ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ РОССИИ

© 2003 г. А.И.Уткин [1,2], Д.Г.Замолодчиков [2], О.В.Честных [2]. УДК630*516/518:630*182.5:674.032.475.3(470)
[1] Институт лесоведения РАН
[2] Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

В формировании лиственничных лесов России участвуют 7 видов рода *Larix* ареалы 6 из них располагаются в Сибири и на Дальнем Востоке. К основным лесообразователям относятся лиственница сибирская (*L.sibirica*) и даурская или Гмелина (*L.gmelinii*). Общая площадь насаждений с преобладанием лиственницы в стране $263*10^6$ га, запасы древесины $30*10^9$ м^3 (40% и 37% от общероссийского уровня). По материалам инвентаризации лесов 1993 и 1998 гг. и отношений «фитомасса/запас» (Ph/S-ratio) для субъектов федерации определены: фитомасса, пул углерода в фитомассе ($C_{phytomass}$), пул органического вещества в толще почвы 0-100 см (C_{soil}) и годичное депонирование углерода. Расчеты выполнены для 4 лесорастительных провинций: Европейско-Уральской, Западно-Сибирской, Восточно-Сибирской и Дальневосточной. Суммарный для всех провинций запас фитомассы лиственничных лесов на 1 января 1998 г. определен в $22.00*10^9$ т абсолютно сухого вещества. Пул $C_{phytomass}$ равен $10.85*10^9$ т С, в том числе стволы 71.1%, ветви и побеги 6.4%, хвоя 1.9%, корни 20.7%. Пул C_{soil} оценен в $39.81*10^9$ т С, годичное депонирование углерода в $44.99*10^6$ т С год$^{-1}$ (0.41% от $C_{phytomass}$). Доля лиственничных лесов от общих для лесов России показателей составляет: для $C_{phytomass}$ 26%, для C_{soil} 31%, по депонированию 18%. Большое представительство спелых и перестойных насаждений в возрастной структуре диственничных насаждений России (53% по площади и 66% по запасу) обусловливает их преимущественно углеродконсервирующую роль в углеродном цикле.

In forming larch forests of Russia, 7 species of genus *Larix* participate; with 6 of them situated in Siberia and the Far East. Main of the species are the Siberian larch (*L. sibirica*) and the dahurian, or Gmelin, larch (*L. gmelinii*). The total area of larch stands in the country is $263 \cdot 10^6$ ha, stock volume is $30 \cdot 10^9$ m^3 (40% and 37% from the Russian level, respectively). In accordance with the data of state forest inventories in 1993 and 1998, for ratios "phytomass / stock volume" (Ph / S-ratio) and for federation subjects are determined: phytomass, pool of carbon in phytomass ($C_{phytomass}$), pool of the organic matter whithin the soil layer 0-100 cm (C_{soil}) and annual carbon accumulation. Estimates are done for 4 forest provinces: European-Ural, the Western Siberia, the Eastern Siberia and the Far East. The total phytomass reserve for all larch forests on the January, 1, 1998 is determined as $22.00*10^9$ t absolute dry matter. Pool $C_{phytomass}$ is equal to $10.85*10^9$ t C, including stems 71.1%, branches and shoots 6.4%, needles 1.9%, roots 20.7%. Pool C_{soil} is estimated as $39.81*10^{9t}$ C, annual carbon accumulation as $44.99*10^6$ t C year^{-1} (0.41 from $C_{phytomass}$). The share of larch forests from the parameters for total Russian forests is 26% for $C_{phytomass}$, 31% for C_{soil} and 18% for carbon accumulation. The significant representation of mature and over-mature stands within the age structure of Russian larch forests (53% by area and 66% by stock volume) determines their carbon-conserving role in the carbon cycle.

Введение.

Леса, образованные видами *Larix* Mill., - уникальное явление в биогеоценотическом покрове Северной Евразии. Площадь их в лесном фонде Российской Федерации $263*10^6$ га, запас древесины около $30*10^9$ м^3, или соответственно 40 и 37% от общефедеральных (Лесной фонд России, 1999). Представительство естественных лиственничников возрастает от спорадического в северных районах на западе страны до абсолютного господства на востоке. В том же направлении меняется видовой состав этой породы: в Европейско-Уральской лесорастительной провинции и узкой полосе Зауралья (до реки Оби и Иртыша) распространена лиственница Сукачева *L. sukaczewii* Dyl., в Западной Сибири, горах Южной Сибири, на равнинах южной тайги (до Байкала) – лиственница сибирская *L. sibirica* Ldb., восточнее даурская или Гмелина (*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr.), с которой на северо-востоке стыкуется лиственница Каяндера (*L. cajanderii* Mayr). В полосе контакта ареалов даурской лиственницы с сибирской характерны гибридные формы, называемые лиственницей Чекановского (*L. czekanowskii* Szaf.). В Южном Приморье и на Камчатке небольшими площадями обособлено еще несколько видов *Larix*.

Главная природная особенность биома лиственничных лесов Северной Евразии – высокая континентальность, обусловленная исключительно низкими зимними температурами (средняя температура января -25°...-30° С и ниже), усугубляемая малоснежностью длительных холодных зим. Продолжительность по подзонам периода с температурами воздуха выше 0° на территории основных массивов лиственничных лесов варьирует существенно: от 160-170 до 170-190 дней, период вегетации (температуры выше 5°) от 120-140 до 130-160 дней (Уткин и др., 2001). Биоклиматические различия лиственничников в значительной мере нивелируются влиянием многолетне-мерзлых грунтов (вечной мерзлоты); так как основные виды лиственницы сопряжены с криолитозоной.

Из-за комплексного проявления неблагоприятных факторов среды естественные лиственничники лишь отчасти реализуют свои экологические возможности. Экологический оптимум лиственницы находится вне ее фитоценотического ареала – в южной части лесной зоны и в лесостепи. Широкое распространение, а регионально и абсолютное господство, лиственничников в азиатской части России связано отнюдь не с какими-то ее выдающимися эколого-фитоценотическими особенностями. Всем видам рода *Larix* изначально свойственна слабая конкурентная способность. Возобновляемая стратегия лиственницы более всего проявляется при трансформации экотопов: абсолютной (гари) или частичной (вырубки) и участков с нарушенной поверхностью, в меньшей мере – на влажном моховом субстрате (Уткин, 1999). Лиственничники сложились в процессе постепенного разрушения темнохвойной тайги при похолоданиях и формировании вечной мерзлоты. Смешанные насаждения из лиственницы, ели, кедра сибирского распространены и сейчас во влажных местообитаниях Западной Сибири и Европейского Севера. Господство лиственницы в евроазиатской криолитозоне обеспечивается за счет нескольких ее экологических особенностей; наиважнейшие из них следующие:

а) *система побегообразования*, с формированием обычных ростовых побегов (ауксибластов) и длительно охвоенных коротких побегов (брахибластов). Даже при отмирании от морозов и по другим причинам апикальных (концевых) почек ростовых побегов охвоение у лиственницы обеспечивается за счет укороченных побегов, меристемы которых хорошо защищены опушением. Продолжительность жизни брахибластов при этом достигает десятки лет, в пессимальных условиях даже более 100 лет. При наступлении благоприятных условий часть брахибластов может «прорастать» в ростовые и генеративные побеги. В североамериканском секторе криолитозоны, где достаточно снежные зимы мягче, чем на северо-востоке России, налегают ареалы двух древесных пород близкой экологии: ели черной (*Picea mariana* (Mill.)B.S.P.) и лиственницы американской *(Larix laricina* (Du Roi) K.Koch.). Лиственница здесь не пользуется широким распространением и оттеснена елью на болота и заболоченные участки (Johston, 1999; Viereck, Johston, 1999);

б) *образование придаточных корней* – обязательное условие более или менее благоприятного существования большинства древесно-кустарниковых пород в криолитозоне. У лиственницы придаточные корни особенно характерны для густых насаждений, формирующихся на гарях при более глубоком сезонном протаивании почвенной толщи;

в) *ежегодное практически семяношение при удовлетворительном качестве семян.* Не всегда высокие урожаи семян отмечаются повсеместно, включая северные и горные районы (Ирошников, 1982).

Разные виды лиственницы из числа наиболее распространенных вступают в контакты с несколькими древесными породами-лесообразователями. В притундровых северотаежных лиственничниках европейской части страны и Западной Сибири к лиственнице Сукачева и сибирской, а восточнее – к даурской примешивается ель сибирская (*Picea obovata* Ldb.). На Северо-Востоке лиственница Каяндера контактирует с кедровым стлаником (*Pinus pumila* (Pall.) Regel), южнее – с елью аянской. На Камчатке ареал лиственницы Камчатской (*L.kamtschatica* (Rupr.) Carr) обособлен эдафически - сухие речки в долине р.Камчатка. В южной части, начиная от Приамурья и

Забайкалья, в южной полосе ареалов всех видов в лиственничниках постоянна примесь сосны, в горных районах - кедра, пихты сибирской и ели сибирской. При значительном дендрологическом разнообразии их типологический состав не отличается богатством и представлен небольшим числом групп типов леса, что значительно упрощает изучение углеродного цикла лиственничных экосистем - самой представительной в лесном фонде России формации.

Удаленность от центров потребления сырья, ряд негативных качеств лиственничной древесины для транспортировки и обработки, низкая продуктивность насаждений в основных районах и т.д., исключают возможность увеличения лесопользования в лиственничниках. Древесина признается ценным сырьем для лесохимии (Изучение химического состава..., 1958), но создание таких производств в современных экономических условиях не реально. Первоочередным остается использование лиственничного биома как крупномасштабного природоохранного объекта и хранилища органического углерода.

Цель настоящей работы – оценить на федеральном и региональном уровнях запасы (пулы) углерода в фитомассе ($C_{phytomass}$) и в почвах (C_{soil}), проанализировать географические закономерности размещения обоих пулов и проследить текущие изменения в структуре лесного фонда по материалам государственных учетов лесного фонда (ГУЛФ) 1993 и 1998 гг.

Объект и методика

Базовые материалы исследований. Ими служили сведения ГУЛФ, публикуемые по отдельным субъектам РФ (Лесной фонд России, 1995, 1999). В начале 90-х годов границы отдельных лесохозяйственных предприятий были совмещены с границами выделенных по зональным критериям экорегионов. Для азиатской части РФ число экорегионов составило 62, в Европейско-Уральской части к экорегионам приравнивались субъекты федерации (58 шт.).

Лесной фонд России был поделен на четыре лесорастительных области: Европейско-Уральскую, Западно-Сибирскую, Восточно-Сибирскую и Дальневосточную. Они достаточно автономны по природным и экономическим условиям и обеспечены однотипной лесоинвентаризационной информацией. Каждая из лесорастительных областей по ландшафтной карте СССР (1988) была дифференцирована на три ландшафтные полосы: северную, среднюю и южную, последняя помимо южной тайги включает и подзоны смешанных лесов, лесостепи и др. В настоящей статье зональный аспект не привлекается в рассмотрение результатов.

Для лиственничных лесов азиатской части страны имеются некоторые трудности с обеспечением базовыми материалами, поскольку здесь сосредоточено около $150*10^6$ га резервных лесов, охарактеризованных по данным космических съемок, а частично и аэровизуальной таксации в середине прошлого века. Но материалы этих, различающихся содержанием и точностью инвентаризаций представлены в формате ГУЛФ, что обеспечивает единую схему расчетов. Выделение новых субъектов РФ из состава краев привело к перераспределению лесного фонда, с образованием новых лесхозов, разделением и размежеванием для других предприятий.

Конверсия материалов ГУЛФ в оценки пулов $C_{phytomass}$ и C_{soil}

Из публикуемых (Лесной фонд России, 1995, 1999) к базовым для углеродного цикла относятся: распределение площадей лесного фонда по категориям земель, распределение площадей и запасов насаждений покрытых лесом земель по основным и прочим лесообразующим породам и далее по возрастным группам, определяемые расчетно удельные запасы (плотность фитомассы или углерода) для групп возраста насаждений. Фитомасса насаждений здесь традиционно рассчитывается через запас древесины, фитомасса нижних ярусов - по площади с учетом возрастных групп насаждений. Эти оценки затем суммировались с оценками для насаждений в состав общих предикторов. Фитомасса не покрытых лесом земель (вырубки, гари и др.) и нелесных земель (луга, болота и др.) учитываются по площади с привлечением среднестатистических оценок для разных типов земель. Так же, т.е. по площади, определялся и запас органического вещества почв, для покрытых лесом земель – по преобладающим породам.

Конверсионные коэффициенты (предикторы) для фракций фитомассы лиственничных экосистем. По материалам компьютерной базы данных «Биологическая продуктивность лесных экосистем» (Уткин и др., 1994) были рассчитаны коэффициенты для конверсии древесных запасов в фитомассу по отдельным лесорастительным провинциям, для C_{soil} и по ландшафтным полосам.

Коэффициенты конверсии запасов древесины в фитомассу. В настоящее время методика имеет повсеместное применение в странах с достаточной лесистостью, ибо оценка фитомассы по площади требует хорошей изученности почв и растительности, высококачественного картографического обеспечения. Суть метода – определение запасов и продукции лесных фитоценозов при детальной таксационной характеристике их древостоев. После обработки материалов рассчитывается относительный коэффициент $k=Ph/M$, где Ph – фитомасса, т $га^{-1}$, M – запас древесины, $м^3$ $га^{-1}$. В развернутой форме $Ph = \rho_{баз}(GHF)$, а $M=GHF$ (где $\rho_{баз}$ – базисная плотность древесины, кг $м^{-3}$, G – сумма площадей сечений стволов, $м^2$ $га^{-1}$, H – средняя высота древостоя, м, F – видовое число; HF – принято называть видовой высотой. Отсюда, $k \approx \rho_{баз}$, что соответствует интегральной расчетной

плотности для массы всех фракций деревьев: стволов (древесины и коры); ветвей и побегов; хвои и (или) листьев; корней с пнями. Использование , $k \approx \rho_{баз}$ пригодно и для насаждений, различающихся составом пород.

Раньше мы пользовались общими $k=Ph/M$ (Исаев и др., 1995; Isaev et al., 1995; Уткин и др., 2001). Перерасчет фракций фитомассы в углерод выполнялся с помощью множителя 0.5 для древесных органов деревьев и 0.45 для листвы, растений нижних ярусов. При изучении потоков углерода важен фракционный состав фитомассы. что достигается разложением общего $k=Ph/M$ на множители. Конверсионные коэффициенты для фракций фитомассы лиственничников разных возрастных групп рассчитаны только для ландшафтных полос (таблица 1).

Таблица 1. Конверсионные коэффициенты *Ph/M* для фракций лиственницы, т м$^{-3}$ (средние значения ± стандартная ошибка)

Широтная полоса	Группа возраста	Общий	Фракция			
			стволы	ветви	корни	листья, хвоя
1	Молодняки	1.046±0.063	0.481±0.016	0.068±0.013	0.456±0.025	0.042±0.009
	Средневозрастные	0.845±0.047	0.501±0.017	0.057±0.011	0.265±0.015	0.023±0.005
	Приспевающие	0.900±0.045	0.516±0.013	0.054±0.008	0.312±0.021	0.019±0.003
	Спелые и перестойные	0.956±0.044	0.531±0.009	0.051±0.006	0.359±0.027	0.015±0.002
2	Молодняки	0.811±0.166	0.621±0.119	0.050±0.010	0.111±0.025	0.028±0.012
	Средневозрастные	0.836±0.125	0.661±0.055	0.049±0.007	0.109±0.061	0.017±0.001
	Приспевающие	0.867±0.162	0.648±0.085	0.061±0.007	0.131±0.061	0.027±0.008
	Спелые и перестойные	0.807±0.095	0.632±0.029	0.055±0.003	0.103±0.061	0.017±0.002
3	Молодняки	0.784±0.087	0.494±0.034	0.115±0.019	0.136±0.025	0.040±0.008
	Средневозрастные	0.742±0.112	0.524±0.047	0.055±0.003	0.150±0.061	0.013±0.001
	Приспевающие	0.795±0.112	0.575±0.047	0.051±0.003	0.156±0.061	0.013±0.001
	Спелые и перестойные	0.795±0.099	0.575±0.030	0.051±0.006	0.156±0.061	0.013±0.003

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

Таблица 2. Средние значения послойных запасов абсолютно сухого органического вещества в почвенной толще лиственничных насаждений 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	276.3±103.3	373.5±113.5	459.7±114.2	4
1	2-3	284.4±60.2	371.1±68.5	525.1±97.6	10
1	4	158.1±17.5	202.0±22.2	276.3±28.2	43
2	1-3	151.8±27.1	167.6±29.3	196.5±32.8	20
2	4	132.8±12.0	169.9±12.8	238.1±14.2	61
3	1-2	129.3±62.3	154.5±66.4	196.0±73.1	3
3	3	222.7±58.4	262.5±62.8	313.4±65.6	10
3	4	332.9±69.7	379.7±62.8	448.6±56.1	5

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.

Среднестатистические значения запасов органического вещества в слоях почвенной толщи. В исследованиях почвоведов запасы гумуса определяются по почвенным картам разного масштаба. Легенды карт служат основой для выделения типов почв и определения площади контуров отдельных типов. Полученные по литературным источникам удельные запасы органического вещества типов почв разных регионов и подзон перемножаются затем на площади контуров, с дифференциацией почв на освоенные и целинные.

Наш подход базируется на материалах ГУЛФ, что освобождает от сканирования с карт площадей контуров и позволяет вовлечь в вычисления все разнообразие земель лесного фонда. В дальнейшем, как и у почвоведов, используется площадной подход. Для покрытых лесом земель лесорастительных провинций по ландшафтным полосам единственным базовым признаком остается лесообразующая порода, без разделения насаждений на возрастные группы. Первые в таком формате оценки C_{soil} (Честных и др., 1999) были получены на основе базы данных небольшого объема. В последнее время база

данных значительно расширилась, хотя это мало коснулось лиственничных лесов: число почвенных разрезов увеличилось лишь на 4 (с 152 до 156 шт.), из которых 70% для Дальневосточной провинции. Второй вариант базы данных создан для трех слоев почвенной толщи: 0-30 см, 0-50 см, 0-100 см.

Фрагмент базы данных, касающейся лиственничных лесов, представлены в таблице 2. Две западные и крайняя восточная лесорастительные провинции выделяются наибольшими запасами C_{soil}, скорее всего из-за заболоченности. Среднетаежным лесам, прежде всего в Восточно-Сибирской провинции, а отчасти и южно-таежным лиственничникам Сибири, где часты низовые пожары, напротив, свойственны меньшие удельные запасы почвенной органики; в верхней трети почвенной толщи. Распределение C_{soil} в слоях 0-30 см и 0-50 см составляет 54-74% и 71-85% от C_{soil} в толще 0-100 см. Для конверсии массы органического вещества почв в углерод использовали коэффициент 0.57.

Результаты и обсуждение

Остановимся на представительстве лиственничных насаждений в лесном фонде лесорастительных провинций и субъектов РФ по площадям и запасам, по возрастной структуре и углеродной емкости.

Лесной фонд лиственничных лесов по лесорастительным провинциям. По данным ГУЛФ-1998 г., площади лиственничных лесов составляют $263*10^6$ га, из которых соответственно 34.5 и 62.6% приходится на Восточно-Сибирскую и Дальневосточную провинции (таблица 3), при абсолютном господстве на территории между 85°30′ в.д. и 60° с.ш. Сходно распределение и запасов древесины лиственницы (в двух названных провинциях 42% и 54%), и фитомассы (42 и 55%). В западных провинциях, где ландшафтную роль играет темнохвойная тайга, естественные лиственничники смещены либо на известняки и в заболоченные места (Предуралье), либо на болота и в полосы притундровых лесов, вплоть до верхней границы леса (Западная Сибирь).

Если общие для провинций запасы C_{soil} согласуются с распределением площадей, занимаемых лиственничниками, то $C_{phytomass}$, наоборот, почти аналогично соотношению древесных запасов, ибо в составе $C_{phytomass}$ на долю стволов приходится от 60% до 73% общих запасов (таблица 4). Различия по провинциям обусловлены морфоструктурой деревьев в разных лесорастительных условиях и возрастной структурой насаждений по провинциям.

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

Провинция	Группа возраста	Площадь, 10^6 га	Запас, 10^6 м^3	Фитомасса, 10^6 т	$C_{phytomass}$, 10^6 т	C_{soil}, 10^6 т	Депонирование, 10^6 тС год$^{-1}$
Европейско-Уральская	Молодняки	0.06	5.8	4.9	2.4	7.3	0.119
	Средневозрастные	0.03	5.6	4.5	2.3	5.1	0.005
	Приспевающие	0.02	3.5	3.1	1.5	4.4	0.003
	Спелые и перестойные	0.24	34.3	34.4	17.0	58.2	0.000
	Итого	0.35	49.3	47.0	23.3	75.0	0.126
Западно-Сибирская	Молодняки	0.13	3.4	4.6	2.2	33.0	0.116
	Средневозрастные	1.56	115.8	113.8	55.9	433.9	0.183
	Приспевающие	0.91	86.1	85.8	42.3	233.0	0.344
	Спелые и перестойные	4.71	522.8	516.6	255.4	1212.0	0.000
	Итого	7.32	728.1	720.7	355.8	1912.0	0.643
Восточно-Сибирская	Молодняки	11.23	226.1	302.7	145.4	1568.0	9.499
	Средневозрастные	15.61	1549.3	1400.9	691.8	2159.1	3.187
	Приспевающие	6.16	809.0	740.5	366.6	840.7	0.650
	Спелые и перестойные	57.70	7194.2	6743.4	3338.3	8489.6	0.000
	Итого	90.69	9778.6	9187.5	4542.1	13057.4	13.337
Дальневосточная	Молодняки	33.41	676.3	908.6	436.3	5086.3	23.255
	Средневозрастные	42.28	2916.6	2844.2	1398.0	6416.5	6.875
	Приспевающие	13.21	1359.1	1303.5	643.6	2013.7	0.751
	Спелые и перестойные	75.90	7484.7	6992.2	3451.5	11249.9	0.000
	Итого	164.80	12436.7	12048.4	5929.4	24766.3	30.882
Всего в РФ	Молодняки	44.83	911.6	1220.7	586.3	6694.6	32.990
	Средневозрастные	59.48	4587.3	4363.4	2148.0	9014.6	10.251
	Приспевающие	20.30	2257.7	2132.9	1054.0	3091.8	1.748
	Спелые и перестойные	138.56	15236.1	14286.6	7062.2	21009.7	0.000
	Итого	263.16	22992.7	22003.6	10850.6	39810.7	44.988

Таблица 4. Распределение $C_{phytomass}$ по фракциям в лиственничных насаждениях четырех лесорастительных провинций России

Провинция	Стволы		Ветви и побеги		Хвоя		Корни		Всего	
	10^6 т С	%	10^6 т С	%	10^6 т С	%	10^6 т С	%	10^6 т С	%
Европейско-Уральская	13.1	60.2	1.4	6.6	0.4	1.8	6.8	31.4	21.8	100.0
Западно-Сибирская	207.8	64.8	19.5	6.1	5.6	1.8	87.7	27.3	320.6	100.0
Восточно-Сибирская	2847.1	68.6	259.5	6.3	71.3	1.7	971.0	23.4	4148.9	100.0
Дальневосточная	3803.4	73.4	337.8	6.5	102.5	2.0	934.8	18.1	5178.6	100.0
Всего в РФ	6871.4	71.1	618.3	6.4	179.9	1.9	2000.3	20.7	9669.9	100.0

Значимость углеродного цикла лесов определяется соотношением площадей молодняков и средневозрастных насаждений, с одной стороны, со спелыми и перестойными; с другой; преспевающие лиственничники в разных провинциях занимают ≈ 10% площади. Наилучшее (равное 1.0) отношение площадей старовозрастных и молодых насаждений свойственно для Дальневосточной провинции, здесь лиственница успешно возобновляется на гарях. В других провинциях те же отношения варьирует (таблица 3) от 2.1 (Восточно-Сибирская) до 2.8 (Западно-Сибирская), что свидетельствует о незначительном вкладе местных лиственничников в секвестр атмосферного CO_2. Депонирование углерода как зависимый от $C_{phytomass}$ показатель определен в $45*10^6$ т С $год^{-1}$, с максимумами в Дальневосточной и Восточно-Сибирской провинциях – 69% и 29% (таблица 3).

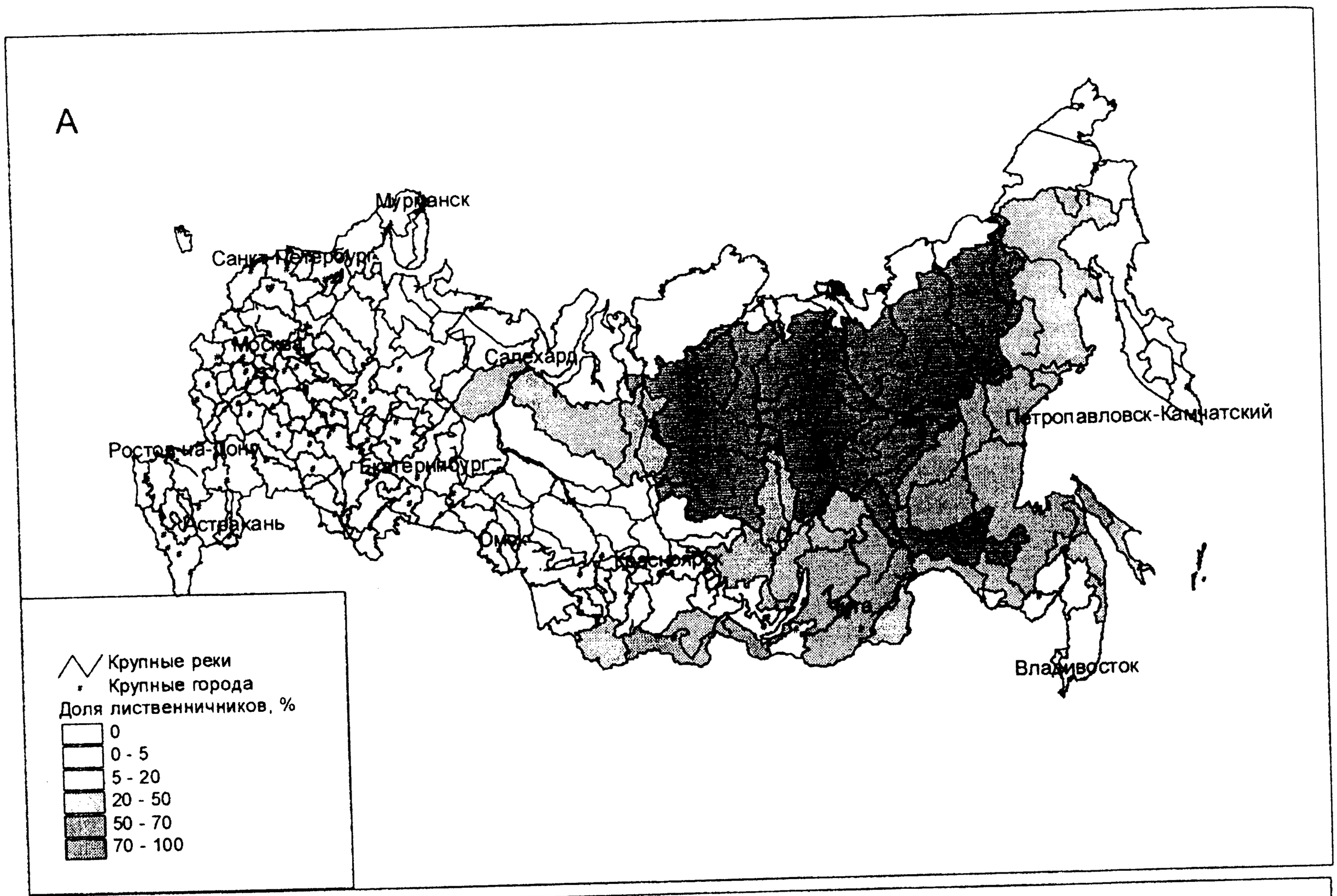
Запасы C_{soil} в толще 0-100 см лиственничников России достигают около $40*10^9$ тС, что в 3.7 раз больше запасов $C_{phytomass}$, с варьированием по провинциям с запада на восток в 3.2; 5.4; 2.9 и 4.2 раз. Следовательно, почвенная толща лиственничных лесов относится к более емким по сравнению с фитомассой хранилищем органического углерода в наземных экосистемах.

Фракционная структура фитомассы лиственничников. Соотношение массы фракций можно рассчитать по долевому представительству пофракционных коэффициентов конверсии, принимая за 1.0 общий конверсионный коэффициент, соотношение может несколько меняться в зависимости от возрастной структуры насаждений. Наибольшим сходством в лиственничниках разных провинций выделяются ветви с побегами (скелет крон) и хвоя (таблица 4). Корням же свойственно большое варьирование, связанное, скорее всего, с методическими трудностями определения массы корней модельных деревьев.

Географические закономерности размещения площадей, запасов, фитомассы и $C_{phytomass}$,C_{soil} лиственничников. На картосхеме (рисунок), построенной для экорегионов по материалам ГУЛФ – 1998 г., показано процентное представительство лиственничных насаждений в составе земель, покрытых лесной древесной и кустарниковой растительностью. Если исключить заросли кедрового стланика из группы лесных формаций, то на крайнем Северо-Востоке (кроме Камчатской обл.) господство лиственницы будет абсолютным.

Лиственничные леса тесно связаны с криолитозоной, здесь лиственница осваивает почти все экотопы и поймы. Естественные лиственничники представлены в лесном фонде 33 субъектов РФ, 16 из которых отнесены к «тысячникам», с площадью ≥ $1*10^3$ га (таблица 5). Из них только Республика Алтай и Ямало-Ненецкий АО входят в состав Западно-Сибирской провинции, остальные принадлежат Восточно-Сибирской и Дальневосточной провинциям (по 7 субъектов в каждой). На долю этих 16 субъектов РФ приходится 99% общей площади насаждений формации, 98% запасов древесины и фитомассы (таблица 5), пула $C_{phytomass}$ (98%). Но пул C_{soil} для той же группы субъектов федерации значительно меньше (89%).

В направлении с востока на запад уменьшается доля лиственницы в структуре лесного фонда при одновременном увеличении средних запасов насаждений, хотя в южной полосе (Приамурье и Забайкалье) запасы $C_{phytomass}$ остаются достаточно стабильными. По аппроксимации экспериментальных данных на 120-летний возраст насаждений, амплитуда запасов $C_{phytomass}$ в направлении восток-запад может достигать 4-6-кратной величины (Усольцев, Колтунова, 2001).



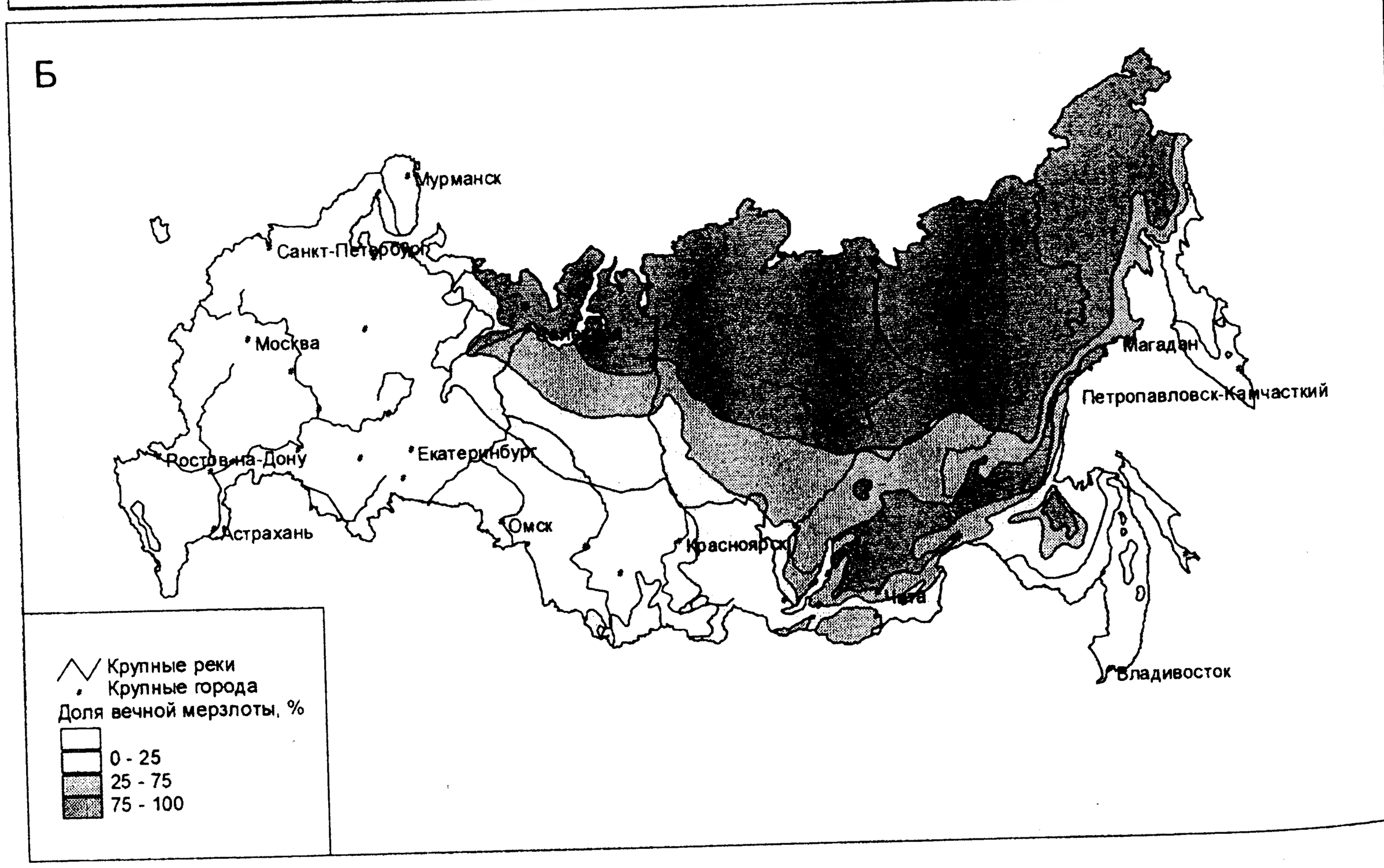


Рисунок 1. Доля лиственничных лесов в составе покрытой лесом площади (Лесной фонд России, 1999) (А) и доля по площади вечной мерзлоты (Б) (по: Stolbovoi, McCallum, 2002).

Депонирование углерода в фитомассе насаждений лиственницы по ГУЛФ-1998 составляет 45 * 10^6 т С $год^{-1}$, что по непонятным причинам на 5% больше оценок по учетам 1988 и 1993 гг.

Динамика лесного фонда, пулов и депонирования углерода лиственничников. Динамика прослежена за один лесоинвентаризационный период: между 1993 г. и 1998 г. Сравнение нельзя считать полностью корректным, ибо с ГУЛФ-1993 притундровые редкостойные леса стали исключаться из состава покрытых лесомземель и отнесением их к категории не покрытых лесом «естественным рединам». Изменения правил наибольее коснулись лиственничных экосистем на северной границе леса и в подгольцовом поясе в горах. Кроме того, в этот период имело место перераспределение земельных фондов между лесопользователями. За период 1993-1998 гг. одновременно происходили как формирование молодняков, так и гибель лесов от пожаров, уточнения материалов предшествующих инвентаризаций.

В таблице 5 и таблице 6 содержатся сведения о направлении в насаждениях лиственницы динамических процессов, сопровождающихся изменением площадей и запасов. В целом для России баланс площадей оказывается отрицательным при суммарных «потерях»

($\sum$ - 6407*10^3 га) и «прибавлениях» ($\sum$ + 6222*10^3 га). Вряд ли этот результат связан с лесообразовательными процессами, лесохозяйственной деятельностью и даже с последствиями пожаров. Скорее, это результат изменения статуса земель лесного фонда. В основе конечных результатов баланса площадей лежат изменения в трех субъектах РФ: потери 6.04*10^6 га покрытых лесом земель в Республике Саха (Якутия) и их прибавки на 2.59*10^6 и 2.83*10^6 га в Эвенкийском АО и Хабаровском крае. В остальных субъектах федерации изменение площадей лиственничников может отвечать процессам, регулируемых лесопользованием и деструктивными воздействиями (пожары и др.). С динамикой площадей почти зеркально согласуются изменения пула C_{soil} на уровне субъектов федерации

($\sum$ + 925.0*10^6 т С, $\sum$ - 943.7*10^6 т С).

Баланс древесных запасов лиственницы в масштабе страны – положительный

(при $\sum$ - 527.9*10^6 $м^3$ и $\sum$ +606.0*10^6 $м^3$), что связано с потерями покрытых лесом земель, но преимущественно с низкопродуктивными насаждениями. И здесь потери запаса Республики Саха (Якутия) компенсируются прибавками в Эвенкийском АО и Хабаровском крае.

Географические закономерности изменения древесных запасов лиственничников сохраняются с небольшими отклонениями и для запасов фитомассы (таблица 5) и для пула $C_{phytomass}$ (таблица 6).Иной оказывается динамика годичного депонирования углерода (таблица 6). За 5 лет при $\sum$ + 3.02*10^6 т С и $\sum$ -0.93*10^6 т С оно возросло на 2.09 * 10^6 т С $год^{-1}$ (на 4.9% против 1993г.) при сохранении почти одинаковых средних значений в 1993 и 1998 гг. (163 и 170 кг $га^{-1}$ $год^{-1}$). Небольшие потери депонирования углерода Республики Саха (Якутия) перекрываются уже прибавками лиственничников Читинской обл. Противостоящие по другим показателям динамики лесного фонда и органического углерода Эвенкийский АО и Хабаровский край в этот период масштабно накапливали углерод (52 и 35% от разности). Увеличение в Эвенкийском АО показателей изменения площадей, запасов насаждений, пулов углерода и его депонирования заставляет предположить о существенной структурализации лесного фонда в 1953-1958 гг. Сильно возросло депонирование углерода лиственницы и в Магаданской обл. (31% от разности). Снижение размеров депонирования в Красноярском крае и Таймырском АО (23 и 5% от разности), очевидно, обусловлено переводом части насаждений в естественные редины.

В целом для ареала лиственничников России прослеживается тенденция увеличения размеров депонирования углерода в северных и некоторое снижение его в части южных регионах (Республика Бурятия, Сахалинская обл.). В большинстве же субъектов РФ депонирование углерода оставалось на стабильном уровне. Отвечает ли тенденция увеличения депонирования лиственницы северных территорий прогнозам положительного влияния потепления климата на биопродуктивность растительности высоких широт, пока что ответить невозможно. Прежде всего из-за перераспределения площадей земель лесного фонда с образованием категории «естественные редины».

Сравнение с данными других исследований. Поформационные оценки показателей углеродного цикла в лесах России малочисленны. Сотрудники Института леса СО РАН по ГУЛФ-1988 (площадь лиственничников России 277.63*10^6 га) определили $C_{phytomass}$ 8629.7*10^6 т С, в том числе 1782.71*10^6 т С Красноярском крае прошлого административного деления: с включением Таймырского АО, Эвенкийского АО и Республики Хакассия (Углерод в экосистемах ..., 1994). Наши оценки по ГУЛФ-1998 $C_{phytomass}$ (таблица 6) больше приведенных: для России на 26%, для Красноярского кр. на 13%, по ГУЛФ-1993 соответственно на 25 и 7%. В более ранней работе (Исаев и др., 1995) запас $C_{phytomass}$ лиственничников для площади 277.63*10^6 га определен нами в 12.92*10^6 т С, что на 19% превосходит оценки настоящей работы для ГУЛФ 1993 и 1998 гг.

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

Лесорастительная провинция, субъект РФ	Площадь, 10^3 га			Запас, 10^6 м^3			Фитомасса, 10^6 т		
	1993 г.	1998 г.	разность	1993 г.	1998 г.	разность	1993 г.	1998 г.	разность
Российская Федерация	263348.0	263162.8	-185.2	22914.55	22992.69	78.14	21916.57	22003.61	87.05
Европейско-Уральская	369.2	352.7	-16.5	49.58	49.25	-0.33	47.60	46.96	-0.64
Архангельская обл. и Ненецкий АО	54.0	52.6	-1.4	9.05	8.82	-0.23	9.22	8.97	-0.24
Республика Коми	196.7	183.7	-13.0	23.35	22.07	-1.28	24.35	23.01	-1.34
Свердловская обл.	18.0	17.4	-0.6	3.28	3.08	-0.20	2.63	2.46	-0.16
Челябинская обл.	20.6	19.6	-1.0	3.88	3.97	0.09	3.16	3.23	0.07
Республика Башкортостан	33.3	41.2	7.9	5.96	6.34	0.38	4.86	5.16	0.30
Западно-Сибирская	6726.8	7320.7	593.9	622.31	728.14	105.83	627.52	720.73	93.21
Алтайский кр.	70.8	85.2	14.4	12.73	15.78	3.05	10.26	12.76	2.50
Республика Алтай	624.9	1210.3	585.4	116.37	220.66	104.29	100.78	192.85	92.07
Кемеровская обл.	6.3	6.5	0.2	0.7	0.69	-0.01	0.56	0.56	-0.01
Новосибирская обл.	3.0	3.1	0.1	0.43	0.44	0.01	0.35	0.36	0.01
Омская обл.	2.1	2.1	0.0	0.3	0.33	0.03	0.25	0.27	0.02
Томская обл.	9.5	8.1	-1.4	1.43	1.23	-0.20	1.18	1.01	-0.17
Тюменская обл.	0.3	0.4	0.1	0.04	0.05	0.01	0.03	0.04	0.01
Ханты-Мансийский АО	857.7	857.4	-0.3	72.91	72.05	-0.86	68.12	67.33	-0.79
Ямало-Ненецкий АО	5152.2	5147.7	-4.5	417.4	416.92	-0.48	445.98	445.54	-0.44
Восточно-Сибирская	89556.5	90692.2	1135.7	9596.72	9778.63	181.91	8968.17	9187.52	219.35
Красноярский кр.	6442.2	6226.1	-216.1	1055.56	1000.49	-55.07	949.05	873.76	-75.30
Таймырский АО.	1474.6	1474.8	0.2	71.29	71.29	0.00	82.27	84.56	2.28
Республика Хакассия	413.6	388.3	-25.3	59.92	60.44	0.52	48.75	48.97	0.22
Эвенкийский АО	34761.5	35882.6	1121.1	2588.79	2824.26	235.47	2786.26	3067.40	281.14
Иркутская обл.	17240.1	17372.5	132.4	2576.52	2579.79	3.27	2205.94	2207.96	2.03
Усть-Ордынский Бурятский АО	191.1	201.5	10.4	34.91	34.80	-0.11	28.38	28.55	0.16
Читинская обл.	15240.3	15222.3	-18.0	1616.89	1607.71	-9.18	1464.30	1461.11	-3.19
Агинский Бурятский АО	247.0	260.2	13.2	39.66	40.00	0.34	32.65	35.99	3.33
Республика Бурятия	9845.0	9973.9	128.9	987.94	1005.08	17.14	905.81	922.35	16.54
Республика Тыва	3701.1	3690.0	-11.1	565.24	554.78	-10.46	464.76	456.88	-7.88
Дальневосточная	166695.5	164797.2	-1898.3	12645.94	12436.66	-209.28	12273.28	12048.41	-224.87
Приморский кр.	1206.2	1213.8	7.6	204.11	209.36	5.25	165.65	169.64	3.99
Хабаровский кр.	25227.0	29079.6	3852.6	2603.44	2833.76	230.32	2351.50	2577.79	226.30
Еврейская авт. обл.	149.2	151.1	1.9	16	15.43	-0.57	13.36	12.92	-0.44
Амурская обл.	13198.8	13428.9	230.1	1433.51	1435.59	2.08	1284.49	1289.11	4.62
Камчатская обл.	478.4	469.1	-9.3	73.6	69.70	-3.90	75.00	71.29	-3.72
Корякский АО.	448.4	438.6	-9.8	19.84	19.29	-0.56	23.60	22.96	-0.64
Магаданская обл.	7579.2	7666.8	87.6	287.97	291.29	3.32	323.58	357.02	33.45
Чукотский АО.	1776.6	1734.1	-42.5	50.49	47.94	-2.55	63.30	63.88	0.58
Сахалинская обл.	1608.8	1637.6	28.8	168.7	161.87	-6.83	150.22	141.22	-9.00
Республика Саха (Якутия)	115022.9	108977.7	-6045.2	7788.28	7352.44	-435.84	7822.58	7342.57	-480.01

Таблица 6. География распределения лиственничных лесов России по запасам углерода фитомассы ($C_{phytomass}$) и запасы органического углерода почв (C_{soil}) по годичному депонированию углерода (по учетам на 01.01.1993 г. и на 01.01.1998 г.).

Лесорастительная провинция, субъект РФ	$C_{phytomass}$, 10^6 т С			C_{soil}, 10^6 т С			Депонирование, 10^3 т С год$^{-1}$		
	1993 г.	1998 г.	разность	1993 г.	1998 г.	разность	1993 г.	1998 г.	разность
Российская Федерация	10804.76	10850.62	45.86	39829.41	39810.73	-18.68	42894.0	44987.9	2093.9
Европейско-Уральская	23.59	23.27	-0.31	79.11	75.00	-4.11	123.7	126.5	2.8
Архангельская обл. и Ненецкий АО	4.57	4.45	-0.12	14.15	13.77	-0.38	2.7	2.5	-0.2
Республика Коми	12.05	11.39	-0.66	51.55	48.15	-3.40	16.5	11.5	-5.0
Свердловская обл.	1.31	1.22	-0.08	2.01	1.94	-0.07	14.0	13.9	-0.1
Челябинская обл.	1.57	1.61	0.03	2.30	2.19	-0.11	7.8	9.9	2.1
Республика Башкортостан	2.41	2.56	0.15	3.72	4.60	0.88	11.4	13.2	1.8
Западно-Сибирская	309.60	355.82	46.21	1846.43	1911.99	65.56	580.0	642.7	62.7
Алтайский кр.	5.10	6.35	1.24	7.91	9.52	1.61	4.7	5.2	0.4
Республика Алтай	49.98	95.62	45.65	70.01	135.58	65.58	49.4	109.9	60.4
Кемеровская обл.	0.28	0.28	0.00	0.70	0.72	0.02	2.6	2.6	0.1
Новосибирская обл.	0.17	0.18	0.00	0.34	0.34	0.01	1.4	1.7	0.4
Омская обл.	0.12	0.13	0.01	0.23	0.23	0.00	1.4	1.7	0.3
Томская обл.	0.59	0.50	-0.08	1.06	0.91	-0.15	1.0	0.8	-0.2
Тюменская обл.	0.02	0.02	0.00	0.03	0.05	0.01	0.2	0.3	0.1
Ханты-Мансийский АО	33.56	33.18	-0.39	96.09	96.05	-0.04	58.1	58.4	0.3
Ямало-Ненецкий АО	219.78	219.56	-0.22	1670.06	1668.59	-1.47	461.3	462.1	0.8
Восточно-Сибирская	4429.37	4542.14	112.77	12889.96	13057.39	167.43	12724.4	13337.0	612.6
Красноярский кр.	469.59	433.83	-35.75	1095.04	1058.30	-36.73	840.3	357.7	-482.5
Таймырский АО.	40.34	41.41	1.07	232.21	232.24	0.03	108.1	6.8	-101.3
Республика Хакассия	24.22	24.33	0.12	73.89	69.37	-4.51	129.2	116.8	-12.5
Эвенкийский АО	1369.29	1511.48	142.20	5474.01	5650.54	176.54	3357.2	4455.3	1098.1
Иркутская обл.	1093.78	1094.81	1.03	2367.31	2385.49	18.18	3735.6	3739.0	3.5
Усть-Ордынский Бурятский АО	14.12	14.19	0.08	34.14	36.00	1.86	43.8	49.8	6.0
Читинская обл.	723.68	721.83	-1.85	1802.35	1800.22	-2.13	2409.6	2577.1	167.5
Агинский Бурятский АО	16.20	17.82	1.63	27.67	29.15	1.48	80.6	63.0	-17.7
Республика Бурятия	447.19	455.37	8.18	1122.18	1136.88	14.70	1442.2	1333.2	-108.9
Республика Тыва	230.99	227.06	-3.93	661.18	659.20	-1.98	577.8	638.2	60.5
Дальневосточная	6042.19	5929.39	-112.81	25013.90	24766.35	-247.56	29465.9	30881.8	1415.[illegible]
Приморский кр.	82.35	84.34	1.99	308.45	310.39	1.94	258.4	281.5	23.0
Хабаровский кр.	1161.75	1272.79	111.04	3833.70	4419.17	585.47	6245.7	6981.9	736.3
Еврейская авт. обл.	6.63	6.41	-0.22	38.15	38.63	0.48	54.9	63.4	8.5
Амурская обл.	635.00	637.18	2.18	2105.54	2142.24	36.70	2540.0	2648.4	108.4
Камчатская обл.	37.17	35.32	-1.85	75.33	73.87	-1.47	83.6	94.5	10.9
Корякский АО.	11.53	11.22	-0.31	70.61	69.07	-1.54	27.8	27.0	-0.9
Магаданская обл.	159.03	173.99	14.96	1193.52	1207.31	13.79	230.7	887.7	657.0
Чукотский АО.	30.79	30.93	0.15	279.77	273.07	-6.69	174.9	233.5	58.6
Сахалинская обл.	74.24	69.86	-4.38	325.47	331.31	5.84	745.5	699.1	-46.4
Республика Саха (Якутия)	3843.70	3607.34	-236.36	16783.36	15901.29	-882.08	19104.4	18964.9	-139.6

Для лиственничников Енисейского меридиана (Таймырский АО, Красноярский край, Эвенкийский АО) запас абсолютно сухой фитомассы по оценкам Института леса СО РАН достигает $3.695*10^9$ т (Грешилова, 2003).Наши определения больше: для учета 1993 г. на 4.3%, для 1998 г. на 8.9%. Остается актуальным изучение динамики пулов и потоков углерода по нескольким ГУЛФ и по ландшафтно-растительному районированию. Последний аспект удачно прорабатывается в программе исследований по Енисейскому меридиану.

Заключение.

Лиственничные леса России сохраняют свое лидирующее положение в составе бореальных лесов Северной Евразии. В России по состоянию на 01.01.1998 г. на их долю в составе соответственно лесного фонда и всех лесов страны приходится: 37 и 34% покрытой лесом площади, 31 и 28% запасов древесины, 70 и 64% пула $C_{phytomass}$, 33 и 31% пула C_{soil}, 20 и 18% годичного депонирования углерода лесными насаждениями. Преобладание низкопродуктивных лиственничников, удаленность лесных массивов от центров переработки древесного сырья, невысокие технологические свойства древесины определяют сохранение таких лесов в статусе природоохранных и углеродоконсервирующих. Последнюю функцию они выполняют активно, но слабо проявляют себя в углерододепонирующем отношении из-за преобладания в возрастной структуре спелых и перестойных насаждений. Лиственничные леса Северо-Востока России заслуживают разработки особой стратегии лесопользования.

***

Исследование выполнялось при поддержке международного проекта «Развитие международного сотрудничества по оценке углеродного цикла» (Институт мировых ресурсов, Вашингтон, США), частично проектом МЯ-47 (МПР РФ) и грантами РФФИ (00-04-48036, 03-04-48097).

Библиографический список

1. Грешилова Н.В. Моделирование географической изменчивости фитомассы и годичной продукции лесов Енисейского меридиана (на примере светлохвойных пород). Автореф. дисс...канд.биол.наук (03.00.28). Красноярск, 2003. 17 с.

2. Изучение химического состава древесины даурской лиственницы /Тр. Ин-та леса АН СССР. Т. 45. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 165 с.

3. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. (Аналитический обзор). М.: Центр экологической политики России, 1995. 156 с.

4. Ирошников А.И. Плодоношение и качество семян хвойных пород в северных и горных районах Сибири // Плодоношение лесных пород Сибири. Новосибирск: Наука Сиб. отд., 1982. С. 98-117.

5. Ландшафтная карта СССР. Для высших учебных заведений. М. 1 : 4000000 / Под. ред. Исаченко А.Г. М.: ГУГК СМ СССР, 1988.

6. Лесной фонд России (по учету на 1 января 1993 года). Справочник. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 281 с.

7. Лесной фонд России (по учету на 1 января 1998 года). Справочник. М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. 649 с.

8. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Под ред. Алексеева В.А., Бердси Р.А.. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994. 232 с.

9. Усольцев В.А., Колтунова А.И. Оценка запасов углерода в фитомассе лиственничных экосистем Северной Евразии // Экология. 2001. № 4. С. 258-265.

10. Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3-20.

11. Уткин А.И. Возобновительные стратегии основных древесных пород России и лесообразовательный процесс // Леса и лесообразовательный процесс на Дальнем Востоке: Материалы междун. конф. Владивосток: ДВО РАН и др., 1999. С. 69-72.

12. Уткин А.И., Гульбе Я.И., Гульбе Т.А., Ермолова Л.С. Биологическая продуктивность лесных экосистем. Компьютерная база данных. М.: ИЛ РАН, ЦЭПЛ РАН, 1994.

13. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В., Коровин Г.Н., Зукерт Н.В. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. № 5. С. 8-23.

14. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России // Лесоведение. 1999. № 2. С. 13-21.

15. Isaev A., Korovin G., Zamolodchikov D., Utkin A., Pryaznikov A. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests // Water, Air and Soil Pollution. 1995. V. 82. N 1-2. P. 247-256.

16. Jonston W.F. Larix laricina (Du Roi) K.Koch. – Tamarack // Silvics of North America. Vol.. 1. Conifers. Eds. Burns R.M., Honkala B.H. Washington, DC: Forest Service USDA, 1999. P. 141-151.

17. Niereck L.A., Jonston W.F. Picea mariana (Mill.) B.S.P. – Black spruce // Silvics of North America. Vol.. 1. Conifers. Eds. Burns R.M., Honkala B.H. Washington, DC: Forest Service USDA, 1999. P. 227-237.

18. Stolbovoi V., McCallum I. 2002. CD-ROM "Land Resources of Russia", International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science, Laxenburg, Austria

Поступило в редакцию 12 июня 2003 г.