

УДК 631.461

DOI 10.29039/2413-1725-2023-9-1-143-158

ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ РАИФСКОГО УЧАСТКА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

*Кулагина В. И., Александрова А. Б., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р.,
Андреева А. А., Кольцова Т. Г.*

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия
E-mail: viksoil@mail.ru*

Рассмотрены три способа подсчета запасов углерода в почвах лесного массива. Показано, что средние запасы углерода в почвах Раифского участка заповедника, рассчитанные по натурным данным, в 2–3 раза меньше справочных. Запас углерода в слое почвы 0–30 см под сосняками по натурным данным составил 20,3 т/га, а по справочным 71,5 т/га. Средние запасы на единицу площади при разных способах подсчета с использованием натурных данных отличаются менее, чем на 10 т/га, при сравнении натурных и справочных данных разница в большинстве случаев превышает 40 т/га. Общие запасы углерода в слое 0–30 см под лесами Раифского участка, рассчитанные по натурным и справочным данным, составляют соответственно 135424,0 т и 402573,9 т. Разница обусловлена тем, что на территории заповедника преобладают бедные углеродом дерново-подзолистые почвы, в то время как при вычислении справочных данных на регион учитывались также серые лесные почвы и черноземы.

Ключевые слова: почва, гумус, запасы углерода, депонирование углерода, лесные экосистемы.

ВВЕДЕНИЕ

Инвентаризация запасов углерода, накопленных в биотических и абиотических компонентах экосистем, необходима для разработки и реализации эффективной государственной политики Российской Федерации в области декарбонизации атмосферы в соответствии с Федеральным Законом «Об ограничении выбросов парниковых газов» № 296-ФЗ от 02.07.2021, Указом Президента Российской Федерации от 30 сентября 2013 г. № 752 «О сокращении выбросов парниковых газов» и международными соглашениями.

В настоящее время в отчетности по депонированию углерода приоритет отдается лесным экосистемам. Почва – один из компонентов лесных экосистем, для которых проводится оценка запасов и бюджета углерода [1, 2]. Данные о запасах углерода в почвах важны для расчета баланса углерода и выработки мероприятий по управлению лесами.

Количество публикаций, посвященных изучению запасов углерода в основных лесообразующих породах и почвах, постоянно увеличивается [3–10]. Тем не менее, почвы лесных экосистем Российской Федерации до сих пор изучены недостаточно. В отличие от почв сельхозугодий, агрохимические картограммы по содержанию

гумуса на них не составлялись, крупно- или среднемасштабные почвенные карты имеются не везде. При оценке запасов углерода в лесных экосистемах, прежде всего, оценивают запас в древесине, запасы в почвах определяют не всегда. Например, в 2020 г. закончен первый цикл государственной инвентаризации лесов (ГИЛ). В начале 2022 г. опубликованы первые результаты, касающиеся запасов углерода в древесине лесов РФ [7]. Углерод в пулах подстилки и почвы по результатам ГИЛ первого цикла не определяли [7].

Однако подсчет запасов углерода в почвах лесов необходим. Согласно предварительным оценкам суммарный запас углерода в лесных почвах России таков, что пренебрегать им не следует. По мнению Д. Г. Щепаченко с соавторами (2013) общие запасы органического углерода в почвах России в слое 0–100 см составляют 317,1 Пг, при этом на почвы лесных экосистем приходится около 46 % [8]. Средний запас углерода для лесных земель без учета подстилки по расчетам авторов 176 т/га [8]. Однако это – обобщенные сведения, требующие уточнения запасов углерода для конкретных лесных массивов.

Проводить расчеты для отдельных лесных массивов возможно разными способами: с использованием результатов натурных исследований и с использованием справочных данных. При организации исследований запасов углерода в почвах ключевой методической вопрос заключается в выборе способа подсчета, результаты которого позволяли бы получить достаточно точные данные с помощью имеющихся в наличии материалов.

Определение запасов органического углерода в почвах лесных экосистем и сравнение способов подсчета рационально начать с эталонных участков, репрезентативно отражающих почвенно-экологические условия региона исследования. В качестве природных эталонов наиболее часто рассматриваются особо охраняемые природные территории (ООПТ).

В Республике Татарстан ООПТ с наиболее строгим режимом охраны является Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник (ВКГПБЗ).

Целью работы было определение запасов углерода в почвах Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника с использованием справочных и натурных данных и сравнение результатов подсчета.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужил Раифский участок Волжско-Камского заповедника, расположенный в Зеленодольском районе Республики Татарстан. Общая площадь участка 5921,2 га [11]. Раифский лес, благодаря комплексу исторически сложившихся обстоятельств, мало затронут рубками и является одним из самых старовозрастных в Восточной Европе.

Исходными данными для расчета запасов органического углерода в почвах Раифского участка ВКГПБЗ послужили:

- 1) справочные показатели из «Методических указаний...» (2017) [1];
- 2) карта лесных насаждений и материалы лесоустройства 2013 г., предоставленные руководством ВКГПБЗ (рис. 1);
- 3) почвенная карта П. В. Гришина, составленная на Раифский участок Волжско-

Камского заповедника (рис. 2).

4) материалы натуральных исследований, проведенных сотрудниками ИПЭН АН РТ в 2009–2022 гг.

Базовым документом при расчетах поглощения парниковых газов лесами и запасов углерода в лесных почвах являются «Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов» (2017). В этом документе среди прочего приводятся справочные данные по запасам углерода в почве на 1 га лесных насаждений в зависимости от состава и возраста древесных пород (табл. 1). Природные условия на территории России значительно варьируют. По этой причине средние справочные данные по запасам углерода в лесных почвах указаны для двенадцати регионов, на которые поделена территория страны. В соответствии с этим принципом Республика Татарстан относится к Европейско-Уральской части (макрорегион) и южной широтной полосе – южная тайга и южнее [1].

Таблица 1

Средние значения запаса углерода слоя почвы 0–30 см в группах возраста преобладающих древесных пород [1]

Преобладающая порода	Средние значения запаса углерода (т/га)		
	Молодняки 1 класса возрастов	Молодняки 2 класса возрастов	Средневозрастные и более
Сосна	67,2	71,5	71,5
Ель	74,5	79,3	79,3
Пихта	91,2	97,1	97,1
Лиственница	69,3	73,7	73,7
Дуб высокоствольный	46,0	49,0	49,0
Дуб низкоствольный	46,0	49,0	49,0
Прочие твердолиственные	46,0	49,0	49,0
Береза	75,8	80,9	83,4
Осина, тополь	62,3	66,4	68,5
Прочие мягколиственные	55,4	59,1	61,0

Материалы последнего лесоустройства, в том числе карта лесных насаждений Раифского участка заповедника (рис. 1), свидетельствуют о том, что на данной территории преобладают сосновые леса. Они занимают 62 % площади лесов Раифского участка заповедника. Далее в порядке убывания площади на территории Раифского участка встречаются: липняки, березняки, ольховники, ельники,

осинники, тополевики, дубняки, лиственничные, кленовые леса, тальник и ясеновые леса. Сосняки, липняки и березняки в общей сложности занимают 96 % площади лесов Раифского участка. Поскольку заготовка древесины на территории заповедника запрещена, преобладают леса старших возрастных групп: спелые и перестойные, припевающие и средневозрастные. Молодняки всех пород занимают площадь 1,5 % от общей площади леса.

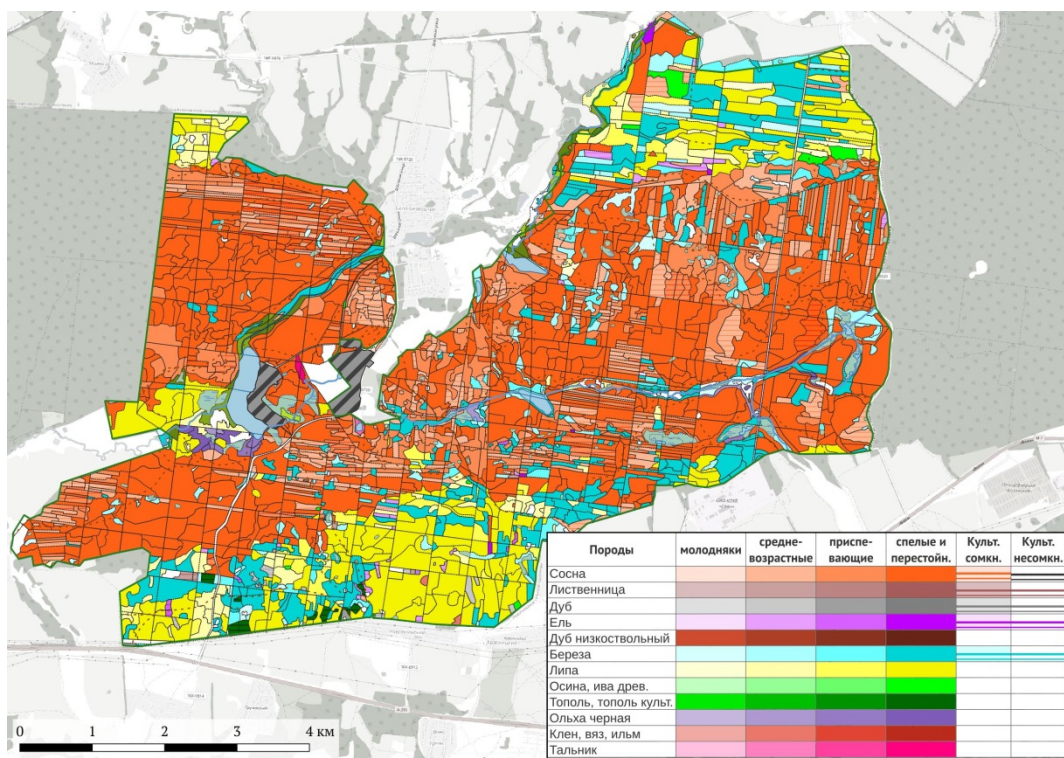


Рис. 1. План лесонасаждений Раифского участка ВКГПБЗ по материалам лесотаксации 2013 г.

Почвенная карта Раифского участка Волжско-Камского заповедника (рис. 2) была составлена П. В. Гришиным по материалам 1956 г. Из материалов лесоустройства 1979 г. следует, что почвенная карта Раифского участка, имеющаяся в заповеднике, является копией утраченной карты П. В. Гришина [12]. После 1956 г. почвенно-картографические работы на территории заповедника не проводились, хотя исследования отдельных почв имели место. Почвенная карта охватывает не всю современную площадь Раифского участка (рис. 2). В 2001 г. к территории заповедника добавились северные и восточные кварталы.

Натурные почвенные исследования (но не картографические) проводились в Волжско-Камском заповеднике сотрудниками ИПЭН АН РТ в период с 2009 по 2022 гг. С научными целями было заложено более пятидесяти почвенных разрезов

ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ РАИФСКОГО...

на территории Раифского участка заповедника. Для диагностики почв использовалась «Классификация и диагностика почв СССР» (1977) [13].

Образцы почв отбирались по генетическим горизонтам. Содержание органического вещества определяли по методу И. В. Тюрина (ГОСТ 26213–91), объемный вес – методом режущего кольца (ГОСТ 5180–2015).

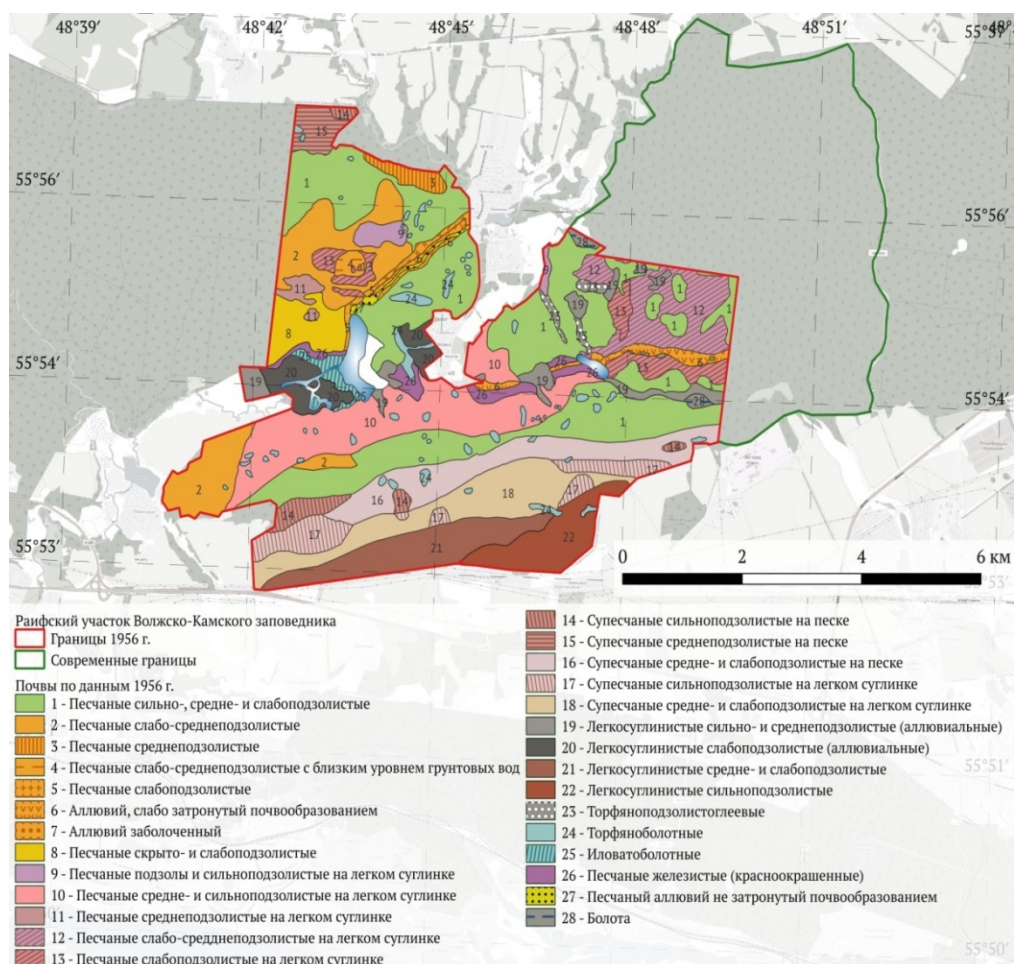


Рис. 2 Почвенная карта Раифского участка Волжско-Камского заповедника.

Запасы углерода в почвах на единицу площади рассчитывали по формуле:

$$C = OB \times H \times V \times 0.58 \quad (1),$$

где,

C – запас углерода в почве, т/га;

OB – содержание органического вещества, %;

H – мощность расчетного почвенного горизонта, см;

V – объемный вес, г/см³;

0.58 – коэффициент пересчета органического вещества на углерод.

Расчет общих запасов углерода в почвах лесов Раифского участка заповедника проводился тремя способами с применением разных материалов.

1 способ расчета основан на использовании справочных данных [1] и карты лесной таксации. Расчет проводился в соответствии с «Методическими указаниями...» (2017) по формуле

$$CS_{ij} = S_{ij} \times KS_{ij} \quad (2)$$

где,

CS_{ij} – запас углерода в оцениваемом слое почвы под насаждениями группы возраста i преобладающей породы j , тонн С;

S_{ij} – площадь насаждений группы возраста i преобладающей породы j , га;

KS_{ij} – средний запас углерода в слое почвы 0–30 см под насаждениями группы возраста i преобладающей породы j – справочные данные (табл.1), т/га.

2 и 3 способы предусматривали использование натуральных данных по запасам углерода в почвах Раифского участка заповедника. Однако, по-разному: средний запас в почвах привязывался либо к площади преобладающей растительности, полученной по материалам лесной таксации, либо к площади почвы согласно почвенной карте.

При **2 способе** расчета использованы натурные данные по содержанию углерода в почвах, встречающихся под лесом определенного породного состава. Расчет проводился по формуле:

$$CS_j = S_j \times C_{nj} \quad (3)$$

где,

CS_j – запас углерода в слое почвы 0–30 см под насаждениями с преобладанием данной древесной породы, тонн С;

S_j – площадь насаждений преобладающей породы, га;

C_{nj} – средний запас углерода в слое почвы 0–30 см под насаждениями преобладающей породы по натурным данным, т/га.

3 способ расчета основан на использовании натуральных данных по содержанию углерода в почвах и площади почв на территории Раифского участка заповедника.

Расчет проводился по формуле

$$CS = S_{soil} \times C_{ns} \quad (4),$$

где,

CS – запас углерода в слое почвы 0–30 см, т;

S_{soil} – площадь почвы (почвенной разности) согласно почвенной карте, га;

C_{ns} – средний запас углерода в слое почвы (почвенной разности) 0–30 см, т/га.

Расчеты проводились с использованием ГИС-технологий и векторизованных карт.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования позволили установить, что запасы углерода в почвах Раифского участка заповедника, рассчитанные с использованием справочных и натуральных данных, различаются в 2–3 раза. В то же время разные

ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ РАИФСКОГО...

способы подсчета с использованием натуральных данных показали близкие результаты.

Запасы углерода в почвах Раифского участка заповедника, рассчитанные первым способом, то есть с использованием справочных данных и карты лесной таксации, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Запасы углерода в почвах Раифского участка ВКГПБЗ, рассчитанные с использованием справочных данных и данных лесной таксации

Порода	Группа возраста	Площадь, га	Запасы С в 30 см, т/га*	Валовые запасы С, т
береза	молодняки	46,4	80,9	3752,1
	средневозрастные и старше	839,1	83,4	69977,6
дуб	средневозрастные и старше	13,3	49,0	650,7
ель	молодняки	7,4	79,3	589,2
	средневозрастные и старше	41,5	79,3	3289,4
клен, вяз, ильм	молодняки	1,8	49,0	86,7
	средневозрастные и старше	2,4	49,0	119,6
липа	молодняки	25,7	59,1	1520,6
	средневозрастные и старше	977,9	61,0	59651,9
лиственница	средневозрастные и старше	6,2	73,7	459,9
ольха серая	молодняки	2,2	59,1	128,2
	средневозрастные и старше	54,8	61,0	3341,6
ольха черная	средневозрастные и старше	34,7	61,0	2114,3
осина, ива	средневозрастные и старше	25,1	68,5	1720,0
сосна	молодняки	0,4	71,5	27,9
	средневозрастные и старше	3551,6	71,5	253940,8
тальник	средневозрастные и старше	4,4	61,0	267,2
тополь,	средневозрастные и старше	14,6	61,0	890,6
ясень	средневозрастные и старше	0,9	49,0	45,6
ИТОГО		5650,4	64,6	402573,9

*Примечание: по «Методическим указаниям...» (2017)

При первом варианте расчетов общие запасы углерода в почвах Раифского участка ВКГПБЗ в слое 0–30 см составляют 402,5 тыс. тонн. Больше половины запасов углерода находится в почвах под сосновыми лесами, благодаря занимаемой ими площади (табл. 2). Вторыми по площади являются липняки, третьими – березняки, а вот по величине суммарных запасов углерода они меняются местами, поскольку согласно справочным данным запасы углерода в почвах под березняками выше. Для расчета общих запасов углерода под липняками использованы справочные данные из градации «прочие мягколиственные» (табл. 1).

Для расчета запасов углерода вторым способом требовалось соотнести результаты натурных данных по содержанию углерода в почвах с породным составом насаждений. Поскольку при натурных почвенных обследованиях описание растительности является обязательным, определение среднего запаса углерода под насаждениями соответствующего породного состава оказалось возможным. При научных исследованиях 2009–2022 гг. почвенные разрезы закладывались не только под самыми распространенными на Раифском участке заповедника лесами – сосняками (22 разреза), липняками (21 шт.), березняками (6 шт.). Таким образом, средние запасы углерода под сосняками составляют $20,3 \pm 1,3$ т/га при коэффициенте вариации $V=30,6\%$, под липняками $32,2 \pm 2,5$ т/га ($V=35,6\%$), под березняками $31,4 \pm 6,3$ т/га ($V=49,1\%$).

Единичные разрезы пришлось также на ивняки (1 шт.), ольховники (2 шт.) и ельники (1 шт.). Далее с учетом площадей, занятых насаждениями разного породного состава рассчитан запас углерода в почвах (табл. 3).

Таблица 3

Запасы углерода в почве под насаждениями разного породного состава по полевым данным 2009–2022 гг. и карте лесной таксации

Преобладающая порода	Площадь, га	Запасы С в 30 см, т/га	Валовые запасы С в 30 см, т
сосна	3552,0	20,3	72212,4
липа	1003,6	32,2	32347,0
береза	885,4	31,4	27820,5
ольха серая	57,0	23,7	1349,1
ель	48,9	9,7	472,5
ольха черная	34,7	23,7	821,1
осина, ива древ.	25,1	13,6	341,7
тополь	14,6		
дуб	13,3		
лиственница	6,2		
тальник	4,4	13,6	59,6
клен, вяз, ильм	4,2		
ясень	0,9		
ИТОГО	5650,4	23,9*	135424,0

*Примечание: средневзвешенное значение

Возрастные группы насаждений в таблице 3 не указаны, но как уже отмечалось ранее, молодняки занимают не более 1,5 % территории и содержание органического

углерода в почвах под большей частью из них не отличаются от содержания углерода в почвах под средневозрастными и более старыми лесами. Насаждения некоторых видов пород оказались не охвачены натурными исследованиями (тополёвники, дубняки и др.) – в общей сложности 39,2 га, то есть менее 0,7 % от площади Раифского участка заповедника, что не могло оказать существенного воздействия на расчет запасов углерода.

Согласно полученным данным средние запасы углерода в слое 0–30 см убывают в ряду: липняки > березняки > ольховники > сосняки > ивняки > ельники (табл. 3).

Более высокие средние запасы углерода под березняками по сравнению с сосняками согласуются со справочными данными и данными О. В. Честных с соавторами [1, 10].

Запасы углерода под каждым типом лесных насаждений, установленные натурными исследованиями, оказались ниже справочных (табл. 3). Например, под сосняками согласно справочным данным запасы углерода должны составлять 71,5 т/га, но по результатам натурных исследований равны 20,3 т/га, под березняками 83,4 т/га и 31,4 т/га соответственно (табл. 2,3). Однако в целом натурные данные по средним запасам углерода в слое 0–30 см под лесами Раифского участка заповедника хорошо согласуются с данными А. И. Кузнецовой с соавторами для такого же слоя почв сосновых лесов [5].

Причина заключается в том, что справочные данные по региону России, в который входит Республика Татарстан, составлялись с учетом не только дерново-подзолистых, но также серых лесных почв и черноземов, содержание углерода в которых близко к справочным данным или превышает их [3]. В то время как почвенный покров Раифского участка заповедника представлен преимущественно бедными дерново-подзолистыми почвами, запас углерода в которых ниже справочных данных для почв южно-таежной зоны [3].

В результате суммарные запасы углерода, рассчитанные вторым способом с учетом натурных данных, оказались в 3 раза ниже, чем при расчете с использованием справочных величин – 135424,0 т/га против 402573,9 т/га.

Третий вариант расчета предполагал применение результатов натурных исследований и почвенной карты для определения площадей, занятых разными почвами. Этот способ расчета теоретически должен быть самым точным. Однако, как уже отмечалось ранее, почвенные карты на площади, занятые лесами, часто или отсутствуют, или охватывают не всю территорию, или давно не обновлялись.

В данном случае на почвенной карте не отражены территории, вошедшие в состав заповедника в 2001 г. (рис. 2). Кроме того, почвенная карта П. И. Гришина составлялась в 1956 г., еще до утверждения классификации 1977 г.

В легенде к почвенной карте П. И. Гришина перечислено 28 почвенных разностей (рис. 2). Наиболее распространенные по площади почвы относятся к типу подзолистых. Они занимают в общей сложности 3527,9 га (92,8 % площади карты), причем 2285,5 га (более 60 %) имеют песчаный гранулометрический состав. Подтип в легенде к почвенной карте П. В. Гришина не указан, но согласно натурным данным подавляющая часть подзолистых почв заповедника относится все же к

подтипу дерново-подзолистых, а не собственно подзолистых, хотя встречаются и такие.

Большинство почвенных разностей из легенды к карте П. И. Гришина встречаются и в классификации 1977 г. Выбиваются из этого списка «Песчаные железистые (красноокрашенные)», которые можно отнести к аллювиальным луговым примитивным или аллювиальным лугово-болотным согласно классификации 1977 г.

В таблице 4 почвенные разности, выделенные П. И. Гришиным, объединены в более крупные группы для определения их суммарной площади и для последующего удобства расчетов.

Таблица 4

**Запасы углерода в почвах Раифского участка заповедника по данным
натурных исследований и почвенной карте**

Группа почв	Площадь группы, га	Запасы С в 30 см, т/га	Валовые запасы С в 30 см, т
Песчаные подзолистые	2285,5	18,9	43287,6
Легкосуглинистые подзолистые	657,7	36,9	24235,0
Супесчаные подзолистые	584,7	27,9	16306,7
Нет данных	133,8		
Песчаные железистые (красноокрашенные)	59,6	9,9	593,0
Аллювий, слабо затронутый почвообразованием	57,7	19,8	1140,8
Торфяноподзолистоглеевые	20,5	57,7	1185,2
Аллювий заболоченный	2,1	54,4	115,1
ИТОГО	3801,6	23,7*	86863,4

*Примечание: средневзвешенное значение

Графа «нет данных» объединяет почвы и непочвенные образования, по которым нет натуральных данных: Это почвы болот Раифского участка заповедника и аллювий, не затронутый почвообразованием. В этих контурах с 2009 по 2022 гг. почвенные разрезы не закладывались. Общая площадь этих выделов составляет 3,5 % от площади почвенной карты. Эти участки обычно не покрыты лесом и на карте лесной таксации также являются белыми пятнами. Для остальных почв, отраженных на почвенной карте, рассчитаны запасы углерода (табл. 4).

Средние запасы углерода в слое 0–30 см в почвах Раифского участка Волжско-Камского заповедника согласно натурным данным невелики (табл. 4). Они меньше средних справочных запасов, рекомендованных для расчета пула углерода в почвах

южной тайги и более южных климатических зон Европейско-Уральской части России [1, 3]. Однако полученные нами данные согласуются с данными О. В. Черновой с соавторами для автоморфных лесных почв европейской части России [9], результатами А. А. Бобрика с соавторами для подзолистых почв [14], а также с запасами углерода в дерново-подзолистых почвах островов Куйбышевского водохранилища [15].

Распределение запасов углерода по площади Раифского участка, рассчитанных тремя разными способами, представлено на рис. 3.

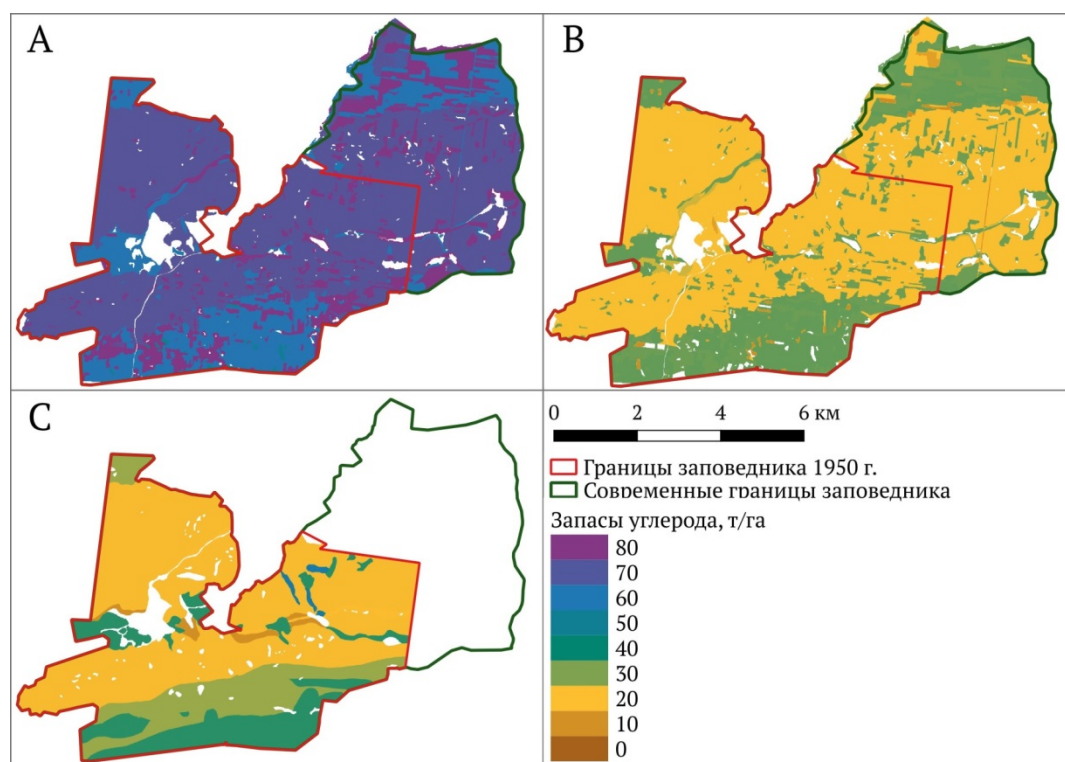


Рис. 3. Запасы углерода в почвах Раифского участка ВКГПБЗ, рассчитанные:

- А) по справочным данным на основе возраста и состава древостоя,
- В) на основе натуральных исследований и лесотаксационных данных;
- С) на основе почвенной карты П. И. Гришина и натуральных исследований.

Хорошо заметно, что не только запасы углерода в тоннах на 1 га, но и контуры выделов с разными запасами углерода на рис. 3В и 3С практически совпадают, в отличие от рис. 3А. То есть, запасы углерода, рассчитанные с использованием данных натуральных исследований, оказались близки, а результат, полученный с использованием справочных данных, значительно отличается.

Дополнительным подтверждением являются картограммы, отражающие не

запасы, а разницу запасов углерода в т/га между рассчитанными вариантами (рис. 4).

Разница между запасами углерода, рассчитанными первым и вторым способом, то есть с использованием справочных данных плюс карта лесной таксации и натуральных данных плюс карта лесной таксации, составляет для большей части территории Раифского участка более 40 т/га, на отдельных участках снижаясь до 20–30 т/га (рис. 4А). Фактически это разница между использованием справочных данных и данных натуральных исследований, привязанных к карте лесной таксации.

В то же время разница запасов углерода в слое 0–30 см между вторым и третьим вариантами (натурные данные плюс карта лесной таксации и натурные данные плюс почвенная карта), на большей части площади меньше 10 т/га (рис. 4В). То есть, независимо от того, привязаны натурные данные к карте преобладающих древесных пород или к почвенной карте средние запасы углерода на единицу площади отличаются менее, чем на 10 т/га.

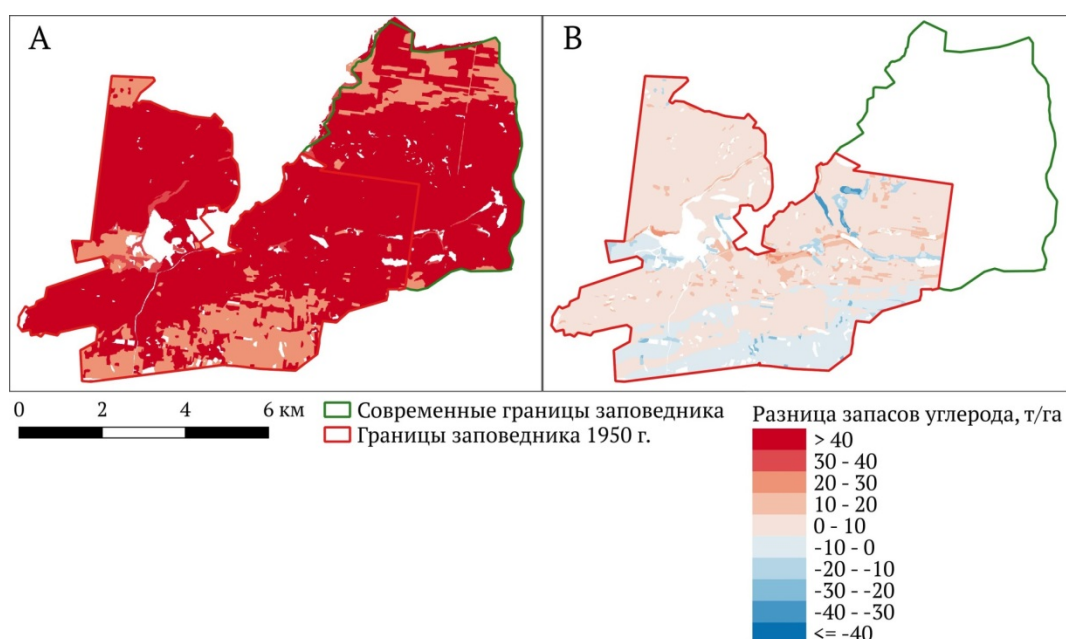


Рис. 4. Разница между запасами углерода, рассчитанными разными способами:
А) между первым и вторым способами подсчета;
В) между вторым и третьим способами подсчета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено сравнение результатов трех способов расчета запасов углерода в почвах Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника.

Показано, что средние запасы углерода в почвах Раифского участка Волжско-Камского заповедника, рассчитанные по натурным данным, в 2–3 раза меньше справочных. Запас углерода в слое почвы 0–30 см под самыми распространенными сосновыми лесами по натурным данным составил 20,3 т/га, а по справочным – 71,5 т/га, под березняками – 31,4 т/га и 83,4 т/га соответственно.

Средние запасы на единицу площади при разных способах подсчета с использованием натуральных данных отличаются менее, чем на 10 т/га, при сравнении натуральных и справочных данных разница на большей части территории превышает 40 т/га.

Общие запасы углерода в слое 0–30 см под лесами Раифского участка, рассчитанные по натурным и справочным данным, составляют соответственно 135424,0 т и 402573,9 т. Разница обусловлена тем, что на территории заповедника преобладают бедные углеродом дерново-подзолистые почвы, в то время как при вычислении справочных данных учитывались также серые лесные почвы и черноземы.

Регионально-зональный полигон, включающий южно-таежную и более южные зоны Европейско-Уральской части РФ, охватывает сразу несколько почвенных зон, с почвами, отличающимися по запасам углерода. В то же время почвенный покров отдельного лесного массива не может быть представлен всем разнообразием почв просто в силу недостаточной протяженности и приуроченности к определенной биоклиматической зоне. В регионально-зональном полигоне, включающем южно-таежную зону Европейско-Уральской части РФ, для получения достоверных данных о запасах органического углерода в почвах отдельных лесных массивов рациональнее использовать не справочные данные, а результаты натурных исследований почв.

Изучение запасов органического углерода в почвах лесов и совершенствование способов подсчета должно быть продолжено.

Список литературы

1. Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов. Утв. Распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 №20-р.
2. Руководящие указания по эффективной практике для землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов / Ред. Джим Пенман, Михаил Гитарский, Така Хиразиши и др. – Женева, 2003. – 649 с.
3. Иванов Д. В. Предварительные оценки запасов углерода в почвах лесных экосистем Республики Татарстан / Д. В. Иванов, А. Б. Александрова // Российский журнал прикладной экологии. – 2022. – № 2 (30). – С. 56–60.
4. Кузнецова А. И. Влияние растительности на запасы почвенного углерода в лесах (обзор) / А. И. Кузнецова // Вопросы лесной науки. – 2021. – Т. 4, №4. – С. 1–54.
5. Кузнецова А. И. Запасы углерода в песчаных почвах сосновых лесов на западе России / А. И. Кузнецова, Н. В. Лукина, А. В. Горнов, М. В. Горнова, Е. В. Тихонова, В. Э. Смирнов, М. А. Данилова, Д. Н. Тебенькова, Т. Ю. Браславская, В. А. Кузнецов, Ю. Н. Ткаченко, Н. В. Геникова // Почвоведение. – 2020. – № 8. – С. 959–969.
6. Кокорин А. Поглощение CO₂ лесами России в контексте Парижского соглашения / А. Кокорин, Д. Луговая // Устойчивое лесопользование. – 2018. – №2(54). – С. 13–18.

7. Филипчук А. Н. Аналитический обзор количественных и качественных характеристик лесов Российской Федерации: итоги первого цикла государственной инвентаризации лесов / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Т. А. Золина, С. В. Федоров, А. М. Бердов, В. Н. Косицын, А. Н. Югов, П. С. Кинигопуло // Лесохозяйственная информация. – 2022. – № 1. – С. 5–34.
8. Щепашенко Д. Г. Запасы органического углерода в почвах России / Д. Г. Щепашенко, Л. В. Мухортова, А. З. Швиденко, Э. Ф. Ведрова // Почвоведение. – 2013. – №2. – С. 123–132.
9. Чернова О. В. Оценка запасов органического углерода лесных почв в региональном масштабе / О. В. Чернова, И. М. Рыжова, М. А. Подвезенная // Почвоведение. – 2020. – №3. – С. 140–150.
10. Честных О. В. Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России / О. В. Честных, Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин, Г. Н. Корвин // Лесоведение. – 1999. – №2. – С. 13–21.
11. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей природной среды Республики Татарстан в 2013 году // Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан. Официальный сайт. <https://eco.tatarstan.ru/gosdoklad.htm>
12. Калимуллина С. Н. История изучения почвенного покрова Волжско-камского заповедника / С. Н. Калимуллина // Труды Волжско-Камского государственного природного заповедника. – Казань, 2002. – Выпуск. 5. – С. 199–213.
13. Классификация и диагностика почв СССР. – М. : Колос, 1977. – 223 с.
14. Бобрик А. А. Эмиссия CO₂ и запасы органического углерода в почвах северотаежных экосистем Западной Сибири в различных геоэкологических условиях / А. А. Бобрик, И. М. Рыжова, О. Ю. Гончарова, Г. В. Матышак, М. И. Макаров, Д. А. Волкер // Почвоведение. – 2018. – №6. – С. 674–687.
15. Кулагина В. И. Оценка запасов органического углерода в почвенном покрове островных экосистем Куйбышевского водохранилища / В. И. Кулагина, С. С. Рязанов, Р. Р. Шагидуллин, А. А. Александрова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Том. 7(73), №3. – С. 112–126.

ORGANIC CARBON STOCKS IN THE SOILS OF THE RAIFA SECTION OF THE VOLZHSKO-KAMSKY RESERVE

***Kulagina V. I., Alexandrova A. B., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R.,
Andreeva A. A., Koltcova T. G.***

***Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences,
Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
E-mail: viksoil@mail.ru***

Soil is one of the forest ecosystems components for which carbon stocks and budgets are assessed. Soil carbon stocks are important for calculating the carbon budget and developing forest management measures. At the same time, field data on carbon content and soil maps of large and medium scales are not available for all forest areas. In the absence of field data, the calculation of carbon reserves is carried out using reference data. The aim of the work was to determine the carbon stocks in the soils of the Raifa section of the Volzhsko-Kamsky State Nature Biosphere Reserve using reference and field data and compare the calculation results. The Raifa forest on the territory of the Volzhsko-Kamsky State Nature Biosphere Reserve is one of the oldest forests in Eastern Europe. Logging on its territory was prohibited long before the creation of the reserve. Young stands of all tree

species occupy an area of 1.5 % of the total forest area. Pine forests, linden forests and birch forests occupy a total of 96 % of the forest area of the Raifa section. Further, in descending order of area on the territory of the Raifa site, there are: alder forests, spruce forests, aspen forests, poplar forests, oak forests, larch, maple forests, willow and ash forests. The predominant soil type is soddy-podzolic with light granulometric composition. Sandy soils are mostly found under pine forests. The results of the three methods for calculating carbon stocks in the soils of the Raifa area are compared. In the first method, reference data and a forest inventory map were used; in the second, field data and a forest inventory map; in the third, field data and a soil map compiled by P. I. Grishin. Field data were collected from 2009 to 2022 years for different purposes and include characteristics of more than 50 soil profiles. Since the description of vegetation is obligatory when describing soil sections, it turned out to be possible to link field data not only with the soil map, but also with the forest inventory map. The maximum number of soil slits fell on pine, birch and lime forests. Single soil sections were laid under other tree species. It was shown that the average carbon reserves in the soils of the Raifa section of the Volzhsko-Kamsky Reserve, calculated from field data, are 2–3 times less than the reference ones. The carbon stock in the 0–30 cm soil layer under the most common pine forests, according to field data, was 20.3 t/ha, and according to reference data – 71.5 t/ha, under birch forests 31.4 t/ha and 83.4 t/ha respectively. The average reserves per unit area with different methods of calculation using field data differ by less than 10 t/ha; when comparing field and reference data, the difference in most of the territory exceeds 40 t/ha. The total carbon reserves in the 0–30 cm layer under the forests of the Raifa site, calculated from field and reference data, are 135424.0 t and 402573.9 t, respectively. The huge difference is caused by the fact that on the territory of the reservoir carbon-porr sod-podzolic soil is dominating, meanwhile reference data was compiled from grey forest soils and chernozems as well. The region of the southern taiga and more southern zones of the European-Ural part of the Russian Federation, covers several soil zones at once, with soils differing in carbon reserves. At the same time, the soil cover of an individual forest area cannot be represented by the entire variety of soils simply because of its insufficient length and confinement to a certain bioclimatic zone. In the region of the southern taiga zone of the European-Ural part of the Russian Federation, to obtain reliable data on the stocks of organic carbon in the soils of individual forest areas, it is more rational to use not reference data, but the results of field studies of soils. It does not matter whether the field data are linked to a map of the dominant tree species or to a soil map, the average carbon stocks per unit area are approximately the same.

Keywords: soil, humus, carbon stocks, carbon sequestration, forest ecosystems.

References

1. Guidelines for the quantitative determination of the volume of absorption of greenhouse gases. Approved By order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated June 30, 2017 №. 20-p.
2. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. 649. (World Meteorological Organization, Geneva, 2003).

3. Ivanov D. V., Alexandrova A. B. Preliminary estimations of carbon stocks in soils of forest ecosystems of the Republic of Tatarstan, *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, **2(30)**, 56 (2022).
4. Kuznetsova A. I. Influence of vegetation soil carbon stocks in forests (review), *Forest science issues*, **4, 4**, 1 (2021).
5. Kuznetsova A. I., Lukinal N. V., Gornov A. V., Gornova M. V., Tikhonova E. V., Smirnov V. E., Danilova M. A., Tebenkova D. N., Braslavskaya T. Yu., Kuznetsov V. A., Tkachenko Yu. N., Genikova N. V. Carbon Stock in Sandy Soils of Pine Forests in the West of Russia, *Eurasian Soil Science*, **8**, 1056 (2020).
6. Kokorin A., Lugovaya D. CO₂ uptake by Russian forests in the context of the Paris Agreement, *Sustainable forest management*, **2(54)**, 13 (2018).
7. Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Zolina T. A., Fedorov S. V., Berdov A. M., Kositsyn V. N., Yugov A. N., Kinigopulo P. S. Analytical Review of the Quantitative and Qualitative Characteristics of Forests in the Russian Federation: Results of the First Cycle of the State Forest Inventory, *Forestry information*, **1**, 5 (2022).
8. Schepaschenko D. G., Shvidenko A. Z., Mukhortova L. V., Vedrova E. F. The pool of organic carbon in the soils of Russia, *Eurasian Soil Science*, **2**, 107 (2013).
9. Chernova O. V., Ryzhova I. M., Podvezennaya M. A. Assessment of organic carbon stocks in forest soils on a regional scale, *Eurasian Soil Science*, **3**, 339 (2020).
10. Chestnykh O. V., Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N. Distribution of Organic Carbon Reserves in Soils of Russian Forests, *Russian Journal of Forest Science*, **2**, 13 (1999).
11. State report on the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2013. Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan. URL: <https://eco.tatarstan.ru/gosdoklad.htm>
12. Kalimullina S. N. The history of the study of the soil cover of the Volga-Kama Reserve, *Proceedings of the Volga-Kama State Natural Reserve*, **5**, 199 (2002).
13. *Classification and diagnostics of soils in the USSR*. 224. (Kolos, Moscow, 1977).
14. Bobrik A. A., Ryzhova I. M., Goncharova O. Y., Matyshak G. V., Makarov M. I., Walker D. A. CO₂ emission and organic carbon pools in soils of the northern taiga ecosystems of Western Siberia under different geological conditions, *Eurasian Soil Science*, **6**, 628 (2018).
15. Kulagina V. I., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Alexandrova A. B. Estimation of organic carbon stocks in the soil cover of island ecosystems of the Kuibyshevsk water reservoir, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **7 (73)**, **3**, 112 (2021).