

УДК 630*114.35:630*182.5.1+631.417(470)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА
В ПОЧВАХ ЛЕСОВ РОССИИ*© 1999 г. О. В. Честных^{1,3}, Д. Г. Замолодчиков¹, А. И. Уткин^{1,2}, Г. Н. Коровин¹¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва² Институт лесоведения РАН, Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл.³ Биологический факультет МГУ, Москва

Поступила в редакцию 30.06.98 г.

Предложен новый подход к оценке запасов органического углерода в почвах лесов России. Суть его – совмещение информации о землях лесного фонда из материалов государственного учета лесов с обобщенными, полученными на основе анализа оригинальной базы данных характеристиками лесных почв. По экономико-географическим регионам рассчитаны средние и абсолютные запасы углерода в почвах по всем категориям земель лесного фонда, а для покрытой лесом площади с учетом лесообразующих древесных пород. Построена карта распределения средних запасов почвенного углерода по территории лесного фонда России. Полученные оценки почвенного углерода сравниваются с оценками, определяемыми традиционным методом на базе районирования и картирования почв.

Органическое вещество почвы, запас углерода, лесные экосистемы, лесной фонд России.

Возрастающая концентрация CO₂ в атмосфере планеты – одна из глобальных экологических проблем. Считается, что последствия глобальных изменений климата в наибольшей степени скажутся на природной ситуации в холодной и умеренной зонах Северного полушария. Леса России, занимающие значительную часть Евразии, концентрируют около 22% мирового запаса лесных ресурсов. Комплексная оценка углеродных параметров лесов России чрезвычайно важна поэтому для познания и прогноза возможных изменений планетарного круговорота углерода.

Для любых территориальных объединений наземных экосистем обязательным следует считать выделение следующих депо углерода: фитомассы, детрита, почвы и атмосферы. Предмет настоящей работы – оценка в почвах российских лесов запасов органического углерода, возраст которого следует принять не ниже голоценового.

Имеющиеся оценки мирового запаса почвенного углерода и его распределения по природным зонам [16, 19] зачастую получены на основе либо экспертных, либо ограниченных данных о запасе углерода отдельных реперных разрезов с последующим перерасчетом этих данных на огромные площади, причем нередко без учета геоморфологических различий и ландшафтной мозаики. Лишь в последних сводках по запасам углерода в почвах России [7, 8, 12] учитывается не только почвенная мозаика на больших территориях, но и предпринята попытка разделения органического

углерода на группы соединений по качественному составу и функциональной роли.

Методика расчетов в работах [7, 12] включала статистическую обработку как собственных материалов, так и данных многочисленных литературных источников по содержанию и запасам органического вещества и углерода почвы в т га⁻¹ для слоев 0–20, 0–50 и 0–100 см. Глубина разреза до 1 м признается необходимой и достаточной. Именно в этой толще для большинства почв России сосредоточена основная часть запасов органического вещества и протекают наиболее активные процессы его химической трансформации. Но полученные оценки запаса углерода считаются минимальными, поскольку реальные запасы могут быть несколько выше.

Для оценки запасов углерода в этих работах определялось среднее содержание органического вещества почвы для минимального выдела. Затем через поправочный коэффициент рассчитывали среднее содержание органического углерода, которое пересчитывалось на соответствующие площади и суммировалось в запасы. А.А. Титлянова с соавт. [12] определяли средние значения запаса органического вещества почвы по компьютерной базе данных с учетом всех горизонтов описанных разрезов, а пересчет проводили с использованием данных по объемному весу (объемной массе) почвы горизонтов. Расчеты выполнены для 6 административных областей, в каждой из которых было выделено по 3 биома: травяной (включая агроценозы), лесной и болотный.

Д.С. Орлов и О.Н. Бирюкова [7] оценивали средние запасы органического вещества почвы

* Исследование поддерживалось проектами 4.3.1 “Углеродный баланс лесов России” ФЦНТП № 18 и РФФИ (97-04-48005).

по литературным источникам. Они разработали собственную схему генерализации выделенных почв по данным "Природно-сельскохозяйственного районирования земельного фонда СССР" [10], выделив 4 почвенно-географические зоны с 16 почвенными провинциями. В последней сводке тех же авторов [8] общие запасы органического вещества в почвах и торфах России рассчитаны по типам почв и природно-сельскохозяйственным зонам, контуры и площади которых определяли с использованием данных "Атласа СССР" [1] и "Почвенной карты СССР" [9]. Для равнинных территорий России выделено 8 зон, для горных стран – 3 горных области. И зоны, и области включают контуры от 4 до 8 типов почв. Отмечая сложный почвенный покров азиатской части России, разнообразие форм рельефа, авторы подчеркивают, что полученные результаты [8] тем не менее дают вполне ясное представление о масштабах и закономерностях накопления органического углерода в почвенном покрове страны.

В обзоре В.А. Рожкова с соавт. [11] обращается внимание на недоучет запасов углерода, аккумулярованного в почвенных карбонатах, углерода подстилок, отсутствие поправок на каменность почвенной толщ, а также на несовершенство расчета запасов гумуса по И.В. Тюрину [13]. Внеся все эти коррективы, авторы рассчитали запасы углерода в почвах Российской Федерации. На основе компьютерной карты, созданной в свою очередь из синтеза информации двух почвенных карт России [2, 3], выделено 160 типов почв и почвенных комплексов, интегрированных в 9 типов почвообразующих пород, с обособлением 16 различных типов комбинаций на карте. Итоговая карта включает около 7000 контуров. Запасы углерода дифференцированы по слоям 0–5, 0–20, 0–50 и 0–100 см.

Использование разных принципов и методов расчетов запасов углерода в почве, различие в исходных данных требует сравнения получаемых результатов. Оценки компонентов углеродного цикла для отдельных территориальных структур часто оказываются мало сопоставимыми не только на региональном, но даже и на федеральном уровне. Так, в работе [11] оценки углерода даны для площади лесного биома в 1383.3 млн. га, а в работе [8] – 1316.5 млн. га. В то же время площадь лесного фонда, находящегося в ведении Федеральной службы лесного хозяйства России, составляет 1110.5 млн. га [6], хотя общая площадь лесов и равна 1180.9 млн. га [5]. Расхождение наших и данных других авторов объясняется включением в лесной биом площади агроценозов и других земель, не относящихся к лесному фонду. Таким образом, для того чтобы получить оценку почвенного углерода в собственно лесных экосистемах, необходимо ориентироваться на лесоэкологическое районирование.

В настоящей статье описан иной подход. Пространственное обобщение данных по запасам ор-

ганического углерода в лесных почвах выполнено на основе материалов государственного учета лесного фонда (ГУЛ). Такой подход для оценки запасов почвенного углерода используется в малолесных странах, где для каждого лесохозяйственного предприятия состав леса картографически совмещен с типами почв или привязан к ним; например, в Германии [15], Нидерландах [18]. Наш подход позволяет получить наиболее сопоставимые для лесов России оценки различных компонентов углеродного цикла: фитомассы, фитодетрита, годичного опада и отпада и др. Если при расчетах углерода фитомассы такой подход применяется достаточно давно и хорошо обоснован [4, 5, 14, 17], то по отношению к углероду почв его правомочность, несомненно, должна стать предметом дискуссий. При рассмотрении результатов мы приведем ряд аргументов в пользу предложенного подхода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Цель настоящей работы – оценка запасов органического углерода в почвах лесов России, к тому же методологически максимально совместимая с данными о запасах углерода в других пулах лесных биогеоценозов. Источником эмпирической информации послужила составленная авторами база данных по характеристикам почв России. Она включает информацию по более чем 1000 почвенным разрезам из 300 литературных источников. По каждому разрезу имеется подробная информация (около 40 параметров): географическое положение, строение почвенного профиля, физико-химические свойства почв, механический состав, валовый химический состав, содержание органики по всем выделенным горизонтам. Для оценки запасов органического вещества почвы (в т га⁻¹) необходимо иметь данные по объемной массе (объемному весу) каждого почвенного горизонта для разных типов почв. Поэтому из всей базы данных были выбраны разрезы, для которых имелись определения объемной массы. Затем они систематизировались по зонам, по типам растительных формаций (преобладающим породам) и типам почв. Используя эту информацию, были оценены значения объемной массы для всех почвенных горизонтов.

Запасы органического вещества почвы рассчитывали для каждого разреза, исходя из сведений о глубине каждого горизонта (включая лесную подстилку A_0), величине объемной массы, процентного содержания органического вещества в каждом из горизонтов, затем все полученные для горизонтов значения суммировали. Если в профиле почвы данные по процентному содержанию органического вещества почвы отдельных горизонтов отсутствовали, то их аппроксимировали по данным выше или ниже лежащих гори-

Таблица 1. Средний запас органического вещества в почве для насаждений основных лесобразующих пород России

| Порода | Широтная полоса | Регион | Средний запас, т га ⁻¹ | | | Число разрезов |
|-------------|-----------------|--------|-----------------------------------|-----------|----------|----------------|
| | | | среднеарифметическое | минимум | максимум | |
| Ель | 1 | 1 | 293 ± 27 | 60 | 618 | 27 |
| | 1 | 2 | 287 ± 76 | 46 | 555 | 6 |
| | 1 | 3-4 | 361 ± 79 | 149 | 529 | 4 |
| | 2 | 1 | 188 ± 34 | 55 | 511 | 14 |
| | 2 | 2 | 294 ± 56 | 73 | 465 | 7 |
| | 2 | 3-4 | 347 ± 44 | 144 | 512 | 10 |
| | 3 | 1 | 161 ± 19 | 39 | 475 | 30 |
| | 3 | 2 | 301 ± 53 | 146 | 600 | 8 |
| | 3 | 3-4 | 364 ± 40 | 202 | 502 | 8 |
| | Сосна | 1 | 1 | 267 ± 36 | 46 | 619 |
| 1 | | 2-4 | 211 ± 70 | 68 | 494 | 7 |
| 2 | | 1 | 138 ± 56 | 35 | 353 | 5 |
| 2 | | 2 | 236 ± 43 | 49 | 475 | 13 |
| 2 | | 3 | 225 ± 47 | 35 | 459 | 9 |
| 2 | | 4 | 139 ± 22 | 105 | 202 | 4 |
| 3 | | 1 | 172 ± 20 | 23 | 371 | 23 |
| 3 | | 2 | 260 ± 38 | 79 | 578 | 18 |
| 3 | | 3-4 | 185 ± 22 | 58 | 456 | 23 |
| Лиственница | | 1 | 1 | 418 ± 105 | 163 | 655 |
| | 1 | 2-3 | 381 ± 72 | 157 | 580 | 6 |
| | 1 | 4 | 222 ± 20 | 54 | 552 | 43 |
| | 2 | 1-3 | 227 ± 40 | 35 | 645 | 20 |
| | 2 | 4 | 194 ± 15 | 34 | 615 | 61 |
| | 3 | 1-3 | 242 ± 31 | 85 | 424 | 13 |
| | 3 | 4 | 385 ± 42 | 230 | 470 | 5 |
| | 3 | 1 | 135 ± 14 | 67 | 201 | 9 |
| Береза | 1 | 2-4 | 384 ± 55 | 235 | 483 | 4 |
| | 2 | 1-2 | 146 ± 38 | 81 | 244 | 4 |
| | 2 | 3-4 | 292 ± 23 | 231 | 389 | 6 |
| | 3 | 1 | 200 ± 36 | 14 | 532 | 16 |
| | 3 | 2 | 270 ± 30 | 70 | 475 | 20 |
| | 3 | 3-4 | 282 ± 53 | 66 | 512 | 11 |

Примечание. Зональные полосы: 1 – северная, 2 – средняя, 3 – южная; регионы: 1 – Европейско-Уральский, 2 – Западная Сибирь, 3 – Восточная Сибирь, 4 – Дальний Восток.

зонтов, реже – по аналогичным разрезам из того же района.

Методика расчета включала как запасы органического вещества почвы в верхних горизонтах, которые могут быть отнесены к подстилке, так и в заторфованных горизонтах подзолисто-болотных почв. Запасы органического вещества рассчитывали для всего слоя почвы, описанного в соответствующем литературном источнике. Глубина разрезов разных типов почв колебалась от 20 до 100 см. В результате обработки были исключены разрезы с глубиной толщи до 20 см, а также все случаи, когда определения запасов органиче-

ского вещества почвы ограничивались только одним-двумя горизонтами.

Наиболее существенным отличием настоящей работы от [7, 8, 12 и др.] является использование для территориального разделения не традиционных почвенных карт или схем районирования, а лесоэкологического районирования зонально-провинциального содержания, сопряженного с материалами учета лесного фонда, которые приводятся в справочниках ГУЛ.

В ГУЛ территория России разделена на ряд крупных регионов (провинций): Европейско-Уральский, Западная Сибирь, Восточная Сибирь и Дальний Восток, представленных соответствен-

Таблица 2. Среднее содержание органического вещества в почве насаждений прочих лесообразующих пород

| Порода | Регион | Средний запас, т га ⁻¹ | | | Число разрезов |
|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------|----------|----------------|
| | | среднеарифметическое | минимум | максимум | |
| Пихта | 1-2 | 282 ± 41 | 62 | 477 | 9 |
| | 3-4 | 290 ± 25 | 225 | 342 | 4 |
| Кедр | 1-2 | 365 ± 54 | 117 | 660 | 11 |
| | 3-4 | 346 ± 56 | 137 | 627 | 11 |
| Каменная береза | 1-4 | 566 ± 61 | 398 | 669 | 4 |
| | Прочие твердолиственные | 1 | 127 ± 21 | 18 | 377 |
| 2 | | 234 ± 48 | 137 | 354 | 4 |
| 3-4 | | 216 ± 40 | 114 | 432 | 7 |
| Осина | 1-2 | 205 ± 25 | 108 | 335 | 9 |
| | 3-4 | 327 ± 26 | 265 | 411 | 6 |
| Прочие мягколиственные | 1-4 | 255 ± 44 | 132 | 502 | 10 |
| | Кедровый стланик | 1-4 | 379 ± 79 | 172 | 540 |
| Прочие кустарники | 1 | 181 ± 21 | 42 | 498 | 25 |
| | 2-4 | 309 ± 93 | 91 | 542 | 4 |

Примечание. Регионы: 1 – Европейско-Уральский, 2 – Западная Сибирь, 3 – Восточная Сибирь, 4 – Дальний Восток.

но 53, 6, 5 и 7 субъектами РФ. Каждый из этих регионов был подразделен нами на 3 широтные (зональные) полосы: северную (северные редколесья и северная тайга), среднюю (средняя тайга) и южную (южная тайга, смешанные, широколиственные леса и лесостепь). Границы широтных полос совмещали с административными границами субъектов федерации (для Европейско-Уральской части) или с границами лесхозов (для азиатской части). Такой принцип территориального расчленения территории позволил использовать информацию ГУЛ, представленную для лесхозов и административных областей, совместив ее с зонально-провинциальным делением лесного фонда России.

По географическим координатам конкретных разрезов определяли их принадлежность к одному из 12 регионов, получаемых при делении лесов России на 3 широтные полосы и 4 провинции. В пределах каждого из таких регионов проводили взвешенное с соответствующими площадями усреднение запасов органического вещества почвы для каждой лесообразующей породы и в целом для не покрытых лесом и нелесных земель. При определении средних запасов в ряде случаев применяли агрегирование данных из-за ограниченности числа разрезов в соответствующих регионах или зональных полосах. Например, рассчитан общий средний запас органического вещества по всем разрезам для почв ельников северной широтной полосы в пределах Восточной Сибири и Дальнего Востока (табл. 1). То же было сделано для почв пихтарников всех трех широтных полос

в Европейско-Уральской части и Западной Сибири (табл. 2).

Для расчетов средних запасов углерода принимали, что 1 кг органического вещества почвы, включая подстилку, соответствует 0.57 кг углерода. На основе рассчитанных средних значений запасов почвенного углерода и информации ГУЛ, касающейся распределения по породам покрытой лесом площади и площадного представительства других категорий земель лесного фонда, был осуществлен расчет абсолютных запасов углерода в почве. Оценка запасов почвенного углерода, как уже отмечалось, проводили для разных категорий земель по субъектам федерации в Европейско-Уральской части и экорегионам в азиатской части России умножением среднего запаса углерода на площади соответствующих категорий земель лесного фонда. Заметим, что площади земель в материалах ГУЛ определяются точнее, чем по картографическим материалам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средние запасы органического вещества в почвах по категориям земель лесного фонда. Для почв насаждений различных лесообразующих пород эти данные представлены в табл. 1 и 2, для земель лесного фонда других категорий в табл. 3.

С целью оценки степени надежности принятого подхода, было проведено сравнение относительных стандартных ошибок, получаемых при усреднении запасов почвенного органического вещества по лесообразующим породам и по ти-

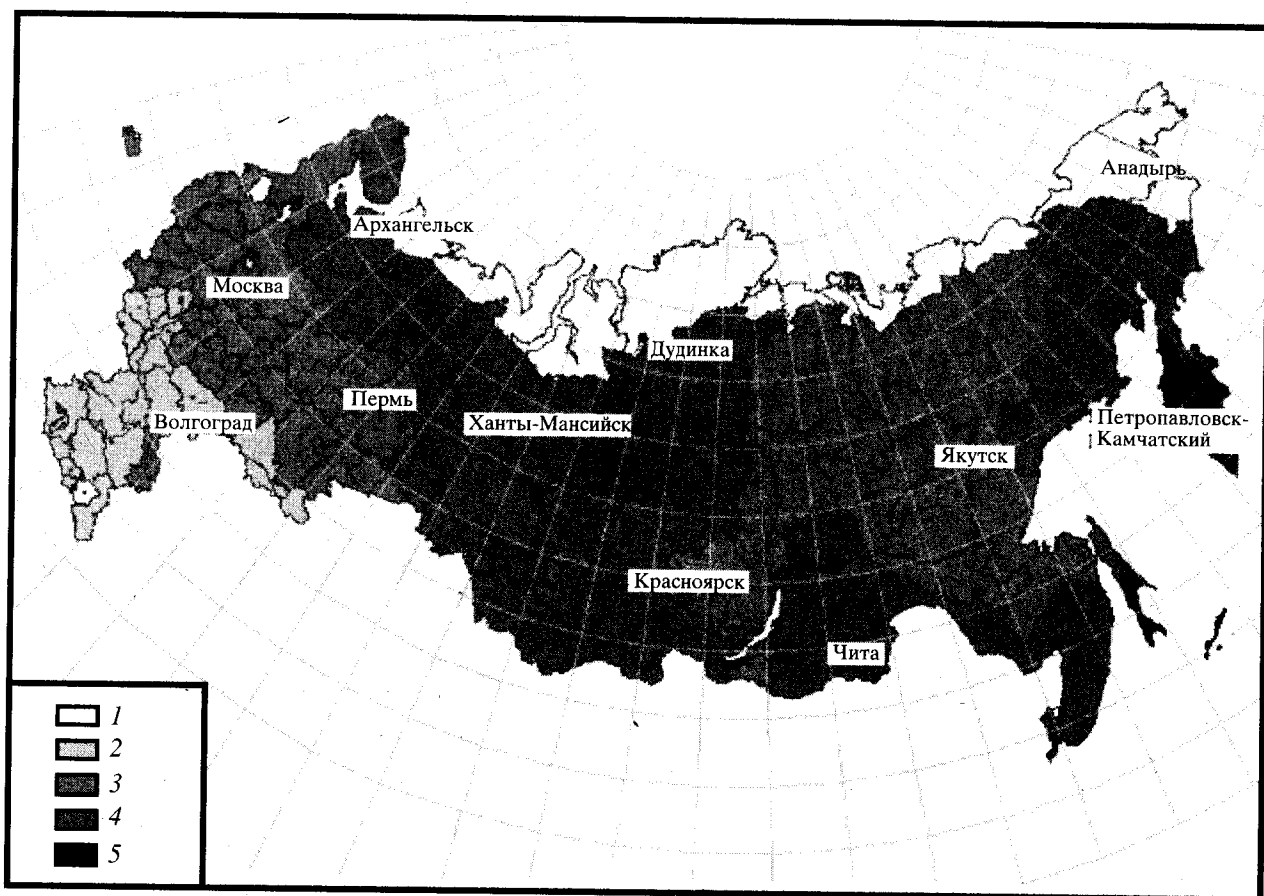
Таблица 3. Среднее содержание органического вещества в почве для не покрытых лесом и нелесных земель

| Порода | Зональная полоса | Регион | Средний запас, т га ⁻¹ | | | Число проб |
|---------|------------------|--------|-----------------------------------|---------|----------|------------|
| | | | среднеарифметическое | минимум | максимум | |
| Гари | 1 | 1-4 | 157 ± 36 | 64 | 238 | 4 |
| | 2-3 | 1-4 | 164 ± 39 | 56 | 315 | |
| Вырубки | 1-3 | 1-4 | 112 ± 21 | 51 | 219 | 7 |
| | 1 | 1-4 | 277 ± 31 | 155 | 426 | |
| Луга | 2 | 1-4 | 336 ± 49 | 120 | 573 | 11 |
| | 3 | 1 | 175 ± 17 | 27 | 626 | |
| | 3 | 2-4 | 385 ± 47 | 168 | 676 | |
| Пашня | 1-3 | 1 | 182 ± 29 | 23 | 466 | 25 |
| | 1-3 | 2-4 | 362 ± 35 | 102 | 631 | |
| Болота | 1-3 | 1-4 | 396 ± 43 | 85 | 614 | 14 |

Примечание. Зональные полосы: 1 – северная, 2 – средняя, 3 – южная; регионы: 1 – Европейско-Уральский, 2 – Западная Сибирь, 3 – Восточная Сибирь, 4 – Дальний Восток.

пам почв. Для этого исходный массив данных в пределах тех же 12 регионов был сгруппирован не по породам, а по типам почв (подзолистые, дерновые, торфянистые, торфяные, серые, бурые).

Стандартная ошибка при усреднении по лесообразующим породам составила в среднем 16.2%, по типам почв – 22.4%. Таким образом, расчет средних запасов органического вещества почвы при



Средние запасы углерода в почве (т га⁻¹) на землях лесного фонда Российской Федерации: 1 – ≤50; 2 – 51–100; 3 – 101–150; 4 – 151–200; 5 – ≥201.

Таблица 4. Запасы углерода в почве на различных категориях земель лесного фонда РФ

| Регион | Категория земель | Площадь, млн. га | Запас углерода в почве | | |
|----------------------------|-------------------|------------------|------------------------|-------|--------------------|
| | | | млн. т | % | т га ⁻¹ |
| Российская Федерация | Покрытые лесом | 707.0 | 104535 | 60.6 | 148 ± 22 |
| | Не покрытые лесом | 111.8 | 14880 | 8.6 | 133 ± 22 |
| | Нелесные | 291.7 | 53018 | 30.7 | 182 ± 21 |
| | Всего | 1110.5 | 172432 | 100.0 | 155 ± 22 |
| Европейско-Уральская часть | Покрытые лесом | 136.9 | 16406 | 9.5 | 120 ± 17 |
| | Не покрытые лесом | 6.9 | 606 | 0.4 | 88 ± 15 |
| | Нелесные | 33.8 | 6191 | 3.6 | 183 ± 20 |
| | Всего | 177.7 | 23203 | 13.5 | 131 ± 18 |
| Западная Сибирь | Покрытые лесом | 78.8 | 12255 | 7.1 | 156 ± 27 |
| | Не покрытые лесом | 4.6 | 567 | 0.3 | 123 ± 24 |
| | Нелесные | 53.7 | 10839 | 6.3 | 202 ± 22 |
| | Всего | 137.1 | 23662 | 13.7 | 173 ± 25 |
| Восточная Сибирь | Покрытые лесом | 217.6 | 35207 | 20.4 | 162 ± 27 |
| | Не покрытые лесом | 23.0 | 3546 | 2.1 | 155 ± 30 |
| | Нелесные | 56.9 | 10720 | 6.2 | 188 ± 22 |
| | Всего | 297.4 | 49473 | 28.7 | 166 ± 27 |
| Дальний Восток | Покрытые лесом | 273.7 | 40667 | 23.6 | 149 ± 20 |
| | Не покрытые лесом | 77.3 | 10161 | 5.9 | 131 ± 21 |
| | Нелесные | 147.3 | 25267 | 14.7 | 172 ± 20 |
| | Всего | 498.3 | 76094 | 44.1 | 153 ± 20 |

усреднении по породам оказывается не менее точным, чем при усреднении по типам почвы.

Наиболее полно обеспечены данными о почвах северная и южная полосы Европейской части, наименее – средняя полоса Западной Сибири. В северной и южной широтных полосах отмечается наибольший разброс данных по средним запасам органического вещества почвы насаждений основных лесобразующих пород и зональных полос в целом, так как эти полосы включают в себя по несколько природных зон. Данные по лугам, агроценозам и пашням относятся в основном к югу Европейской части России.

Территориальное распределение общих запасов углерода в почве. На основе найденных средних значений в пересчете на углерод и информации ГУЛ по площадям был осуществлен расчет абсолютных и средних запасов углерода в почве по категориям земель лесного фонда по субъектам федерации. Распределение средних запасов углерода для всех категорий земель лесного фонда РФ показано на рисунке.

Величины абсолютных запасов углерода в почве по категориям земель лесного фонда РФ приведены в табл. 4 и 5. Для наглядности результаты представлены лишь по 4 крупным экономико-географическим регионам России, которые

одновременно можно считать и природными провинциями. В ходе расчетов аналогичные данные были получены для всех субъектов Российской Федерации, а в азиатской части России и для всех экорегионов.

Анализ полученных данных распределения запасов органического углерода в почвах лесной зоны России выявил определенную картину как в широтной зональности, так и в зависимости от преобладающей лесобразующей породы конкретного региона.

Общий запас органического углерода в почвах лесной зоны России превышает 172 Гт (табл. 4). При этом в северной широтной полосе сосредоточены максимальные запасы углерода 77.8 Гт (площадь 469.6 млн. км²), в средней полосе 55.3 Гт С (площадь 385.1 млн. га) и в южной – 39.2 Гт С (площадь 255.8 млн. га). Максимальные средние значения (т га⁻¹) приходятся на северную и южную широтные полосы соответственно 166 и 153 т га⁻¹.

Минимальные запасы органического почвенного углерода находятся в Европейско-Уральской части – 23.3 Гт (площадь 177.7 млн. га), максимальные – на Дальнем Востоке 76.1 Гт (площадь 498.3 млн. га), куда включена и Республика Саха-Якутия. Наибольшее среднее содержание органического углерода (172.6 т га⁻¹) приходится на За-

Таблица 5. Запасы углерода в почве лесных насаждений по группам лесообразующих пород

| Регион | Группы лесообразующих пород | Площадь, млн. га | Запас углерода в почве | | |
|----------------------------|-----------------------------|------------------|------------------------|------|--------------------|
| | | | млн. т | % | т га ⁻¹ |
| Российская Федерация | Хвойные | 508.7 | 71897 | 68.8 | 142 ± 19 |
| | Твердолиственные | 17.3 | 3523 | 3.4 | 204 ± 25 |
| | Мягколиственные | 113.4 | 15798 | 15.1 | 139 ± 20 |
| | Прочие породы | 0.9 | 110 | 0.1 | 119 ± 22 |
| | Кустарники | 66.7 | 13207 | 12.6 | 198 ± 48 |
| Европейско-Уральская часть | Хвойные | 88.4 | 11462 | 11.0 | 130 ± 17 |
| | Твердолиственные | 5.3 | 383 | 0.4 | 72 ± 12 |
| | Мягколиственные | 42.7 | 4509 | 4.3 | 106 ± 17 |
| | Прочие породы | 0.1 | 6 | 0.0 | 72 ± 12 |
| | Кустарники | 0.4 | 46 | 0.0 | 103 ± 12 |
| Западная Сибирь | Хвойные | 55.7 | 9071 | 8.7 | 163 ± 29 |
| | Твердолиственные | 0.0 | 0 | 0.0 | 134 ± 28 |
| | Мягколиственные | 22.0 | 2999 | 2.9 | 136 ± 19 |
| | Прочие породы | 0.0 | 0 | 0.0 | 134 ± 28 |
| | Кустарники | 1.0 | 185 | 0.2 | 176 ± 53 |
| Восточная Сибирь | Хвойные | 167.7 | 26325 | 25.2 | 157 ± 26 |
| | Твердолиственные | 0.0 | 0 | 0.0 | 123 ± 23 |
| | Мягколиственные | 32.5 | 5614 | 5.4 | 173 ± 23 |
| | Прочие породы | 0.0 | 0 | 0.0 | 123 ± 23 |
| | Кустарники | 17.4 | 3268 | 3.1 | 188 ± 51 |
| Дальний Восток | Хвойные | 196.9 | 25039 | 24.0 | 127 ± 12 |
| | Твердолиственные | 12.0 | 3139 | 3.0 | 262 ± 31 |
| | Мягколиственные | 16.2 | 2675 | 2.6 | 165 ± 23 |
| | Прочие породы | 0.8 | 104 | 0.1 | 123 ± 23 |
| | Кустарники | 47.8 | 9709 | 9.3 | 203 ± 48 |

* От все покрытой лесом площади (табл. 4).

падную Сибирь. В ее составе доминирует Западно-Сибирская низменность, большие площади которой заняты болотами, за счет чего и обусловлено повышение среднего запаса углерода в почве. Районы Восточной Сибири и Дальнего Востока испытывают к тому же многовековое воздействие лесных пожаров с потерями части запасов углерода за счет пирогенной эмиссии.

Таблица 5 демонстрирует распределение запасов почвенного углерода по группам лесообразующих пород России. Наибольшие абсолютные запасы почвенного углерода содержат леса хвойных формаций (71.9 Гт С или 69% от запасов для всей покрытой лесом площади), что объясняется преобладанием этой группы древесных пород по площади (72%).

Однако по средним запасам углерода в почве лидируют насаждения твердолиственных (203.8 т га⁻¹), что во многом обусловлено большими средними

запасами почвенного углерода в дальневосточных насаждениях каменной березы (табл. 2), которым свойственно сочетание лесного и лугового типов растительности с соответствующими им процессами почвообразования. На первом месте по абсолютным запасам углерода в почве насаждений каменной березы находится северная полоса – 1.45 Гт С, последнее место занимает средняя – 0.52 Гт С.

Среди хвойных пород максимальные запасы углерода сосредоточены в почвах лиственных экосистем (35.8 Гт, площадь 263.7 млн. га), причем 20.4 Гт из них – на Дальнем Востоке, минимальные – в европейской части, 0.1 Гт С. При широтном распределении наибольшие абсолютные запасы углерода в почвах лиственных лесов сосредоточены в средней зональной полосе (16.5 Гт С), минимальные – южной 4.1 Гт С. В целом для лесного фонда РФ на почвы сосняков приходится 13.4 Гт С (площадь 114.9 млн. га), ельников –

12.4 Гт С (площадь 75.9 млн. га), кедровников – 8.0 Гт С (39.9 млн. га), на почвы пихтарников – 2.4 Гт С (14.4 млн. га).

Среди формаций мягколиственных лесов преобладают запасы органического углерода, аккумулируемые почвами березовых насаждений. Они составляют в северной полосе 1.91 Гт, в средней – 3.28 Гт, в южной – 6.96 Гт. При этом максимальные запасы свойственны Восточной Сибири (4.5 Гт), где березовые леса – наиболее характерная формация в лесостепи, минимальные – на Дальнем Востоке (2.1 Гт).

Для лесов, т.е. категории покрытых лесом земель, наибольшие абсолютные запасы сосредоточены в средней широтной полосе – 37.7 Гт С (площадь 282.1 млн. га), наименьшие – в южной, 30.7 Гт С (площадь 207.7 млн. га). То же характерно и для не покрытых лесом земель: максимальные запасы в северной полосе – 9.9 Гт С (площадь 69.9 млн. га), минимальные – в южной, 1.5 Гт С (площадь 12.8 млн. га). В категории “нелесные земли” самый большой запас углерода (31.8 Гт С) свойствен северной широтной полосе (площадь 183.4 млн. га), минимальный – 7.1 Гт С – южной (площадь 35.3 млн. га), где такие земли, как и часть лесных, исторически перешли под сельское хозяйство.

Поскольку предлагаемая в статье методика расчета запасов почвенного углерода по широтным зонам и регионам была отлична от аналогичных расчетов по почвенным картам, сравнение зональных и региональных значений с данными других авторов затруднительно. Однако, несмотря на различия в принципах и методах расчетов, суммарные результаты оказались достаточно близкими к полученным другими авторами. Так, запасы почвенного углерода по данным Д.С. Орлова с соавт. [7] для 3 лесных зон, части лесостепной зоны и 4 горных областей составляют 235.0 Гт на площади 1383.3 млн. га при среднем запасе 169.9 т га^{-1} , в работе В.А. Рожкова с соавт. [11] для лесных почв равнинных и горных областей соответственно 266.7 Гт на площади 1316.5 млн. га при среднем запасе 202.6 т га^{-1} . Заметим, что в последней оценке авторы учитывают поправку на неточность определения гумуса по Тюрину (коэффициент 1.28). Если не принимать во внимание эту поправку, то средний запас углерода выразится в 158.3 т га^{-1} .

Обобщенные оценки запасов углерода подстилок и почв лесных территорий, приведенные в работе “Углерод в экосистемах лесов и болот России” [14], несколько меньше полученных нами. Так, средний запас с учетом подстилки равен 113 т га^{-1} . Общий суммарный запас углерода в почвах лесных экосистем соответственно 87.5 Гт на площади 771 млн. га.

Наши оценки суммарных запасов органического углерода в лесных почвах России несколько отличаются от приведенных выше, хотя их средние значения находятся в середине диапазона варьирования данных (155.3 т га^{-1}).

Заключение. Предложенная система расчета запасов углерода в почвах лесной зоны, опирающаяся на материалы ГУЛ, позволила оценить здесь запасы углерода в почвах сопряженно с оценками запасов углерода в фитомассе лесных экосистем.

Общий запас углерода в почвах земель лесного фонда для площади 1110.5 млн. га составил по нашим оценкам 172.4 Гт. Вместе с пулом углерода в фитомассе углеродная емкость российских лесов равна 206.7 Гт. Однако эта оценка не включает существенный пул углерода, представленного массой сухостоя и валежа. К сожалению, ни информация ГУЛ, ни разрозненные литературные данные не позволяют пока что получить приемлемые оценки запасов валежа и сухостоя на территории лесного фонда России. Здесь предстоит создание самостоятельных баз данных. Заслуживает внимания и отдельная оценка запасов углерода в слое лесной подстилки (либо торфа) и в минеральной толще.

Приводимые нами оценки запасов почвенного углерода являются предварительными. Они нуждаются в дальнейших уточнениях, причем как за счет пополнения информационной базы данных, так и в направлении дифференциации запасов углерода наземного фитодетрита (лесная подстилка, валеж) и собственно гумуса минеральной толщи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас СССР. М.: ГУГК, 1984. 258 с.
2. Герасимова М.И., Гаврилова И.П., Богданова М.Д., Глазковская М.А. Почвенная карта СНГ, Масштаб 1 : 4 млн. М.: Роскартография, 1995.
3. Добровольский Г.В., Урусевская И.С., Розов Н.Н. Карта почвенно-географического районирования России. М.: ГУГК, 1984.
4. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И. и др. Оценка запасов и годовичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 6. С. 3–10.
5. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И. и др. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики России, 1995. 156 с.
6. Лесной фонд России. Справочник (по учету на 01.01.93). М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 280 с.
7. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Запасы углерода органических соединений в почвах Российской Федерации // Почвоведение. 1995. № 1. С. 21–32.

8. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
9. Почвенная карта СССР. Масштаб 1 : 10 млн. / Сост. Розов Н.Н.; под ред. Герасимова И.П., Ивановой Е.И. М.: ГУГК, 1960.
10. Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР. Авторы: Розов Н.Н., Шашко Д.И., Сотников В.П. и др. М.: Колос, 1975. 21 с.
11. Рожков В.А., Вагнер В.В., Козут Б.М. и др. 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.
12. Титлянова А.А., Булавко Г.И., Мироньчева-Токарева Н.П., Хвощевская М.Ф. Запасы органического углерода в почвах Западной Сибири // Почвоведение. 1994. № 10. С. 49–53.
13. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии: Учение о почвенном гумусе. М.; Л.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
14. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. Алексеева В.А., Бердси Р.А. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, Северо-Восточная лесн. эксперимент. станция Лесной службы США, 1994. 232 с.
15. Burschel P., Kürsten E., Larson C. Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt – eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. München, 1993. 136 p.
16. Eswaran H., Van den Berg E., Reich P. Organic carbon in soils of the world // Soil Sci Soc. Amer. J. 1993. V. 57. № 1. P. 192–194.
17. Isaev A., Korovin G., Zamolodchikov D. et al. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests // Water, Air and Soil Pollution. 1995. V. 82. № 1–2. P. 247–256.
18. Nabuurs G.J., Mohren G.M.J. Carbon in Dutch forest ecosystems // Netherlands J. Agr. Sci. 1993. V. 41. P. 309–326.
19. Schlesinger W.H. Soil organic matter: a source of atmospheric CO₂ // The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle. SCOPE 23. N.Y.: John Wiley and Sons, 1984. P. 111–127.

Distribution of Organic Carbon Reserves in Soils of Russian Forests

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

Carbon reserves of forested (covered and uncovered areas) and unforested lands were evaluated by using the data base on chemical soil properties (over one thousand pits) and distribution of lands of the Russian Federation Forest Fund according to the materials of state forest account. The estimates are given for three latitudinal belts and twelve provincial regions. Calculations were made for ecological regions in Siberia and the Far East and for republics, territories and oblasts in European Russia. The total carbon pool of soils in the Russian Forest Fund (1110.5 million ha) is estimated as 172.4 Gt, that along with carbon of phytomass is 206.7 Gt.