

# ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТНОГО КРИТЕРИЯ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОЦЕНОК ЗАПАСОВ И ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ ЛЕСОВ

© 1999 г. А. И. Уткин\*, Д. Г. Замолодчиков\*\*, В. И. Сухих\*\*

\* *Институт лесоведения РАН,*

*143030 Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское*

\*\* *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,*

*117418 Москва, Новочеремушкинская ул., 69*

Поступила в редакцию 02.07.98 г.

Выполнены сравнительные расчеты запасов и депонирования углерода с учетом распределения покрытой лесом площади и древесных запасов отдельных лесообразующих пород в пределах субъектов РФ и леспромхозов: а) по возрастным группам (вариант справочников); б) по классам возраста. Средние значения ( $x \pm \sigma$ ) отношений первых оценок ко вторым при общей выборке  $n = 140$  составили: 1) для запаса углерода в фитомассе  $0.999 \pm 0.069$ ; 2) для депонирования углерода  $0.961 \pm 0.533$ . Аналогичные отношения оценок для субъектов РФ и крупных леспромхозов в целом выражались средними значениями  $1.005 \pm 0.030$  (запас углерода) и  $1.025 \pm 0.382$  (депонирование). Оптимизация депонирования углерода требует более равномерного распределения площадей и запасов древостоев в пределах всего их возрастного диапазона с дальнейшим делением на классы бонитета (или их группы) и (желательно) на группы полноты.

Многие экологические задачи, касающиеся состояния лесного биогеоценотического покрова и его функционирования в биосфере, удовлетворительно решаются лишь при наличии надежной информационно-аналитической базы. Последняя должна быть развернутой и опираться на результаты инвентаризации лесов и лесных земель отдельных государств и их административных подразделений. В комплексе направлений глобальной экологии одно из первых мест принадлежит углеродному циклу лесов. Пулы и потоки углерода не только интегрируют в единую сбалансированную систему атмосферно-геосферные связи, но и позволяют оптимизировать соотношение требований экологии, с одной стороны, структуры лесного фонда и объемов лесопользования – с другой.

Основопологающим, т.е. первым уровнем, здесь следует считать распределение для лесообразующих пород покрытой лесом площади и древесных запасов древостоев по одним и тем же градациям возраста или равновеликим его классам. Далее в зависимости от возрастного распределения желательно иметь сведения о тех же площадях и запасах по классам производительности (бонитетам) и группам полноты. Для познания потоков углерода необходима и информация о запасах сухостоя и валежа, а для динамики лесовосстановления – распределение площадей гарей и вырубков по срокам давности их образования. Вся эта информация содержится в материалах инвентаризации на локальном уровне (в таксационных

базах данных), однако в итоговые материалы государственного учета лесного фонда (ГУЛ) она не включается.

Специальных программ инвентаризации углерода в лесах не существует ни в одном из государств мира. Все методы такого учета опираются или на материалы лесоустройства, или на результаты государственных инвентаризаций лесов (в России – учет лесного фонда).

В первом случае, характерном для стран с относительно небольшой площадью лесов, определение запасов и годичного аккумулярования углерода осуществляется с учетом распределения насаждений по классам возраста и условиям местопроизрастания. Такой подход признается более точным, поскольку лесоустройство проводится по единым для каждой страны принципам. Нередко учеты сочетаются с фиксацией для каждого года текущих изменений в насаждениях и лесном фонде (текущий прирост, годичный отпад в древостоях и др.). Такой подход в изучении углеродного цикла лесов свойственен, например, Нидерландам (Nabuurs, Mohren, 1994), Германии (Burschell et al., 1993; Böswald, 1996) и некоторым другим странам.

Расчеты углерода на основе обобщенных по возрастным группам данных учета лесного фонда осуществляются в многолесных странах: Канаде (Kurz et al., 1994), России (Исаев и др., 1993, 1995; “Углерод в экосистемах...”, 1994). В США материалы лесоустройства для отдельных регионов

сочетаются с нормативами, базирующимися, как правило, на аллометрических связях фитомассы с дендрометрическими показателями древостоев (Birdsey, 1990). И в Канаде, и в России определены фракций фитомассы осуществляется через конверсионные коэффициенты, т.е. отношения фитомассы фракций к запасам стволовой древесины —  $Ph/M$ . В Канаде расчеты фитомассы и углерода выполняются обычно параллельно с инвентаризацией (Bonner, 1985), в России — по итогам материалов учетов лесного фонда на основе данных, объединенных в возрастные группы.

### СТЕПЕНЬ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ УЧЕТОВ УГЛЕРОДА МАТЕРИАЛАМИ ГУЛ

В бывшем СССР и ныне в России информация ГУЛ обновляется через каждые 5 лет. Основанием служат: а) данные лесоустройства или инвентаризации лесов, выполняемых за отчетный период примерно на 20% территории лесного фонда; б) внесение текущих изменений за счет произошедшей трансформации площадей лесного фонда (вырубки, гари, лесовосстановление и пр.) на остальной части (80%). При этом давность изученности территории колеблется от 1 г. до 40–45 лет.

Начиная с конца 50-х годов материалы ГУЛ печатаются в виде статистических справочников. По состоянию на 01.01.1988 г. они в последний раз были составлены для СССР в целом (“Лесной фонд СССР”, 1990) и отдельно для РСФСР (“Лесной фонд РСФСР”, 1990). При этом федеральный справочник, не отличаясь структурно от союзного, характеризуется большим объемом информации.

Справочники ГУЛ содержат табличную информацию о лесах и землях лесного фонда для всех субъектов РФ, объединяемых в экономические районы на территории европейской и азиатской частей страны. Материалы справочников предназначены преимущественно для решения задач лесного комплекса — лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства. Многие из них трудно и даже невозможно использовать для целей экологии, так как приводимые сведения касаются не отдельных пород-лесообразователей, а их объединений в три группы: хвойных, твердолиственных и мягколиственных без учета производительности (условия местопроизрастания). Идея дальнейшего обобщения информации усиливается. Так, в последнем справочнике (“Лесной фонд России”, 1995) данные о площадях и запасах отдельных лесообразующих пород остались неразвернутыми по критерию возраста, хотя такого рода информация ГУЛ хранится в компьютерной базе данных ВНИИЦлесресурса. В лесохозяйственных предприятиях хранятся и компьютерные повидельные таксационные базы данных в разрезе лесохозяйственных лесхозов. Однако возмож-

ности использования более детальной, чем в ГУЛ, информации для широкой научной общест-венности очень и очень ограничены.

При определении запасов и депонирования углерода в фитомассе лесов по методике конверсионных коэффициентов основополагающими из материалов ГУЛ являются распределение покрытой лесом площади и запасов древесины основных лесобразующих пород или их групп по возрастным группам. В ГУЛ приняты следующие возрастные группы насаждений: молодняки I класса возраста, молодняки II класса возраста, средневозрастные, приспевающие (один класс перед возрастом рубки), спелые (два класса возраста), перестойные (все остальные классы возраста).

Распределение площадей и запасов насаждений по группам возраста обусловлено возрастом рубки главного пользования. Однако он может значительно варьировать в зависимости от лесорастительных зон, групп и категорий лесов (Загреев и др., 1992). Поэтому одни и те же возрастные группы (кроме молодняков) представляют собой объединения насаждений различного временного интервала и могут включать различное число классов возраста. Продолжительность классов возраста принимается для хвойных и твердолиственных высокоствольных насаждений — 20 лет (кедровых сосен — 40 лет), низкоствольных твердолиственных и мягколиственных — 10, кустарников — 5 лет.

Поскольку методика расчетов размеров депонирования углерода по конверсионным коэффициентам и материалам ГУЛ базируется на использовании средних для каждой возрастной группы запасов, то наиболее уязвимыми для точности оценок представляются возрастные группы, объединяющие насаждения нескольких классов возраста. Перестойные насаждения имеют незначительный прирост фитомассы, и их можно условно считать климаксовыми экосистемами, т.е. с близким к нулю балансом приходно-расходных статей углерода. Возрастные группы спелых и, особенно, средневозрастных насаждений, предостепенные двумя-четырьмя и более классами возраста, заслуживают дополнительной дифференциации с позиций углеродного цикла, поскольку, как и молодняки, средневозрастные древостой отличаются наибольшими темпами текущего накопления углерода в фитомассе.

Особенно важно иметь распределение насаждений по классам возраста (возрастным группам) с учетом классов бонитета или их групп там, где высокобонитетные и низкобонитетные насаждения распределены по классам возраста (группам возраста) неравномерно. Отсутствие или слабая представленность насаждений низших классов бонитета с малыми запасами на 1 га в возрастных группах молодняков, средневозрастных и приспе-

вающих насаждений, как правило, сочетаются (особенно в эксплуатационных лесах) с их значительным участием в спелых и перестойных насаждениях. Вследствие этого резко искажаются данные о средних запасах в пределах классов возраста (возрастных групп) для насаждений данной породы в целом, т.е. для совокупности всех классов бонитета. Последнее не может не сказаться и на оценке размера депонируемого углерода, занижая ее.

Следовательно, представляет интерес сравнение оценок углерода, получаемых на основе распределения площадей и запасов насаждений соответственно по возрастным группам и по классам возраста, а там, где возможно, и по классам бонитета и по группам полнот. Только в этом случае можно будет сформулировать отношение к имеющимся в литературе определениям запасов и годичного депонирования углерода в лесах России.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНОК УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА В ФИТОМАССЕ ЛЕСОВ РОССИИ

Для этих целей были использованы материалы ГУЛ, в которых имелись распределения площадей и запасов насаждений по классам возраста. Материалы касаются разных сроков инвентаризации, причем для шести субъектов РФ – всей покрытой лесом площади, для двух – лишь в границах крупных лесохозяйственных предприятий. Общий возрастной диапазон насаждений большинства хвойных пород составлял 12 классов возраста, максимальный – до 15–17 классов. Исходная информация таких распределений была перекомбинирована затем в распределения по возрастным группам.

Общая выборка включает 14 лесобразующих пород. Поскольку для некоторых регионов инвентаризации осуществлялись с учетом классов бонитета, реже – с разделением по условиям местопрорастания (низкогорья и высокогорья) или по возрастной структуре насаждений (одновозрастные или разновозрастные), то число элементарных единиц учета достигало более 160. Депонирование углерода мы посчитали более значимым элементом углеродного цикла. Исходя из этого была отбракована часть материалов, исключены, в частности, случаи с отрицательными или нулевыми значениями депонирования, площади кедрового стланика и др. В итоге общая выборка для депонирования углерода составила 140 элементарных единиц. Они же были взяты и для анализа запасов углерода.

Для возрастных групп расчеты запасов углерода ( $C^*$ ) и его депонирования ( $DC^*$ ) проводились по специальным алгоритмам (Исаев и др., 1993, 1995), с использованием полученных ранее кон-

версионных коэффициентов (Isaev et al., 1995). При этом для возрастных групп молодняки I и II классов возраста, а также спелые и перестойные насаждения конверсионные коэффициенты были усредненными. При распределении площадей и запасов насаждений по классам возраста определение запаса и депонирования углерода (соответственно  $C^{**}$  и  $DC^{**}$ ) выполняли по зависимым от возраста конверсионным коэффициентам (Замолдчиков и др., 1998).

Соотношения конверсионных коэффициентов для обоих вариантов расчетов во всем возрастном диапазоне насаждений шести основных лесобразующих пород (рис. 1) свидетельствуют о нескольких общих тенденциях: близкие, начиная с возраста приспевания, величины коэффициентов в вариантах  $C^*$  и  $C^{**}$  (исключение для сосны и лиственницы, у которых коэффициенты  $C^{**} > C^*$ ); более высокие значения коэффициентов в варианте  $C^{**}$  (кроме сосны) для молодняков; напротив, более низкие коэффициенты в варианте  $C^*$  для средневозрастных ельников и лиственничников, а также для приспевающих насаждений осины и кедра.

Отмеченные различия обусловлены, по-видимому, многими причинами. Прежде всего – морфологическими: большая доля фракций крон в фитомассе молодняков, которые для сосны в базе данных (Уткин и др., 1994) в значительной мере к тому же представлены искусственными древостоями; увеличение с возрастом доли ядровой древесины в стволах и ветвях сосны и лиственницы; небольшая плотность ювенильной древесины в средневозрастных древостоях. Для сосны могла сказаться и заметная в базе данных доля участков сфагновой группы типов в составе спелых и перестойных насаждений. Кроме того, могли иметь значения невозможность учета конверсионными коэффициентами географических различий большинства пород-лесообразователей на уровне популяций и даже видов, а также небольшие сравнительно выборки для кедра и лиственницы в исходной базе данных.

Сравнительный анализ оценок запасов углерода и его депонирования при двух вариантах распределения насаждений по возрасту проводили по отношениям  $C^*/C^{**}$  и  $DC^*/DC^{**}$ . Причем для элементарных единиц учета, т.е. древесной породы, класса бонитета и т.д., базовыми служили соответствующие величины, полученные в расчете на 1 га, а для субъектов РФ и отдельных леспрохозов Иркутской обл. и Республики Марий-Эл – интегральные для всех лесобразующих пород величины в расчете на покрытую лесом площадь.

В расчете на 1 га средние для выборки значения вариантов  $C^*$  и  $C^{**}$  составили 59.49 и 59.83 т/га при коэффициентах вариации (CV) 45.1 и 46.1%; значения  $DC^*$  и  $DC^{**}$  – 0.384 и 0.383 т/га/год при CV 97.7 и 76.8%. В обоих случаях средние значения

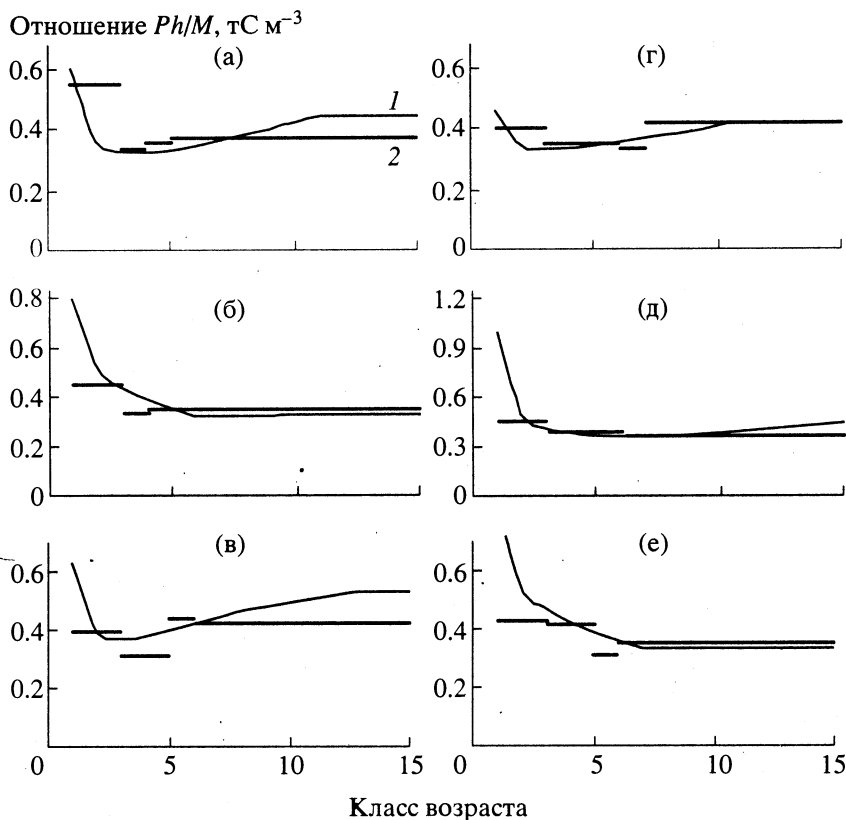


Рис. 1. Динамика изменения с возрастом значений конверсионных коэффициентов ( $Ph/M$ ), определенных в насаждениях для возрастных групп (1) и классов возраста (2): а – сосна, б – ель, в – лиственница, г – кедр (сосна кедровая), д – береза, е – осина.

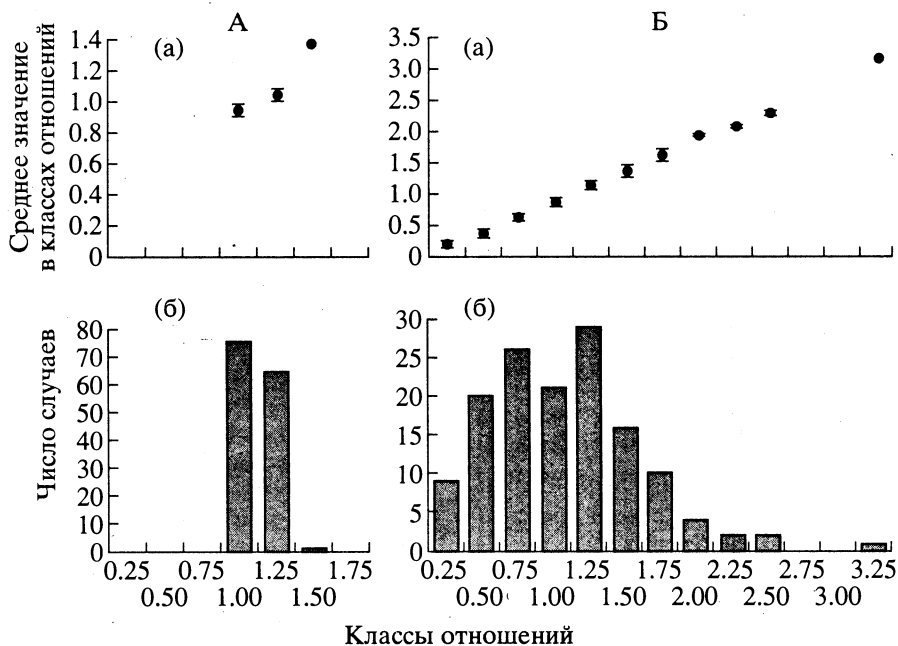


Рис. 2. Классы отношений запаса углерода  $C^*/C^{**}$  (А) и его депонирования  $DC^*/DC^{**}$  (Б) для общей выборки (140 вариантов учета): а – средние значения для классов (линиями показаны пределы одного стандартного отклонения), б – число случаев по классам отношений.

при расчете по возрастным группам и классам возраста достоверно не различаются (paired T-test,  $P > 0.3$ ).

При классах (ступенях) отношений  $C^*/C^{**}$  (с шагом 0.25) вся выборка группируется фактически

Класс отношений	0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.4
Число случаев	10	16	49	40	20	2	0	2	0	0	1

Таким образом, использование метода единых конверсионных коэффициентов  $Ph/M$  обеспечивает в обоих вариантах возрастного распределения насаждений получение близких результатов. Индивидуальные различия лежат преимущественно в пределах  $\pm 10\%$  от абсолютного значения, равного единице. Поэтому привлечение материалов ГУЛ для оценки запасов углерода в фитомассе российских лесов можно считать полностью оправданным, а полученные по методике конверсионных коэффициентов результаты – удовлетворительными.

Иной характер изменений свойственен отношениям  $DC^*/DC^{**}$  для элементарных единиц учета (рис. 2Б). Согласно гистограмме, только в половине случаев величина этих отношений при шаге 0.25 находится в пределах 0.75–1.25, т.е. на уровне абсолютного совпадения и  $\pm 25\%$  от него. Сам ряд распределений  $DC^*/DC^{**}$  сильно растянут: в сторону уменьшения от класса 1.0 – почти вдвое, в сторону увеличения – в 2.5–3.0 раза. Напомним, что если  $DC^*/DC^{**}$  в пределах  $1.0 \pm 0.25$  считать оптимальными, то при  $DC^*/DC^{**} > 1.25$  расчеты с использованием распределений насаждений по группам возраста дают завышенные оценки, при  $DC^*/DC^{**} < 0.75$ , наоборот, заниженные. Из общей выборки на долю двух последних приходится соответственно 55 и 64 случаев, совпадение результатов в 21 случае (рис. 2Б, б).

На уровне элементарных единиц учета не обнаруживается строгих закономерностей в связи  $DC^*/DC^{**}$  с географическим положением и преобладающей породой. В европейской части России отношения  $DC^*/DC^{**}$ , как правило, больше единицы, у мягколиственных (особенно осины) меньше или близко к единице. В Республике Алтай у большинства лесообразующих пород получены значения  $DC^*/DC^{**}$  меньше 1.0, но одновозрастным насаждениям пихты и отчасти кедра, напротив, свойственны более высокие величины этого отношения. На Сахалине заниженные  $DC^*/DC^{**}$  получены для основных лесообразующих пород – ели и лиственницы. На территории Усть-Илимского целлюлозно-бумажного комбината для одного леспромхоза у всех древесных пород  $DC^*/DC^{**} < 1.0$ , для двух других близки к единице или превосходят ее. Для высокобонитетных

насаждений отношения  $DC^*/DC^{**}$  обычно выше, чем у низкобонитетных.

Несогласованность отношений  $DC^*/DC^{**}$  и  $C^*/C^{**}$  вряд ли может быть обусловлена нерепрезентативностью выборок базы для расчетов конверсионных коэффициентов, единых для всего лесного фонда страны. Для депонирования углерода к наиболее существенным факторам относится распределение площадей и запасов по возрасту. Идеальным с позиций углеродного цикла должно быть L-образное распределение насаждений по классам возраста при наименьшем представительстве спелых и перестойных лесов. Анализируемый нами материал на уровне элементарных единиц учета характеризуется большим разнообразием возрастного состава лесов. Отсюда и понятна амплитуда значений  $DC^*/DC^{**}$  как для насаждений разных классов бонитета в одном и том же районе, так и для одних и тех же пород из нескольких районов. Другими словами, по сравнению с  $C^*/C^{**}$  показатели  $DC^*/DC^{**}$ , пока что определяемые только по изменению средних запасов насаждений последовательных возрастных групп или классов возраста, в меньшей мере зависимы от других дендрометрических (таксационных) показателей, чем от самих запасов углерода и их распределения в возрастном диапазоне древостоев.

Можно считать, что расчеты депонирования по классам возраста ( $DC^{**}$ ), обеспечивающие лучшее отражение многолетней динамики лесов, более предпочтительны, чем расчеты в варианте  $DC^*$ . На территориальном уровне расхождения в сторону занижения или завышения оценок в варианте  $DC^*$  по сравнению с вариантом  $DC^{**}$  будут, следовательно, существенно зависеть от надежности определения депонирования для тех древесных пород, которые наиболее представлены в лесном фонде.

Для территорий оценки депонирования, интегрирующие изменение запасов углерода древостоев всех лесообразующих пород, могут характеризоваться поэтому значениями  $DC^*/DC^{**}$ , отличными от тех, которые проявляются на уровне элементарных единиц учета. Так, в европейской части России для элементарных единиц учета значения  $DC^*/DC^{**}$  для хвойных пород почти повсе-

Рассчитанные для лесов некоторых регионов по полной фитомассе запасы углерода ( $C$ ) и его годового депонирования ( $DC$ ) с учетом деления лесонасаждений на возрастные группы ( $C^*$ ,  $DC^*$ ) и классы возраста ( $C^{**}$ ,  $DC^{**}$ ) насаждений

Регион (год учета)	Площадь, $10^6$ га	Запас, $10^6$ м <sup>3</sup>	Средний запас, м <sup>3</sup> /га	$C^*$	$C^{**}$	$C^*/C^{**}$	$DC^*$	$DC^{**}$	$DC^*/DC^{**}$					
Республика Карелия (1958 г.) <sup>2</sup>	8.151	1001.4	122.9	$\frac{336.0^1}{41.2}$	$\frac{332.4}{40.8}$	1.011	$\frac{0.949}{0.116}$	$\frac{1.455}{0.178}$	0.652					
Вологодская обл. (1992 г.)	7.730	1146.5	148.3	$\frac{410.7}{53.1}$	$\frac{407.8}{52.8}$	1.007	$\frac{3.787}{0.490}$	$\frac{5.220}{0.675}$	0.725					
Кировская обл. (1992 г.)	5.601	822.2	146.8	$\frac{303.9}{54.3}$	$\frac{305.7}{54.6}$	0.994	$\frac{4.083}{0.729}$	$\frac{5.617}{1.003}$	0.727					
Нижегородская обл. (1986 г.)	2.603	377.7	145.1	$\frac{143.9}{55.3}$	$\frac{142.4}{54.7}$	1.011	$\frac{2.048}{0.787}$	$\frac{2.502}{0.961}$	0.818					
Республика Алтай (1992 г.) <sup>2,3</sup>	2.218	463.4	208.9	$\frac{171.1}{77.1}$	$\frac{167.1}{75.3}$	1.024	$\frac{0.667}{0.301}$	$\frac{0.382}{0.172}$	1.747					
Сахалинская обл. (1985 г.)	5.221	682.9	130.8	$\frac{252.8}{48.4}$	$\frac{263.6}{50.5}$	0.959	$\frac{1.632}{0.313}$	$\frac{1.572}{0.301}$	1.038					
Иркутская обл., комплексные леспромхозы Усть-Илимского ЦБК (1987 г.)	Катинский	0.360	76.7	213.2	$\frac{30.1}{83.6}$	$\frac{28.9}{80.3}$	1.041	$\frac{0.138}{0.385}$	$\frac{0.088}{0.244}$	1.579				
					Средний	0.295	69.0	234.1	$\frac{26.6}{90.2}$	$\frac{25.5}{86.5}$	1.043	$\frac{0.114}{0.388}$	$\frac{0.102}{0.346}$	1.124
					Капаевский	0.304	54.9	180.4	$\frac{19.9}{65.5}$	$\frac{19.9}{65.4}$	1.001	$\frac{0.092}{0.301}$	$\frac{0.083}{0.272}$	1.108
Марий-Эл, спецхозяйство Марбумкомбината (1957 г.)	0.335	40.7	121.6	$\frac{14.7}{43.9}$	$\frac{15.5}{46.3}$	0.947	$\frac{0.185}{0.553}$	$\frac{0.265}{0.793}$	0.698					

<sup>1</sup> Размерность для  $C^*$ ,  $C^{**}$ : в числителе – всего,  $10^6$  т, в знаменателе – в среднем, т/га; для  $DC^*$ ,  $DC^{**}$  – та же, но в расчете на один год ( $10^6$  т/год, т/га/год).

<sup>2</sup> Учет по классам бонитета.

<sup>3</sup> Раздельный учет для одно- и разновозрастных (кедр, пихта) насаждений, для низкогорий и высокогорий (кедр, лиственница).

местно были больше единицы, но в итоговых для субъектов РФ и леспромхозов оценках они оказались ниже единицы (см. таблицу). Для Республики Алтай, как и для других регионов азиатской части, получены обратные результаты:  $DC^*/DC^{**} < 1$  для отдельных пород и  $DC^*/DC^{**} > 1$  для общей покрытой лесом площади субъекта федерации. На размерах депонирования углерода лесами Сибири и Дальнего Востока не могла не сказаться большая доля низкобонитетных древостоев, а также перестойных насаждений с “нулевым” депонированием. Судя по средним значениям  $DC^*/DC^{**}$  для 10 территориальных оценок (см. таблицу), завышенные и заниженные оценки насаждений разных лесообразующих пород и разных классов бонитета могут взаимно компенсироваться. Для всех субъектов РФ вместе оценки в варианте  $DC^*$ , возможно, будут приближаться к оценкам для  $DC^{**}$ .

В большей мере сглаживание оценок следует ожидать при расчетах показателей углеродного цикла по экологическим районам, с учетом зонально-провинциальных различий лесов.

Выявляется четкая тенденция, согласно которой приложение методики конверсионных коэффициентов к распределениям площадей и запасов древостоев по классам возраста должно сочетаться с увеличением имеющихся в литературе оценок депонирования углерода для европейской части России и уменьшением для азиатской части. Запасы углерода не отличаются практически друг от друга при обоих вариантах расчетов (см. таблицу).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приводимая в статистических справочниках информация о составе лесов России по лесообра-