

УДК 630*114.35:630*188.5.1+631.417.1:631.811.1(470)

ОБЩИЕ ЗАПАСЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА И АЗОТА
В ПОЧВАХ ЛЕСНОГО ФОНДА РОССИИ*© 2004 г. О. В. Честных¹, Д. Г. Замолодчиков¹, А. И. Уткин^{2,1}¹Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
117997 Москва, ГСП-7, Профсоюзная ул., 84/32

E-mail: dzamolod@cepl.rssi.ru

²Институт лесоведения РАН

143030 Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл.

E-mail: root@ilan.msk.ru

Поступила в редакцию 15.04.2004 г.

По географическим регионам России для трех слоев почвенной толщи оценены запасы биологического углерода (C_{soil}) и общего азота (N_{soil}). Основой для расчетов служили распределение на 01.01.1998 г. площадей земель лесного фонда по категориям (покрытые лесной растительностью, не покрытые лесом и нелесные) и специально созданная по литературным источникам база данных по почвенным разрезам в лесной и тундровой зонах. Суммарно для России запасы C_{soil} в слоях 0–30 см, 0–50 и 0–100 см оценены в 127.0×10^9 т С, 174.8×10^9 и 240.6×10^9 т С. Запасы N_{soil} соответственно 9.0×10^9 т N, $12.5.0 \times 10^9$ и 20.0×10^9 т N.

Земли лесного фонда России, лесообразующие породы, запасы почвенного биологического углерода (C_{soil}), запасы общего азота (N_{soil}).

Начиная с международной биологической программы (1964–1974 гг.) в проблеме углеродного цикла приоритетным направлением признавались связанные с фитомассой пулы ($C_{phytomass}$) и потоки углерода. Это касалось и лесных биомов, которые среди сухопутных природных систем имеют наибольший вклад в биосферно-атмосферные связи по обмену С–СО₂. Уменьшению в атмосфере концентрации СО₂ прямо благоприятствуют, во-первых, масштабы фотосинтетической деятельности лесного покрова. Во-вторых, продолжительность пребывания продуктов фотосинтеза в телах живых растений и растительных остатках, вплоть до многовековой консервации углерода в гумусе, торфе и сапропеле. Поэтому биологический углерод почв (C_{soil}) вовлечен в углеродный цикл гораздо шире по сравнению с традиционным пониманием взаимоотношений растительности и почвы по вектору “опад-подстилка-гумус”.

В последние 10–15 лет опубликовано несколько оценок пулов C_{soil} Российской Федерации в целом [7, 23], лесного фонда [8, 11, 14] и др., только болот и заболоченных земель [1–4]. Оценки C_{soil} для одних и тех же категорий земель варьируют

обычно существенно из-за различий принципов расчетов и варьирования объемов выборок в базах данных. В большинстве случаев пулы C_{soil} определялись по почвенным картам различного масштаба и соответственно с неодинаковыми легендами, отражающими степень детализации в принимаемых классификациях почв [7, 8, 23]. Исходная для субъектов федерации информация, касающаяся распределения земель по категориям и угодьям, корректировалась материалами земельного и лесного учетов.

В целенаправленных расчетах пулов C_{soil} на землях лесного фонда предпочтение отдавалось учетам площадей земель разных категорий, определяемых лесоустройством и при других способах лесоинвентаризаций. Считается, что земли лесного фонда страны (99.5%) и леса, не входящие в лесной фонд (0.5%), по материалам учетов лесного фонда определяются более точно, чем при сканировании контуров почвенных типов с мелкомасштабных карт. Тем более что в России на 62% площади лесов осуществляется наземное лесоустройство с использованием аэрофотоснимков [10]. Слабая изученность почвенного покрова в России, особенно в ее азиатской части, не позволяет при изучении углеродного цикла пока что базироваться на эталонные запасы C_{soil} отдельных типов почв с учетом их географического разнообразия. Другими словами, использовать методику, широко применяемую в странах Западной Европы [18, 20, 24].

* Исследование поддерживается РФФИ (03-04-48097) и темой 10 “Методы оценки пулов и потоков углерода и парниковых газов в наземных экосистемах, обоснование механизмов их регулирования” Минпромнауки РФ.

Лесоустроительные материалы при определении пулов C_{soil} используются двояко: а) на основе предварительно созданной схемы лесорастительного районирования территории, описания растительности категорий земель и определения по литературным данным средних значений C_{soil} для всех категорий земель каждого из выделенных районов [11]; б) использование лесоинвентаризационных материалов отдельных лесохозяйственных предприятий, с последующим агрегированием их либо по экорегионам, либо сразу же для субъектов федерации, с дальнейшим объединением по ландшафтными полосам (подзонам) в пределах лесорастительных областей (регионов). Подзоны и лесорастительные области в этом случае становятся базовыми для расчетов по площади средне-статистических запасов C_{soil} по категориям земель лесного фонда. Запасы C_{soil} для большинства более дробных природно-территориальных комплексов пока что оценить невозможно из-за ограниченности исходной информации.

В предыдущей статье на обсуждаемую тему [14] нами был апробирован второй вариант использования лесоинвентаризационных материалов для определения пулов C_{soil} земель лесного фонда.

Цель настоящей работы: оценить на основе расширенной базы данных запасы C_{soil} в лесах России для трех слоев почвенной толщи, агрегировав результаты на 12 блоков из сочетаний регионов и подзон; выполнить аналогичные расчеты для пула N_{soil} .

МЕТОДИКА

Базовой для расчетов служила информация государственного учета лесного фонда (ГУЛФ) по состоянию на 1 января 1998 г. [6]. В отличие от ГУЛФ 1993 г., использованном в работе [14], в нем произошли некоторые изменения. Так, согласно новой инструкции [5] из площадей северных редколесий с полнотой 0.1–0.2 была образована категория “естественных реди́н” с исключением их из фонда лесовосстановления. На севере Сибири уточнялись материалы прежних инвентаризаций, полученные методом таксации с самолетов. Причем в одних районах часть площадей была изъята из категории лесных земель, в других, напротив, включена в лесной фонд.

Порядок объединений площадей земель лесного фонда от лесохозяйственных предприятий до экорегионов (59 единиц и причем только в азиатской части страны) и субъектов федерации (в европейской части минуя экорегионы) был тем же, что и при расчетах $C_{phytomass}$ [12]. Но сейчас использовали исключительно площади, опуская запасы древесины и возрастные группы насаждений. Конверсию площадей земель разных катего-

рий, в том числе и покрытых лесом по преобладающим древесным породам, проводили по предикторам (среднеарифметическим запасам C_{soil} , т га⁻¹), полученным по 4 лесорастительным регионам, а внутри их – по 3 подзонам (всего 12 блоков). На конечном этапе расчетов оценки C_{soil} из-за ограниченности объема статьи касаются лишь России в целом и ее регионов.

Вычисление коэффициентов C_{soil} для расчетов (по площади) осуществлялось на выборках большего объема, особенно для насаждений, чем в работе [14]. В расчетах C_{soil} и N_{soil} опирались на созданную компьютерную базу данных [13], лишь отчасти пополняя ее. Увеличение выборки обязательно разработке методики реконструкции закономерностей вертикального изменения плотности почв в пределах толщи [15]. Благодаря этому удалось вовлечь в процедуру расчетов C_{soil} те разрезы, для которых имелась информация о гумусе, но не было сведений о плотности почв. Во всех случаях оценки C_{soil} включают запасы органического углерода минеральной толщи вместе с подстилкой.

Исходных сведений о запасах общего азота в авторских описаниях почвенных разрезов во много раз меньше, чем запасов гумуса. Поэтому и выборки для расчетов N_{soil} сравнительно малочисленны. То же касается и почв гарей, вырубков, которые редко становятся объектами почвенных исследований. На вырубках последних 50–70 лет практика механизированных заготовок леса предопределила сильную трансформацию верхних (0–30 см, а нередко и 0–50 см) горизонтов профиля.

МАТЕРИАЛЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предикторы для расчета пулов C_{soil} и N_{soil} на разных категориях земель лесного фонда. Для категории покрытых лесом земель данные для разных лесообразующих пород, как и в отношении $C_{phytomass}$ [12], дифференцированные по лесорастительным областям и ландшафтными полосам, сведены в табл. 1 и 2. В экологической литературе [12, 16, 17, 23] для аналогичных предикторов можно встретить понятие “плотность углерода”. С нашей точки зрения, от такого определения следует отказаться, так как оно не соответствует понятию “плотности” (“объемной массы”) в системе физических величин [9].

Выборки, используемые в табл. 1 и 2 для анализа географической изменчивости C_{soil} для ряда категорий земель являются не очень репрезентативными. Даже в случаях наибольших по объему выборок (25–50 почвенных разрезов) относительная ошибка при определении среднеарифметических значений C_{soil} (отношение стандартной ошибки к среднему, %) колеблется в пределах 6–17%, чаще бывает еще выше. Но и в этих случаях

Таблица 1. Средние ($\pm SE$) запасы органического углерода и общего азота по слоям почвы под насаждениями хвойных пород, т га⁻¹

Порода	Полоса	Регион	Углерод				Азот			
			по слоям, см			n	по слоям, см			n
			0-30	0-50	0-100		0-30	0-50	0-100	
Сосна	1	1	86 ± 14	119 ± 25	161 ± 38	28	4.3 ± 1.0	6.1 ± 1.4	8.9 ± 2.0	18
	1	2-4	135 ± 63	147 ± 65	158 ± 67	7	6.7 ± 2.6	8.0 ± 2.8	10.2 ± 3.8	4
	2	1	47 ± 16	56 ± 23	73 ± 31	5	4.3 ± 1.0	6.1 ± 1.4	8.9 ± 2.0	18
	2	2	111 ± 27	121 ± 29	138 ± 32	13	3.2 ± 0.3	4.5 ± 0.5	9.6 ± 1.2	3
	2	3	80 ± 25	95 ± 27	122 ± 32	9	3.2 ± 0.3	4.5 ± 0.5	9.6 ± 1.2	3
	2	4	53 ± 9	64 ± 9	89 ± 9	4	3.2 ± 0.3	4.5 ± 0.5	9.6 ± 1.2	3
	3	1	72 ± 10	80 ± 11	93 ± 11	23	3.6 ± 0.5	4.5 ± 0.7	6.0 ± 1.0	14
	3	2	96 ± 14	106 ± 14	124 ± 15	27	8.2 ± 1.4	9.4 ± 1.6	24.3 ± 7.7	9
	3	3-4	79 ± 8	91 ± 9	110 ± 10	26	5.9 ± 1.2	7.2 ± 1.5	8.7 ± 1.7	12
Ель	1	1	122 ± 13	151 ± 16	192 ± 20	28	5.6 ± 0.9	7.9 ± 1.1	13.8 ± 3.3	16
	1	2	85 ± 35	97 ± 36	114 ± 39	6	3.9 ± 1.7	5.0 ± 2.1	7.1 ± 2.9	3
	1	3-4	100 ± 34	149 ± 33	206 ± 35	4	6.1 ± 1.1	10.3 ± 1.2	17.2 ± 2.6	4
	2	1	64 ± 8	75 ± 9	91 ± 10	14	3.7 ± 1.2	4.4 ± 1.0	6.8 ± 0.6	3
	2	2	110 ± 22	120 ± 22	136 ± 23	7	11.8 ± 1.1	12.9 ± 0.7	14.4 ± 0.0	2
	2	3-4	141 ± 24	186 ± 29	261 ± 40	10	14.1 ± 2.7	19.1 ± 3.0	29.0 ± 4.0	5
	3	1	79 ± 9	98 ± 15	139 ± 34	30	12.6 ± 6.7	13.5 ± 6.8	15.3 ± 7.3	11
	3	2	116 ± 19	130 ± 20	148 ± 20	13	15.5 ± 9.7	17.5 ± 10.8	19.2 ± 11.3	2
	3	3-4	156 ± 30	188 ± 33	227 ± 36	8	18.6 ± 4.0	21.9 ± 4.3	26.3 ± 4.8	5
Пихта	1-2	1-2	92 ± 19	117 ± 23	149 ± 26	9	8.1 ± 1.9	10.3 ± 2.1	13.1 ± 2.1	8
	1-2	3-4	101 ± 30	129 ± 34	156 ± 38	4	8.1 ± 1.9	10.3 ± 2.1	13.1 ± 2.1	8
	3	1-2	97 ± 22	117 ± 22	147 ± 22	7	8.1 ± 1.9	10.3 ± 2.1	13.1 ± 2.1	8
	3	3-4	75 ± 21	100 ± 24	122 ± 24	3	8.1 ± 1.9	10.3 ± 2.1	13.1 ± 2.1	8
Лиственница	1	1	157 ± 59	213 ± 65	262 ± 65	4	6.9 ± 1.3	9.1 ± 1.7	14.3 ± 2.1	31
	1	2-4	99 ± 11	127 ± 13	178 ± 19	49	6.9 ± 1.3	9.1 ± 1.7	14.3 ± 2.1	31
	2	1-3	87 ± 15	96 ± 17	112 ± 19	20	5.3 ± 0.7	6.8 ± 0.8	10.6 ± 1.0	31
	2	4	76 ± 7	97 ± 7	136 ± 8	61	5.3 ± 0.7	6.8 ± 0.8	10.6 ± 1.0	31
	3	1-2	74 ± 35	88 ± 38	112 ± 42	3	6.5 ± 3.0	8.1 ± 3.3	11.2 ± 4.0	3
	3	3	127 ± 33	150 ± 36	179 ± 37	10	25.4 ± 10.5	28.6 ± 11.6	35.8 ± 11.4	7
	3	4	190 ± 40	216 ± 36	256 ± 32	5	25.4 ± 10.5	28.6 ± 11.6	35.8 ± 11.4	7
Кедр	1-2	1-2	161 ± 30	176 ± 35	187 ± 36	10	5.4 ± 0.5	7.4 ± 0.9	8.9 ± 1.1	4
	1	3-4	169 ± 36	230 ± 51	292 ± 33	3	5.4 ± 0.5	7.4 ± 0.9	8.9 ± 1.1	4
	2	3-4	135 ± 44	178 ± 33	222 ± 48	3	5.4 ± 0.5	7.4 ± 0.9	8.9 ± 1.1	4
	3	1-4	134 ± 30	170 ± 42	193 ± 43	11	5.4 ± 0.5	7.4 ± 0.9	8.9 ± 1.1	4

Примечание. Широтные полосы: 1 – северная, 2 – средняя, 3 – южная; регионы: 1 – Европейско-Уральский, 2 – Западно-Сибирский, 3 – Восточно-Сибирский, 4 – Дальневосточный. SE – стандартная ошибка, n – число разрезов.

Таблица 2. Средние ($\pm SE$) запасы органического углерода и азота по слоям почвы под насаждениями лиственных пород и кустарников, т га⁻¹

Порода	Поло- са	Реги- он	Углерод				Азот			
			по слоям, см			n	по слоям, см			n
			0-30	0-50	0-100		0-30	0-50	0-100	
Каменная береза	1-3	1-4	115 ± 19	190 ± 23	357 ± 54	4	3.7 ± 0.8	6.9 ± 0.0	11.7 ± 0.7	2
Прочие твердо- лиственные	1-2	1-4	50 ± 10	58 ± 9	71 ± 10	4	5.2 ± 1.0	6.2 ± 1.0	8.0 ± 1.1	10
	3	1	49 ± 8	58 ± 9	74 ± 10	18	5.2 ± 1.0	6.2 ± 1.0	8.0 ± 1.1	10
	3	2	97 ± 13	105 ± 17	125 ± 28	2	5.2 ± 1.0	6.2 ± 1.0	8.0 ± 1.1	10
	3	3-4	82 ± 15	101 ± 19	134 ± 25	6	5.2 ± 1.0	6.2 ± 1.0	8.0 ± 1.1	10
Береза	1	1	94 ± 16	106 ± 17	125 ± 17	10	6.6 ± 0.9	8.1 ± 1.2	10.1 ± 1.0	8
	1	2-4	159 ± 39	172 ± 41	192 ± 44	4	6.6 ± 3.8	8.3 ± 4.5	10.4 ± 5.1	3
	2	1-2	75 ± 19	83 ± 22	94 ± 26	4	8.1 ± 0.1	9.4 ± 0.6	12.9 ± 2.6	2
	2	3-4	137 ± 30	157 ± 30	192 ± 29	6	8.1 ± 0.1	9.4 ± 0.6	12.9 ± 2.6	2
	3	1	83 ± 20	94 ± 21	109 ± 20	16	6.5 ± 1.4	7.9 ± 1.6	10.3 ± 1.5	10
	3	2	107 ± 14	126 ± 17	145 ± 19	20	9.9 ± 2.1	12.4 ± 2.6	14.7 ± 2.9	9
	3	3-4	104 ± 21	130 ± 27	155 ± 30	11	10.6 ± 2.4	13.4 ± 3.0	16.1 ± 3.2	9
Осина	1-3	1-2	68 ± 13	82 ± 14	100 ± 14	9	4.9 ± 1.1	6.4 ± 1.4	8.8 ± 1.4	5
	1-3	3-4	90 ± 4	112 ± 4	148 ± 5	6	4.9 ± 1.1	6.4 ± 1.4	8.8 ± 1.4	5
	1-3	1-2	68 ± 13	82 ± 14	100 ± 14	9	4.9 ± 1.1	6.4 ± 1.4	8.8 ± 1.4	5
	1-3	3-4	90 ± 4	112 ± 4	148 ± 5	6	4.9 ± 1.1	6.4 ± 1.4	8.8 ± 1.4	5
Прочие мягко- лиственные	1-2	1	107 ± 16	170 ± 21	223 ± 12	2	5.8 ± 1.5	7.7 ± 2.1	9.9 ± 2.6	10
	1-2	2-4	82 ± 21	110 ± 30	151 ± 48	4	5.8 ± 1.5	7.7 ± 2.1	9.9 ± 2.6	10
	3	1-4	61 ± 7	77 ± 10	102 ± 14	24	5.8 ± 1.5	7.7 ± 2.1	9.9 ± 2.6	10
Кедровый стланик	1-3	1-4	155 ± 32	211 ± 35	266 ± 35	5	3.8 ± 3.7	5.1 ± 4.3	8.3 ± 5.1	8
Прочие кустар- ники	1	1	116 ± 20	153 ± 29	187 ± 36	28	5.7 ± 0.8	8.2 ± 1.1	12.7 ± 2.7	16
	1	2	191 ± 36	343 ± 86	466 ± 119	7	7.1 ± 1.8	18.9 ± 5.3	32.8 ± 9.2	7
	1	3-4	134 ± 19	160 ± 18	206 ± 20	19	6.0 ± 0.7	8.6 ± 0.8	20.0 ± 3.4	13
	2	1-4	136 ± 20	161 ± 19	208 ± 21	18	6.0 ± 0.7	8.6 ± 0.8	20.0 ± 3.4	13
	3	1	209 ± 15	231 ± 4	264 ± 1	2	10.4 ± 2.8	14.4 ± 2.6	22.9 ± 3.7	6
	3	2	136 ± 38	173 ± 36	202 ± 36	6	10.4 ± 2.8	14.4 ± 2.6	22.9 ± 3.7	6
	3	3-4	161 ± 19	214 ± 28	302 ± 69	13	10.4 ± 2.8	14.4 ± 2.6	22.9 ± 3.7	6

Примечание. Условные обозначения как в табл. 1.

должны обеспечиваться хотя бы приблизительно оценки пулов C_{soil} в пределах лесорастительных областей (регионов) страны. Представляется, что с конкретными описаниями почвенных разрезов из базы данных [13] и растительности можно было объяснить многие различия предикторов из табл. 1 и 2. Вряд ли эталонные почвенные разрезы, запасы углерода которых соотносятся с площадью контуров типов почв, сканированных с почвенных карт, обеспечивают более высокую точность определения пулов C_{soil} .

В большей мере недостаток информации свойствен предикторам N_{soil} из табл. 1 и 2. Нередко приходится использовать единые коэффициенты либо по регионам, либо по широтным полосам (в этих случаях числовые выражения в табл. 1 и 2 повторяются для полос и регионов). Материалы по N_{soil} лишь частично обеспечены информацией, публикуются нами специально, чтобы привлечь внимание к проблеме азотного цикла в лесах России. Удовлетворительные разработки азотного

Таблица 3. Средние ($\pm SE$) запасы органического углерода и азота по слоям почвы не покрытых лесом и нелесных земель лесного фонда РФ, т га⁻¹

Порода	Поло- са	Реги- он	Углерод				Азот			
			по слоям, см			n	по слоям, см			n
			0-30	0-50	0-100		0-30	0-50	0-100	
Гари	1	1-4	91 ± 43	104 ± 41	133 ± 33	2	2.8 ± 1.4	4.0 ± 1.6	7.0 ± 2.3	2
	2-3	1-4	75 ± 18	89 ± 22	112 ± 25	4	2.8 ± 1.4	4.0 ± 1.6	7.0 ± 2.3	2
Вырубки	1-3	1-4	47 ± 8	58 ± 9	78 ± 11	5	8.1 ± 3.2	9.9 ± 3.9	11.6 ± 5.0	2
Пашни	1-2	1	23 ± 12	29 ± 13	39 ± 14	3	5.1 ± 0.9	7.6 ± 1.4	11.7 ± 2.5	16
	1-2	2-4	85 ± 19	98 ± 20	130 ± 27	2	12.1 ± 1.0	16.4 ± 1.5	19.8 ± 1.6	13
	1-2	1	23 ± 12	29 ± 13	39 ± 14	3	12.1 ± 1.0	16.4 ± 1.5	19.8 ± 1.6	13
	1-2	2-4	85 ± 19	98 ± 20	130 ± 27	2	12.1 ± 1.0	16.4 ± 1.5	19.8 ± 1.6	13
	3	1	53 ± 8	79 ± 13	118 ± 18	22	5.1 ± 0.9	7.6 ± 1.4	11.7 ± 2.5	16
	3	2-4	126 ± 10	167 ± 15	205 ± 20	13	12.1 ± 1.0	16.4 ± 1.5	19.8 ± 1.6	13
	3	1	77 ± 5	105 ± 7	132 ± 8	37	7.1 ± 0.6	9.6 ± 1.0	13.7 ± 1.6	25
Пустыри, пастби- ща, сенокосы	1	1-4	93 ± 9	127 ± 13	163 ± 14	10	8.1 ± 1.0	10.6 ± 1.5	14.8 ± 2.7	4
	2	1-4	119 ± 14	173 ± 28	244 ± 36	10	11.3 ± 1.7	15.1 ± 2.5	22.3 ± 3.9	7
	3	1	77 ± 5	105 ± 7	132 ± 8	37	7.1 ± 0.6	9.6 ± 1.0	13.7 ± 1.6	25
	3	2	108 ± 10	139 ± 14	167 ± 14	3	7.2 ± 0.6	9.8 ± 0.9	13.9 ± 1.6	26
Болота	3	3-4	156 ± 23	205 ± 33	257 ± 36	10	7.2 ± 0.6	9.8 ± 0.9	13.9 ± 1.6	26
	1-3	1-4	222 ± 24	399 ± 55	633 ± 111	13	14.5 ± 3.3	27.3 ± 5.9	54.8 ± 12.8	5

Примечание. Условные обозначения как в табл. 1.

питания растений на освоенных почвах лишь в малой степени коснулись целинных лесных почв.

Предикторы для расчетов пулов C_{soil} и N_{soil} на не покрытых лесом и нелесных земель лесного фонда. Категории земель лесного фонда, представленные в табл. 3, относятся к основным типам земель либо временно не занятых лесом, либо изначально безлесных, в том числе и преобразованных для хозяйственных целей (пашни, большая часть лугов). Используемые для вычисления предикторов первичные материалы малочисленны, особенно для гарей и вырубок, где относительные ошибки среднеарифметического предиктора C_{soil} составляют: для гарей – более 20%, для вырубок – в пределах 15–18%. Наибольший разброс для C_{soil} свойствен лугам: относительная ошибка в средней полосе 10–12%, в южной – 6–15%. То же касается пашни: в европейской части относительная ошибка среднеарифметического значения запасов углерода колеблется от 15 до 35%, в азиатской части увеличивается с глубиной слоя и оцениваются с ошибкой 10–20%.

Для гарей и вырубок относительная ошибка средних значений предикторов N_{soil} составляет для разных слоев 33–43%. Для лугов северной и средней широтных полос – 17–18%, южной полосы 11–12%. Для пашни в европейской части относительная ошибка варьирует в пределах 20–21%, в азиатской части для всех полос – 8%. В торфах N_{soil} определяется с относительной ошибкой

22–23%, т.е. с большим разбросом значений по сравнению с C_{soil} .

Несмотря на значительный разброс данных по запасам на единицу площади C_{soil} и N_{soil} для разных групп в составе двух безлесных категорий земель, полученные предикторы можно использовать для расчетов пулов углерода и азота в лесном фонде России. Заведомо признавая при этом невысокую точность итоговых оценок для регионов и России в целом.

Пулы C_{soil} различных категорий земель лесного фонда. При общей площади земель лесного фонда (согласно [6]) $\sim 1110 \times 10^6$ га, распределение между категориями покрытых лесом, не покрытых лесом и нелесных земель равно соответственно 65, 9 и 26%. При общих запасах C_{soil} в 240.6×10^9 т С, распределение их по тем же категориям земель выражается как 49, 7, 44%. В пределах отдельных регионов это соотношение существенно меняется. В направлении запад – восток доля площади в лесном фонде не покрытых лесом земель составляет: 2.3%, 2.5, 7.4 и 15.9%. (табл. 4). В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке такое увеличение обусловлено значительным распространением гарей и вырубок. Для категории нелесных земель аналогичное распределение имеет следующий вид: 19%, 39, 19 и 29%, причем в двух первых районах за счет олиготрофных сфагновых торфяников, в Восточной Сибири – мелкоотторфованных болот, на Дальнем Востоке лишь отчасти благодаря болотам, в большей

же мере из-за включения в лесной фонд горных тундр и естественных редин.

Оценки последних лет пула C_{soil} покрытых лесом земель были следующими:

Год ГУЛФ	Площадь, 10^6 га	Слой, см	Пул C_{soil} 10^9 т С	Источник
1988	771.1	0-100	74.2	[11]
1993	707.0	0-100	104.54	[12, 14]
1993	764	0-30	61.6	[23]
		0-100	87.6	
1993	763.5	0-100	119.04	[17]
1998	718.7	0-30	73.88	Настоящая работа
		0-100	116.46	

В слое 0-100 см намечается сходимостъ оценок C_{soil} у разных авторов. Но до принятия общих оценок пула биологического углерода почв время, видимо, еще не пришло.

Валовые запасы C_{soil} по регионам обусловлены общими площадями земель лесного фонда и поэтому относятся к малопригодным показателям для сравнения. Показательнее использовать

для этой цели почвенно-углеродную емкость (т С га⁻¹) земель разных категорий. Поскольку для почв покрытых лесом и не покрытых лесом земель эти показатели не различаются или различаются весьма незначительно (табл. 4), то сравнение целесообразно свести к противопоставлению нелесных земель землям, покрытым лесной растительностью.

Таблица 4. Запасы углерода в почвенных слоях на землях различных категорий в лесном фонде России

Регион	Категория земель	Площадь, 10^6 га	Слой, см					
			0-30		0-50		0-100	
			10^6 т С	т С га ⁻¹	10^6 т С	т С га ⁻¹	10^6 т С	т С га ⁻¹
Российская Федерация	Покрытые лесом	718.7	73883.1	103 ± 18	91001.6	127 ± 20	116456.6	162 ± 23
	Не покрытые лесом	104.9	10649.1	102 ± 20	13297.9	127 ± 22	17606.2	168 ± 24
	Нелесные	287.0	42460.4	148 ± 18	70474.8	246 ± 33	106569.9	371 ± 67
	Всего	1110.6	126992.6	114 ± 18	174774.3	157 ± 24	240632.7	217 ± 35
Европейско-Уральская часть	Покрытые лесом	140.8	11947.7	85 ± 14	14429.0	102 ± 17	18057.2	128 ± 21
	Не покрытые лесом	4.2	280.5	66 ± 11	341.1	81 ± 14	434.4	103 ± 16
	Нелесные	33.8	5873.4	174 ± 18	10327.8	306 ± 41	16181.9	479 ± 82
	Всего	178.8	18101.6	101 ± 15	25097.9	140 ± 21	34673.5	194 ± 33
Западная Сибирь	Покрытые лесом	81.1	8976.1	111 ± 23	10295.9	127 ± 26	11953.1	147 ± 29
	Не покрытые лесом	3.4	325.9	97 ± 23	386.7	115 ± 26	471.3	141 ± 29
	Нелесные	53.7	10255.0	191 ± 20	18167.5	338 ± 46	28613.9	532 ± 92
	Всего	138.1	19557.0	142 ± 22	28850.1	209 ± 34	41038.3	297 ± 53
Восточная Сибирь	Покрытые лесом	218.9	23738.3	108 ± 21	28930.0	132 ± 24	36037.7	165 ± 26
	Не покрытые лесом	22.1	2250.3	102 ± 21	2754.9	125 ± 24	3570.5	161 ± 25
	Нелесные	56.6	8540.3	151 ± 19	13949.1	246 ± 32	20898.6	369 ± 66
	Всего	297.7	34528.9	116 ± 21	45634.0	153 ± 25	60506.9	203 ± 34
Дальний Восток	Покрытые лесом	277.8	29221.0	105 ± 16	37346.7	134 ± 17	50408.6	181 ± 20
	Не покрытые лесом	75.2	7792.3	104 ± 20	9815.1	131 ± 22	13130.0	175 ± 24
	Нелесные	142.9	17791.7	125 ± 17	28030.4	196 ± 26	40875.5	286 ± 54
	Всего	495.9	54805.0	111 ± 17	75192.3	152 ± 21	104414.0	211 ± 31

Примечание. Оценки в т С га⁻¹ представлены среднеарифметическими значениями ±SE (стандартной ошибкой).

В целом для России отношение углеродной емкости в слое 0–30 см нелесных земель к землям лесов равно 1.4. В европейской части страны и в Западной Сибири, где основные массивы болот, это отношение возрастает до 2.0 и 1.7 раза, а к востоку понижается до 1.3 и 1.2 раза. Аналогичная, хотя и с некоторыми отклонениями, ситуация с углеродной почвенной емкостью сохраняется и в слое 0–50 см: превышение в 1.9 раз для России, в 3.0, 2.7, 1.9 и 1.5 раза, для регионов в направлении запад-восток в слое 0–100 см – превышение в

2.3 раза в России, в 3.7, 3.6, 2.2 и 1.6 раз по регионам.

Следовательно, нелесные земли в структуре земель лесного фонда выступают главным аккумулятором биологического углерода во всем био-море 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 рис. 1.

Полученные разными авторами оценки пула C_{soil} болот России были следующими:

Год учета	Категория болот	Площадь, 10 ⁶ га	Слой, см	Запас C_{soil} , 10 ⁹ т С	Источник
1988	Торфяные болота России	273	–	118.1	[11]
	Нелесные болота лесного фонда России	122	–	54.0	
	Органогенные почвы России	230	≤30	12.6	[2, 3]
	Органогенные почвы России	139	>30	100.9	
	Болота бывшего СССР	165	0–350	214	[1]
1993	Необлесенные болота в лесном фонде	122	0–75	48.2	[14]
	Заболоченные земли	105	0–30	28.4	[23]
			0–100	37.5	
	Болота верховые	116	0–30	28.4	
0–100			94.3		
1998	Необлесенные болота в лесном фонде	128	0–30	28.5	Настоящая работа
			0–100	81.2	

Суммарные оценки C_{soil} болот расходятся как по площадям, так и по запасам. В первом случае из-за разной трактовки понятия “болото”, к которым нередко относят все избыточно-влажные земли, даже без признаков торфообразования. Во втором, из-за отсутствия для большинства болот представлений о глубине торфяной залежи, которая нередко (Карелия, Западная Сибирь, север Камчатки) может достигать 7–8 м. Было бы легче, не прибегая к канадским данным [1], характеризовать лесные болота разных типов (верховые и др.) по нескольким показателям, включая глубину торфяной залежи. Такие экологические паспорта болот могли быть представлены в материалах земельного и лесного госучетов, не ограничиваясь лишь упоминанием при лесоустройстве [5].

Распределение валовых и емкостных запасов C_{soil} в насаждениях трех групп лесобразующих пород приведено в табл. 5. Общие запасы C_{soil} обусловлены здесь занимаемыми площадями: во всех случаях доминируют хвойные насаждения. Они приурочены преимущественно к северным, высокогорным и заболоченным местообитаниям, обладая вследствие этого высокими углеродоак-

кумулятивными функциями. Высокие запасы C_{soil} твердолиственных насаждений России обязаны главным образом дальневосточным каменисто-бережкам, связанных с глубокогумусными луговыми почвами. В региональном отношении менее контрастны емкостные показатели C_{soil} для мягколиственных насаждений. Очень высокие запасы C_{soil} для категории “прочие деревья и кустарники” связаны с преобладанием в ней по площади зарослей кедрового стланика и притундровых кустарников.

В нашей работе [12, табл. 6] представлены по широтным полосам оценки C_{soil} в слое почвы на среднюю глубину разреза соответствующей породы для насаждений 5 основных древесных пород (сосна, ель, лиственница, кедр и береза). Не обнаружено больших географических различий (кроме кедр ~ 200 т С га⁻¹) в запасах C_{soil} всех пород (чаще всего в пределах 135–170 т С га⁻¹); в подзонах средней и южной тайги отмечен минимум C_{soil} (110–117 т С га⁻¹) у сосны и лиственницы, что мы объясняем влиянием низовых пожаров. Перерасчет данных из работы [17] свидетельствует, что в слое 0–100 см C_{soil} вместе с

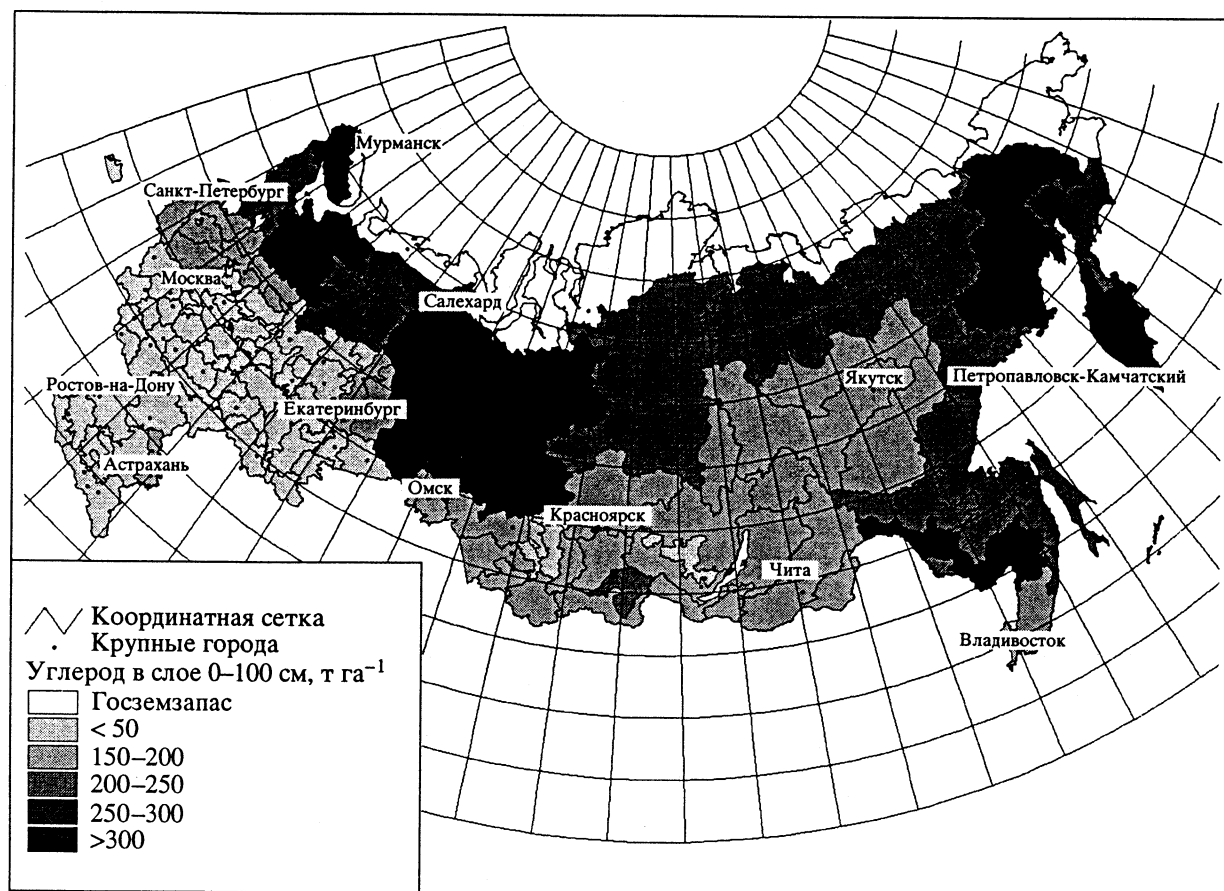


Рис. 1. Средние запасы углерода (т С га⁻¹) в слое почвы 0–100 см на землях лесного фонда Российской Федерации.

лесной подстилкой обычно на 15–20% выше, у кедра на ~20% меньше.

Вообще же у разных авторов оценки C_{soil} для почв бореальных лесов не отличаются большим разбросом: 140–190 т С га⁻¹, включая 3–7 т С га⁻¹ лесной подстилки, в Норвегии [24], с большим разбросом (от 110 до 350 т С га⁻¹) в Канаде [22]. В Германии [18] в ельниках: с грубогумусной подстилкой от 127 до 210 т С га⁻¹ в минеральной толще и дополнительно от 34 до 86 т С га⁻¹ в верхнем органогенном слое, с мулевыми подстилками соответственно 59–340 т С га⁻¹ и 2–9 т С га⁻¹, с подстилками типа модер – 107–230 т С га⁻¹ и 10–52 т С га⁻¹ в органогенном слое. В сосняках Германии на подзолах запас C_{soil} минеральной толщи оценивается в 30–75 т С га⁻¹, верхнего органогенного слоя – в 32–90 т С га⁻¹. В Нидерландах C_{soil} для полного профиля почв искусственных насаждений колеблется в пределах 200–250 т С га⁻¹, в естественных лесах 300–340 т С га⁻¹, в черноольшанниках даже до 420 т С га⁻¹ [20]. В Китае средняя емкость C_{soil} лесных почв определены в 194.0 т С га⁻¹ и дополнительно 8.2 т С га⁻¹ лесной подстилки [25]; поскольку средняя емкость $C_{phytomass}$ в лесах Китая

оценивается в 57.1 т С га⁻¹, то отношение C_{soil} (с подстилкой) к $C_{phytomass}$ равно 3.5, т.е. примерно столько же, что и для средней и южной широтных полос Восточной Сибири и Дальнего Востока [12].

Пулы N_{soil} в лесном фонде России. Азот лесных почв признается ведущим экологическим фактором, определяющим продукционный процесс. Потоки углерода в экосистемах одновекторны (С–СО₂ на входе при фотосинтезе – консервация в виде разнообразных органических соединений – С–СО₂ с добавлением СН₄ на выходе в результате дыхания самих живых растений и микроорганизмов при деструкции и трансформации растительных остатков). Потоки азота, который представлен в экосистемах в нитратной и аммонийной формах, представлены несколькими элементарными биологическими процессами, включая фиксацию свободного азота атмосферы клубеньковыми бактериями бобовых, ольхи и др., свободноживущими азотфиксирующими бактериями некоторыми лишайниками, а также цианобактериями, актиномицетами в гниющей древесине.

Таблица 5. Запасы углерода в почвенных слоях лесных насаждений по группам лесобразующих пород

Регион	Категория земель	Площадь, 10^6 га	Слой, см					
			0–30		0–50		0–100	
			10^6 т С	т С га ⁻¹	10^6 т С	т С га ⁻¹	10^6 т С	т С га ⁻¹
Российская Федерация	Хвойные	508.7	50072.2	98 ± 17	61255.2	120 ± 19	78632.4	155 ± 22
	Твердолиственные	17.5	1544.3	88 ± 15	2305.4	132 ± 18	3938.9	225 ± 34
	Мягколиственные	119.7	11710.4	98 ± 19	13728.3	115 ± 21	16382.6	137 ± 23
	Прочие породы и кустарники	72.8	10556.2	145 ± 26	13712.7	188 ± 28	17502.7	241 ± 30
Европейско-Уральская часть	Хвойные	89.4	7952.4	89 ± 12	9816.0	110 ± 17	12575.9	141 ± 23
	Твердолиственные	5.2	255.6	49 ± 8	305.0	58 ± 9	387.8	74 ± 10
	Мягколиственные	45.7	3670.6	80 ± 17	4224.9	92 ± 18	4994.8	109 ± 19
	Прочие породы и кустарники	0.5	69.1	131 ± 16	83.1	158 ± 17	98.7	188 ± 19
Западная Сибирь	Хвойные	56.9	6583.4	116 ± 26	7411.9	130 ± 29	8556.0	150 ± 31
	Твердолиственные	0.0	0.3	97 ± 13	0.3	105 ± 17	0.4	125 ± 27
	Мягколиственные	23.1	2197.4	95 ± 17	2549.8	111 ± 19	2948.4	128 ± 21
	Прочие породы и кустарники	1.1	195.0	181 ± 34	333.9	309 ± 75	448.3	415 ± 101
Восточная Сибирь	Хвойные	167.7	17335.7	103 ± 21	21155.6	126 ± 24	26411.3	158 ± 26
	Твердолиственные	0.0	0.1	81 ± 15	0.1	100 ± 19	0.1	133 ± 25
	Мягколиственные	33.8	3916.4	116 ± 23	4650.6	138 ± 25	5610.9	166 ± 27
	Прочие породы и кустарники	17.5	2486.1	142 ± 23	3123.7	178 ± 24	4015.4	229 ± 27
Дальний Восток	Хвойные	194.7	18200.7	93 ± 12	22871.7	117 ± 13	31089.2	160 ± 15
	Твердолиственные	12.3	1288.3	105 ± 18	2000.0	163 ± 22	3550.6	289 ± 45
	Мягколиственные	17.2	1926.0	112 ± 23	2302.9	134 ± 26	2828.5	165 ± 29
	Прочие породы и кустарники	53.7	7806.0	145 ± 27	10172.1	190 ± 29	12940.3	241 ± 30

Примечание. Условные обозначения как в табл. 4.

Из-за разнообразия процессов азотного цикла запасы общего N_{soil} определяются редко, поэтому информация в базе данных [13] оказалась малочисленной (табл. 6). Азот в лесных экосистемах представлен преимущественно биологически связанными формами. Его запасы в почвах лесных земель лесного фонда мало меняются в отдельных регионах – 10–16 т N га⁻¹. Для нелесных земель, напротив, в пределах 25–46 т N га⁻¹, в основном за счет болот, в которых по оценке авторов работы [4] сосредоточено 4.69×10^9 т N. По нашей, скорее ориентировочной, оценке валовый запас N_{soil} составляет 12.5×10^9 т N, из которых

60% приходится на лесные земли, 40% на нелесные. Во всех случаях около половины запасов N_{soil} сосредоточено в слое 0–30 см.

В географическом распределении запасов N_{soil} для слоя 0–100 см в лесах России не отмечается заметных различий (8–13 т N га⁻¹) для лесных земель (табл. 7), если не считать кустарниковых зарослей наиболее заболоченной Западной Сибири (31 т N га⁻¹) и небольшого увеличения элементарных запасов в хвойных лесах двух восточных регионов.

Приведем в краткой форме некоторые данные о запасах N_{soil} в лесных почвах Германии.

Таблица 6. Запасы азота в почвенных слоях на землях различных категориях в лесном фонде РФ

Регион	Категория земель	Площадь, 10 ⁶ га	Слой, см					
			0–30		0–50		0–100	
			10 ⁶ т N	т N га ⁻¹	10 ⁶ т N	т N га ⁻¹	10 ⁶ т N	т N га ⁻¹
Российская Федерация	Покрытые лесом	718.7	5007.6	7.0 ± 1.5	6376.9	8.9 ± 1.8	9403.1	13.1 ± 2.4
	Не покрытые лесом	104.9	606.3	5.8 ± 1.4	798.4	7.6 ± 1.6	1277.7	12.2 ± 2.3
	Нелесные	287.0	3376.1	11.8 ± 2.2	5298.1	18.5 ± 3.6	9295.3	32.4 ± 7.1
	Всего	1110.6	8990.0	8.1 ± 1.7	12473.4	11.2 ± 2.2	19976.2	18.0 ± 3.6
Европейско-Уральская часть	Покрытые лесом	140.8	809.9	5.8 ± 1.4	1028.2	7.3 ± 1.6	1459.0	10.4 ± 2.2
	Не покрытые лесом	4.2	28.4	6.7 ± 2.1	35.3	8.3 ± 2.6	45.5	10.8 ± 3.3
	Нелесные	33.8	401.5	11.9 ± 2.6	724.2	21.5 ± 4.4	1410.6	41.8 ± 9.6
	Всего	178.8	1239.8	6.9 ± 1.6	1787.8	10.0 ± 2.1	2915.1	16.3 ± 3.6
Западная Сибирь	Покрытые лесом	81.1	541.4	6.7 ± 1.3	688.9	8.5 ± 1.6	1055.7	13.0 ± 2.8
	Не покрытые лесом	3.4	19.9	5.9 ± 1.7	26.0	7.8 ± 2.1	37.0	11.0 ± 2.9
	Нелесные	53.7	699.2	13.0 ± 2.9	1267.1	23.6 ± 5.0	2481.7	46.2 ± 10.7
	Всего	138.1	1260.5	9.1 ± 1.9	1982.0	14.3 ± 2.9	3574.4	25.9 ± 5.8
Восточная Сибирь	Покрытые лесом	218.9	1768.6	8.1 ± 1.9	2225.4	10.2 ± 2.3	3137.1	14.3 ± 2.7
	Не покрытые лесом	22.1	127.8	5.8 ± 1.4	170.5	7.7 ± 1.7	275.8	12.5 ± 2.6
	Нелесные	56.6	704.1	12.4 ± 2.3	1057.8	18.7 ± 3.5	1791.0	31.6 ± 6.8
	Всего	297.7	2600.5	8.7 ± 2.0	3453.8	11.6 ± 2.5	5204.0	17.5 ± 3.5
Дальний Восток	Покрытые лесом	277.8	1887.8	6.8 ± 1.4	2434.4	8.8 ± 1.5	3751.4	13.5 ± 2.0
	Не покрытые лесом	75.2	430.1	5.7 ± 1.3	566.6	7.5 ± 1.5	919.4	12.2 ± 2.1
	Нелесные	142.9	1571.3	11.0 ± 1.9	2248.9	15.7 ± 2.9	3612.0	25.3 ± 5.3
	Всего	495.9	3889.2	7.8 ± 1.5	5249.8	10.6 ± 1.9	8282.8	16.7 ± 3.0

Примечание. Условные обозначения как в табл. 4.

Г.И. Фидлер с соавт. [19] указывает, что на нормально дренированных почвах запас N_{soil} составляет 10–16 т N га⁻¹ и может быть больше. Для 44 участков запас N_{soil} в слое 0–100 см находился в пределах 2–16 т N га⁻¹ (при запасе C_{soil} 75–200 т С га⁻¹, в среднем 150 т С га⁻¹). Для 15 типов условий местопроизрастания пихты европейской в южной Германии запас N_{soil} в 1-метровой толще варьировал от 4.0 до 24.0 т N га⁻¹ (чаще всего на уровне 6–8 т N га⁻¹) с минимальными значениями на оглеенных почвах и в местах сбора лесной подстилки [21]. Наши оценки (табл. 7) несколько выше, чем полученные в Германии.

Пулы N_{soil} теснейшим образом связаны с пулом C_{soil} . В целом для России отношение валовых запасов биологического углерода почв к запасам общего N_{soil} составляет (с округлениями): для слоя 0–30 см покрытых лесом земель 15, не по-

крытых лесом 18, нелесных 13, всех категорий земель лесного фонда 14, для слоя 0–100 см соответственно 12, 14, 11, 12. О теснейшей связи почвенного углерода и азота свидетельствует и география распределения их элементарных запасов при совмещении рис. 1 и 2. Вторая картосхема по существу повторяет первую, но с уменьшением масштаба легенды в ~12 раз.

Поскольку приведенные в таблицах данные получены для лесов МПР РФ (1110.6 × 10⁶ га), то для всех лесов России оценки надо увеличить в 1.07 раза. В слое 0–100 см запасы N_{soil} составят для РФ: покрытые лесом площади 10061 × 10⁶ т N, не покрытые лесом 1367 × 10⁶ т N, нелесные 9945 × 10⁶ т N, всего 21374 × 10⁶ т N, для C_{soil} соответственно 124609 × 10⁶, 18839 × 10⁶, 114030 × 10⁶ и 257477 × 10⁶ т С.

Таблица 7. Запасы азота в почвенных слоях лесных насаждений по группам лесообразующих пород

Регион	Категория земель	Площадь, 10 ⁶ га	Слой, см					
			0–30		0–50		0–100	
			10 ⁶ т N	т N га ⁻¹	10 ⁶ т N	т N га ⁻¹	10 ⁶ т N	т N га ⁻¹
Российская Федерация	Хвойные	508.7	3653.4	7.2 ± 1.7	4624.3	9.1 ± 1.9	6779.1	13.3 ± 2.4
	Твердолиственные	17.5	77.7	4.4 ± 0.9	114.5	6.5 ± 0.5	171.2	9.8 ± 0.9
	Мягколиственные	119.7	913.9	7.6 ± 1.5	1132.2	9.5 ± 1.9	1443.2	12.1 ± 2.4
	Прочие породы и кустарники	72.8	362.6	5.0 ± 0.9	505.9	7.0 ± 0.9	1009.7	13.9 ± 2.0
Европейско-Уральская часть	Хвойные	89.4	486.2	5.4 ± 1.5	629.4	7.0 ± 1.7	936.4	10.5 ± 2.6
	Твердолиственные	5.2	26.9	5.2 ± 1.0	32.3	6.2 ± 1.0	41.6	8.0 ± 1.1
	Мягколиственные	45.7	293.1	6.4 ± 1.1	361.4	7.9 ± 1.4	473.1	10.3 ± 1.7
	Прочие породы и кустарники	0.5	3.7	7.1 ± 1.5	5.1	9.7 ± 1.6	7.8	14.9 ± 2.7
Западная Сибирь	Хвойные	56.9	343.5	6.0 ± 1.1	434.7	7.6 ± 1.4	728.5	12.8 ± 2.7
	Твердолиственные	0.0	0.0	5.2 ± 1.0	0.0	6.2 ± 1.0	0.0	8.0 ± 1.1
	Мягколиственные	23.1	190.0	8.2 ± 1.6	235.3	10.2 ± 2.1	294.1	12.8 ± 2.7
	Прочие породы и кустарники	1.1	7.9	7.3 ± 1.8	18.8	17.4 ± 4.6	33.0	30.6 ± 8.1
Восточная Сибирь	Хвойные	167.7	1384.4	8.3 ± 2.1	1732.0	10.3 ± 2.4	2398.8	14.3 ± 2.7
	Твердолиственные	0.0	0.0	5.2 ± 1.0	0.0	6.2 ± 1.0	0.0	8.0 ± 1.1
	Мягколиственные	33.8	287.0	8.5 ± 1.9	357.7	10.6 ± 2.5	449.4	13.3 ± 3.1
	Прочие породы и кустарники	17.5	97.2	5.6 ± 0.9	135.7	7.8 ± 0.9	288.9	16.5 ± 2.6
Дальний Восток	Хвойные	194.7	1439.3	7.4 ± 1.5	1828.3	9.4 ± 1.8	2715.3	13.9 ± 2.1
	Твердолиственные	12.3	50.8	4.1 ± 0.8	82.2	6.7 ± 0.3	129.5	10.6 ± 0.8
	Мягколиственные	17.2	143.9	8.4 ± 1.4	177.8	10.4 ± 2.0	226.5	13.2 ± 2.9
	Прочие породы и кустарники	53.7	253.8	4.7 ± 0.9	346.2	6.5 ± 0.8	680.0	12.7 ± 1.7

Примечание. Условные обозначения как в табл. 4.

Заключение. Запасы C_{soil} и N_{soil} – важнейшие экологические ресурсы лесных экосистем boreальных лесов Северной Евразии. Оба ресурса относятся к вторично воспроизводимым и зависимым от масштабов фотосинтетической деятельности растений-продуцентов. С точки зрения стратегии природопользования и стабилизации биосферных процессов C_{soil} и N_{soil} заслуживают такого же пристального внимания и охраны, как $C_{phytomass}$ и биологическое разнообразие. Тем более что почвенные запасы углерода и азота представлены в основном соединениями, накопившимися в ходе многовековых процессов трансформации продуктов фотосинтеза, хотя пул азота,

пусть и в небольших количествах, пополняется за счет азотфиксаторов.

Процессы, определяющие потоки C_{soil} и N_{soil} , не могут быть стационарны, когда приход растительных остатков с опадом и отпадом компенсируется за тот же срок минерализацией и разложением органического вещества в почвенной толще, включая лесную подстилку. Процессы накопления/деструкции органики находятся в противофазе. Они, как и формирование годичного кольца деревьев, реагируют на любые изменения внешней среды, прежде всего климатические и погодные, подчиняясь временным циклам любой продолжительности. Если у деревьев улучшение условий существования выражается увеличе-

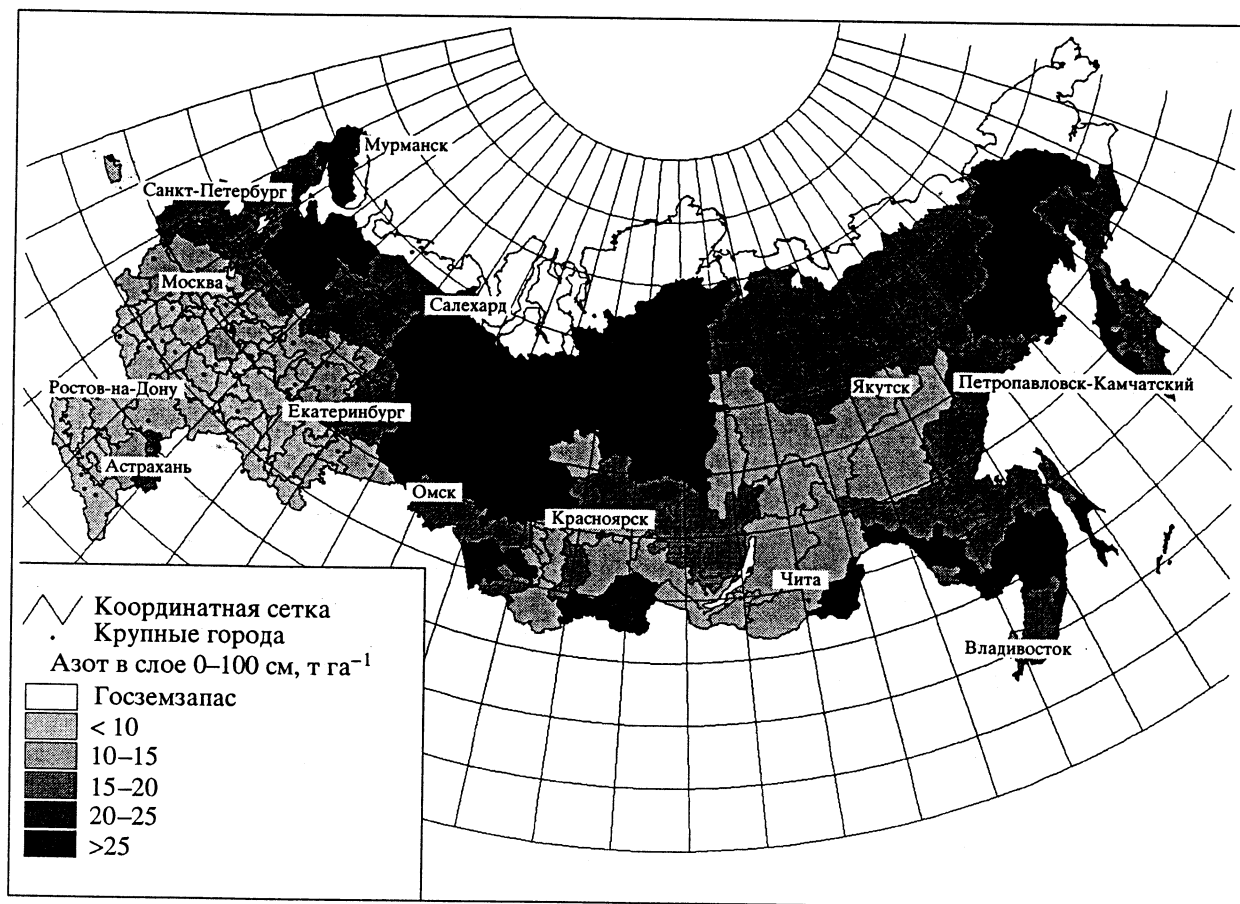


Рис. 2. Средние запасы азота (т N га⁻¹) в слое почвы 0–100 см на землях лесного фонда Российской Федерации.

нием нарастания годичного кольца по ширине или плотности древесины, то в почвенных горизонтах и в торфяных залежах, наоборот, преимущество получает деструктивные процессы, вплоть до прекращения текущего торфообразования.

Изучение процессов биологического круговорота азота и зольных элементов в формате годового цикла (потребление с приростом – аккумуляция – возврат с опадом) целесообразно проводить с учетом почвенных пулов этих элементов, дополняя их пулом C_{soil} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боч М.С., Кобак К.И., Кольчугина Т.П., Винсон Т. Содержание и скорость аккумуляции углерода в болотах бывшего СССР // Бюлл. Моск. о-ва испытат. природы. Отд. биол. 1994. Т. 99. Вып. 4. С. 59–69.
2. Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П., Валяева Н.В., Глухова Т.В., Дубинин А.И., Глухов А.И., Маркелова Л.Г. Заболоченные органические почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17–25.
3. Вомперский С.Э., Цыганова О.П., Ковалев А.Г., Глухова Т.В., Валяева Н.В. Заболоченность территории России как фактор связывания атмосферного углерода // Круговорот углерода на территории России. НТП “Глобальные изменения природной среды и климата” / Под ред. Заварзина Г.А. М.: Миннаука РФ, 1999. С. 124–145.
4. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В. Запасы и содержание соединений углерода в болотных экосистемах России // Почвоведение. 1997. № 12. С. 1470–1477.
5. Инструкция о порядке ведения государственного учета лесного фонда. Утверждена приказом Федеральной службой лесного хозяйства России от 30.05.97. № 72. М. 1997. 77 с.
6. Лесной фонд России (по учету на 1 января 1998 года). Справочник. М.: ВНИИЦ лесресурс, 1999. 649 с.
7. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
8. 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.

9. Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. Изд. 2-е. М.: Наука, 1977. 336 с.
10. Сухих В.И., Уткин А.И. Информационно-инвентаризационные проблемы лесного фонда России в связи с экологизацией лесного хозяйства // Лесоведение. 2003. № 1. С. 3–15.
11. Углерод в экосистемах лесов и болот / Под ред. Алексеева В.А. и др. Красноярск, 1994. 204 с.
12. 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.
13. Честных О.В. Почвы Северной Евразии. Компьютерная база данных. М.: ЦЭПЛ РАН, МГУ, 1998.
14. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России // Лесоведение. 1999. № 2. С. 13–21.
15. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. Зависимость плотности почвенных горизонтов от глубины их залегания и содержания гумуса // Почвоведение, 2004. № 8. (В печати).
16. Швиденко А.З., Нильссон С., Столбовой В.С., Глюк М., Щепаченко Д.Г., Рожков В.А. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 1. Запасы растительной органической массы // Экология. 2000. № 6. С. 403–410.
17. Швиденко А.З., Ваганов Е.А., Нильссон С. Биосферная роль лесов России на старте третьего тысячелетия: углеродный бюджет и Протокол Киото // Сиб. экологический журн. 2003. № 6. С. 645–655.
18. Burschel P., Kursten E., Larson C. Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt – eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. München, 1993. 136 p.
19. Fiedler H.J., Nebe W., Hoffmann F. Forstlich Pflanzenernährung und Dungung. Jena: Fischer Verlag, 1973. 481 p.
20. Nabuurs G.J., Mohren G.M.J. Carbon in Dutch forest ecosystems // Netherlands J. Agr. Sci. 1993. V. 41. P. 309–326. (голл., рез. англ.).
21. Rehfuess K.E. Der Ernährungszustand süddeutscher Tannenbestände (*Abies alba* Mill.) in Abhängigkeit von den Nahrelementvorräten im Boden // Forstwiss. Cbl. 1969. B. 88. H. 6. P. 359–372.
22. Siltanen R.M., Apps M.J., Zoltai S.C., Mair R.M., Strong W.L. A soil profile and organic carbon data base for Canadian forest and tundra mineral soils. Edmonton, Alberta: Northern Forestry Centre, 1997. 50 p.
23. Stolbovoi V. Carbon in Russia Soils // Climatic Change. 2002. V. 55. N 1–2. P. 131–156.
24. Wit de H.A., Kvindesland S. Carbon stocks in Norwegian forest soils and effects on forest management on carbon storage // Rapport fra skogsforskningen. 1999. Suppl. V. 14. 52 p.
25. Zhou J.-R., Yu Z.-Z., Zhao S.-D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types // Acta Phytocologica Sinica. 2000. V. 24. N 5. P. 518–522. (кит., рез. англ.).

Reserves of Biological Carbon and Nitrogen in Soils of Russian Forest Fund

O. V. Chestnykh, D. G. Zamolodchikov, and A. I. Utkin

In Russia, forests occupy half of dry lands. In statistical reports, they are differentiated according to categories of lands. The forested lands are also categories by forest-forming species. Using these materials along with the information from the specially made database on carbon and nitrogen reserves in soil horizons (903 soil pits in the forest zone and 120, in the tundra one), reserves of total carbon and nitrogen were calculated. These calculations were carried out for four provinces: European-Ural, West-Siberian, East-Siberian, and Far-Eastern. The total pool for biological carbon in soils of the forest fund (layers 0–30 cm, 0–50, 0–100 cm) amounts to 127.0×10^9 , 174.8×10^9 , and 240.6×10^9 t C; in soils under forests, 73.9×10^9 , 91.0×10^9 , and 116.5×10^9 t C. The total nitrogen reserves in the same soil layers are 9.0×10^9 , 12.5×10^9 , and 20.0×10^9 t N; in soils under forests, 5.0×10^9 , 6.4×10^9 , and 9.4×10^9 t N, respectively. The data on forest provinces, forest-forming species, and categories of woodless lands of the forest fund are presented.