

УГЛЕРОДНЫЕ ПУЛЫ ФИТОМАССЫ, ПОЧВ И ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА В ЕЛОВЫХ ЛЕСАХ РОССИИ

УДК 630*516/518:630*182.5:582.032.475.5(470)

© А.И.Уткин^{1,2}, Д.Г.Замолодчиков², О.В.Честных²

¹ Институт лесоведения РАН, Москва, Россия

² Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия

Исследование выполнялось при поддержке РФФИ (00-04-48036 и 03-04-48097).

Благодаря высоким технологическим свойствам древесины ели, ельники в составе бореальных лесов Северной Евразии имеют статус наиболее ценного вида лесных растительных ресурсов. Из шести видов рода *Picea*, произрастающих на территории России, ресурсное значение имеют четыре вида: ель европейская (*Picea abies*), преимущественно на Русской равнине, ель сибирская (*P. obovata*) - европейский Север и Сибирь, ель восточная (*P. orientalis*) на Кавказе, ель аянская (*P. ajanensis*) на Дальнем Востоке. По учету лесов РФ на 1 января 2003 г., при общей площади еловых лесов 77.198×10^6 га на долю названных видов ели приходится (с округлением) соответственно 60%, 24, 0.02 и 16%, для запасов ($10009.14 \times 10^6 \text{ м}^3$) - 56%, 23, 0.01 и 21%. За межучетный период 1993-1998 гг. площадь еловых лесов в целом для России увеличилась на 0.40×10^6 га. Запасы древесины, напротив, уменьшились на $185.19 \times 10^6 \text{ м}^3$, в основном за счет субъектов федерации с интенсивными, лесозаготовками. На начало 1998 г. пул углерода фитомассы для ельников России определен в $3908.55 \times 10^6 \text{ т С}$, пул биологического углерода почв в $13831.09 \times 10^6 \text{ т С}$, депонирование углерода фитомассы в $26615.54 \times 10^3 \text{ т С год}^{-1}$.

Spruce forests are the most important source of plant resources amongst boreal forests in Northern Eurasia. 4 of 6 Russian *Picea spp.* have this commercial importance: Norwegian Spruce (*Picea abies*) in Russian Plain, Siberian Spruce (*P. obovata*) in the North of European Russia and Siberia, Oriental Spruce (*P. orientalis*) in Caucasus region, and Ajan Spruce (*P. ajanensis*) in the Far East of Russian Federation. According to the latest Russian Forest inventory (January 1, 2003) spruce forests of the above-mentioned 4 species occupy 77.198×10^6 ha overall, with the corresponding relative species coverage of 60, 24, 0.02 and 16%. Total wood stocks of these spruce species is $10009.14 \times 10^6 \text{ м}^3$ (56, 23, 0.01 and 21%, correspondingly). In 1993-98 the total area of Russian spruce forests increased by 0.4×10^6 ha, whereas wood stocks decreased by $185.19 \times 10^6 \text{ м}^3$ due to intensive forest cuts in some Russian regions. For the beginning of 1998 the carbon pool in the phytomass of Russian spruce forests was estimated at $3908.55 \times 10^6 \text{ т С}$, organic soil carbon pool - at $13831.09 \times 10^6 \text{ т С}$, carbon deposition in phytomass - at $26615.54 \times 10^3 \text{ т С yr}^{-1}$.

Введение

В Северной Евразии еловые леса относятся к ландшафтно-образующей зональной формации. Вместе с примешивающимися к ели видами пихты, сосны кедровой сибирской формации ельников и пихто-ельников определяют состав, структуру и облик темнохвойной тайги евразийского сектора циркумполярного пояса бореальных (таежных) лесов. По сравнению с североамериканским сектором того же пояса (Silvics of North America, 1990)

темнохвойные экосистемы Северной Евразии гораздо беднее дендрологически и менее разнообразны в фитоценоотическом и экологическом отношениях. На Северо-Востоке Азии обширная территория потенциально темнохвойного пояса находится в криолитозоне и занята лиственничными лесами, смещая ельники к южной границе вечной мерзлоты. Но и здесь они распространены локально, «островами» разных размеров на защищенных склонах и в долинах рек.

Помимо зональных темнохвойных лесов тайги исторически сходные, с обязательным присутствием видов ели и пихты, сообщества формируют пояс в горах, обрамляющих с юга территории аридных природных зон (степей, полупустынь и пустынь). В Евразии этот пояс простирается с разрывами по горным поднятиям от Японии и Кореи, через Китай, включая Тибет, Саяны, Алтай, Тянь-Шань до Кавказа, Карпат, Балкан и Пиренеев. В России горные темнохвойные леса характерны для европейского Северо-Востока, Забайкалья, Саян и Алтая. Здесь они чаще представлены насаждениями с преобладанием кедров сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour), и по своему строю, по биоразнообразию мало отличаются от типично таежных лесов равнин. То же можно сказать и о дальневосточных лесах, повсеместно формирующих темнохвойный пояс в горах и вместе с тем встречающихся на равнинах.

Объект и методика

Объектом исследования служили дифференцированные государственными учетами лесного фонда (ГУЛФ) сведения о еловых лесах, которые достаточно хорошо обособлены географически, т.е. своими ареалами, что позволяет оценить их вклад в лесной потенциал страны по материалам ГУЛФ. Труднее всего для количественных учетов по ГУЛФ остается разделение ареалов ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) и ели сибирской (*P. obovata* Ledeb.), на стыке которых располагается широкая полоса интрагрессивной гибридизации. Мы с некоторой условностью к площадям экосистем из *P. abies* включали по «Лесному фонду России» (2004) леса Центрального, Северо-Западного и Приволжского федеральных округов, еловые же леса Уральского и Сибирского федеральных округов отнесли к *P. obovata*.

Видовое разнообразие рода *Picea* в России. Согласно сводке С.К. Черепанова (1995) и картам ареалов С.Я.С. Соколова и др. (1977), на территории Российской Федерации распространены шесть видов рода *Picea*. Ареалы трех из них вытянуты цепочкой в широтном направлении с запада на восток: ель европейская (*P. abies*) на Русской равнине, ель сибирская (*P. obovata*) от европейского Севера и Предуралья до побережья Охотского моря (140° в.д.), ель аянская (*P. ajanensis* (Lindl & Gord.) Fisch. ex Carr) на Дальнем Востоке (между 135° в.д. и 57° с.ш.). В пределах ареала ели аянской

располагаются ель корейская (*P. koraiensis* Nakai) и Глена (*P. glehnii* (Fr. Schmidt) Mast.), первая из них на материке, вторая - на юге Сахалина и Курильских островах. Обе не имеют заметного сырьевого и лесохозяйственного значения (Манько, 1987; Шафрановский, 1992). На Кавказе, преимущественно в Карачаево-Черкесской республике и Краснодарском крае, сосредоточены небольшие массивы ели восточной (*P. orientalis* (L.) Link). На Кольском п-ове в ранге вида выделялась ель финская (*P. fennica* (Regel) Kom.), которая ныне низведена до уровня гибридной комбинации *P. obovata* × *P. abies* (Черепанов, 1995).

Обращает на себя внимание наложение ареалов почти у всех видов *Picea* с ареалами видов из рода пихты (*Abies*) (Соколов и др., 1977). Например, на Дальнем Востоке главный лесообразователь в таких лесах - ель аянская, но в ее ареале вкраплены участки двух других видов ели: корейской и Глена, а на западе ареала, кроме того, «острова» ели сибирской. Постоянно с елью аянской связана пихта белокорая (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.) (Манько, 1987). С елью Глена на Сахалине и Курильских островах сосуществуют пихты сахалинская (*A. sachalinensis* Fr. Schmidt) и Майра (*A. mayriana* (Miyabe & Kudo)). На Кавказе почти совпадают ареалы ели восточной и пихты кавказской (*A. Nordmanniana* (Stev. Spach), причем площади пихтарников в 9 раз больше, чем ельников: 142.2×10^3 га против 17.6×10^3 га (Лесной фонд России, 2004). Характерная для Русской равнины ель европейская представлена без своего спутника - пихты европейской (*A. alba* Mill.), оставшейся на Карпатах.

В Предуралье, на юге Сибири и на Дальнем Востоке - в Якутии в плаще ельников из *P. obovata* вкраплены «острова» кедров сибирского и пихты сибирской (*A. sibirica* Ledeb.). Для некоторых из этих регионов характерны древостой, смешанные из всех трех пород, относимые при лесоустройстве по более ценной породе к кедровникам. В составе темнохвойных насаждений могут присутствовать все древесные породы, характерные для соответствующих областей лесной зоны. В южной таежной подзоне - чаще всего сосна обыкновенная и лиственница (сибирская и Гмелина). Во всех подзонах тайги в составе ельников участвуют березы: повислая (*Betula pendula* Roth) - в освоенных районах и после

пожаров и пушистая (*B. pulescens* Ehrh.) - часто и в естественных экосистемах с избыточным увлажнением. Осина характерна для богатых почв. В пределах Русской равнины на моренных перекрытых отложениях, флювиогляциальными осадками формируются устойчивые елово-сосновые древостой, в которых позиции сосны сильнее, чем ели.

В широколиственно-еловых лесах европейской России обычны дуб, липа, клен и другие дендрозлементы неморального комплекса. Еще более обогащены неморальной дендрофлорой кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока, в которых ель аянская присутствует постоянно, но доминирует лишь на отдельных стадиях возрастного развития таких ценозов.

Место еловых лесов в составе темнохвойной тайги России. Таким образом, из шести произрастающих в России видов *Picea* четыре относятся к основным лесообразующим породам. Это - ели европейская, сибирская, аянская и в меньшей мере восточная. По ГУЛФ 2003 г. (Лесной фонд России, 2004) их площадь составляет соответственно 46.36×10^6 га, 18.47, 12.35 и 0.02×10^6 га (всего 77.20×10^6 га), с запасами древесины: 5.66×10^9 м³, 2.28, 2.05 и 0.01×10^9 м³ (всего 10.01×10^9 м³). Для двух других компонентов темнохвойных лесов России - пихты и кедра те же показатели в целом для России равны: площадь 14.93 и 40.86×10^6 га, запас 2.54 и 7.80×10^9 м³, т.е. по занимаемой площади и по запасам ель превосходит суммарные оценки обеих пород. Средние для лесной фонда запасы насаждений ели, пихты и кедра равны: 130, 170 и 191 м³ га⁻¹. Высокие средние запасы пихтарников обусловлены, во-первых, отсутствием таких экосистем в северотаежной подзоне и, во-вторых, значительным представительством в Саянах и на Алтае черневой тайги - высокопродуктивных смешанных лесов из пихты, кедра сибирского, ели и осины. В Республике Алтай и Иркутской обл., например, средние запасы пихтовых насаждений составляют 180 и 195 м³ га⁻¹, в Красноярском крае 174 м³ га⁻¹.

География еловых лесов. Степень лесистости, обусловленная площадью еловых

лесов по субъектам Российской Федерации, показана на рисунке 1. Обращает внимание несовместимость ельников с континентальными районами криолитозоны: не менее трети территории страны, приходящейся на азиатский Северо-Восток, практически лишено ели, замещаясь лиственницей. На европейском Севере ель контактирует с тундрой и широко представлена в северной тайге; в азиатском секторе Северной Евразии этого не наблюдается, хотя популяционно *P. obovata* присутствует малочисленными чахлами особями в северных редколесьях почти до р. Лена. Выделяются, следовательно, два центра концентрации в России еловых лесов: на европейском Северо-Востоке и в Хабаровском крае (соответственно для *P. abies* и *P. ajanensis*), где традиционно располагаются сырьевые базы целлюлозно-бумажных комбинатов.

Если определить лесистость для федеральных округов, используемых для расчетов площади и запасов разных видов рода *Picea*, то на этих территориях лесного фонда лесистость за счет *P. abies*, *P. obovata* и *P. ajanensis* составит: 31%, 5 и 4%, а за счет видов *Abies* 0.2%, 5.3 и 0.8%, за счет кедра (сибирского и корейского) 0.4%, 8.8 и 1.2%. Следовательно, в составе групп формаций из темнохвойных пород ели принадлежит бесспорное место. Но очень ограничена в своем распространении по площади *P. obovata*: при огромном ареале она представлена лишь 5% площади, уступая позиции сосне и лиственнице.

Методика исследований. Как и в предыдущих наших сообщениях, касающихся формационных пулов углерода, (Уткин и др., 2003, 2004), в основу расчетов были положены конверсионные отношения фитомасса фракций / запас древесины (*Ph/M-ratio*), полученные по базе данных (Уткин и др., 1994) для разных лесообразующих пород и по группам насаждений, с учетом зонального и провинциального разделения лесного фонда России. Система *Ph/M-ratio* публикуется в нашей работе (Замолотчиков и др., 2004), здесь же - отдельно для ели (таблица 1).

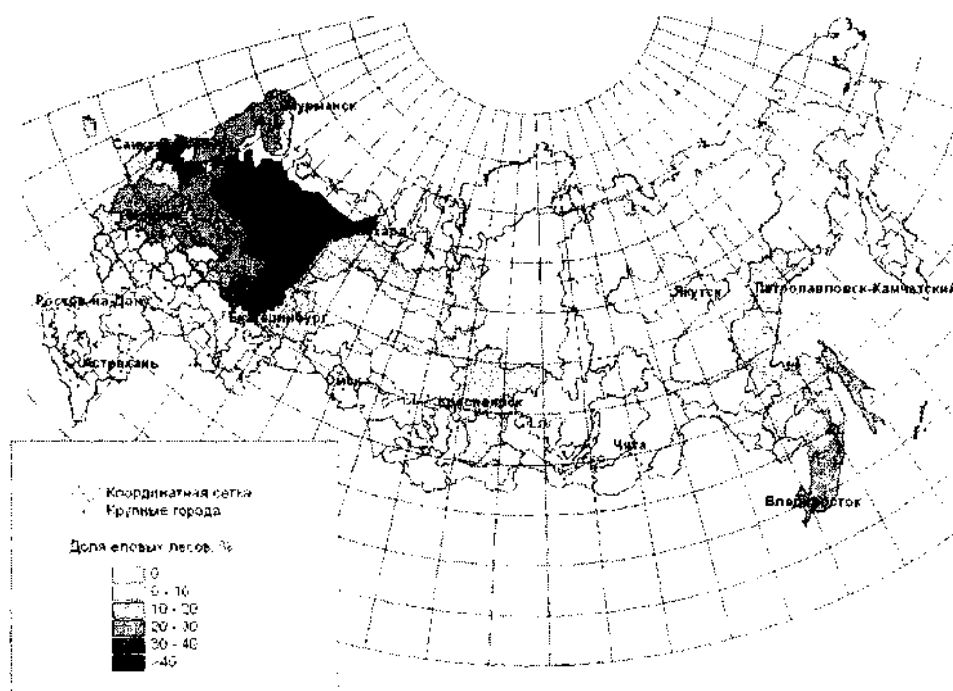


Рисунок 1 - Доля площадей еловых лесов в составе покрытых лесом земель (Лесной фонд России, 1999)

Таблица 1 - Конверсионные коэффициенты Ph/M для фракций фитомассы еловых древостоев, т м³ (средние значения $\pm$ стандартная ошибка)

Широтная полоса	Группа возраста	Общий	Фракция			
			стволы	ветви	корни	хвоя
1	Молодняки	0.937 $\pm$ 0.068	0.413 $\pm$ 0.006	0.176 $\pm$ 0.020	0.159 $\pm$ 0.015	0.190 $\pm$ 0.027
	Средне-возрастные	0.773 $\pm$ 0.039	0.457 $\pm$ 0.007	0.086 $\pm$ 0.010	0.138 $\pm$ 0.009	0.092 $\pm$ 0.013
	Приспевающие	0.762 $\pm$ 0.039	0.457 $\pm$ 0.010	0.086 $\pm$ 0.009	0.150 $\pm$ 0.012	0.069 $\pm$ 0.008
	Спелые и перестойные	0.750 $\pm$ 0.039	0.457 $\pm$ 0.013	0.085 $\pm$ 0.008	0.163 $\pm$ 0.015	0.045 $\pm$ 0.003
2	Молодняки	0.937 $\pm$ 0.068	0.413 $\pm$ 0.006	0.176 $\pm$ 0.020	0.159 $\pm$ 0.015	0.190 $\pm$ 0.027
	Средне-возрастные	0.739 $\pm$ 0.038	0.430 $\pm$ 0.009	0.099 $\pm$ 0.009	0.138 $\pm$ 0.009	0.072 $\pm$ 0.012
	Приспевающие	0.686 $\pm$ 0.026	0.465 $\pm$ 0.010	0.057 $\pm$ 0.004	0.122 $\pm$ 0.006	0.041 $\pm$ 0.006
	Спелые и перестойные	0.681 $\pm$ 0.030	0.444 $\pm$ 0.010	0.060 $\pm$ 0.003	0.139 $\pm$ 0.013	0.038 $\pm$ 0.004
3	Молодняки	1.227 $\pm$ 0.236	0.453 $\pm$ 0.032	0.182 $\pm$ 0.040	0.334 $\pm$ 0.087	0.258 $\pm$ 0.077
	Средне-возрастные	0.737 $\pm$ 0.075	0.469 $\pm$ 0.039	0.071.009	0.140 $\pm$ 0.019	0.056 $\pm$ 0.008
	Приспевающие	0.702 $\pm$ 0.038	0.437 $\pm$ 0.012	0.080 $\pm$ 0.007	0.142 $\pm$ 0.013	0.043 $\pm$ 0.006
	Спелые и перестойные	0.728 $\pm$ 0.027	0.452 $\pm$ 0.01	0.0710.002	0.1624 $\pm$ 0.011	0.042 $\pm$ 0.003

Примечание. Широтные полосы: 1 - северная тайга и лесотундра, 2 - средняя тайга, 3 - южная тайга, широколиственные леса, лесостепь и другие зоны.

Годичное депонирование углерода рассчитывать по разности наличных запасов между двумя соседними возрастными группами и продолжительностью самих групп возраста.

Расчеты запасов почвенного гумуса вместе с лесной подстилкой осуществлялись по среднестатистическим запасам на единицу площади (в т га⁻¹ абс.сух.в-ва) отдельных лесообразующих пород и типов угодий

других категорий земель. Использовали специально созданную базу данных. Получены предикторы для расчетов запасов органического вещества в трех слоях

почвенного профиля: 0 - 30 см, 0 - 50 и 0 - 100 см. Для всех древесных пород предикторы приведены в работе О.В.Честных др. (2004), для ели в таблице 2.

Таблица 2 - Средние значения послойных запасов абсолютно сухого органического вещества почвенной толще еловых насаждений для лесного фонда России, т га⁻¹± стандартная ошибка.

Полоса	Провинция	Запас органического вещества по слоям			n
		0-30 см	0-50 см	0-100 см	
1	1	214.4±22.8	265.2±28.3	337.3±35.7	28
1	2	149.0±61.3	169.3±63.9	200.2±67.6	6
1	3-4	175.6±58.9	261.1±58.0	360.7±61.4	4
2	1	112.2±14.3	131.6±16.0	159.2±17.6	14
0	2	193.7±38.2	209.8±39.5	238.2±40.6	7
2	3-4	247.7±42.8	325.6±51.4	457.1±10.3	10
3	1	139.2±16.1	171.4±26.8	244.6±59.7	30
3	2	203.0±34.2	227.6±35.3	258.9±35.9	13
3	3-4	274.2±53.3	329.0±57.7	397.7±62.4	8

Примечания. Полосы: 1 - северная, 2 - средняя, 3 - южная; лесорастительные провинции: 1 - Европейско-Уральская, 2 - Западно-Сибирская, 3 - Восточно-Сибирская, 4 - Дальневосточная; n - число данных (разрезов) для усреднения.

Как *Ph/M-ratio*, так и предикторы для расчетов органического вещества почв являются общими для всех видов рода *Picea*, т.е. получены для общей выборки. При перерасчете фитомассы в углерод принимался коэффициент 0.5 для всех древесных фракций и 0.45 для листьев, хвои, растений напочвенного покрова. При переводе органического вещества почв в углерод использовали коэффициент 0.58.

Результаты

После публикации материалов ГУЛФ 2003 г. (Лесной фонд России, 2004) были выполнены пилотные расчеты и для последнего межучетного периода. Однако с целью сохранения единообразия для пулов углерода лиственницы, сосны и ели, расчеты и анализ результатов осуществляется за межучетный период 1993-1998 гг. Данные же расчетов на 1 января 2003 г. приводятся фрагментарно и лишь при обсуждении отдельных вопросов.

Ресурсные пулы и депонирование углерода по возрастным группам ельников разных лесорастительных провинций. Характер географического изменения валовых показателей компонентов углеродного цикла ельников разных возрастных групп по учету на 1 января 1998 г. (Лесной фонд России, 1999) показан в таблице 3. Как и для других лесообразующих

пород России, выражена тенденция преобладания спелых и перестойных насаждений (66 % от общей площади и 76 % общих запасов), главным образом за счет азиатской части России. В европейской части страны, где в последние 70-75 лет в ельниках ведутся интенсивные лесозаготовки, возрастная структура более благоприятна: насаждения группы спелых и перестойных занимают по-прежнему 61 % площади, но за счет более высокой продуктивности удерживают 72 % запаса и примерно столько фитомассы и $C_{phytomass}$. Но значительное представительство в европейской России молодняков (85 % для страны и 23 % для региона) и средневозрастных ельников (соответственно 58 % и 10 %) определяет исключительную роль еловых экосистем Европейско-Уральской провинции в депонировании углерода - 80 % от общих для страны количеств, свойственных ельникам.

Следовательно, еловые леса европейской части России играют главную для этой формации роль как в народнохозяйственном отношении, так и биосферном, выражаемом поглощением $C-CO_2$ из атмосферы.

Фракционная структура фитомассы ельников. Приводимые в таблице 4 данные о структуре фитомассы только еловых древостоев, т.е. без фитомассы нижних

ярусов, свидетельствуют, что соотношение средних для ели значений фитомассы фракций стволов и крон (стволы 61 %, скелет крон 11 %, хвоя 6.5 % от общей) с хозяйственной точки зрения менее выгодное, чем у сосны: 69 %, 9 и 4.5 % (Уткин и др., 2004) и у лиственницы: 71 %, 6.4 и 1.9 % (Уткин и др., 2003). Однако более развитый ассимиляционный аппарат ели дает ей фракционное преимущество в процессах

газообмена по сравнению с сосной и лиственницей, но не в отношении биологического круговорота, поскольку продолжительность жизни хвои у ели в среднем составляет 5-7 лет, у сосны 3-4 года, лиственница же вообще относится к листопадной. Отсюда норма поступления в годичный опад хвои у всех трех пород оказывается близкий — в пределах 1-2 %.

Таблица 3 - Площади, запасы древесины, фитомасса, запасы углерода фитомассы ($C_{\text{phytomass}}$) и органического углерода почв (C_{soil}), годичного депонирования углерода разных возрастных групп еловых насаждений по лесорастительным провинциям

Провинция	Группа возраста	Площадь, 10^6 га	Запас, 10^6 м^3	Фито-масса, 10^6 т	$C_{\text{phytomass}}$, 10^6 т	C_{soil} , 10^6 т	Депонирование, 10^6 тС год^{-1}
Европейско-Уральская	Молодняки	11.10	393.9	493.3	238.7	1506.7	19.527
	Средневозрастные	4.66	665.3	532.3	262.0	681.4	3.602
	Приспевающие	3.08	622.9	461.9	228.4	436.8	-0.226
	Спелые и перестойные	29.52	4292.8	3422.1	1687.5	5056.9	0.000
	Итого	48.36	5974.8	4909.7	2416.7	7681.8	22.903
Западно-Сибирская	Молодняки	0.49	9.1	12.2	5.9	118.8	0.478
	Средневозрастные	1.23	93.8	79.5	39.0	281.4	0.874
	Приспевающие	0.87	106.6	81.3	40.1	201.4	0.115
	Спелые и перестойные	3.04	401.0	303.7	150.0	719.9	0.000
	Итого	5.62	610.6	476.8	235.0	1321.5	1.467
Восточно-Сибирская	Молодняки	0.48	10.7	12.4	6.0	123.5	0.455
	Средневозрастные	0.92	91.0	71.7	35.3	237.9	0.720
	Приспевающие	0.80	110.5	79.8	39.5	205.4	0.206
	Спелые и перестойные	8.68	1159.4	846.7	418.7	2183.1	0.000
	Итого	10.88	1371.7	1010.6	499.4	2749.9	1.380
Дальневосточная	Молодняки	0.88	21.8	25.4	12.3	224.7	1.175
	Средневозрастные	1.19	150.6	116.8	57.6	298.6	0.706
	Приспевающие	1.19	188.3	135.8	67.2	294.0	0.584
	Спелые и перестойные	9.09	1691.5	1215.6	602.4	2284.3	0.000
	Итого	12.35	2052.1	1493.6	739.5	3101.6	2.465
Всего в РФ	Молодняки	12.94	435.5	543.4	262.9	1973.7	21.635
	Средневозрастные	7.99	1000.7	800.3	393.9	1499.4	5.901
	Приспевающие	5.93	1028.2	758.8	375.3	1137.6	0.678
	Спелые и перестойные	50.33	7544.8	5788.1	2858.6	10244.2	0.000
	Итого	77.20	10009.	7890.6	3890.6	14854.8	28.214

Лучшее охвоение ели в определенной мере снижает риск усыхания древостоев от нападений филлофагов и, напротив, понижает устойчивость древостоев ели от атмосферных химических загрязнений (старая хвоя опадает в первую очередь) и от ветровалов (из-за более плотных у ели крон как парусных систем). При рубках в ельниках остается на лесосеках больше порубочных остатков, чем в сосняках и лиственничниках.

Географическая изменчивость

ресурсных и углеродных показателей еловых лесов в период 1993-1998 гг. Сопоставление данных двух ГУЛФ (Лесной фонд России, 1995, 1999) обнаруживают новую для лесного фонда страны тенденцию, а именно снижение за межучетный период запасов древесины на $185.19 \times 10^6 \text{ м}^3$ (таблица 5). Тогда как у сосны в тот же период снижения общих запасов не было вообще, у лиственницы составляло лишь $18.68 \times 10^6 \text{ м}^3$ (Уткин и др., 2004).

Таблица 4 – Распределение $C_{\text{phytomass}}$ по фракциям древостоя в еловых насаждениях четырех лесорастительных провинций России.

Провинция	Стволы		Ветви и побеги		Хвоя		Корни		Всего	
	10^6 тС	%	10^6 тС	%	10^6 тС	%	10^6 тС	%	10^6 тС	%
Европейско-Уральская	1348.4	60.4	252.9	11.3	158.0	7.1	471.9	21.1	2231.1	100.0
Западно-Сибирская	137.3	63.0	22.3	10.2	13.7	6.3	44.9	20.6	218.1	100.0
Восточно-Сибирская	305.5	64.6	45.0	9.5	26.2	5.5	96.1	20.3	472.7	100.0
Дальне-восточная	457.8	64.1	68.7	9.6	40.0	5.6	147.4	20.6	713.9	100.0
Всего в РФ	2249.0	61.9	388.9	10.7	237.8	6.5	760.2	20.9	3635.9	100.0

Таблица 5 – География распределения еловых лесов России по площади, запасам древесины и фитомассе (по учетам на 01.01.1993 г. и на 01.01.1998 г.).

Лесорастительная	Площадь, 10^6 га			Запас, 10^6 м^3			Фитомасса, 10^6 т		
	1993 г.	1998 г.	раз-ность	1993 г.	1998 г.	раз-ность	1993 г.	1998 г.	раз-ность
Российская Федерация	76.26	77.20	0.94	9904.67	10009.1	104.47	7798.88	7890.6	91.73
<i>Европейско-Уральская</i>	47.34	48.36	1.02	5812.93	5974.84	161.91	4780.49	4909.6	129.18
Респ. Коми	16.20	16.63	0.43	1705.43	1765.46	60.03	1467.87	1517.9	50.04
Архангельская обл.	11.19	11.10	-0.09	1372.61	1366.36	-6.25	1163.55	1157.7	-5.77
Пермская обл.	3.53	3.74	0.21	467.16	497.60	30.44	351.63	374.44	22.81
Респ. Карелия	2.33	2.33	0.00	285.33	284.77	-0.56	212.90	212.49	-0.40
Вологодская обл.	2.20	2.14	-0.06	297.32	291.76	-5.56	222.49	218.23	-4.27
Свердловская обл.	1.82	1.84	0.02	257.85	274.55	16.70	190.81	202.71	11.90
Кировская обл.	1.77	1.72	-0.05	244.53	268.02	23.49	182.15	198.64	16.49
Мурманская обл.	1.55	1.57	0.02	83.13	86.34	3.21	80.38	83.06	2.68
Ленинградская обл.	1.02	1.06	0.04	194.25	187.25	-7.00	155.30	149.99	-5.32
<i>Западно-Сибирская</i>	5.39	5.62	0.23	573.09	610.55	37.46	449.65	476.78	27.14
Ханты-Мансийский АО	2.45	2.61	0.16	275.50	311.63	36.13	201.83	227.55	25.73
Ямало-Ненецкий АО	1.89	1.91	0.01	132.06	133.55	1.49	121.20	122.50	1.30
<i>Восточно-Сибирская</i>	10.66	10.88	0.22	1350.93	1371.65	20.72	993.67	1010.6	16.93
Красноярский кр.	5.84	5.83	-0.01	761.99	749.62	-12.37	548.23	539.71	-8.52
Иркутская обл.	3.20	3.31	0.11	452.64	471.89	19.25	328.42	342.29	13.87
Эвенкийский АО	1.16	1.28	0.12	88.53	101.36	12.83	79.43	90.41	10.97
<i>Дальневосточная</i>	12.88	12.35	-0.54	2167.73	2052.10	-115.63	1575.07	1493.5	-81.51
Хабаровский кр.	7.96	7.33	-0.63	1329.27	1204.28	-124.99	951.34	862.44	-88.90
Приморский кр.	2.58	2.65	0.07	471.25	482.30	11.05	353.04	361.35	8.31
Сахалинская обл.	1.18	1.19	0.01	187.72	186.07	-1.65	135.40	134.30	-1.11

Но в обоих случаях имелись отдельные субъекты федерации (как правило, в зонах интенсивных лесозаготовок и высокой горимости лесов) со снижением запасов и уменьшением площадей этих пород, с переходом их в вырубки и гари.

В межучетный период 1998-2003 гг., согласно «Лесному фонду России» (1999 и 2004 гг.), тенденция истощения древесных ресурсов ели не сохранилась. Произошло общее увеличение площадей и запасов (на

936.1×10^3 га и $104.23 \times 10^6 \text{ м}^3$), причем только за счет Европейско-Уральской провинции (1021.7×10^3 га и $161.81 \times 10^6 \text{ м}^3$). Тогда как в азиатской России имело место некоторое уменьшение площадей (на 85.6×10^3 га) и запасов (на $57.08 \times 10^6 \text{ м}^3$), в основном, за счет Хабаровского края (уменьшение на 627×10^3 га и 125×10^6).

Уменьшение запасов в последний межучетный период отмечено в пояснениях к формам «Лесного фонда России» (2004). За

последние 5 лет запасы спелых и перестойных насаждений уменьшились на 1.3 %, в том числе в Европейско-Уральской провинции на $\sim 6.1 \times 10^9 \text{ м}^3$ (1.6 %), из них по хвойному хозяйству на $4.0 \times 10^9 \text{ м}^3$ (~ 5 %). Восстановление молодняков не везде компенсирует эти потери.

Динамика углеродных пулов за 5-летие (таблица 6) повторяет изменение в ельниках запасов (для $C_{\text{phytomass}}$) и площадей (для C_{soil}). Для России в целом пул $C_{\text{phytomass}}$ В 1998 Г. уменьшился на $40.51 \times 10^6 \text{ т С}$, в основном за счет Восточно-Сибирской и Дальневосточной провинций, где оставалось интенсивным лесопользование и сказались последствия больших пожаров. Теми же факторами следует объяснить и уменьшение C_{soil} в восточных районах страны за счет перехода покрытых лесом земель в

категорию не покрытых лесом (вырубок гарей). В целом же для лесного фонда стра динамика C_{soil} за межучетный пери положительная ($26.15 \times 10^6 \text{ т С}$), что свидетельствует о прогрессирующем успех в лесовосстановлении с формированием молодняков.

Из общего годовичного депонирования углерода ($\sim 3 \times 10^6 \text{ т С год}^{-1}$) 90 % приходится на европейскую часть страны. Потери в депонировании углерода для ельников России определены в $\sim 190 \times 10^3 \text{ т С год}^{-1}$, с максимумами для Хабаровского кр., Архангельской обл. и Красноярского кр. (соответственно 84,63 и $32 \times 10^3 \text{ т С год}^{-1}$). Скорее всего, эти потери обусловлены изменениями возрастной структуры ельников из-за гибели молодняков и средневозрастных древостоев при пожарах.

Таблица 6 - География распределения еловых лесов России по запасам углерода фитомассы ($C_{\text{phytomass}}$) и органического углерода почв (C_{soil}) по годовичному депонированию углерода (по учетам на 01.01.1993 г. и на 01.01.1998 г.).

Лесорастительная провинция, субъект РФ	$C_{\text{phytomass}} 10^6 \text{ т С}$			$C_{\text{soil}}, 10^6 \text{ т С}$			Депонирование, $10^3 \text{ т С год}^{-1}$		
	1993 г.	1998 г.	разность	1993 г.	1998 г.	разность	1993 г.	1998 г.	разность
Российская Федерация	3845.48	3890.59	45.11	14731.17	14854.81	123.64	25352.73	28214.33	2861.60
<i>Европейско- Уральская</i>	2352.93	2416.67	63.74	7524.17	7681.81	157.64	20779.13	22902.54	2123.41
Респ. Коми	720.52	745.15	24.63	3114.77	3196.49	81.73	1713.50	2075.74	362.24
Архангельская обл.	571.90	569.08	-2.82	2150.93	2132.94	-17.99	2128.98	2523.02	394.03
Пермская обл.	173.61	184.88	11.27	320.23	339.07	18.84	2098.48	2451.96	353.48
Респ. Карелия	105.14	104.94	-0.20	211.62	211.49	-0.12	955.98	1251.42	295.44
Вологодская обл.	109.89	107.78	-2.10	199.66	193.90	-5.76	1622.86	1720.95	98.08
Свердловская обл.	94.30	100.20	5.90	165.18	166.73	1.55	1149.26	1223.70	74.44
Кировская обл.	89.98	98.17	8.19	161.00	156.49	-4.51	1289.55	1413.44	123.89
Мурманская обл.	39.07	40.39	1.32	298.42	302.65	4.22	57.92	40.81	-17.11
Ленинградская обл.	76.78	74.14	-2.64	142.67	147.65	4.97	1315.15	1267.76	-47.39
<i>Западно-Сибирская</i>	221.57	235.00	13.43	1264.37	1321.52	57.16	1353.24	1466.97	113.73
Ханты-Мансийский АО	99.74	112.49	12.75	637.35	678.86	41.51	616.92	697.81	80.89
Ямало-Ненецкий АО	59.14	59.78	0.64	388.65	391.71	3.06	255.10	257.99	2.89
<i>Восточно-Сибирская</i>	491.10	499.43	8.33	2698.28	2749.90	51.62	996.25	1379.98	383.73
Красноярский кр.	271.26	267.03	-4.23	1522.46	1519.69	-2.77	155.27	170.94	15.67
Иркутская обл.	162.46	169.33	6.87	831.69	861.53	29.85	796.51	1159.29	362.77
Эвенкийский АО	38.86	44.25	5.39	237.59	262.11	24.52	12.11	16.31	4.20
<i>Дальневосточная</i>	779.88	739.49	-40.39	3244.35	3101.57	-142.78	2224.12	2464.85	240.73
Хабаровский кр.	471.05	427.00	-44.04	2073.33	1909.97	-163.36	1280.20	1378.28	98.07
Приморский кр.	174.97	179.09	4.12	583.98	599.78	15.79	417.04	486.03	68.99
Сахалинская обл.	67.01	66.46	-0.55	306.89	309.01	2.13	354.19	385.27	31.08

Вклад ели, сосны и лиственницы в углеродные пулы бореальных лесов России. Оценки углеродных пулов в сочетании с

лесоресурсными характеристиками для трех основных лесобразующих пород - сосны, ели и лиственницы приводятся в таблицы 7.

Использовались данные «Лесного фонда России» (1999) и материалы наших предыдущих публикаций (Уткин и др., 2003, 2004).

Данные таблицы 7 показывают ожидаемые результаты: лидерство по всем показателям удерживают те лесообразующие породы, которые входят в лесной фонд с наибольшим представительством по занимаемой площади. Для России в целом и ее азиатской части к ним относятся

лиственница, в европейской части страны - ель. Единственный раз сосна ненамного опережает ель, выходя на первое место по депонированию углерода. Видимо, из-за значительного представительства молодых насаждений, чаще всего формирующихся в отличие от еловых молодняков без смены пород или с кратковременной сменой на начальном этапе лесообразовательного процесса.

Таблица 7 - Суммарные величины ресурсных и углеродных показателей сосны, ели и лиственницы (в абсолютных единицах) и их относительные значения по породам (в %)

Территория	Общая оценка	По породам, %		
		сосна	ель	лиственница
Площадь, 10 ⁶ га				
РФ в целом	458.96	25.6	16.8	57.6
Европейская часть	89.7	45.7	53.9	0.4
Азиатская часть	369.2	20.7	7.8	71.5
Запас, 10 ⁹ м ³				
РФ в целом	47.63	31.0	20.8	48.2
Европейская часть	10.93	46.3	53.2	0.5
Азиатская часть	36.74	26.5	11.1	62.4
Фитомасса, т абс.сух.в-ва				
РФ в целом	41.16	27.3	19.3	53.4
Европейская часть	8.85	45.1	54.3	0.6
Азиатская часть	32.21	22.4	9.6	68.0
Пул C _{phitomass} 10 ⁹ м С				
РФ в целом	20.30	27.3	19.3	53.4
Европейская часть	4.35	45.2	54.4	0.4
Азиатская часть	15.94	22.4	9.7	67.9
Пул C _{soil} 10 ⁹ м С				
РФ в целом	66.95	19.9	20.6	59.5
Европейская часть	12.31	36.8	62.6	0.6
Азиатская часть	54.65	16.1	11.2	72.7
Депонирование, 10 ⁶ т С год ⁻¹				
РФ в целом	121.79	41.2	21.9	36.3
Европейская часть	48.01	55.1	44.6	0.3
Азиатская часть	73.78	32.2	7.0	60.8

Примечание. Жирным шрифтом показаны древесные породы, являющиеся территориальными лидерами для анализируемых показателей.

Таким образом, хорошо выраженное противостояние европейского и азиатского секторов лесного фонда России по преобладающим в составе бореальных лесов соответственно еловых и лиственничных лесных экосистем, согласуется практически со всеми показателями, рассмотренными в таблице 7.

Заключение

Еловые леса сохраняют свое ресурсное и биосферное значение в европейской части России, главным образом на ее Северо-

Востоке. Здесь остался последний крупный и компактный массив близких к девственным, спонтанно развивающихся экосистем ели, главным образом из *P. obovata*. Второй крупный центр ельников (из *P. ajanensis*) располагается в низовьях Амура.

На площади 115.24×10^6 га пул $C_{\text{phytomass}}$ на начало 1998 г. определен в 5508.75×10^6 т С, с годичным депонированием 1128.11×10^3 т С год⁻¹. Пул C_{soil} в слое 0-100см равен 13725.8×10^6 т С, т.е. в ~ 2.5 раза больше пула $C_{\text{phytomass}}$.

Приводим другие имеющиеся оценки пулов углерода в ельниках России. Сотрудники Института леса им. В.Н.Сукачева СО РАН (Углерод в экосистемах лесов и болот, 1994) определили $C_{\text{phytomass}}$ в 3611.87×10^6 т С на площади 78.31×10^6 га. По учету на 01.01.1990 г. для площади в 84.8×10^6 га А.З.Швиденко и др. (2003) запас фитомассы оценивают в 4703×10^6 т, что эквивалентно пулу $C_{\text{phytomass}}$ 2350×10^6 т С. Пул C_{soil} по тем же данным равен 14019×10^6 т С, т.е. близок к нашей оценке.

В более ранней нашей работе (Уткин и др., 2001), базирующейся на ГУЛФ 1993 г., приводятся следующие оценки для ельников: $C_{\text{phytomass}}$ 3949×10^6 т С, C_{soil} 12356×10^6 т С для площади 7588×10^6 га. Исходя из этих оценок на долю $C_{\text{phytomass}}$ ельников приходится 12 % общего пула для покрытых лесом земель страны.

Библиографический список

1. Замолотчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В. Коэффициенты конверсионных запасов насаждений в фитомассу для основных лесобразующих пород России //Лесная таксация и лесоустройство.- Вып. 2.-Красноярск, 2004 (в печати).
2. Лесной фонд России (по учету на 1 января 1993 года) /Справочник.- М.: ВНИИЦ лесресурс, 1995.-281 с.
3. Лесной фонд России (по учету на 1 января 1998 года) /Справочник.- М.: ВНИИЦ лесресурс, 1999.- 649 с.
4. Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда по состоянию на 1 января 2003 г.) /Справочник.- М.: ВНИИЛМ, 2004.- 640с.
5. Манько Ю.И. Ель аянская.- Л.: Наука, 1987.-280 с.
6. Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А. и др. Ареалы деревьев и кустарников СССР. Т. I.- Л.: Наука, 1977.- 163 с. Приложение (карты 1-91).
7. Углерод в экосистемах лесов и болот России/ Под ред. Алексеева В.А., Бердси Р.А.- Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994.- 232 с.
8. Уткин А.И., Гульбе Я.И., Гульбе Т.А., Ермолова Л.С. Биологическая продуктивность лесных экосистем. Компьютерная база данных.- М.: ИЛ РАН, ЦЭПЛРАН, 1994.
9. Уткин А.И., Замолотчиков Д.Г., Честных О.В. Органический углерод лиственных лесов России //Хвойные бореальной зоны.- Вып. 1.- Лиственница.- 2003.-С. 66-76.
- Ю.Уткин А.И., Замолотчиков Д.Г., Честных О.В. Пулы углерода фитомассы и почв сосновых лесов России //Хвойные бореальной зоны.- Вып. 2.- Сосна.- Красноярск, 2004 (в печати).
- П.Уткин А.И., Замолотчиков Д.Г., Честных О.В., Коровин Г.Н., Зукерт Н.В. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение.- 2001. № 5.-С. 8-23.
- 12.Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных стран.- С-Пб.: Мир и семья-95., 1995.-992 с.
- 13.Честных О.В., Замолотчиков Д.Г., Уткин А.И. Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России // Лесоведение.- 2004.- № 4.- С. 30-42.
- 14.Шафрановский В.А. Распространение и особенности размещения ели Глена и лесов с ее участием // Комаровские чтения. Вып. XXXIX. Владивосток: Дальнаука, 1992.- С. 110-133.
- 15.Швиденко А.З., Ваганов Е.А., Нильссон С. Биосферная роль лесов России на старте третьего тысячелетия: углеродный бюджет и Протокол Киото //Сибирский экологический журнал.- 2003.- № 6.- С. 649-658.
- 16.Silvics of North America. Vol. 1. Conifers. Eds. Russel M. Burns and Barbara H.Honkovla. Agriculture Handbook 654. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.- Washington, DC, 1990.- 675 p.

Поступила в редакцию 23 июля 2004 г.

