

## МЕТОДИЧЕСКИЕ СТАТЬИ

УДК 630\*182.5

© 1997 г. А.И. УТКИН, Д.Г. ЗАМОЛОДЧИКОВ, Г.Н. КОРОВИН,  
В.В. НЕФЕДЬЕВ, Т.А. ГУЛЬБЕ, Я.И. ГУЛЬБЕ, С.П. ГАМБУРТОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА НАСАЖДЕНИЙ НА ПРОБНЫХ  
ПЛОЩАДЯХ: СРАВНЕНИЕ АЛЛОМЕТРИЧЕСКОГО  
И КОНВЕРСИОННО-ОБЪЕМНОГО МЕТОДОВ\*

По данным лесоустроительных пробных площадей из Вологодской и Волгоградской областей и уравнений регрессии по-деревной аллометрии определены запасы углерода отдельных фракций нескольких десятков насаждений разных лесообразующих пород. С этими, принимаемыми за базовые определениями сравнивали оценки запасов углерода, получаемые при использовании конверсионных коэффициентов (отношений фитомасса/запас стволовой древесины) и некоторых других нормативов. Установлена надежность конверсионно-объемного метода для инвентаризации запасов фитомассы (и углерода), в том числе для совокупностей участков леса (выделов) и отдельных пробных площадей.

*Углерод насаждений, аллометрический и конверсионно-объемный методы, сосна обыкновенная, ель европейская, береза, осина.*

Из-за отсутствия в нашей стране лесоустроительных и иных отраслевых нормативов, регламентирующих учет фитомассы на землях лесного фонда, возникают определенные трудности в характеристике углеродного цикла лесов как на федеральном, так и на региональных уровнях. Обычно в условиях России инвентаризация углерода осуществляется сейчас на основе, с одной стороны, государственных учетов лесов (ГУЛ), представляемой в статистических справочниках [5-7], и обобщений материалов лесоведческих исследований фитомассы и продукции лесных экосистем, с другой стороны. Стыкующим звеном обоих информационных пулов являются "конверсионные коэффициенты" или отношения абсолютно сухой фитомассы ( $Ph$ ,  $t \cdot га^{-1}$ ) к таксационному запасу насаждений ( $M$ ,  $м^3 \cdot га^{-1}$ ).

Метод определения углерода через фитомассу по  $Ph/M$  можно назвать "конверсионно-объемным". Причем  $Ph/M$  рассчитываются по специально составленному алгоритму для разных вариантов дифференциации или интеграции компонентов фитомассы (частей или органов деревьев) для насаждений в целом на площади 1 га. Общие для фитомассы насаждений  $Ph/M$  являются суммой компонентных  $Ph/M$ , получаемых для отдельных частей деревьев, надземной части в целом.

Используя метод  $Ph/M$  и разную степень территориального объединения (расчленения) лесного фонда РФ, получено несколько оценок запасов углерода в фитомассе

\* Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (95-04-11023, 97-04-48005) и ГНТП 18 "Глобальное потепление природной среды и климата" (проект "Изучение лесных экосистем").

лесов на федеральном и более низких уровнях [2, 3, 10, 15]. Тем не менее, остаются вопросы, требующие отдельного обсуждения: 1) можно ли определять запасы углерода на пробных площадях, используя метод  $Ph/M$  [11 и др.]; 2) степень согласия результатов определения запасов углерода по  $Ph/M$  с результатами других альтернативных методов; 3) возможности использования метода по-деревной аллометрии в сочетании с лесоустроительными пробными площадями для инвентаризации запасов углерода в лесонасаждениях.

Цель настоящей статьи – попытка рассмотрения поставленных вопросов. Прежде всего в сравнении конверсионно-объемного метода с по-деревной аллометрией [14], показавшей высокую степень связи массы фракций отдельных деревьев с их размерными показателями, а именно с  $d^2h$  ( $d$  – диаметр ствола на высоте 1,3 м, см;  $h$  – высота дерева, м).

### Объекты и методы

Настоящее исследование в своей первооснове было ориентировано на оценку поглощения  $CO_2$  из атмосферы за счет дополнительного облесения земель в Вологодской и Саратовской областях – пилотный проект RUSAFOR–SAP [3]. Поэтому и по-деревная аллометрия [14], и исходные данные для сравнительного анализа имели ту же географическую привязку. С одним исключением: продукционный потенциал сосновых культур Саратовской обл. характеризовался материалами таксации пробных площадей, заложенных в Волгоградской обл.<sup>1</sup>

Пробные площади закладывались в соответствии с лесоустроительной инструкцией [1] и соблюдением требований отраслевого стандарта [9]. Размеры их составляли 0,1–0,7 га и определялись условием, чтобы было не менее 200 деревьев основного элемента леса. Для каждой из них имелись: перечет деревьев по ступеням толщины, замеры высот, график высот в зависимости от диаметра стволов, обмеры модельных деревьев, перечет подроста и кустарников, а также рассчитанные таксационные показатели: средняя высота и диаметр; абсолютные и относительные полноты; запас растущих и (отдельно) сухостойных деревьев; класс бонитета и др. Из обоих пакетов материалов, полученных от лесоустроительных организаций, были отобраны пробные площади по критериям состава, возраста, классов бонитета насаждений.

По-деревная аллометрия требует достаточно точного выражения показателей аргумента, т.е.  $d_{1,3}$  и  $h$ . Возникло поэтому сомнение в правомерности использования для наших целей значений  $h$ , снимаемых лесоустроителями с графиков, которые были выровнены "от руки". Для проверки методом случайного отбора было взято 6 пробных площадей из Вологодской обл. Высоты модельных деревьев этих площадей были статистически выровнены от диаметров:  $h = f(d_{1,3})$ , с использованием уравнения параболы 2-й степени. Расчетные величины  $h$  для каждой ступени толщины сравнивали затем с такими же величинами, снимаемыми с графиков. Различия в целом для всех 6 пробных площадей оказались незначительными: в среднем 1,6%, при максимуме 5,7%. Поэтому в дальнейшем мы привлекали исключительно данные, снимаемые с графиков высот.

Процедура расчетов запасов углерода в фитомассе насаждений, охарактеризованных пробными площадями, состояла из трех этапов: 1) расчет  $d^2h$  – по средним диаметрам каждой ступени толщины и соответствующих им значений высот на графиках; 2) расчет массы фракций деревьев отдельных ступеней толщины – по уравнениям (1) из работы [14] – и приведение к площади 1 га фитомассы фракций; причем в смешанных насаждениях использовали по-деревные аллометрии для каждой породы, если ее доля в составе была не менее единицы; 3) перерасчет данных фитомассы в

<sup>1</sup> Авторы благодарят начальников Северного государственного предприятия Леспроекта В.В. Корякина и "Воронежлеспроекта" Н.П. Зеленина за предоставленные материалы таксации лесоустроительных пробных площадей.

углерод, используя единые для пород коэффициенты: 0,5 – для ствола, ветвей и корней; 0,45 – для листьев и хвои. Все расчеты выполнялись по алгоритмам единой программы.

Полученные для пробных площадей оценки запасов углерода по фракциям: стволы ( $C_s$ ), ветви ( $C_{br}$ ), корни ( $C_r$ ), листья и хвоя ( $C_l$ ), масса подлеска и подроста условно принимали за базовые. С суммой этих оценок сравнивали результаты, получаемые для тех же пробных площадей другими методами. Последние включали:

1. Отношения  $Ph/M$  для отдельных фракций, полученные из базы данных по биопродуктивности [13] и дифференцированные для трех ландшафтных полос [3, 15]; для Вологодской обл. брали значения  $Ph/M$  для средней полосы; для Волгоградской обл. – для южной, причем как а) в целом для России, так и б) только для лесостепной и степной зон на территории европейской части и Западной Сибири; эти  $Ph/M$  названы соответственно "зональными" и "региональными".

2. Аналогичные коэффициенты, использовавшиеся сотрудниками Института леса СО РАН [10].

3. Полученные В.Ф. Лебковым и Н.Ф. Каплиной [14] уравнения связи надземной фитомассы с запасами и возрастом насаждений сосны и ели для европейской части России.

4. Составленные В.С. Моисеевым и Л.Н. Яновским стандартные при полноте 1,0 таблицы, в том числе и фитомассы, насаждений сосны, ели, березы и осины Ленинградской обл. [8] (таблицы построены по одному входу – средней высоте насаждения).

5. Кроме того, использованы применяющиеся в США аллометрические уравнения с разным уровнем породной интеграции: а) для родов *Picea*, *Vetula* по [16], родов *Populus* и *Pinus* по [17] (условно нами названные США-2); б) с разделением пород только на хвойные и лиственные [17] – (условно США-1). Уравнения из работ [16, 17] предназначены для Новой Англии (северо-восточная часть США).

**Пробные площади насаждений Вологодской области.** Представлены 4 лесообразующими породами, среди которых наибольшая выборка по числу пробных площадей свойственна насаждениям осины.

**Сосновые насаждения** (21 пробная площадь). Объединяют, как правило, сосняки естественного происхождения в диапазоне от молодняков II класса возраста до спелых, но с преобладанием средневозрастных и приспевающих, от I до V классов бонитета, как чистые, так и с примесью ели и березы. Если исключить связанные с влажными типами местопроизрастания насаждения IV класса бонитета, то запасы древостоев сосны колеблются в пределах  $200\text{--}300 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ , повышаясь в единичных случаях, связанных с густотой и возрастом, до  $350\text{--}570 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$  (табл. 1)<sup>1</sup>.

Запасы углерода в фитомассе местных насаждений сосны находятся на уровне  $50\text{--}100 \text{ т С} \cdot \text{га}^{-1}$ , возрастая при максимальных таксационных запасах до  $130\text{--}160 \text{ т С} \cdot \text{га}^{-1}$ . Подлесок и подрост не играют заметной роли в накоплении углерода: их вклад в общий углеродный запас живых растений не более 1–2%, чаще – до 1%. То же касается и отмершей части древостоев: запас углерода сухостойных деревьев обычно составляет 0,2–2,5% от живых растений, в отдельных случаях – до 3,0–3,5%.

Среднее для древостоев всех пробных площадей соотношение углерода [ $\gamma(\pm\sigma)$ , %] между ( $C_s$ ), ( $C_r$ ), ( $C_{br}$ ), ( $C_l$ ) составляет: 70,4 (23,9) : 17,8(5,8) : 8,6(2,9) : 3,2(0,9). Среднее отношение  $C_r/(C_s + C_{br})$  равно 0,226. Светолюбие сосны, следствием которого является хорошее очищение стволов от сучьев, обуславливает стволам и корням приоритетность в накоплении углерода, при незначительном соучастии в этом процессе корневых деревьев.

**Еловые насаждения** (17 пробных площадей), преимущественно смешанные: примесь березы, сосны, реже – осины, ольхи; в значительном возрастном диапазоне

<sup>1</sup> В табл. 1–5 согласно данным пробных площадей знаком (\*) в графе "возраст" отмечены искусственные насаждения (лесные культуры). В тех же таблицах приняты следующие условные сокращения названий древесных пород в составе насаждений: С – сосна, Е – ель, Б – береза, Ос – осина, Ол – ольха.

Таксационные характеристики и аллометрически определенные запасы углерода для сосновых насаждений Вологодской обл.

| Состав  | Возраст, лет | Высота, м | Диаметр, см | Запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> | Густота, шт·га <sup>-1</sup> | Запас углерода, тС·га <sup>-1</sup> |       |       |        |                    |                   |            |
|---------|--------------|-----------|-------------|---|------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------------------|-------------------|------------|
|         |              |           |             |   |                              | стволы                              | ветви | корни | листва | подрост и подлесок | всего в фитомассе | в сухостое |
| 10С     | 30           | 13        | 13          | 178                                     | 1925                         | 32,9                                | 4,1   | 9,4   | 2,3    | 0,0                | 48,7              | 0,0        |
| 10С     | 50           | 18        | 14          | 225                                     | 1390                         | 47,4                                | 5,7   | 12,7  | 2,5    | 0,4                | 68,7              | 1,5        |
| 10С     | 57           | 20        | 16          | 350                                     | 2030                         | 68,1                                | 8,2   | 18,2  | 3,6    | 0,1                | 98,2              | 2,8        |
| 10С     | 57           | 17        | 16          | 278                                     | 1150                         | 55,4                                | 6,6   | 14,4  | 2,5    | 0,3                | 79,3              | 2,0        |
| 7С20с1Б | 60           | 23        | 20          | 398                                     | 1379                         | 89,5                                | 11,8  | 22,0  | 3,4    | 2,0                | 128,6             | 2,1        |
| 10С     | 61           | 16        | 14          | 208                                     | 1464                         | 41,7                                | 5,0   | 11,1  | 2,2    | 0,7                | 60,8              | 0,1        |
| 9С1Б    | 65           | 26        | 24          | 276                                     | 570                          | 57,8                                | 7,0   | 13,7  | 2,0    | 1,8                | 82,3              | 0,6        |
| 9С1Е    | 65           | 19        | 18          | 287                                     | 1115                         | 59,0                                | 7,2   | 16,0  | 3,2    | 1,8                | 87,3              | 0,9        |
| 9С1Б    | 65           | 23        | 22          | 263                                     | 700                          | 56,1                                | 6,7   | 13,4  | 2,0    | 0,1                | 78,4              | 1,5        |
| 10С     | 67           | 14        | 14          | 149                                     | 1388                         | 31,0                                | 3,8   | 8,6   | 1,9    | 0,0                | 45,2              | 0,8        |
| 7С3Е    | 70           | 20        | 22          | 303                                     | 1025                         | 63,4                                | 8,1   | 18,1  | 4,0    | 0,4                | 94,0              | 0,3        |
| 9С1Б    | 70           | 23        | 24          | 293                                     | 750                          | 66,3                                | 8,0   | 16,1  | 2,4    | 0,3                | 93,2              | 3,3        |
| 9С1Б    | 70           | 20        | 20          | 296                                     | 1024                         | 63,0                                | 7,8   | 15,7  | 2,7    | 0,8                | 89,8              | 1,6        |
| 9С1Б    | 70           | 22        | 20          | 266                                     | 867                          | 55,6                                | 6,8   | 13,2  | 2,1    | 0,4                | 78,1              | 2,9        |
| 10С     | 72           | 20        | 18          | 311                                     | 1300                         | 63,8                                | 7,7   | 16,5  | 2,9    | 1,3                | 92,2              | 2,4        |
| 9С1Б    | 75           | 16        | 18          | 224                                     | 1526                         | 55,3                                | 6,6   | 12,8  | 2,3    | 0,0                | 76,9              | 2,5        |
| 9С1Б    | 75           | 22        | 22          | 361                                     | 894                          | 74,4                                | 9,3   | 18,0  | 2,9    | 0,1                | 104,7             | 2,8        |
| 6С2Е2Б  | 80           | 16        | 18          | 196                                     | 1180                         | 51,6                                | 6,5   | 12,2  | 2,6    | 0,6                | 73,5              | 0,6        |
| 8С1Е1Б  | 80           | 15        | 18          | 149                                     | 920                          | 35,7                                | 4,4   | 8,8   | 1,8    | 1,6                | 52,2              | 0,0        |
| 10С     | 115          | 16        | 21          | 145                                     | 585                          | 27,2                                | 3,3   | 7,3   | 1,4    | 1,7                | 41,0              | 0,6        |
| 10С     | 115          | 27        | 25          | 573                                     | 876                          | 111,3                               | 13,0  | 27,4  | 3,9    | 1,5                | 157,1             | 1,7        |

Таксационные характеристики и аллометрически определенные запасы углерода для еловых насаждений Вологодской обл.

| Состав     | Возраст, лет | Высота, м | Диаметр, см | Запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> | Густота, шт·га <sup>-1</sup> | Запас углерода, тС·га <sup>-1</sup> |       |       |        |                    |                   |            |
|------------|--------------|-----------|-------------|---|------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------------------|-------------------|------------|
|            |              |           |             |   |                              | стволы                              | ветви | корни | листва | подрост и подлесок | всего в фитомассе | в сухостое |
| 7ЕЗС       | 50           | 24        | 13,3        | 279                                     | 1721                         | 54,9                                | 7,3   | 18,2  | 5,3    | 0,2                | 85,9              | 0,6        |
| 6Е1С2Б1Ос  | 60           | 20        | 18          | 315                                     | 2253                         | 86,5                                | 12,3  | 24,1  | 6,2    | 0,7                | 129,9             | 3,2        |
| 9Е1С       | 60           | 20        | 21          | 323                                     | 917                          | 65,8                                | 10,3  | 21,5  | 5,7    | 0,2                | 103,6             | 1,2        |
| 8Е1Б1Ос    | 65           | 18        | 18,0        | 267                                     | 1076                         | 60,0                                | 9,0   | 18,7  | 5,0    | 2,2                | 94,8              | 1,6        |
| 8Е1С1Б     | 65           | 25        | 22,9        | 321                                     | 770                          | 66,8                                | 10,5  | 20,7  | 5,3    | 0,0                | 103,4             | 0,6        |
| 9Е1С       | 70           | 18        | 18          | 230                                     | 1026                         | 47,6                                | 7,1   | 16,0  | 4,7    | 0,4                | 75,7              | 0,0        |
| 9Е1Б       | 72           | 18        | 16          | 341                                     | 1625                         | 76,9                                | 11,2  | 24,6  | 7,0    | 0,3                | 120,1             | 0,0        |
| 7Е2С1Б     | 75           | 22        | 20,8        | 359                                     | 873                          | 76,1                                | 11,2  | 22,5  | 5,6    | 0,1                | 115,5             | 0,3        |
| 10Е        | 81           | 22        | 23          | 332                                     | 659                          | 61,8                                | 9,8   | 20,7  | 5,8    | 0,6                | 98,5              | 0,4        |
| 8Е2Б       | 87           | 22        | 23          | 371                                     | 857                          | 79,7                                | 12,5  | 23,9  | 6,3    | 0,1                | 122,5             | 3,3        |
| 9Е1Б       | 93           | 23        | 21          | 413                                     | 1120                         | 86,5                                | 13,2  | 27,3  | 7,6    | 1,4                | 136,1             | 4,1        |
| 9Е1Б       | 95           | 23        | 20          | 322                                     | 823                          | 65,5                                | 10,5  | 21,0  | 5,7    | 0,9                | 103,6             | 6,3        |
| 5Е2Б2Ос1Ол | 107          | 21        | 26          | 300                                     | 498                          | 59,0                                | 9,5   | 16,5  | 3,3    | 0,7                | 88,9              | 1,0        |
| 5Е2С2Б1Ос  | 125          | 24        | 26          | 483                                     | 1445                         | 105,7                               | 15,8  | 31,0  | 7,5    | 0,2                | 160,3             | 5,2        |
| 6Е1С2Б1Ос  | 130          | 25        | 24          | 451                                     | 920                          | 92,6                                | 14,3  | 26,9  | 6,4    | 0,9                | 141,0             | 1,9        |
| 7Е2Б1С     | 155          | 19        | 18,1        | 222                                     | 984                          | 51,0                                | 7,4   | 15,3  | 4,2    | 0,0                | 77,9              | 7,4        |
| 10Е        | 160          | 20        | 21          | 320                                     | 940                          | 73,9                                | 11,5  | 25,0  | 7,2    | 0,0                | 117,6             | 1,3        |

(50–160 лет); при преобладании II и III классов бонитета, но имеются и участки ельников Ia, I и IV бонитетов; запасы находятся в пределах  $300\text{--}400 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ , преимущественно за счет густоты, повышаясь в более старых насаждениях до  $450\text{--}480 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$  (табл. 2).

Запас углерода в фитомассе одинаковых с сосняками по возрасту ельников на 20–30% больше. Вклад подроста и подлеска в пул углерода фитомассы такой же незначительный, как и в сосняках. Углерод сухостойных деревьев большей частью находится в пределах 0,5–3,0% от общего запаса углерода в фитомассе, увеличиваясь в наиболее старых насаждениях за счет отпада осины и ели до 6–10%.

В накоплении углерода фракции крон теневыносливой ели играют несколько большую роль, чем кроны сосны. Последнее проявляется и в процентном распределении запаса углерода по фракциям ( $C_s$ ) : ( $C_r$ ) : ( $C_{br}$ ) : ( $C_l$ ), выражающееся как 64,9(14,3) : 20,0(3,9) : 9,8(2,2) : 5,3(1,1), при отношении  $C_r/(C_s + C_{br})$ , равном 0,268.

С позиций углеродного цикла ель имеет преимущество перед сосной как за счет увеличения сроков консервации поглощенного  $\text{CO}_2$  в кронах, так и вследствие замедленных темпов самоизреживания древостоев, ослабляющих скорость потока углерода из фитомассы в детрит.

*Лиственные насаждения* (15 пробных площадей березняков и 4 пробных площади осинников) располагаются в диапазоне возрастов от средневозрастных до спелых и в своем большинстве более производительны (на один-два класса бонитета), чем сосняки и ельники; возможно, из-за захвата березой бывших сельскохозяйственных земель. По густоте и запасам насаждения березы находятся ближе к ельникам, чем к соснякам (табл. 3). Но участки леса с запасами  $\geq 400 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$  среди березняков и осинников встречаются чаще, чем в хвойных насаждениях. Осинники, исходя из данных имеющихся пробных площадей, по таксационным характеристикам близки к березнякам.

Запасы углерода березняков соответствуют уровню еловых насаждений, причем достижение такого уровня происходит на 10–20 лет раньше, что и определяет их тип продукционной стратегии [12]. По сравнению с сосняками березняки аккумулируют углерод на 20–30% больше. Подрост и подлесок не участвуют практически в этом процессе. Сухостой удерживает углерод в тех же размерах, что и хвойные насаждения, повышаясь до 3–4% от углерода фитомассы в древостоях с примесью осины в составе.

Соотношение ( $C_s$ ) : ( $C_r$ ) : ( $C_{br}$ ) : ( $C_l$ ) равно соответственно: для березы 74,2(19,5) : 13,7(5,1) : 10,2(3,4) : 1,8(0,5), для осины 69,4(35,3) : 18,4(9,2) : 10,0(5,7) : 2,2(1,5). Отношения  $C_r/(C_s + C_{br})$  – составляли у них 0,162 и 0,231.

Как и в сосняках, самыми углеродоаккумулирующими морфоструктурами в березняках выступают стволы и корни. У осины кроны более углеродоемкие. В возрастном периоде до 70 лет березнякам свойственна более активная аккумуляция  $\text{CO}_2$ , поглощаемого при фотосинтезе.

*Пробные площади насаждений Волгоградской области.* Среди лесостроительных пробных площадей абсолютно преобладали материалы для искусственных насаждений сосны, что отвечает и структуре лесного фонда в Нижнем Поволжье.

*Сосновые молодняки* (25 пробных площадей, заложенных большей частью в насаждениях II класса возраста). Преобладают молодняки I и II классов бонитета, изредка III класса (табл. 4). Из-за различий в густоте, запасы насаждений заметно варьируют. При этом сохраняется следующая тенденция их изменения: к концу I класса возраста запасы выходят на уровень  $60\text{--}90 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ , к 30 годам, в период интенсивного самоизреживания, удерживаются в пределах  $120\text{--}180 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ . Отмечаются отдельные насаждения с запасами более  $200 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ . Они скорее всего характеризуют участки пробных площадей небольшого размера, но не площади лесных участков в целом.

Запасы углерода в фитомассе молодняков I класса возраста не превышают  $10 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ , II класса возраста варьируют обычно в пределах  $20\text{--}50 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ . Подрост, подлесок и сухостой практически не принимают участие в консервации углерода, но в этом лесодефицитном районе отмершие деревья могли изыматься из леса.

Таксационные характеристики и аллометрически определенные запасы углерода для лиственных насаждений Вологодской обл.

| Состав    | Возраст, лет | Высота, м | Диаметр, см | Запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> | Густота, шт·га <sup>-1</sup> | Запас углерода, тС·га <sup>-1</sup> |       |       |        |                    |                   |            |
|-----------|--------------|-----------|-------------|---|------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------------------|-------------------|------------|
|           |              |           |             |   |                              | стволы                              | ветви | корни | листва | подрост и подлесок | всего в фитомассе | в сухостое |
| 10Б       | 28           | 13        | 10          | 97                                      | 2250                         | 54,4                                | 6,5   | 7,7   | 1,3    | 0,0                | 69,9              | 0,0        |
| 10Б       | 30           | 15        | 10          | 139                                     | 2830                         | 68,1                                | 8,2   | 10,1  | 1,6    | 1,4                | 89,4              | 0,0        |
| 9Б1Ос     | 30           | 13        | 8           | 100                                     | 3290                         | 61,4                                | 7,0   | 8,6   | 1,5    | 0,8                | 79,2              | 0,8        |
| 9Б1Ос     | 31           | 14        | 9           | 130                                     | 2920                         | 60,9                                | 7,1   | 8,6   | 1,5    | 1,2                | 79,2              | 0,5        |
| 6Б2Ос1Е1С | 40           | 17        | 14          | 158                                     | 1348                         | 45,3                                | 6,0   | 8,8   | 1,4    | 0,1                | 61,5              | 0,0        |
| 6Б4Ос     | 40           | 19        | 14          | 275                                     | 1817                         | 76,7                                | 10,5  | 15,1  | 1,8    | 1,2                | 105,3             | 4,0        |
| 7Б2Ос1Е   | 43           | 19        | 14          | 224                                     | 1495                         | 67,9                                | 9,3   | 12,6  | 1,9    | 0,4                | 92,1              | 0,9        |
| 8Б2Ос     | 45           | 24        | 18          | 286                                     | 1255                         | 86,4                                | 12,5  | 15,4  | 1,9    | 0,0                | 116,2             | 0,8        |
| 5Б5Ос     | 50           | 22        | 20          | 402                                     | 1425                         | 101,0                               | 14,6  | 21,1  | 2,1    | 0,0                | 138,7             | 1,3        |
| 6Б4Ос     | 50           | 24        | 20          | 403                                     | 1099                         | 101,1                               | 15,3  | 20,3  | 2,1    | 0,0                | 138,8             | 0,6        |
| 5Б4С1Ос   | 61           | 21        | 20          | 297                                     | 1010                         | 73,2                                | 10,2  | 14,9  | 2,1    | 0,2                | 100,6             | 1,7        |
| 7Б3Ос     | 61           | 24        | 18          | 468                                     | 1532                         | 119,5                               | 17,6  | 24,8  | 2,7    | 2,9                | 167,5             | 0,0        |
| 9Б1Е      | 62           | 17        | 15          | 184                                     | 1304                         | 60,4                                | 8,2   | 9,8   | 1,6    | 0,1                | 80,1              | 2,7        |
| 7Б1Ос2Е   | 70           | 25        | 20          | 346                                     | 1137                         | 84,8                                | 13,0  | 17,7  | 3,1    | 0,2                | 118,8             | 0,4        |
| 8Б2Ос     | 70           | 25        | 20          | 327                                     | 967                          | 80,0                                | 11,7  | 15,1  | 1,7    | 1,9                | 110,6             | 1,4        |
| 9Ос1Б     | 26           | 14        | 10          | 112                                     | 2011                         | 26,1                                | 3,3   | 8,3   | 0,9    | 0,0                | 38,7              | 0,0        |
| 6Ос4Б     | 35           | 16        | 12          | 246                                     | 3018                         | 67,2                                | 8,7   | 16,0  | 1,9    | 0,3                | 94,1              | 3,5        |
| 7Ос2Б1Е   | 60           | 18        | 20          | 454                                     | 1633                         | 110,0                               | 16,1  | 30,9  | 4,8    | 0,6                | 162,4             | 0,4        |
| 10Ос      | 77           | 31        | 33          | 493                                     | 487                          | 106,7                               | 16,5  | 26,8  | 2,1    | 0,2                | 152,3             | 1,3        |

Таксационные характеристики и аллометрически определенные запасы углерода для сосновых молодняков Волгоградской обл.

| Состав | Возраст, лет | Высота, м | Диаметр, см | Запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> | Густота, шт·га <sup>-1</sup> | Запас углерода, тС·га <sup>-1</sup> |       |       |        |                     |                   |            |
|--------|--------------|-----------|-------------|---|------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|--------|---------------------|-------------------|------------|
|        |              |           |             |   |                              | стволы                              | ветви | корни | листва | подрост и подросток | всего в фитомассе | в сухостое |
| 10С    | 8*           | 4         | 4           | 12                                      | 3112                         | 1,9                                 | 0,1   | 0,4   | 0,2    | 0,0                 | 2,6               | 0,0        |
| 10С    | 15           | 4         | 4           | 25                                      | 7168                         | 4,6                                 | 0,2   | 1,0   | 0,4    | 0,0                 | 6,2               | 0,0        |
| 10С    | 17*          | 4,8       | 4,5         | 0                                       | 6380                         | 6,0                                 | 0,2   | 1,3   | 0,5    | 0,0                 | 8,1               | 0,0        |
| 10С    | 20           | 9,2       | 10,4        | 79                                      | 2010                         | 17,2                                | 1,0   | 3,8   | 1,1    | 0,0                 | 23,2              | 0,0        |
| 10С    | 21*          | 8         | 12,8        | 57                                      | 1000                         | 11,2                                | 0,7   | 2,5   | 0,7    | 0,4                 | 15,5              | 0,1        |
| 10С    | 22           | 9,2       | 10,6        | 89                                      | 2110                         | 19,3                                | 1,2   | 4,3   | 1,2    | 0,0                 | 25,9              | 0,0        |
| 10С    | 24*          | 8,6       | 11,5        | 86                                      | 1760                         | 17,3                                | 1,1   | 3,9   | 1,0    | 0,0                 | 23,3              | 0,1        |
| 10С    | 26*          | 11        | 8,8         | 57                                      | 1640                         | 13,3                                | 0,9   | 3,0   | 0,8    | 0,0                 | 17,9              | 0,1        |
| 10С    | 27           | 10        | 12          | 84                                      | 1407                         | 17,0                                | 1,1   | 3,8   | 1,0    | 0,0                 | 22,9              | 0,0        |
| 10С    | 31*          | 12        | 17,6        | 101                                     | 686                          | 21,0                                | 1,8   | 4,8   | 1,1    | 0,0                 | 28,7              | 0,0        |
| 10С    | 31           | 10        | 12          | 98                                      | 1807                         | 20,2                                | 1,3   | 4,5   | 1,2    | 0,0                 | 27,2              | 0,0        |
| 10С    | 31           | 13        | 14,2        | 219                                     | 1992                         | 44,5                                | 3,4   | 10,1  | 2,4    | 0,0                 | 60,4              | 0,2        |
| 10С    | 31           | 10        | 12          | 57                                      | 988                          | 12,2                                | 0,8   | 2,7   | 0,7    | 0,0                 | 16,5              | 0,0        |
| 10С    | 32*          | 12        | 17,5        | 94                                      | 645                          | 19,8                                | 1,7   | 4,5   | 1,0    | 0,2                 | 27,2              | 0,2        |
| 10С    | 32*          | 13        | 20,9        | 238                                     | 1100                         | 49,9                                | 4,7   | 11,5  | 2,4    | 0,0                 | 68,4              | 0,3        |
| 10С    | 32*          | 13        | 18,9        | 141                                     | 786                          | 29,7                                | 2,7   | 6,8   | 1,5    | 0,0                 | 40,6              | 0,1        |
| 10С    | 32*          | 11        | 14          | 176                                     | 1987                         | 36,2                                | 2,6   | 8,1   | 2,0    | 0,0                 | 48,9              | 0,1        |
| 10С    | 32*          | 12        | 15          | 92                                      | 858                          | 18,8                                | 1,4   | 4,2   | 1,0    | 0,0                 | 25,5              | 0,0        |
| 10С    | 32*          | 11        | 17,3        | 100                                     | 812                          | 20,5                                | 1,6   | 4,6   | 1,1    | 0,0                 | 27,8              | 0,0        |
| 10С    | 32*          | 12        | 14          | 58                                      | 602                          | 12,3                                | 0,9   | 2,8   | 0,7    | 0,2                 | 16,9              | 0,0        |
| 10С    | 32*          | 13        | 16,6        | 119                                     | 816                          | 25,1                                | 2,1   | 5,7   | 1,3    | 0,0                 | 34,1              | 0,0        |
| 10С    | 33*          | 14        | 15,4        | 184                                     | 1350                         | 38,2                                | 3,2   | 8,7   | 2,0    | 0,0                 | 52,1              | 0,1        |
| 10С    | 33*          | 14        | 14,6        | 148                                     | 1280                         | 31,8                                | 2,5   | 7,2   | 1,7    | 0,2                 | 43,5              | 0,4        |
| 10С    | 35*          | 11        | 15          | 110                                     | 1017                         | 22,9                                | 1,7   | 5,2   | 1,2    | 0,0                 | 31,0              | 0,0        |
| 10С    | 35*          | 12        | 14          | 116                                     | 1067                         | 25,1                                | 1,9   | 5,7   | 1,3    | 0,0                 | 34,1              | 0,0        |



Таксационные характеристики и аллометрически определенные запасы углерода для сосновых (в возрасте 41–89 лет) и лиственных насаждений Волгоградской обл.

| Состав | Возраст, лет | Высота, м | Диаметр, см | Запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> | Густота, шт·га <sup>-1</sup> | Запас углерода, тС·га <sup>-1</sup> |       |       |        |                    |                   |            |
|--------|--------------|-----------|-------------|---|------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------------------|-------------------|------------|
|        |              |           |             |   |                              | стволы                              | ветви | корни | листва | подрост и подлесок | всего в фитомассе | в сухостое |
| 10С    | 41*          | 13        | 14          | 239                                     | 2280                         | 49,6                                | 3,9   | 11,2  | 2,6    | 0,0                | 67,3              | 0,2        |
| 10С    | 42*          | 17        | 13,9        | 294                                     | 2260                         | 62,4                                | 5,2   | 14,2  | 3,2    | 0,0                | 85,1              | 4,1        |
| 10С    | 55*          | 16        | 22          | 245                                     | 812                          | 50,4                                | 5,1   | 11,7  | 2,3    | 0,0                | 69,5              | 0,1        |
| 10С    | 62*          | 17        | 21,2        | 259                                     | 865                          | 53,3                                | 5,5   | 12,3  | 2,4    | 0,0                | 73,5              | 0,2        |
| 10С    | 66*          | 22        | 27,9        | 257                                     | 412                          | 54,6                                | 6,7   | 12,9  | 2,2    | 0,0                | 76,5              | 0,0        |
| 10С    | 68*          | 16        | 18          | 230                                     | 1400                         | 59,3                                | 5,4   | 13,6  | 2,9    | 0,0                | 81,3              | 0,0        |
| 10С    | 74*          | 25        | 29          | 530                                     | 705                          | 115,8                               | 15,4  | 27,5  | 4,6    | 0,1                | 163,3             | 0,1        |
| 10С    | 77*          | 19        | 21,6        | 295                                     | 788                          | 63,1                                | 6,8   | 14,7  | 2,8    | 0,0                | 87,4              | 0,0        |
| 10С    | 78*          | 22        | 24          | 494                                     | 1098                         | 108,1                               | 12,6  | 25,4  | 4,6    | 0,0                | 150,7             | 0,3        |
| 10С    | 82*          | 17        | 21,4        | 216                                     | 773                          | 44,7                                | 4,4   | 10,3  | 2,1    | 1,2                | 62,7              | 1,1        |
| 10С    | 87*          | 20        | 28,7        | 308                                     | 490                          | 64,1                                | 8,1   | 15,2  | 2,6    | 0,0                | 90,0              | 0,0        |
| 10С    | 88*          | 15        | 24,3        | 139                                     | 412                          | 29,5                                | 3,1   | 6,8   | 1,3    | 0,0                | 40,7              | 0,1        |
| 10С    | 89*          | 22        | 24,2        | 444                                     | 930                          | 95,1                                | 11,2  | 22,3  | 4,0    | 0,0                | 132,7             | 0,4        |
| 10Б    | 45           | 15        | 12          | 152                                     | 1680                         | 56,7                                | 7,1   | 8,2   | 1,3    | 0,0                | 73,3              | 0,0        |
| 100с   | 23           | 16        | 14          | 238                                     | 1893                         | 49,4                                | 6,6   | 15,9  | 1,5    | 0,1                | 73,4              | 3,0        |
| 100с   | 35           | 26        | 28          | 620                                     | 980                          | 132,3                               | 19,6  | 34,8  | 2,4    | 0,2                | 189,3             | 7,2        |
| 100с   | 45           | 18        | 21,1        | 197                                     | 864                          | 48,0                                | 6,7   | 13,8  | 1,1    | 0,0                | 69,7              | 1,9        |
| 90с1Б  | 37           | 24        | 21,1        | 344                                     | 967                          | 77,1                                | 11,1  | 20,3  | 1,6    | 0,0                | 110,0             | 4,8        |
| 90с1В  | 35           | 20        | 19,9        | 313                                     | 1290                         | 61,7                                | 8,6   | 18,4  | 1,5    | 0,0                | 90,1              | 0,8        |

Соотношение  $(C_s) : (C_r) : (C_{br}) : (C_l)$  выражается как 73,7(40,6) : 16,7(9,3) : 5,6(3,7) : 4,0(1,9), а отношение  $C_r / (C_s + C_{br})$  равно 0,209. Все это свидетельствует о том, что в сосновых молодняках из аридных районов функции длительного аккумуляирования ослаблены. Большая доля углерода, поглощаемого  $CO_2$  при фотосинтезе, идет на формирование крон. Интенсивное отмирание нижних мутовок сосны в период самоизреживания молодняков сочетается с отпадом большого числа деревьев. Поэтому фазу чащи в молодняках сосны с позиций углеродного цикла следует считать скорее стадией стабилизации запасов углерода, чем его накопления.

*Средневозрастные, припевающие и спелые насаждения сосны* (13 пробных площадей) и *лиственных пород* (6 пробных площадей). Сосняки представлены также в основном искусственными высокопроизводительными насаждениями (I, II классы бонитета), но с возрастом увеличивается представленность насаждений III класса бонитета и даже V класса. Запасы сосняков варьируют в пределах 230–300  $m^3 \cdot га^{-1}$ , в отдельных случаях до 440–530  $m^3 \cdot га^{-1}$  (табл. 5).

С большими таксационными запасами связано и аккумуляирование углерода в пределах 130–160  $тС \cdot га^{-1}$ , тогда как в основной группе не более 40–90  $тС \cdot га^{-1}$ . Подрост и подлесок не имеют заметной роли в аккумулятивных процессах углерода. То же относится и к сухостойным деревьям, хотя запас углерода последних может иногда достигать 5% от углерода живых древесных растений.

Продукционная стратегия сосны из аридных районов ничем не отличается от сосновых насаждений Вологодской обл.: преимущественное аккумуляирование углерода в стволах и корнях, хотя углерод корней по сравнению с молодняками II класса возраста увеличивается незначительно.

Соотношение  $(C_s) : (C_r) : (C_{br}) : (C_l)$  для сосновых насаждений составляет: 72,1(28,0) : 16,8(6,7) : 9,9(5,0) : 1,0(1,1). Отношение корней  $(C_r)$  к  $(C_s + C_{br})$  то же, что и в молодняках (0,29).

Лиственные насаждения (5 осинников и 1 березняк) в одинаковом возрасте с сосняками имеют с позиций углеродного цикла некоторое преимущество. В осинниках увеличивается доля углерода в сухостойной части насаждения (1,0–4,0% от живых деревьев и кустарников).

Соотношение  $(C_s) : (C_r) : (C_{br}) : (C_l)$  насаждений лиственных пород выражается следующими величинами: 70,2(31,6) : 18,4(8,9) : 9,9(5,0) : 1,6(0,4), а отношение  $(C_r) / (C_s + C_{br})$  равно 0,230.

## Результаты и обсуждение

*Сравнение полученных разными методами оценок запасов углерода в насаждениях.* Принятые за базовые оценки запаса углерода в насаждениях, полученные посредством индивидуальной для деревьев отдельных ступеней толщины аллометрией (табл. 1–5), сравнивали с определениями, полученными для тех же пробных площадей, но и иными методами. Сравнение проводили графическим путем и лишь для общих запасов углерода, т.е. без по-фракционного сопоставления, с исключением сухостойной части древостоев.

*Насаждения из Вологодской обл.* Для сосны (рис. 1, а) аллометрические оценки в диапазоне 40–100  $тС \cdot га^{-1}$  хорошо совпадают с оценками по  $Ph/M$  из работ [3, 15] и [10] и в этом интервале запасов углерода оба метода можно считать адекватными. При больших величинах аллометрических оценок, определения по  $Ph/M$  отклоняются от базовых сначала в сторону уменьшения, затем – увеличения. Для оценок полосы скопления точек имеют некоторую зигзагообразную форму, которая просматривается и в интервале оценок 50–80  $тС \cdot га^{-1}$ .

Можно считать, что для анализируемых пробных площадей сосняков коэффициенты  $Ph/M$ , используемые для определения запасов углерода в лесах России в работах [3, 15] и [10], равноценны и должны давать близкие общие результаты. Использование

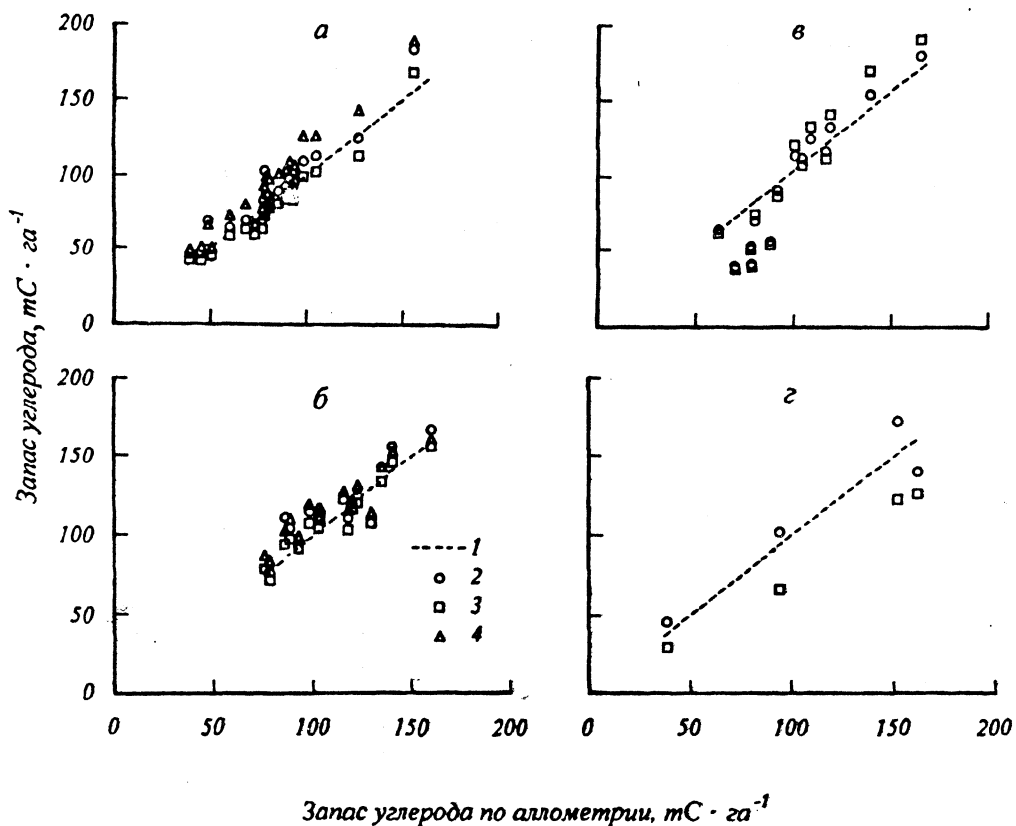


Рис. 1. Связь запасов углерода, определенных аллометрическим и альтернативным методами, для пробных площадей: сосны (а), ели (б), березы (в), осины (г) из Вологодской обл.: 1 – по аллометрии [14]; 2 – по  $Ph/M$  из работ [3, 15]; 3 – по  $Ph/M$  из работы [10]; 4 – по уравнениям из работы [4]

региональных коэффициентов  $Ph/M$  повлечет скорее лишь некоторые уточнения местного значения, включая, возможно, и пофракционное распределение запасов углерода.

Иной характер свойствен сложной линейной модели В.Ф. Лебкова и Н.Ф. Каплиной [4]. Во всем диапазоне аллометрических оценок рассчитанные по [4] значения дают завышения на 10–15%. Вряд ли можно рекомендовать этот метод для инвентаризации запасов углерода в сосновых лесах европейской части России.

Для насаждений ели (рис. 1, б) обнаруживаются разнотипные изменения запасов углерода по отношению к оценкам аллометрического метода. Примерно 40% определений совпадают с аллометрическими, 10% имеют заниженные значения, около половины завышают оценки аллометрии. Наибольшее завышение (5–10%) дают  $Ph/M$  из работ [3, 15]. Два других используемых метода оценки:  $Ph/M$  из [10] и модель квадратической параболы из [4], хотя и имеют положительные отклонения, но незначительные.

Причины завышения результатов по  $Ph/M$  из работ [3, 15] остаются неясными. Более высокая плотность древесины у ели европейского Севера, возможно, вызвала сдвиг значений  $Ph/M$  из-за большей фитомассы на единицу объема. Могла сказаться и ббльшая доля в выборках для  $Ph/M$  смешанных с березой еловых насаждений для европейской части России.

У березы (рис. 1, в) конверсионно-объемные оценки двух исследовательских групп [3, 15] и [10] имеют сходный характер изменений в диапазоне оценок аллометрическим методом: до 100 тС · га<sup>-1</sup> – занижение, после – завышение. Притом оценки по  $Ph/M$  из [3, 15] выделяются меньшими отклонениями, чем из [10].

Для насаждений осины (рис. 1, г), представленных малочисленной выборкой (4 пробные площади), результаты следующие: близость к аллометрическим оценкам по  $Ph/M$

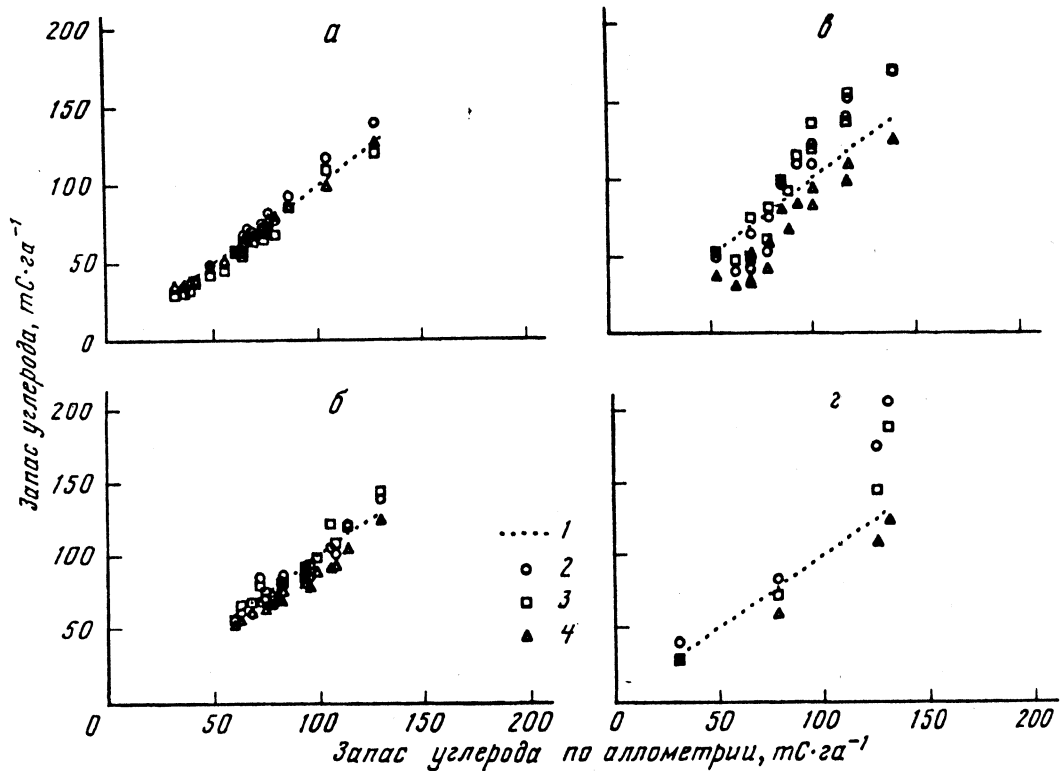


Рис. 2. Связь запасов углерода, определенных аллометрическим и альтернативными методами для надземной части древостоев на пробных площадях: сосны (а), ели (б), березы (в), осины (г) из Вологодской обл.: 1 – по аллометрии [14]; 2 – то же, но для США с разделением только на хвойные и лиственные породы: США-1; по [17]; 3 – то же, но для США по ботаническим родам древесных пород: США-2; по [16, 17]; 4 – по таблицам из работы [8]

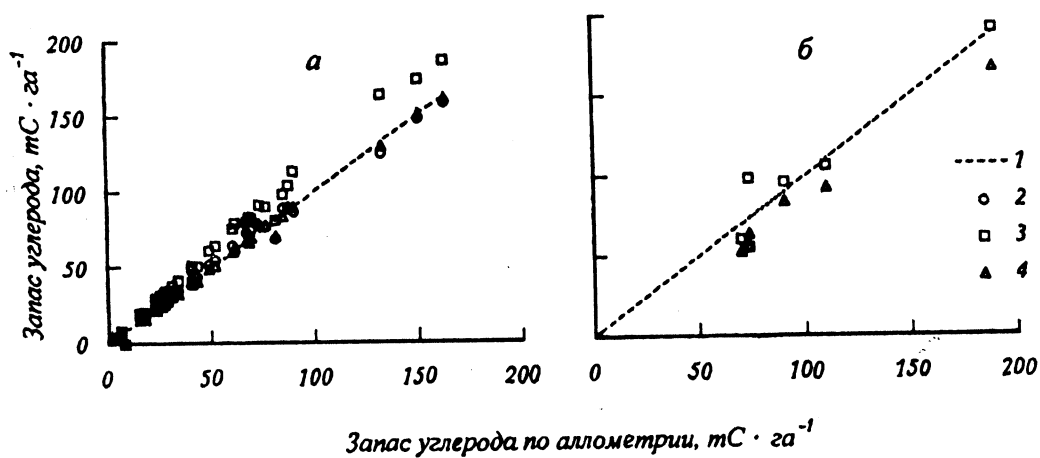


Рис. 3. Связь запасов углерода, определенных аллометрическим и альтернативными методами, для пробных площадей: сосны (а) и лиственных пород (б) из Волгоградской обл.: 1 – по аллометрии [14]; 2 – по  $Ph/M$  региональным (настоящая статья); 3 – по  $Ph/M$  зональным из работ [3, 15]; 4 – по  $Ph/M$  региональным из работы [10]

из работ [3, 15] и занижение оценок по  $Ph/M$ , используем сотрудниками Института леса СО РАН [10].

Дополнительно сравнивали оценки запасов углерода в надземной части насаждений, т.е. без корней, используя таблицы В.С. Моисеева и Л.Н. Яновского [8] и уравнения для лесобразующих пород США на уровне родов деревьев – (США-2) [16, 17] и только для двух групп: хвойных и лиственных – США-1 [17].

Получено, что для сосны все три метода дают результаты, почти совпадающие

с аллометрическими оценками, различия не более 5% (рис. 2, а). У ели отмечается различие оценок, полученных тремя способами, по отношению к аллометрической (рис. 2, б). При этом меньшие отклонения в сторону завышения (2–5%) свойственны, как ни странно, варианту США-2. Тогда, как родовые аллометрии США-1 занижают результаты на 5–10%. Таблицы из работы [8] дают систематические, хотя и незначительные (2–6%) занижения от оценок по аллометрии.

В еще большей мере расхождение оценок обнаруживается для насаждений березы (рис. 2, в): зона рассеивания оценок по аллометрии для США-1 и США-2 пересекает базовую линию на уровне  $\sim 100 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1}$ , ниже которой оценки бывают на 15–30% занижены, после перехода – на 15–20% выше. Аллометрии для родов *Betula* (США-2) дают меньше отклонения, чем для лиственных пород в целом. Определения по [8] остаются устойчиво заниженными (15–20% при запасах до  $100 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1}$ , 5–10% при более высоких запасах). К базовой линии аллометрии определения по [8] приближаются лишь при максимальных аллометрических оценках.

Для осины (рис. 2, г) более или менее удовлетворительные результаты дают уравнения из США, но только для предельной оценки по аллометрии ( $140 \text{ тС} \cdot \text{га}^{-1}$ ). На этом уровне оценки по [16, 17] круто возрастают (+20–60%), подтверждая более высокую продуктивность североамериканских тополей по сравнению с российской осиной. Таблицы из работы [8] дают примерно такое же занижение результатов (до 10–15%), что и для березы.

*Насаждения из Волгоградской обл.* Для сосняков с базовыми сопоставляли результаты, получаемые методом  $Ph/M$  для южной ландшафтной полосы из [3, 15] и для сосняков южнороссийского района России в целом из [10]. По сравнению с базовыми оценками первые давали устойчивое завышение (10–25%), тогда как вторые – хорошее совпадение (рис. 3, а). Зональный коэффициент  $Ph/M$  из работ [3, 15] был затем откорректирован. Из выборки его расчетов для южной полосы были исключены все сосняки естественного происхождения и оставлены лишь участки лесных культур, имеющиеся в базе данных [13] для южной части бывш. СССР и для Западной Сибири. Для региональных  $Ph/M$  по общей фитомассе молодняков, средневозрастных, приспевающих и спелых насаждений по сравнению с зональными  $Ph/M$  среднее содержание углерода в  $1 \text{ м}^3$  запаса уменьшилось соответственно на 72, 28, 46 и 64 кг. Новый "региональный" коэффициент  $Ph/M$  по общей фитомассе дал оценки, практически одинаковые с аллометрическими.

Для лиственных пород определения запасов углерода по  $Ph/M$  из работ [3, 15] и [10] оказались почти одинаковыми, давая небольшие (в среднем на 5%) занижения результатов от аллометрических оценок.

**Оценка разных методов определения запасов углерода в насаждениях.** Все определения запасов углерода разными методами были суммированы: сначала для насаждений одной древесной породы, затем – для всех пород вместе. Каждый раз по мере интеграции выборок проводили сравнение различий средних значений, получаемых альтернативными методами определений с аллометрическими. Для конверсионного метода сравнения касались лишь вариантов  $Ph/M$  по общей фитомассе насаждений. Различия для всех интегральных выборок рассчитывали по выражению: (альтернативная оценка – аллометрическая оценка)/аллометрическая оценка  $\times 100$ .

Итоговые результаты помещены в табл. 6. Они свидетельствуют, что использование конверсионно-объемного метода для определения запасов углерода по  $Ph/M$  в насаждениях Вологодской обл. приводит к различиям в пределах  $\pm 5\%$  от аллометрических оценок. При этом по данным одних авторов [3, 15] имеет место завышение результатов, у других [10] – занижение. Используемые в работе [4] уравнения для сосны и ели завышают ошибки втрое по сравнению с методом  $Ph/M$ .

В Волгоградской обл., напротив, зональные коэффициенты  $Ph/M$  для сосняков южной ландшафтной полосы [3, 15] дали 15%-ное завышение оценок, тогда как региональные  $Ph/M$  – занижение на  $\sim 4\%$  [10]. Корректировка  $Ph/M$  в сторону более жесткой

## Сравнение оценок, полученных разными способами, запаса углерода в фитомассе насаждений

| Предмет оценки                           | Варианты методов                              | Средняя оценка для выборок, тС · га <sup>-1</sup> | Различие, % |
|--|---|---|-------------|
| Вологодская обл.                         |   |   |             |
| Углерод в фитомассе насаждения           | Аллометрия; по [14]                           | 97,6  |             |
|  | <i>Ph/M</i> : зональная конверсия; по [3, 15] | 100,0   | 2,5         |
|  | <i>Ph/M</i> : региональная конверсия; по [10] | 93,8  | -3,9        |
|  | По уравнениям из работы [4]                   | 106,4   | 9,0         |
| Углерод в надземной фитомассе насаждения | Аллометрия; по [14]                           | 80,9  |             |
|  | То же (США-1); по [17]                        | 82,7  | 2,2         |
|  | То же (США-2); по [16, 17]                    | 84,4  | 4,3         |
|  | По таблицам из работы [8]                     | 71,9  | -11,1       |
| Волгоградская обл.                       |   |   |             |
| Углерод в фитомассе насаждения           | Аллометрия; по [14]                           | 57,1  |             |
|  | <i>Ph/M</i> : зональная конверсия; по [3, 15] | 65,9  | 15,4        |
|  | <i>Ph/M</i> : региональная конверсия          | 57,7  | 1,1         |
|  | <i>Ph/M</i> : то же; по [10]                  | 54,8  | -4,0        |

ландшафтной приуроченности сосновых насаждений в лесостепной и степной зонах европейской части бывш. СССР и Западной Сибири почти сблизила оценки аллометрии и региональной конверсии по *Ph/M*. Правда, нужно учесть, что некоторая часть сосновых насаждений аридных районов была использована при расчетах уравнений подеревной аллометрии в работе [14]. Следовательно, зональные для южной полосы коэффициенты *Ph/M* могут оказаться грубыми. Там, где позволяют первичные материалы, предпочтение следует отдавать региональным *Ph/M*.

Для запасов углерода надземной части насаждений явное превосходство дали интегрированные аллометрии (США-1 и США-2), причем с разделением лишь на хвойные и лиственные завышение от базовой аллометрии для Вологодской обл. составило около 2%, а при аллометрии для родов древесных пород – около 4% (табл. 6). Нормативы из работы [8] дают занижения оценок с ошибками в 5 и 3 раз большими, чем для аллометрии США-1 и США-2. Следовательно, определение запасов фитомассы только по средней высоте насаждений вряд ли можно считать пригодными для инвентаризации углерода.

**Выводы. 1.** Сравнение широко применяющегося в лесоведении конверсионно-объемного метода (по отношению *Ph/M*) с аллометрическим, принятым за базовый, показало на различном материале (район, преобладающая порода, состав и возраст насаждений и др.) довольно хорошее в целом согласие оценок для обоих методов. Можно считать, что при использовании методики конверсионных коэффициентов (*Ph/M*) достигается удовлетворительная точность конечных результатов определения запасов углерода в фитомассе лесов России.

**2.** Лесоустроительные пробные площади при использовании уравнений подеревной аллометрии представляют собой хорошие информационные объекты для инвентаризации запасов углерода в лесном фонде РФ.

**3.** Выполненное исследование убедительно свидетельствует в пользу положительных результатов стыковки разнообразной лесоучетной и таксационной информации

с материалами, накопленными фундаментальными науками (экология, лесоведение, почвоведение и т.д.), для изучения углеродного цикла в лесах.

4. Перспективной следует признать разработку методики поучастковой аллометрии. В случае положительного решения этой задачи, открываются возможности привлечения для научных, проектных и хозяйственных целей многочисленных материалов выборочной инструментальной таксации насаждений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по проведению лесоустройства в едином государственном лесном фонде СССР. Ч. 1. М.: Госкомлес СССР, 1986, 134 с.
2. 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.
3. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И. и др. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. (Аналитический обзор). М.: Центр экологической политики России, 1995 (1996). 156 с.
4. Лебков В.Ф., Каплина Н.Ф. Углероддепонирующие функции и спелости сосняков и ельников европейского региона России // Лесн. хоз-во. 1996. № 1. С. 33–35.
5. Лесной фонд России: Справочник (по учету на 01.01.1993 г.), М.: Рослесхоз, 1995. 280 с.
6. Лесной фонд РСФСР (по учету на 01.01.1988 г.), М.: Минлесхоз РСФСР, 1990. 739 с.
7. Лесной фонд СССР: Статистический справочник (по состоянию на 01.01.1988 г.). Т. 1. М.: Госкомлес СССР, 1990. 1002 с.
8. Моисеев В.С., Яновский Л.Н. Суммы площадей сечений, запасы древесины, общей и световой зеленой биомассы и количество деревьев на 1 га при полноте 1,0 для древостоев сосны, ели, березы и осины Ленинградской области // Ландшафтная таксация и формирование насаждений пригородных зон / Авторы: Моисеев В.С., Тюльпанов Н.М., Яновский Л.Н. и др. Л.: Стройиздат, 1977. С. 166–173.
9. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. ОСТ 56–69–83. 59 с.
10. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под редакцией Алексева В.А. и Бердсли Р.А. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, Северо-восточная лесная эксперимент. станция Лесной службы США, 1994 (1995). 232 с.
11. Усольцев В.А., Сальников А.А., Горбунова С.А., Нагимов З.Я. Принципы формирования баз данных по фитомассе лесов России и Швейцарии // Леса Урала и хозяйство в них: Сб. науч. тр. Вып. 18. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1995. С. 198–227.
12. Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3–20.
13. Уткин А.И., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И., Ермолова Л.С. Биопродуктивность лесных экосистем: Компьютерная база данных. М.: Ин-т лесоведения РАН, ЦЭПЛ РАН, 1994. (Около 2500 участков леса).
14. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России // Лесоведение. 1996. № 6. С. 36–46.
15. Isaev A., Korovin G., Zamolodchikov D. et al. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forest // Water, Air and Soil Pollution. 1995. V. 82. № 1–2. P. 247–256.
16. Siccama T.G., Hamburg S.P., Arthur M.A. et al. Corrections to allometric equations and plant tissue chemistry for Hubbard brook Experimental Forest // Ecology. 1994. V. 75. № 2. P. 246–248.
17. Tritton L.M., Hornbeck J.W. Biomass equations for major tree species of the Northeast. USDA Forest Service, Northeastern Forest Exp. Sta., General Techn. Rep. NE-69. 1982. 46 p.

Институт лесоведения РАН,  
Успенское, Одинцовский р-н,  
Московская обл.

Поступила в редакцию  
10.04.1997

Центр по проблемам экологии  
и продуктивности лесов  
РАН, Москва

Центр природных исследований,  
Брауновский университет, США,  
Box 1943, Providence, RI, 02912