

УДК 631.461

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НИЖНЯЯ КАМА»: АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

Рязанов С. С.¹, Кулагина В. И.²

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ (обособленное подразделение ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»), Казань, Российская Федерация
E-mail: ¹RStanislav.soil@gmail.com, ²viksoil@mail.ru*

Проведено сравнение двух методик оценки запасов углерода в почвах на примере территории национального парка «Нижняя Кама». Разница между оценками достигает 2,5 кратного размера. Согласно методике на основе справочных данных по содержанию углерода в почвах под древесными породами различных возрастных групп, средние запасы углерода оценены в 72,1 т/га, валовые в 1280094,6 т. Оценка на основе полевых почвенных данных и почвенных генетических типов показала среднее содержание углерода в гумусовом слое 28,4 т/га, с валовым содержанием в 719103,0 т. Различия между оценками для наиболее распространенной породы – сосны – достигают 57,0 т/га. Наименьшие расхождения получены для сосняков на дерново-подзолистых обычных почвах — 22,8 т/га. Расчеты на основе лесотаксационных данных недооценивают запасы углерода под дубняками на серых лесных почвах, а также в случае заболоченных типов почв: торфяной болотной низинной и лугово-болотной перегнойной.

Ключевые слова: запасы углерода, гумус, почва, Татарстан, ООПТ.

ВВЕДЕНИЕ

Крупнейшим наземным резервуаром углерода на планете Земля является почвенный покров. Запасы органического углерода в почвах мира оцениваются в 684–724 Пг для слоя 30 см, 1462–1548 Пг для слоя 100 см и 2376–2456 Пг в слое 200 см [1]. В почвах России запасы углерода в 100 см слое оцениваются в 296 Гт [2]. Из которых на долю почв естественного происхождения приходится 85% от всех запасов, а на долю пахотных и других сельскохозяйственных почв лишь 16%.

Проблема глобального потепления остро встала в повестке мировой политики и экономики и подстегнула интерес к почвенному покрову, как крупнейшему пулу углерода [3]. В России актуальность и серьезность проблемы глобального потепления и, как следствие, необходимость оценки накопленных запасов углерода на региональном и масштабном уровнях подчеркивается принятым в 2021 г. федеральным законом «Об ограничении выбросов парниковых газов» № 296-ФЗ от 02.07.2021, а также Указом Президента Российской Федерации от 30 сентября 2013 г. № 752 «О сокращении выбросов парниковых газов».

Определение запасов органического углерода в почвах лесных экосистем и сравнение способов подсчета рационально начать с эталонных участков, репрезентативно отражающих почвенно-экологические условия региона исследования. Для исследования биогеохимических циклов углерода и выработки практических мер по контролю эмиссии и поглощения парниковых газов созданы «карбоновые полигоны» в наиболее типичных экосистемах [4]. Помимо полигонов, в качестве природных эталонов наиболее часто рассматриваются особо охраняемые природные территории (ООПТ).

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НИЖНЯЯ КАМА»: АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

Для реализации плана мероприятий по обеспечению к 2020 году сокращения объема выбросов парниковых газов Министерством природных ресурсов России разработаны методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов, описывающие, в том числе, методику определения запасов углерода в почвенном покрове [5]. В то же время отмечается, что неравномерная изученность почвенного покрова и разнообразие биоклиматических условий России осложняет подбор единой методики расчета запасов углерода [7].

В связи с необходимостью адекватной оценки и дальнейшего мониторинга запасов углерода на локальных масштабах была проведена апробация методик определения запасов углерода в почвах с использованием справочных и натурных данных на примере национального парка «Нижняя Кама», расположенного в Республике Татарстан.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Область обследования.

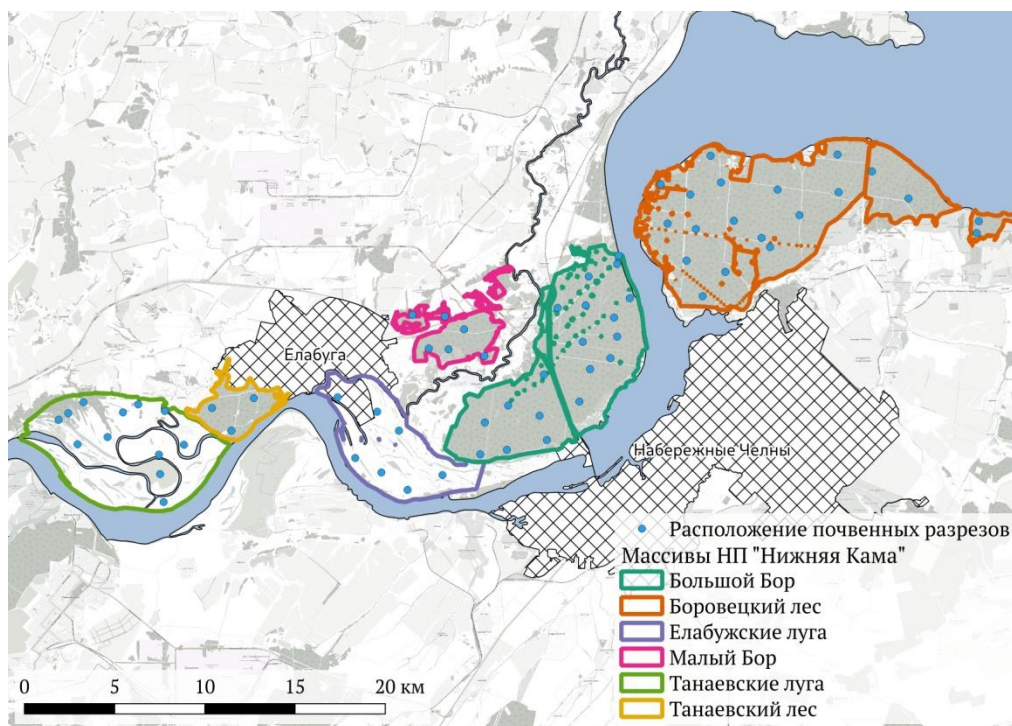
Оценка запасов углерода в почвах проведена для территории национального парка «Нижняя Кама». Парк располагается на северо-востоке Республики Татарстан на границе физико-географических районов Восточное Предкамье и Восточное Закамье (рис. 1). Общая площадь составляет 26460 га. Территория парка включает как пойменные зоны, занятые луговой растительностью, так и водоразделы, покрытые лесными ценозами.

Рельеф лесных участков эрозионно-денудационный склоновый с абсолютными отметками 63–180 м. Для правобережья р. Кама характерны эоловые формы рельефа, с параболическими и продольными дюнами, эоловыми буграми и котловинами выдувания. Левобережье р. Кама сложено элювиальными нерасчлененными четвертичными отложениями. Рельеф представлен невысокими поверхностями с незначительными врезами рек. Пойменные участки — аллювиальные равнины с незначительными перепадами высот до 6 м над нормальным подпорным уровнем Нижнекамского водохранилища.

Почвенный покров

Исследования почвенного покрова парка проводились в 2016 г. в рамках работ по составлению среднemasштабной (1:100 000) почвенной карты. В ходе проведения почвенных исследований на территории парка было заложено 67 почвенных разрезов и полуям. Согласно требованиям ГОСТ 28168-89 из верхних горизонтов почв, а также гумусовых горизонтов погребенных почв был отобран 71 почвенный образец, в которых определялось содержание гумуса по Тюрину, реакция среды потенциометрическим методом.

Генетическая принадлежность почвенных контуров определялась согласно «Классификации и диагностики почв СССР» [7]. Почвенная карта составлялась с применением сравнительно-географического метода, основанного на ландшафтно-индикационных связях [8].



Расположение почвенных разрезов и территория НП «Нижняя Кама».

Таблица 1.

Состав почвенного покрова территории парка

Почва	Площадь, га
Подзолистая дерново-подзолистая	17 794,2
Аллювиальная дерновая насыщенная	4 316,1
Аллювиальная дерновая кислая	1 423,0
Аллювиальная луговая насыщенная	1 230,8
Аллювиальная луговая кислая	585,0
Серая лесная серая лесная	204,4
Торфяная болотная низинная обедненная торфяно-глеевая	102,7
Аллювиальная болотная иловато-торфяная иловато-торфяно-глеевая	83,2
Аллювиальная дерновая насыщенная слоистая	75,5
Серая лесная светло-серая лесная	55,6
Лугово-болотная перегнойная	47,1
Дерново-карбонатная выщелоченная	12,9

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НИЖНЯЯ КАМА»: АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

Основные площади Большого бора, Малого бора, Боровецкого леса и Танаевского леса занимают дерново-подзолистые глубокоподзолистые почвы с преимущественно супесчаным гранулометрическим составом (рис. 2). Дерново-карбонатные почвы, развившиеся на участках выхода карбонатных пород, занимают небольшую площадь северо-восточной части Большого бора.

Почвенный покров пойменных участков парка — Елабужских и Танаевских лугов — представлен аллювиальными почвами. Почвы Елабужских лугов более однородны, большую часть территории занимают аллювиальные дерновые насыщенные почвы (рис. 2). Почвы Танаевских лугов более разнообразны: большая часть представлена аллювиальными луговыми и болотными почвами, встречаются аллювиальные кислые почвы (рис. 2).



Рис. 2. Почвы национального парка «Нижняя Кама».

Древесный покров.

В качестве источника информации о древесном покрове национального парка использованы лесотаксационные карты в масштабе 1:25000, составленные ООО «Лесопроектное бюро» в 2016–2017 гг. Исходные карты предоставлены в PDF формате; для проведения работы карты были векторизованы и географически привязаны к местности (рис. 3).

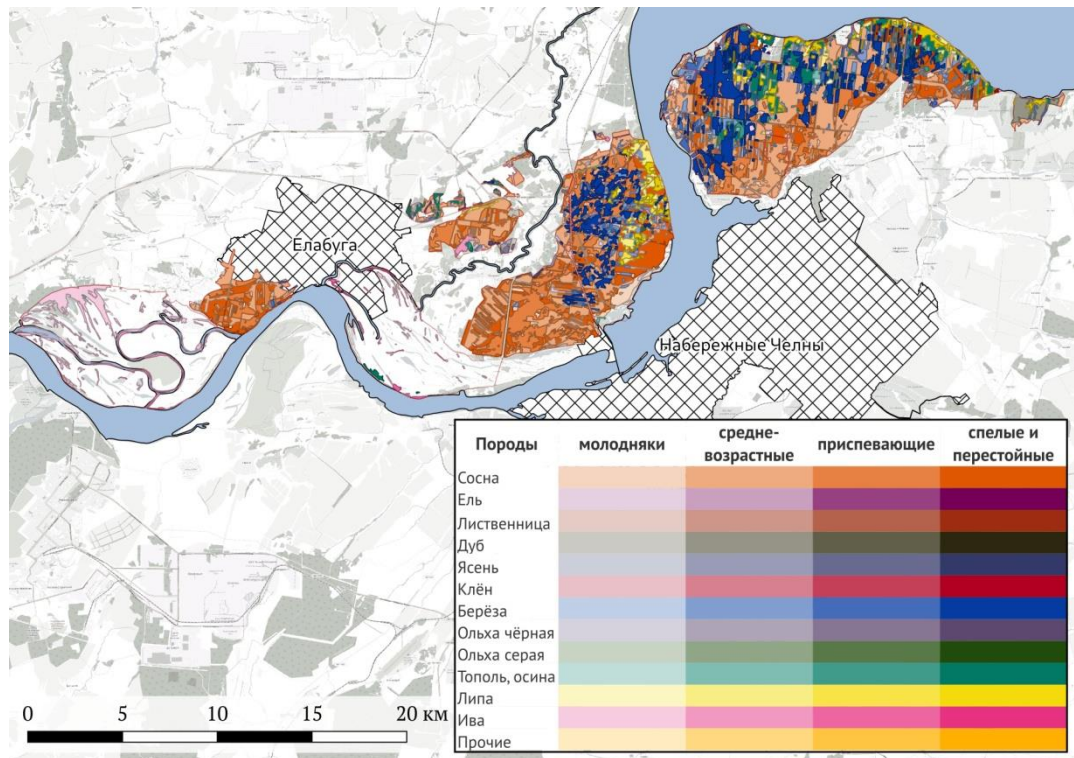


Рис. 3. Типы лесонасаждений по преобладающим породам на территории национального парка «Нижняя Кама».

В таблице 2 представлен общий породный состав НП «Нижняя Кама». При этом распределение преобладающих пород между отдельными зонами неоднородно. Большая часть Большого Бора покрыта сосняками (60,3% от площади зоны), березняками (14,8 %) и липой (6,9 %). Древесный покров Боровецкого леса представлен сосняками (50,4 %), березняками (24,5 %), тополевыми и осинниками (10,6 %), липняками (5,3 %) и небольшими площадями дубрав (2,3 %). Менее неоднородность породного состава в Малом Бору и Танаевском лесу, где большая часть площади занята сосняками (72,0 % и 92,2 %, соответственно). Помимо сосны, в Малом Бору также встречаются существенные площади тополь-осинников (8,0 %), ивняков (3,5 %) и черных ольховников (2,8 %).

Залесенность пойменных участков незначительна. В обоих случаях, преобладающими породами являются ива (3,5 % и 11,9 % от территории Елабужских и Танаевских лугов, соответственно) и тополь с осиной (0,6 % и 0,03 %, соответственно).

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА
«НИЖНЯЯ КАМА»: АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

Таблица 2.

Породный состав национального парка

Порода	молодняки	средневозрастные	приспевающие	спелые и перестойные	Всего
Сосна	419,4	4 911,1	3 016,9	2 759,4	11 106,8
Берёза	11,6	862,4	380,9	2 044,0	3 299,0
Тополь, Осина	8,9	89,6	179,3	851,7	1 129,5
Липа	14,6	406,9	96,4	450,3	968,2
Ива	609,2	151,9	31,6	0,0	792,7
Дуб	34,6	215,9	3,4	0,0	253,8
Ель	61,7	33,0	8,2	0,0	102,9
Ольха черная	2,1	34,8	33,4	16,5	86,8
Клён	0,0	0,0	0,0	12,8	12,8
Ольха серая	5,4	0,0	0,0	0,0	5,4
Лиственница	0,0	5,2	0,0	0,0	5,2
Прочие	0,0	0,0	1,4	0,0	1,4

Методы обследования.

В работе применено два способа оценки запасов органического углерода в почвах национального парка. Первый способ использует методику и референсные значения, приведенные в «Методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов» [5]. В частности, методические указания приводят справочные таблицы средних значений запаса углерода в почвенном слое 0–30 см под различными породами для трех климатических зон и четырех макрорегионов. Республика Татарстан, согласно методическим указаниям, относится к Европейско-Уральскому макрорегиону и климатической зоне «южной тайги и более южным зонам». В таблице 3 приведены значения запасов углерода, использованные при расчётах. Значения для возрастной группы молодняков рассчитаны как среднее значение запасов углерода молодняков 1 и 2 класса, приведенных в методике. Группа твердолиственных пород включает клён, дуб, ясень. Группа прочих мягколиственных — липу, иву, ольху черную и серую, тополь.

Стоит отметить, что приведенные в «Методических указаниях...» значения запасов углерода в почвах значительно превышают оценки запасов углерода под этими же породами, проведенными различными авторами. Так, И.М. Рыжова и М.А. Подвезенная [9] приводят средние значения запасов углерода в слое 0–20 см в под ельниками и сосняками в 35 т/га и 20 т/га, соответственно, для подзоны дерново-подзолистых почв южной тайги. Для слоя 0–100 см — 47 т/га и 42 т/га для ельников и сосняков, соответственно, что почти в два раза меньше значений, указанных в «Методических указаниях...», даже с учетом большего слоя почвы.

Дальнейший расчет валовых запасов углерода в почвах проведен на основе полигональной векторной карты лесонасаждений (рис. 3) по формуле:

$$C_{total} = C_{pool} * A \quad (1)$$

где: C_{total} — валовые запасы углерода в выделе, т; C_{pool} — запасы углерода в слое почвы 0–30 см для данной породы и группы возраста, т/га; A — площадь выдела, га.

Во втором способе расчет запасов органического углерода в почвах проведен для гумусового горизонта на основе результатов полевых исследований, проведенных при составлении почвенной карты НП «Нижняя Кама» (рис. 2).

Таблица 3.

Запасы углерода в почвенном слое 0–30 см, т/га

Порода	молодняки	средневозрастные и старше
Береза	80,9	83,4
Ель	79,3	79,3
Лиственница	73,7	73,7
Осина	66,4	68,5
Пихта	97,1	97,1
Прочие мягколиственные	59,1	61,0
Сосна	71,5	71,5
Твердолиственные	49,0	49,0

Запасы углерода в почвах на единицу площади рассчитаны по формуле:

$$C_{pool} = OB \times H \times V \times 0.58 \quad (2)$$

где: C_{pool} — запас углерода в почве, т/га; OB — содержание органического вещества, %; H — мощность гумусового горизонта, см; V — объемный вес, г/см³; 0.58 – коэффициент пересчета органического вещества на углерод.

При обследовании почвенного покрова национального парка не проводилось измерение объёмной массы, поэтому расчёты запасов углерода основаны на ряде допущений, обоснованием которых служили литературные источники: объёмная масса для гумусово-аккумулятивных горизонтов супесчаного и легкосуглинистого гранулометрического состава принята равной 0,9 г/см³ [10, 11, 12]; для торфяных и оторфованных гумусовых горизонтов — 0,15 г/см³ [13]; для минеральных горизонтов среднесуглинистого, тяжелосуглинистого и глинистого ГМС — 1,0 г/см³ [14].

Если на почвенный контур приходилась одна точка обследования, то физико-химические параметры точки присваивались всему контуру. При наличии двух и более точек на контур значения усреднялись. При отсутствии в контуре точек обследования, значения для контура вычислялись путём пространственной интерполяции точек обследования той же типовой принадлежности методом обратновзвешенных расстояний (inverse distance weighted, IDW) с параметром

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НИЖНЯЯ КАМА»: АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

степени $idp = 2$ [15]. Дальнейший расчет валовых запасов углерода по почвенным контурам проведен по формуле 1.

Использованное ПО.

Расчёты проведены в статистической среде R [16]. Интерполяция методом IDW проведена при помощи пакета gstat для статистической среды R [17]. Векторизация данных и итоговое оформление картографических материалов проведено при помощи геоинформационной системы QGIS [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка запасов углерода на основе древесного покрова.

Результаты расчёта запасов углерода в почвах различных зон национального парка, проведенные на основе справочных таблиц средних значений запаса углерода в почвенном слое 0-30 см под различными породами, приведены в таблице 4. Во всех лесных зонах парка среди пород доминируют сосна и береза. Как следствие — средневзвешенные значения запасов углерода на единицу площади между лесными зонами отличаются незначительно от 61,2 т/га до 73 т/га. Карта распределения запасов углерода также показывает низкую вариабельность (Рис. 4А). Относительно низкие значения запасов углерода — 50 т/га — наблюдаются в восточной части Боровецкого леса, где главенствующими породами являются средневозрастные дубы. Средние части Боровецкого леса и Большого бора заняты спелыми и перестойными березняками с наибольшими запасами — 83,4 т/га. Северные части Большого бора и Боровецкого леса покрыты приспевающими и перестойными липняками с оцениваемыми запасами углерода в почве в 61 т/га. Суммарно, валовые запасы углерода в верхнем почвенном слое лесных зон оцениваются в 1235 тыс. тонн.

Запасы углерода в почвах луговых зон национального парка меньше и оцениваются в 59,4 т/га и 61,2 т/га, соответственно для Танаевских и Елабужских лугов. Покрытие древесным покровом данных участков незначительно и суммарно составляет 9,6 %. Основная порода — молодые и средневозрастные ивняки. Территория, покрытая луговой растительностью не оценивалась. Суммарное валовое содержание углерода в почвах луговых зон национального парка оценено в 44 тыс. тонн.

Таблица 4.

Запасы углерода при расчете на основе древесного покрова

Зона	Порода	Площадь, га	Запасы углерода, т/га	Валовые запасы, т
Большой Бор	Сосна	4 559,1	71,5	325 975,7
	Берёза	971,9	83,4	81 040,1
	Липа	455,0	61,0	27 748,6
	Ель	61,7	79,3	4 890,4
	Ольха черная	29,1	61,0	1 776,9
	Дуб	28,1	49,0	1 376,4
	Тополь, Осина	18,7	68,5	1 283,7

Зона	Порода	Площадь, га	Запасы углерода, т/га	Валовые запасы, т
	Ольха серая	5,4	59,1	319,1
	Ива	4,2	61,0	256,2
	Лиственница	1,3	73,7	94,3
	Прочие	1,4	49,0	69,6
	ИТОГО	6 136,0	72,5	444 831,1
Боровецкий лес	Сосна	4 707,3	71,5	336 570,5
	Берёза	2 292,9	83,4	191 217,7
	Тополь, Осина	987,5	68,5	67 626,3
	Липа	494,8	60,9	30 160,2
	Дуб	211,8	49,0	10 378,7
	Ива	23,9	59,9	1 430,4
	Ольха черная	22,5	60,6	1 368,6
	Ель	16,2	79,3	1 283,1
	Клён	12,8	49,0	628,2
	ИТОГО	8 769,7	73,0	640 663,7
Елабужские луга	Ива	107,4	59,7	6 439,3
	Тополь, Осина	17,7	68,5	1 212,5
	Сосна	3,2	71,5	232,4
	ИТОГО	128,4	61,2	7 884,1
Малый Бор	Сосна	909,5	71,5	65 030,0
	Тополь, Осина	101,4	68,5	6 945,9
	Ива	44,3	61,0	2 701,7
	Ольха черная	35,2	61,0	2 146,0
	Ель	25,0	79,3	1 982,5
	Берёза	20,9	83,4	1 745,6
	Липа	18,4	61,0	1 123,6
	Дуб	10,5	49,0	512,5
	Лиственница	1,2	73,7	89,2
	ИТОГО	1 166,4	70,5	82 276,9
Танаевские луга	Ива	612,8	59,4	36 364,3
	Тополь, Осина	1,8	68,5	124,0
	ИТОГО	614,6	59,4	36 488,2
Танаевский лес	Сосна	927,6	71,5	66 322,7
	Берёза	13,2	83,4	1 104,2
	Лиственница	2,7	73,7	200,5
	Дуб	3,4	49,0	167,6
	Тополь, Осина	2,3	68,5	155,5
	ИТОГО	949,2	71,6	67 950,4
ИТОГО по парку	17 764,3	72,1	1 280 094,6	

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА
«НИЖНЯЯ КАМА»: АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

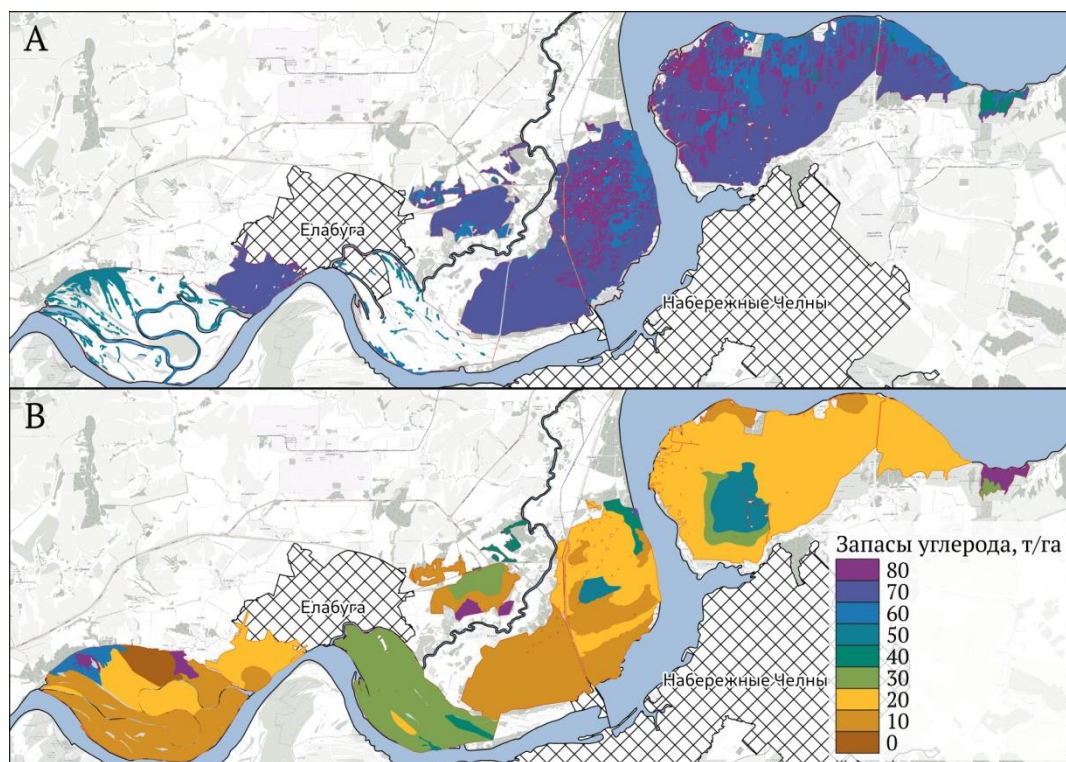


Рис. 4. Запасы углерода в почвах:

А — расчёт на основе древесного покрова; В — расчёт на основе почвенного покрова.

Оценка запасов углерода на основе почвенного покрова

Данный метод расчета запасов углерода в почвах основан на прямых почвенных обследованиях в рамках проведения среднемасштабного почвенного картографирования территории парка. В данном случае, запасы углерода оценивались непосредственно в верхнем аккумулятивном слое почв.

Таким образом, в наиболее распространенных дерново-подзолистых почвах парка запасы оценены в гумусово-аккумулятивном горизонте мощностью $11,1 \pm 3,38$ см (среднее \pm ст. отклонение). Мощность гумусового слоя серых лесных почв и дерново-карбонатных составила $12,5 \pm 2,12$ см и $19,0 \pm 0$ см, соответственно. В торфяных болотных низинных почвах для расчёта использован торфяной горизонт мощностью 18 см.

Среди пойменных почв наименьшей мощностью гумусового слоя характеризуются аллювиальные дерновые кислые ($8,8 \pm 4,87$ см) и аллювиальные дерновые насыщенные почвы ($12,5 \pm 2,66$ см). Мощность гумусового горизонта аллювиальных луговых насыщенных и аллювиальных луговых кислых почв составила $14,2 \pm 7,72$ см и $19,5 \pm 14,8$ см, соответственно. Для расчёта запасов углерода в аллювиальных болотных иловато-торфяных почвах использован торфяной горизонт мощностью 35 см. Также на территории Танаевских лугов

обнаружены следы сельскохозяйственной деятельности. В данном случае запасы углерода оценены в пахотном и гумусовом слоях с суммарной мощностью 39 см.

Почвы национального парка ранжируются следующим образом по содержанию органического вещества: аллювиальные дерновые кислые (3,26 %) < аллювиальные луговые кислые (4,15 %) < аллювиальные луговые насыщенные (4,23 %) < дерново-подзолистые (4,32 %) < аллювиальные дерновые насыщенные (4,52 %) < дерново-карбонатные (7,6 %) < серые лесные (10,1 %) < лугово-болотные (10,7 %) < аллювиальные болотные иловато-торфяные (20,1 %) < торфяные болотные низинные (43,0 %).

При однородности почвенного покрова лесных зон национального парка на уровне типов и подтипов, запасы углерода, оцененные по данным почвенных исследований, показывают существенную вариабельность (рис. 4В). Средневзвешенные запасы углерода на единицу площади возрастают в ряду: Танаевский лес < Большой Бор < Боровецкий лес < Малый Бор (табл. 5).

На территории Боровецкого леса наибольшие запасы углерода наблюдаются в почвах восточного сателлита с преобладанием светло-серых и собственно серых лесных почв — 69,5 т/га. Большая часть Боровецкого леса характеризуется запасами в 20,1–27,2 т/га с наименьшими значениями в дерново-подзолистых псевдофибровых почвах и наибольшими в дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах. Центральная часть Боровецкого леса занята дерново-подзолистыми обычными почвами и показывает самые высокие значения запасов — 32,6–54,1 т/га.

Схожие значения получены и для Большого Бора. Южная и центральная части, занятые дерново-подзолистыми псевдофибровыми почвами, характеризуются запасами углерода в 17,8–25,9 т/га. Наибольшие оценки запасов получены для дерново-подзолистых обычных, расположенных в центральной части бора (54,3 т/га), и в дерново-карбонатных выщелоченных почвах, расположенных в северной части (75,4 т/га). В случае Малого Бора, наибольшие запасы углерода оценены для торфяной болотной низинной и лугово болотной перегнойной почв (101,1–234,6 т/га).

Запасы углерода в аллювиальных дерновых почвах Елабужских лугов, характеризующихся низкой вариабельностью почвенного покрова, оценены в 25,7–41,5 т/га. Почвы Танаевских лугов более разнообразны, запасы углерода в них растут в ряду: аллювиальные дерновые кислые < аллювиальные дерновые насыщенные < аллювиальные луговые кислые < аллювиальные луговые насыщенные < аллювиальные болотные иловато-торфяные.

Сравнение методик оценки запасов углерода

Результаты оценки запасов углерода, проведенных двумя методами расчета, показали значительные расхождения между собой. На Рис. 5. показана разница между расчетами на основе лесотаксационных данных и значений, приведенных в «Методических указаниях...», и расчетом на основе результатов почвенных обследований.

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА
«НИЖНЯЯ КАМА»: АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

Таблица 5.

Запасы углерода при расчете на основе почвенных данных

Массив	Тип почвы	Площадь, га	Запасы С, т/га	Валовые запасы С, т
Большой Бор	Дерново-карбонатная	12.9	75.4	970.9
	Подзолистая	6 595.9	21.5	135 597.0
	ИТОГО	6 608.8	21.6	136 567.8
Боровецкий лес	Подзолистая	9 078.5	26.2	251 649.0
	Серая лесная	260.0	69.5	23 709.0
	ИТОГО	9 338.5	27.4	275 358.1
Елабужские луга	Аллювиальная дерновая кислая	89.6	37.1	3 325.6
	Аллювиальная дерновая насыщенная	2 797.2	36.5	101 369.1
	Аллювиальная луговая насыщенная	87.8	33.3	2 924.4
	ИТОГО	2 974.6	36.4	107 619.1
Малый Бор	Лугово-болотная	47.1	234.6	11 056.1
	Подзолистая	1 114.1	32.7	29 546.8
	Торфяная болотная низинная	102.7	101.1	10 381.9
	ИТОГО	1 263.9	45.8	50 984.8
Танаевские луга	Аллювиальная болотная иловато-торфяная	83.2	210.0	17 467.8
	Аллювиальная дерновая кислая	1 333.4	13.3	19 629.5
	Аллювиальная дерновая насыщенная	1 594.4	17.6	28 113.0
	Аллювиальная луговая кислая	585.0	46.0	18 496.8
	Аллювиальная луговая насыщенная	1 143.0	52.6	42 246.7
	ИТОГО	4 738.9	31.7	125 953.8
Танаевский лес	Подзолистая	1 005.6	21.1	22 619.5
	ИТОГО	1 005.6	21.1	22 619.5
ИТОГО по парку	25 930.4	28.4	719 103.0	

В случае лесных зон национального парка расчет на основе «Методических указаний...» показывает переоценку запасов углерода относительно расчета на основе почвенных данных. Для наиболее распространенной породы — сосны — наибольшая разница наблюдается для сосняков на дерново-подзолистых контактно-глубокоглееватых почвах и достигает 57,0 т/га. Наименьшие расхождения — для сосняков на дерново-подзолистых обычных почвах (22,8 т/га). Для березняков расхождения достигают 68,4 т/га на дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почвах и 63,3 т/га на дерново-подзолистых псевдофибровых почвах; наименьшая разница между оценками у березняков на дерново-подзолистой обычной почве (30,4 т/га).

При этом, расчеты на основе лесотаксационных данных недооценивают запасы углерода под дубняками на серых лесных почвах – запасы, рассчитанные на основе почвенной карты выше на 46,4 т/га. Также запасы углерода недооцениваются при учете только лесотаксационных данных в случае заболоченных почв: торфяной болотной низинной (разница достигает 40,1 т/га) и лугово-болотной перегнойной (173,6 т/га).

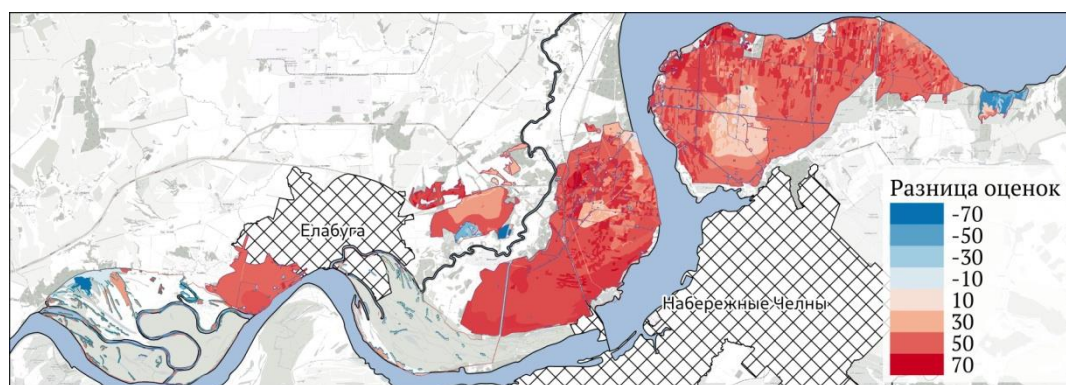


Рис. 5. Разница между оценками запасов углерода на основе лесотаксационных данных и почвенных данных.

В таблице 6 приведены средние значения запасов углерода в почвах, рассчитанные на основе полевых почвенных данных (рис. 4В), извлеченные по отдельным породам лесотаксационных данных (рис. 3). Из таблицы видно, что полученные оценки запасов углерода на основе полевых почвенных данных, лучше соотносятся с литературными данными. Так, оцененные запасы углерода в гумусовом слое почв под сосняками и ельниками составляют 23,4 т/га и 29,9 т/га, соответственно, что довольно близко к оценкам углерода в слое 0–20 см для лесных почв Европейской территории СССР подзоны дерново-подзолистых почв южной тайги — 20 т/га под сосняками и 35 т/га под ельниками [9].

**ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА
«НИЖНЯЯ КАМА»: АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА**

Таблица 6.

Запасы углерода под породами, рассчитанные на основе почвенных данных

Порода	Средние запасы углерода, т/га
Берёза	26,6
Дуб	28,5
Ель	29,9
Ива	35,4
Клён	21,5
Липа	27,8
Лиственница	24,5
Ольха серая	21,8
Ольха черная	56,6
Прочие	19,4
Сосна	23,4
Тополь, Осина	31,2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное сравнение двух методов оценки запасов углерода в почвах показало 2,5-кратную разницу между подходами с использованием справочных данных о запасах углерода под различными древесными породами и возрастными группами и с применением полевых данных почвенного картографирования на примере территории национального парка «Нижняя Кама».

Методика расчёта, основанная на методических указаниях Минприроды России, переоценивает запасы углерода под сосняками, березняками и липняками на дерново-подзолистых почвах (превышение достигает 57,0 т/га). При этом данная методика недооценивает запасы углерода под дубняками на серых лесных почвах, а также в случае торфяной болотной низинной и лугово-болотной перегнойной почв. Вероятно, главная причина таких значительных расхождений — большой охват референсных значений, приведенных в методических указаниях. Европейско-Уральский макрорегион, к которому относится и территория национального парка «Нижняя Кама», охватывает обширные площади с высокой вариабельностью климатических условий и почвенного покрова и использование средних значений запасов углерода всего макрорегиона к территории локального масштаба приводит к серьезным погрешностям измерений.

В то же время оценки запасов углерода на основе полевых почвенных данных хорошо соотносятся с литературными данными. В частности, оцененные запасы углерода в гумусовом слое почв лесных зон, покрытых преимущественно сосняками, составляют порядка 21 т/га, что довольно близко к оценкам углерода в слое 0–20 см для лесных почв Европейской территории СССР подзоны дерново-подзолистых почв южной тайги — 20 т/га [9]. Это позволяет сделать заключение о предпочтительности данного метода при проведении региональных работ.

Таким образом, запасы углерода в почвах национального парка «Нижняя Кама» составляют 21,6–45,8 т/га для лесных зон и 31,7–36,4 т/га для пойменных зон, с валовым содержанием углерода 719103.0 т.

Список литературы

1. Batjes N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world // *European Journal of Soil Science*. 2014. Vol. 65. No. 1. P. 10-21. DOI: 10.1111/ejss.12114_2.
2. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Запасы углерода органических соединений в почвах Российской Федерации // *Почвоведение*. 1995. № 1. С. 21–32.
3. Макаров И.А. Глобальное изменение климата как вызов мировой экономике и экономической науке // *Экономический журнал ВШЭ*. 2013. No. 3. С. 470–495.
4. Курганов И.Н., Лопес де Гереню В.О., Ипп С.Л., Каганов В.В., Хорошаев Д.А., Рухович Д.И., Сумин Ю.В., Дурманов Н.Д., Кузяков Я.В. Пилотный карбоновый полигон в России: анализ запасов углерода в почвах и растительности // *Почвы и окружающая среда*. 2022. Т. 5. № 2. DOI: 10.31251/pos.v5i2.169.
5. Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017 N 20-р (ред. от 20.01.2021). Об утверждении методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. 2017.
6. 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.
7. Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н., Носин В.А., Фриев Т.А. Классификация и диагностика почв СССР / ред. Т.В. Островская. Москва: Колос, 1977. 221 с.
8. Составление и использование почвенных карт / ред. А.Д. Кашанский. Москва: Агропромиздат, 1987. 273 с.
9. Рыжова И.М., Подвезенная М.А. Пространственная вариабельность запасов органического углерода в почвах лесных и степных биогеоценозов // *Почвоведение*. 2008. № 12. С. 1429–1437.
10. Верин А.Ю., Медведев И.Ф. Экологическое состояние почвы в системе «почва – лесные насаждения» // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*. 2020. Т. 20. Вып. 2. С. 226–231. DOI: 10.18500/1816-9775-2020-20-2-226-231.
11. Газизуллин А.Х. Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья. Т.1. Почвы лесов Среднего Поволжья, их генезис, систематика и лесорастительные свойства. Казань: РИЦ «Школа», 2005. 496 с.
12. Мосина Л.В. Изменение плотности почвы в лесных экосистемах под воздействием рекреационных нагрузок // *Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки*. 2012. № 3. С. 122–127.
13. Моторин А.С. Воднофизические свойства торфяных маломощных почв Северного Зауралья // *Аграрный вестник Урала*. 2016. № 9 (151). С. 37–41.
14. Демаков Ю.П., Исаев А.В., Нуреев Н.Б. Вариабельность плотности сложения почв в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья // *Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага»*. 2017. № 8. С. 44–55.
15. McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping // *Geoderma*. 2003. Vol. 117. No. 1-2. P. 3-52. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4.
16. R Core Team. A language and environment for statistical computing [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: <https://www.R-project.org/>. (дата обращения 06.04.2023).
17. Pebesma E.J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package // *Computers & Geosciences*. 2004. Vol. 30. P. 683-691.
18. QGIS Association. QGIS Geographic Information System [Электронный ресурс]. 2021. Режим доступа: <http://www.qgis.org/>. (дата обращения 06.04.2023).

CARBON STOCKS IN SOILS OF THE NATIONAL PARK «NIZHNYAYA KAMA»:
TESTING THE ASSESSMENT METHODS

Ryazanov S. S.¹, Kulagina V. I.²

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (separate subdivision of State institution «Tatarstan Academy of Sciences»), Kazan, Russian Federation

E-mail: ¹RStanislav.soil@gmail.com, ²viksoil@mail.ru.

The problem of global warming has become an acute issue on the agenda of world and Russian politics and economics and has spurred interest in the soil cover as the largest pool of carbon. The uneven knowledge of the soil cover and the diversity of bioclimatic conditions in Russia complicate the selection of a unified method for calculating carbon stocks. Due to the need for an adequate assessment and further monitoring of carbon stocks on a local scale, the methods for determining in soils were tested using reference and field data on the example of the Nizhnyaya Kama National Park. The park is located in the north-east of the Republic of Tatarstan on the border of the physical-geographical regions of the Eastern Pre-Kama and Eastern Trans-Kama regions. The total area is 26460 hectares. We used two methods for estimating the stocks of organic carbon in soils. The first method uses the methodology and reference values given in the Guidelines for Quantifying Greenhouse Gas Sequestration. In particular, the guidelines provide reference tables of mean values of carbon stocks in a soil layer of 0-30 cm under various tree species for three climatic zones and four macroregions. In the second method, the calculation of organic carbon reserves in soils was carried out for the humus horizon based on the results of field studies carried out when compiling the soil map of the Nizhnyaya Kama National Park. In the case of the forest areas of the national park, the calculation based on the Guidelines showed an overestimation of carbon stocks relative to the calculation based on soil data. For the most common species, pines, the greatest difference was observed for pine forests on soddy-podzolic contact-deep gley soils and reaches 57.0 t/ha. The smallest discrepancies were for pine forests on ordinary soddy-podzolic soils (22.8 t/ha). For birch forests, discrepancies reached 68.4 t/ha on soddy-podzolic residual-calcareous soils and 63.3 t/ha on soddy-podzolic pseudofibrous soils; the smallest difference between the estimates was in birch forests on soddy-podzolic ordinary soil (30.4 t/ha). At the same time, calculations based on forest inventory data underestimate the carbon reserves under oak forests on gray forest soils - the reserves calculated on the basis of the soil map are higher by 46.4 t/ha. Also, carbon reserves are underestimated in the case of waterlogged soils: peat bog lowland (the difference reaches 40.1 t/ha) and meadow-bog soil (-173.6 t/ha). Estimates of carbon stocks based on field soil data are in good agreement with literature data. Thus, the carbon reserves in the soils of the Nizhnyaya Kama National Park are 21.6–45.8 t/ha for forest zones and 31.7–36.4 t/ha for floodplain zones, with a gross carbon content of 719103.0 t.

Keywords: carbon stocks, humus, soil, Republic of Tatarstan, nature reserves.

References

1. Batjes N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. 2014. Vol. 65. No. 1. P. 10-21. DOI: 10.1111/ejss.12114_2.

2. Orlov D.S., Biryukova O.N. Carbon reserves of organic compounds in the soils of the Russian Federation. *Pochvovedenie*. 1995. № 1. P. 21-32. (in Russ).
3. Makarov I.A. Global climate change as a challenge to the world economy and economic science. *Ekonomicheskiy zhurnal VShE*. 2013. No. 3. C. 470–495. (in Russ).
4. Kurganov I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Ipp S.L., Kaganov V.V., Khoroshaev D.A., Rukhovich D.I., Sumin Yu.V., Durmanov N.D., Kuz'yakov Ya.V. Pilot carbon landfill in Russia: analysis of carbon stocks in soils and vegetation. *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*. 2022. Vol. 5. No. 2. DOI: 10.31251/pos.v5i2.169. (in Russ).
5. Rasporyazhenie Minprirody Rossii ot 30.06.2017 N 20-r (red. ot 20.01.2021). Ob utverzhdenii metodicheskikh ukazaniy po kolichestvennomu opredeleniyu ob"ema pogloshcheniya parnikovyykh gazov. (Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated June 30, 2017 N 20-r (as amended on January 20, 2021). On approval of guidelines for the quantitative determination of the volume of absorption of greenhouse gases). Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation. 2017. (in Russ).
6. Chernova O.V., Golozubov O.M., Alyabina I.O., Shchepashchenko D.G. An integrated approach to the cartographic assessment of organic carbon stocks in Russian soils. *Pochvovedenie*. 2021. No. 3. P. 273–286. DOI: 10.31857/S0032180X21030047. (in Russ).
7. Egorov V.V., Fridland V.M., Ivanova E.N., Rozov N.N., Nosin V.A., Friev T.A. Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR (Classification and diagnostics of soils of the USSR) / Ed.: T.V. Ostrovskaya. Moscow: Kolos, 1977. 221 p. (in Russ).
8. Sostavlenie i ispol'zovanie pochvennykh kart (Compilation and use of soil maps) / Ed.: A.D. Kashanskiy. Moscow: Agropromizdat, 1987. 273 p. (in Russ).
9. Ryzhova I.M., Podvezennaya M.A. Spatial Variability of Organic Carbon Stocks in Soils of Forest and Steppe Biogeocenoses. *Pochvovedenie*. 2008. No. 12. P. 1429–1437. (in Russ).
10. Verin A.Yu., Medvedev I.F. The ecological state of the soil in the system "soil - forest plantations". *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya*. 2020. Vol. 20. Iss. 2. P. 226-231. DOI: 10.18500/1816-9775-2020-20-2-226-231. (in Russ).
11. Gazizullin A.Kh. Pochvenno-ekologicheskie usloviya formirovaniya lesov Srednego Povolzh'ya. T.1. Pochvy lesov Srednego Povolzh'ya, ikh genesis, sistematika i lesorastitel'nye svoystva (Soil-ecological conditions for the formation of forests in the Middle Volga region. Vol.1. Soils of forests of the Middle Volga region, their genesis, systematics and forest-vegetation properties). Kazan: RITs «Shkola», 2005. 496 p. (in Russ).
12. Mosina L.V. Changes in Soil Density in Forest Ecosystems Under the Influence of Recreational Loads. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye, tekhnicheskie i meditsinskie nauki*. 2012. No. 3. P. 122-127. (in Russ).
13. Motorin A.S. Water-Physical Properties of Thin Peat Soils in the Northern Trans-Urals. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2016. No. 9 (151). P. 37-41. (in Russ).
14. Demakov Yu.P., Isaev A.V., Nureev N.B. Variability of Soil Density in Forest Biogeocenoses of the Middle Volga Region. *Nauchnye trudy Gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Bol'shaya Kokshaga»*. 2017. No. 8. P. 44-55. (in Russ).
15. McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping. *Geoderma*. 2003. Vol. 117. No. 1-2. P. 3-52. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4.
16. R Core Team. A language and environment for statistical computing [Electronic resource]. 2020. URL: <https://www.R-project.org/>. (access date 06.04.2023).
17. Pebesma E.J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package // *Computers & Geosciences*. 2004. Vol. 30. P. 683-691.
18. QGIS Association. QGIS Geographic Information System [Electronic resource]. 2021. URL: <http://www.qgis.org/>. (access date 06.04.2023).

Поступила в редакцию 06.04.2023 г.