель	99.18 $\pm$ 66.71	120.2 $\pm$ 84.80	146.4 $\pm$ 94.35	8
Береза	55.67 $\pm$ 16.07	69.88 $\pm$ 25.25	90.77 $\pm$ 36.12	6
Каменная береза	43.15 $\pm$ 9.46	55.05 $\pm$ 16.36	76.22 $\pm$ 22.85	4
Прочие мягколиственные	129.2	209.3	260.4	1

Продолжение таблицы 1

Прочие кустарники	80.06	95.46	123.9	1
Болота	264.4±19.71	448.5±79.44	505.1±99.64	8
Сенокосы	91.31±36.02	129.3±50.34	175.2±47.57	6
Редины	187.9±203.4	205.2±202.6	234.3±202.2	6
<b>СЕВЕРО-ТАЕЖНЫЙ РАЙОН</b>				
Сосна	84.32±85.29	109.6±97.77	147.9±119.9	16
Ель	122.8±81.91	161.9±116.5	210.5±151.1	18
Лиственница	30.28	45.71	82.91	1
Береза	40.34	51.20	76.54	1
Осина	84.67	110.5	139.0	1
Вырубки	25.77±14.39	34.64±10.91	56.23±0.797	2
Болота	292.8±15.52	471.3±80.38	619.5±151.4	4
Сенокосы	66.64±18.96	91.34±36.96	137.7±84.04	10
Редины	81.72±42.10	102.1±44.32	130.6±44.32	4
<b>СРЕДНЕ-ТАЕЖНЫЙ РАЙОН</b>				
Сосна	59.54±54.46	70.68±63.98	86.36±75.46	10
Ель	43.48±29.33	51.63±34.07	67.30±39.16	11
Пихта	13.32	21.84	37.77	1
Береза	138.0	157.9	176.0	1
Осина	82.41	100.7	111.3	1
Прочие твердолиственные	57.41±25.96	64.49±23.67	74.09±16.36	2
Прочие мягколиственные	30.70	34.39	42.24	1
Пашни	45.82±30.53	68.54±60.83	122.7±142.4	4
Болота	251.6±55.32	373.4±44.68	678.6±113.2	4
Сенокосы	85.37±21.54	104.5±11.61	135.3±8.97	2
<b>ЮЖНО-ТАЕЖНЫЙ РАЙОН</b>				
Сосна	56.01±5.85	63.14±0.63	68.73±2.51	2
Ель	92.10±64.55	110.2±90.85	131.5±123.4	26
Береза	171.6±182.4	186.5±193.7	199.1±190.4	2
Прочие твердолиственные	34.21	41.33	54.51	1
Пашни	51.62	66.17	82.75	1
Сенокосы	67.26±13.01	79.08±13.34	97.62±10.10	2
<b>РАЙОН ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ</b>				
Сосна	43.56±30.34	47.05±30.76	55.04±28.05	11
Ель	61.75±41.19	68.40±41.50	83.04±43.65	11
Лиственница	33.96±0.61	40.30±2.07	51.80±6.75	2
Дуб	45.66±18.15	55.73±22.83	72.43±29.39	10
Липа	50.62±19.09	65.43±30.45	101.0±72.60	6
Береза	40.21±33.11	48.59±34.83	61.89±40.04	7
Осина	31.62	36.74	53.67	1
Прочие твердолиственные	21.64±0.74	28.08±3.17	41.16±8.86	2

Продолжение таблицы 1

Прочие мягколиственные	38.77±21.50	47.45±30.46	58.49±38.14	10
Вырубки	24.05	34.82	57.36	1
Пашни	38.93±23.03	56.96±37.96	97.45±73.86	16
Сенокосы	61.76±29.09	85.71±47.02	108.6±61.01	42
<b>ЛЕСОСТЕПНОЙ РАЙОН</b>				
Сосна	18.78±16.42	29.59±15.07	47.18±14.26	2
Ель	110.5±34.01	119.1±36.14	136.4±43.56	8
Дуб	27.70	36.49	57.06	1
Береза	127.3±117.0	172.6±183.0	212.3±235.5	5
Осина	54.82±30.93	61.29±26.74	71.97±19.45	2
Пашни	111.2±33.57	164.9±59.07	201.6±67.66	5
Сенокосы	108.4±4.48	167.2±6.12	243.6±10.49	3
<b>РАЙОН СТЕПЕЙ</b>				
Сосна	26.56±19.00	36.60±20.92	55.49±34.51	2
Ель	78.12±55.26	99.97±69.94	139.8±93.25	4
Дуб	20.54±6.658	28.51±9.280	46.68±10.76	2
Граб	30.37	37.67	50.13	1
Бук	52.06±19.30	71.69±30.48	106.3±46.17	9
Береза	15.36	20.65	34.62	1
Прочие мягколиственные	84.90±38.15	116.5±53.60	162.0±70.38	4
Прочие твердолиственные	46.83±1.861	67.40±2.811	101.3±18.54	2
Пашни	63.27±22.72	95.75±32.56	148.4±52.22	38
Пастбища	75.59±30.11	103.8±36.44	148.8±44.88	35
Сенокосы	65.76±30.89	93.41±41.93	137.3±61.69	26
<b>СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ГОРНЫЙ РАЙОН</b>				
Сосна	81.82±33.69	109.1±43.00	151.6±60.99	9
Ель	128.5±45.87	168.9±50.73	200.0±42.66	6
Пихта	77.45±52.07	100.0±66.49	129.3±71.20	11
Дуб	48.26±18.94	64.70±24.80	91.25±32.11	30
Граб	54.16±31.22	72.52±40.32	105.7±53.70	12
Бук	59.95±27.60	79.00±38.23	114.0±48.47	15
Липа	88.57	103.0	131.5	1
Береза	84.47±50.42	103.6±55.82	133.2±56.49	6
Клен	91.78	124.7	158.0	1
Степь	76.29	115.9	178.3	1
Пашни	104.6±20.43	150.9±31.16	217.2±38.37	7
Пастбища	80.21±15.13	117.8±25.11	164.4±34.76	10
Сенокосы	91.44±20.66	128.6±28.75	182.9±45.09	7
Сады	160.8	217.2	279.5	1
<b>СЕВЕРО-УРАЛЬСКИЙ РАЙОН</b>				
Сосна	307.1	537.6	783.6	1

Продолжение таблицы 1

Ель	145.5±87.25	191.7±98.27	248.2±125.3	4
Сенокосы	101.7±26.64	147.0±28.25	178.8±32.81	2
Редины	37.92±26.57	48.33±29.54	70.27±35.09	8
Болота	77.35±0.755	112.4±22.57	140.9±22.57	2
<b>СРЕДНЕ-УРАЛЬСКИЙ РАЙОН</b>				
Сосна	47.08±17.58	55.85±21.76	77.22±33.52	5
Ель	63.46±34.05	81.98±45.32	111.9±63.76	11
Лиственница	148.1	167.6	199.0	1
Береза	63.95±16.24	76.14±14.96	93.74±10.89	3
<b>ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ РАЙОН</b>				
Сосна	72.44±0.20	85.42±8.73	106.4±19.29	2
Ель	89.89	100.9	126.4	1
Береза	53.17±6.38	63.69±8.34	81.31±17.21	3
Прочие мягколиственные	128.5	158.3	190.3	1
Сенокосы	114.7±12.13	137.4±14.22	165.9±14.22	2
Редины	135.7±11.93	157.5±2.750	190.1±8.561	2

Примечание: \*SE – стандартная ошибка

Интерес представляет сравнение полученных данных с данными авторов (Честных, Замолодчиков, 2017), которые были рассчитаны для Европейско-Уральского региона России, при этом использовалась другая схема расчета, когда данные распределялись широтным полосам, таким образом, вся территория Европейско-Уральской части покрывалась тремя полосами (северная, средняя и южная подзоны тайги), в которых считались запасы почвенного углерода под основными лесобразующими породами. Несмотря на разный алгоритм расчета, данные среднего содержания углерода в слое 0-100 см неплохо совпадают.

Так, величина абсолютных значений различий оценок для сосны и ели из районов северной, средней и южной подзон тайги и наиболее соответствующих этим районам данных из схемы расчета О.В. Честных и Д.Г. Замолодчикова (2017) составляет в среднем 24% (14÷45). Отметим, что в расчетах, взятых для сравнения, средние значения под лесобразующими породами рассчитывались из всего массива данных, попадающих в выделенную полосу. В

настоящей работе эти оценки более детализированы, т.к. распределение разрезов проходило по биотопам, а затем расчеты проводились с учетом вклада каждого биотопа. Таким образом, нами представлены средневзвешенные значения для каждого лесного района, а не простые средние по регионам.

По категории болот идет закономерное увеличение средних запасов от района притундровых лесов к району средней тайги, от 505 т га<sup>-1</sup>, к 679 т га<sup>-1</sup>. Для непокрытых лесом биотопов, например, для пашен и сенокосов, содержание углерода в слое 0-100 см максимальных значений достигает в южных регионах: лесостепном лесном районе (202 т га<sup>-1</sup> и 244 т га<sup>-1</sup>) и Северо-Кавказском лесном районе (217 т га<sup>-1</sup> и 183 т га<sup>-1</sup> для пашен и сенокосов соответственно).

Выборки, используемые в табл. 1 для анализа географической изменчивости  $C_{soil}$ , для ряда биотопов, демонстрируют высокую изменчивость. Даже в случаях наибольших по объему выборок (25-50 почвенных разрезов) относительная ошибка значений  $C_{soil}$  колеблется в пределах 6-50%. Очевидно, что это

результат попадания нескольких типов почв в один биотоп. Например, для биотопа «редины» района притундровых лесов относительная ошибка достигает 86%. В расчет берутся 6 данных для Кольского полуострова, в которых описаны 2 разреза подзолистых почв со средними значениями 81 и 90 т га<sup>-1</sup>, 3 разреза с дерновыми почвами со средними значениями 83, 93 и 246 т га<sup>-1</sup> и последний разрез из 6 – в торфянистых почвах со средним значением 600 т га<sup>-1</sup>.

Сравнивая полученные средние значения запасов почвенного углерода с оценками других авторов, можно отметить следующее. В работе Д.Г. Щепаченко с соавторами приводятся средние запасы в слое 0-100 см для России, расчеты сделаны по почвенной карте и базе типичных почвенных профилей (49 профилей), с использованием ряда поправочных коэффициентов (Щепаченко и др., 2013). Наблюдается неплохое совпадение полученных оценок в метровом слое для Европейской части России. Хотя проводить сравнение достаточно сложно, т.к. в этой работе нет оценок для запасов углерода в почве под основными лесообразующими породами, а есть только общее понятие – «лес». Тем не менее, в этой категории авторы приводят средние запасы для северной тайги в 19.68 кг С м<sup>-2</sup>, наши оценки несколько меньше, от 9.1 под березовыми насаждениями до 14.1 – под еловыми. Хорошее совпадение наблюдается для северных болот, оценки авторов в 40 кг С м<sup>-2</sup> совпадают с нашими в 50 кг С м<sup>-2</sup>.

Для южной тайги в категории «лес» данные авторов – 14.6 кг С м<sup>-2</sup>, что перекрывается диапазоном полученных нами значений: от 13.1 в еловых насаждениях до 19.9 кг С м<sup>-2</sup> в березовых; почти идеальное совпадение наблюдается для болот южной тайги, 9.93 кг С м<sup>-2</sup> по данным из работы Д.Г. Щепаченко и др. (2013) и 9.76 кг С м<sup>-2</sup> по нашим данным. Полученные нами оценки средних запасов почвенного углерода близки к приведенным в этой работе, лишь в некоторых случаях они несколько ниже.

В работе А.В. Пастухова, Д.А. Каверина (2013) приводятся содержание почвенного углерода в основных почвенных группах для южной тундры и средней тайги Мурманской области для 0-30 и 0-100 см слоев почвы. Для тундры оценки запасов почвенного углерода в слое 0-30 см, приведенные авторами, близки к нашим: 10.8 против 10.5 кг С м<sup>-2</sup> соответственно. Не столь полное соответствие оценок наблюдается в слое 0-100 см 28.7 против 16.7 кг С м<sup>-2</sup>, (наши данные) соответственно. Для средней тайги авторские данные для 0-30 см 8.2, для слоя 0-100 – 16.1 кг С м<sup>-2</sup>, наши данные – 9.2 и 15.5 кг С м<sup>-2</sup> соответственно. В целом, различия оценок не превышают размах ошибок средних.

В таблице 2 приведены суммарные запасы почвенного углерода для лесных районов в целом. Полученные нами средние запасы углерода по глубине 0-50 см, близки по величине с данными, полученными Е.А. Вагановым с соавторами для почв лесных экосистем Енисейского меридиана (Ваганов и др., 2005). Так для лесотундры приводятся данные 103 т га<sup>-1</sup>, по нашим данным – тундра и редкостойные леса – 134 и 226 т га<sup>-1</sup>, соответственно. Для северной тайги авторы приводят оценку – 118 т га<sup>-1</sup>, тогда как по нашим результатам – 205 т га<sup>-1</sup>, для средней тайги 107 т га<sup>-1</sup>, – 114 т га<sup>-1</sup>, для южной тайги 134 т га<sup>-1</sup>, – 131 т га<sup>-1</sup> по данным авторов и нашим данным соответственно. В районах более северных наблюдаются большие различия оценок, т.к. процент заболоченных площадей, увеличивающих общие запасы, различается для сибирской и европейской частей страны.

Наиболее высокие средние значения 466 т га<sup>-1</sup> свойственны почвам Северо-Уральского и северо-таежного - 272 т га<sup>-1</sup> районов, где в расчеты попадают заболоченные земли. Минимальные средние значения в 64 т га<sup>-1</sup> рассчитаны для хвойно-широколиственного района и в 80 т га<sup>-1</sup> для района степей, что, возможно, объясняется либо засушливостью территорий, либо распашкой степей, и попаданием участков с большими средними значениями в биотоп «пашни».



**Таблица 2.** Запасы ( $\pm SE$ )\* углерода в почвенных слоях лесных районов для Европейско-Уральской части России

Район	Площадь 10 <sup>6</sup> га	Запас углерода 10 <sup>9</sup> т С			Число разрезов
		Глубина разрезов, см			
		0-30	0-50	0-100	
Тундры	0.24	0.026 $\pm$ 0.018	0.033 $\pm$ 0.027	0.041 $\pm$ 0.038	60
Район притундровых лесов и редкостойной тайги	23.38	3.47 $\pm$ 0.98	5.29 $\pm$ 1.71	6.12 $\pm$ 2.04	53
Северо-таежный район	35.09	4.94 $\pm$ 2.01	7.20 $\pm$ 3.07	9.53 $\pm$ 4.30	57
Средне-таежный район	31.91	2.92 $\pm$ 0.93	3.62 $\pm$ 1.03	4.93 $\pm$ 1.37	37
Южно-таежный район	17.79	2.09 $\pm$ 1.80	2.33 $\pm$ 2.1.99	2.57 $\pm$ 2.13	34
Район хвойно- широколиственных лесов	23.01	1.02. $\pm$ 0.67	1.18 $\pm$ 0.71	1.48 $\pm$ 0.78	119
Лесостепной район	4.98	0.27 $\pm$ 0.18	0.36 $\pm$ .25	0.47 $\pm$ 0.29	26
Район степей	2.51	0.10 $\pm$ 0.03	0.13 $\pm$ 0.05	0.20 $\pm$ 0.07	124
Северо-кавказский горный район	2.23	0.14 $\pm$ 0.06	0.18 $\pm$ 0.08	0.25 $\pm$ 0.10	117
Северо-уральский район	12.46	2.54 $\pm$ 0.38	4.12 $\pm$ 0.49	5.81 $\pm$ 0.61	17
Средне-уральский район	19.69	1.24 $\pm$ 0.42	1.51 $\pm$ 0.51	1.97 $\pm$ 0.65	20
Южно-уральский район	7.83	0.54 $\pm$ 0.02	0.64 $\pm$ 0.06	0.80 $\pm$ 0.12	11
Всего	181.13	19.30 $\pm$ 7.5	26.60 $\pm$ 9.95	34.17 $\pm$ 12.51	675

Примечание: \*SE – стандартная ошибка

**Суммарные запасы** углерода в почвах лесных районов Европейско-Уральской части составили для глубины 0-30 см  $19.3 \cdot 10^9$  С т, для 0-50 –  $26.6 \cdot 10^9$  С т, для 0-100 см –  $34.2 \cdot 10^9$  С т. Общая площади земель лесного фонда в европейской части России для этих лесных районов оценена в  $181.13 \cdot 10^6$  га. Максимальные запасы свойственны северо-таежному району, минимальные – району степей и Северо-Кавказскому горному району, что отражает, с одной стороны, распределение площадей соответствующих выделов, с другой – может быть объяснено большим количеством заторфованных земель в северных районах. Оценены запасы углерода в почвах тундровой зоны, для глубины 0-30 см -  $26 \cdot 10^6$  С т, для 0-50 см –  $33 \cdot 10^6$  С т, для 0-100 см –  $41 \cdot 10^6$  С т.

Проблема сравнения наших результатов с данными других авторов состоит в том, наш подход оценок ориентирован под задачу оценки бюджета углерода, его пулов и потоков именно в лесных районах. В то время, как большинство оценок запасов почвенного углерода рассчитаны с

использованием почвенных карт и сравнение с ними возможно только по данным, интегрированным на региональном уровне. Оценки запасов почвенного углерода под основными лесообразующими породами и категориями нелесных земель встречается гораздо реже, чем оценки запасов почвенного углерода в разных типах почв. В слое 0-100 см наблюдается сходимость итоговых оценок Csoil у разных авторов.

В работе Д.В. Орлова с соавторами приведены запасы органического углерода в почвах и торфах для метровой толщи Европейской части в целом  $41.9 \cdot 10^9$  С т (Орлов и др., 1996), наши расчеты укладываются в размах ошибок средних  $34.2 \pm 12.5 \cdot 10^9$  С т.

При сравнении наших данных с данными О.В. Честных и Д.Г. Замолодчикова (Честных, Замолодчиков, 2017), об иных принципах расчета которых говорилось выше, можно отметить хорошее совпадение как данных по площади лесных районов европейской части –  $178.8 \cdot 10^6$  и  $181.13 \cdot 10^6$  га (настоящая работа), так и для

итоговых запасов по разным глубинам – 0-30 см  $18.1 \cdot 10^9$  и  $19.3 \cdot 10^9$  (настоящая работа) С т, 0-50 см –  $25.1 \cdot 10^9$  и  $26.6 \cdot 10^9$  С т, для 0-100 см –  $34.7 \cdot 10^9$  и  $34.2 \cdot 10^9$  С т соответственно. Очевидно, что причина различий данных – результат взвешивания почвенных данных по представленности биотопов в соответствующих лесных

районах, тогда как в работе с результатами которой ведется сравнение, вычислялись лишь простые средние данных почвенных разрезов по географическим полосам.

Итоговые запасы для всей территории Европейско-Уральской части составили для 0-100 см глубины  $34.2 \pm 12.5 \cdot 10^9$  С т, включая тундровый район.

**Таблица 3.** Средние ( $\pm SE$ )\* запасы углерода в почве разных категорий для всей Европейско-Уральской части России

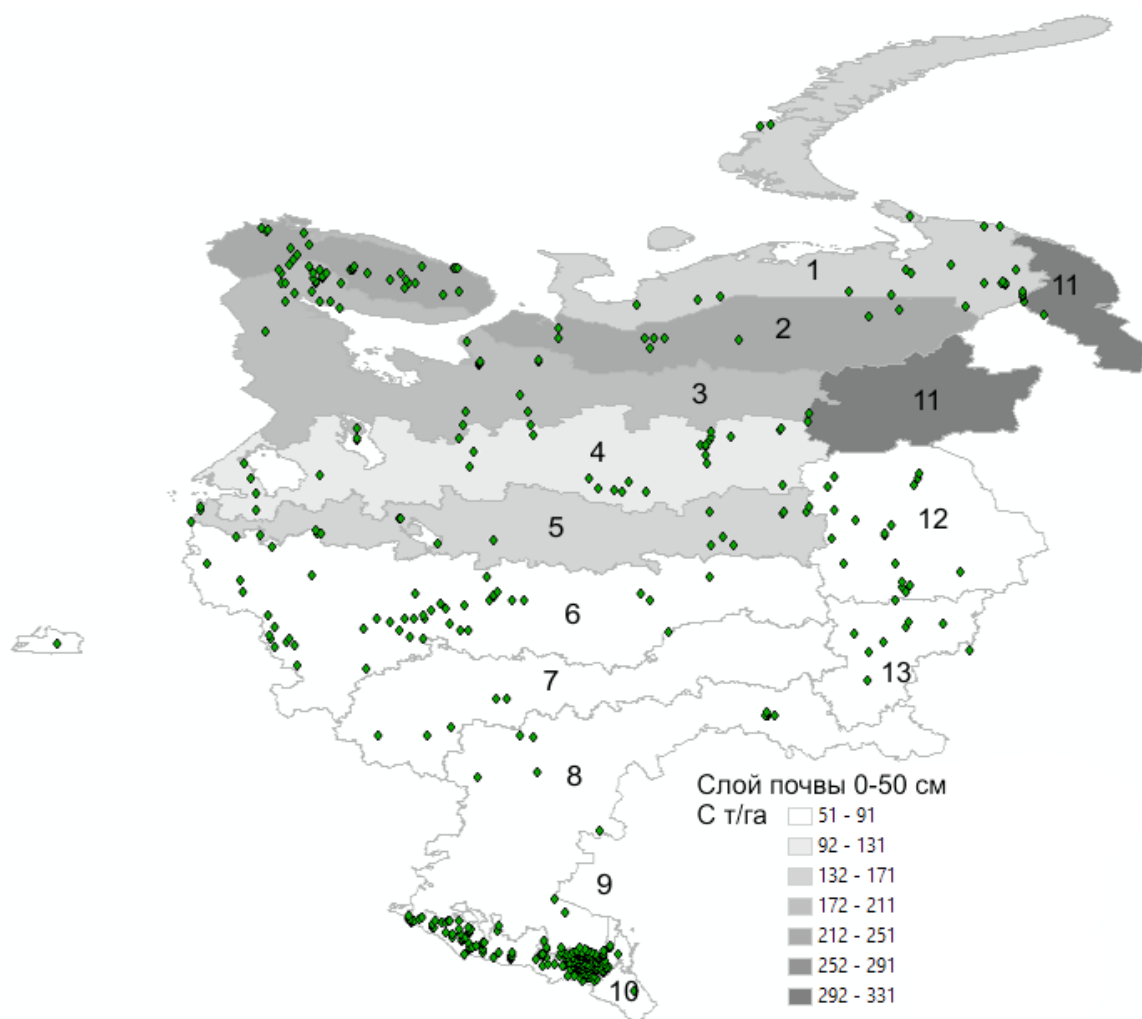
Категория	Средний запас углерода, т га <sup>-1</sup>			Число разрезов
	Глубина разрезов, см			
	0-30	0-50	0-100	
Сосна	85.47±40.76	119.56±47.22	121.84±50.6	73
Ель	88.04±56.61	110.32±73.3	140.51±90.99	108
Пихта	74.2±49.43	96.13±63.12	124.66±67.59	12
Лиственница	136.5±0.02	155.25±0.06	186.49±0.21	4
Дуб	34.24±9.71	44.9±12.67	65.56±16.06	43
Граб	48.41±23.66	64.08±30.56	92.25±40.69	13
Бук	58.24±25.8	77.41±36.55	112.36±47.98	24
Липа	51.52±18.71	66.53±30.11	102.02±71.39	8
Береза	90.3±44.29	104.34±48.43	121.84±50.6	39
Осина	55.34±5.61	65.95±4.85	79.71±3.53	5
Прочие твердолиственные	43.46±1.72	62.13±2.86	93.29±17.24	7
Прочие мягколиственные	58.49±19.51	75.32±27.58	95.36±35.06	17
Прочие куст	80.06	95.46	123.96	1
Вырубки	25.1±8.75	34.72±6.64	56.68±0.48	3
Болота	257.06±20.86	417.6±70.26	539.2±114.8	18
Пашни	69.42±23.49	102.62±37.55	148.11±58.14	71
Пастбища	77.62±22.68	110.4±30.47	156.84±39.37	46
Сенокосы	85.06±19.85	111.07±25.84	145.6±33.48	102
Сады	160.8	217.25	279.53	1
Редины	117.58±96.67	143.19±122.48	175.44±156.03	80

Примечание: \*SE – стандартная ошибка

Валовые запасы  $C_{soil}$  по лесным районам относятся к малопригодным показателям для сравнения, т.к. обусловлены общими площадями земель лесного фонда. Показательнее использовать для этой цели почвенно-углеродную емкость (в т С га<sup>-1</sup>) земель разных категорий. Поскольку для почв, покрытых лесом и не покрытых лесом земель, эти показатели различаются не столь существенно (табл. 3), то сравнение целесообразно свести к анализу вклада

нелесных земель и земель, покрытым лесной растительностью.

В таблице 3 представлены средние запасы разных категорий лесных земель, посчитанные для всей территории Европейско-Уральской части в целом, без деления на лесные районы. Наименьшие средние запасы характерны для вырубок, более высокие – для пастбищ, сенокосов и лиственничников, и самые высокие – для болот.



**Рисунок 1.** Средние запасы углерода (т С га<sup>-1</sup>) в слое почвы 0-50 см на землях лесного фонда Европейско-Уральской части Российской Федерации

В целом для России отношение углеродной емкости в слое 0-50 см нелесных земель к землям лесов равно 1.9. В европейской части страны, где на северных территориях достаточно много болот, это отношение возрастает до 3.0 (Честных и др. 2004). Следовательно, нелесные земли в структуре земель лесного

фонда выступают главным аккумулятором биологического углерода во всем биоме бореальных лесов. При этом  $C_{soil}$  болот и определяет приоритеты отдельных регионов в общих запасах углерода лесного фонда, а не только его нелесных земель.

Об этом наглядно свидетельствует рисунок 1, где приведена карта

распределения средних запасов почвенного углерода в слое 0-50 см по лесным районам. Видно, что максимальные средние значения наблюдаются в притундровом и северотаежном районах, а также в Северо-Уральском районе. Минимальные средние наблюдаются в хвойно-широколиственном районе, где как раз небольшая представленность нелесных земель. Для региона пустынь данные не приведены вовсе, т.к. они не присутствуют в базе. Интерес представляют данные по Северо-Кавказскому району, где при общей небольшой площади в 2.23 млн. га, т.е. одному из самых маленьких выделов, средние значения достигают значительных величин  $112.07 \text{ т га}^{-1}$  и дают суммарные запасы в  $250 \cdot 10^6 \text{ т}$ , что объясняется наличием большого количества пашен в этом регионе.

Распределение разрезов из базы данных по биотопам лесных районов Европейско-Уральской части России неравномерно. Имеются биотопы, по которым для некоторых лесных районов данные отсутствуют. Например, отсутствуют данные по «болотам» в среднеуральском, южно-таежном районах и районе хвойно-широколиственных лесов; отсутствуют разрезы в широко представленных осинниках южной тайги, среднего и южного Урала; не хватает данных по категориям «лиственница» и «береза» из северо-уральского лесного района и т.д. (перечислены биотопы, представленные площадями более 800 тыс. га в соответствующих лесных районах). Для дальнейшего наполнения базы почвенных характеристик необходимо либо найти в литературе, либо провести полевые измерения для восполнения недостающей информации.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Произведена оценка запасов почвенного углерода на территории Европейско-Уральской части России на топологической основе, принятой в классификации категорий земель лесного фонда в Государственном лесном реестре (ГЛР). Через координаты и описания почвенных разрезов из имеющейся БД (Честных, Замолодчиков, 2018) установлены

принадлежность каждого разреза к лесному району и категории земель («биотопу»). Для каждого лесного района Европейско-Уральской части России получены доли вариантов наземного покрова (доминирующие породы для покрытых лесной растительностью земель и варианты непокрытых лесной растительностью земель). Исходя из представленности «биотопов» в лесных районах получены средневзвешенные по площадям биотопов значения углерода почв для лесных районов. Таким образом, средние показатели углерода почв рассчитывались взвешиванием данных по долям представленности данной категории земли (биотопа) в соответствующем лесном районе.

Итоговые данные неплохо совпадают с оценками, полученными ранее другими авторами, хотя сравнение наших результатов с большинством опубликованных работ затруднено в силу использования принципиально различных подходов к пространственной группировке данных. А именно, наши данные агрегированы по биологическим «биотопическим» критериям, в то время как в фокусе топологической основы для агрегации в большинстве работ других авторов применяются собственно типы почв или почвенные карты.

Одним из следствий проделанной работы было выявление «дыр» – биотопов, по которым нет почвенных данных в некоторых лесных районах. Проведение там соответствующих работ было бы желательно для получения более полной картины распределения почвенного углерода в землях лесного фонда.

### **БЛАГОДАРНОСТИ**

Исследование поддержано РНФ № 19-77-30015 "Разработка методов и технологии комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для развития системы национального мониторинга бюджета углерода лесов России в условиях глобальных изменений климата", выполнено в рамках темы государственного задания ЦЭПЛ РАН № АААА-А18-118052590019-7.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.А., Бердси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н.Сукачева, 1994. 173 с.
- Ваганов Е.А., Ведрова Э.Ф., Верховец С.В., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Круглов В.Б., ... & Шибистова О.Б. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал. 2005. № 4. С. 631-649.
- Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В. Запасы и содержание соединений углерода в болотных экосистемах России // Почвоведение. 1997. № 12. С. 1470-1477.
- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16-28.
- Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Честных О.В., Сонген Б. Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России. М.: КМК, 2005. 200 с.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 254 с.
- Пастухов А.В., Каверин Д.А. Запасы почвенного углерода в тундровых и таежных экосистемах Северо-Восточной Европы // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1084-1094.
- Рожков В.А., Вагнер В.В., Козут Б.М., Конюшков Д.Е., Шеремет Б.В. Запасы органических и минеральных форм углерода в почвах России // Углерод в биогеоценозах: Чтения памяти акад. В.Н. Сукачева, XV. М.: Наука, 1997. С. 5-58.
- Рыжова И.М., Подвезенная М.А. Пространственная вариабельность запасов органического углерода в почвах лесных и степных биогеоценозов // Почвоведение. 2008. № 12. С. 1429-1437.
- Титлянова А.А., Кудряшова С.Я., Косых Н.П., Шибарева С.В. Базы данных «Органический углерод» и «Запасы растительного вещества в экосистемах Сибири» как средство оценки углеродного баланса, его моделирования и прогнозирования на геоинформационной основе // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. Спец. выпуск 2. С. 131-139.
- Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В., Коровин Г.Н., Зукерт Н.В. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. № 5. С. 8-23.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. Запасы органического углерода в почвах лесов России // Природные и антропогенные экосистемы: проблемы и решения. М.: Библио-Глобус, 2017. С. 19-60.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. БД «Почвенные характеристики Северной Евразии», свидетельство о гос.регистрации БД в Федеральной службе интеллектуальной собственности № 2018621164 от 17.05.2018 г.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. Зависимость плотности почвенных горизонтов от глубины их залегания и содержания гумуса // Почвоведение, 2004. № 8. С.937-944.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В. Запасы органического углерода в почвах тундровых и лесотундровых экосистем // Экология. 1999. № 6. С. 426-432.
- Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России // Лесоведение. 2004. № 4. С. 30-42.
- Щепашенко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2. С. 123-132.
- Shvidenko A., Nilsson S. A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961–1998 // Tellus. 2003. 55B. P. 391-415.
- Stolbovoi V. Carbon in Russian Soils // Climatic Change. 2002. Vol. 55. No 1-2. P. 131-156.
- Stolbovoi V. Soil carbon in the forests of Russia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. No 11. P. 203-222.
- Stolbovoi V., Mccallum I., Land Resources of Russia (CD-ROM). IASA & RAS. Laxenburg, Austria. 2002.

Vinson T.S., Kolchugina T.P. Pools and fluxes of biogenic carbon in the Former Soviet Union // Water, Air, and Soil Pollution. 1993. No. 70. P. 223-237.

#### REFERENCES

- Alekseev V.A., Berdsi R.A., *Uglerod v ekosistemah lesov i bolot Rossii* (Carbon in the ecosystems of forests and swamps of Russia), Krasnoyarsk: In-t lesa im. V.N. Sukacheva, 1994, 173 p.
- Chestnykh O.V., Zamolodchikov D.G., *Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvah lesov Rossii* (Organic carbon stock in the soils of Russian forests), Prirodnye i antropogennye ekosistemy: problemy i resheniya, 2017, Moscwa: Biblio-Globus, pp. 19-60.
- Chestnykh O.V., Zamolodchikov D.G., *BD «Pochvennye harakteristiki Severnoj Evrazii»* ("Soil characteristics of Northern Eurasia"), certificate of state registration of the database in the Federal Service for Intellectual Property, No. 2018621164 of 05.17.2018.
- Chestnykh O.V., Zamolodchikov D.G., *Zavisimost' plotnosti pochvennyh gorizontov ot glubiny ih zaleganiya i sodержaniya gumusa* (The dependence of the density of soil horizons on the depth of their occurrence and humus content), *Pochvovedenie*, 2004, No. 8, pp. 937-944.
- Chestnykh O.V., Zamolodchikov D.G., Karelin D.V., *Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvah tundrovyyh i lesotundrovyyh ekosistem* (Stock of organic carbon in soils of tundra and forest-tundra ecosystems), *Ekologiya*, 1999, No. 6. pp. 426-432.
- Chestnykh O.V., Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., *Obshchie zapasy biologicheskogo ugleroda i azota v pochvah lesnogo fonda Rossii* (General stock of biological carbon and nitrogen in the soils of the forest fund of Russia), *Lesovedenie*, 2004, No. 4, pp. 30-42.
- Efremova T.T., Efremov S.P., Melent'eva N.V., *Zapasy i sodержanie soedinenij ugleroda v bolotnyh ekosistemah Rossii* (Stock and content of carbon compounds in bog ecosystems of Russia), *Pochvovedenie*, 1997, No. 12, pp. 1470-1477.
- Orlov D.S., Biryukova O.N., Suhanova N.I., *Organicheskoe veshchestvo pochv Rossijskoj Federacii* (Organic matter of the soil of the Russian Federation.), Moscow: Nauka, 1996, 254 p.
- Pastuhov A.V., Kaverin D.A., *Zapasy pochvennogo ugleroda v tundrovyyh i taezhnyh ekosistemah Severo-Vostochnoj Evropy* (Soil carbon reserves in the tundra and taiga ecosystems of North-Eastern Europe), *Pochvovedenie*, 2013, No. 9, pp. 1084-1094.
- Rozhkov V.A., Vagner V.V., Kogut B.M., Konjushkov D.E., Sheremet B.V., *Zapasy organicheskikh i mineral'nyh form ugleroda v pochvah Rossii* (Stock of organic and mineral forms of carbon in the soils of Russia), *Uglerod v biogeocenoazah: Chteniya pamyati akad. V.N. Sukacheva, XV*, Moscow: Nauka, 1997, pp. 5-58.
- Ryzhova I.M., Podvezennaya M.A., *Prostranstvennaya variabel'nost' zapasov organicheskogo ugleroda v pochvah lesnyh i stepnyh biogeocenzov* (Spatial variability of organic carbon stock in the soils of forest and steppe biogeocenoses), *Pochvovedenie*, 2008, No. 12, pp. 1429-1437.
- Shchepashchenko D.G., Muhortova L.V., Shvidenko A.Z., Vedrova E.F., *Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvah Rossii* (Stock of organic carbon in the soils of Russia), *Pochvovedenie*, 2013, No. 2, pp. 123-132.
- Shvidenko A., Nilsson S., A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961–1998, *Tellus*, 2003, 55B. pp. 391-415.
- Stolbovoi V., Carbon in Russian Soils, *Climatic Change*, 2002, Vol. 55, No. 1-2, pp. 131-156.
- Stolbovoi V., Soil carbon in the forests of Russia, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, No. 11, pp. 203-222.
- Stolbovoi V., McCallum I., Land Resources of Russia (CD-ROM). *IIASA & RAS*. Laxenburg, Austria, 2002.
- Titlyanova A.A., Kudryashova S.Ya., Kosyh N.P., Shibareva S.V., *Bazy dannyh «Organicheskij uglerod» i «Zapasy rastitel'nogo veshchestva v ekosistemah Sibiri» kak sredstvo ocenki uglerodnogo*

- balansa, ego modelirovaniya i prognozirovaniya na geoinformacionnoj osnove (Databases "Organic carbon" and "Stocks of plant matter in Siberian ecosystems" as a means of assessing the carbon balance, its modeling and forecasting on a geoinformation basis), *Vychislitel'nye tekhnologii*, 2007, Vol. 12, No. 2, pp. 131-139.
- Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Chestnyh O.V., Korovin G.N., Zukert N.V., Lesa Rossii kak rezervuar organi-cheskogo ugleroda biosfery (Russian forests as a reservoir of organic carbon of the biosphere), *Lesovedenie*, 2001, No. 5, pp. 8-23.
- Vaganov E.A., Vedrova E.F., Verhovec S.V., Efremov S.P., Efremova T.T., Kruglov V.B., ... & Shibistova O.B., Lesa i bolota Sibiri v global'nom cikle ugleroda (Siberian forests and swamps in the global carbon cycle), *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2005, No. 4, pp. 631-649.
- Vinson T.S., Kolchugina T.P., Pools and fluxes of biogenic carbon in the Former Soviet Union, *Water, Air and Soil Pollution*, 1993, No. 70, pp. 223-237.
- Zamolodchikov D.G., Grabovskij V.I., Kraev G.N., Dinamika byudzheta ugleroda lesov Rossii za dva poslednih desyatiletija (The dynamics of the carbon budget of the Russian forests over the past two decades), *Lesovedenie*, 2011, No. 6, pp. 16-28.
- Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Utkin A.I., Chestnyh O.V., Songen B., *Uglerod v lesnom fonde i sel'sko-hozyajstvennyh ugodyah Rossii* (Carbon in the forest fund and agricultural land of Russia), Moscow: KMK, 2005, 200 p.

## SOIL CARBON IN FOREST REGIONS OF THE EUROPEAN-URAL PART OF RUSSIA

O.V. Chestnykh<sup>1,2\*</sup>, V.I. Grabovsky<sup>1</sup>, D.G. Zamolodchikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences  
Profsovnazna st. 84/32 bldg. 14. Moscow. 117997. Russia*

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University Leninskie Gory 1 bldg. 12, Moscow, 119991, Russia*

\*E-mail: ochestn@mail.ru

Received 17.02.2020

Accepted 12.03.2020

The carbon pool of the soil block of the European-Ural part of Russia was estimated on the basis of land categories adopted in the State Forest Register (21 biotopes in total). Published data of 675 soil sections using the coordinates and descriptions of sections were linked to biotopes and forest areas (13). The total carbon stock in the soils of forest regions of the European-Ural part amounted to  $19.3 \cdot 10^9$  t C for a depth of 0-30 cm,  $26.6 \cdot 10^9$  t C for a 0-50 cm depth, and  $34.2 \cdot 10^9$  t C for 0-100 cm. The total area of the forest sector in the European part of Russia for these forest regions is estimated at  $181.13 \cdot 10^6$  ha. Aggregated data are given both for biotopes of the entire region and for forest areas. The results we obtained on a top basis of forest-forming species and non-forest lands are compared with estimates of other authors obtained for various types of soils.

**Key words:** *States Forest Account lands of Russia, forest dominant species, data base, forest soils, organic carbon stock ( $C_{soil}$ )*

**Рецензент:** к.б.н., н.с. Осипов А.Ф.