

УДК 630\*615 + 630\*182.59 + 551.58 + 581.132(470)

© 1993 г. А. С. ИСАЕВ, Г. Н. КОРОВИН, А. И. УТКИН,  
А. А. ПРЯЖНИКОВ, Д. Г. ЗАМОЛОДЧИКОВОЦЕНКА ЗАПАСОВ И ГОДИЧНОГО ДЕПОНИРОВАНИЯ  
УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ  
РОССИИ

На основе материалов учета лесного фонда России (распределение площадей и запасов насаждений по преобладающим породам и группам возраста) и коэффициентов связи запасов стволовой древесины с другими фракциями фитомассы наземных экосистем даны оценки запасов углерода для всех категорий земель лесного фонда (1183 млн. га). Запас углерода в фитомассе (живых частях растений) оценен в 41,2 Гт ( $\approx 10^9$  т), в том числе для покрытой лесом площади (771,1 млн. га) в 38,6 Гт. Величина годичного депонирования для этих площадей определена соответственно в 212 и 184 Мт·год<sup>-1</sup> ( $\approx 10^6$  т·год<sup>-1</sup>).

*Парниковый эффект, лесной фонд России, земли лесного фонда, преобладающие породы, группы возраста древостоев, запас фитомассы, запас углерода, годичное депонирование углерода.*

В последнее время большое внимание уделяется проблемам, связанным с глобальными изменениями климата, ролью в этих процессах углекислого и других парниковых газов, содержащихся в атмосфере. Поэтому актуальными становятся задачи, направленные на получение новых и уточнение существующих оценок компонентов глобального цикла углерода. Основная цель настоящей работы — получение оценок запасов углерода и размеров его годичного депонирования в фитомассе (живые части растений) на территории Российской Федерации<sup>1</sup>.

## Методика расчетов

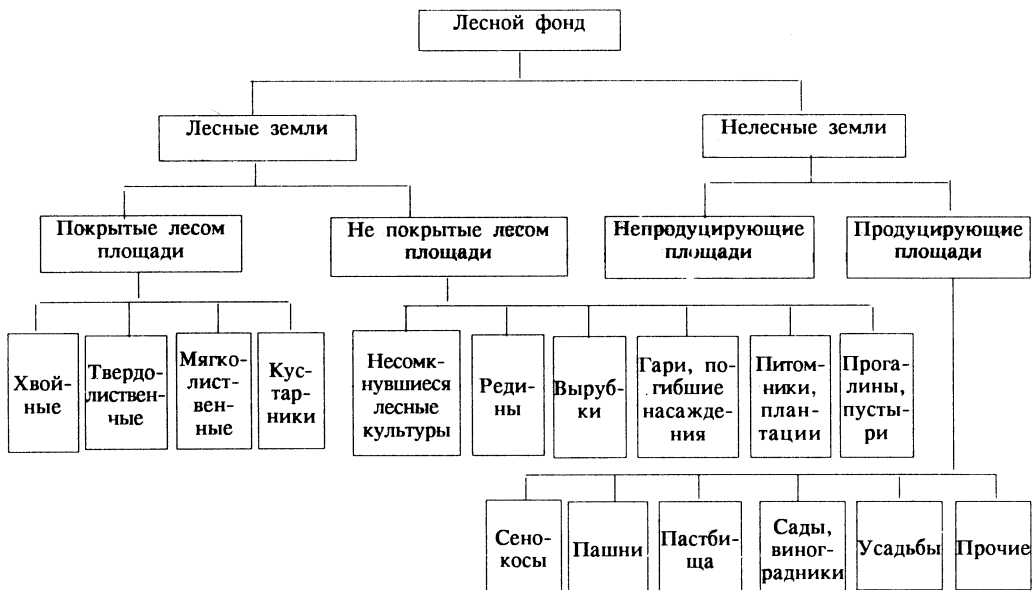
В качестве исходной информации для оценки запасов углерода использовали базу данных Государственного учета лесов РСФСР по состоянию на 01.01.1988 г. и базу эмпирических данных по фитомассе и продуктивности лесных экосистем, составленную по материалам А. И. Уткина, Н. И. Базилевич и Т. Г. Гильманова.

Запасы фитомассы в древесной и кустарниковой растительности определяли через запасы стволовой древесины основных лесообразующих пород с учетом соотношений между запасами стволовой древесины и полной фитомассой насаждения (аналогичный подход использован М. Ф. Макаревским [4]). Запас углерода определялся через общий запас фитомассы древесной, кустарниковой и травянистой растительности на территории лесного фонда и удельное содержание углерода в их фитомассе. Ежегодное депонирование углерода древесной и кустарниковой растительностью находили через изменение запаса фитомассы по разности между ее текущим приростом и отпадом.

Алгоритм расчета накопленной и ежегодно депонируемой фитомассы древесной и кустарниковой растительности включает в себя:

- оценку распределения общей площади лесного фонда по категориям земель;
- оценку распределения покрытой лесом площади по основным лесообразующим породам и группам возраста древостоев;
- оценку удельных запасов стволовой древесины для основных лесообразующих пород по группам возраста древостоев;

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках проекта «Изучение лесных экосистем» ГНТИ 18 «Глобальные изменения природной среды и климата».



Структура лесного фонда России

— оценку соотношений между запасами стволовой древесины и общей фитомассой древостоев для основных лесообразующих пород и групп возраста древостоев;

— определение общих запасов фитомассы древесной, кустарниковой и травянистой растительности на всех категориях земель лесного фонда;

— определение общих запасов углерода в древесной, кустарниковой и травянистой растительности на территории лесного фонда;

— оценку годичного изменения среднего запаса стволовой древесины древесных и кустарниковых пород в расчете на 1 га;

— оценку среднего годичного изменения запаса фитомассы древесных и кустарниковых пород и количества ежегодно депонируемого ими углерода.

Распределение общей площади лесного фонда по категориям земель строили в соответствии со структурой, представленной на схеме.

Детальная информация о распределении площади лесного фонда по категориям земель имеется для территории, находящейся в ведении государственных органов лесного хозяйства и переданной в долгосрочное пользование. Учитывая, что на долю указанной территории приходится более 90% общей площади лесов, ее структуру экстраполировали на остальную часть лесного фонда.

Кроме того, из расчетов были исключены площади безлесных болот, находящихся на территории лесного фонда как специфические детритно-аккумулятивные нелесные экосистемы, требующие специального исследования.

*Покрытая лесом площадь.* Из материалов учета лесного фонда были выбраны величины площадей и запасов по основным лесообразующим породам России (их перечень представлен в табл. 1) раздельно по группам возраста: 1) молодняки, 2) средневозрастные, 3) приспевающие, 4) спелые и перестойные. Для каждой породы была оценена продолжительность групп возраста (в годах) на основании нормативно принятых возрастов рубок главного пользования в лесах I, II и III групп.

На следующем этапе проводилось вычисление запасов фитомассы. С этой целью была использована база данных по фитомассе различных фракций древостоев и соответствующим запасам древесины в расчете на 1 га. Всего при расчетах использовано около 600 эмпирических определений фитомассы насаж-

Отношение между полной фитомассой древостоя и запасом стволовой древесины для основных лесообразующих пород и групп возраста, т·м<sup>-3</sup>

Порода	Группа возраста			
	молодняки	средневозрастные	приспевающие	спелые
Сосна	0,887	0,667	0,672	0,637
Ель	1,190	0,793	0,734	0,759
Пихта	1,007	0,604	0,546	0,546
Лиственница	0,762	0,762	0,754	0,806
Ель	0,780	0,616	0,616	0,640
Дуб высокоствольный	1,592	0,899	0,861	0,943
Дуб низкоствольный	1,592	1,311	1,213	1,272
Бук	1,011	0,861	1,014	1,036
Ясень	0,926	0,927	0,916	0,916
Береза каменная	0,914	0,914	0,914	0,914
Прочие твердолиственные	1,280	0,999	1,001	1,041
Береза	0,756	0,781	0,770	0,786
Осина и тополь	0,767	0,630	0,682	0,605
Липа	0,843	0,843	0,802	0,802
Прочие мягколиственные	0,789	0,751	0,751	0,731

денней из 150 литературных источников. На их основе для каждой породы и группы возраста были рассчитаны отношения фитомассы хвои и листьев, надземной древесной фитомассы и подземной фитомассы к запасу стволовой древесины. Указанные отношения (в форме среднестатистических значений) использовали как переводные при вычислениях суммарных запасов фитомассы лесов России. Основные результаты расчетов соотношений между полной фитомассой древостоя и запасом стволовой древесины для основных лесообразующих пород и групп возраста представлены в табл. 1.

На основании этой же базы данных для оценки запасов фитомассы нижнего яруса (подлесок, травяно-кустарничковый ярус, мохово-лишайниковый покров) были рассчитаны их среднестатистические значения на 1 га по тем же породно-возрастным группам и переведены на всю площадь.

Затем, исходя из общих запасов фитомассы лесных экосистем, были оценены запасы углерода, принимая конверсионный коэффициент для 1 кг сухой массы одревесневших частей и корней 0,5, для 1 кг сухой массы хвои и листьев 0,45 кг углерода, согласно [3].

Результаты расчетов фитомассы и запасов углерода на лесопокрытой площади России по основным преобладающим породам приведены в табл. 2.

Для вычисления количества углерода, депонируемого в живой фитомассе лесов, был проведен по преобладающим породам расчет ежегодного изменения запаса стволовой древесины в пределах каждой группы возраста. С этой целью разность в удельных запасах между соседними группами возраста делили на возрастной интервал, соответствующий более молодой группе. Таким образом определялся средний годичный прирост по запасу. Умножением полученного числа на соответствующую площадь получали годичный прирост стволовой древесины для каждой породы в пределах групп возраста.

Значения рассчитанного таким путем прироста использовали при вычислении фракций фитомассы и количества депонированного за год углерода (табл. 3), привлекая те же отношения массы фракций к запасу древостоев и коэффициенты перевода фитомассы в углерод, которые использовали для расчета запасов углерода.

*Не покрытые лесом площади.* Все не покрытые лесом площади по специфике их углеродного баланса можно разделить на две категории.

К первой относятся площади, на которых растительность депонирует ат-

Запасы древесины, общая фитомасса (наземная и подземная) и запасы углерода в лесонасаждениях по преобладающим породам на землях государственного лесного фонда Российской Федерации

Преобладающая порода	Площадь, тыс. га	Запас древесины, млн. м <sup>3</sup>	Фитомасса общая, млн. т	Запас С, млн. т
Древостой				
Сосна	113607,4	14317,70	9596,6	4779,7
Ель	78854,1	10735,84	8283,8	4115,5
Пихта	15665,9	2559,81	1444,6	717,5
Лиственница	276215,9	25163,36	19927,2	9945,7
Кедр	40167,2	7400,01	4679,2	2328,0
<i>Итого</i> хвойных	524510,5	60176,73	43931,4	21886,4
Дуб высокоствольный	3766,3	421,65	416,6	207,6
Дуб низкоствольный	3204,3	342,58	441,8	220,3
Бук	699,3	175,77	168,6	84,2
Ясень	577,7	67,24	61,8	30,8
Береза каменная	7973,1	712,92	651,3	324,8
Прочие твердолиственные	890,6	102,23	105,9	52,8
<i>Итого</i> твердолиственных	17111,2	1822,39	1846,0	920,6
Береза	85589,0	7947,69	6203,7	3092,1
Осина и тополь	18723,8	2741,74	1712,1	854,0
Липа	2881,1	430,15	353,5	176,4
Прочие мягколиственные	2564,2	222,83	166,5	83,0
<i>Итого</i> мягколиственных	109758,0	11342,41	8435,8	4205,5
<i>Итого</i> основных лесобразующих пород	639962,6	72114,33	54213,1	27012,5
Прочие древесные породы	160,7	19,37	16,3	8,1
Кустарники	60544,6	1325,24	16540,9	8252,4
<i>Итого</i> для покрытой лесом площади	712085,1	74686,15	70770,3	35273,0
Нижние ярусы				
<i>Итого</i> для покрытой лесом площади	712085,1	—	2190,5	1095,2
Полная фитомасса				
<i>Итого</i> для покрытой лесом площади	712085,1	74686,15	72960,7	36368,2
<i>Всего</i> для покрытой лесом площади	771109,2	81644,46	79758,3	39756,6

мосферный углерод в процессе роста и развития. Это — вырубки, несомкнувшиеся лесные культуры, гари, погибшие насаждения, т. е. те площади, которые по прошествии некоторого времени (период возобновления) перейдут в категорию лесопокрытых площадей (молодняки). Сюда же можно отнести и редины, на которых лесорастительный процесс идет, как и на покрытых лесом площадях, но с меньшей интенсивностью.

Во вторую категорию земель входят питомники, плантации, прогалины, пустыри. Эти площади со временем не перейдут в лесопокрытые, так как являются либо достаточно стабильными, либо управляемыми человеком системами. Поэтому ежегодное количество депонируемого углерода для них было принято равным нулю.

На пустырях и прогалинах запас фитомассы был рассчитан, исходя из среднего запаса фитомассы лугов лесной зоны России на единицу площади [1], умножением его на соответствующие значения площадей.

После рубки древостой как производственная система перестает существовать, поэтому при расчетах запас углерода в живой фитомассе вырубок был принят равным его запасу в луговых фитоценозах. В среднем за 20 лет все площади, пройденные рубкой, переходят в категорию лесопокрытых, т. е. в молодняки, поэтому объем ежегодного депонирования углерода на 1 га вырубки рассчитывали,

Ежегодные объемы прироста древесины и депонирования углерода в древостоях по группам пород и классам возраста

Группы пород	Классы возраста	Площадь, тыс. га	Прирост, млн. м <sup>3</sup> · год <sup>-1</sup>	Депонирование углерода, млн. т · год <sup>-1</sup>
Хвойные	Молодняки	84825,4	174,93	77,23
	Средневозрастные	99264,9	61,87	22,94
	Приспевающие	49864,0	-14,06	-5,10
	Спелые	290556,2		
Твердолиственные	Молодняки	2170,1	4,63	3,37
	Средневозрастные	4273,8	2,83	1,57
	Приспевающие	1897,2	1,01	0,47
	Спелые	8770,2		
Мягколиственные	Молодняки	23499,7	84,82	32,08
	Средневозрастные	35823,9	57,58	21,16
	Приспевающие	12593,1	22,50	8,17
	Спелые	37841,3		
Прочие древесные породы	Молодняки	60,8	0,09	0,05
	Средневозрастные	36,8	0,06	0,03
	Приспевающие	14,0	0,06	0,03
	Спелые	49,1		
Кустарники	Молодняки	7209,5	2,79	4,74
	Средневозрастные	25951,9	4,51	1,69
	Приспевающие	7213,8	-0,02	-0,01
	Спелые	20169,5		
Все породы	Молодняки	117765,4	267,26	117,47
	Средневозрастные	165351,3	126,86	47,39
	Приспевающие	71582,1	9,49	3,55
	Спелые	357386,2		

как и для лесопокрытой площади, т. е. делением среднего запаса молодняков основных лесобразующих пород на период возобновления (20 лет). Итоговую величину рассчитывали умножением полученного показателя на площадь всех вырубок.

Несомкнутые лесные культуры практически аналогичны вырубкам, поэтому все расчеты проводились так же, но период возобновления был принят равным 10 годам.

Для гарей и погибших насаждений сохранен 20-летний возобновительный период. Но поскольку часть гарей остается безлесной в течение значительного промежутка времени, экспертным путем было принято, что за 20 лет только 70% площадей перейдет в категорию молодняков, тогда как 30% гарей останутся невозобновившимися.

Редины в лесном фонде России представлены в основном северными и горными редколесьями, которые имеют региональную специфику. Поэтому для расчета запаса их фитомассы был определен средний состав редины на основании информации, приведенной в [5]. Средневзвешенное представительство древесных пород в составе редины определяли по участию этих пород в редины и редколесьях Карелии, Якутии, Камчатской, Мурманской, Архангельской, Тюменской, Магаданской областей и Красноярского края. Рассчитан следующий средний состав редины: 70Лц12Е8Б5С4К1Т + Бк<sup>2</sup>, по которому определены их запас и депонирование углерода. При этом допускалось, что возрастная структура редины и сомкнутых насаждений в одних и тех же районах близки, а средняя полнота редины составляет 0,2.

<sup>2</sup> Сокращения названий древесных пород в формуле состава: Лц — лиственница, Е — ель, Б — береза, С — сосна, К — кедр, Т — тополь, Бк — береза каменная.

В категорию редин оказались включенными и редкостойные сосняки по сфагновым болотам, фитомасса которых может параллельно учитываться и болотоведами. Но запасы фитомассы таких древостоев настолько малы, что вряд ли могут повлиять каким-либо образом на конечные результаты оценки пула углерода в лесах России.

Для половины площади, находящейся под питомниками и плантациями (как и для всей площади прогалин и пустошей), запас фитомассы был принят равным запасу фитомассы лугов. Для другой половины запас фитомассы приравняли к ее запасу в молодняках кустарников (без кедрового стланника). Ежегодное депонирование углерода на всех перечисленных площадях принято равным нулю.

*Нелесные площади.* На нелесных площадях отсутствует депонирование углерода в живой фитомассе, так как они представлены или категориями с отсутствием полноценных фитоценозов (воды, ледники, дороги и т. п.), или сельскохозяйственными угодьями, продукция которых изымается человеком, а оставшаяся возвращает зафиксированный углерод в почву или атмосферу обычно в течение того же года.

Запас фитомассы на 1 га садов был принят равным 30% от запаса фитомассы низкоствольных дубрав, поскольку плотность древесины и форма крон у большинства плодовых деревьев близки к таковым у дуба.

Запас фитомассы на 1 га пашни принимали равным 10% от среднего запаса на 1 га лугов лесной зоны. Для сенокосов, пастбищ и прочих земель — 100% от фитомассы луга.

Запас фитомассы 1 га, относящегося к усадьбам, рассчитывали по следующей схеме: 10% — аналогично садам, 40% — пашне, 40% — лугу, 10% — без фитомассы (нахождение под черным паром и строениями).

## Результаты и обсуждение

Запасы и ежегодные объемы депонирования углерода на территории государственного лесного фонда Российской Федерации были следующими:

Категория площадей	Покрытая лесом	Не покрытая лесом	Нелесная	Всего
Запас углерода, млн.т	38 559,3	1057,3	233,4	41162,9
Ежегодное депонирование углерода, млн.т	184,42	27,18	0,00	211,64

Таким образом, полученная оценка запаса углерода в живой фитомассе на землях лесного фонда России (площадь 1183 млн. га) составляет 41,2 Гт, или около  $34,8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ , что в расчете на единицу площади оказалось несколько ниже имеющихся в литературе оценок. Так, Т. П. Кольчугина и др. [6] оценивает запас углерода для территории бывшего СССР (площадь 1426 млн.га) в 90,7 Гт ( $63,6 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ ), а в другой работе [7] для четырех лесных биомов (лесотундра, тайга, смешанные леса, лесостепь) — 88 Гт. Дж. Олсон и др. [8], опубликовавшие данные в целом для биосферы, для таежных и листопадных лесов (площадь 2360 млн. га) приводит диапазон 135—291 Гт или ( $57,2—123,3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ ), исходя из минимальных и максимальных значений оценок для конкретных экосистем.

Указанные глобальные и региональные оценки углеродного баланса основываются, как правило, на материалах учета площадей экосистем на уровне отдельных биомов, тогда как в основу баланса часто закладывается экспериментальный материал лишь с нескольких точек. При этом сразу встает вопрос о методической правомерности распространения данных ограниченных выборок для оценок фитомассы и продукции на достаточно обширные площади и без учета

породного, возрастного, структурного разнообразия лесонасаждений. К тому же в исследованиях биологической продуктивности лесов в нашей стране, как и в других странах, не ставились инвентаризационные задачи по фитомассе, требующие репрезентативного представительства для объектов учета лесного фонда. Поэтому в прошлом для исследований подбирали обычно здоровые, высокополнотные древостои разного возраста, различающиеся по классам бонитета, типам леса и т. д. Это может повлечь за собой существенное завышение для лесов как региональных, так и глобальных оценок пула углерода.

В нашем случае основой для оценки запасов углерода служили лесоинвентаризационные сведения по запасам древесины с учетом породного состава и возрастной дифференциации насаждений. Следовательно, можно считать, что в отличие от других подходов приводимая нами оценка базируется на максимально объективных показателях, полученных современными наземными и дистанционными методами, применяемыми в таксации и лесоустройстве.

Возможным источником ошибок итоговых оценок может стать точность определения среднестатистических значений переводных коэффициентов или отношений массы хвои и листьев, надземной древесной фитомассы и подземной фитомассы к запасу древесины. Однако анализ этих величин показывает, что их вариабельность для спелых и припевающих древостоев, как правило, невысока — точность оценки не превышает нескольких процентов. Для молодняков и средневозрастных насаждений точность расчета средних значений таких отношений несколько ниже, однако доля насаждений этих возрастов в лесном фонде значительно меньше.

Приводимая в настоящей работе (табл. 4) оценка годовичного депонирования углерода ( $212 \text{ Мт} \cdot \text{год}^{-1}$ ) существенно меньше имеющихся в литературе —  $825 \text{ Мт} \cdot \text{год}^{-1}$  для бывшего СССР [6] и  $400 \text{ Мт} \cdot \text{год}^{-1}$  для России [2]. Наша оценка депонирования лесов России основывается на динамике площадей и соответствующих им запасов древесины по преобладающим породам и возрастным классам. Фактически же в годовичном цикле депонируют углерод в фитомассе только молодняки и средневозрастные насаждения, в припевающих насаждениях запас древесины на единицу площади обычно равен или несколько превышает запасы фитомассы спелых и перестойных древостоев. Таким образом, приведенная величина депонирования реально отражает вклад депонирующих возрастных классов насаждений в общую структуру лесного фонда России (табл. 3).

Свои оценки запасов и депонирования углерода на землях лесного фонда России мы рассматриваем как первый этап исследований. Осуществляется обработка данных по аналогичной методике для отдельных экономических районов РФ, а далее — по республикам, краям и областям. При дальнейшей дифференциации площади объектов оценки можно получить и для отдельных лесохозяйственных предприятий с соответствующими картографическими реализациями. Кроме того, представляется перспективным определение аналогичных показателей с учетом фракционного состава фитомассы (листва, ветви, стволы, корни), а также одновременное изучение пула и потоков углерода в лесных экосистемах. Имеет смысл перепроверить полученные оценки, привлекая иные подходы при расчетах и другие методики самих расчетов (регрессионный анализ и др.).

**Заключение.** При общей площади земель лесного фонда России 1183 млн. га запас углерода оценен в 41,2 Гт, из которых 96% приходится на покрытую лесом площадь. Годичное депонирование углерода составляет для той же площади 212 млн.  $\text{т} \cdot \text{год}^{-1}$ , в том числе около 10% приходится на не покрытую лесом и нелесную площади.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гуричева Ф. П., Демина О. М., Козлова Г. И. и др.* Продуктивность луговых сообществ // Ресурсы биосферы. Л.: Наука, 1975. Вып. 1. С. 96—127.
2. *Заварзин Г. А.* Международные экологические конвенции // Природа. 1992. № 12. С. 3—7.
3. *Кобак К. И.* Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 248 с.
4. *Макаревский М. Ф.* Запасы и баланс органического углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии // Экология. 1991. № 3. С. 3—10.
5. Предтундровые леса. М.: Агропромиздат, 1988. 168 с.
6. *Kolchugina T. P., Shwidenko A. Z., Vinson T. S. et al.* Carbon balance of forest biomes in the former Soviet Union // IPCC AFOS Workshop, 11—15 May 1992. Joensuu, Finland, Univer. of Joensuu.
7. *Kolchugina T. P., Vinson T. S.* Equilibrium analysis of carbon pools and fluxes of forest biomes in the former Soviet Union // Can. J. Forest Res. 1993. V. 23. № 1. P. 81—88.
8. *Olson J. S., Watts T. A., Allison L. J.* Carbon in live vegetation of major world ecosystems // Oak Ridge Nat. Lab., ORNL-5862. 1983. 164 p.

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва

Поступила в редакцию  
6.05.1993

Институт лесоведения РАН,  
Успенское, Московская обл.

A. S. Isaev, G. N. Korovin, A. I. Utkin, A. A. Pryazhnikov,  
D. G. Zamolodchikov

### ESTIMATION OF CARBON POOL AND ITS ANNUAL DEPOSITION IN PHYTOMASS OF FOREST ECOSYSTEMS IN RUSSIA

On the basis of the results on evaluating the forest fund of Russia (distribution of areas and stocks of stands according to dominant species and age groups) and on calculating the coefficients of relations between the stock of stem wood and other phytomass fractions of terrestrial ecosystems the estimates of the carbon pool for all the land categories of the forest fund (1183 million hectares) have been given. An annual deposition of carbon was calculated taking into account the changes in the stock of stem wood and phytomass. The carbon pool in the phytomass (live parts of plants) was found equal 41,2 Gt, including 38,6 Gt for the afforested area (771,1 million ha). The value of the annual deposition was equal 211,6 and 184,4 Mt·yr<sup>-1</sup> correspondingly.