

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЛЕСА»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОГО  
СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Д.Г. Щепашенко, А.З. Швиденко, В.С. Шалаев

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И  
БЮДЖЕТ УГЛЕРОДА ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ  
СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ**



Москва  
Издательство Московского государственного университета леса  
2008

УДК 630\*52:630\*174.754+630\*16:582.475.4

Щ55

Рецензенты: доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАСХН В.А. Рожков, главный научный сотрудник Почвенного института им. В.В. Докучаева;  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор В.И. Обыденников, заведующий кафедрой лесоводства МГУЛ

**Щепашенко, Д.Г.**

Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственничных лесов Северо-Востока России: монография / Д.Г. Щепашенко, А.З. Швиденко, В.С. Шалаев. - М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 296 с.

ISBN 978-5-8135-0443

На основе обширного фактического материала осуществлён многоаспектный анализ лесных ресурсов Северо-Востока России. Описаны эколого-географические особенности лиственничных лесов Республики Саха, Магаданской области, Корякского и Чукотского автономных округов. Представлена система моделей, связывающих биометрические показатели лесных экосистем в статике и динамике. Оценена динамика депонирования углерода различными компонентами лиственничных насаждений в процессе их роста. На основе изучения основных резервуаров и потоков углерода оценен полный углеродный бюджет лиственничных экосистем рассматриваемого региона за период с 1993 по 2003 годы.

Книга адресована специалистам в области лесопользования, лесостроительства и лесной таксации, экологии и охраны природы, изучения глобальных изменений климата.

**Schepaschenko D.G., Shvidenko A.Z., Shalaev V.S.**

Biological productivity and carbon budget of larch forests of Northern-East Russia. – Moscow: Moscow State Forest University, 2008. – 296 pp.

ISBN 978-5-8135-0443

The book contains a multi-aspect analysis of the current state of forest resources of the Russian North-East based on diverse experimental and inventory data. Ecological and geographical peculiarities of the larch forests are described for Saha Republic, Magadan oblast', Korjak and Chukotka Autonomous okrugs. The system of models which tie together biometric indicators of larch ecosystems in static and dynamics is presented. The dynamics of carbon sequestration by different components of larch ecosystems is quantified. The full carbon budget of larch ecosystems of the study's region is estimated for the period of 1993-2003.

The book is addressed to forest managers and forest inventory experts, ecologists, and global change community.

© Д.Г. Щепашенко, А.З. Швиденко, В.С. Шалаев

© А. Исаев (фото на обложке. Лиственничник кедровостланиковый лишайниково-зеленомошный, Алданское нагорье)

© ГОУ ВПО МГУЛ, 2008

MOSCOW STATE FOREST UNIVERSITY

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS  
ANALYSIS

D.G. Schepaschenko, A.Z. Shvidenko, V.S. Shalaev

BIOLOGICAL PRODUCTIVITY AND  
CARBON BUDGET OF LARCH FORESTS  
OF NORTHERN-EAST RUSSIA



Moscow  
2008

## Коротко об авторах

**Щепашенко Дмитрий Геннадьевич** является профессором кафедры Почвоведения Московского государственного университета леса. Доктор биологических наук (2006). Автор и соавтор около 70 публикаций.

Родился в 1966 году. Окончил Лесной факультет Московского государственного университета леса в 1988 году. После обучения в аспирантуре Почвенного института им. В.В. Докучаева защитил кандидатскую диссертацию (1993). В 2006 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора биологических наук по экологии. Основная область научных интересов – взаимодействие лесной растительности и почв, оценка биологической продуктивности экосистем и их вклада в основные биогеохимические циклы в условиях глобальных изменений.

**Швиденко Анатолий Зиновьевич** является ведущим научным сотрудником Лесной программы Международного института Прикладного системного анализа (Австрия) и главным научным сотрудником Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Доктор сельскохозяйственных наук (1981), профессор (1982), лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники (1992). Вице-президент Международной ассоциации исследователей бореальных лесов. Автор и соавтор более 300 публикаций.

Родился в 1937 году. Окончил Украинскую сельскохозяйственную академию (лесное хозяйство) и Киевский государственный университет им. Т.Г. Шевченко (прикладная математика и теория вероятностей). С 1959 по 1967 гг. работал на Дальнем Востоке – в лесоустроительной экспедиции, на Сахалинской лесной опытной станции, главным лесничим лесхоза. С 1968 по 1987 гг. – в Национальном аграрном университете Украины (тогда – Украинская сельскохозяйственная академия), где прошел путь от ассистента до заведующего кафедрой лесной таксации. В 1988-1992 гг. – директор Всесоюзного (с 1992 года – Всероссийского) научно-исследовательского и информационного центра по лесным ресурсам в Москве. Область научных интересов – математическое моделирование роста и продуктивности лесов, инвентаризация леса, мониторинг, экология и глобальные изменения.

**Шалаев Валентин Сергеевич** является профессором Московского государственного университета леса (2002), доктор технических наук (1995). Автор и соавтор более 200 публикаций, в том числе 21 патента на изобретения.

Родился в 1944 году. Окончил Московский лесотехнический институт, в настоящее время Московский государственный университет леса (МГУЛ), в 1968 году, после окончания которого работал младшим и старшим научным сотрудником, начальником научно-исследовательского сектора, деканом факультета, проректором Московского государственного университета леса. С 1995 года – директор Института системных исследований леса МГУЛ, направлениями деятельности которого являются: мониторинг лесных экосистем; рациональное использование, охрана и воспроизводство лесных ресурсов и природной среды; идентификация аэрокосмической информации; физические методы и средства исследования окружающей среды; природные наносистемы.

## Введение

В настоящее время всё отчетливее осознаётся проблема предела возможностей нашей Планеты, в частности, не безграничных природных ресурсов, ограниченной способности к нейтрализации и поглощению негативного антропогенного воздействия. Уже общепризнано, что традиционный путь, которым пришли к своему благополучию развитые страны, ведёт к катастрофе. Становится очевидным, что охрана природы и защита внешней среды стала столь же важной глобальной проблемой, как проблемы мира, народонаселения и голода. Игнорирование этой проблемы ведет к глобальному изменению климата, разрушению природных ландшафтов, истощению стратосферного озонового слоя, выпадению кислотных дождей, накоплению в почвах и водоёмах токсичных веществ.

Леса планеты являются одним из главных стабилизирующих природных механизмов, способных компенсировать возросшие индустриальные и транспортные эмиссии парниковых газов в атмосферу Земли. За последнее столетие концентрация углекислоты в атмосфере повысилась на 20 %, что не сопровождается увеличением запасов фитомассы растительного покрова [Моисеев, 1999]. При этом площадь мировых лесов в результате рубок и пожаров, главным образом в тропиках, ежегодно сокращается. В частности, за 15 лет с 1990 по 2005 год она сократилась на 125,3 млн га, т.е. ежегодное сокращение составило в среднем величину порядка 8,4 млн га [FAO, 2005]. Леса России играют значительную роль в углеродном бюджете планеты [Писаренко, Страхов, 2004]. По последним оценкам на лесных землях России аккумулировано 41,7 Пг ( $1 \text{ Пг} = 10^{15} \text{ г} = 10^9 \text{ т}$ ) С в растительном веществе и 149 Пг органического углерода (С) в почвах; в течение последних 40 лет леса России в среднем поглощали свыше 400 Тг ( $1 \text{ Тг} = 10^{12} \text{ г} = 10^6 \text{ т}$ ) С в год [Shvidenko, Nilsson, 2003].

В последние годы Россией взят ряд международных обязательств в области охраны окружающей среды в рамках Конвенции ООН по изменению климата, Конвенции по биоразнообразию, Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха и др. В соответствии с названными конвенциями Россия обязалась осуществлять действия, направленные на увеличение поглощения углекислоты из атмосферы лесной растительностью и на поддержание баланса кислорода, на ограничение промышленных выбросов в окружающую среду до уровня, безопасного для биоты. После ратификации Россией Киотского Протокола, биосферная роль лесов из чисто научной проблемы перешла в область большой экономики и политики.

Россия, на долю которой приходится 22 % мировых лесных ресурсов и 2/3 бореальных лесов мира, имеет возможность стать лидером в экологических вопросах, достигнув при этом значительных экономических выгод. Очевидно, что прогресс в этой области возможен только при условии существенного улучшения состояния лесов страны, их охраны и защиты и, в

конечном счете, требует перехода к устойчивому управлению лесами. Это потребует решения многих политических, экономических и социальных проблем, а также совершенствования нашего знания о состоянии, динамике и функционировании лесов в условиях меняющегося мира.

Лиственница является наиболее распространенной лесообразующей древесной породой Российской Федерации. Леса с преобладанием лиственницы занимают более 35 % покрытых лесом земель [Лесной фонд ..., 2003]. Обладая высокой пластичностью и широким экологическим ареалом, сибирские виды лиственницы формируют огромные массивы монодоминантных лесов и редколесий в высоких широтах азиатской части России. Несмотря на широкое географическое распространение, большую экологическую и хозяйственную значимость, лиственничные леса и редколесья Сибири изучены неравномерно и для значительных территорий Северо-Востока – крайне недостаточно.

Выступая объектом промышленной эксплуатации в центральных и южных районах Сибири, лиственничные леса и редколесья в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты выполняют исключительно важные средообразующие и защитные функции.

Актуальность исследования лесных экосистем бореальной зоны возрастает в связи с тем, что наиболее драматичные изменения климата ожидаются в высоких широтах Азиатского континента. Уровень воздействия этих изменений может превзойти буферные возможности лесных экосистем и привести к их необратимой деградации. Вместе с тем, большая часть рассматриваемого региона является практически неуправляемой в лесохозяйственном отношении. Знание лесов здесь явно недостаточно и, тем более, для них не наработано необходимого набора лесоводственных правил и нормативов, в том числе как традиционных таксационных, так и предназначенных для оценки биопродукционного процесса лесных экосистем.

В контексте ожидаемых климатических изменений биосферные функции лиственничных экосистем региона приобретают глобальное значение. Представляется очевидным, что только полный углеродный бюджет наземных экосистем соответствует логике и основополагающим целям Рамочной конвенции ООН по климатическим изменениям и Киотского протокола. Исследование полного углеродного бюджета лесов России в целом и, особенно, для малоизученных регионов и формаций, является приоритетной научной проблемой. Решение этой задачи требует углубленного изучения продукционного процесса лесов и режима природных и антропогенных нарушений в них.

Актуальность исследований обозначенной проблемы, необходимость повышения точности оценок по запасам и динамике углерода в лесных экосистемах России и разработки систем лесохозяйственных мероприятий, направленных на управление углеродным бюджетом лесов, подтверждают Федеральная целевая программа «Леса России» (1997), «Концепция устойчи-

вого управления лесами Российской Федерации» (1998), «Концепция развития лесостроительства» (2002), многочисленные международные программы.

Целью настоящей работы является выявление эколого-географических особенностей лесного покрова и изучение особенностей структуры, роста и продуктивности лиственничников Северо-Востока России, и на этой основе – оценка бюджета углерода этой уникальной лесной формации.

Конкретными задачами исследования были:

- охарактеризовать эколого-географические особенности лиственничных лесов Северо-Востока;
- систематизировать имеющуюся информацию о росте и развитии лиственничных древостоев и разработать унифицированные модели хода роста древостоев;
- изучить особенности структуры фитомассы лиственничников;
- разработать систему моделей, связывающих таксационные и биометрические показатели, предназначенных для оценки динамики фитомассы и чистой первичной продукции;
- изучить динамику депонирования углерода различными компонентами лиственничных насаждений Северо-Востока в процессе их роста;
- составить таблицы биологической продуктивности нормальных и модальных древостоев;
- экстраполировать разработанные модели динамики фитомассы на лесопокрываемую площадь с использованием данных государственного учёта лесов (ГУЛ);
- на основе изучения основных резервуаров и потоков углерода лиственничных лесов оценить полный углеродный бюджет лиственничных экосистем региона.

В настоящей работе Северо-Восток России включает территории четырех субъектов Российской Федерации – Республики Саха (Якутия), Магаданской области, Корякского (ныне входит в состав Камчатского края) и Чукотского автономных округов.

Авторы признательны В.А. Рожкову, который участвовал в полевых работах и является автором многих идей о взаимосвязи почв и леса, нашедших отражение в данной книге. Мы благодарны Ian McCallum за помощь в работе с геоинформационными системами, Ю.И. Булуй, принимавшему участие в моделировании таблиц хода роста и С. Кумакшеву, высказавшему идею расчета неопределённостей (глава 3). Мы признательны также А.А. Пряжникову, С.В. Рожковой, В.А. Мокрицкому, И.Е. Рыбакову, С. Л. Зудину и другим коллегам, с которыми мы вместе работали в лесах Северо-Востока России.

# 1. ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1. Биоэкологические особенности лиственницы

На Северо-Востоке России преобладает вид лиственницы, известный в классической литературе как лиственница даурская (*Larix dahurica* Turcz. ex Trautv.). В современной литературе он разделён на два вида: в северо-восточной части ареала (от Лены на восток) – лиственница Каяндера (*L. cajanderi* Mayr), на юго-западе (от Енисея до Лены) – лиственница Гмелина (*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr) (рис.1.1) [Абаимов и др., 1980, 1984]. На Камчатке распространена лиственница курильская – *L. kurilensis* Mair., близкая к лиственнице даурской.

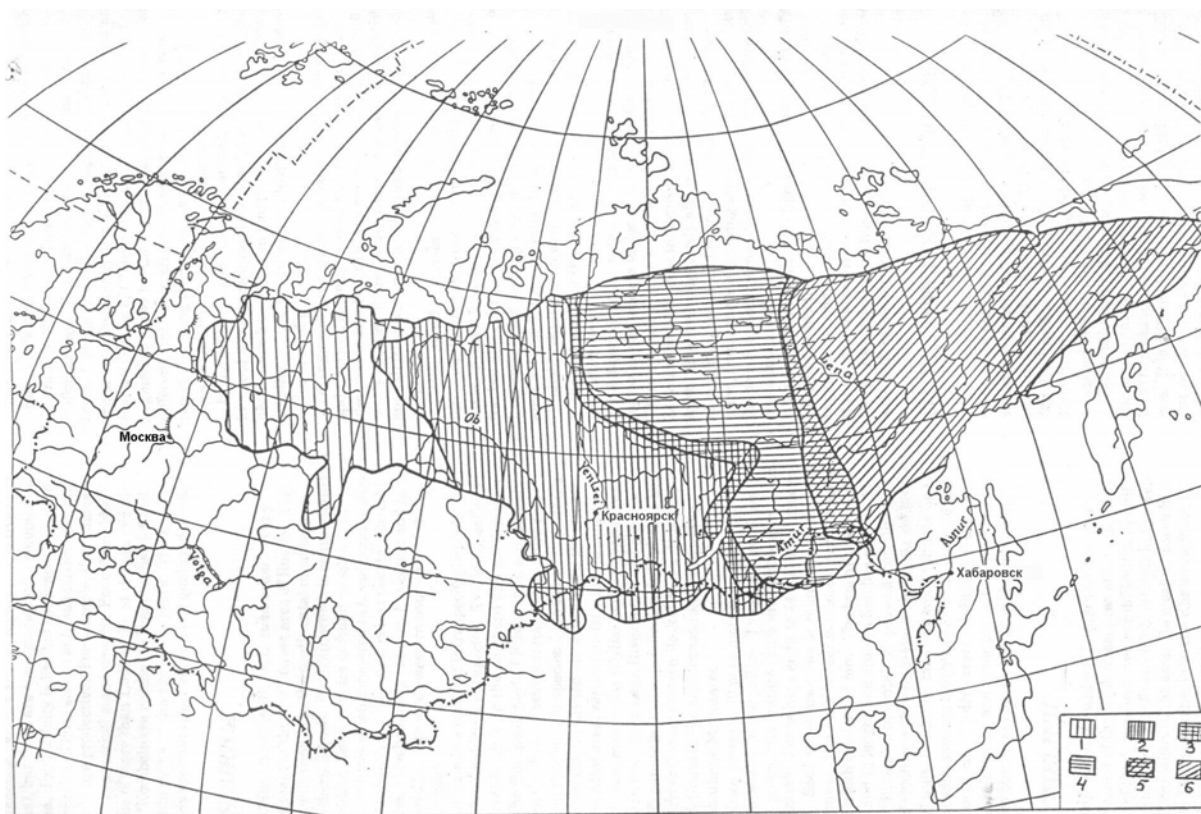


Рис. 1.1. Границы ареалов наиболее распространенных в Сибири видов лиственниц [Абаимов и др., 1980]. 1 – *Larix succzewii*; 2 – *L. sibirica*; 3 – *L. czekanowsky* (*L. sibirica* x *L. gmelinii*); 4 – *L. gmelinii*; 5 – *L. gmelinii* x *L. cajanderi*; 6 – *L. cajanderi*

Н.В. Дылис [1961] отмечает, что лиственница даурская по своей экологической природе растение холодных и влажных местообитаний. В то же время она очень пластична и хорошо приспосабливается к разнообразным климатическим и почвенно-грунтовым условиям. Растет на горах и равнинах, в долинах рек и на морском побережье, в тайге, тундре и лесо-



степи, на болотах и по окраинам аласов, очень характерна для почв с неглубокой вечной мерзлотой. В северной и северо-восточной частях ареала образует в основном чистые леса или с небольшой примесью берёзы плосколистной, на крайнем востоке – с берёзой Каяндера и каменной, чозенией толокнянколистной и тополем душистым (до 70-71° с.ш.). В Забайкалье и Южной Якутии по более теплым экотопам смешивается с сосной, в южных горных системах – с кедром, в долинах мелких речек с елью сибирской, по поймам рек – с чозенией.

Северная граница лесов и редколесий лиственниц Каяндера и Гмелина совпадает с северной границей древесной растительности. Лимитирующим фактором является по-видимому продолжительность вегетационного периода. Согласно исследованиям Д.И. Шашко [1958, 1961] и Агроклиматическому справочнику Якутской АССР [1963], зона тундр и лесотундр, среднегорная и высокогорная территории хребтов Верхоянского и Черского, имеют суммы активных температур не выше 400 °С. Поименную продвинутость лесов на север Б.Н. Городков [1939] объясняет более глубоким протаиванием мерзлоты вдоль рек. Относительная "комфортность" для леса приречных местообитаний не ограничивается мерзлотным режимом почвы, так как в более южных районах лиственница вполне жизнеспособна и при минимальном протаивании почвы (30-50 см).

Западный и восточный рубежи ареала лиственниц почти совпадают с изотермой января -30 °С и изогией годовых осадков в 200-300 мм, отграничивая самые континентальные и холодные области северного полушария. На западе своего ареала лиственница Гмелина соприкасается с лиственницей сибирской. Как отмечает Н.В. Дылис [1961] на границы ареалов обе лиственницы выходят по четко разграниченным в экологическом отношении местообитаниям. В частности, лиственница Гмелина приурочена к холодным долинам мелких речек, заболоченным террасам, северным склонам с неглубоким залеганием мерзлоты. Граница распространения лиственницы Гмелина и Каяндера выражена резко, проходит по 120 °в.д. и совпадает с изотермой января -40 °С.

В пределах лесной зоны граница ареала лиственницы является следствием конкуренции с другими древесными породами. Известно крайнее светолюбие лиственницы, поэтому, как только климатические условия позволяют появиться конкурентам лиственницы, последние начинают её вытеснять. Вначале другие породы внедряются в наиболее "комфортные" биотопы, примешиваясь к лиственнице (в поймах рек – ель сибирская, на теплых склонах, а также на лёгких почвах – сосна). Южнее лиственница образует смешанные древостои с сосной, елью, кедром, пихтой [Тихомиров, 1961; Уткин, 1970; Тимофеев, 1980]. В этих условиях она не даёт себя вытеснить за счет долговечности, быстрого роста и значительных высот деревьев. При этом особая роль принадлежит её способности первой, наряду с лиственными породами, поселяться на освобожденной от леса тер-

ритории [Щербаков, 1965, 1971]. Она успешно возобновляется на открытых местах – гарях, вырубках, а также под пологом разреженных древостоев. В молодом возрасте лиственница способна длительное время сохранять жизнеспособность под пологом древостоев. Особи с признаками сильного угнетения и замедленного роста достигают 80-100-летнего возраста и при благоприятных условиях заменяют отмирающие деревья основного полога. Лиственница отличается наибольшим светолюбием среди основных древесных пород: минимальная освещённость в зоне отмирания кроны составляет у бука, ели, сосны и лиственницы соответственно 1,7; 3,2; 10,5 и 16,7 % от освещённости открытого места. Тёмнохвойным же породам для возобновления нужна лесная среда. К тому времени, когда они поселяются под пологом молодого леса и начинают вытеснять лиственные, лиственница уже недосыгаема и выходит в первый ярус. Позднее, в соответствующих климатопах, её догоняет сосна кедровая сибирская [Тихомиров и др., 1961].

Период роста молодых побегов у лиственницы даурской в Якутии и Забайкалье на 3-4 недели короче, чем у лиственницы сибирской [Баценко и др., 1964]. В высоту лиственница растет до глубокой старости, но интенсивный рост её независимо от условий местообитания ограничивается 60-80 годами, а после 110-150 лет заметно замедляется [Тихомиров и др., 1961; Уткин, 1965; Яковлев и др., 1982].

Экологические свойства лиственницы достаточно полно описаны ещё в работах В.Н. Сукачева [1912] и Р.И. Аболина [1929].

Лиственница переносит крайне низкие зимние температуры. Устойчива она и к весенне-осенним заморозкам, от сильных и поздних заморозков страдают только репродуктивные органы. Листопадность лиственницы позволяет ей переносить экстремально низкие температуры, а также летнее и зимнее обезвоживание. В континентальной части Северо-Востока в середине лета дневные температуры нередко превышают 30 °С, в то время как корни соседствуют с мерзлотой. Температура корнеобитаемого слоя почвы в середине лета не превышает, как правило, +3...+6 °С [Степанов, 1988; Тарабукина и др., 1990, Прокушкин и др., 2007]. Для древесных пород это вероятно самый высокий перепад температур между воздухом и почвой в период летней вегетации.

Корневая система лиственницы поверхностная или поверхностно-якорная. Распределение корней в почве зависит, прежде всего, от глубины оттаивания почвы к середине июля. Толстые скелетные корни, отходящие лучами от основания ствола, целиком залегают в верхнем 10-сантиметровом слое почвы. Мелкие корни также сосредотачиваются основной своей массой в верхних горизонтах (30-40 см), максимально проникая на глубину 70-90 см. Корневые окончания у лиственницы начинают расти при небольшой отрицательной температуре (при этом почвенная влага находится в жидком состоянии), тогда как в более южных районах

слабый рост корней отмечается при положительной температуре (например, при +2...+3 °С для сосны Приангарья [Прокушкин, 1982]).

На избыточно увлажнённых почвах до 82 % общего запаса корней находится в верхнем десятисантиметровом слое [Поздняков, 1963]. Высокая сомкнутость корневых систем в условиях недостатка доступной для растительности влаги, тепла и элементов минерального питания может иметь большее значение для формирования древостоев, чем сомкнутость древесного полога [Поздняков, 1961]. Лиственница способна образовывать придаточные корни. Это наблюдается в процессе роста мохово-лишайникового покрова, теплоизолирующие свойства которого способствуют подъёму верхней границы многолетней мерзлоты, а также в поймах рек.

К плодородию почв лиственница мало требовательна. Встречается как на сухих бедных песках и щебнистых горных склонах, на торфянистых почвах, на чернозёмовидных почвах лесостепного Забайкалья [Поздняков, 1969, 1975, 1986; Щербаков, 1975; Дылис, 1961 и др.]. Лишь на сухих песках Центральной Якутии она уступает эдификаторную роль сосне обыкновенной. В южных районах лучше всего растёт на суглинистых почвах средне и повышенно увлажнённых, при хорошем дренаже и с более глубокой мерзлотой. На севере требования к дренажу повышаются, что связано с близким залеганием мерзлоты, и оптимальные условия складываются на лёгких почвах в мезотрофных условиях на склонах и в долинах рек. Разнообразие условий произрастания, используемых лиственницей, даже больше, чем у сосны.

В условиях севера Сибири лиственница способна переносить застойное переувлажнение [Поварницын, 1941]. Однако на остальной части Евразии лиственница как правило избегает переувлажнённых условий, хотя нередко образует низкопродуктивные редколесья по болотам.

Лиственница достигает наибольшего возраста в худших лесорастительных условиях. При построении длительных древесно-кольцевых хронологий для севера Евразии от Урала до Чукотки у старых деревьев отмечается снижение средней величины радиального прироста и увеличивается возраст деревьев [Ваганов и др., 1996]. Опубликованные данные последовательно увеличивали предельные возраста найденных деревьев лиственницы: 526 лет, Якутия – С.Н. Недригайлов [1932]; 437 лет, Якутия – И.П. Щербаков [1975]; низовья р. Индигирки, окрестности горы Ат-Хая – 946 лет для живого дерева и 1216 лет – отмершего [Сидорова и др., 2005]. Последние два измерения были проведены в лиственничном редколесье на верхней границе леса, средний возраст наиболее старого поколения которого превышал 800 лет – по-видимому, это самое старое из описанных когда-либо насаждений лиственницы Каяндера. И.П. Щербаков отмечает, что в условиях I-II бонитета деревьев старше 220 лет ему не встречалось. Л.В. Попов [1982] в южнотаёжных лесах Средней Сибири нашёл пни лист-

венницы сибирской, на которых насчитывалось свыше тысячи годичных слоев (соответственно 1052, 1280 и 1348). База данных старовозрастных деревьев, составленная Броуном содержит указания на возраст дерева лиственницы Гмелина, найденного на Таймыре, – 840 лет, и лиственницы сибирской в Монголии – 750 [Brown, 1996].

В спелом возрасте у деревьев в комлевой части очень толстая кора, которая хорошо защищает от низовых пожаров [Черников, 1951; Уткин и др., 1962; Фуряев, 1977]. В Якутии объём коры составляет 23–27 % общего объёма ствола в коре. Молодняки лиственницы менее устойчивы к огню, чем сосновые.

Лиственничные леса Северо-Востока большей частью низкой производительности – IV–Va классов бонитета, с небольшими запасами древесины (до  $150-200 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ ). Преобладают условно разновозрастные, или разновозрастные насаждения. В лесном покрове доминируют древостои высокого возраста – спелые и перестойные, как правило изреженные и поврежденные лесными пожарами. Часто имеется хорошо развитый подлесок из кустарниковых берёз (Миддендорфа, кустарниковая, карликовая, тощая), душекии, рододендронов, кедрового стланика и др. Молодые древостои (до 20-40 лет) часто очень густые с характерным групповым распределением деревьев.

На большей части ареала лиственница Каяндера образуются типичные для Крайнего Севера Сибири редколесья и редины с запасами древесины  $10-60 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ . В благоприятных условиях речных долин формируются высокопродуктивные сомкнутые древостои с запасами древесины в южной части региона до  $500-700 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$  [Стариков, 1955; Тихомиров и др., 1961; Поздняков, 1967, 1986; Щербаков, 1975].

В лиственничниках накапливается значительное количество лесной подстилки и сильно развит живой напочвенный покров. Они играют важную роль в тепловом режиме почв, возобновлении лиственницы, а также в распространении пожаров.

Из других биологических особенностей лиственницы следует отметить низкую всхожесть семян. Это объясняется отсутствием у пыльцы воздушных мешков, затрудняющее перекрестное опыление. Особенно значимо это свойство в условиях редколесий.

Ещё Л.А. Ивановым [1936] было установлено, что лиственница обладает способностью энергичнее всех древесных пород перерабатывать углекислоту. В условиях полного освещения количество связанной  $\text{CO}_2$ , приходящейся на 1 кг массы хвои, у ели, пихты и сосны, составляет соответственно 39, 59 и 75 % по отношению к аналогичному показателю у лиственницы. Это в частности может быть объяснено тем, что при меньшей массе хвои, по сравнению, например с сосной, лиственница не уступает ей по листовой поверхности. Более разреженная, хорошо освещённая крона позволяет лиственнице более эффективно депонировать углерод, то есть

при меньшей массе хвои обеспечивать сопоставимый уровень поглощения углерода по сравнению с вечнозелеными хвойными породами.

## **1.2. Физико-географическое описание и климат региона**

Обширная горная страна Северо-Востока России простирается от р. Лены до Берингова пролива. В геоморфологическом отношении она представляет собой сочетание горных хребтов и залегающих между ними волнистых плоскогорий с заболоченными впадинами. Территория изрезана гидросистемами рек Яны, Индигирки, Колымы и Анадыря [Тихомиров и др., 1961].

На западе, непосредственно к Средне-Сибирскому плоскогорью по долине р. Лены примыкает Верхоянский хребет, параллельно ему тянется хребет Черского. Между ними расположены Янское и Оймяконское плоскогорья.

На востоке, между реками Колымой и Омолоном, расположено Юкагирское плоскогорье, переходящее на севере в Колымскую низменность. Ещё далее на восток протянулся Колымский хребет, упирающийся на севере в Анадырское плоскогорье. Это плоскогорье на востоке граничит с Анадырской низменностью, которая на юго-западе переходит в Пенжинскую низменность.

По побережью Берингова моря протянулся Корякский хребет. Между бассейном р. Анадыря и побережьем Чукотского моря проходит Чукотский хребет.

Молодая складчатая мезо-кайнозойская зона Северо-Востока Азии является сложным геологическим образованием с очень пестрым составом горных пород. В ней присутствуют отложения всех систем, но преобладают осадочные породы верхнего палеозоя и мезозоя. Широко распространены также интрузивные и эффузивные образования основной и кислой магмы. Докембрийские отложения встречаются в отдельных небольших выходах. В западной части Верхоянской складчатой зоны широко распространены верхнепалеозойские отложения. Складчатые структуры запрокинуты и надвинуты в сторону Сибирской платформы. В восточной части Верхоянской складчатой зоны преобладающее развитие имеют юрские отложения, наряду с которыми встречаются палеозойские, триасовые и меловые.

Слабо дислоцированные отложения Янского синклинария состоят исключительно из триасовых и юрских пород. К востоку расположена зона, сложенная сильно дислоцированными породами и имеющая антиклинальное строение. Широко распространены также четвертичные отложения, особенно значительные в низменностях.

Таким образом, поверхность Северо-Востока весьма разнообразна. Наряду с высокими горными хребтами, отдельные вершины которых пре-

вышают высоту в 3000 м над уровнем моря, здесь имеются обширные низменности с абсолютными высотами 50-100 м.

Широкое развитие резко приподнятых высокогорных форм рельефа обуславливает отчётливое проявление высотной (вертикальной) поясности растительности и почвенного покрова. Границы высотных поясов резко смещаются в направлении с севера на юг и от побережья Охотского моря вглубь материка.

Климат Северо-Востока Сибири резко континентальный. В приморских районах на него оказывают влияние Берингово и Охотское моря с их холодными течениями.

Верхоянские горы являются мощной преградой для климатического влияния южных районов, в то время как более пониженные плато и низменности, расположенные за Верхоянским хребтом, открыты влиянию холодного Восточно-Сибирского моря. В результате северо-восточная часть Якутии является довольно резко обособленной естественно-географической областью со своеобразным климатом, растительностью и животным миром. В этой области, в районе Оймякона, находится полюс холода северного полушария [Справочник по климату ..., 1969]. Континентальность климата, свойственная большей части Северо-Востока России, наиболее резко выражена в верхнем и среднем течении рек Индигирки и Яны.

Согласно исследованиям Д.И. Шашко [1958] и Агроклиматическому справочнику по Якутской АССР [1963] по ресурсам тепла в вегетационный период (сумма среднесуточных температур более 10 °С) на территории Северо-Востока России выделяют следующие четыре района.

- Очень холодный, с суммой температур менее 400°. Сюда относится вся тундровая и лесотундровая зоны, среднегорные и высокогорные территории хребтов Верхоянского и Черского, побережье морей Ледовитого океана.
- Холодный, с суммой температур от 400 до 1000°. Это большая часть низкогорной и равнинной территории – бассейнов рек Яны, Индигирки и Колымы; побережья Охотского моря.
- Умеренный, при сумме температур от 1000 до 1400°. Это бассейны рек Вилюя и южной части Алдана; центральная часть Якутии, южная часть Камчатки и Магаданской области.
- Теплый, в котором сумма температур превышает 1400°. В этот район входят долины р. Лены до устья Алдана, р. Алдан в среднем и нижнем течении, р. Олекмы.

По обеспеченности влагой (показателю атмосферного увлажнения, равного отношению количества осадков за год к дефициту влажности в миллибарах) в районах выделяют следующие подрайоны [Щербаков, 1975].

- Избыточно влажный с показателем увлажнения более 0,60. Такие условия наблюдаются на побережье морей и на Алданском нагорье.
- Влажный, при показателе увлажнения 0,60–0,45. Это Анабарский, Оленекский и северная часть Жиганского районов на северо-западе Якутии; около половины территории северо-восточной Якутии (часть прилегающая к тундре и расположенная в области поднятий Верхоянского хребта); север и восток Магаданской области.
- Слабо засушливый с показателем увлажнения 0,45–0,35. Включает южную часть северо-западных районов; юго-западные приленские районы; водоразделы Лена-Вилюй и Лена-Алдан; южную часть Магаданской области; южную часть бассейнов рек Колымы, Индигирки, Яны.
- Засушливый (показатель увлажнения 0,35–0,25). Левобережье р. Вилюй; север Олекминского района; средняя часть междуречья Лена – Алдан.
- Очень засушливый (0,25–0,20). Северное междуречье Лена-Алдан; долина р. Лена от Покровска до устья Алдана и прилегающая территория; долина р. Вилюй в среднем и нижнем течении.

Среднегодовое количество осадков в регионе показано на рис. 1.2, а среднегодовые температуры на рис. 1.3. Некоторые климатические данные приведены в табл. 1.1.

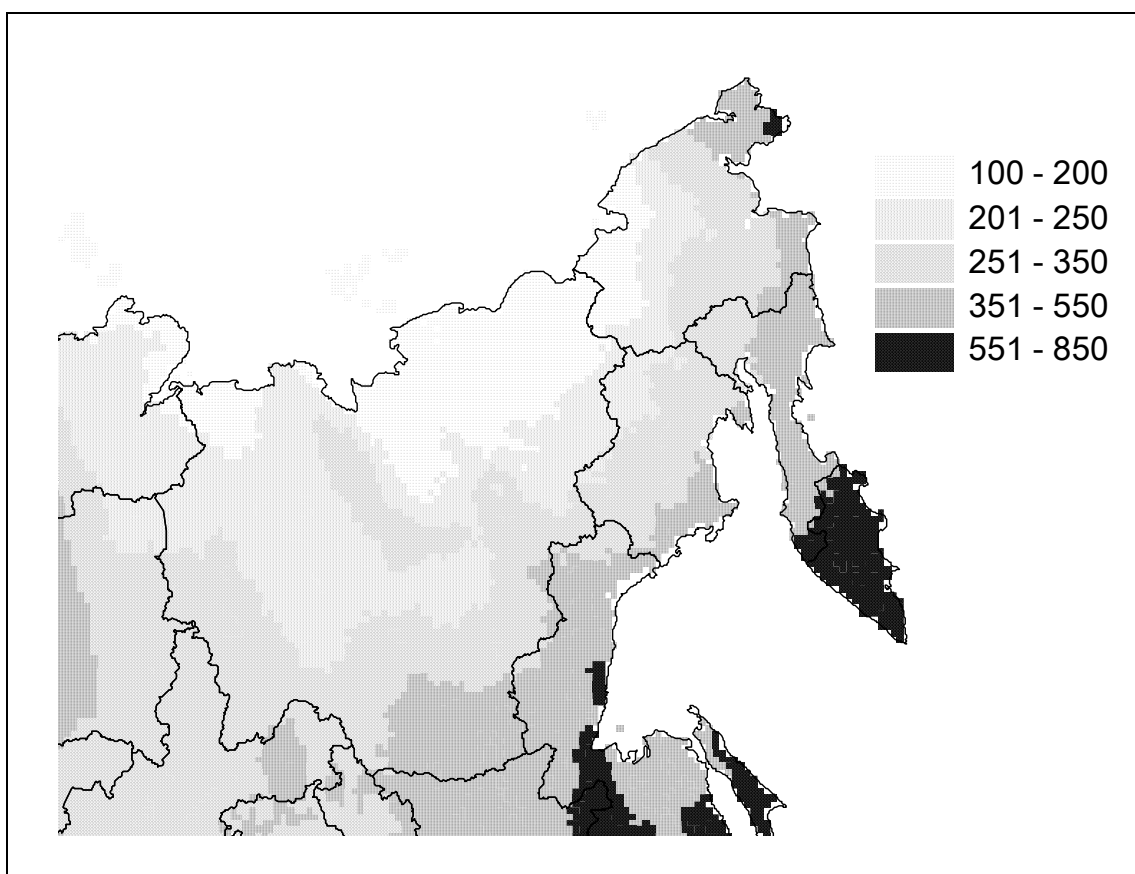


Рис. 1.2. Среднегодовое количество осадков, мм

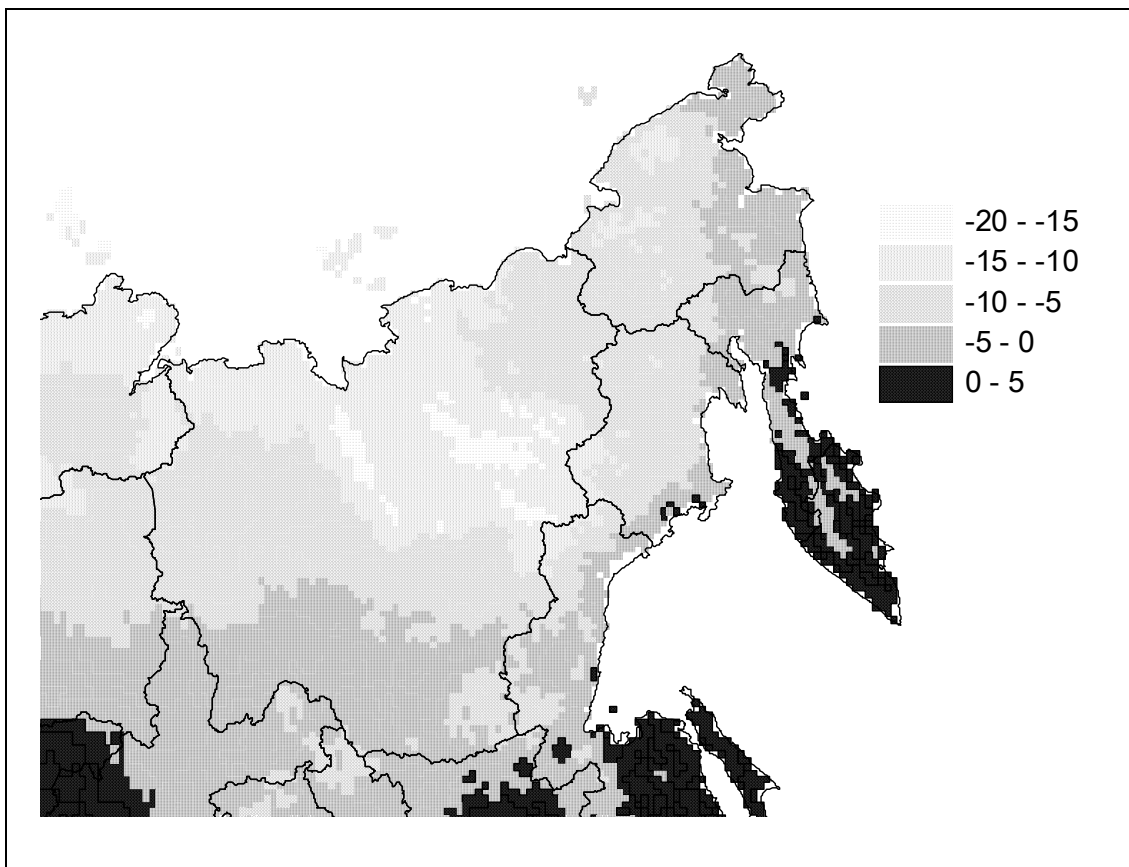


Рис. 1.3. Среднегодовые температуры, °С

В зимние месяцы для большей части территории характерен антициклон с ясной и очень холодной погодой, со слабыми ветрами (средняя скорость за зимние месяцы около  $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ).

Наибольшее в году число часов солнечного сияния приходится на апрель-июль. В течении года Северная Якутия получает в среднем  $77\text{--}80 \text{ ккал} \cdot \text{см}^{-2}$ .

В годовом ходе атмосферного давления наблюдается зимний максимум и летний минимум.

Исследуемая территория расположена в полярной зоне муссонов, поэтому зимой здесь преобладают ветры, направленные с суши на море, а летом – наоборот. Кроме того, сложный рельеф вызывает возникновение своеобразных местных ветров.

Климат региона резко континентальный, очень четко выражен месяц с наиболее низкими температурами – январь, а наиболее теплый месяц – июль.

Район характеризуется повсеместным распространением многолетней мерзлоты [Сумгин, 1937; Попов, Тушинский, 1973; Некрасов, 1984; Фельдман, 1984] (табл. 1.2).



Таблица 1.1

## Сведения о климате Северо-Востока России

Станция	Ср. год. т-ра, °С	Абс. мин. т-ры	Ср. т-ра июля	Макс. т-ра июля	Прод. безм. пер., дней	Число дн. с т-рой выше 10 °С	Ср. год. кол-во осадков, мм	Кол-во осадков с мая по сент., мм
Северо-восточная Якутия								
Верхоянск	-15,6	-68	15,3	34	69	76	142	103
Оймякон	-16,5	-71	14,5	31	-	70	167	126
Зырянка	-12,0	-61	15,3	35	92	78	264	172
Северо-западная Якутия								
Оленёк	-13,3	-65	14,1	35	47	55	289	215
Жиганск	-11,9	-64	16,1	33	74	75	250	188
Центральная Якутия								
Витим	-5,7		17,7				388	
Олекминск	-6,7	-59	18,5	35	103	90	264	170
Амга	-10,9	-65	17,5	38	62	95	203	139
Южная Якутия								
Якутск	-10,2	-64	18,8	38	95	98	192	160
Бердигястях			16,3		-	81	245	208
Покровск			17,4		101	95	208	169
Чурапча	-11,5	-66	17,7	36	70	96	214	183
Амга	-10,9	-65	17,5	38	62	95	203	163
Алдан	-6,3	-51	17,1	34	99	87	509	382
Ногорный	-7,8		14,8			76	562	489
Магаданская область								
Сеймчан	-11,4	-61	15,3	33	51	81	277	167
Марково	-9,1	-59	13,7	29	76	65	348	232
Магадан	-5,8	-36	12,4	24	111	60	503	328
Камчатская область								
Усть-Палана	-2,8	-48	10,3	30	67	44	429	222
Козыревск	-1,8	-53	15,1	36	72	91	393	183
Петропавловск	1,9	-34	12,6	31	149	83	1092	340

Ср. год. т-ра – среднегодовая температура; абс. мин. т-ры – абсолютный минимум температуры; ср. т-ра июля – средняя температура июля; макс. т-ра июля – максимальная температура июля; прод. безм. пер. – продолжительность безморозного периода; число дн. с т-рой выше 10 °С – число дней с температурой выше 10 °С; ср. год. кол-во осадков – среднегодовое количество осадков; кол-во осадков с мая по сент. – количество осадков с мая по сентябрь

Абсолютная влажность воздуха зимой очень мала и с декабря по март не превышает 1 мб. С апреля она быстро возрастает и к июлю достигает максимальных величин: 10-11 мб. Относительная влажность воздуха имеет хорошо выраженный годовой ход с наибольшими среднемесячными

величинами осенью и зимой, а наименьшими – весной и в начале лета. Количество осадков незначительное.

Таблица 1.2

Максимальная мощность и минимальная температура криолитозоны Северо-Востока России по данным непосредственных измерений  
[Общее мерзлотоведение, 1974]

Район	Мощность криолитозоны, м	Мощность мёрзлой зоны, м	Температура у подошвы слоя годовых колебаний, °С
Район бухты Тикси	650	?	ниже -11
Центральная Якутия	до 500	до 500	до -9
Хребты Верхоянский и Черского	свыше 600	свыше 600	ниже -9
Чукотское нагорье (Иультин)	420	420	-8
Нижнее-Анадырская низменность	230	150	до -5,7

Распределение тепла на земной поверхности сильно дифференцируется в зависимости от рельефа. В табл. 1.3 приводятся данные по теплообеспеченности склонов различной экспозиции и крутизны для Якутска [Захарова, 1959, цит. по Уткин, 1965].

Таблица 1.3

Месячные суммы прямой радиации в зависимости от крутизны и экспозиции склонов

Период измерения	Прямая радиация, ккал·см <sup>-2</sup> в зависимости от крутизны и экспозиции склонов								
	северные склоны				горизонтальная поверхность	южные склоны			
	40°	30°	20°	10°		10°	20°	30°	40°
Февраль	0	0	0	0,4	1,3	2,3	6,1	4,5	5,3
Март	0	0	1,0	2,9	4,8	6,6	8,1	9,8	10,8
Апрель	0,9	2,1	3,7	5,0	6,3	7,4	8,3	9,1	9,2
Май	3,1	4,5	5,7	6,6	7,5	8,0	8,4	8,8	8,6
Июнь	5,7	7,0	8,1	9,0	9,8	9,9	10,2	10,2	9,9
Июль	4,4	5,7	7,0	7,9	8,7	8,9	9,4	9,4	9,1
Август	1,8	2,8	4,0	5,1	6,0	6,7	7,4	7,6	7,6
Сентябрь	0,1	0,5	1,8	3,2	4,5	5,6	6,5	7,5	8,1

В регионе, где тепло является лимитирующим фактором, рельеф, с его функцией перераспределения тепла и влаги, часто определяет направление почвообразования, тип растительности и её продуктивность.

По согласованному мнению климатологов, наибольшие – в глобальном масштабе – климатические изменения ожидаются именно в рассматриваемом районе. Несмотря на некоторые локальные особенности, на территории региона наблюдаются высокие тренды потепления, особенно к востоку от Центральной Якутии. Так, на «полюсах холода» Евразии Верхоянске и Оймяконе средние январские температуры в течение XX века увеличились почти на 12 °С, а годовые – свыше 2 °С; сходные показатели наблюдаются во всей континентальной Якутии [Балобаев и др., 2003], причем за последние 50 лет темпы потепления были почти в 2 раза выше, чем в первой половине столетия. По прогнозу М.К. Гавриловой [1998] ожидается, что при глобальном потеплении на 2 °С средняя годовая температура на арктических островах повысится на 8-10 °С, в области сплошной мерзлоты на материке – на 6-8°, прерывистой – на 5-6°, островной – на 4-5°; при потеплении на 4 °С – в Арктике на 14 °С. Заметим, что используя 12 современных моделей общей циркуляции атмосферы, включающих сезонные циклы, влияние океана, облачность и другие показатели, предполагаемое повышение глобальной средней температуры поверхности планеты при удвоении концентрации CO<sub>2</sub> составит 3,82 °С, при изменении индивидуальных значений от 1,6 до 5,4 °С [Cess et al., 1993]. Ожидается, что южная граница многолетней мерзлоты существенно сместится к северу: по сценарию 2 °С – на 5 °с.ш., а по сценарию 4 °С – порядка 10 °с.ш. Последние модели [Анисимов и др., 2002] дают сходный прогноз: изменение общей площади мерзлоты (в скобках – площади сплошной криолитозоны) составит к 2030, 2050 и 2080 гг. соответственно 10-18 % (15-25 %); 15-30 % (20-40 %) и 25-35 % (25-50 %). Глубина сезонного протаивания будет увеличиваться непропорционально – к середине столетия до 15-25 %, местами до 50 % и более. С высокой вероятностью к 2080 г толщина слоя сезонного протаивания повсеместно увеличится на 30-50 % и более.

Некоторые последствия подобных изменения климата могут быть положительны – увеличение биологической продуктивности экосистем, внедрение новых растений, в том числе интересных в сельскохозяйственном отношении. Однако намного более вероятны драматические, крайне негативные последствия, которые могут превзойти буферные возможности региональных экосистем. Очень вероятно, что таяние вечной мерзлоты приведет к существенному изменению гидрологического режима на огромных территориях, ощутимой аридизации климата и катастрофическому распространению природных нарушений, в первую очередь пожаров и вспышек развития опасных лесных вредителей. Повсеместно будут наблюдаться процессы термоэрозии. Все вместе может привести к безвозвратному исчезновению лесов на гигантских территориях, остепнению и

«зеленому опустыниванию» некогда лесных ландшафтов. С другой стороны, потепление может «расконсервировать» природные очаги опасных инфекционных и паразитарных заболеваний человека и животных, таких как сибирская язва, натуральная оспа, бешенство, туляремия, бруцеллез, лептоспироз, трихинеллез и другие. Это может существенно сказаться на условиях жизни местного населения.

### **1.3. Ландшафтно-типологическая характеристика**

Большая протяженность с севера на юг, различные климатические условия, наличие обширных горных систем и понижений, разнообразие истории освоения и степени антропогенного воздействия обусловили разнообразие растительного покрова Северо-Востока России. Попытки выделить однородные части этой обширной страны (в основном, в целях познания и описания) привели к созданию различных типов природного районирования, в том числе геоботанического, климатического, ландшафтного, лесорастительного, лесохозяйственного, лесопожарного и многих других.

Последняя геоботаническая карта страны [Огуреева, 1999] выделяет на равнинных территориях региона две зоны: тундровую и таёжную. В тундровой зоне выделяется четыре подзоны – высокоарктических тундр (полярных пустынь) А1, арктических тундр А2; северных гипоарктических (типичных) тундр А3; и подзону южных гипоарктических (кустарниковых) тундр А4. Первая подзона отмечена только для островов Арктического океана, а в трех остальных выделено по два географических варианта – восточно-сибирский и чукотский (чукотско-корякский в А4). В таёжной зоне выделены подзоны лесотундры Б1 (два варианта – восточно-сибирский (индигиро-колымский и восточно-камчатский), северной тайги Б2 (на территории региона один вариант – индигиро-колымский) и подзона средней тайги Б3 с двумя вариантами – лено-алданский и дальневосточный (северная часть). Основные классификационные единицы высотно-поясного распределения растительного покрова гор включают типы и подтипы поясности, географические варианты и подпояса растительности. На территории района отмечены арктические, гипоарктические (тундровые) и гипоарктические (таёжные) типы поясности. В арктическом типе выделен подтип высокоарктикотундрово-арктикотундровый в двух вариантах – Новосибирские острова и остров Врангеля; в тундровом – Чукотско-Корякские с вариантами: Западно-Чукотский (высоко-арктикотундровый арктикотундровый северотундровый); Восточно-Чукотский (высоко-арктикотундровый северотундровый южнотундровый) и Пенжино-Корякский (нивальный высоко-арктикотундровый северотундровый крупностланиковый). Наконец, в таёжном типе поясности выделены Верхояно-Колымские подтипы: гольцово-тундрово-стланиково-редколесно-таёжный (Верхоянский), гольцово-тундрово-стланиково-редколесно-таёжно-лесостепной (Янский), гольцово-

тундрово-стланиково-редколесно-таёжно-лесостепной (Индигирский), гольцово-тундрово-стланиково-редколесный (Омолонский) и нивально-гольцово-тундрово-стланиково-редколесный (Оймяконский), а также Североохотский подтип – гольцово-тундрово-стланиково-редколесный (Верхне-Колымский).

Лесорастительное районирование сводится к территориальному разделению территории на части, отличающиеся по природным условиям, обуславливающим распространение лесообразующих пород, типы леса, состав и производительность лесов, особенности лесовосстановительного процесса. Лесорастительные районирования, предлагаемые для территории рассматриваемого района, использовали различные принципы и классификационные схемы.

Лесорастительное районирование С.Ф. Курнаева [1973], хотя и предполагало комплексный подход с рассмотрением всего множества главных факторов, определяющих пространственное распространение и специфику лесного покрова, в основном следовало принципам геоботанической классификации, что вызвало ряд критических замечаний, в частности, для лесов Азиатской России [Попов, 1982; Korotkov, 1998]. И.А. Korotkov [1998] предложил более обобщенное лесорастительное районирование северной Евразии, которое включает 4 иерархических уровня: биоклиматические секторы (БС), лесорастительные области (ЛО), провинции и округа. БС определяются изменениями в континентальности климата (масштаб картирования 1:25 000 000) и следующим из этого структурой и составом древостоев зональных и субзональных лесных формаций. Географически, Северо-Восток России входит в 3 БС: Средне-Сибирский сильно континентальный, Восточно-Сибирский экстремально-континентальный и Дальневосточный муссонно-континентальный. Лесные области (масштаб 1:5 000 000 или 1:10 000 000) и провинции (масштаб 1:1 000 000 или 1:5 000 000) выделялись на основе спектров зонально-провинциальных комплексов типов леса (для горных территорий – спектров высотных комплексов), и лесные округа – на основе субзонально-провинциальных (высотных) комплексов типов леса. Согласно рассматриваемой классификации, Средне-Сибирский сектор на территории Северо-Востока России включает одну провинцию (Хетско-Котуй-Оленекскую) с двумя округами (Северо-Сибирским и Котуй-Оленекским) в пределах северо-восточной части Средне-Сибирской плоскогорной лесной области и две провинции (Лена-Вилуйскую и Алданскую) в пределах Центрально-Якутской равнинной аласной ЛО. Восточно-Сибирский сектор включает Яно-Колымскую горную ЛО с тремя провинциями (Нижне-Колымской, Яна-Индигирской и Колымской). Наконец, в пределах Дальневосточного сектора на территории района исследований выделено две провинции (Магаданская и Пенжино-Анадырская).

Пожалуй, наиболее интересное для целей нашего исследования лесорастительное районирование было произведено под руководством А.С. Шейнгауза [1980, 1981, 1985]. Основные идеи этого районирования были позднее использованы в целях экологического районирования России, принципы которого мы кратко рассматриваем ниже.

Практическое внедрение парадигмы устойчивого управления лесами и лесным хозяйством (УУЛХ), как основы философии коэволюции человека и леса в современном мире, требует выбора пространственных единиц, целесообразных для оценки критериев и индикаторов УУЛХ, и для которых взаимодействие человека и леса реализовывалось бы в виде некоторой однородной системы действий. Районирование в целях УУЛХ есть некоторая интегральная процедура, базирующаяся как на характеристике состояния и функционирования лесного покрова в конкретных социальных и экономических условиях, так и учитывающая нынешнее и будущее многофункциональное лесопользование в меняющемся мире. По своей сути, такое районирование – есть районирование природно-социальное или экологическое.

Экологическое районирование лесного фонда России было выполнено группой российских ученых (Д.Ф. Ефремов, А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.Н. Седых, В.А. Соколов, В.А. Рожков, П.А. Хоментовский, А.С. Шейнгауз, А.З. Швиденко) в рамках проекта Международного института прикладного системного анализа «Устойчивое управление лесами Сибири» (проект «Сибирь») с использованием двух основных пространственных единиц – экорегион и субэкорегион. Экорегионы выделялись по следующим главнейшим принципам [Shvidenko et al., 1995]: 1) однородность природной среды и растительного покрова, в частности лесов; 2) одинаковая интенсивность антропогенного воздействия на природные ландшафты; 3) однородность трансформации естественной растительности, в частности, лесов; 4) сопоставимость вклада каждого экорегиона в основные биогеохимические циклы, что предопределяет сходство экосистем по таким показателям как фитомасса, чистая первичная продукция и т.д.; 5) согласование (в принятом масштабе) границ экорегионов с административными границами. Очевидно, что экологическое районирование является естественным обобщением большинства природных, в том числе лесных, районирований. Экорегионы рассматриваются как минимальные территориальные общности, к которым применимо понятие устойчивого развития и для которых могут оцениваться критерии и индикаторы УУЛХ. Очевидна также связь экологического районирования с идеей выделения лесных районов, предусмотренных новым, принятым в 2006 году, Лесным кодексом России.

Для некоторых управленческих задач и экологических оценок регионы могут оказаться слишком обобщёнными. Поэтому была предложена единица второго уровня – субэкорегион – более однородное ландшафтное

образование, ограниченное природными рубежами. В табл. 1.4 и на рис. 1.4 приводятся оба названных уровня экологического районирования.

Таблица 1.4

Экорегiónы и субэкорегiónы Северо-Востока России

Код ЭР	Наименование экорегiónов (ЭР)	Код СЭР	Наименование субэкорегiónов (СЭР)	Площадь, млн га
301	Корякский горный тундровый	3011	Северо-Камчатский криволесно-стланиковый восточного макросклона Срединного хребта	2,31
		3012	Северо-восточный прибрежный низменный тундрово-стланиковый	0,35
		3013	Северо-восточный прибрежный равнинно-горный криволесно-стланиковый	0,31
		3014	Перешеечно-низменный тундрово-болотный прибрежных речных долин	3,46
		3015	Тундрово-гольцово-стланиковый Корякского нагорья	9,02
		3016	Северо-Охотский горно-тундрово-стланиково-редколесный	7,16
		Итого		
302	Западно-Камчатский горный лесотундровый	3021	Западно-прибрежный низменно-равнинный тундроболотный	3,72
		3022	Среднегорный криволесий западного макросклона Срединного хребта	0,89
		3023	Горный криволесно-гольцово-стланиковый западного макросклона Срединного хребта	3,79
		Итого		
441	Чукотский горный тундровый	4411	Субарктическо-арктический горно-долинный лесотундрово-тундровый	17,72
		4412	Субарктическо-арктический низменно-приморский тундрово-заболоченный	4,67
		4413	Субарктическо-арктическо-тихоокеанский тундровый, частично заболоченный	8,02
		4414	Субарктический низменный тундрово-луговой межгорных котловин	6,99
		4415	Берингоморский горно-долинный лесотундровый	5,58
		Итого		
442	Восточно-Колымский горный редкостойной тайги	4421	Суббореально-бореальный горный редкотаёжно-стланиково-гольцовый	47,83
		4422	Сибирско-бореальный горно-долинный лиственнично-стланиковый	2,40

Продолжение таблицы 1.4

Код ЭР	Наименование экорегионов	Код СЭР	Наименования субэкорегiónов	Площадь, млн га
442	Восточно-Колымский горный редкостойной тайги	4423	Субарктический средне- и низкогорный лиственнично-гольцово-стланиковый	9,70
		4424	Нижнеколымский субарктический низкогорно-долинный редкотаёжный	0,67
		4425	Субарктический низменный тундрово-заболоченный межгорных котловин	1,95
		4426	Бореально-субарктический низменно-заболоченный нижних частей речных долин	2,95
		4427	Северо-корякский нагорный редкотаёжно-стланиково-гольцовый	2,35
		Итого		
443	Янский горный северотаёжный	4431	Северо-Охотский горно-прибрежный стланиково-редколесный	3,32
		4432	Северо-Охотский низменно-прибрежный тундрово-стланиковый	0,56
		4433	Прибрежный горно-долинный тундрово-стланиковый	1,11
		Итого		
981	Северо-Якутский тундровый	9811	Оленекско-анабарская арктотундровая низменность	3,34
		9812	Яно-Колымская аркто-тундровая долина	22,81
		9813	Дельта Лены с арктическими тундрами	5,01
		9814	Оленокское аркто-тундровое плоскогорье	5,42
		9815	Северо-верхоянское арктопустынное нагорье	2,54
		Итого		
982	Яно-Индигирский редкостойной тайги	9821	Клымско-юкагирское плоскогорье с лиственничными лесотундрами	5,82
		9822	Алазейское плоскогорье с лиственничными лесотундрами	1,49
		9823	Клымско-индигирская болотно-озерная равнина с лиственничными редколесьями	24,58
		9824	Черско-Момское высокогорье с лиственничными лесотундрами	14,86
		9825	Верхнеиндигирский среднегорный с редколесьями лиственницы и зарослями кедрового стланика	5,77
		9826	Янское плоскогорье с лиственничными редколесьями	19,13
		9827	Верхоянское нагорье с лесотундрами и зарослями кедрового стланика	6,06



Окончание таблицы 1.4

Код ЭР	Наименование экорегионов	Код СЭР	Наименования субэкорегiónов	Площадь, млн га
982	Яно-Индигирский редкостойной тайги	9828	Нижнеленская высокая равнина с лиственничными редколесьями	42,07
		9829	Вилуйское плато с лиственничными лесами	3,21
		98210	Оленекско-анабарское тундрово-лесотундровое плоскогорье	3,32
		Итого		126,31
983	Вилуй-Сангарский северотаёжный	9831	Вилуйско-Ленское низкое плато с сосново-лиственничными лесами	2,90
		9832	Центрально-Якутская плоская заболоченная равнина с лиственнично-сосновыми лесами	8,73
		9833	Марха-Вилуйское низкое плато с лиственничными лесами и болотами	5,24
		9834	Южно-Верхоянское предгорье с сосново-лиственничными лесами	2,90
		9835	Верхоянское нагорье с лиственничными редколесьями и зарослями кедрового стланика	17,52
		Итого		37,29
984	Средне-Ленский среднетаёжный	9841	Амгу-Ленская плоская болотная равнина с сосново-лиственничными лесами и редколесьями	5,65
		9842	Приленское низкое плато с сосново-лиственничными лесами и болотами	30,75
		9843	Вилуйско-Ленское высокое плато с сосново-лиственничными лесами	23,76
		Итого		60,16
985	Верхне-Ленский горный среднетаёжный	9851	Алдано-Угурское нагорье с лиственничными лесами и редколесьями	6,63
		9852	Олекмо-Алданское нагорье с елово-лиственничными и кедровостланниковыми лесами	8,65
		9853	Амго-Ленское низкогорье с сосново-лиственничными лесами	9,78
		9854	Алдано-Ленское низкое плато с сосново-лиственничными лесами	8,20
		9855	Сетедабанское высокогорье с лиственничными редколесьями и гольцами	6,17
		Итого		39,43
Всего				449,1

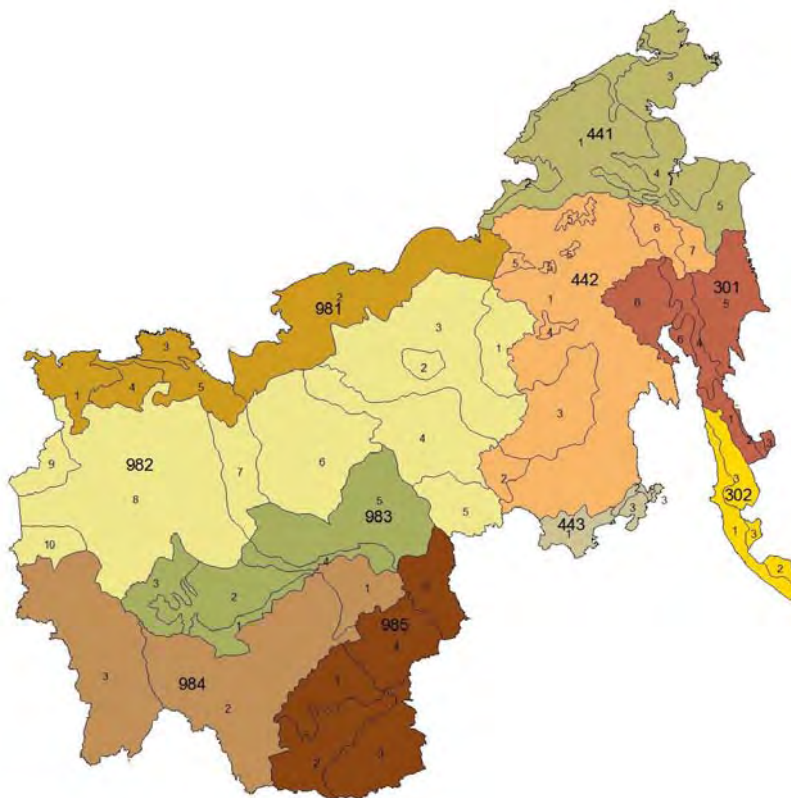


Рис 1.4. Экорегions и субэкорегions Северо-Востока России (числа на карте соответствуют номерам табл. 1.4)

Лесной покров Северо-Востока России издавна привлекал к себе внимание исследователей, однако изучение его проходило весьма неравномерно. Результаты первого исследования лесов в пограничном с южной Якутией районе (бассейн р. Тунгир) опубликованы В.Н. Сукачевым в 1912 г. Им в частности были описаны типы леса. В.А. Поварницын, работавший в составе лесного отряда экспедиции СОПС АН СССР 1925-1930 гг., в своих статьях даёт первый список типов леса по течению Алдана от г. Томмота до устья р. Ноторы. Позже леса вдоль Алдана были исследованы В.Н. Дылисом [1950], Л.Н. Тюлиной [1957], Л.К. Поздняковым [1961], И.П. Щербаковым [1964]. В работах Л.Н. Тюлиной леса верхнего и среднего Алдана рассмотрены по элементам рельефа и горным породам (лиственничники древних аллювиальных отложений, лиственничники на коренных горных породах и т.п.).

Первые, очень общие, сведения о типологическом составе лесов юго-западных приленских районов имеются в статье С.Н. Недригайлова [1932]. Более полные сведения имеются в работах Б.В. Чугунова [1955, 1961], И.П. Щербакова [1964].

Одним из первых исследователей растительности центральных районов Якутии был Р.И. Аболин [1929]. Несколько позже были опубликованы работы В.А. Поварницына [1932] о типах леса на водоразделе Лены и

Алдана. Типы леса центральной Якутии детально описаны А.И. Уткиным [1958, 1965]. История хвойных лесов на Камчатке описана Л.О. Карпачевским и др. [1966].

Большая роль в изучении лесов Якутии принадлежит Л.К. Позднякову. Им изучались леса Верхоянского района [1961], верхнего и среднего течения реки Алдан [1961], бассейна реки Олекмы [1955]. Опубликованы обобщающие монографии о лиственнице даурской [1975] и мерзлотном лесоведении [1986]. Лиственничные древостои Центральной Якутии преимущественно в лесотаксационном отношении охарактеризовал В.А. Куделя [1985, 1988].

По Г.Ф. Морозову [1930] в основу классификации насаждений должны быть положены все важнейшие лесообразователи: климат, почвенно-геологические условия, рельеф, лесоводственные свойства пород, вмешательство человека.

Учёт фактора времени, как принципиальной предпосылки типологических классификаций, впервые появляется в работах Б.А. Ивашкевича, посвященных типологии лесов Дальнего Востока [1928]. Он указывал на существование коренных, производных и временных типов леса как единого ряда, характерного для определённого физико-географического района.

Основоположителем современного географо-генетического направления в типологии является Б.П. Колесников [1955, 1966]. По Б.П. Колесникову, тип леса имеет географический ареал, а лесотипологическая классификация должна учитывать закономерности распространения типа леса в пространстве и его изменения во времени, т.е. особенности лесообразовательного процесса [Колесников, 1958].

Генетическая классификация динамична и позволяет определить для лесных участков коренные формации, этапы их восстановительно-возрастной трансформации. Видимо, именно этот подход является наиболее содержательным для специфических условий региона. Однако работ подобного плана для Северо-Востока России практически нет: существующие типологические построения базируются на принципах, предложенных В.Н. Сукачевым.

«Тип леса – это объединение участков леса (отдельных лесных биогеоценозов), однородных по составу древесных пород, по общему характеру других ярусов растительности, по фауне, по комплексу лесорастительных условий (климатических, почвенно-грунтовых и гидрологических), по взаимоотношениям между растениями и средой, по восстановительным процессам и по направлению смен на этих участках леса, а следовательно, требующих при одинаковых экономических условиях одинаковых лесохозяйственных мероприятий» [Сукачев, Зонн, 1961, с. 47]. Из приведенного списка признаков, по которым участки леса объединяются в тип леса главными выступают лесорастительные условия и состав древесных пород.

По лесоустроительным инструкциям 1964, 1986, 1995 гг. типы леса и типы лесорастительных условий устанавливаются по диагностическим признакам в схемах, разработанных для отдельных регионов. Главными диагностическими признаками являются почвенно-грунтовые условия, травянистые растения и кустарники-индикаторы.

### **1.3.1. Растения-индикаторы**

Одним из проявлений взаимодействия леса и почвы можно считать существование растений-индикаторов и эдификаторов (растений создающих структуру фитоценоза и влияющих на условия произрастания). Пионерами песчано-галечниковых наносов в поймах рек являются тополь душистый и чозения. За пределами ареалов остальных древесных видов лиственница занимает все местообитания, пригодные для древесной растительности. Более разнообразно реагирует на смену почвенно-гидрологических условий травяно-кустарничковый ярус [Щербаков, 1975].

Толокнянка боровая (*Arctostaphylos uva-ursi*) характерна для наиболее сухих и бедных почв супесчаного и гравийного состава, дальше неё в этом направлении заходят только кустистые лишайники. Толокнянка весьма огнестойкое растение и переживает беглые низовые пожары, но медленно восстанавливается после более сильных пожаров.

Брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) доминирует в травяном покрове лиственничных лесов на суглинистых и каменисто-суглинистых почвах, увлажнённых в средней степени (свежие, влажные). На супесчаных почвах брусника обильна только при условии достаточного увлажнения.

Багульник (*Ledum palustre*) и голубика (*Vaccinium uliginosum*) свойственны почвам повышенной влажности и занимает нишу от "брусничных" типов до настоящих заболоченных, для которых характерен уже долгомошный, сфагновый и травяной покров. Багульник чаще встречается на песчаных и супесчаных влажных сравнительно бедных почвах. Голубика же предпочитает почвы более тяжелого механического состава, одновременно и более богатые подвижными формами питательных веществ. И.П. Щербаков [1975] считает, что сколько-нибудь четкого разграничения по отношению к карбонатности почв эти два вида не проявляют. По его мнению, карбонатные почвы (как правило, суглинистые) голубика заселяет именно из-за их механического состава и относительного плодородия. Аналогично и багульник предпочитает лёгкие почвы, которые редко бывают карбонатными. Во всяком случае, в природе нередки варианты совместного произрастания этих растений – как на карбонатных почвах, так и на кислых.

Лимнас Стеллера (*Limnas stelleri*) особенно характерен для южной Якутии и встречается от сухих толокнянковых сосняков до лиственничников брусничных и голубично-брусничных с хорошо увлажнёнными почвами.

В типах леса, в покрове которых присутствует в заметных количествах Арктоус красноплодный (*Arctous erythrocarpa*), лесовозобновление бывает слабым или неудовлетворительным. В определенной мере это можно объяснить экранирующим эффектом плоско-сомкнутого полога арктоуса, который, с одной стороны, задерживает на себе опадающие семена, а с другой – затеняет почву [Виппер, 1973]. Почвы под ним маломощны и бедны питательными веществами, хорошо дренированы и в большинстве случаев недостаточно влажны, хотя в Центральной Якутии и в северных и северо-восточных районах, включая бассейн р. Колымы, распространены листовничники арктоусово-брусничные на среднеувлажнённых и даже повышенно-увлажнённых почвах. В южной Якутии арктоусовые типы леса приурочены к северным склонам. На севере они встречаются на платообразных площадях или на слабых склонах той же экспозиции и имеют хорошо выраженный "северный" характер (изреженность древостоев, низкие бонитеты, суховершинность и т.п.).

Душекия кустарниковая (*Duschekia fruticosa*) или ольховник характерна для лесов на хорошо увлажнённых суглинистых и супесчаных почвах, иногда переходных по степени увлажнения к избыточно-увлажнённым. При этом душекия предпочитает проточное увлажнение и если встречается на сфагновых участках, то развивается там плохо и сомкнутого полога не образует. В высокопроизводительных лесах она создает мощный полог высотой 3,5-4,0 м и сомкнутостью до 80 %. В горных листовничниках северо-востока Якутии и Магаданской области душекия образует более редкий и низкий подлесок в лишайниковых типах леса, т.е. на почвах относительно бедных, но достаточно влажных. Таким образом душекия является индикатором хорошего увлажнения почв, без застойных явлений, которое может сопровождаться относительным повышением плодородия.

Рододендрон даурский (*Rhodjendron dahuricum*) распространён в Якутии главным образом в среднем течении Алдана и в бассейне р. Олекмы. Он свойственен сравнительно сухим и небогатым супесчаным и песчаным щебнистым почвам.

Шикша (*Empetrum nigrum*) широко распространена, часто встречается с толокнянкой и лишайниками.

Сравнение описаний лишайниковых типов леса и почвенных условий в них показывает, что лишайники родов *Cladonia* (*Cl. sylvatica*, *Cl. alpestris*, *Cl. rangiferina*, *Cl. coccifera*) и *Cetraria* (*C. cucullata*, *C. islandica*) действительно могут считаться надёжными индикаторами бедных почв, но не обязательно сухих. При этом следует оговориться, что бедные и влажные почвы встречаются только в горных районах северных областей страны, что объясняется суровостью климата. В более теплых условиях влажные почвы так или иначе сравнительно быстро обогащаются гумусовыми соединениями и осваиваются сосудистыми растениями.

Термин «разнотравный» И.П. Щербаков [1975] применяет, когда кустарничково-травяной покров образован большим количеством видов ксерофитного и мезофитного разнотравья (прострел желтеющий, орхидные, чина приземистая, фиалки, водосбор редкоцветный, василистники, ветреницы, мелкие осоки, злаки) высотой 10-30 см. Обозначение «травяной» применяется, когда основу травяного покрова образуют растения гидрофильные и мезофильные, высотой 40-80 см.

В целом И.П. Щербаков [1975] приходит к выводу, что хотя растительность сама по себе является наиболее надёжным индикатором комплекса условий произрастания, но механизм преобразования «условия среды – лес» при сходных конечных состояниях может быть различным. Весьма возможно, что «определяющим для состояния растительности или её производительности будет не та степень влажности, которую мы находим в момент исследования, а какая-то другая, действующая в иные сроки..., оказывающаяся критической, ограничивающей развитие главных видов растений, образующих покров» [Щербаков, 1975]. Добавим, что в разных случаях критические факторы могут различаться, а результат их воздействия на ценоз может оказаться сходным.

Часто для индикации условий увлажнения ориентируются на живой напочвенный покров. В частности для лесоустройства рекомендована следующая схема (табл. 1.5).

*Таблица 1.5*

Система индикации условий увлажнения по напочвенному покрову

Условия увлажнения	Типичная растительность
сухие	кустистые лишайники
средние	толокнянка, брусника
сырые с проточным увлажнением	вейник Лангсдорфа, крупные осоки, хвощи
сырые с застойным увлажнением	багульник, голубика

Однако эдификаторная роль растений имеет свои географические рамки. Так для северной тайги и редколесий такая классификация не является удовлетворительной, так как багульник растёт практически повсеместно и часто соседствует с кустистыми лишайниками, поселяющимися на моховом покрове.

### **1.3.2. Типы леса региона**

Сведения о типах лесов Яно-Колымской горной страны содержится в работах С.Н. Недригайлова [1927], С.К. Старка [1933], Л.Н. Тюлиной [1959], В.А. Шелудяковой [1938, 1948], Л.К. Позднякова [1941, 1961а, 1969, 1975], В.Н. Васильева [1956], Н.Н. Прахова [1957], Г.Ф. Старикова и др. [1955, 1958], Б.А. Тихомирова и др. [1961], З.Н. Науменко [1968, 1969], М.Н. Адамчика [1972], И.И. Котлярова [1972, 1975], И.П. Щербакова [1975], А.М. Бойченко и др. [1995] и др.

Как отмечает Н.В. Дылис [1981], для континентальной части Восточной Сибири характерной является *брусничная* лиственничная тайга. Особенно она распространена на Приленском плато, низменностях вдоль низовьев Лены, Лено-Виллюйском и Лено-Алданском междуречье. Эти лиственничники располагаются на равнинных участках местных водоразделов и их пологих склонах, надпойменных террасах на легкосуглинистых, редко супесчаных, дерново-лесных мерзлотных почвах, оттаивающих до максимальной глубины 1,5-2 м. Насаждения чистые, или с небольшой примесью берёзы и сосны, IV-V класса бонитета с полнотой 0,4-0,7. Подлесок слабо выражен. Травяно-кустарничковый ярус развит хорошо (покрытие до 90 %), преобладают злаки (особенно лимнас Стеллера), брусника, арктоус красноплодный. Моховой покров не выражен или встречается мелкими пятнами, что объясняется как засушливостью, так и частыми пожарами.

На более возвышенных участках и террасах рек с лёгкими песчаными и супесчаными почвами, значительно более сухими и бедными, встречаются лиственничники *толокнянковые* низкой производительности – V и Va классов бонитета с постоянной примесью сосны. Насаждение без подлеска, но с хорошо развитым травяным покровом, в котором доминирующее положение занимают толокнянка и лимнас. Пятнами растут лишайники из родов кладония и цетрария.

По ложбинам и на склонах располагаются небольшие участки лиственничников *ольховниковых*. Они приурочены к увлажнённым, часто с признаками оглеения почвам. Хорошо развит подлесок из душекии, в травяно-кустарничковом ярусе преобладают брусника, багульник, голубика.

На пониженных участках – по лощинам, шлейфам склонов, в долинах мелких речек располагаются *багульниковые* лиственничники. Почвы песчаные и супесчаные с неглубоко оттаивающей мерзлотой. Древостои чистые, или с примесью сосны низкой производительности – V и Va классов бонитета. В среднегустом подлеске растут душекия, берёза тощая, ивы, в густом и плотном травяно-кустарничковом покрове особенно выделяются багульник, брусника, покров из зелёных мхов и лишайников практически сплошной.

*Кустарничково-лишайниковые* и *кустарничково-моховые* группы типов леса занимают пологие склоны водоразделов и межгорных всхолмлений. Древостои изрежены, как правило V-Vb классов бонитета, преимущественно разновозрастные. Естественное возобновление под пологом древостоев без воздействия пожаров затруднено.

*Мокрые* и *заболоченные* лиственничники с покровом из сфагновых мхов встречаются на участках с затруднённым дренажем на плоских невысоких водоразделах, предсклоновых прогибах и на пониженных участках речных долин. Древостои сильно разрежены (сомкнутость 0,1-0,2), Vb класса бонитета. Подрост очень редкий, сильно угнетён. В подлеске встре-

чается берёза тощая, кустарниковые ивы, в кустарничковом ярусе – багульник, касандра, клюква по сплошному ковру сфагновых мхов. Многолетняя мерзлота может находиться непосредственно под моховым покровом, толщина которого составляет 20-25 см.

Для лиственницы Каяндера, популяции которой заполняют главным образом горные системы Северо-Востока Азии в бассейнах рек Яны, Индигирки, Колымы, характерны разреженные древостои низкой производительности (V-Vb классов бонитета) с запасами древесины, измеряемыми десятками кубометров на 1 га.

Наиболее производительные лиственничники (II и III классов бонитета) произрастают по долинам рек.

На суглинистых хорошо дренированных почвах с глубоко оттаивающей мерзлотой преобладают лиственничники IV класса бонитета. По составу нижних ярусов различают ерниковые, кедровостланиковые, лишайниковые и брусничные типы. Они занимают переходную нишу от пойменных лесов к горным лесам и редколесьям.

Среди горных лиственничников широко распространены лиственничники и редины с подлеском из кедрового стланика. Они встречаются на склонах с хорошо дренированными, мелкими, сильно каменистыми почвами при относительно глубоком уровне мерзлоты. Древесный ярус из лиственницы с небольшой примесью берёзы плосколистной, сильно разреженный (сомкнутость 0,2-0,4), V-Va классов бонитета. Напочвенный покров лишайниковый и мшисто-лишайниковый. В этих условиях кедровый стланик нередко выступает как соэдификатор лиственницы.

Весьма распространены лиственничники ерниковые с подлеском из берёз тощей, Миддендорфа, кустарниковой, приуроченные к пологим участкам горных склонов.

Б.Н. Тихомиров и др. [1961] выделяют две большие группы лиственничников – долинные и горные. Первые делятся на пойменные (III-IV класс бонитета), зеленомошные (IV-V) и лиственничники с ерником (IV-Va), а вторые на лишайниковые (IV-Va), с подлеском из кедрового стланика (V-Va) и сфагновые (V-Vb).

На западном макросклоне Верхоянского хребта [Прахов, 1957; Поздняков, 1975; Абаимов, 1997] на надпойменных террасах и нижних частях пологих склонов широко распространены багульниково-брусничные и бруснично-зеленомошные лиственничники с подлеском из кедрового стланика, а на средних и верхних частях склонов водоразделов – бруснично-лишайниковые ассоциации с аналогичным подлеском. Производительность их не превышает V-Va классов бонитета. При обильном развитии подлеска возобновление сильно ослаблено. В составе подлеска, помимо *Pinus pumila*, встречаются *Dushekia fruticosa*, *Betula exilis*, *Juniperus sibirica*, *Rosa acicularis*. В травяно-кустарничковом ярусе представлены как бореальные (*Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum palustre*), так и гипоарктические



и арктоальпийские виды (*Salix glauca*, *Arctous alpina*, *Dryas punctata* и др.). Помимо кустистых лишайников из родов *Cladina* и *Cladonia* в образовании лишайникового покрова участвуют виды родов *Cetraria* и *Alectoria*. Из зелёных мхов наиболее распространены представители родов *Pleurozium*, *Hylocomnium*, *Dicranum*, *Aulacomnium*.

Горные редколесья бассейнов Яны и Индигирки представлены преимущественно кустарничково-лишайниковой и кустарничково-моховой группами типов леса V-Vb классов бонитета. Сомкнутость древесного полога 0,1-0,3. Возобновление, как правило, сильно ослаблено. Подлесок представлен *Pinus pumila*, *Dushekia fruticosa*, *Betula exilis*, некоторыми видами кустарниковых ив. В формировании напочвенного покрова участвуют представители гипоарктической, бореальной и арктоальпийской флоры. Широко представлены лишайники родов *Cladonia*, *Cladina* и *Cetraria*, а из мхов – представители родов *Pleurozium*, *Hylocomnium*, *Dicranum* и *Aulacomnium*.

В пределах Индигирской низменности лесная растительность представлена тремя основными группами: лишайниково-моховыми, травяно-моховыми и мохово-кустарничковыми редколесьями [Карпенко, 1958; Поздняков, 1969]. Лишайниково-моховые редколесья и редины Va-Vb классов бонитета с подлеском из душекии, кустарниковой берёзы и ив господствуют на склонах и вершинах всхолмлений. Травяно-моховые и мохово-кустарничковые сообщества Vb класса бонитета с сомкнутостью полога 0,1-0,2 распространены по пониженным элементам рельефа, примыкая к озёрно-болотным комплексам. Приречные относительно сомкнутые (0,3-0,5) лиственничники Va класса бонитета встречаются узкими полосами вдоль наиболее крупных рек. А.М. Бойченко с соавторами [1995] для приморской денудационно-аккумулятивной равнины выделяет пять типов притундровых редколесий: кустарничково-лишайниково-моховые, кустарничково-лишайниковые, цетрариево-птилидиевые, птилидиево-цетрариевые и влагилицно-пушициево-моховые, отмечая, что наиболее распространённым является первый тип. Подлесок в этом регионе представлен *Dushekia fruticosa*, *Betula exilis* и некоторыми гипоарктическими видами рода *Salix*. В напочвенном покрове обычны *Ledum palustre*, *Vaccinium vitis-idea*, *Arctous alpina*, *Vaccinium uliginosum*, *Cassiope tetragona*, *Dryas punctata*. Моховой покров представлен преимущественно *Aulacomnium turgidum*, *Hylocomnium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Dicranum congestum*, реже видами *Sphagnum*. Лишайниковые синузии слагают *Cetraria cuculata*, *Alectoria ochroleuca*, а также обычные для северных редколесий Сибири представители родов *Cladina* и *Cladonia*.

На территории Магаданской области З.М. Науменко [1968, 1969] выделяет несколько комплексов лесорастительных условий. Наиболее производительные древостои I-III классов бонитета приурочены к прирусловым пойменным участкам рек. Здесь он выделяет четыре наиболее распростра-

ненные группы типов лиственничных лесов: хвощовую, вейниковую, грушанковую и подлесочную. В совокупности они объединяют 11 типов леса. Сомкнутость древесного полога в возрасте спелости достигает 0,7-0,8.

На первых надпойменных террасах с глубоким залеганием уровня многолетней мерзлоты и супесчаными почвами формируются лиственничники бруснично-зеленомошные III-IV классов бонитета. С повышением уровня террас и переходом на коренные склоны водоразделов сомкнутые лиственничные леса сменяются кустарничково-зеленомошными и кустарничково-лишайниковыми редколесьями, а затем редианами V-Vb классов бонитета. Естественное возобновление под пологом повсеместно ослаблено и вне зависимости от типа леса обычно не превышает 1,5-2,0 тыс. шт.·га<sup>-1</sup>. В редколесьях, формирующих основной фон лесного покрова, в качестве подлесочных пород выступает кедровый стланик, который повсеместно в пределах Яно-Колымской горной страны образует верхнюю границу распространения лесной растительности, а также душекия, кустарниковые берёзы и ивы. В травяно-кустарничковом ярусе лиственничных редколесий участвуют *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium uliginosum*, *Ledum palustre*, *Empetrum nigrum*, *Cassiope tetragona* и др. Мохово-лишайниковый покров формируют различные представители родов *Cladina*, *Cetraria*, *Alectoria*, *Dactilina*, *Pleurozium*, *Aulacomnium*, *Ptilidium*.

Типологическая структура лиственничников на северо-восточном пределе их распространения в бассейне р. Анадырь содержится в работе В.Н. Васильева [1956]. Он выделяет типичную лиственничную лесотундру, долинные лиственничники и лиственничники по водоразделам. Лесотундровые группировки схожи с северными редколесьями Яно-Индибирского междуречья.

Пойменные насаждения являются наиболее производительными, достигают нормативов IV-V класса бонитета. По мере удаления от поймы к террасам и ухудшения лесорастительных условий В.Н. Васильев [1956] выделяет семь типов долинных ассоциаций: лиственничники с участием тополя кедровостланиково-злаково-грушанковые, кедровостланиково-грушанковые, ивово-голубичные, вейниковые и ольховниково-вейниковые, ерниково-голубичные, ивовые и осоковые. По вершинам и верхним частям крутых склонов водоразделов ниже пояса зарослей кедрового стланика формируются кедровостланиково-лишайниковые и ольховниковые лиственничники, переходящие на плосковогнутых склонах и седловинах в лиственничники берёзово-ерниковые и пушицевые, а в нижних частях пологих склонов – в осоковые лиственничники [Тюлина, 1957]. К крутым склонам северной экспозиции приурочены лиственничники кедровостланиково-сфагновые [Васильев, 1956].

В составе подлеска лиственничников Чукотского автономного округа широко представлены *Pinus pumila*, *Salix hastate*, *S. oblongifolia*, *Betula Middendorffii*, *Duschekia fruticosa*, *Rosa acicularis*. В травяно-

кустарничковом ярусе обычны в различном сочетании *Calamagrostis langsdorfii*, *Pyrola incarnata*, *Carex accrescens*, *C. lugens*, *Eriophorum vaginatum*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vites idaea*, а также типичные для редколесий Крайнего Севера представители родов *Cladina*, *Centaria*, *Cladonia*, а из мхов – *Aulacomnium*, *Pleurozium*, *Dicranum*, *Hylocomium*, *Ptilidium* и *Sphagnum*.

И.П. Щербаков [1975] делит все разнообразие типов леса на формации по главным лесообразующим породам, которые подразделяются на группы типов по степени увлажнённости почв (табл.1.6). Он также отмечает, что использование рельефа в качестве классификационного признака в лесной типологии ещё недостаточно проработано. Не отрицая возможности его применения, он приводит пример того, что на южных склонах могут образовываться разные типы леса в связи с гидрологическими особенностями. В то же время на разных элементах рельефа может быть обнаружен один и тот же тип леса благодаря сходному режиму увлажнения.

Между типами леса и глубиной максимального протаивания почвы наблюдается довольно тесная связь. По данным А.И. Уткина [1965] в центральной Якутии почва под:

- сосновыми лесами протаивает на 2,0-2,8 м;
- лиственничниками брусничными на супесях – 1,7-1,9 м;
- на суглинках – 1,3-1,6;
- лиственничниками багульниковыми и моховыми, при наличии стока на песках и супесях – 1,2-1,4;
- то же на суглинках – 1,0-1,2;
- то же без стока на супесях – 1,0-1,2;
- то же на суглинках 0,5-0,8.

На горях и вырубках почва оттаивает на 0,4-0,6 м глубже, чем под лесом.

В центральной Якутии [Уткин, 1965] примесь сосны наблюдается в толокнянковом и багульниковом типах леса. Причем реальная конкуренция между лиственницей и сосной наблюдается только в самых теплых местообитаниях. Тепловой оптимум ризосферы сосны на 2-3° выше, чем лиственницы.

Таблица 1.6

## Географическое распространение типов леса [Щербаков, 1975]

Тип леса	Южный Алданский	Юго-западный приленский	Центральный Якутский	Западный Вилюйский	Северо-западный	Северо-восточный	Охотско-Колымский	Камчатский
1) Лиственничники лишайниково-толокнянковые (сухих местопроизрастаний)								
Л. (с сосной) толокнянково-лишайниковый	?	-	+	+	+	+	-	-
Л. (с сосной) бруснично-толокнянковый	+	-	+	+	+	+	-	-
2) Лиственничники брусничные (средневлажные местопроизрастаний)								
Л. (с сосной) бруснично-лишайниковый	+	-	-	-	+	+	+	+
Л. (с сосной) дриадовый	+	-	-	-	-	-	-	-
Л. разнотравно-брусничный	+	+	+	+	+	+	+	?
Л. разнотравно-арктоусово-брусничный	+	+	+	+	+	+	+	?
Л. лимнасово-брусничный	+	-	-	-	-	-	-	-
Л. брусничный	+	+	+	+	+	+	+	-
Л. рододендрово-брусничный	+	-	-	-	-	-	-	-
Л. ольховниково-брусничный	+	+	+	+	+	+	+	+
Л. багульниково-брусничный	+	+	+	+	+	+	+	+
Л. (с сосной) багульниково-бруснич- ный моховой с Кдс (горный)	+	-	-	-	-	?	?	?
Л. (с елью) бруснично-моховой	+	+	+	+	+	+	+	+
Л. с кедром (и елью) бруснично- моховой	+	+	-	-	-	-	-	-
3) Лиственничники багульниковые и голубичные моховые (сырых местопроизрастан.)								
Л. (с елью) бр.-баг. моховой	+	+	+	+	+	+	+	+
Л. (с елью) бр.-гол. моховой	+	+	+	+	+	+	+	?
Л. ерниково-моховой (с берёзкой кустарниковой)	+	+	+	+	+	+	-	-
Л. ерниковый с берёзкой тощей	+	+	+	+	+	+	+	+
Л. (с елью) бр.-баг. моховой с берё- зой Миддендорфа и Кдс (горный)	+	-	-	-	+	+	+	+
Л. (с елью) бр.-гол. мохово- лишайниковый с берёзой Мидден- дорфа и Кдс (горный)	+	-	-	-	+	+	+	?
4) Лиственничники травяные (сырых местопроизрастаний с проточным увлажнением)								
Л. (с елью) бруснично-травяной хвощовый	+	+	?	?	?	+	+	+
Л. травяной	+	?	?	?	?	+	+	+
5) Лиственничники сфагновые заболоченные								
Л. сфагновый	+	+	+	+	+	+	+	+

Н.Е. Кабанов [1963] отмечает, что типы лиственничных лесов Камчатки мало или ничем не похожи на типы лесов Магаданской области и Якутии. Даже типичные виды подлеска и напочвенного покрова (жимолюсть съедобная, кедровый стланик, багульник и др.) в условиях Камчатки занимают иные экологические условия произрастания. Он выделяет следующие семь групп типов леса.

1. Лиственничники кустарничково-разнотравные (террасы и пологие склоны, дренированные, II-III бонитеты). а) Л. кустарничково-разнотравный. б) Л. можжевельниковый.
2. Л. багульниковые (ровные сухие междуречные пространства, III бонитет)
3. Л. хвощовые (пологие склоны с застоем влаги, оглеением, IV бонитет).
4. Л. голубичные (бугристые, всхолмлённые участки 350-400 м с неглубокими почвами, IV-V бонитеты).
5. Л. с кедровым стлаником (склоны гор и возвышенностей с высоты 350-400 м, V бонитет).
6. Л. лишайниковые (высокогорные участки, бедные аллювиальные и вулканические наносы, V-Va бонитеты). а) Л. редкотравный б) Л. кладониевый.
7. Л. сфагновые (заболоченные участки среди леса, встречается редко, Va-Vb бонитеты).

Берёза белая (*Betula japonica* Н. Winkl.) повсеместно встречается во втором ярусе лиственничников на Камчатке. Она конкурирует с лиственницей и способна её вытеснять за счет обильного плодоношения и способности вегетативно размножаться.

Типологическая структура лиственничных лесов Яно-Колымской горной лесной области обобщена А.П. Абаимовым [1997]. Она приведена в табл. 1.7.

Таким образом, северное положение, суровые природно-климатические условия определяют невысокое разнообразие формационной и типологической структуры лесов и редколесий Северо-Востока России. Абсолютным доминантом здесь является лиственница. Повсеместно преобладают кустарничково-лишайниковые и кустарничково-моховые лиственничные редколесья и редкостойные леса. В долинах рек распространены кустарничково-зеленомошные и травяно-зеленомошные, по заболоченным элементам рельефа – сфагновые и ерничково-сфагновые группы ассоциаций. В горных условиях хорошо выражена высотная поясность.

В структуре нижних ярусов лесной растительности высоких широт повсеместно наблюдается своеобразное сочетание элементов лесной и тундровой флоры, ярко выраженная мозаичность в структуре напочвенного покрова, обусловленная особенностями мерзлотного микрорельефа.

Таблица 1.7

Типологическая структура лиственничных лесов Яно-Колымской горной лесной области [Абаимов, 1997]

Группы типов сообществ	Геоморфологическая приуроченность, почвенные и гидрологические условия.	Характер распространения	Автор описания
Лиственничные редины и редколесья кустарничково-лишайниковые	Пологие сухие склоны южных и западных экспозиций на маломощных горных подбурах щебнистых легкосуглинистых.	Очень широко	Прахов, 1957; Поздняков, 1975; Щербаков, 1975; Бойченко и др., 1995
Лиственничные редколесья бруснично-багульниковые моховые с берёзой Миддендорфа и кедровым стланником	Пологие и покатые склоны северных экспозиций и террасовидные участки на них, шлейфы склонов и конусы выносов на таёжных и горно-таёжных оподзоленных и торфянисто-подзолистых супесчаных щебнисто- и каменисто-суглинистых сырых почвах	Достаточно широко	Поздняков, 1975; Щербаков, 1975
Л. редколесья бруснично-голубично-моховые	Пологие склоны восточных и западных экспозиций, подножья склонов в долинах горных рек, склоны понижений на водоразделах на таёжных палевых поверхностно заболоченных и оподзоленных сырых почвах разного механического состава	Часто	Карпенко, 1958; Юрцев, 1961; Поздняков, 1975; Щербаков, 1975
Л. редколесья пушицево-моховые	Выровненные водораздельные поверхности и широкие долины рек и речек на мерзлотных перегнойно-торфянисто-глеевых сырых почвах.	Фрагментарно	Прахов, 1957; Бойченко и др., 1995
Л. леса разнотравные	Низкая пойма, береговые валы	Ограниченно	Тюлина, 1937; Васильев, 1956; Науменко, 1969; Котляров, 1972
Л. леса разнотравно-брусничные и разнотравно-арктоусово-брусничные	Береговые валы, нижние части пологих склонов долин рек, ложбины стока на хорошо дренированных таёжных слабооподзоленных легкосуглинистых, супесчаных и щебнистых почвах.	Фрагментарно	Щербаков, 1975

*Окончание таблицы 1.7*

Группы типов сообществ	Геоморфологическая приуроченность, почвенные и гидрологические условия.	Характер распространения	Автор описания
Л. леса брусничные	Пологие и покатые склоны мезоповышений северных экспозиций на хорошо дренированных таёжных слабоподзоленных суглинистых и супесчаных влажных почвах.	Очень широко	Поздняков, 1975; Щербаков, 1975
Л. леса и редколесья кустарничково-зеленомошные	Поверхности надпойменных террас, нижние части коренных склонов водоразделов на хорошо дренированных супесчаных почвах с глубоким залеганием многолетней мерзлоты.	Довольно часто	Прахов, 1957; Поздняков, 1969, 1975; Науменко, 1969
Л. леса и редколесья ольховниково-кустарничковые	Пологие и покатые склоны всех экспозиций на таёжных оподзоленных почвах	Очень широко	Юрцев, 1961; Щербаков, 1975
Л. леса и редколесья багульниково-брусничные	Склоны С экспозиций на суп., сугл-суп. и л.сугл. оподзоленных влажных почвах.	Очень широко	Юрцев, 1961; Поздняков, 1975; Щербаков, 1975
Л. леса и редколесья бруснично-моховые аулякомниевые	Пологие и покатые склоны С экспозиций, долины небольших горных рек на горно-таёжных слабоподзоленных суглинистых влажных почвах	Довольно часто	Галактионова, 1962; Поздняков, 1961; Щербаков, 1975
Л. леса и редколесья бруснично-багульниково-моховые	Выровненные водораздельные поверхности на таёжных палевоых поверхностно заболоченных и глеевых суглинистых сырых почвах	Очень широко	Юрцев, 1961; Поздняков, 1975; Щербаков, 1975

### **1.3.3. Типы лиственничных лесов на северо-востоке Республики Саха**

Общепринято определять тип леса как участок, однородный с точки зрения всех ярусов растительности, фауны, комплекса лесорастительных условий, взаимоотношений между растениями и средой. Однако в лесохозяйственной практике для выделения типов леса часто используют только состав древесного яруса и живого напочвенного покрова. Даже опытные таксаторы, недостаточно знакомые с местными условиями, допускают принципиальные ошибки в диагностике типов леса. Например, полугидроморфный тип леса лиственничник брусничниково-багульниково-лишайниково-зеленомошниковый относили к автоморфному лиственничнику лишайниковому не только при дешифрировании аэрофотоснимков, но и при наземной таксации на основании того, что мхи скрыты ковром

лишайников. Тот же лиственничник брусничниково-багульниково-лишайниково-зеленомошниковый, пройденный небольшим низовым пожаром, часто относят к более гидроморфному лиственничнику багульниково-зеленомошниковому.

Упрощенная диагностика неизбежна, как и глазомерная таксация. Однако мы можем избежать существенных ошибок, если предварительно провести лесоводственные исследования и составить перечень типов леса с их всесторонней характеристикой.

Наши исследования осуществлялись в чистых лиственничных лесах северо-восточной Якутии, в нижней трети междуречья Индигирки и Яны. Цель их – изучение разнообразия типов леса и выделение их групп, отличающихся между собой по лесорастительным условиям.

На основании собственных наблюдений и предложений других авторов мы составили перечень типов леса (табл. 1.8), в которых исследовали состав живого напочвенного покрова, свойства почв и ход роста лиственницы.

Таблица 1.8

Приуроченность типов леса к элементам мезорельефа

№ п.п	Тип леса	Элемент рельефа
1	ШкЛ - шикшево-лишайниковый	Бровки террас и склонов, крутые склоны южной экспозиции
2	Бр - брусничный	Дренированные участки террас, крутые склоны теплых экспозиций
3	БрБгЛ - бруснично-багульниково-лишайниковый	Склоны теплых экспозиций
4	БрБгЛЗм - бруснично-багульниково-лишайниково-зеленомошный	Пологие склоны
5	БрБгЗм - бруснично-багульниково-зеленомошный	Пологие склоны, плато
6	БгЗм - багульниково-зеленомошный	Пологие склоны, плато
7	ГлЗм - голубично-зеленомошный	Речные террасы
8	ЕЗм - ерниково-зеленомошный	Пологие склоны, плато. Часто послепожарная стадия БрБгЗм и БгЗм типов леса
9	Сф - сфагновый	Верховые западины
10	Ос - осоковый	Низинные западины
11	ГрРт - грушанково-разнотравный	Высокая пойма, первая терраса
12	ГрМп - грушанково-мёртвопокровный	Высокая пойма, первая терраса
13	ОсЗм - осоково-зеленомошный	Речные террасы
14	Ол - ольховниковый	Ложбины стока на крутых склонах

Живой напочвенный покров учитывали на пробных площадках 2х2 м, при этом отмечали долю покрытия поверхности почвы каждым видом растений по трём ярусам. Всего было заложено 200 учётных площадок



в основных типах леса региона. В табл. 1.9 приведена усредненная фитоценотическая характеристика выделенных типов леса.

Таблица 1.9

Усредненная фитоценотическая характеристика типов леса

№ п/п	Тип леса	Состав живого напочвенного покрова по ярусам (площадь покрытия в десятках процентов)													
		1 ярус			2 ярус		3 ярус								
		Б	Ол	Ив	Бг	Гл	Бр	Шк	Зм	Л	Ос	Зл	Сф	Гр	Мп
1	ШкЛ	-	-	-	2	-	1	1	-	8	-	-	-	-	-
2	Бр	-	-	-	-	-	6	-	3	-	1	-	-	-	-
3	БрБгЛ	-	-	-	2	-	1	-	-	9	-	-	-	-	-
4	БрБгЛЗм	1	-	-	2	-	3	-	3	4	-	-	-	-	-
5	БрБгЗм	2	-	1	1	-	2	-	6	1	1	-	-	-	-
6	БрЗм	1	-	-	4	-	2	-	7	1	-	-	-	-	-
7	ГлЗм	1	-	1	1	3	1	1	6	-	1	-	1	-	-
8	Езм	5	-	1	1	-	3	-	6	-	1	-	-	-	-
9	Сф	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	8	-	-
10	Ос	1	-	2	-	-	-	-	2	-	7	-	1	-	-
11	ГрРт	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	4	-	2	1
12	ГрМп	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	3	5
13	ОсЗм	-	-	-	-	-	2	-	4	-	3	-	1	-	-
14	Ол	1	2	-	4	-	-	-	-	4	1	-	5	-	-

Примечание. Сокращения названий растений кустарникового и напочвенного покрова: Б – берёзы карликовые, Ол – душекия, Ив – ивы кустарниковые, Бг – багульник, Гл – голубика, Бр – брусника, Шк – шикша, Зм – зелёные мхи, Л – лишайники, Ос – осоки, Зл – злаки, Сф – сфагнум, Гр – грушанка, Мп – мёртвый покров.

Почвенные исследования включали в себя морфологические, физические, химические, гранулометрические исследования. Важными для роста леса были признаны следующие свойства: мощность почвенного профиля (которая обычно ограничивается многолетней мерзлотой), органо-генного горизонта, механический состав, каменистость, кислотность, степень насыщенности основаниями (некоторые из перечисленных показателей приведены в табл. 1.10).

Ход роста изучался на модельных деревьях. Всего в анализе использованы результаты обмера 80 модельных деревьев с разделкой их на двухметровые отрезки.

Некоторые типы леса сходны по составу живого напочвенного покрова, почвенным свойствам и ходу роста насаждений, другие же сильно различаются. Для того, чтобы сгруппировать сходные типы леса нами были рассчитаны уровни их сходства по алгоритму В.А. Рожкова [1989]. Данный алгоритм подразумевает вычисление расстояния между объектами (в данном случае типы леса) в пространстве их признаков. Результаты этих расчётов показаны на дендрограмме (рис.1.5).

Таблица 1.10

## Некоторые почвенные характеристики по типам леса

№ п/п	Тип леса	Мощность, см			Каменистость почвы, %
		мохово-лишайникового покрова	органогенного горизонта	почвенного профиля	
1	ШкЛ	1,2 ± 0,4	1,2 ± 0,6	72 ± 14	66 ± 25
2	Бр	1,1 ± 0,4	2,3 ± 0,9	60 ± 10	43 ± 20
3	БрБгл	2,2 ± 0,4	4,5 ± 2,2	46 ± 13	14 ± 29
4	БрБглЗм	2,4 ± 0,6	6,8 ± 2,4	41 ± 13	13 ± 7
5	БрБглЗм	2,7 ± 1,0	7,8 ± 2,8	36 ± 12	2 ± 5
6	БрЗм	4,3 ± 1,4	8,2 ± 2,3	31 ± 8	-
7	ГлЗм	3,6 ± 1,8	10,2 ± 2,1	25 ± 9	-
8	ЕЗм	3,7 ± 1,6	6,9 ± 2,8	50 ± 12	-
9	Сф	6,0 ± 1,4	26,0 ± 12,7	29 ± 4	-
10	Ос	2,8 ± 1,5	22,0 ± 18,4	34 ± 8	-
11	ГрРт	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,5	82 ± 12	34 ± 12
12	ГрМп	-	0,9 ± 0,5	80 ± 15	40 ± 14
13	ОсЗм	4,4 ± 0,5	12,5 ± 3,3	33 ± 7	-
14	Ол	2,7 ± 1,0	8,0 ± 2,8	32 ± 8	75 ± 15

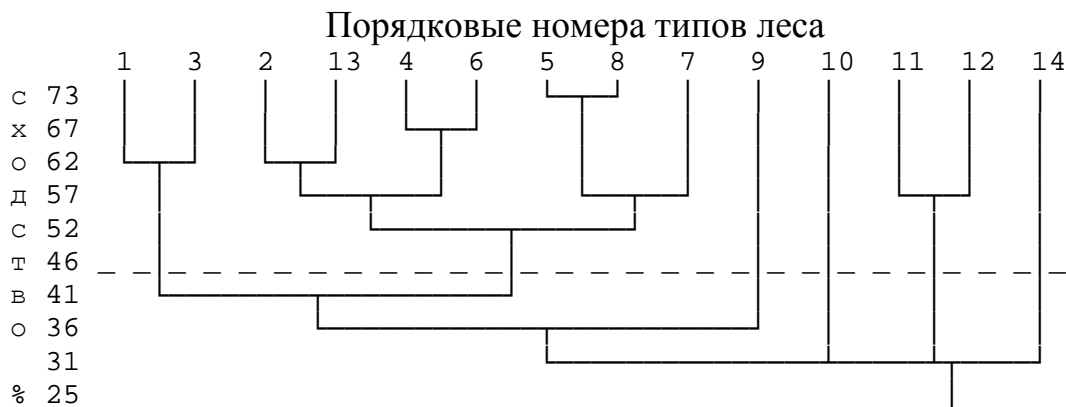
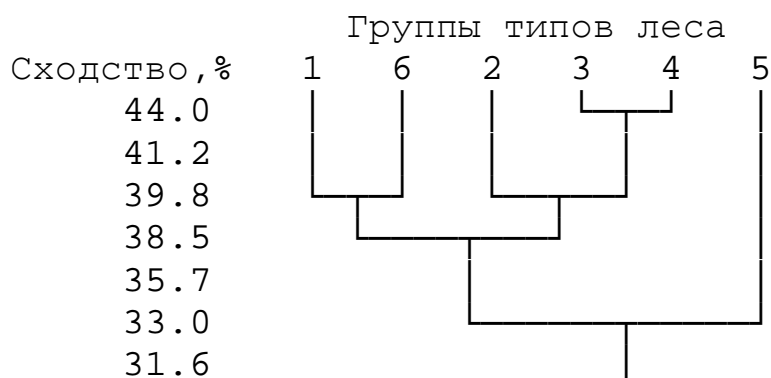


Рис.1.5. Дендрограмма сходства типов леса по составу живого напочвенного покрова, почвенным свойствам и ходу роста насаждений. Нумерация типов леса та же, что и в табл. 1.10

Полученная дендрограмма позволяет провести количественную группировку типов леса на любом уровне сходства в зависимости от поставленных целей. Мы объединили близкие типы леса в группы на 45 % уровне сходства. В первую группу вошли лишайниковые типы леса (1, 3), во вторую – зеленомошные (2, 4, 5-8, 13), в третью сфагновый (9), в четвертую осоковый (10), в пятую – грушанковые (11, 12) и в шестую – оль-

ховниковый (14). Затем были ещё раз рассчитаны уровни сходства между выделенными группами (рис.1.6).



1 – лишайниковые типы леса (ШкЛ, БрБгЛ); 2 – зеленомошные (Бр, БрБгЛМ, БрБгМ, БгМ, ГлМ, ЕМ, ОсМ); 3 – сфагновый (Сф); 4 – осоковый (Ос); 5 – грушанково-разнотравный (ГрРт, ГрМп); 6 – ольховниковый (Ол).

Рис.1.6. Дендрограмма сходства групп типов леса

Уровень сходства между полученными группами типов леса, вычисленный по составу живого напочвенного покрова, почвенным свойствам и ходу роста модельных деревьев не превышает 44 %. Это подтверждает значительное различие данных групп типов леса и обоснованность их выделения.

Выделенные нами группы типов леса (лишайниковая, зеленомошная, сфагновая, осоковая, грушанково-разнотравная, ольховниковая) могут быть надежно диагностированы с учётом приведенной выше характеристики как на снимках, так и в полевых условиях. Они являются природной основой для прогноза естественного, пирогенного, климатогенного развития лесов, разработки системы лесохозяйственных мероприятий.

#### 1.4. Почвы

Почвенный покров региона сложный, длительное время оставался неизученным. Лишь в последние полвека опубликована достоверная информация о почвах и почвенном покрове изучаемой территории [Иванова, и др., 1961; Герасимов, Розанов, 1962; Иванова, 1965; Еловская и др., 1979; Наумов, 1973, 1974; Наумов, Градусов, 1974]. Была составлена почвенная карта Северо-Востока России [Наумов, 1993]. Современное представление о почвенном покрове региона сложилось благодаря работам таких учёных как К.Д. Глинка [1927]; Е.И. Цыпленкин [1946]; И.П. Герасимов [1962]; Е.Г. Еловская и др. [1965, 1966, 1969, 1974, 1979]; С.В. Зонн, Л.О. Карпачевский и др. [1963]; В.О. Таргульян [1971]; Е.М. Наумов [1969]; О.В. Макеев [1977, 1978, 1981]; И.А. Соколов [1980]; И.В. Игнатенко и др. [1980]; А.П. Чевычелов [1997] и др.

По классификации В.Н. Димо [1972] на основе факторов теплообеспеченности холодные почвы региона подразделены на три подтипа: очень холодные, холодные и умеренно-холодные.

В условиях Нижнеленской низменности протаивание почвы в разгар вегетационного периода обычно составляет под пологом редколесий 30-40 и лишь иногда достигает 70 см, а температура в корнеобитаемом слое не превышает +5° С [Степанов, 1985, 1988].

В Центральной Якутии по наблюдениям А.И. Уткина [1958], Л.К. Позднякова [1963б, 1986], Д.Д. Саввинова [1974], В.Г. Тарабукиной, Д.Д. Саввинова [1990], В.Г. Тарабукиной [1992] под наиболее распространёнными типами лиственничных лесов почва в среднем оттаивает на 1,3-1,8 м.

Факторы почвообразования и соответствующие им почвы схематично представлены в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Факторы почвообразования и почвы Северо-Востока России

Климат		Рельеф		Растительность	Материнские породы	Почвы
субарктический						тундровые
холодный	гумидный				основные	подбуры
					кислые	подзолистые
	семиаридный	западины				торфянисто-глеевые
		плато и пологие склоны				криозёмы
		бровки и крутые склоны	"холодные" склоны			
			"тёплые" склоны	лесная	мало-щебнистые	палевые
					щебнистые	подбуры
	степная			таёжно-степные		
умеренный					карбонатные	бурозёмы
					кислые	подзолистые

Наши почвенные исследования, проведённые в 1990-1992 гг. позволили уточнить представленность тех или иных видов почв в северо-восточной Якутии, а также подчеркнуть взаимосвязь почв с рельефом и

растительностью. Обобщая материалы, полученные другими учеными, и наши результаты, можно составить следующую характеристику лесных почв Северо-Восточной Азии.

На выположенных элементах рельефа (равнины, пологие склоны, плоские водоразделы), где создаются полугидроморфные или "холодные" автоморфные условия на небольшой глубине в пределах почвенного профиля присутствует вечная мерзлота. Она в значительной мере определяет течение почвенных процессов. Активно идущее криогенное перемешивание и близкое залегание льдистого водоупора препятствуют дифференциации почвенного профиля. Перечисленные процессы приводят к образованию криозёмов.

При ухудшении дренированности и переходе к гидроморфным условиям в криозёмах сначала развиваются глеевые процессы, а затем происходит смена на торфянисто-глеевые почвы.

На склонах "теплой" экспозиции в автоморфных условиях вечная мерзлота залегает значительно глубже и становится не льдистой или мало льдистой. В связи с аридностью климата преобладают метаморфические процессы, приводящие к накоплению железа и илистых частиц в верхней части профиля. В таких условиях развиваются палевые почвы.

В тех же условиях на щебнистых породах в условиях свободного дренажа начинают проявляться элювиально-иллювиальное перераспределение Al и Fe, приводящее к образованию подбуров.

На склонах южной экспозиции встречаются безлесные участки со степной растительностью. В этих условиях преобладают процессы накопления гумуса, приводящие к образованию таёжно-степных почв.

При продвижении на восток к холодному гумидному климату получают развитие процессы Al-Fe-гумусового перераспределения веществ и оглеение. Формируются в зависимости от кислотности и механического состава почвообразующих пород подбуры или подзолистые почвы. В умеренном гумидном климате, который свойственен приморским районам, интенсифицируются процессы накопления гумуса. Преобладают подзолистые и бурозёмные почвы. Север исследуемого региона представлен тундровыми почвами, в которых доминируют криогенные и глеевые процессы. На юге Якутии, где климат теплее и суше, увеличивается доля палевых почв, появляются засоленные почвы.

Наиболее распространенным типом почв района исследований является *криозём* [Наумов, 1973; Соколов, 1980]. Формируются криозёмы преимущественно в континентальных провинциях мерзлотной области, отличающихся невысоким увлажнением (150-250 мм осадков в год, коэффициент увлажнения летом 0,2-0,5) под лиственничными лесами северной и средней тайги. Почвы полугидроморфные, развиваются преимущественно на суглинисто-глинистых и слоистых мало каменистых и не каменистых породах, обладающих затруднённым внутренним дренажем. Они приуро-

чены к равнинным территориям, а также к пологим и ровным участкам горных склонов. В этих условиях под действием мерзлотных явлений обычно развивается трещино-бугорковатый микрорельеф и в связи с этим сочетание генетической пары почвенных профилей: на бугорке и в мерзлотной трещине. Бугорки занимают около 85-90 % площади. Их почвы состоят из верхнего органогенного горизонта, подразделяющегося по степени разложенности на торфянистый, торфянисто-перегнойный и перегнойный подгоризонты, и нижней минеральной толщи, слабо или совсем недифференцированной.

Встречаются почвы, как со сплошным, так и надмерзлотным оглеением. Признаки тиксотропности присущи более нижней и особенно надмерзлотной части профиля [Тютюков, 1951]. В минеральном слое встречаются части погребенных органогенных горизонтов как результат криотурбации. Над мерзлотой имеется верховодка. Мощность деятельного слоя составляет в конце лета 60-80 см. Мерзлота льдистая в виде линз, блоков и жил. Чередуются участки базального и сегрегационного льда. Почвы характеризуются отсутствием выноса ила (приложение, табл. А1, А2) и элювиально-иллювиального перераспределения валовых и щавелевокислых растворимых форм  $\text{SiO}_2$  и  $\text{R}_2\text{O}_3$ , кислой реакцией, потечностью гумуса и пропитанностью им всего профиля с некоторой его надмерзлотной аккумуляцией. Профиль в мерзлотной трещине состоит из серии торфяных горизонтов (Т1', Т2' и т.д.) общей мощностью 20-45 см, под которыми залегает льдисто-мерзлотный мелкозёмистый слой. Ниже приводится описание типичного разреза (Разрез 19-91а, б).

Разрез 19-91а. Левобережье р. Бытантай в среднем течении. Древняя терраса. Лиственничник бруснично-багульниково-лишайниково-зеленомошный, полнота 0,3, Va класс бонитета. Трещино-бугорковатый микрорельеф. Трещины на расстоянии 1-1,5 м, перепад высот 10-20 см.

Ао	0-3	Слабо разложившаяся лесная подстилка.
Ат-п	3-10	Буровато-серый, легкосуглинистый, порошистый, свежий, рыхлый, много корней, переход ясный.
ВС1	10-28	Серый, легкосуглинистый, творожистый, свежий, уплотнённый, корни, переход ясный.
ВС2	28-50	Серый, легкосуглинистый, структура не выражена, влажный, тиксотропный, корни.
	50-	Мерзлый горизонт, насыщен кристалликами и мелкими (длина около 5 мм, ширина около 1 мм) жилами льда.

Почва: Криозём торфянисто-перегнойный легкосуглинистый.

Разрез 19-916. Там же. Мерзлотная трещина:

Аот	0-14	Оторфованная лесная подстилка.
ВС	14-18	Серый, легкосуглинистый, структура не выражена, влажный, тиксотропный, корни.
	18 -	Мерзлота с более крупными жилами, чем на бугорке.

Почва: Криозём торфянистый легкосуглинистый.

Практически все криозёмы легкосуглинистые тиксотропны весной и в начале лета, у многих из них тиксотропность надмерзлотных горизонтов сохраняется в течение всего активного сезона. Кроме типичного криозёма распространены также криозёмы оглеенные с более выраженным оглеением горизонта ВС; криозёмы торфянистые при мощности органогенного горизонта 6-15 см; и криозёмы торфянисто-перегнойные, у которых выражен горизонт Ат-п (его мощность обычно составляет 1-5 см).

Температурный режим верхних горизонтов криозёмов зависит от сомкнутости крон древостоя, степени развития подлеска, видового состава и структуры травяно-кустарничкового яруса. Наибольшее влияние оказывает мощность лишайникового, мохового покрова и подстилки, то есть того изолирующего слоя, который регулирует проникновение тепла в почву и регулирует уровень залегания многолетней мерзлоты [Софронов, Волокитина, 1996].

Наличие водопроницаемого экрана многолетней мерзлоты на выровненных поверхностях способствует накоплению влаги в надмерзлотных слоях, что приводит к переувлажнению почвы, развитию мерзлотного пучения грунта, формированию своеобразного микро- и нанорельефа, мозаичности почв, а как следствие, высокой пестроты лесорастительных условий на ограниченном пространстве. Нередки случаи, когда два растущих поблизости дерева, отличаются по нормативам роста на 2-3 класса бонитета, при отсутствии выраженной конкуренции за свет.

Другим распространенным типом почв являются *палевые* или криоаридные насыщенные [Наумов, 1969; Наумов, Градусов, 1974; Соколов, Быстряков, 1980, 1982]. Тип профиля описан и формируется преимущественно в ультра континентальных полусухих районах.

Развиваются палевые почвы на горных склонах и шлейфах (главным образом по теплым экспозициям) в пределах абсолютных высот 500-800 ... 1300-1400 м под мохово-лишайниково-брусничной ксерофитной тайгой, сочетающейся на южных склонах с остепнёнными ксерофитными ландшафтами. Материнскими породами служат суглинистые элюво-делювии

или пролювии плотных пород (чаще всего глинистых сланцев). Профиль А<sub>0</sub>-А<sub>1</sub>-В<sub>1м</sub>-В<sub>2</sub>-С.

В профиле под лесной подстилкой мощностью 2-3 см залегает гумусовый или гумусово-перегнойный серовато-палевый горизонт А<sub>1</sub>. Вся нижележащая толща почти не дифференцирована, уплотнена. Книзу профиль светлеет до палевого или светло-палевого. Мерзлота нельдистая или слабодистая с редкими мелкими кристаллами; верховодка и признаки оглеения отсутствуют. Реакция профиля кислая, книзу – слабокислая (приложение, табл. А<sub>2</sub>); поглощающий комплекс полностью насыщен основаниями. Содержание гумуса высокое, он пропитывает профиль. Отмечено накопление ила в верхних горизонтах. Данные валового анализа (приложение, табл. А<sub>1</sub>) и вытяжки Тамма указывают на отсутствие элювиально-иллювиального перераспределения веществ. Отмечена аккумуляция подвижных R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, особенно железа в верхнем горизонте, связанная с аридностью климата.

Ниже приводится описание типичного профиля (разрез 10-91).

Разрез 10-91. 1.08.91. 25 км к юго-западу от п. Верхоянск. Вершина пологого холма. Лиственничник бруснично-лишайниковый, полнота 0,4, V класс бонитета.

А <sub>0</sub>	0-1	Опад лиственницы, лишайников, шикши.
А <sub>1</sub> (ТВ)	1-2	Темно-серый грубогумусный, структура непрочная комковатая, опесчаненый средний суглинок, рыхлый, свежий, много корней, мелкий щебень сланцев 10 %, переход ясный.
В <sub>1м</sub>	2-11	Красновато-бурый, непрочно-комковатый, опесчаненый средний суглинок, рыхлый, свежий, много корней, щебень 10 %, темно-бурые корочки на щебне, переход ясный.
В <sub>2м</sub>	11-34	Красновато-желтовато-бурый, структура выражена хуже, мелкозём среднесуглинистый, свежий, корни, щебнистость горизонта 80-90 %, корочки, переход постепенный.
В <sub>С</sub>	34-80	Желтовато-серый, щебнистость превышает 90 %, мелкозём (легкий суглинок) и мелкий щебень покрывают тонким слоем крупный и средний щебень, влажный, отдельные корни.
	80 -	Льдистая мерзлота.

Почва: Палевая среднесуглинистая щебнистая на сланцах.

Экологическую нишу на переходе от криозёмов к палевым почвам занимают палево-криозёмы. Это средние по теплообеспеченности и дренированности условия местообитания (склоны холмов, супесчаные или каме-



нистые почвы). Профиль этих почв содержит горизонт В (АВ), близкий к аналогичному горизонту палевых почв и горизонт ВС криозёмов. Ниже приводится типичный (за исключением горизонта Gh и жилы льда) профиль (разрез 1-91).

Разрез 1-91. 25 км к юго-западу от п. Верхоянск, берег оз. Дабдары. Южный склон (уклон 5°) пологого холма. Лиственничник бруснично-багульниково-зеленомошный, полнота 0,4, бонитет V.

Ао	0-2	Лесная подстилка.
АВ	2-7(10)	Коричневато-палевый, супесчаный, комковато порошистый, много корней, рыхлый, свежий, переход постепенный.
Вм	7(10)-38	Буровато-серый, супесчаный, ореховато-порошистый много корней, уплотнен, свежий, переход постепенный.
ВС	38-118	Серый с темно-серыми стальными и буроватыми пятнами, супесчаный, структура не выражена, уплотнен, свежий, в нижней части влажный, корни, переход ясный.
Gh	118-124	Серовато-стальной, супесчаный, бесструктурный, рыхлый, мокрый.
	124-	крупная (размеры измеряются метрами) жила льда.

Почва: Палево-криозём надмерзлотно-глееватый супесчаный.

Широко представлены комплексы криозёмов и палево-криозёмов. Так на эталоне IV полигона Джанкы (среднее течение р. Яны, п. Усть-Куйга) при развитом трещино-бугорковатом мезорельефе на бугорках был описан палево-криозём (Ао-АВ-ВС), а в трещинах криозём (Ао-ВС).

*На крутых северных склонах* создается настолько неблагоприятный тепловой режим, что образуются "висячие" болота. Почва – торфянистая на сланцах. Мощностью торфа 15-25 см, непосредственно под ним залегает рыхляк горной породы с небольшой примесью мелкозёма. Глубина залегания льдистой мерзлоты 15-30 см. Почвы сильнокислые, ненасыщенные основаниями (приложение, табл. А2, разрез 31-90). Grishkan et al. [1992] показали, что непосредственно подавляет жизнедеятельность бактерий высокая кислотность, а не низкие температуры. С другой стороны именно низкая теплообеспеченность северных склонов создаёт условия для повышенной кислотности почв.

Древостой таких местообитаний представлены редкостойной лиственницей с полнотой менее 0,1, достигающей в возрасте 100 лет высоты 1,5-2,0 м. В подлеске встречаются ослабленные кедровый стланик, душе-

кия и берёза тощая. В кустарничковом ярусе голубика и багульник. Лишайниково-моховой покров сплошной, преобладают зелёные мхи (*Hylocomium proliferum*, *Pleurozium Schreber* и др.), в понижениях микро-рельефа встречаются сфагнумы. Лишайники обильно представлены родом Кладония, а также Цетрария.

Долины малых и средних горных рек занимают существенные площади и имеют большое хозяйственное значение. Ниже приводится описание типичного профиля долины реки.

На первой надпойменной террасе почвенный профиль состоит из лесной подстилки мощностью 2-3 см, горизонта А1 мощностью 4-5 см, имеющего слабовыраженную порошистую структуру, под которым расположены слоистые песчаные отложения. На глубине 80-120 см залегает водопроницаемая мерзлота (уровень мерзлоты здесь и далее измерялся в начале августа). Почвы кислые, ненасыщенные основаниями, содержание подвижных форм фосфора высокое, калия и легко гидролизуемого азота низкое. Результаты химического анализа почв представлены в приложении, табл. А2, разрез № 9-90.

Такие местоположения обычно занимают чистые лиственничные насаждения IV класса бонитета, максимальной полноты (0,8-0,9) и запаса для этого региона. Характерный тип леса – листвяг бруснично-ритидиевый. В подлеске единично встречается кедровый стланик, смородина. Живой почвенный покров пятнистый, представлен брусникой, грушанкой, лишайниками рода кладония, изо мхов наиболее распространён ритидиум.

Высокие террасы представляют собой слабоволнистую равнину, поднятую над поймой. Здесь выделяются три отличающихся участка.

На участке террасы, прилегающем к бровке (ее ширина обычно колеблется в пределах от 10 до 50 м) формируются палевые почвы суглинистые по механическому составу, подстилаемые песчаным галечником. Типичный профиль А0т-А0А1-Вм-Вс-С. Мощность органогенного горизонта не превышает 5 см. Вечная мерзлота обнаруживается на глубине 1-1,5 м. Почвы хорошо дренированы. Реакция почвы сильноокислая, почвы ненасыщены основаниями (табл. А2 приложения, разрез 8-90).

Для этого типа местообитания характерными являются лиственничники бруснично-лишайниковые V класса бонитета с полнотой 0,2-0,4. В подлеске берёза Миддендорфа, ближе к бровке – кедровый стланик. В травяно-кустарничковом ярусе преобладает шикша и брусника, общее покрытие около 70 %. Лишайниковый покров хорошо развит, для него характерны цетрария и кладонии.

Средняя часть террасы дренирована в значительно меньшей степени. В этих условиях наблюдается развитие мерзлотного трещинно-бугорковатого микро-рельефа и в связи с этим генетической пары профилей: на бугорке (криозём) и в мерзлотной трещине (криозём торфянистый).

Бугорки занимают около 85-90 % площади. Их почвы состоят из органо-генного горизонта, подразделяющегося по степени разложенности на торфянистый, торфянисто-перегнойный и перегнойный подгоризонты, и нижней минеральной толщи, слабо или совсем недифференцированной. В минеральном слое встречаются части погребенных органогенных горизонтов как результат криотурбации. Мощность деятельного слоя составляет в конце лета 40-80 см. Мерзлота льдистая в виде линз, блоков и жил. Почвы характеризуются отсутствием выноса ила и элювиально-иллювиального перераспределения  $\text{SiO}_2$  и  $\text{R}_2\text{O}_3$ , кислой реакцией, потечностью гумуса и пропитанностью им всего профиля с некоторой его надмерзлотной аккумуляцией (приложение, табл. А1, А2, А3). Профиль в мерзлотной трещине состоит из серии торфяных горизонтов (Т1', Т2' и т.д.) общей мощностью до 20-45 см, под которыми залегает льдисто-мерзлотный мелкозёмистый слой.

Разрез 8-90. Правый берег р. Арга-Юрех при её впадении в р. Эриkit, бровка террасы. Лиственничник брусничный IV бонитета, полнота 0,4. В подлеске кедровый стланик, ивы, шиповник. Напочвенный покров состоит из брусники, вейника, осок, кладониевых лишайников.

Ао	0- 2	Слаборазложившийся опад лиственницы, сухой.
А0А1	2- 4	Серый, легкосуглинистый, порошистый, свежий, рыхлый, много корней, много угольков, переход ясный.
Вм	4-14	Светло-бурый, среднесуглинистый, непрочно комковатый, свежий, рыхлый, много корней, средний по размеру окатанный щебень (до 10 %) с буроватыми кутанами на всех гранях, угольки, переход ясный.
ВС	14-40	Светло-серый, среднесуглинистый, уплотнённый, много корней, щебень, переход постепенный
С	40-	Светло-серый, крупный и средний щебень до 90 % по объёму.

Почва: палевая легкосуглинистая на песчаном галечнике.

На *пониженной части террасы* в гидроморфных условиях развиваются болотно-мерзлотные почвы. Состоят из верхней органогенно-торфянистой и нижней мелкозёмистой толщи. Мерзлота встречается летом на глубине 20-50 см (разрез 12-90).

Разрез 12-90. Правый берег р.Эрикит в 2-х км выше устья, межтеррасное понижение. Лиственничник осоково-моховой Vb бонитета, полнота 0,2. Подлесок редкий, состоит из берёзы тощей. Травяно-кустарничковый ярус средне развит, представлен багульником, голубикой, осоками, пушицей, клюквой, морошкой. Моховой покров сплошной, преобладают сфагнумы с примесью зелёных мхов.

T	0-12	Полуразложившиеся остатки зелёных и сфагновых мхов, переход постепенный.
TB	12-14	Бурый с темными пятнами, фрагменты горизонта T, легкосуглинистый, корни растений, угольки, переход постепенный.
BCG	14-21	Серовато-сизый с отдельными буроватыми пятнами, легкосуглинистый, структура не выражена, корней практически нет.
	21 -	Мерзлота с крупными жилами льда. Содержание воды в мерзлом горизонте около 30 % (приложение, табл. А4).

Почва: торфянисто-глеевая среднесуглинистая на древнеаллювиальных отложениях.

### 1.5. Сведения о лесном фонде региона

Общие сведения о лесах Северо-Востока России содержится в работах многих исследователей [Дробов, 1927; Аболин, 1929; Недригайлов, 1932; Комаров, 1953; Чугунов, 1955; Сочава, 1956; Тюлина, 1957; Крылов, 1961; Поздняков, 1961 а, б, 1969, 1975, 1983, 1986; Черемыхин, 1961; Лукачёва, 1963, 1972; Щербаков, 1964, 1965 а, б, 1971, 1975, 1992; Уткин, 1965, 1976; Караваев, Скрыбин, 1971; Иванова, 1973; Щербаков и др., 1979; Бойченко, Исаев, 1992; Леса среднетаёжной ..., 1994; Бойченко и др., 1995 и мн. др.]. Между тем, нельзя не отметить крайне неравномерную изученность лесного покрова этого огромного региона. Вместе с тем, наличие многочисленных публикаций позволяет остановиться только на наиболее важных показателях лесного фонда региона.

Лесистость Северо-Востока России составляет 38,4 % (таб. 1.12), что значительно ниже, чем в среднем по Российской Федерации [Лесной фонд..., 2003].

Согласно данным ГУЛФ, в бассейне р. Анадырь на территории Чукотского автономного округа находятся самые северо-восточные лесные насаждения на территории Российской Федерации. Практически единственной древесной породой здесь является лиственница, а лесистость территории составляет 6,9 %.

Таблица 1.12

Общая сведения о лесах Северо-Востока России<sup>1</sup>

Показатели	Сведения о лесах в разрезе административных единиц				
	Республика Саха	Магаданская область	Корякский АО	Чукотский АО	Итого
Общая площадь лесного фонда, млн га	255,631	45,607	28,921	27,738	357,897
Лесные земли всего, млн га	193,356	28,010	11,237	9,816	242,419
в т.ч. покрытая лесом, млн га	143,818	16,800	9,842	4,982	175,442
Лесистость, %	46,6	36,3	33,6	6,9	38,4
Площадь редин, млн га	37,060	8,440	0,861	2,877	49,238
Запас, млн м <sup>3</sup>	8917,20	434,27	553,58	85,77	9990,82
Расчётная лесосека, млн м <sup>3</sup> (2002 г)	30,6	0,04	0	0	30,64
Использование расчётной лесосеки, % (2002 г)	3,9	15,0	0	0	3,9
Лесозаготовки, тыс. м <sup>3</sup> (2003 г)	345,4	1,7	0	0	347,1

<sup>1</sup> В этой и последующих таблицах данные по лесам на землях лесного фонда приводятся по результатам Государственного учёта лесного фонда (2003); по лесопользованию - на основе данных Федеральной лесной службы

Распределение земель лесного фонда по группам лесов (табл. 1.13) показывает, что лишь 12,8 % из них отнесено к I группе и практически отсутствует II группа.

Таблица 1.13

## Распределение территории лесного фонда по группам лесов

Группа лесов	Распределение земель лесного фонда в разрезе административных единиц, млн га				
	Республика Саха	Магаданская область	Корякский АО	Чукотский АО	Итого
I	31,901	3,287	9,252	1,209	45,649
II	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003
III	223,730	42,320	19,666	26,530	312,246

В литературе неоднократно высказывалось мнение о необходимости смещения границы притундровых лесов на юг и резкого увеличения в структуре лесного фонда доли насаждений, выполняющих прежде всего, средообразующие и средостабилизирующие функции [Предтундровые леса, 1987; Абаимов и др., 1991; Коротков, 1991; Чибисов и др., 1992; Семёнов, 1990, 1993; Абаимов, Бондарев, 1994, 1995; Цветков и др., 1995].

В структуре распределения покрытых лесом земель по основным лесообразующим породам (табл. 1.14) абсолютное господство принадлежит лиственнице (88,9 %). На западе региона леса и редколесья формирует лиственница Гмелина, а на северо-востоке безраздельно господствует лиственница Каяндера. Другие хвойные и лиственные породы представлены лишь в южной части и на восточном побережье.

Таблица 1.14

Распределение покрытых лесной растительностью земель (тыс. га) и общего запаса (млн м<sup>3</sup>) древесины по основным лесообразующим породам

Основные лесообразующие породы	Покрытые лесом земли, тыс. га / запас древесины, млн м <sup>3</sup>				
	Республика Саха	Магаданская область	Корякский АО	Чукотский АО	Итого
Сосна	9921,3	0,2	–	–	9921,5
	1043,78	0,00	–	–	1043,78
Ель	367,4	–	–	–	367,4
	46,46	–	–	–	46,46
Лиственница	109407,7	6810,3	417,5	1652,5	118288,0
	7396,47	283,18	18,47	44,98	7743,10
Кедр	407,5	–	–	–	407,5
	76,69	–	–	–	76,69
Пихта	21,0	–	–	–	21,0
	3,84	–	–	–	3,84
Берёза каменная	–	7,7	1860,6	–	1868,3
	–	0,43	167,49	–	167,92
Берёза	1878,7	10,5	187,3	0,3	2076,8
	67,78	0,46	13,55	0,02	81,81
Осина	98,0	0,1	–	–	98,1
	12,16	0,00	–	–	12,16
Ольха	1,6	0,7	7,8	–	10,1
	0,03	0,02	0,33	–	0,38

По запасу древесины также доминирует лиственница (84,4 %), а на втором месте находится сосна (11,4 %) (табл. 1.14). Суровые природно-климатические условия в сочетании с многолетней мерзлотой определяют низкую продуктивность древостоев. Запас древесины в лиственничниках составляет в среднем 65 м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>. Другие хвойные, которые расположены преимущественно южнее, по продуктивности в полтора-два раза превосходят лиственницу. Однако в сходных лесорастительных условиях и лиственница Гмелина на юго-западе и лиственница Каяндера на юго-востоке, не уступают по продуктивности другим хвойным породам.

Анализируя распределение покрытых лесом земель в лесах с преобладанием лиственницы по группам возраста, можно обратить внимание, что спелые и перестойные древостои преобладают в общей структуре

(46 %). Доля молодняков здесь составляет 21 %, что существенно превышает аналогичный показатель севера Западной и Средней Сибири (табл. 1.15). Это можно объяснить более высоким уровнем освоенности территории и более сильным пирогенным воздействием на леса региона.

В благоприятных лесорастительных условиях лиственница формирует высокопродуктивные насаждения I-III классов бонитета [Тихомиров и др., 1961; Поздняков, 1975; Щербаков, 1966, 1975]. Однако преобладают низкополнотные и низкобонитетные леса и редколесья, которые формируют основной фон региона.

Средний бонитет лиственничных древостоев региона составляет V,3. Наихудшие условия для роста лиственничников складываются в Чукотском АО и Магаданской области, где средний бонитет ниже Va. Средняя полнота лиственничников составляет 0,51, при этом в автономных округах и Магаданской области она не намного превышает 0,4.

Следует отметить, что данные табл. 1.12-1.15 ограничены территорией Государственного лесного фонда. Официальных сведений о лесной растительности за северной границей Государственного лесного фонда нет. Такие территории имеются в Якутии и Чукотском автономном округе. С тем, чтобы получить хотя бы приближенные данные о площадях лесов и редколесий вне территории ГЛФ, мы использовали продукт VCF (Vegetation Continuous Fields) MODIS спутника TERRA с разрешением 500 м [Hansen et al., 2003]. Использованные данные представляют собой попиксельную оценку доли территории, занятую деревьями. Не останавливаясь здесь на деталях, отметим, что площадь лесов (с полнотой 0,3 и более) составила 0,4 млн га в Якутии и 0,3 млн га в Чукотском автономном округе. Площадь редин оценена, соответственно, в 3,0 и 3,5 млн га. О точности определения этих площадей сказать что-либо сложно, поскольку проверка надежности VCF для такого специфического объекта, которым являются лиственничники крайнего Севера, не проводилась. Видимо эта оценка существенно занижена, поскольку «лес» на использованных изображениях учитывается при высоте деревьев 5 м и более и не учитывает кустарники, которые в тундровых местообитаниях действующими инструкциями учитываются как земли, покрытые лесной растительностью.

Для северных редколесий характерна низкая продуктивность и расщепленность запасов древесины по площади, абсолютное доминирование лиственницы, как породы наиболее приспособленной к многолетней мерзлоте [Поздняков, 1975] и континентальности климата. Возрастная структура отличается разновозрастностью и доминированием спелых и перестойных древостоев. Лесные насаждения высоких широт обеспечивают сохранение хрупкого равновесия природных процессов и препятствуют деградации ландшафтов [Абаимов, 1997].

Таблица 1.15

Распределение площади лиственных насаждений  
по полнотам и классам бонитета

Возрастные группы лиственных насаждений в пределах административных единиц	Полноты	Площади насаждений по классам бонитета, тыс. га				Итого
		III	IV	V	Va – Vb	
Корякский АО, в т.ч.		–	0,4	–	417,2	417,6
молодняки	0,4	–	0,4	–	–	0,4
средневозрастные	0,4	–	–	–	14,6	14,6
приспевающие	0,4	–	–	–	143,0	143,0
спелые и перестойные	0,4	–	–	–	259,6	259,6
Чукотский АО, в т.ч.		–	–	–	1652,4	1652,4
молодняки	0,5	–	–	–	387,4	387,4
средневозрастные	0,4	–	–	–	535,9	535,9
приспевающие	0,4	–	–	–	52,5	52,5
спелые и перестойные	0,4	–	–	–	676,6	676,6
Магаданская обл., в т.ч.		–	–	348,8	6461,4	6810,2
молодняки	0,4	–	–	–	355,4	355,4
	0,5	–	–	23,8	745,5	769,3
	0,6	–	–	37,7	–	37,7
средневозрастные	0,4	–	–	–	1557,5	1557,5
	0,5	–	–	71,9	197,8	269,6
приспевающие	0,4	–	–	–	376,9	376,9
	0,5	–	–	62,7	27,9	90,6
спелые и перестойные	0,4	–	–	–	3200,4	3200,4
	0,5	–	–	152,7	–	152,7
Республика Саха, в т.ч.		425,6	9222,6	63043,6	36716,2	109407,9
молодняки	0,4	–	–	1446,3	1450,6	2896,9
	0,5	–	–	2469,1	8531,6	11000,8
	0,6	–	629,9	5524,4	–	6154,3
	0,7	–	566,5	2336,0	–	2902,5
средневозрастные	0,4	–	1520,2	–	5256,2	6776,4
	0,5	–	–	2835,6	7164,4	10000,0
	0,6	–	1623,5	8476,0	–	10099,5
	0,7	–	–	1838,4	–	1838,4
приспевающие	0,4	425,6	–	–	1651,9	2077,4
	0,5	–	458,1	1978,7	564,8	3001,6
	0,6	–	340,8	2069,1	–	2409,9
	0,7	–	–	102,5	–	102,5
спелые и перестойные	0,4	–	1436,7	–	7748,1	9184,8
	0,5	–	–	27479,7	4348,6	31828,4
	0,6	–	2647,0	5921,1	–	8568,1
	0,7	–	–	566,5	–	566,5
Итого		425,6	9222,9	63392,4	45247,2	118288,0



Северные редколесья являются естественно-исторической средой проживания аборигенных народов Крайнего Севера, основой сохранения их национальной культуры и традиционных промыслов (оленоводство, охота, рыболовство). Неопределима также и биосферная роль лесных экосистем Крайнего севера, как депонов углерода [Углерод ..., 1994; Исаев, Коровин, Сухих и др., 1995; Schulze et al., 1995; Schepaschenko et al., 1997; Shvidenko et al., 2002].

### **1.6. Закономерности формирования и сукцессионной динамики древостоев**

Лесные экосистемы со своими характеристиками имеют определённые границы в пространстве и во времени. В пространстве обычно выделяют таксационные выделы или ландшафтные единицы различного уровня. Во времени – сукцессионные ряды. Сукцессионные ряды характеризуются упорядоченностью во времени и могут быть разделены на определённые временные отрезки, возможность реализации которых в динамике лесного покрова характеризуется определёнными вероятностями.

Сукцессия представляет собой временную координату существования лесных сообществ. Она включает в себя как возрастные изменения в течение жизни экосистемы, так и последовательность смен растительных сообществ [Фарбер, 2000].

Лесообразовательный процесс имеет свои особенности на мерзлотно-почвах. Причина этого как в ограниченной мощности деятельного слоя почвы и его холодном термическом режиме, так и в специфике биоэкологических свойств пород в условиях экстремального климата.

Циклы развития лесной растительности и изменения, происходящие в почве в ходе этих циклов на Аляске рассмотрены в ряде работ американских авторов [West et al., 1981; и др.]. Так L.A. Viereek [1970], Van Cleve K. et al. [1990] описывают типичную лесную сукцессию в пойме реки. Она имеет следующие стадии. Отложенный рекой аллювий постепенно заселяется кустарниками (ивы, ольха, тополь), по мере выхода из зоны периодического затопления тополь начинает преобладать и образует насаждение, под пологом которого появляется подрост ели белой. Тополь выпадает с возрастом и образуется еловое насаждение. При этом повышается влажность почв, поселяются мхи, разложение органики замедляется, увеличивается мощность органогенного горизонта и появляется мерзлота. Белая ель сменяется на черную, насаждение изреживается, производительность падает.

Явление «падения» класса бонитета насаждений с возрастом отмечается и для Северо-Востока России. Если молодняки лиственницы повсеместно характеризуются высокими показателями роста (на уровне I-III клас-

сов бонитета), то к возрасту спелости абсолютное преобладание имеют насаждения Va-Vb классов. Р.И. Аболин [1929] объяснил это явление поднятием уровня вечной мерзлоты по мере образования мощного мохового покрова и смыкания крон деревьев.

Другую типичную восстановительную послепожарную сукцессию на возвышенных местообитаниях Аляски описывает Van Cleve К. и др. [1990]. В результате пожара происходит частичное или полное прогорание лесной подстилки, почвы прогреваются, обогащаются подвижными формами элементов питания. Гарь вначале зарастает травянистой растительностью и кустарниками, затем лиственные породы вытесняют кустарники, а под их пологом образуется подрост ели. Ель с возрастом сменяет лиственные породы. Это сопровождается заселением мхов, ухудшением разложения органики, увеличением мощности подстилки, ухудшением температурного режима почв.

Г.Г. Мажитова [2000] описывает послепожарные сукцессии лиственничников на Колымском нагорье. Так на южных склонах сильные пожары инициируют долговременную сукцессию, проходящую стадии безлесья и лиственных (берёза, как правило с примесью осины) древостоев. Частота сильных пожаров составляет 250-300 лет. Часть южных склонов (в основном западины с не полностью выгоревшим органогенным горизонтом) восстанавливается лиственницей сразу. Часть гарей задерживается на стадии ксероморфного злаковика на неопределённо длительный период.

На северных склонах пожары, уничтожающие всю растительность практически не наблюдаются. Экосистемы вследствие этого устойчивы и значительных изменений в почвенных условиях и растительности не наблюдается.

В районах с неглубоким залеганием мерзлоты она является буфером, препятствующим коренной перестройке экосистем после пожаров. Кроме того, по сравнению с более южными районами и Аляской при пожарах сгорает значительно меньшее количество биомассы. Это также способствует устойчивости экосистем.

На северном пределе распространения растительности процессы сукцессионной динамики лиственничников сложны и многообразны. А.П. Тыртиков [1995] представил интересные описания сукцессионной динамики для наиболее северных редколесий и редкостойных лесов в пойме реки Яны в условиях резко континентального климата, незначительного количества осадков и низкотемпературной вечной мерзлоты (с температурой от -11 до -13°C). Хотя принадлежность местообитаний к различным элементам мезорельефа вносит существенные особенности в сукцессионную динамику растительности, вековой ход сукцессий существенно варьирует. Естественное развитие сукцессий включает следующие фазы: щучково-хвощевые луга (активный слой почвы 110-130 см) → ольхово-ивовые кустарники (80-110 см) → лиственничные редкостойные леса с подлеском

из ольхи и ив, травяные (70-100 см) → лиственничные редкостойные леса с подлеском из ольхи зеленомошные (30-60 см) → лиственничные редколесья сфагновые (20-40 см) → ерниковые тундры (20-40 см).

В центральной Якутии, несмотря на преобладание лиственницы, в борových экотопах сосна её вытесняет. В пойменных условиях наблюдаются ельники, которые сменяются лиственничниками вследствие «поднятия» мерзлоты. Берёза может сменить лиственницу только после сплошных рубок и отчасти пожаров, но на очень короткое время. Частые пожары уничтожают чувствительную к огневым повреждениям берёзу и усиливают позиции лиственницы. На засоленных почвах аласов берёза, надвигаясь на луга и лугостепи, благоприятствует расселению лиственницы и захвату ею новых территорий.

Концентрированные рубки в условиях центральной Якутии по мнению А.И. Уткина [1965] могут привести к увеличению протаивания мерзлоты и резко усилить обсыхание участков положительных элементов рельефа. При неглубоком залегании мерзлоты активизируются процессы термокарста и временное заболачивание вырубков.

В долинах крупных рек Южной Якутии смены пород могут идти по мнению И.П. Щербакова [1975, стр. 225] двумя путями. Первый путь: ивняки мёртвопокровные → ивняки травяные → листвяг травяной → листвяг (с елью) бруснично-травяной хвощовый → листвяг (с елью) бруснично-моховой → листвяги брусничные (ольховниковый, рододендровый, брусничный). Второй путь: ивняки → ельники → листвяги.

Классификационная схема сукцессий лесов Азиатской части России (таб. 1.16) разработана группой ученых (Д.Ф. Ефремов, В.А. Рожков, В.А. Соколов, В.Н. Седых, С.К. Фарбер, П.А. Хоментовский, А.З. Швиденко, А.С. Шейнгауз) в рамках исследований Международного института прикладного системного анализа. Основные предпосылки принятой классификации сводились к следующему.

- Пространственной основой классификации являются экорегион как базовая единица экологического районирования лесного фонда и субэкорегион (см. раздел 1.3), понимаемый как обобщенный тип ландшафта. Типология сукцессий строится по лесным ассоциациям (преобладающим породам коренных типов леса) с делением на три типа гидрологического режима (автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные местообитания).
- По временной координате выделяется две базовые единицы – фаза и стадия. Фаза представляет собой морфологически обособленный временной период лесообразовательного процесса, стадия отражает возрастные изменения в пределах фазы.

Таблица 1.16

Классификатор типов сукцессий  
[Рожков, Щепашенко, Швиденко и др., 1997]

Типы сукцессий	Возможные направления развития древостоев	Фазы (стадии) развития
1.0. Климатоморфогенные (сингенетические смены формирований)		
1.1. Аллювиальные 1.2. Денудационные 1.3. Вулканогенные 1.4. Криогенные 1.5. Гидрогенные	1	1. Пионерная → 2. Восстановительная → 3. Чаща (молодняки) → 4. Жердняк (средневозрастные) → 5. Зрелость (приспевающие, спелые) → 6. Распад (перестойные).
	2	1. Пионерная → 2. Восстановительная → 3. Чаща (молодняки) → 4. Жердняк (средневозрастные) → 5. Зрелость (приспевающие, спелые) → 6. Климакс
	3	1. Пионерная → 2. Восстановительная → 3. Редина (молодняки) → 4. Низкополнотная (средневозрастные) → 5. Среднеполнотная (приспевающие) → 6. Высокополнотная (спелые) → 7. Климакс (перестойные)
2.0. Биогенные		
2.1. Зоогенные 2.2. Патогенные	1	1. Распад → 2. Восстановительная → 3. Смыкания → 4. Второго яруса → 5. Выхода в главный полог → 6. Климакс
3.0. Ценогенные (возрастные смены)		
3.1. Циклично-возрастные без смены пород 3.2. Циклично-возрастные с временной сменой пород 3.3. Возрастные точечно-дисперсионные	1	1. Очагового распада (очаговая динамика) → 2. Появление подроста коренной породы → 3. Смыкания → 4. Второго яруса → 5. Выхода в главный полог → 6. Климакс
	2	1. Очагового распада (очаговая динамика) → 2. Появление подроста вторичной породы → 3. Смыкания вторичной породы → 4. Второго яруса вторичной породы → 5. Формирование яруса коренной породы → 6. Распад древостоя вторичной породы и выход в главный полог коренной породы → 7. Климакс коренной породы
4.0. Пирогенные (послепожарные)		
4.1. Восстановительные без смены пород 4.2. Восстановительные со сменой пород 4.3. Дигрессионные	1	1. Пионерная → 2. Восстановительная без смены пород → 3. Чаща → 4. Жердняк → 5. Зрелость → 6. Распад
	2	1. Пионерная → 2. Восстановительная без смены пород → 3. Чаща → 4. Жердняк → 5. Зрелость → 6. Климакс

Типы сукцессий	Возможные направления развития древостоев	Фазы (стадии) развития
4.0. Пирогенные (послепожарные)		
	3	1.Пионерная → 2.Восстановительная со сменной пород → 3.Чаща, поселение коренной породы → 4.Жердняк, образование яруса коренной породы → 5.Спелость и распад вторичной породы, выход в главный полог коренной породы → 6.Климакс
	4	1.Пионерная без возобновления → 2.Заболачивание
	5	1.Пионерная без возобновления → 2.Эрозионно-деструктивная
	6	1.Пионерная без возобновления → 2.Одернение
	7	1.Пионерная без возобновления → 2.Закустаривание
5.0. Антропогенные		
5.1.Послерубочные (лесоэксплуатационные)	1	1.Распад (полное уничтожение) древостоя → 2.Восстановительная без смены пород → 3.Смыкания → 4.Чаща → 5.Жердняк → 6.Зрелость → 7.Климакс
	2	1.Распад (полное уничтожение) древостоя → 2.Восстановительная со сменой пород → 3.Чаща, подселение коренной породы → 4.Жердняк, образование яруса коренной породы → 5.Спелость и распад вторичной породы → 6.Климакс
	3	1.Нарушение (неполное уничтожение) древостоя → 2.Восстановительная без смены пород → 3.Образование сомкнутого яруса → 4.Образование второго яруса (возрастного) → 5.Распад старого и выход в главный полог нового поколения древостоя → 6.Климакс
	4	1.Распад (полное уничтожение) древостоя → 2.Заболачивание
	5	1.Распад (полное уничтожение) древостоя → 2.Деструкция почвенного покрова
	6	1.Распад (полное уничтожение) древостоя → 2.Одернение
	7	1.Распад (полное уничтожение) древостоя → 2.Закустаривание
	8	1.Частичное уничтожение древостоя → 2.Распад → 3.Пустошь
	9	1.Частичное уничтожение древостоя → 2.Редина

В соответствии с этой схемой были описаны сукцессионная динамика для лесов Сибири, произведена привязка различных типов сукцессий к карте экорегионов. Так С.К. Фарбер [2000] следуя приведённой в табл. 1.16 схеме описывает сукцессионную динамику в Красноярском крае, Иркутской и Читинской области, республиках Бурятия и Тыва.

### ***Сукцессии насаждений лесотундры***

В лесотундре имеют место, как правило, ценогенные и пирогенные сукцессии. Лиственничники в абсолютном большинстве чистые, разновозрастные, низкой производительности с ослабленным возобновительным потенциалом [Абаимов, 1997].

Ценогенная. В разновозрастных насаждениях смена поколений без воздействия пожаров протекает непрерывно. Наблюдается два варианта распада древостоя.

- Очагами, при этом фаза распада древостоя и фаза естественного возобновления протекают практически одновременно, дополняя друг друга. Продолжительность её оценивается в 100-120 лет.
- Подервно (точечный отпад). При этом наблюдается только одна фаза – климакс и она протекает без существенного изменения таксационной характеристики древостоя.

Смена пород практически не наблюдается.

Пирогенные сукцессии. После пожара древостой обычно усыхает вследствие повреждения корневых систем [Сафронов, Волокитина, 1995]. Травостой достигает максимального развития на 10 год. С 5-6 года появляются мхи, но полностью моховой покров восстанавливается к 30 годам, лишайники и подстилка – к 50-60 годам. Авторы выделяют 4 типа послепожарных сукцессий лиственничных редколесий:

- пирогенные одновозрастные, когда сразу после пожара появляется самосев удовлетворительной густоты (тип сукцессии: пирогенная восстановительная без смены или со сменой пород); пионерная фаза – 5 лет (периодичность плодоношения), восстановление лиственничника наблюдается через 15-23 года.
- пирогенные условно-одновозрастные, когда период естественного возобновления гарей больше 20 лет (тип сукцессии: пирогенная восстановительная без смены или со сменой пород);
- пирогенные разновозрастные, с выраженным поколением допожарных деревьев (тип сукцессии: ценогенная очагового поражения);
- климаксовые разновозрастные (тип сукцессии: ценогенная точечного отпада).

В условиях лесотундры гари могут не восстанавливаться лесом, что может быть связано с длительным отсутствием семенных лет или большим

размером гарей. В зависимости от условий местопроизрастания эта сукцессия может оканчиваться заболачиванием, одернением, закустариванием или эрозионно-деструктивной фазой.

### ***Сукцессии северной тайги***

Ценогенные сукцессии протекают здесь аналогично подобным сукцессиям в лесотундре.

Послепожарная динамика насаждений происходит в следующих направлениях [Абаимов и др., 1996].

- Восстановление без смены пород, при этом формируются разновозрастные древостои. Пионерная фаза – 5 лет (периодичность плодоношения), восстановление лиственницы – 15-23 года.
- Восстановление со сменой на березняки, которые через 50-80 лет уступают лидирующее положение лиственнице. Окончание формирования молодняка коренной породы оценивается в 120 лет, начиная отсчёт со времени нарушения.
- Замещение лиственничников кустарниковыми тундрами. Длительность пионерной фазы оценивается в 30 лет.

### ***Сукцессии в средней и южной тайге***

Ценогенные сукцессии приводят к формированию разновозрастных древостоев. Причем смена светлохвойных формаций на тёмнохвойные, даже при наличии тёмнохвойного подроста происходит крайне редко.

Пирогенные сукцессии весьма распространены. В автоморфных условиях происходит восстановление без смены пород. Период лесовосстановления составляет 7-10 лет.

Мезоморфные лиственничники восстанавливаются как правило со сменой пород на берёзу и осину. Часть гарей в результате одернения превращается в прогалины (при отсутствии семян). Часть смешанных насаждений, в состав которых входят тёмнохвойные могут в результате пожара увеличить в составе долю тёмнохвойных пород. Период лесовосстановления в среднем составляет 7-14 лет.

Значительная доля гидроморфных лиственничников не восстанавливается в результате заболачивания и закустаривания. Часть из них восстанавливается со сменой пород через берёзу, часть без смены пород.

Антропогенные сукцессии связаны главным образом с вырубками. В автоморфных условиях происходит восстановление без смены пород с последней фазой распада, а не климакса. Период лесовосстановления составляет 5-11 лет.

Мезоморфные лиственничники зеленомошных типов леса восстанавливаются как правило без смены пород, а разнотравные со сменой на берёзу и осину. И те и другие группы типов леса имеют сложный пород-

ный состав, с возрастом доля лиственницы увеличивается. Вырубки гидроморфных лиственничников заболачиваются или, при наличии достаточного количества подроста, восстанавливаются без смены пород.

Послепожарное восстановление лиственничных древостоев может протекать в следующих направлениях [Абаимов и др., 1996].

1. Восстановление без смены пород:

- а) при чрезмерной густоте древостоя;
- б) при повышенной густоте древостоя;
- в) при оптимальной густоте древостоя;
- г) при недостаточной густоте древостоя.

В случае сильных пожаров и успешного обсеменения гарей происходит формирование одновозрастных лиственничников, густота которых на начальных этапах может составлять от нескольких десятков до нескольких сотен тысяч штук на гектар. Процесс самоизреживания в них сильно замедлен и без воздействия повторных пожаров может продолжаться до 200 и более лет.

Сильный пожар в сочетании с предшествующими 3-4 неурожайными годами приводит к неудовлетворительному возобновлению и формированию лиственничных редины. Редины образуются также на склонах, крутизной более 20 % в результате послепожарной солифлюкции.

После слабых и средних по силе низовых пожаров, когда сохраняется часть деревьев допожарной генерации и удовлетворительном возобновлении формируются типичные для региона редкостойные разновозрастные древостои с густотой от 250 до 800 шт. на га.

2. Восстановление со сменой коренных лиственничников послепожарными порослевыми березняками.

Наблюдается в насаждениях, где во втором ярусе присутствует берёза. Восстановление коренных лиственничников с примесью берёзы происходит через 50-80 лет.

3. Восстановление с замещением лиственничников вторичными кустарниковыми тундрами.

Происходит, как правило, после сильных пожаров и в наименее благоприятных для лиственницы условиях – северные склоны и у верхней границы распространения древесной растительности. Последующее восстановление лиственницы растягивается на десятилетия и происходит с периферии.

В лесных биогеоценозах Севера Сибири на мерзлотных почвах наблюдается изреженность крон деревьев лиственницы, их ажурность, и в связи с этим низкая сомкнутость древесного полога. Согласно экспериментальным данным [Сафронов, Волокитина, 1996] освещённость под пологом древостоев при полноте 0,3-0,6 в 2-3 раза выше, чем под пологом лиственничных лесов таёжной зоны при той же полноте. Света достаточно и



для господствующих деревьев, и для отставших в росте. Поэтому процесс самоизреживания здесь сильно замедляется, что нередко приводит к формированию на горях с успешным возобновлением своеобразных перегушенных насаждений, как бы застывших на стадии молодняка или жердняка.

Как по литературным данным [Поздняков, 1975, 1986; Абаимов, 1997], так и по нашим наблюдениям на начальных этапах послепожарных восстановительных сукцессий густота таких лиственничников может достигать нескольких сот тысяч особей на 1 га. В возрасте старше 30 лет многие деревья в таких перегушенных древостоях имеют изреженную, слабо охвоённую крону, характеризуются крайне замедленным ростом.

Существенным моментом для развития лесов мерзлотной зоны является корневая конкуренция. По мере продвижения к северной или верхней границе распространения древесной растительности площадь питания одного дерева возрастает с 15-20 до 35 и даже 50 м<sup>2</sup> [Ярмишко, Демьянов, 1984]. На юге плато Путорана этот показатель изменяется от 12 до 44 м<sup>2</sup> при сохранении названной тенденции [Абаимов, 1997]. Корневые системы пород и многих видов, формирующих травяно-кустарничковый ярус, также расположены в пределах малой толщины корнеобитаемого слоя [Дадыкин, 1952] и тем самым усугубляют корневую конкуренцию за элементы питания и доступную влагу. Содержание элементов питания в почвах региона в относительных единицах часто вполне достаточное, но в пересчете на запас элементов в корнеобитаемом слое – недостаточное для успешного роста древесных растений.

Коренными сообществами криолитозоны Северо-Востока являются разновозрастные лиственничные леса. Основными лесообразующими факторами являются пожары и, отчасти, рубки. Дестабилизирующее воздействие пожаров может оказывать как прогрессивное, так и регрессивное влияние, в понимании В.Н. Седых [1991].

В первом случае начальный этап лесовосстановительного процесса может развиваться как без смены эдификатора, так и со сменой лиственничников производными березняками, и даже со сменой формации путём замещения коренных лиственничных редколесий вторичными кустарниковыми тундрами.

Регрессивное воздействие пожаров приводит в зависимости от особенностей ландшафта к развитию склоновой солифлюкции, либо к термокарстовым процессам – на выположенных элементах рельефа. В обоих случаях не только полностью утрачивается эдификаторная роль лесной растительности на многие десятки и даже сотни лет, но и коренным образом трансформируются лесорастительные условия.

Обычно это происходит в результате воздействия сильных низовых пожаров, при которых полностью уничтожается не только мохово-лишайниковый покров, но и органические горизонты почвы. Резко ме-

няющийся тепловой режим приводит к деградации верхнего горизонта многолетней мерзлоты. Оттаявший слой насыщается влагой, становится тяжелее и при наличии уклона под воздействием силы тяжести может соскальзывать вниз по склону. В наиболее благоприятных для развития этого процесса условиях (большие уклоны и запасы воды в мерзлоте, высокая водоудерживающая способность почвы) нам приходилось наблюдать солифлюкционные процессы на вырубках даже без воздействия огня. Освоение лиственницей склонов, подвергшихся солифлюкционным процессам, начинается при благоприятных условиях уже в первые 10 лет [Абаимов, 1997], однако как правило восстановление лиственничных редколесий растягивается на 100-150 лет.

На пологих элементах рельефа интенсивное таяние линз ископаемого льда приводит к образованию термокарстовых озёр. По данным Л.К. Позднякова [1986], в Центральной Якутии, после гибели лиственничного леса в результате пожара, процесс формирования термокарстового озера полностью завершился всего за 50 лет.

Нами, например, описана почва (разрез 1-91) на берегу оз. Дабдары в Верхоянском районе Республики Саха, где происходят интенсивный процесс термокарста и наступление озера на берег, выражаемое несколькими десятками метров в год. Опускание поверхности происходит на 5-6 м.

Сведений о последующем восстановлении лесной растительности на участках, занятых такими озёрами, в литературе мы не встречали. Однако, по всей видимости, это занимает значительно большее время, чем развитие термокарстовых озёр.

В мерзлотной зоне распространены, как правило, низовые пожары. В значительной степени это обусловлено особенностями строения и структуры древостоев [Чугунов, 1961; Исаев, Уткин, 1963; Поздняков, 1975; Щербаков и др., 1979; Матвеев, Абаимов, 1980; Матвеев, 1992; Abaimov, Safropov, 1996 и др.]

В лиственничных древостоях восстановительные сукцессии протекают преимущественно без смены пород, что связано с достаточно успешным возобновлением гарей. На пройденной огнём площади, в большинстве случаев сохраняется часть деревьев по микропонижениям, западинам и ложбинам стока. Они выполняют впоследствии роль источников обсеменения. При удовлетворительном послепожарном возобновлении и сохранении части деревьев допожарной генерации на гарях формируются типичные для региона редколесья оптимальной густоты. Им свойственна разновозрастность, низкая сомкнутость древесного полога, ослабленное естественное возобновление.

А.П. Абаимов [1997] считает оптимальным для притундровых и северотаёжных редколесий количество стволов  $300-700 \text{ шт} \cdot \text{га}^{-1}$ . Большая густота приводит к острой корневой конкуренции, что выражается в снижении темпов роста и характере распределения сухостоя.

К особенностям лесообразовательного процесса на мерзлотных почвах можно отнести высокую пестроту темпов роста отдельных деревьев в одних и тех же лесорастительных условиях. А.П. Абаимов [1997] объясняет это тем, что малая толщина корнеобитаемого слоя исключает многослойное перекрытие корневых систем, характерного для более южных районов. В мерзлотной зоне каждое дерево использует лишь свою экологическую нишу определённого размера и качества. В результате широко распространено явление, когда соседние деревья могут отличаться по нормативам роста на 2 класса бонитета при отсутствии конкуренции за свет.

При неудовлетворительном возобновлении на гарях на месте коренных разновозрастных редколесий могут образоваться послепожарные лиственничные редины. Это обычно наблюдается на участках с полностью погибшем древостоем, когда пожару предшествует несколько неурожайных лет.

Рубки главного пользования в области сплошного распространения вечной мерзлоты при значительном нарушении мохового покрова (более 40-50 % общей поверхности) могут существенно повлиять на дальнейшую динамику биогеоценоза. Сплошные рубки на склонах приводят к развитию солифлюкции, а на ровных поверхностях речных долин – провоцируют термокарстовые процессы. Выборочные рубки более всего отвечают природе разновозрастных лиственничных редколесий [Абаимов, Бондарев, 1994]. Дальнейшая сукцессия протекает аналогично послепожарной.

### **1.6.1. Влияние лесных пожаров на морфологию почв и прирост лиственницы на северо-востоке Республики Саха**

В жестких климатических условиях, которые свойственны северо-восточным лиственничникам, практически во всех типах условий местопроизрастания (ТУМ) поступление органической массы в подстилку происходит быстрее, чем её разложение. Накопление органической массы в подстилке приводит к регулярным лесным пожарам. Это явление отмечается многими исследователями [Поздняков, 1986; Уткин, 1965а,б; Щербатов, 1979; Абаимов и др., 1996; Евдокименко, 1996; Zyryanova et al., 2001; Osawa et al., 2000; Natano et al., 2000]. Наблюдение огневых повреждений стволов лиственницы, проведённые нами в долине рек Эрикит (бассейн Индигирки) и Бытантай (бассейн Яны) позволяет констатировать до четырех-пяти пожаров на дренированных местообитаниях с периодичностью 50-80 лет. Мы оценили воздействие огня на почвы и радиальный прирост лиственницы в нескольких типах условий местопроизрастания. Для этого было произведено обследование свежей гари, пройденной огнем год назад и ряд аналогичных участков, не горевших более 40 лет. Низовой пожар пересек долину реки. Огонь опалил кору лиственницы в нижней части стволов, а у кедрового стланика полностью уничтожил кору, хвою и тонкие

ветви. Часть древостоя погибло куртинами. Погибшие деревья лиственницы заселены усачём. Весь кедровый стланик погиб, подлесок из берёзы и ивы выгорел полностью. Повреждение живого напочвенного покрова не равномерно, в зависимости от условий местопроизрастания.

На участке террасы, прилегающем к бровке, распространены палевые суглинистые почвы, подстилаемые песчаным галечником. Типичный профиль А0т-А0А1-Вм-ВС-С. Мощность органогенного горизонта не превышает 5 см. Многолетняя мерзлота обнаруживается на глубине 1-1,5 м. Почвы хорошо дренированы. Для этого типа местопроизрастания характерны лиственничники брусничниково-лишайниковые V класса бонитета с полнотой 0,2-0,4. В подлеске преобладает берёза Миддендорфа, ближе к бровке – кедровый стланик. В травяно-кустарничковом ярусе – шикша и брусника, общее покрытие около 70 %. Лишайниковый покров хорошо развит, для него характерны цетрария и кладонии.

В результате пожара выгорели горизонты А0 и А0А1 мощностью 4-5 см, горизонт Вм окрашен золой. Глубина залегания многолетней мерзлоты практически не изменилась. Берёза активно отрастает от корня (побеги текущего года до 30 см).

Средняя часть террасы дренирована в значительно меньшей степени. В этих условиях наблюдается развитие мерзлотного трещинно-бугорковатого микрорельефа и в связи с этим генетической пары профилей: криозём на бугорке и криозём торфянистый в мерзлотной трещине. Мощность деятельного слоя составляет в конце лета 40-80 см. Тип леса – лиственничник брусничниково-голубичниково-зеленомошный Va класса бонитета, полнота 0,2-0,3. Подлесок редкий, состоит из берёзы тощей. Кустарничково-травянистый ярус хорошо развит. Обильно представлены голубика, багульник, брусника. Моховой покров образован зелёными и влаголюбивыми мхами, в западинах микрорельефа – сфагновые мхи.

Огневое повреждение напочвенного покрова пятнистое. На бугорках выгорел живой напочвенный покров, горизонт А0 и, частично, Ат-п. Пройдённые огнем участки имеют темную от сажи поверхность. На прогревших участках мерзлота опустилась на 20-25 см вследствие уменьшения мощности теплоизолирующего органогенного горизонта и улучшения поглощения солнечного тепла за счет темного цвета покрытой сажой поверхности. В трещинах и около них моховой покров остался нетронутым. Усиление протаивания мерзлоты в районе трещин незначительно.

На пониженной части у подножья следующей террасы в гидроморфных условиях развиваются болотно-мерзлотные почвы. Они состоят из торфяного горизонта мощностью до 40 см и горизонта ВС. Многолетняя мерзлота с крупными жилами льда в большинстве случаев наблюдается в нижней части горизонта Т.

Древостой представлен редкостойной (полнота 0,2 и менее) чахлой (бонитет Vb и ниже) лиственницей. Подлесок редкий, состоит из берёзы

тощей. Травяно-кустарничковый ярус средне развит, представлен багульником, голубикой, осоками, пушицей, клюквой, морошкой. Моховой покров сплошной, преобладают сфагнумы с примесью зелёных мхов.

В результате пожара опалены только кочки. Сравнивая с соседними, не затронутыми огнем, участками можно сказать, что произошло частичное оттаивание мерзлоты (не более 5 см). Вода, не имея стока, остаётся здесь же, в результате чего мерзлота покрыта слоем воды.

Естественное возобновление в зоне исследования приурочено как правило к пожарам, которые облегчают попадание семян в почву, создают благоприятные тепловой и питательный режимы почв. Пожарные циклы оказывают существенное влияние и на дальнейший рост лиственницы. Подтверждением того, что биологический потенциал роста лиственницы не исчерпывается в 100 и даже 200 лет мы обнаружили при рассмотрении радиального прироста деревьев, переживших пожары (рис.1.7).

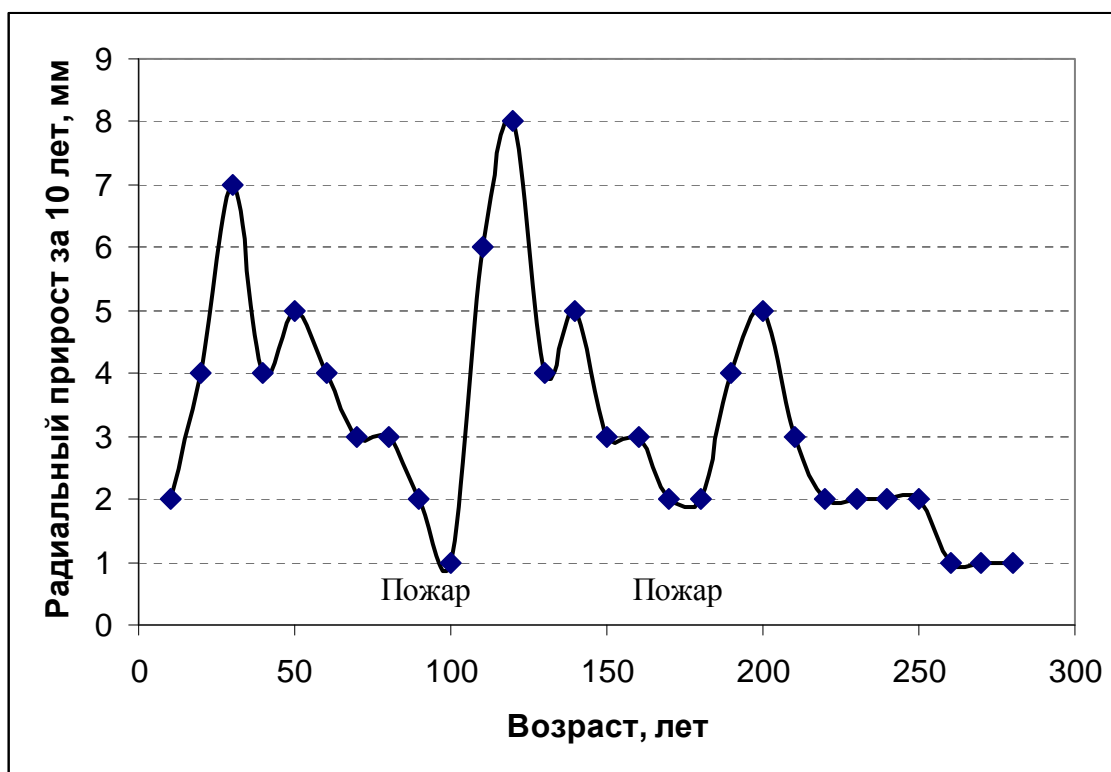


Рис. 1.7. Изменение радиального прироста лиственницы в связи с пожарными циклами

В первые десятилетия жизни лиственницы наблюдается быстрый рост, характерный для молодых растений и связанный также с относительно большим корнеобитаемым слоем. По мере развития мохового покрова с его теплоизоляционными свойствами происходит подтягивание мерзлоты к поверхности почвы, уменьшение корнеобитаемого слоя сказывается на приросте. Низовые пожары существенно меняют тепловой и питательный режимы почв. Несмотря на значительные огневые повреждения (до 1/3 ок-

ружности ствола у комля) прирост таких деревьев значительно увеличивается. У деревьев, не повреждённых огнём, прирост также увеличивается.

Как показали наши исследования, улучшение роста лиственницы наблюдается в основном на средней части террас, где корнеобитаемый слой в результате пожара увеличился вдвое. На бровках и на пониженных частях террас пожар не вызывает существенных изменений условий местопроизрастания, но приводит к более значительным повреждениям насаждения.

Полученные нами данные представляют существенный интерес для понимания естественных процессов, происходящих в лесах северо-восточной Якутии, для прогноза возможных изменений, а также для проектирования хозяйственных мероприятий. Наши исследования подтверждают мнение других авторов [Поздняков, 1986; Уткин, 1965а, б; Щербаков, 1979] о том, что низовые контролируемые выжигания являются незаменимым средством ведения лесного хозяйства в плане содействия естественному возобновлению, прореживания молодняков, улучшения условий роста. Однако, северо-восточная Якутия имеет некоторые особенности. Так, А.И.Уткин [1965а, б] отмечает положительное воздействие огня на насаждения южной Якутии только в возрасте молодняков. В более старшем возрасте, по его данным, происходит перестройка корневых систем и последующие пожары не приводят к восстановлению начальных темпов роста. В регионе наших исследований многолетняя мерзлота залегает значительно ближе к поверхности, существенной перестройки корневых систем, не происходит и положительное влияние огневых воздействий низкой интенсивности на прирост лиственницы мы наблюдали и в старшем возрасте.

Многие аспекты динамических изменений в лесных экосистемах Северо-Востока до настоящего времени исследованы недостаточно. Их дальнейшее изучение представляет интерес как с позиций разработки научных основ рационального использования территории, так и прогноза возможных изменений в структуре лесного покрова при различных сценариях изменениях климата.

### **1.7. Возрастная структура древостоев**

Возрастная структура отражает историю возникновения и динамики древостоев. Под этим термином, как правило, понимают представленность и порядок сочетания деревьев определённого возраста, формирующих древостой. Всё многообразие древостоев по их возрастной структуре обычно подразделяют на несколько градаций или типов возрастной структуры (ТВС). Целесообразность выделения различных ТВС оправдывается лишь в том случае, если это ощутимо сказывается на морфологической структуре древостоев и, следовательно, требует различных методов таксации и специальных приёмов ведения хозяйства. В многочисленных публикациях

обычно встречаются вариации классификации с использованием следующих градаций: одновозрастные, условно-одновозрастные, условно-разновозрастные и (абсолютно) разновозрастные.

К одновозрастным относятся насаждения, в которых деревья имеют одинаковый возраст с точностью до одного года. Насаждений, возникших естественным путем с такой возрастной структурой практически не встречаются.

Условно-одновозрастными принято считать древостои, в которых пределы варьирования возраста отдельных деревьев не превышают 20 лет, то есть одного класса возраста для большинства хвойных пород, произрастающих в России. Обычно для практических целей одновозрастные и условно одновозрастные древостои объединяются в одну группу

Разновозрастными считают такие древостои, в которых амплитуда изменения возраста превышает 20 лет. Эта группа в свою очередь также не однородна, так как возрастные пределы могут составлять различную величину и достигать в отдельных случаях 200 лет. Кроме того, насаждение может иметь несколько выраженных поколений, а может и не иметь таковых. В связи с этим ряд авторов выделяет категорию исключительно [Шанин и др., 1965; Шурдук, 1972 и др.] или абсолютно [Комин, 1964] разновозрастных древостоев.

Ряд исследователей предлагает делить возрастную структуру по амплитуде колебания возраста отдельных деревьев и значению коэффициента вариации этого показателя [Богданов, 1971; Куделя, 1988]. К одновозрастным лиственничным древостоям они относят такие, в которых амплитуда не превышает 40 лет, а значения коэффициента вариации (С) составляет менее 5 %. К условно-одновозрастным относят древостои с амплитудой колебания возраста от 41 до 70 лет и  $C=5-12$  %, а к разновозрастным – с амплитудой возраста от 41 до 70 лет и  $C=35-40$  %.

Э.Н. Фалалеев [1985] предлагает классифицировать возрастную структуру в зависимости от распределения запаса насаждения по классам возраста. Так если возраст отдельных деревьев в насаждении колеблется в пределах одного класса возраста – это одновозрастное насаждение. Условно-одновозрастными считаются насаждения у которых не менее 90 % запаса образовано деревьями, входящими в одну возрастную группу (средневозрастную, созревающую, спелую или перестойную). Соответственно разновозрастные – это такие древостои, в которых запас любой выделяемой в них возрастной группы ниже 90 %.

Многолетние исследования возрастной структуры, проведенные И.В. Семечкиным [1967, 1970, 2002] показали, что в качестве классификационного признака может быть использована связь между изменчивостью диаметра и возраста, которая для кедровых насаждений различных регионов характеризовалась корреляционным отношением от 0,81 до 0,94. При этом, древостои кедра с коэффициентом изменчивости возраста от 4,0 до

12,5 % имели строение по высоте и диаметру, практически не отличающееся от древостоев элемента леса, т.е. квалифицировались как относительно одновозрастные. Древостои, имеющие коэффициент изменчивости возраста 12,6–25,0 % имели одновершинное, несколько асимметричное и растянутое распределение (условно-разновозрастные). Наконец, третья группа, с коэффициентом изменчивости возраста выше 25 %, представлена «настоящими» разновозрастными насаждениями, имеющими сложное распределение по возрасту и состоящее из различных сочетаний простых одновершинных распределений по возрасту и другим биометрическим признакам деревьев. Вариантов возрастного строения древостоев последней группы много: ступенчато-разновозрастные, циклично-разновозрастные, асимметрично-разновозрастные. Различные породы в различных регионах имеют разнообразные закономерности восстановительно-возрастной динамики, которые воплощаются в различных классификациях древостоев по типу возрастной структуры (ТВС). Однако, принимая во внимание, что ТВС должен быть одним из обязательных биометрических характеристик таксации насаждений, очевидна целесообразность разработки унифицированной и достаточно простой классификации разновозрастных лесов, которая могла бы найти применение в практическом лесоустройстве. Такая попытка была реализована авторами в рамках Сибирского проекта ИААА. Представляется, что эта классификация вполне применима и к лиственных лесам. Она включает 4 класса [Швиденко и др., 1999]:

1-й класс – условно одновозрастные древостои, более 70 % запаса которых образовано деревьями одного класса возраста;

2-й класс – условно разновозрастные древостои, более 70 % запаса которых образовано деревьями двух и более классов возраста, но в пределах одной группы возраста (молодняки, средневозрастные, припевающие, спелые и перестойные);

3-й класс – разновозрастные древостои, более 70 % запаса которых образовано деревьями не менее, чем двух групп возраста; как правило, это древостои (псевдо) климаксного типа, часто вертикальной сомкнутости, образованные деревьями всех возрастов;

4-й класс – ступенчато-разновозрастные древостои, представленные насаждениями, состоящими из нескольких ярусов (поколений), среди которых есть ярусы, принадлежащие к разным типам возрастной структуры, указанным выше (классы 1-3).

### **1.7.1. Общие представления о возрастной структуре лиственничников района исследований**

Одним из основных факторов, влияющим на формирование возрастной структуры лиственничных древостоев, являются лесные пожары [Тихомиров и др., 1961; Уткин, Исаев, 1962; Поздняков, 1963, 1975; Чугунов, 1964; Шанин, 1965; Щербаков и др., 1979; Фалалеев, 1985; Абаимов и др.,



1997, 2001; Бондарев, 1995]. Под воздействием пожаров в мерзлотной зоне могут формироваться как условно-однообразные, так и разновозрастные лиственничные древостои [Абаимов и др., 1996, 1997; Osawa et al., 2000]. Определяющим здесь является условия произрастания, сочетание климатических и погодных факторов, тип, периодичность и интенсивность пожаров.

Уже первые исследователи лиственничных лесов [Аболин, 1929; Недригайлов, 1932] отмечали их разновозрастность, несмотря на светолюбие данной породы. А.И. Бондарев [1995] получил данные о том, что у северного предела распространения лиственницы Гмелина (71-72 °с.ш.) древостои характеризуются максимальной разновозрастностью. Процесс возобновления в них протекает непрерывно. Коэффициент изменчивости возраста достигает здесь 47-49 %.

Для более южных районов, где плодоношение лиственницы происходит регулярно, заселение гарей происходит в сравнительно короткий срок – в пределах одного класса возраста. Именно по этой причине большинство послепожарных насаждений лиственницы здесь однообразны. Разновозрастные лиственничники обычно приурочены к заболоченным местам, где пожары не оказывают значительного воздействия на процесс возобновления.

В принципе, существует достаточно согласованное мнение, что большая часть припевающих, спелых и перестойных лесов Сибири и Дальнего Востока представлена различными типами разновозрастных лесов. Табл. 1.17 содержит обобщенную оценку распределения лиственничных древостоев Азиаткой части России по ТВС. Оценка была сделана группой экспертов в рамках Сибирского проекта ИААА.

*Таблица 1.17*

Распределение припевающих, спелых и перестойных лиственничных лесов Сибири и Дальнего Востока по типам возрастной структуры

Лесорастительные зоны и подзоны	Распределение покрытых лесом земель по классам возрастной структуры (в % к покрытой лесом площади)			
	УОД	УРД	РД	СРД
Лесотундра и редкостойная тайга	10	35	55	0
Средняя тайга	10	69	21	0
Южная тайга	10	74	16	0
Зона смешанных лесов	10	74	16	0
Лесостепь	78	17	5	0

УОД – условно однообразные древостои; УРД – условно разновозрастные; РД – разновозрастные; СРД – ступенчато-разновозрастные.

Увеличение доли разновозрастных насаждений к северу также отчетливо проявляется при анализе распределения древостоев по ТВС на экорегиональном уровне (табл. 1.18).

*Таблица 1.18*

Распределение лиственничных древостоев по типу возрастной структуры

Экорегионы [Швиденко и др., 2000]		Распределение древостоев по ТВС, %		
Код	Название	УОД	УРД	РД
301	Корякский горный тундровый	10	25	65
302	Западно-Камчатский горный лесотундровый	15	35	60
441	Чукотский горный тундровый	10	20	70
442	Восточно-колымский горный редкостойной тайги	20	70	10
443	Янский горный северотаёжный	20	70	10
982	Яно-Индигирский редкостойной тайги	10	80	10
983	Виллюй-Сангарский северотаёжный	0	70	30
984	Среднеленский среднетаёжный	10	70	20
985	Верхнеленский горный среднетаёжный	0	70	30
251	Катангарский среднетаёжный	5	65	30
252	Витимский горный среднетаёжный	10	60	30
041	Таймырский тундровый	0	0	100
042	Путорано-Анабарский редкостойной тайги	0	5	95
043	Путоранский горный северотаёжный	0	20	80
044	Тунгусский среднетаёжный	5	65	30
045	Ангарский южнотаёжный	10	75	15
047	Хакасский горный южнотаёжный	10	80	10
048	Саянский горный среднетаёжный	10	80	10

Данные, приведенные в табл. 1.17 и 1.18, свидетельствуют, что в зонах лесотундры и северной тайги лиственничники в основном принадлежат к двум типам возрастной структуры – условно разновозрастным и разновозрастным. В пределах ареалов азиатских видов лиственницы доля разновозрастных лиственничников существенно уменьшается к югу.

### **1.7.2. Структура насаждений лиственницы Каяндера на северо-востоке Республики Саха**

В настоящем разделе мы приведем экспериментальные данные по структуре притундровых лесов и редколесий северо-восточной Якутии. Полевые работы проводили в июле-августе 1992 в районе устья реки Джанкы при её впадении в Яну (67° с.ш., 133° в.д.). Древесная растительность представлена низкостелетными низкополотными лиственничниками. В поймах рек распространены чозения и ивы. В подлеске присутствуют берёзки Миддендорфа и тощая, ивы, душекия (ольховник) кустарни-

ковая. В напочвенном покрове преобладают зелёные и влаголюбивые мхи, лишайники родов *Cladonia*, *Cladina* и *Cetraria*; распространены также багульник, брусника, голубика, сфагновые мхи. В почвенном покрове преобладают регулярно-циклические криокомплексы палево-криозёмов и криозёмов торфянистых [Наумов, 1974, 1993; Щепашенко и др., 1997]. Дренированные участки и склоны теплой экспозиции занимают палевые почвы. К элементам рельефа, в которых наблюдается застой влаги, приурочены торфянисто-глееватые почвы.

Продуктивность лесных насаждений в суровых климатических условиях северо-восточной Якутии тесно зависит от положения на рельефе местности. Рельеф создает микроклимат, перераспределяя тепло и влагу, а, следовательно, существенно влияет на структуру и продуктивность насаждений. Исследования проводились в долине реки, на плато, крутых склонах северной и южной экспозиции. Таким образом, удалось охватить все основные контрастные типы мезорельефа, с которыми тесно коррелируют условия местообитания.

Научная экспедиция ВНИИЦлесресурса при непосредственном участии автора данной работы заложила 4 пробные площади на разных элементах рельефа. Каждая пробная площадь состоит в свою очередь из 25-39 круговых пробных площадок (КПП), заложенных в одном таксационном выделе. Выборочно-перечислительную таксацию производили путем закладки круговых пробных площадок постоянного радиуса – 9,77 м (площадь около 300 м<sup>2</sup>). Площадки закладывали по буссольным ходам на расстоянии 50 м друг от друга. На каждой из них проводили сплошной перебор деревьев по диаметру на высоте 1,3 м, производили описание напочвенного покрова, указывали состав и густоту подлеска, закладывали почвенный разрез, отбирали одно модельное дерево (ближайшее к центру площадки).

После рубки модельного дерева, на высоте 0; 0,5; 1,3; 1,5 м и далее через 1 м определяли диаметр в коре и без коры. На высотах 0; 1,5 и далее через 2 м подсчитывали годовые кольца. Всего было срублено 127 модельных деревьев.

Первая пробная площадь заложена в долине реки Джанкы и состоит из 25 КПП. Насаждение представлено чистым лиственничником. Хотя данный участок леса формально относится к одному таксационному выделу, при ближайшем рассмотрении обнаруживается значительная пестрота мезорельефа, почвенных условий и растительности. Это связано с неоднородностью аллювиальных отложений. Основную часть террасы занимают лиственничники голубично-зеленомошные и бруснично-багульниково-зеленомошные на криозёме торфянистом легкосуглинистом с мощностью органогенных горизонтов 7-14 см и мерзлотой, залегающей на глубине 18-30 см (здесь и далее глубина мерзлоты определялась в августе). Бровки террас представлены бруснично-разнотравным или зеленомошным типами

леса на криозёме супесчаном с мощностью подстилки 1-3 см и мерзлотой на глубине 50-80 см. Участки с застоем влаги покрыты пушицево-вейниковыми и сфагновыми болотами с единично стоящими деревьями лиственницы. Почва торфянисто-глееватая легкоуглинистая с мощностью торфяных горизонтов 15-20 см и мерзлотой на глубине 25-35 см. Соответственно и бонитет насаждения меняется от IV на бровках до Vb и ниже с ухудшением дренированности. Максимальная полнота составляет 0,8 при средней – 0,4. Такое разнородное насаждение таксаторы относят к одному выделу из-за небольшой площади заболоченных участков и бровок.

Вторая пробная площадь расположена в средней части северного склона холма и состоит из 28 КПП. Высота холма составляет около 80 метров, уклон – 20-25°. Древостой представлен лиственничником бруснично-багульниково-зеленомошным Vb бонитета с полнотой 0,2-0,3. Подлесок развит средне, преобладает душекия кустарниковая, встречаются ивы. В кустарничковом ярусе багульник и брусника. Мохово-лишайниковый покров сплошной, преобладают зелёные мхи (*Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*), в понижениях микрорельефа встречается сфагнумы. Лишайники обильно представлены родами *Cladina*, *Cladonia*, а также *Cetraria cucullata*. Наиболее распространенной почвой является криозём торфянистый на сланцах с высокой (более 70 %) каменистостью профиля. Мощность органогенных горизонтов 10-25 см. Мерзлота с крупными жилами льда наблюдается на глубине 20-40 см.

На южном склоне холма, высотой около 120 м, был заложена третья пробная площадь. Она состоит из 28 КПП. Уклон составляет около 25°. Лиственничник брусничный Va бонитета имеет полноту 0,4-0,5. В подлеске средней густоты преобладает кедровый стланик и можжевельник, встречаются также смородина и шиповник. Живой напочвенный покров представлен брусникой, лишайниками *Cladonia*, *Cladina* и *Stereocaulon tomentosum*, шикшей, зелёными мхами, встречается камнеломка (*Saxifraga bronchialis*). Почвы палевые легкоуглинистые на метаморфических сланцах. Щебнистость верхних горизонтов около 25 %. Мощность органогенного горизонта 2-5 см. Нельдистая мерзлота наблюдается на глубине 60-120 см.

Четвертая пробная площадь представляет собой склон пологого холма недалеко от вершины и состоит из 39 КПП. Уклон не превышает 3°. Лиственничник бруснично-багульниково-зеленомошный. Подроста практически нет. Насаждение пройдено пожаром около 20 лет назад. Огонь уничтожил подрост, часть ослабленных деревьев погибла. Моховой покров, видимо, не был существенно поврежден, так как не наблюдается обычного в таких случаях «всплеска» текущего прироста [Уткин, Исаев, 1962; Щепашенко, 1998]. Подлесок густой с преобладанием берёзки тощей, которая хорошо восстанавливается и увеличивает свою представленность после пожаров. В напочвенном покрове багульник, брусника, шик-

ша; аулакомниум болотный образует почти сплошной моховой покров, распространены также лишайники. Наблюдается трещиновато-бугорковый микрорельеф (бугры диаметром 50-100 см и высотой 15-20 см). Единично встречаются круги, лишённые напочвенного покрова вследствие морозного пучения. На микроповышениях преобладают лишайники, шикша и брусника, почва – палево-криозём легкосуглинистый. Мощность органического горизонта 2-6 см. Мерзлота с небольшим количеством льда в виде кристаллов и мелких жил начинается с глубины около 50 см. В микропонижениях наблюдается криозём легкосуглинистый. Мощность подстилки и очеса мхов возрастает до 6-10 см. Более льдистая, чем на бугорках, мерзлота наблюдается на глубине около 40 см.

Таксационная характеристика пробных площадей приводится в табл. 1.19.

Таблица 1.19

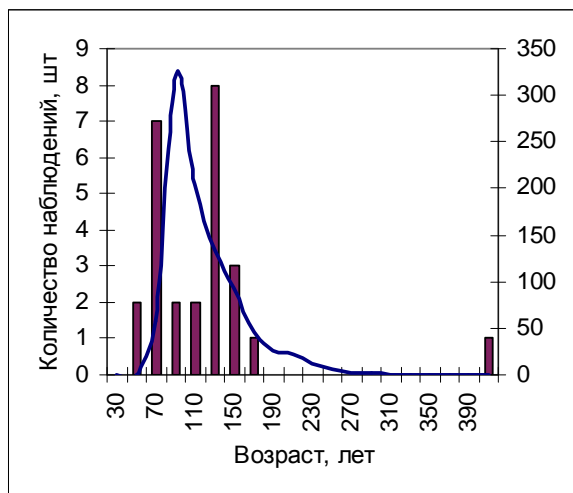
Средняя таксационная характеристика пробных площадей

Место-положение на рельефе	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Бонитет	Число деревьев, экз.·га <sup>-1</sup>	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> ·га <sup>-1</sup>	Запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup>
Долина реки	155	7,9	7,3	Vb	1463	9,1	69
Северный склон	115	5,7	6,8	Vb	1061	5,5	23
Южный склон	120	10,1	8,7	Va	1521	12,9	79
Плато	114	6,10	6,9	Vb	600	2,9	13

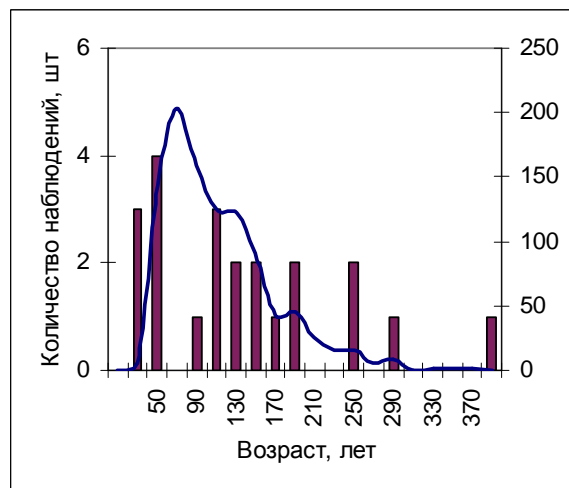
Известно, что одним из важных факторов формирования северных лиственничников являются пожары. Огневые повреждения на стволах лиственниц позволили сделать вывод о цикличности пожаров с периодичностью 80-120 лет. Анализ распределения деревьев по возрастам (рис. 1.8) и диаметрам (рис. 1.9) показывает сходную картину на всех пробных площадях – в насаждениях преобладают деревья 1-2 циклов возобновления с некоторым количеством деревьев более ранних циклов. Скорость послепожарного возобновления зависит от степени повреждения напочвенного покрова и почвы, а также наличия достаточного количества семян. На изучаемых участках этот период составляет 40-80 лет. Эти особенности возрастной структуры откладывают отпечаток и на распределение деревьев по диаметрам, которое имеет логарифмически-нормальный вид.

Анализ распределений по возрасту и диаметру в пределах пробных площадей позволяет обнаружить интересные особенности (табл. 1.20). По величине коэффициентов изменчивости возраста – 55-60 %, древостои трех пробных площадей крайне разновозрастны. Этому соответствуют и высокие коэффициенты изменчивости диаметра – 54-66 %. Исключение составляет древостой пробной площади 3, где изменчивость возраста существенно меньше (28 %) при высокой изменчивости диаметра (65 %). Мы объясняем это явление тем, что пробная площадь 3 находится в наилучших

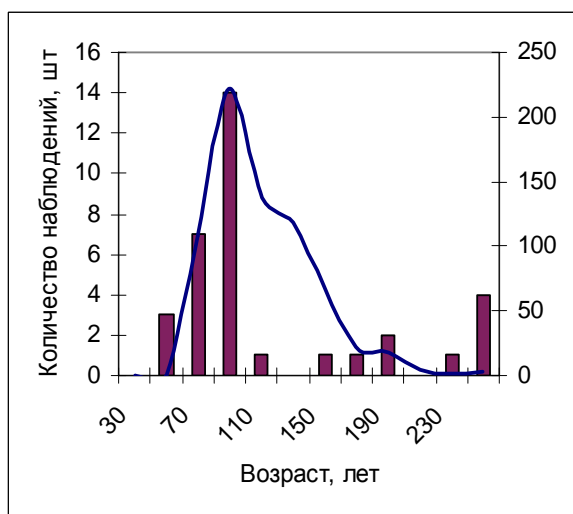
лесорастительных условиях, что обеспечило более высокий темп возобновительного процесса. Очень высокая изменчивость диаметра в изучаемой категории насаждений объясняется, скорее, не высокой разновозрастностью, а пространственной неоднородностью качества условий произрастания насаждений в пределах пробных площадей.



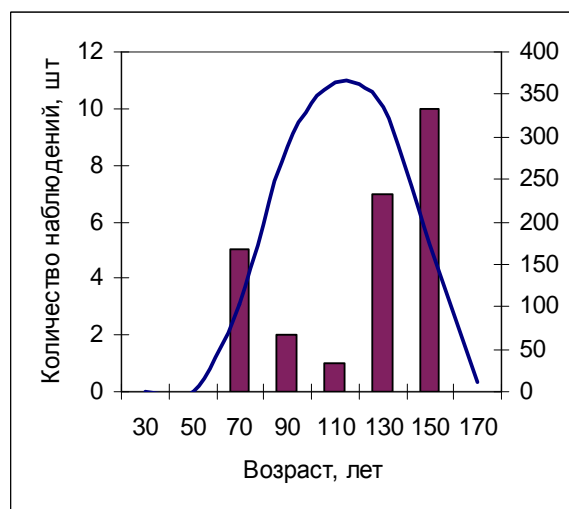
Пр. площадь 1



Пр. площадь 2



Пр. площадь 3



Пр. площадь 4

Рис.1.8. Возрастная структура насаждений на пробных площадях (1-4). Гистограмма показывает возраст модельных деревьев, а кривая – восстановленный возраст, исходя из перечета по диаметру

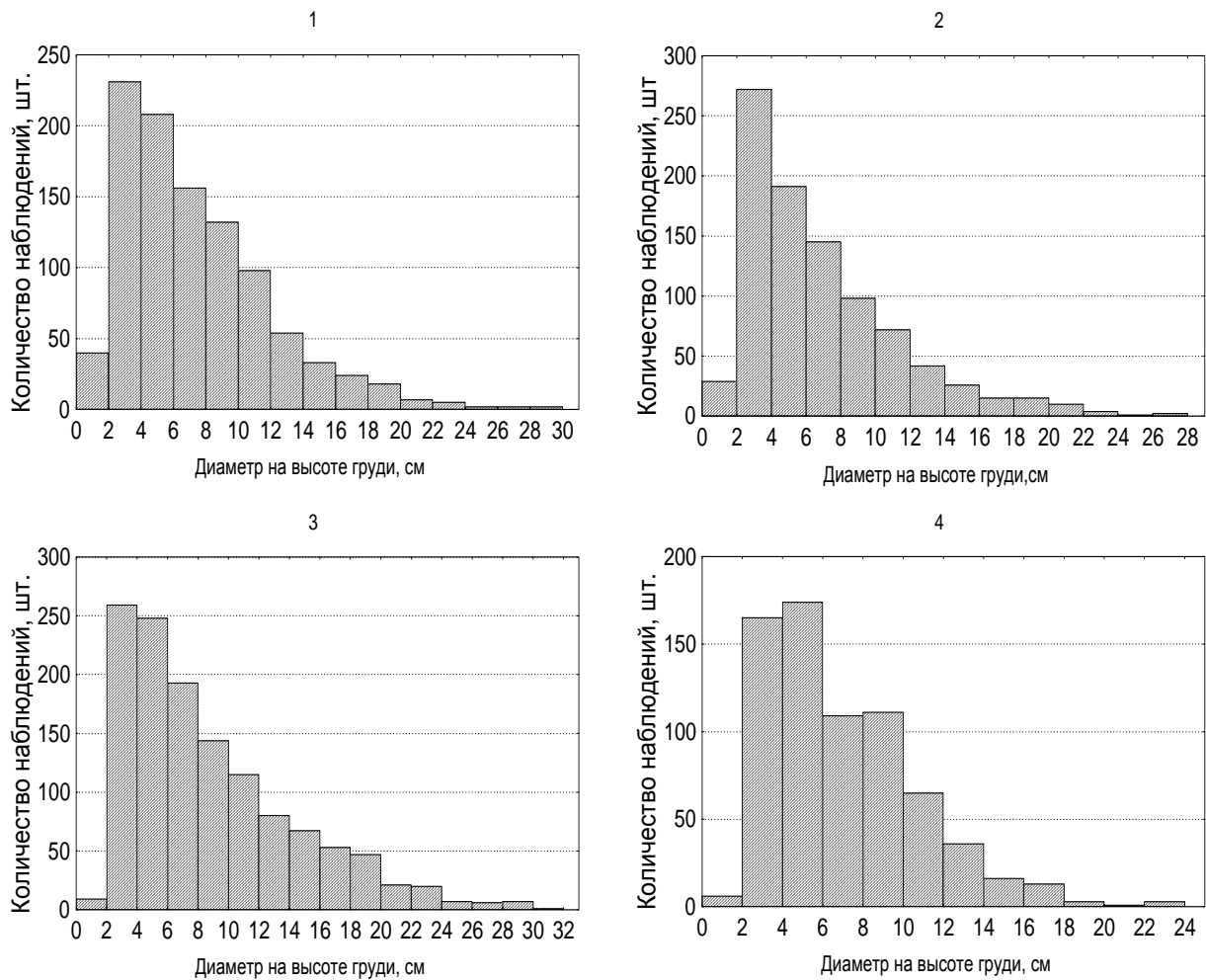


Рис.1.9. Распределение деревьев по ступеням толщины на пробных площадях (1-4)

Таблица 1.20

Статистические показатели распределения деревьев по возрасту и диаметру на высоте 1,3 м

№ п.п.	Показатель	Количество наблюдений	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка	Коэффициент изменчивости
1	Диаметр	1012	7,3	1,0	29,7	4,64	0,15	64
	Возраст	22	155,0	42,0	401,0	92,99	19,82	60
2	Диаметр	922	6,8	1,4	27,7	4,51	0,15	67
	Возраст	26	115,5	44,0	400,0	67,25	13,19	58
3	Диаметр	1277	8,7	1,0	31,0	5,65	0,16	65
	Возраст	25	120,4	61,0	156,0	33,68	6,74	28
4	Диаметр	702	6,9	1,0	23,5	3,73	0,14	54
	Возраст	34	114,3	41,0	250,0	63,28	10,85	55

Очевидно, эта особенность свойственна всем лиственничным древостоям зоны многолетней мерзлоты, занимающих экстремальные местообитания ареала. Одновершинные распределения диаметра также подтверждают эту точку зрения. Подобная картина была отмечена для гидроморфных лиственничников Амурской области [Глазьев, 1964]. Наша попытка распределения древостоев по типам возрастной структуры 1000 лесоустроительных пробных площадей, на которых был сделан пересчет деревьев и определены обычные таксационные показатели успешной не оказалась. По-видимому, корреляция между возрастом и диаметром существенно ослаблена в лиственничниках изучаемого района.

Итак, процесс формирования возрастной структуры лиственничных древостоев северной тайги Северо-Востока определяется совокупностью факторов, ведущим из которых являются пожары. Показатели пожарных режимов (типы пожаров, интенсивность, влияние на дальнейшую сукцессионную динамику) достаточно стабильны для сходных ландшафтов и географических зон. В отдельных случаях они приводят к формированию одновозрастных, но чаще разновозрастных древостоев, составляющих основной фон лиственничных лесов и редколесий. Определённое влияние на формирование возрастной структуры могут оказывать выборочные и условно-сплошные рубки, а также другие антропогенные воздействия. Однако их влияние не сопоставимо с лесными пожарами.

В качестве общего вывода можно констатировать, что для основной массы лиственничников района разновозрастность не является принципиальным препятствием для разработки обобщенных нормативов роста и продуктивности.

### **1.8. Ландшафтно-экологические закономерности**

Географический ландшафт определяют как трёхмерное пространство на стыке лито-, атмо-, гидро-, биосферы Земли, ограниченное естественными рубежами. Вследствие исторического развития взаимосвязей между компонентами этих сфер и солнечной энергии, обособляется однородный по возможностям воспроизводства естественных ресурсов природно-пространственный комплекс, обладающий единым геологическим фундаментом, современной корой выветривания, однотипным рельефом, климатом, подземными и поверхностными водами с их химизмом, особенностями стока, почвенно-растительным покровом, набором видов микроорганизмов и животных [Пармурзин, 1979].

А.Г. Исаченко [1991] определяет ландшафт как генетически единую геосистему, однородную по зональным и азональным признакам и включающую специфический набор сопряженных локальных геосистем.

Ландшафтный подход является базисом современного российского лесоведения [Курнаев, 1973; Киреев, 1979; Пузаченко, Скулкин, 1981], ос-



новой системы учёта [Ландшафтная таксация..., 1977: Калашников, 1981; Киреев, 1966] и управления лесами [Калашников, 1987; Киреев, 1976; Седых, 1991а,б; Киреев, Сергеева, 1992].

Попытки анализа географических закономерностей распределения фитомассы предпринимались не раз. Сведения о географическом распространении древесных пород в связи с климатом, почвами, вечной мерзлотой и рельефом опубликованы в 1867 г. по материалам экспедиции А.Ф. Миддендорфа, обследовавшей район от Якутска через хребет Джугджур к побережью Охотского моря. Впервые были выдвинуты понятия границы леса и границ отдельных пород, высказаны взгляды о смене пород.

Средние значения запасов фитомассы и продуктивности растительного покрова для зон и подзон природы Европейской части России были получены Е.М. Лавренко и др. [1967]. Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич [1965] составили картосхему биопродуктивности основных типов растительности.

Н.И. Хлыновская [1988] составила карту фитоклиматического районирования по запасам надземной и подземной фитомассы растительного покрова, используя модели зависимости фитомассы от суммы температур выше 10 °С, географических координат и высоты над уровнем моря.

А.А. Григорьев и М.И. Будыко [1959] связывали географические закономерности продуктивности в пределах широтного пояса с радиационным индексом сухости, рассчитываемым по формуле  $R/(L \cdot r)$ , где  $R$  – годовой радиационный баланс,  $L$  – скрытая теплота испарения,  $r$  – годовые осадки.

Схема распределения основных типов растительности в зависимости от индекса солнечной радиации и индекса влажности построена В.Л. Черепниным [1999].

Д.И. Назимова [1994, 1995, 1998] подчёркивает решающее значение степени континентальности климата в географии продуктивности растительности. Этот показатель опосредованно учитывает суровость зим, степень промерзания и оттаивания почвы, экстремальные уровни засух и некоторые другие существенные для продуктивности климатические параметры.

Анализируя географические закономерности биологической продуктивности Усольцев применяет блоковые фиктивные переменные по методу Дайпера, Смита [1973, цит. по Усольцеву, 1998а, 2002], с помощью которых он кодируют регионы.

Кроме того, Усольцев анализирует зависимость фитомассы по лесорастительным регионам, взятую в 100 (50) лет с «возрастных трендов» [2001а] или из таблиц биопродуктивности [2002а], в зависимости от индекса континентальности, вычисленного по формуле Ценкера:  $K=(A/\varphi)100$ , где  $A$  – годовая амплитуда температуры,  $\varphi$  – широта. Форма зависимости – линейная, параболическая, логарифмическая или их комбинации. На ста-

статистически достоверном уровне было обнаружено снижение надземной и подземной фитомассы по мере продвижения к полюсу континентальности. При этом отношение подземной фитомассы к наземной возрастало. Теснота связи у видов с широкой экологической амплитудой. Для лиственницы  $R^2$  колеблется от 0,25 до 0,47 в зависимости от вида уравнения и условий произрастания (для высоких бонитетов зависимость выше). Отмечается, что схемы, которые хорошо работают в глобальном масштабе, не объясняют многих закономерностей на региональном уровне. Особенно проблематичным остаётся изменение продуктивности в меридиональном направлении.

Мы анализировали зависимость количества углерода фитомассы лиственничников на единице площади (средние значения для лесхозов) от количества среднегодовых осадков, среднегодовой температуры, высоты над уровнем моря и средним возрастом насаждений (табл. 1.21).

*Таблица 1.21*

Статистические показатели зависимости запасов углерода фитомассы от экологических факторов и среднего возраста древостоя (объяснения в тексте)

Зависимая переменная (углерод)	Множественный R	Множественный $R^2$	Уровень значимости
Экосистемы	0,58	0,33	0,008
Древостоя	0,57	0,33	0,008

Зависимость количества углерода фитомассы лиственничных экосистем на единицу площади от среднегодовых осадков, среднегодовой температуры, высоты над уровнем моря выглядит следующим образом (табл. 1.22).

*Таблица 1.22*

Статистические показатели зависимости запасов углерода фитомассы от экологических факторов (объяснения в тексте)

Зависимая переменная (углерод)	Множественный R	Множественный $R^2$	Уровень значимости
Экосистемы в целом	0,54	0,29	<0,008
Древостоя в целом	0,54	0,29	<0,008
Молодняков I	0,43	0,18	<0,073
Молодняков II	0,47	0,22	0,033
Средневозрастные	0,53	0,28	0,011
Приспевающие	0,50	0,25	0,021
Спелые	0,58	0,34	0,003
Перестойные	0,56	0,31	0,005

Каноническая корреляция между количеством углерода на единице площади по каждой возрастной группе с одной стороны, и среднегодовыми осадками, температурой и высотой над уровнем моря с другой даёт  $R=0,65$ , при  $\text{Chi}^2(18)=29,0$  и  $p=0,048$ .

Затем мы предприняли попытку анализа структуры факторов. Все разнообразие среднегодовых осадков, температур и высот над уровнем моря было разбито на несколько уровней. Осадки и температуры были разделены на 5, а высота над уровнем моря – на 8 градаций. Затем для каждого лесхоза была вычислена площадь территории, с уникальной комбинацией факторов. Затем была вычислена каноническая корреляция между структурой факторов и количеством фитомассы на единице площади по каждой из возрастных групп. Коэффициент корреляции оказался равным 0,74, при  $\text{Chi}^2(108)=181,89$  и  $p=0,00001$ .

Очевидно, что полученные данные указывают на высокую зависимость структуры фитомассы от отмеченных выше экологических факторов. Показана возможность анализа картографического материала и комбинации его со статистическими (не картографическими) данными.

## *Summary*

Northern-East Russia is represented by a combination of mountain ranges and hilly table-lands and swamped plateaus between the ranges. The territory of the region is dissected by rivers Jana, Indigirka, Kolyma, and Anadyr and their tributaries. Diverse elements of relief are presented there – from high mountains (above 3000 m a.s.l.) to vast lowlands at the altitude of 50-100 m a.s.l.

Major part of the region has a very continental climate. The maritime regions are under the impacts of Bering and Okhotsk seas with their cold currents. The amount of precipitation does not exceed 300 mm over a major part of the territory, and the annual average temperature is below  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The Northern pole of cold (with the absolute minimum of  $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) is situated in the central part of Yakutia (settlement Oimjakon).

Cajander's larch (*L. cajanderi* Mayr) is the dominant tree species in Northern-East Russia. Over the areas to south-east from River Lena, it is replaced by Gmelin's larch (*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr). Larch is a very plastic tree species and grows well under diverse climatic and soil conditions. Because larch is a deciduous species, this allows it to survive under extremely low temperatures and lack of humidity. Larch is the most light-requiring species among all major forest forming species of Northern Eurasia.

The severe climatic conditions cause a low diversity of formation and typological structure of the larch forests and sparse woodlands of Northern-East Russia. Sparse forests and woodlands with small shrubs, lichens and mosses

dominate over the entire region. Larch groups of associations with small shrubs and green mosses grow in river valleys, and ones with *Sphagnum* and *Ernics* (shrub birches) – over swamped parts of relief. Altitudinal zoning of forest types is expressed well. The understory of larch forests is represented by *Pinus pumila*, *Salix hastate*, *S. oblongifolia*, *Betula Middendorffii*, *Duschekia fruticosa*, *Rosa acicularis*. The green forest floor is represented by different combinations of *Calamagrostis langsдорffii*, *Pyrola incarnata*, *Carex accrescens*, *C. lugens*, *Eriophorum vaginatum*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vites idaea*, *Empetrum nigrum*, as well as by lichens of genus *Cladina*, *Centaria*, *Cladonia*, and mosses of genus – *Aulacomnium*, *Pleurozium*, *Dicranum*, *Hylocomium*, *Ptilidium*, and *Sphagnum*.

The soil cover on gently sloping elements of relief is represented by Thixotropic and Histic Cryosols. Leptosols, Cambic Podzols and Gelic Cambisols are usual on slopes dependently on stonyness and amount of precipitation. Over the east coast Gelic Podzols and Gleyic Stagnosols are also occur.

Over major part of its growing area, Cajander's larch forms typical for the extreme Siberian North sparse forests and open woodlands with growing stock volume 10 to 60 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Highly productive stocked stands are developed in more favorable conditions of river valleys. The growing stock of such stands can reach up to 500-700 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> in southern parts of the region.

Percent of forest cover of the region comprises 38.4 %. The forested area comprises of 357.9 million ha on which it is accounted for 9990.8 million m<sup>3</sup> stem wood. Larch is an absolutely dominated species in the region (88.9 % by area and 84.4% by growing stock) following by pine (11.4% by growing stock). Mature and overmature stands cover 46 % of the territory. However, there is a substantial share of young forests – 21 %. Average site index of larch forests in the region is V.3 and average relative stocking – 0.51. By types of age stand structure, relatively uneven-aged stands mostly dominate in central and southern parts of the region, and uneven-aged stands dominate in the southern part.

Under the harsh climatic conditions, the input of organic matter into litter is much more intensive than its decomposition. Accumulation of organic matter leads to regular and intensive forest fires. Accounting for the fire scars on cross-sections of tree stems show the fire frequency (fire return interval) of 50 to 100 years dependently on site conditions. Fire is one of major driver of age stand structure and spatial distribution of the forests in the region.

Forests and woodlands of high latitudes maintain a fragile equilibrium of natural processes and hinder from degradation of northern landscapes. Forests provide natural environment for aboriginal nations. They are an inalienable background for preservation of their national culture and traditional activities (reindeer-breeding, hunting, fishery). The biospheric role of forest ecosystems of the extreme North is also very important.

## **2. ЗАПАС ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И УГЛЕРОДА, АККУМУЛИРОВАННОГО В ЛИСТВЕННИЧКАХ**

Активное изучение структуры лесной фитомассы (понимаемой как органическое вещество живых растений экосистемы) началось в России в конце 1960-х годов в связи с Международной Биологической Программой (МБП). Данная программа возникла в ответ на угрозу недостатка ресурсов в связи со стремительным ростом населения Земли. Целью МБП было выявление основных закономерностей распределения и воспроизводства органического вещества в интересах наиболее рационального использования их человеком и получения максимальной продуктивности на единицу площади.

Большие перспективы имеет использование лесной фитомассы в сельском хозяйстве. Кормовая ценность древесной зелени равноценна соломе и примерно в два раза ниже, чем у лугового сена [Репях, Левин, 1988]. Кора древесных пород может быть использована для производства кормовых добавок, так как содержит ряд биологически активных веществ [Рыбинская, Туфанова, 1986]. Существуют технологии переработки древесной коры в удобрения и субстрат для выращивания растений в закрытом грунте. Такой субстрат имеет хорошие водно-физические свойства и, кроме того, является антисептиком, что позволяет использовать его в течение 4-5 лет беспрерывно [Калугина и др., 1987]. Из древесной коры могут быть выработаны топливные брикеты, по теплоотдаче не уступающие бурому углю и торфу. Кроме того, переработка фитомассы нетрадиционными способами имеет социальное значение, так как позволяет создать дополнительные рабочие места. Но наибольшее ресурсное значение фитомасса начинает приобретать как возобновимый источник энергии [Smith, 1982; Kofman, 2007].

Принятие на конференции ООН в 1992 году «Глобального плана действия по охране окружающей среды», «Конвенции по изменению климата» и рамочного соглашения о «Лесных принципах» активизировали исследования биологической продуктивности и перевели их на новый уровень. Леса планеты рассматриваются как уникальный биологический щит, способный предотвратить или уменьшить глобальное изменение климата. Состояние лесов в отдельно взятых странах, особенно таких, как Россия, оказывает влияние на всю планету. Леса приобретают большое значение в международной политике и экономике, особенно после вступления в действие Киотского протокола.

В рамках настоящей работы исследование запаса и структуры фитомассы и продукции лесных экосистем имеет особое значение как материал для познания функционирования лесов на пределе их природного распро-

странения в условиях климатических изменений, так и в связи с глобальным циклом углерода.

Углеродный бюджет лесов России рассматривался во многих работах, из которых наиболее значимыми являются работы Н.И. Базилевич [1993б], А.З. Швиденко и др. [1994, 1995], В.А. Алексеева, Р.А. Бердси [1994, 1998], А.И. Уткина [1981, 1997], А.С. Исаева, Г.Н. Коровина [1998], В.А. Усольцева [1985, 1998, 2001]. Однако перечисленные работы, в силу их общности, не рассматривали особенности и многие важные детали углеродного бюджета Северо-Востока страны.

Запасы фитомассы в лесах России оценивают в 66,45 Пг сухого вещества или 32,86 Пг углерода. Плотность углерода фитомассы в лесах составляет  $4,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$  [Nilsson et al., 2000]. По этой оценке насаждения с преобладанием лиственницы на территории России содержат 22,35 Пг сухого вещества, при плотности углерода  $4,1 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$ .

Согласно другой оценке [Isaev et al., 1995], запасы фитомассы в лесах России составили 71,97 Пг сухого вещества или 35,62 Пг С, при ежегодном поглощении 243,2 Тг С. Данный результат получен с использованием материалов ГУЛФ и конверсионных коэффициентов, вычисленных на основании данных 1900 пробных площадей. Авторы приводят также распределение по основным древесным породам и группам возраста. Фитомасса лиственничников оценивается ими в 20,09 Пг, содержание углерода в фитомассе – 12,92 Пг, годовое депонирование – 43,1 Тг.

Рассматривая структуру фитомассы, ряд исследователей отмечает её особенности у лиственничников Северо-Востока Сибири.

В лесных биогеоценозах севера Сибири наблюдается изреженность крон деревьев лиственницы, их ажурность, а также низкая сомкнутость древесного полога [Софронов, Волокитина, 1996]. Это находит своё отражение и в массе фотосинтезирующего аппарата.

Ещё одной фракцией, выделяемой при хозяйственном (не биологическом) подходе является древесная зелень. Под древесной зеленью хвойных пород понимают охвоенные ветви с диаметром у основания не более 8 мм, заготавливаемые в свежесрубленном состоянии (ГОСТ 21769-76). Соотношение древесины и хвои древесной зелени в свежесрубленном состоянии в средневозрастных сосняках, например, составляет 67-73 к 33-27 [Усольцев, Макаренко, 1978; Бабич, Мерзленко, 1998].

Лиственница самая толстокорая из древесных пород, произрастающих в нашей стране. Объём коры лиственницы, по отношению к объёму ствола составляет по данным Н.Н. Свалова [1974] для Магаданской области 14-17 %, по данным И.Ф. Шурдук [1974] и Л.К. Позднякова [1975] для Якутии – 22-27 %.

Доля корней в общей фитомассе модельных деревьев лиственницы Гмелина составляет 30-45 % [Tajamoto, Abaimov, 2000]. У 3-5 летнего подраста эта величина по их данным составляет только 14-24 %. По другим

данным [Kanazawa et al., 1994; Kajimoto et al., 1997, 1998] доля корней в общей фитомассе модельных деревьев лиственницы в центральной и восточной Сибири составляет 40-50 %.

## 2.1. Методы определения фитомассы

Одним из первых методов, применяемых для определения фитомассы на пробных площадях, был метод среднего дерева [Смирнова, 1951; Ремезов и др., 1963 и др.]. В соответствие с этим методом оценку фитомассы насаждения производили на основании её измерения у одного или нескольких средних деревьев. Как показали дальнейшие исследования, этот метод даёт значительную ошибку, иногда достигающую более 100 %, особенно при оценке фитомассы крон [Поздняков и др., 1969]. При увеличении числа средних моделей до 20, ошибка остаётся все ещё высокой, порядка 35 % в оценке [Бабич, Мерзленко, 1998]. Поэтому впоследствии от этого метода было рекомендовано отказаться [Уткин и др., 1987], хотя значительное число определений фитомассы, особенно подземной, выполнено по методу среднего дерева.

Наиболее популярные и обоснованные методики исследования фитомассы изложены в работах Л.Е. Родина, Н.П. Ремезова, Н.А. Базилевич [1968], А.А. Молчанова, В.В. Смирнова [1967], Л.К. Позднякова, В.В. Протопопова и др. [1969], Программа и методика биогеоэкологических исследований [1966], А.И. Уткина [1975, 1982], Фотосинтез ... [1989].

Т. Satto [1962, 1966] выделил три наиболее распространенных метода оценки фитомассы древостоя: метод среднего дерева, метод отношения площадей сечений модельных деревьев и древостоя, и регрессионный метод. В настоящее время наиболее универсальным и точным признается метод, при котором отбирают модельные деревья, пропорционально представляющие основное разнообразие деревьев по диаметру и, иногда, высоте. Затем полученные данные выравниваются с помощью регрессионного анализа (Протопопов, 1971; Усольцев и др., 1979; Онучин, Борисов, 1984; Усольцев, 1985; Уткин и др., 1988; Азаренок, 2000; Курбанов, 2002 и др.).

D.V. Botkin et al. [1990] приводят следующую методику закладки пробных площадей и вычисления фитомассы. Для рубки отбираются 30 моделей по 5 ступеням толщины. У модельных деревьев измеряют диаметр на высоте 1,3 м, высоту до первой живой ветви и общую высоту дерева. Проводят сплошной пересчет ветвей, при этом отмечают высоту ветви над землей, её длину и диаметр основания. У 3-7 ветвей с каждого модельного дерева отделяют хвою, и побеги текущего года, затем взвешивают, высушивают и опять взвешивают. Затем строят регрессионные уравнения для фитомассы ветвей в зависимости от «объёма» ветви (квадрат диаметра основания перемноженный на длину) и положения в кроне. Ствол раскряжё-

вываают и взвешивают, затем выпиливают 4 диска (у основания дерева, у начала кроны, на середине между основанием и началом кроны, а также в середине кроны) длиной 5-20 см. Для отобранных образцов определяют объём, а также сырой и сухой вес отдельно древесины и коры. Соотношение сухого веса к сырому находится в линейной зависимости от диаметра отрезка древесины. Переход от модельных деревьев к древостоям осуществляется также с помощью линейных регрессионных уравнений. В качестве независимых переменных отбирают 1-3 из следующего списка: диаметр на высоте 1,3 м ( $D$ ), высота дерева ( $H$ ), высота прикрепления кроны ( $H_{кр}$ ),  $D^2H$ ,  $D^2H_{кр}$ , а также квадраты и корни из указанных величин.

Анализируя целый ряд исследований, М.Г. Семечкина и И.В. Семечкин [1973] приходят к выводу, что наиболее надёжным методом определения фитомассы является метод отбора модельных деревьев по ступеням толщины с последующим графическим выравниванием полученных данных в зависимости от диаметра, площади сечения или показателя  $D^2H$ . Многие исследователи [Усольцев, 1985; Уткин и др., 1981] показывают, что увеличение числа моделей свыше 10 при данном методе не приводит к возрастанию точности. А.С. Аткин [1974] отмечает, что при использовании 6-13 модельных деревьев, отобранных методом ступенчатого представительства с последующим графическим выравниванием, ошибка определения фитомассы не превышает 6-7 %. А.А. Бахтин [1988] отмечает, что при отборе по одному среднему дереву из каждой ступени толщины отклонение от контроля (сплошное взвешивание) не превышает 5 %. Н.А. Бабич и М.Д. Мерзленко [1998] сообщают о том, что при отборе 15 модельных деревьев (5 из которых средние для древостоя, 2 – высших рангов и 8 – средние для ступеней толщины) ошибка в оценке фитомассы древостоя не превышает 1 %. Определенная ими ошибка по отдельным фракциям составила: фитомасса древесины ствола – 0,0 %, коры ствола – 7,1 %, ветвей – 2,8 %, сухих сучьев – 1,1 %, древесной зелени – 10,7 %. Погрешности, сообщаемые другими исследователями, существенно выше.

## **2.2. База данных по фитомассе лесов**

Изучение глобальных изменений требует рассмотрения глобального цикла углерода и вклада лесов в этот цикл, что в свою очередь приводит к необходимости изучения отдельных элементов биологической продуктивности лесов. База данных по структуре фитомассы призвана аккумулировать опубликованные данные в этой области в единой структуре и доступной для анализа форме, и быть ориентирована на конкретные цели исследований.

Одна из первых крупных баз данных была собрана и опубликована (в обобщенном виде) Н.И. Базилевич [1993б]. Фитомасса лесов в этой базе приведена отдельно для деревьев, кустарников и кустарничков, трав, мхов



и лишайников, в которых выделены зелёные и одревесневшие части. Для тех же фракций приведена чистая первичная продукция. Подземная фитомасса приведена в целом. Имеются данные о запасах мёртвого органического вещества. Однако в этой базе (в том числе в её оригинальной форме, которая не публиковалась) как правило, отсутствует достаточно полная таксационная характеристика древостоя, что ограничивает её применение в целях моделирования.

Наиболее представительная по количеству наблюдений (5085 шт. на момент публикации) - база данных по фитомассе лесов Северной Евразии разработана В.А. Усольцевым [2001]. Им собрано большинство опубликованных и неопубликованных данных по данному вопросу, как непосредственно измеренных, так и выровненных исследователями по различным моделям. Кроме того, В.А. Усольцевым была восстановлена часть данных, отсутствующая в первоисточниках. Это относится как к таксационным данным (по таблицам хода роста), так и к части данных по фитомассе, что создает некоторые сложности при анализе этих материалов. Вместе с тем, цитируемая база данных не рассматривает подробно нижние яруса леса и подземную фитомассу. Неопределенность, связанная с этими фракциями подчеркивается самим автором [Усольцев, 2001, стр.180].

Признанным авторитетом в данной области является А.И. Уткин, под руководством которого собрана весьма полная по количеству показателей база данных [Замолотчиков и др., 1998]. Этот вывод можно сделать по разносторонности публикуемых на основе этой базы обобщений, однако, база эта опубликована не была, что не позволяет оценить её структуру и возможности.

П.И. Лакида [1997, 2002] собрал базу данных по лесам Европейской части бывшего СССР и ведет базу данных фитомассы деревьев.

Кроме того, данные по фитомассе лесов собирают и анализируют В.А. Алексеев и Р.А. Бердси [1994, 1998] и некоторые другие авторы, но описание собранного ими материала опубликовано не было.

Мы поставили себе целью собрать опубликованные данные по структуре лесной фитомассы, привести их к одним единицам измерения и организовать в единую структуру. Из литературных источников мы отбирали преимущественно данные, полученные на пробных площадях с использованием общепринятых методик.

Начало формирования нашей базы данных было положено в 1995 году при поддержке Международного института прикладного системного анализа (ИАСА). Эта база данных была ориентирована на системное исследование продуктивности лесов в условиях глобальных изменений в масштабе всей страны в целях разработки двух основных вопросов: 1) моделирование фракционной структуры фитомассы лесов на основе данных государственного учёта лесов (ГУЛ), и 2) разработка моделей и нормативов динамики первичной продуктивности лесов. Это предопределяет ряд

специфических требований к базе, например, необходимость знания достаточно подробной таксационной характеристики древостоев.

Наша база была первоначально ориентирована на Азиатскую часть России и по этому региону собрана основная часть доступной информации. Хотя Европейская часть представлена в базе примерно таким же количеством наблюдений, для неё ещё существует достаточно обширный список пока не включенных в базу литературных источников.

База данных содержит следующую информацию.

- Местоположение объекта.
- Лесотипологическая характеристика.
- Таксационная характеристика древостоя.
- Методика определения запасов фитомассы.
- Структура фитомассы в т/га (ствол, кора ствола, ветви, ассимиляционный аппарат и корни деревьев, тонкие корни, подрост, подлесок, напочвенный покров).
- Структура мёртвого органического вещества в т/га (сухие ветви живых деревьев, сухостой, валёж, мёртвые корни, подстилка).
- Первичная продуктивность по фракциям.
- Ссылка на источник.

В табл. 2.1 приводится структура базы данных.

Таблица 2.1

Структура базы данных по фитомассе лесов

Имя поля	Тип поля	Пояснения
ArtKey	N	Номер по порядку
Ecoreg	A5	Местонахождение объекта
Number of test plots	S	Число пробных площадей
Tree species	S	Преобладающая древесная порода
Composition	A21	Состав древостоя
Structure of age	A9	Возрастная структура (одновозрастные, разновозрастные древостои)
Forest type	A40	Тип леса
Origin	A10	Происхождение (семенное, вегетативное, лесные культуры)
Method	A45	Описание методики определения фитомассы
Site index	N	Бонитет древостоя
Age	S	Средний возраст, лет
High	N	Средняя высота, м
Diameter	N	Средний диаметр, см
Tree number	N	Число стволов на 1 га, шт
Relative stoking	N	Полнота
Basal area	N	Площадь сечения, м <sup>2</sup> ·га <sup>-1</sup>
Growing stock	N	Запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup>
Stem & bark	N	Фитомасса стволовой древесины в коре, т·га <sup>-1</sup>
Bark	N	Фитомасса коры ствола, т·га <sup>-1</sup>

Окончание таблицы 2.1

Имя поля	Тип поля	Пояснения
Wood & bark of crown	N	Фитомасса ветвей без листьев, т·га <sup>-1</sup>
Leaves & needles	N	Фитомасса листьев и хвои, т·га <sup>-1</sup>
LAI	N	Листовой индекс, м <sup>-2</sup> ·га <sup>-2</sup>
Stump & roots	N	Фитомасса корней и пня, т·га <sup>-1</sup>
Roots<1mm	N	Фитомасса корней диаметром менее 1 мм, т·га <sup>-1</sup>
Roots<2mm	N	Фитомасса корней диаметром менее 2 мм, т·га <sup>-1</sup>
Roots<3mm	N	Фитомасса и корней диаметром менее 3 мм, т·га <sup>-1</sup>
Roots<5mm	N	Фитомасса корней диаметром менее 5 мм, т·га <sup>-1</sup>
Roots <7mm	N	Фитомасса корней диаметром менее 7 мм, т·га <sup>-1</sup>
Undergrowth	N	Фитомасса подроста (без корней), т·га <sup>-1</sup>
Bushes	N	Фитомасса подлеска (без корней), т·га <sup>-1</sup>
Undergrowth & Bushes	N	Фитомасса подроста и подлеска (без корней), т·га <sup>-1</sup>
Und & Bush with roots	N	Фитомасса подроста и подлеска с корнями, т·га <sup>-1</sup>
Green forest floor	N	Фитомасса живого напочвенного покрова без корней, т·га <sup>-1</sup>
GFF with roots	N	Фитомасса живого напочвенного покрова с корнями, т·га <sup>-1</sup>
Dead tree	N	Биомасса сухостоя, т·га <sup>-1</sup>
Dead tree & deadfall	N	Биомасса сухостоя и валежа, т·га <sup>-1</sup>
Dead branches	N	Биомасса мёртвых ветвей, т·га <sup>-1</sup>
Dead roots	N	Биомасса мёртвых корней, т·га <sup>-1</sup>
Litter	N	Запас подстилки, т·га <sup>-1</sup>
Soil type	N	Название почвы
Author	A60	Авторы
Reference	A60	Название публикации
Comments	A200	Комментарий

S, N – числовые поля, A – текстовые

Для фракции корней особое внимание уделялось тонким (<2 мм в диаметре), роль которых в оценке первичной продукции экосистем велика [Li et al., 2003]. Для нижних ярусов мы отмечали отдельно подрост, подлесок, живой напочвенный покров, их надземную и подземную часть, живую и мёртвую. Мы не прибегали к восстановлению данных фитомассы, оставив это на этап моделирования. Если какая-либо фракция отсутствовала в первоисточнике, то отмечалось, существовала ли она в изучаемом объекте, или просто не была измерена. Такой подход позволяет более точно оценить запасы фитомассы в нижних ярусах леса и их роль в балансе углерода, а также рассматривать погрешности разрабатываемых моделей формальными методами.

В табл. 2.2 приведено распределение количества наблюдений по регионам, зонам природы и основным лесообразующим породам.

Таблица 2.2

Распределение количества пробных площадей по регионам, зонам и лесообразующим породам

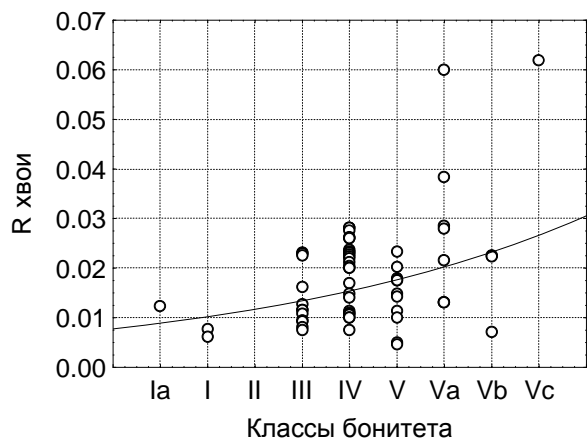
Зона	Количество пробных площадей по древесным породам												
	С	Е	П	Л	К	Д	Бк	Б	Ос	Ол	Лп	Кдс	Итого
Европейская часть													
северная тайга	45	80	–	2	–	–	–	4	–	1	–	–	132
средняя тайга	64	115	–	–	–	–	–	14	4	8	–	–	205
южная тайга	149	92	6	15	1	79	9	65	32	39	121	–	608
лесостепь	436	43	–	12	–	254	31	58	8	8	119	–	969
Итого	694	330	6	29	1	333	40	141	44	56	240	–	1914
Азиатская часть													
северная тайга	7	3	–	105	–	–	–	5	1	–	–	9	128
средняя тайга	130	24	56	127	26	–	–	22	8	–	–	2	395
южная тайга	66	32	54	96	52	7	–	49	40	–	–	9	404
лесостепь	336	33	10	7	25	–	–	194	100	–	1	–	707
Итого	539	92	120	335	103	7	–	270	149	–	1	19	1636
Россия в целом													
северная тайга	52	83	–	107	–	–	–	9	1	1	–	9	260
средняя тайга	194	139	56	127	26	–	–	36	12	8	–	2	600
южная тайга	215	124	60	111	53	86	9	114	72	39	121	9	1013
лесостепь	772	76	10	19	25	254	31	252	108	8	120	–	1675
Всего	1233	422	126	364	104	340	40	411	193	56	241	19	3550

Сокращенное наименование древесных пород: С – сосна, Е – ель, П – пихта, Л – лиственница, К – сосна сибирская, Д – дуб, Бк – бук, Б – берёза, Ос – осина, тополь, Ол – ольха, Лп – липа, Кдс – кедровый стланик

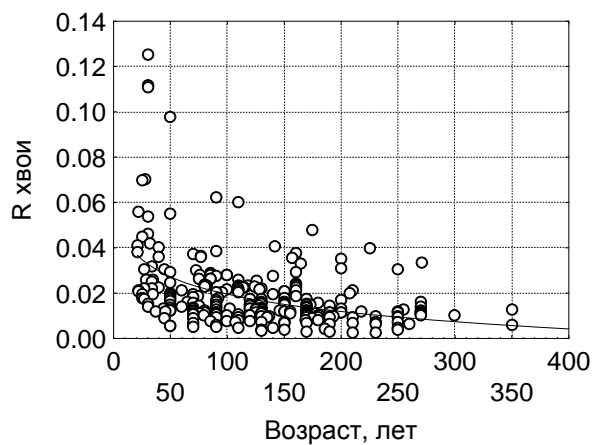
Одной из основных задач, предполагаемых к решению на основе нашей базы данных, является установление взаимосвязи между таксационными показателями и фитомассой лесных экосистем. Учёт лесного фонда содержит долговременные серии таксационных показателей лесного покрова. Поэтому, установив закономерности взаимосвязи весовых показателей фитомассы и таксационных показателей древостоев, можно оценить запасы фитомассы для всего лесного фонда. Довольно часто в качестве зависимой переменной выбирают не саму массу фракций фитомассы, а её отношение к массе [Углерод ..., 1994] или объёму ствола [Поздняков и др., 1969; Токмурзин, Нурпеисов, 1976; Протопопов, Зюбина, 1977; Онучин, Борисов, 1984; Усольцев, 1988а, б; Замолотчиков и др., 1998; Shepa-shenko et al., 1988 и др.].

Первый подход сопровождается более значительными погрешностями, связанными с необходимостью знания условной плотности стволовой древесины, которая существенно варьирует в зависимости от таксационных показателей древостоев и географического района. В то же время, отношение массы фракций фитомассы к объёму ствола ( $R$ ) обеспечивает высокую точность и адекватность регрессионных уравнений, а также позволяет более глубоко проследить географические особенности изучаемых закономерностей. Например,  $R$  хвой уменьшается с увеличением возраста, полноты и улучшением условий произрастания (рис.2.1). Масса коры лиственницы выше в южной тайге, хотя  $R$  коры, отражающее его долю в запасе древесины падает при продвижении с севера на юг (рис. 2.2).

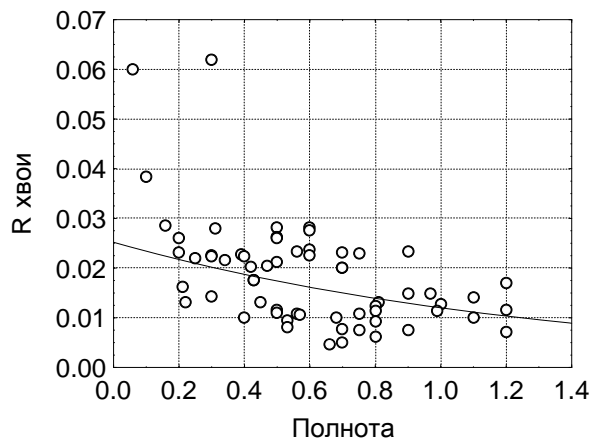
Созданная на основе описанной базы данных система многомерных моделей была использована для расчета запасов углерода в лесах Сибири и России [Shepashenko et al., 1998]. Она также использована для разработки моделей динамики биопродуктивности лесов России, в частности для оценки динамики чистой первичной продукции модальных и нормальных насаждений основных лесообразующих пород России. База постоянно пополняется. В настоящее время она доступна для всех пользователей ([http://www.iiasa.ac.at/research/FOR/forest\\_cdrom/](http://www.iiasa.ac.at/research/FOR/forest_cdrom/)).



а)

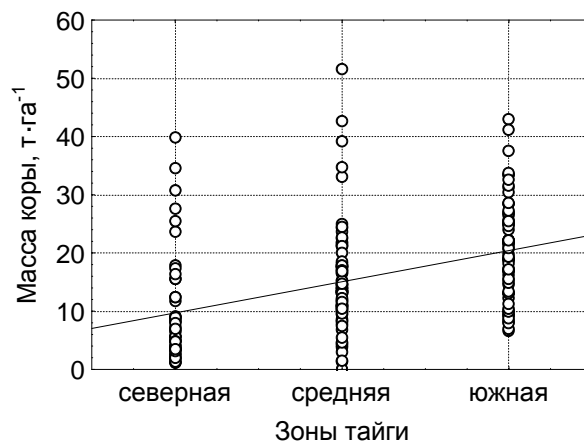


б)

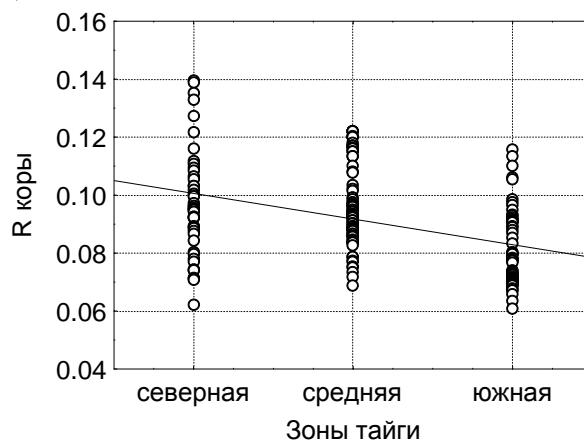


в)

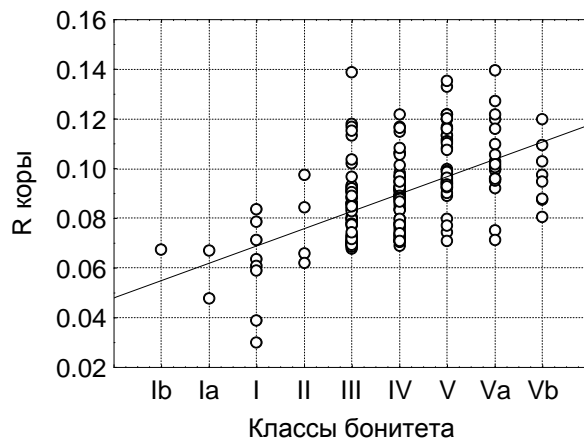
Рис. 2.1. Зависимость конверсионного коэффициента (R) хвои (отношение массы хвои к запасу древесины) от некоторых таксационных характеристик древостоя. На рисунках а и в показаны данные древостоев в возрасте от 80 до 120 лет.



а)



б)



в)

Рис. 2.2. Масса (а) и конверсионные коэффициенты (б) коры (отношение массы коры к запасу древесины) в различных подзонах тайги, а также зависимость конверсионного коэффициента коры от класса бонитета (в)

### 2.3. Модели фракций фитомассы

Масса дерева и его частей зависит от его размеров. Поскольку размеры определить проще, чем массу, то многие исследователи регрессионные уравнения для определения фитомассы строили на основе такой зависимости. Достаточно полные обзоры литературы по данной проблеме сделаны А.И. Уткиным [1982] и В.А. Усольцевым [1985, 1988б]. Исследователи используют различные параметры и типы функций, однако подход к этой проблеме мало изменился с 1944 года, когда J.I. Kittredge впервые применил аллометрическую функцию для оценки массы листвы, используя уравнение

$$M_{fr} = aD_{1,3}^b,$$

где  $M_{fr}$  – масса фракции фитомассы;  $D_{1,3}$  – средний диаметр на высоте 1,3 м;  $a$ ,  $b$  – коэффициенты.

В.Н. Габеев [1990] для сосны в Западной Сибири использовал следующее уравнение, выделив предварительно несколько классов диаметра и высот

$$M_{fr} = a(D_{1,3}^2 H)^b.$$

А.Л. Гутман, В.В. Успенский [1987] использовал следующую функцию для оценки общей фитомассы массы насаждения

$$M = ae^{bA},$$

где  $A$  – возраст насаждения.

Р.И. Lakida [1994] использовал функции

$$P_k = aD_{1,3}^b H^c \quad \text{и} \quad M_{fr} = a \cdot D_{1,3}^b \cdot H^c \cdot RS^d,$$

где  $P_k$  – процент коры в стволе;

$RS$  – полнота насаждения.

В.А. Усольцев [1988] при определении фитомассы использовал в качестве независимых переменных возраст, среднюю высоту насаждения в 100 лет и средний диаметр на высоте 1,3 м.

$$M_{fr} = aA^b D_{1,3}^c H^d.$$

С.Г. Рождественский и др. [1985] проанализировали пригодность различных видов функции для моделирования зависимости массы фракций фитомассы от таксационных показателей. По мнению авторов, наилучшим

видом является парабола, аргументами которой может быть  $D_{1,3}^2 H$  или  $D_{1,3}$ .

Л.С. Пшеничникова [1989] сравнила полином второй степени и степенную функцию для выражения зависимости массы древесины от диаметра ствола дерева. Степенная функция даёт более высокий  $R^2$ . Автор использовал степенную функцию для молодняков сосны в районе Ангары, выделив предварительно несколько групп по запасу древостоя.

Ю.Ф. Железников [1981] применил следующее уравнение для оценки фитомассы монгольского дуба в Приморье. Стандартная ошибка по данным автора не превышает 5-7 %.

$$M_{fr} = a + bD_{1,3} + cD_{1,3}^2$$

Существует тесная корреляция между массой кроны и диаметром дерева на высоте начала кроны [Satto, 1970; Усольцев, 1988]. Однако этот показатель сложен для измерения и по нему не накоплено достаточно большого объёма данных. В.А. Усольцев, А.А. Сальников [1993] приводят функцию динамики фитомассы ( $M_{fr}$ ) древесины и коры кроны, а также листьев берёзы в Урало-Казахском регионе как

$$M_{fr} = aD_{bcr}^b,$$

где  $D_{bcr}$  - диаметр дерева на высоте основания кроны.

Н.П. Гордина [1985] для оценки массы фракций фитомассы сосновых лесов Средней Сибири использовала выражение

$$M_{fr} = a_0 + a_1 \cdot A + a_2 \cdot RS + a_3 \cdot A^2 + a_4 \cdot RS^2 + a_5 \cdot A \cdot RS,$$

где  $A$  – возраст насаждений;

$RS$  – полнота

М.Г. Семечкина [1978] отмечает, что регрессионный анализ вполне применим для оценки фракций фитомассы. Параметрами функции могут быть  $D_{1,3}$  или  $D_{1,3}^2 H$ , где  $D_{1,3}$  – диаметр на высоте 1,3 м,  $H$  – высота дерева. Она построила следующие модели для оценки фракций фитомассы сосновых лесов Сибири.

$$M_{fr}, \% = c_0 + \frac{c_1}{RS} \quad (\text{все фракции фитомассы}),$$

$$M_{fr}, \% = c_0 + c_1 \cdot BA \quad (\text{ствол ветви и крона}),$$

$$M_{fr}, \% = c_0 + \frac{c_1}{BA} \quad (\text{хвоя}),$$

$$M_{fr}, \% = c_0 + \frac{c_1}{D_{1,3}} \quad (\text{ствол ветви и крона}),$$

$$M_{fr}, \% = c_0 + c_1 \cdot D_{1,3} \quad (\text{хвоя и мёртвые ветви}),$$

$$M_{fr}, \% = c_0 + c_1 \cdot H \quad (\text{хвоя и крона}),$$



$$M_{fr}, \% = c_0 + c_1 / H \quad (\text{ствол и ветви}),$$

$$M_{fr}, \% = c_0 \cdot e^{c_1 \cdot \ln H + c_2 \cdot \ln^2 H} \quad (\text{мёртвые ветви}),$$

$$M_{fr}, \% = c_0 + c_1 \cdot A \quad (\text{ствол}),$$

$$M_{fr}, \% = c_0 + c_1 / A \quad (\text{ветви и крона}),$$

$$M_{fr}, \% = c_0 + c_1 \cdot A + c_2 \cdot A^2 \quad (\text{мёртвые ветви}),$$

$$M_{fr}, \% = c_0 \cdot e^{c_1 \cdot \ln A + c_2 \cdot \ln^2 A} \quad (\text{хвоя}),$$

где  $VA$  – сумма площадей сечений древостоя на высоте 1,3 м.

Э.А. Курбанов [2002], проанализировав различные формы зависимости массы фракций фитомассы от таксационных параметров сосны в Волго-Вятском регионе, использовал полиномы 2 степени, степенные и логарифмические функции. Для нижних ярусов леса и древесного детрита использованы зависимости от возраста древостоя, фитомассы кроны – от среднего диаметра ствола. Все регрессионные уравнения построены дифференцировано по классам бонитета. При этом квадрат множественного корреляционного отношения  $R^2$  для всех фракций составляет около 0,8, кроме детрита ( $R^2$  около 0,7).

По мнению ряда ученых, структура фитомассы зависит в большей степени от бонитета и в значительно меньшей степени от географического положения [Москалюк, 1988; Поздняков и др., 1969 и др.].

### **2.3.1. Комбинирование моделей динамики фитомассы с таблицами хода роста и данными государственного учёта лесного фонда**

В том случае, если модели фитомассы планируется комбинировать с таблицами хода роста или данными учёта лесного фонда, как правило, моделируют не саму массу, а отношение  $R_i$  массы отдельных фракций фитомассы  $F_i$  к запасу древостоя  $GS$ , как функцию таксационных показателей  $T_j$ , определяемых при практических лесоучётных работах, т.е.

$$R_i = F_i / GS = f(T_j) \quad (2.1)$$

Тогда, зная запас древостоя (определенный независимо от  $R_i$ , например при лесоустройстве), фитомасса фракций очевидным образом получается из уравнения (2.1).

Переводной (конверсионный) коэффициент типа (2.1) впервые был предложен Ф.Флури [Flury, 1892, цит. по Усольцеву, 2002] для оценки объёма ветвей по объёму ликвидной древесины. Позднее переводной коэффициент получил большое распространение в отечественных и зарубежных исследованиях [Поздняков и др., 1969; Токмурзин, Нурпеисов, 1976; Зубина, 1971; Онучин, Борисов, 1984; Усольцев, 1988 и др.]. Некоторые

исследователи использовали отношение массы фракции к массе ствола [Алексеев, Бердси, 1994] или долю фракции в общей массе [Семечкина, 1978], однако эти коэффициенты получили меньшее распространение.

Оценка фитомассы древостоев по составляющим фракциям намного более трудоёмка, чем традиционные методы таксации запаса стволовой древесины. Учёт лесного фонда проводится многие годы, накоплено огромное количество данных пробных площадей, составлены таблицы хода роста и другие нормативные материалы. Данные о запасах и продуктивности фитомассы всё ещё малочисленны и отрывочны. Поэтому использование переводных коэффициентов позволяет привлечь данные и нормативы, накопленные таксационными методами для оценки биопродуктивности.

На основе анализа публикаций В.А. Усольцев [1998] выделяет несколько видов моделей.

1. Расчёт среднего значения переводного коэффициента для той или иной породы [Оприорова и др., 1982; Birdsey, 1992; Kolchugina, Vinson, 1993 и др.].
2. Переводной коэффициент дифференцируется по породам и группам возраста [Исаев и др., 1993; Алексеев, Бердси, 1994; Замолотчиков и др., 1998 и др.].
3. Для расчёта переводного коэффициента производится в зависимости от породы, возраста, бонитета [Lakida, 1994; Lakida et al., 1997; Penner, 1997].
4. Значение коэффициента уточняется с помощью показателя, отражающего вместе с остальными таксационными параметрами густоту древостоя. Некоторые авторы использовали для этого запас древостоя [Онучин, Борисов, 1984], другие относительную полноту [Швиденко, Нильссон, 1997; Lakida et al., 1997; Schepaschenko et al., 1998], третий средний диаметр и число стволов [Усольцев и др., 1985; Усольцев, 1988, 1998, 2002].

В.В. Протопопов [1971] опубликовал отношение массы к запасу для крон и хвои (листвы) основных лесообразующих пород лесостепной зоны Средней Сибири. В частности результаты для лиственницы старше 40 лет оказались равными 0,046 и 0,013 соответственно.

А.А. Онучин, А.Н. Борисов [1984] для построения таблиц биопродуктивности сосновых лесов использовали выражение

$$K_{fr} = \frac{M_{fr}}{V_{st}} = a_0 + a_1 SI + a_2 \ln A + a_3 \ln V_{st} + a_4 \ln A \ln V_{st}$$

где  $M_{fr}$  – масса фракций фитомассы в абсолютно сухом виде, т·га<sup>-1</sup>;  
 $V_{st}$  – запас, м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>;  
 $SI$  – бонитет (Ia=0, I=1, II=2,...);  
 $A$  – возраст.

Р. Lakida [1994] использовал следующий вид функций для оценки структуры лесной фитомассы в европейской части бывшего СССР.

$$M_{fr}/V_{st} = a \cdot A^b \quad \text{и} \quad M_{fr}/V_{st} = a \cdot A^b \cdot H_{120(60)}^c,$$

где  $H_{120(60)}$  – высота древостоя в возрасте 120 (60) лет по общебонитировочной шкале.

В.А. Усольцев [1987, 1988, 1998, 2002 и др.] строит зависимость отношения массы к запасу от возраста, высоты в 100 лет, числа стволов на 1 га и диаметра на высоте 1,3 м.

$$M_{fr}/V_{st} = f(A, H_{100}, N, D_{1,3})$$

При этом, стремясь максимизировать статистические показатели точности аппроксимации  $R_i$ , он использует достаточно громоздкие конструкции аллометрического типа. Например, в работе В.А. Усольцева и др. [1994] применены следующие уравнения динамики фракций фитомассы для ели и сосны на Среднем Урале.

Для сосны:

$$\ln(M_{fr}/V_{st}) = a_0 + a_1 \ln A + a_2 \ln H_{100} + a_3 \ln N + a_4 \ln^2 N + a_5 \ln^3 A + a_6 \ln^2 A +$$

$$+ a_7 \ln A \ln D_{1,3} + a_8 \ln^2 A \ln N$$

и ели:

$$\ln(M_{fr}/V_{st}) = a_0 + a_1 \ln^2 A + a_2 \ln D_{1,3} + a_3 \ln A \ln D_{1,3} + a_4 \ln N + a_5 \ln^2 N + a_6 \ln A \ln N +$$

$$+ a_7 \ln H_{100} + a_8 \ln D_{1,3} \ln N + a_9 \ln^2 A \ln N + a_{10} \ln A \ln H_{100} + a_{11} \ln^2 A \ln H_{100}$$

В.А. Алексеев, Р.А. Бердси [1994] использовали конверсионные коэффициенты (КК), которые представляют собой отношение массы фракций фитомассы ( $M_f$ ) к массе ствола ( $M_{st}$ ) для оценки запасов углерода в лесах и болотах России.

$$КК = \frac{M_f}{M_{st}} = aA^b,$$

где  $A$  – возраст насаждений.

КК были рассчитаны для коры, кроны (живые и мёртвые ветви, листья/хвоя), корней, общей фитомассы, нижних ярусов леса (подроста, подлеска, живого напочвенного покрова). Коэффициенты разделены по зонам (северная, средняя и южная тайга, лесостепь; отдельно для европейской и азиатской части России) и по главным лесобразующим породам (сосна, ель, пихта, лиственница, кедр, берёза, осина).

Однако опыт показывает, что использование отношения массы к запасу более целесообразно, поскольку обеспечивает в практических приложениях более высокую точность, чем использование отношения  $M^i$  к массе стволовой древесины древостоя. Последняя включает дополнительную

ошибку, связанную с тем, что условная плотность стволовой древесины (необходимая для перехода от запаса к массе) зависит от географического района и местных условий произрастания.

Некоторыми исследователями было предпринято выравнивание показателей фитомассы насаждений одного естественного ряда (аналогично принятому при составлении ТХР). В качестве примера можно привести эскиз таблиц биопродуктивности лиственных древостоев южной Эвенкии [Красиков, 1987], липняков лесостепи Башкирского Предуралья [Габделхаков, 1997]. Однако количество пробных площадей, использованных при построении этих таблиц невелико. Поэтому они не обеспечивают большую точность, чем метод совмещения ТХР и моделей фитомассы.

### **2.3.2. Принятые методы моделирования динамики фитомассы**

Для анализа и моделирования мы приняли следующее деление лесного насаждения на фракции:

- ствол в коре;
- кора ствола;
- древесина и кора кроны;
- фотосинтезирующий аппарат деревьев (листья и хвоя);
- комель и корни деревьев;
- подрост и подлесок (надземная и подземная части);
- живой напочвенный покров (надземная и подземная части).

В качестве зависимой переменной мы взяли отношение ( $R_{fr}$ ) массы фракции фитомассы ( $M_{fr}$ ) к запасу древесины в коре ( $GS$ )

$$R_{fr} = M_{fr} / GS$$

Для оценивания  $R$  была использована описанная выше база данных, включающая около 3500 пробных площадей, на которых производилось непосредственное определение фракций фитомассы и измерялись необходимые таксационные показатели древостоев (раздел 2.1; Швиденко и др., 2001]. В целях выбора «лучшей» аналитической формы испытывалось 11 различных нелинейных уравнений.

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = (c_0 + c_1 \cdot SI + c_2 \cdot SI^2 + c_3 \cdot A + c_4 \cdot A^2 + c_5 \cdot SI \cdot A) \cdot A^{c_6} \cdot GS^{c_7} \quad (2.2)$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = (c_0 + c_1 \cdot SI + c_2 \cdot SI^2) \cdot A^{c_3} \cdot GS^{c_4} \quad (2.3)$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = c_0 \cdot A^{c_1} \cdot GS^{c_2} \quad (2.4)$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = c_0 \cdot A^{c_1} \cdot SI^{c_2} \quad (2.5)$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = c_0 \cdot SI^{c_1} \cdot A^{c_2} \cdot GS^{c_3} \quad (2.6)$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = (c_0 + c_1 \cdot A + c_2 \cdot A^2) \cdot A^{c_3} \cdot GS^{c_4} \quad (2.7)$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = (c_0 + c_1 \cdot RS + c_2 \cdot RS^2) \cdot SI^{c_3} \cdot A^{c_4} \quad (2.8)$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = c_0 \cdot SI^{c_1} \cdot A^{c_2} \cdot RS^{c_3} \quad (2.9)$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = c_0 \cdot SI^{c_1} \cdot A^{(c_2 + c_3 \cdot RS + c_4 \cdot RS^2)} \quad (2.10)$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = c_0 (1 - c_1 \cdot RS) \cdot RS^{c_2} \cdot A^{c_3} \cdot SI^{c_4} \quad (2.11)$$

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = c_0 \cdot A^{c_1} \cdot SI^{c_2} \cdot RS^{c_3} \cdot EXP(C_4 \cdot A + C_5 \cdot RS) \quad (2.12)$$

где  $M_{fr}$  – масса фракций фитомассы;  
 $GS$  – запас древостоя, м<sup>3</sup>/га;  
 $A$  – возраст, лет;  
 $SI$  – показатель, отражающий продуктивность насаждений  
(класс бонитета или средняя высота в базовом возрасте);  
 $RS$  – относительная полнота;  
 $c_0, c_1, \dots, c_5, \dots$  – параметры моделей.

Основанием для выбора того или иного типа уравнений служили представления о характере зависимости моделируемого показателя (монотонность, наличие экстремальных значений) и показатели статистической точности аппроксимации и адекватности моделей, проверяемые стандартным путем.

При выборе набора независимых переменных мы исходили из того, что:

- их должно быть достаточно, чтобы надежно и адекватно отобразить разнообразие моделируемых закономерностей для лесов России;
- их не должно быть слишком много, так как это накладывает дополнительные требования к количеству исходных данных и поведение функции становится сложно объяснимым с биологической точки зрения;
- все показатели должны присутствовать в данных государственного учёта лесного фонда (ГУЛФ).

Испытание уравнений (2.3) – (2.12) привело к заключению о целесообразности использования в качестве основной модели вида (2.12). Прак-

тически для всех пород, регионов и фракций это уравнение имеет наивысшие статистические показатели точности и адекватности. Функция не является излишне громоздкой и её поведение соответствует современным представлениям о зависимости фитомассы от основных таксационных показателей древостоев. Так, первая часть функции ( $c_0 \cdot A^{C_1} \cdot SI^{C_2} \cdot RS^{C_3}$ ) обеспечивает монотонный рост (или уменьшение) фитомассы определенной фракции с увеличением возраста, полноты и бонитета (что соответствует традиционной аллометрии). Например, конверсионный коэффициент ствола может расти с возрастом и полнотой, но уменьшаться с увеличением класса бонитета. Конверсионный коэффициент коры и корней может уменьшаться с ростом класса бонитета.

Вторая часть ( $EXP(C_4 \cdot A + C_5 \cdot RS)$ ) способна обеспечить плавный перегиб в зависимости от возраста и полноты. То есть насаждение может иметь максимум некоторой фракции фитомассы для определенных возраста и полноты, при дальнейшем увеличении этих таксационных показателей фитомасса начнет уменьшаться.

При определении полноты мы использовали единые стандартные таблицы сумм площадей сечения и запасов [Общесоюзные нормативы..., 1992].

Рекомендация В.А. Усольцева [2002] об использовании среднего диаметра и числа стволов вместо полноты имеет смысл для отдельных древостоев, где эти показатели определяется непосредственно. Однако это мало приемлемо для комбинирования моделей фитомассы и ТХР, так как число стволов в таблицах является производной величиной, вычисляемой на основе сумм площадей сечения и среднего диаметра древостоя. Агрегированные данные ГУЛФ числа стволов и среднего диаметра не содержат, и вообще эти показатели для совокупностей древостоев сильно варьирует и особого смысла не имеет. В случае их использования при оценке запасов фитомассы по данным ГУЛФ их пришлось бы восстанавливать косвенным (и вообще говоря, произвольным) путем, что только увеличивало бы ошибку моделирования.

Использование класса бонитета в уравнениях встречает иногда критику со стороны ряда специалистов, утверждающих, что бонитет является порядковой, а не арифметической величиной. Однако, исходя из того, что 1) качество условий местопроизрастания, отражённое в классификации по бонитетам есть величина непрерывная и 2) отмечая тесную связь ( $r > 0,99$ ) бонитета со средней высотой древостоев в 100 лет, использование кодированных значений бонитета столь же правомерно, как, например, средней высоты в 100 лет.

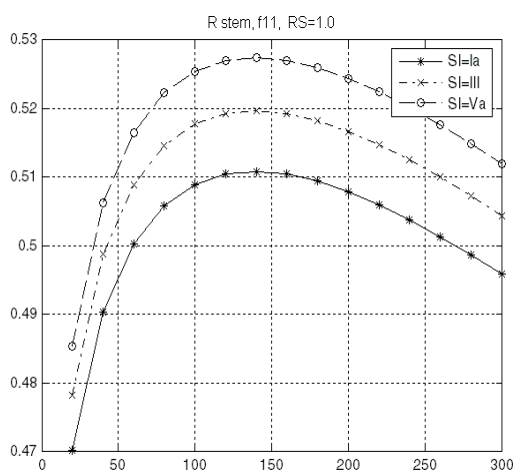
Коэффициенты моделей (уравнение 2.12) для оценки фитомассы лиственных древостоев приведены в табл. 2.3. На рис. 2.3-2.9 представлены графические иллюстрации разработанных моделей.

Использование отношения массы к запасу оказалось менее приемлемо для оценки фитомассы нижних ярусов лиственных экосистем (подроста, подлеска и живого напочвенного покрова), поскольку эти показатели в большей мере зависят от типологических особенностей лесов, чем от таксационных признаков насаждений. Однако, учитывая, что 1) сводные данные по типам леса в агрегированных данных ГУЛФ страны не приводятся и 2) фитомасса нижних ярусов составляет, как правило, незначительную величину (до нескольких процентов от общего количества фитомассы), мы сохранили уравнение (4) и для этой цели. Однако моделировали не  $R$ , а непосредственно массу фракций. Этот подход показал лучшие результаты, так как масса нижних ярусов леса слабо зависит от запаса насаждения, но типологические особенности находят отражение в полноте и бонитете древостоя.

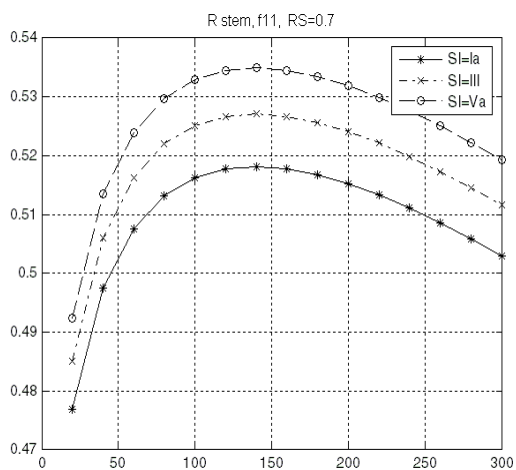
Таблица 2.3

Коэффициенты моделей (уравнение 2.12) для оценки фитомассы лиственных древостоев

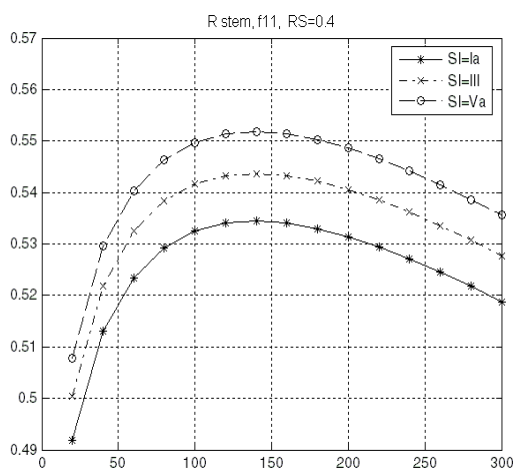
Фракции фитомассы	Зависимая переменная	Оценки параметров/ стандартная ошибка						$R^2$	N
		$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$		
Ствол	$M_{fr}/GS$	0,3387 0,0423	0,0766 0,0329	0,0364 0,0470	-0,0825 0,0291	-0,0006 0,0003	0,0508 0,0467	0,13	271
в т.ч. кора	$M_{fr}/GS$	0,0311 0,0072	-0,0289 0,0525	0,6192 0,0778	0,0036 0,0517	-0,0004 0,0005	-0,1444 0,0893	0,38	201
Ветви	$M_{fr}/GS$	0,5197 0,3231	-0,9132 0,1441	0,7981 0,2404	-0,2485 0,1506	0,0051 0,0016	-0,3437 0,3196	0,34	273
Хвоя	$M_{fr}/GS$	0,0812 0,0355	-0,9576 0,1219	0,7698 0,1693	-0,5758 0,0907	0,0043 0,0013	0,5305 0,1623	0,42	273
Корни	$M_{fr}/GS$	0,0450 0,0381	-0,2149 0,1545	0,8342 0,2533	-0,6664 0,2949	0,0009 0,0019	0,4961 0,4490	0,39	63
Подрост и подлесок	$M_{fr}$	0,0005 0,0041	2,2190 1,8983	-0,9409 0,8929	-0,7964 0,3705	-0,0075 0,0112	0,2050 1,5134	0,35	91
Живой напочвенный покров	$M_{fr}$	0,1103 0,2855	0,1646 0,4470	2,1700 0,5255	0,9692 0,4674	0,0009 0,0030	-2,9794 1,2063	0,36	115



а)



б)



в)

Рис. 2.3. Изменение конверсионного коэффиц. ствовой фитомассы древостоев лиственницы с возрастом в зависимости от бонитета (SI) и полноты (RS)

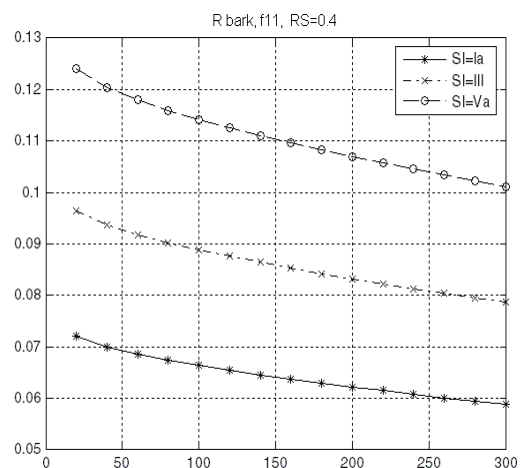
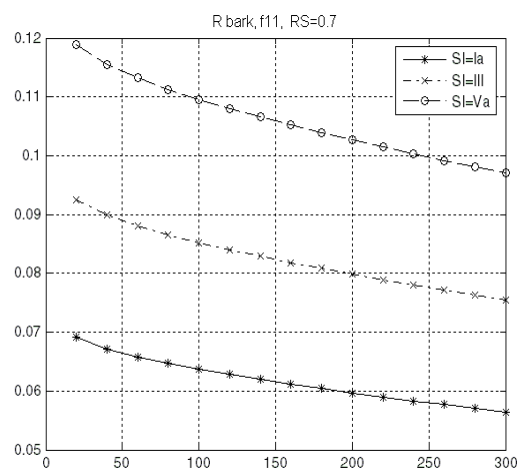
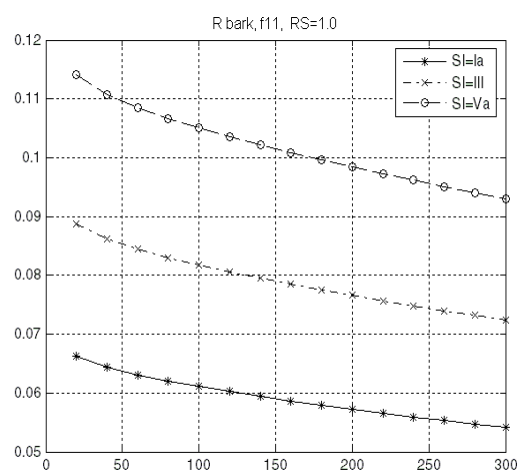
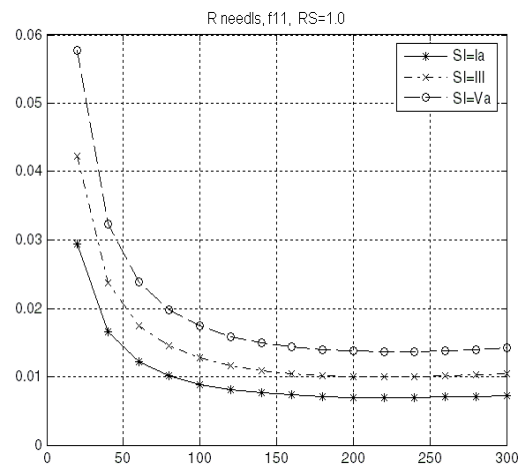
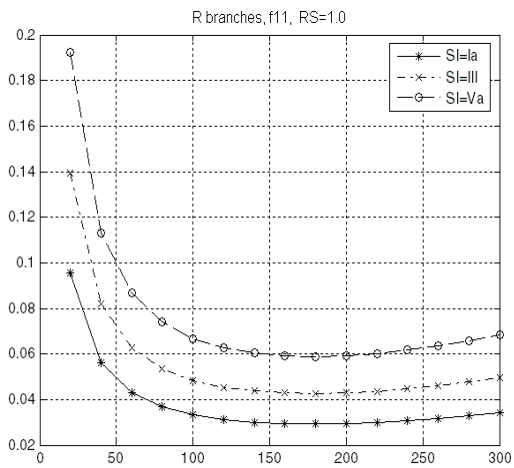
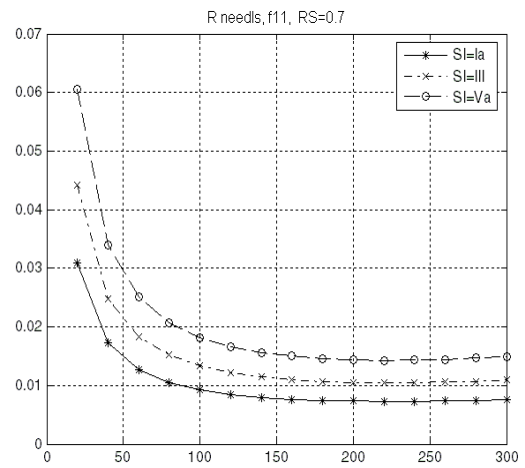
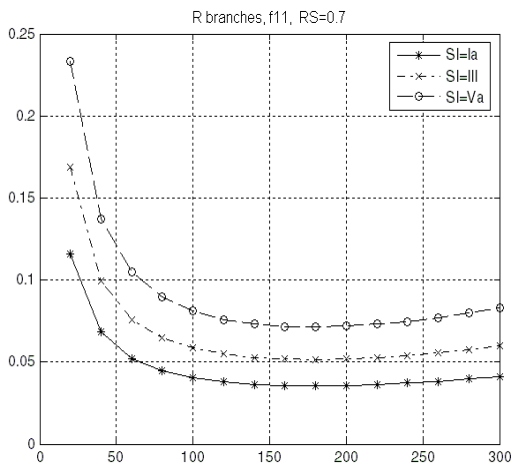


Рис. 2.4. Изменение конверсионного коэффицента фитомассы коры с возрастом в зависимости от бонитета (SI) и полноты (RS)

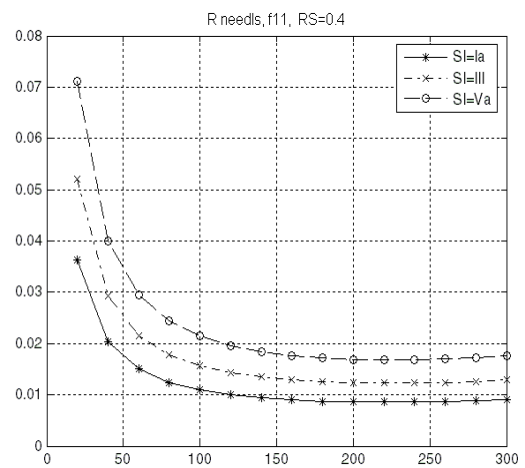
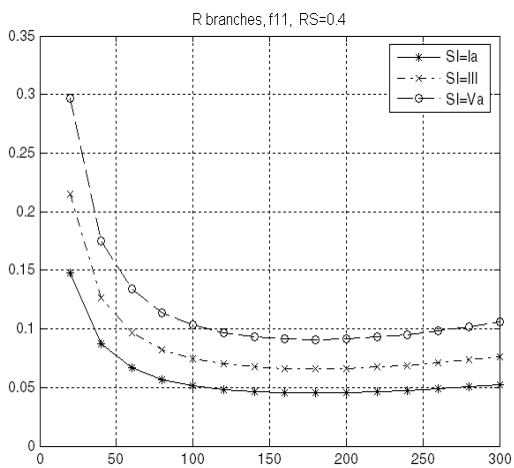




a)



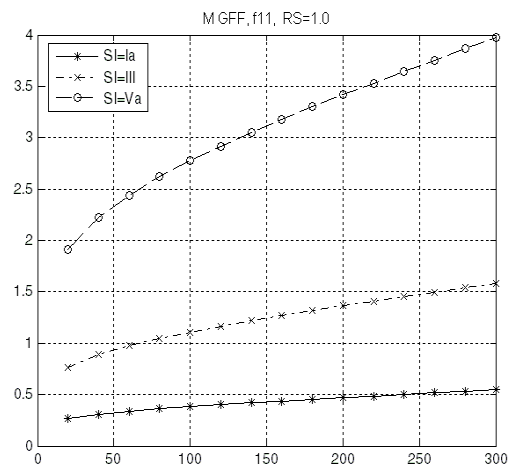
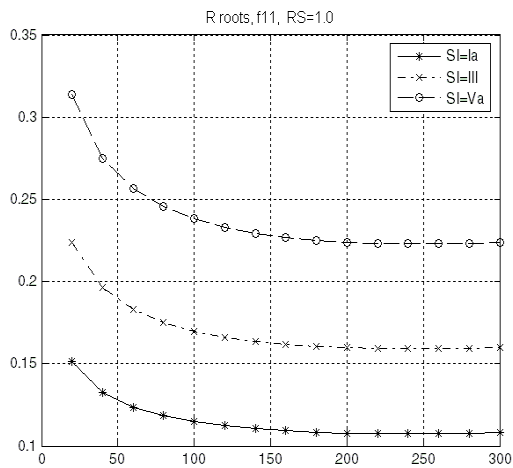
б)



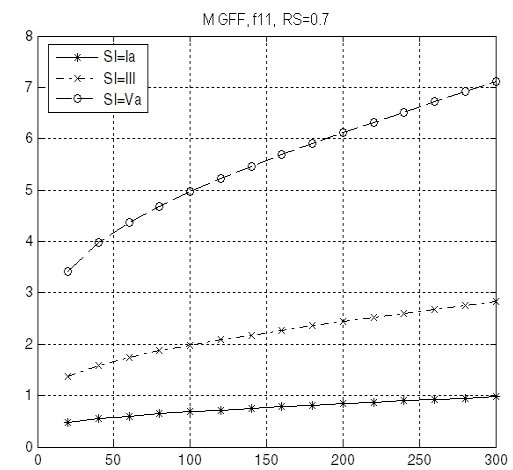
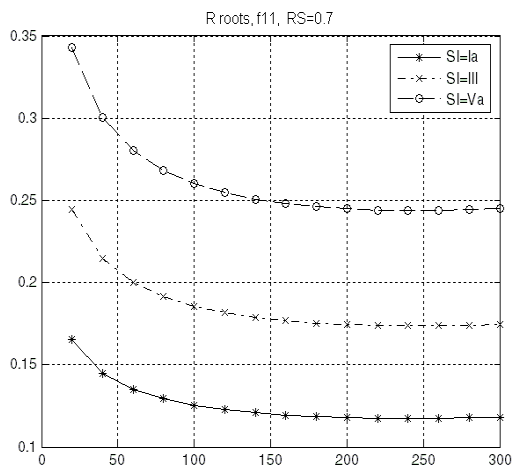
в)

Рис. 2.5. Изменение конверсионного коэффициента фитомассы ветвей с возрастом в зависимости от бонитета (SI) и полноты (RS)

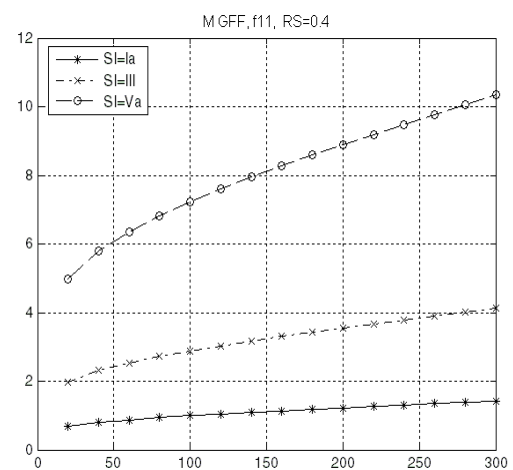
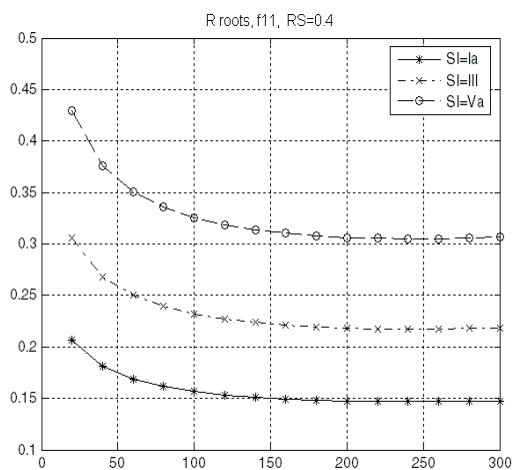
Рис. 2.6. Изменение конверсионного коэффициента фитомассы хвои с возрастом в зависимости от бонитета (SI) и полноты (RS)



a)



б)

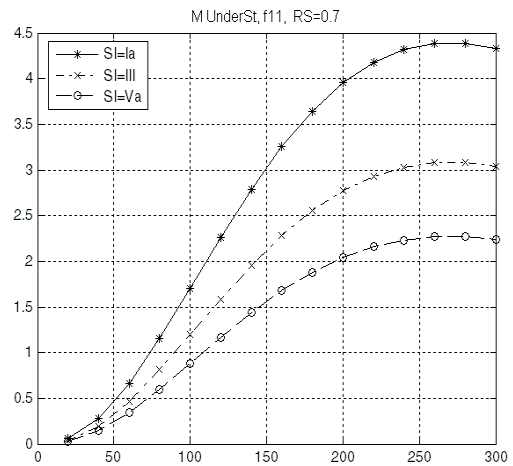
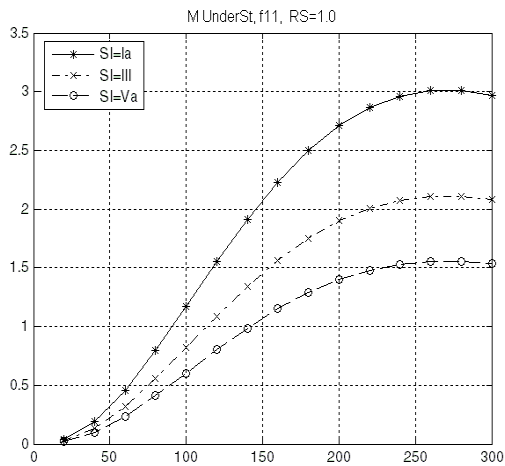


в)

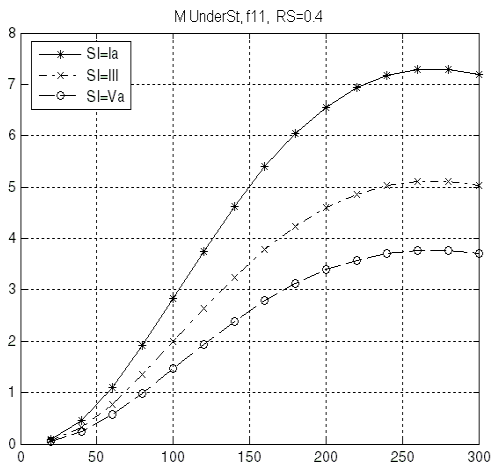
Рис. 2.7. Изменение конверсионного коэффициента фитомассы корней с возрастом в зависимости от бонитета (SI) и полноты (RS)

Рис. 2.8. Изменение массы живого напочвенного покрова (т/га) с возрастом в зависимости от бонитета (SI) и полноты (RS)

а)



а)



б)

Рис. 2.9. Изменение массы подроста и подлеска (т/га) с возрастом в зависимости от бонитета (SI) и полноты (RS)

в)

Хотя все модели табл. 2.3 статистически значимы, их точность не очень высока. Конверсионный коэффициент фитомассы древесных стволов представляет собой условную плотность стволовой древесины, и по существу модель описывает параметрическую и географическую изменчивость условной плотности. В силу очевидных биологических соображения эта изменчивость не может быть высокой. Что же касается иных фракций фитомассы древостоя (ветви, хвоя, корни), то, очевидно, сказывается значительное разнообразие лиственных экосистем в пределах огромного ареала лиственницы. Конечно, класс бонитета в совокупности с возрастом и полнотой в некоторой части отражает географическую специфику лиственничников, но все же связь эта косвенная, и другие факторы могут оказывать существенное влияние.

Аналогичная картина наблюдается при моделировании фракции подроста и подлеска. Зависимость КК этой фракции от таксационных показателей древостоев представлена на рис. 2.10. В целом, модель описывает основные закономерности изменения массы подроста и подлеска от

таксационных показателей и не даёт значимых систематических ошибок. Однако остаточная дисперсия моделей остаётся значительной, что следует из существенных типологических и физиогномических отличий листовенных насаждений юга и севера ареала.

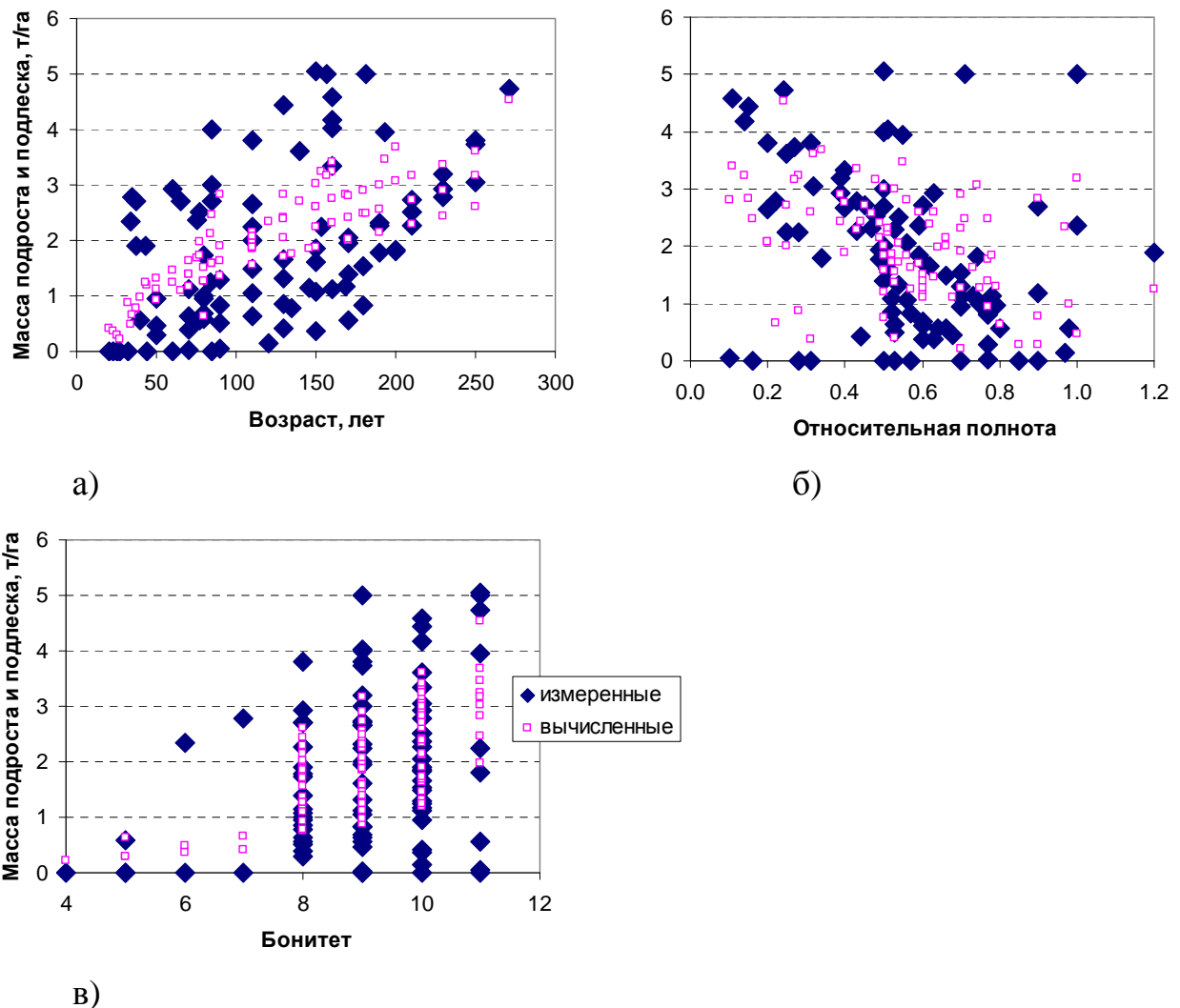


Рис. 2.10. Зависимость фитомассы подроста и подлеска от таксационных показателей (а – от возраста, б – от относительной полноты, в – бонитета).

Данные табл. 2.3 содержат обширный материал для анализа; мы отметим только несколько наиболее важных методических результатов.

1. Приведенные уравнения адекватны как по независимым переменным, так и по отклику (проверялось по распределению остатков).

2. Как правило, регрессионные коэффициенты статистически значимы при вероятности 0,95; случаи с незначимыми коэффициентами составляли около 10 %, однако мы сохраняли унифицированную форму уравнений.

3. Использование многомерных зависимостей для оценки фитомассы позволяет извлечь максимум информации из экспериментальных данных и

до определенной степени учесть зональные особенности экосистем, в том числе и в моделях биологической продуктивности.

## 2.4. Структура фитомассы лиственных лесов Северо-Востока

Запасы фитомассы и углерода, аккумулированные в лиственных лесах Северо-Востока были рассчитаны нами по каждому лесному предприятию на основе данных ГУЛФ [Лесной фонд..., 2003] и моделей, описанных в предыдущем разделе.

На рис. 2.11. показано распределение средней плотности углерода фитомассы лиственных лесов.

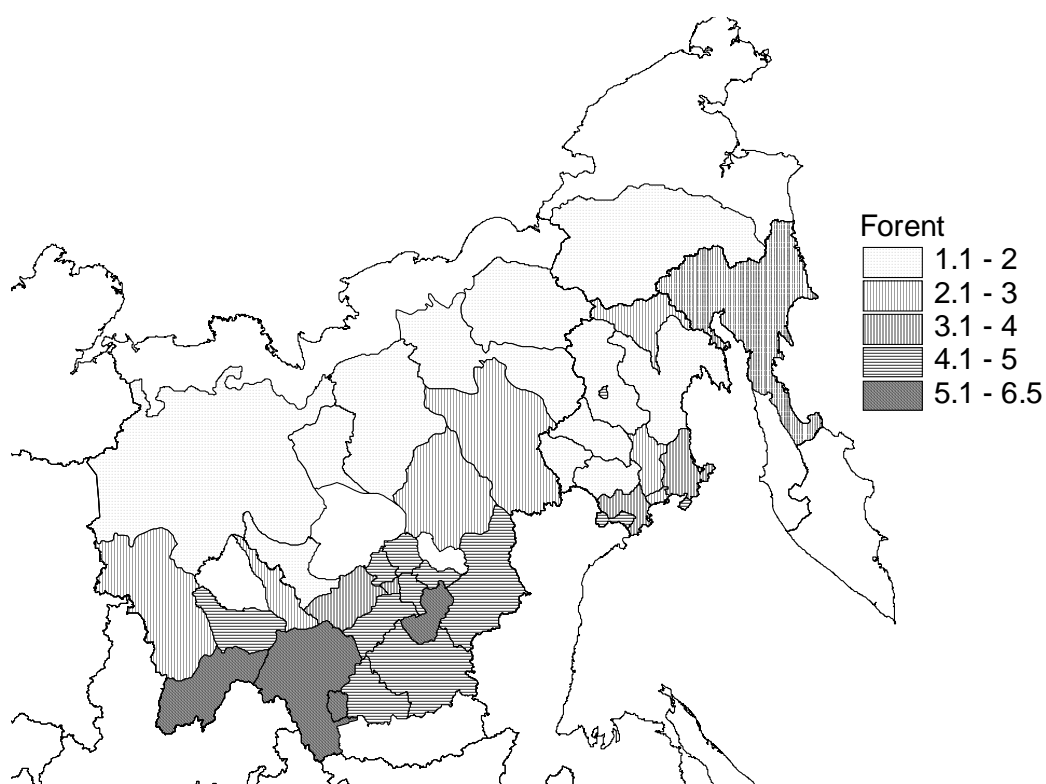


Рис. 2.11. Плотность углерода фитомассы в лиственных лесах – средние по лесным предприятиям в кг·м<sup>-2</sup>

Распределение фитомассы лиственных лесов изучаемого района по группам возраста и фракциям представлено в табл. 2.4-2.6.

Таблица 2.4

Распределение фитомассы и углерода лиственных лесов Северо-Востока по административным единицам и группам возраста

Административные единицы	Фитомасса по группам возраста (сухой вес), Тг ( $10^6$ т)						Итого фитомассы	Углерод, Тг С	Плотность углерода	
	молодняки I	молодняки II	средне-возрастные	приспевающие	спелые	перестойные			кг м <sup>-2</sup>	кг м <sup>-3</sup>
Магаданская обл.	4,0	7,9	68,0	28,7	96,8	111,8	317,3	155,7	2,29	0,550
Корякский АО	0,0	0,0	0,5	6,4	11,7	2,0	20,6	10,1	2,42	0,548
Чукотский АО	0,6	2,4	13,8	2,9	14,8	22,9	57,4	28,0	1,62	0,596
Всего	113,5	379,3	1787,3	697,5	2470,9	2076,7	7525,2	3718,8	3,15	0,481

Таблица 2.5

Распределение фитомассы и углерода насаждений лиственных лесов Северо-Востока по административным единицам и фракциям

Административные единицы	Фитомасса по фракциям (сухой вес), Тг ( $10^6$ т)							Всего фитомассы	Углерод, Тг С
	ствол в коре	в т.ч. кора	ветви	хвоя	корни	подрост и подлесок	живой напочвенный покров		
Республика Саха (Якутия)	3922,8	726,9	591,8	125,3	1814,2	175,3	500,5	7129,8	3524,9
Магаданская область	153,0	29,8	25,4	5,2	80,8	12,3	40,7	317,3	155,7
Корякский АО	10,0	1,9	1,6	0,3	5,2	0,9	2,5	20,6	10,1
Чукотский АО	25,5	5,0	4,3	0,9	13,8	2,8	10,2	57,4	28,0
Всего	4111,3	763,6	623,0	131,7	1914,0	191,3	553,8	7525,2	3718,8

Таблица 2.6

Распределение фитомассы и углерода насаждений лесного фонда по лесохозяйственным предприятиям и фракциям

Лесхоз	Фитомасса по фракциям (сухой вес), Тг (10 <sup>6</sup> т)							Всего фитомассы	Углерод, ТгС	Плотность углерода	
	ствол в коре	кора	ветви	хвоя и листья	корни	подрост и подлесок	живой напочвенный покров			кг м <sup>-2</sup>	кг м <sup>-3</sup>
Олекминский зп.	31,5	5,7	4,5	1,0	13,8	0,7	1,7	53,0	26,3	5,88	0,444
Эвено-Бытантайский	7,0	1,4	1,2	0,2	3,9	1,0	3,0	16,2	7,9	1,76	0,616
Алданский (БАМ)	132,4	24,5	20,1	4,2	61,9	5,3	12,7	236,7	117,2	4,20	0,471
Амгинский	153,7	27,5	21,3	4,5	65,5	4,1	8,7	257,7	128,0	5,41	0,439
Верхне-Вилуйский	58,0	11,5	10,9	2,4	30,9	2,7	12,5	117,4	57,8	2,27	0,534
Верхоянский	51,6	10,5	10,0	2,1	29,5	6,0	28,0	127,2	61,8	1,27	0,648
Вилуйский	57,4	11,0	9,9	2,2	27,3	2,4	10,5	109,9	54,2	1,92	0,498
Горный	138,9	26,3	22,0	4,8	65,8	4,5	13,2	249,2	123,5	3,95	0,472
Жиганский	305,7	57,2	46,0	9,4	146,1	32,0	87,0	626,2	306,7	1,72	0,537
Иидигирский	47,2	9,4	8,6	1,8	26,4	4,1	14,3	102,4	50,2	2,22	0,576
Колымский	47,2	9,6	9,0	1,9	26,2	4,9	24,1	113,2	55,1	1,32	0,628
Ленский	323,1	56,3	41,0	8,7	131,0	7,6	13,7	525,2	261,1	6,47	0,426
Мегино-Кангаласский	43,8	8,0	6,3	1,3	20,0	1,6	3,5	76,5	37,9	4,87	0,460
Мирнинский	253,4	50,4	45,0	9,4	138,1	13,9	55,0	514,9	253,5	2,63	0,541
Намский	35,5	6,5	5,5	1,2	16,2	1,1	2,8	62,3	30,9	4,46	0,461
Нюрбинский	84,7	16,4	15,5	3,4	42,5	4,2	17,2	167,4	82,5	2,09	0,517
Олекминский (БАМ)	505,5	91,2	70,4	15,0	218,1	13,5	30,1	852,5	423,3	5,30	0,443
Хангаласский	134,3	24,6	19,7	4,3	59,5	3,7	8,9	230,5	114,4	4,81	0,450
Сангарский	58,9	11,4	10,0	2,2	28,4	2,7	11,2	113,5	55,9	2,04	0,504
Сунтарский	199,6	37,2	29,2	6,5	88,8	4,6	13,4	342,0	169,8	4,63	0,449
Таттинский	64,3	11,7	10,2	2,3	28,6	1,6	4,2	111,1	55,2	4,04	0,451

Окончание таблицы 2.6

Лесхоз	Фитомасса по фракциям							Всего фитомассы	Углерод	Плотность углерода	
	ствол в коре	кора	ветви	хвоя и листья	корни	подрост и подлесок	живой напочвенный покров			кг м <sup>-2</sup>	кг м <sup>-3</sup>
Нерюнгринский (БАМ)	230,3	43,6	34,8	6,9	112,5	11,7	29,5	425,7	210,5	4,07	0,489
Томпонский	141,9	25,9	19,5	4,0	63,3	10,5	21,8	260,9	128,7	2,79	0,482
Усть-Алданский	75,4	13,8	10,9	2,4	32,4	1,7	4,4	127,3	63,2	4,84	0,439
Усть-Майский	277,9	50,9	41,8	8,8	127,4	9,0	21,2	486,2	241,1	4,69	0,462
Чурапчинский	51,5	9,2	7,5	1,7	21,4	1,2	2,7	85,9	42,7	4,67	0,433
Якутский	3,9	0,8	0,8	0,2	2,0	0,1	0,4	7,4	3,6	3,82	0,487
Верхне-Колымский	50,4	9,0	8,3	1,8	24,1	7,4	18,5	110,5	53,8	1,12	0,573
Томмотский (БАМ)	366,5	67,1	53,3	11,1	166,7	12,0	27,4	636,9	315,9	4,97	0,459
Магаданская область, в т.ч.	152,9	29,8	25,4	5,1	80,8	12,2	40,6	317,3	3766,2	2,29	0,550
Магаданский зп.	17,0	3,2	2,5	0,5	8,0	0,5	1,5	30,2	14,9	4,60	0,470
Берелехский	4,4	0,9	0,8	0,2	2,4	0,6	1,9	10,2	5,0	1,68	0,620
Магаданский оп.	3,7	0,7	0,7	0,1	2,1	0,3	1,0	7,9	3,9	2,45	0,562
Омсукчанский	11,3	2,2	1,9	0,4	6,1	1,2	3,9	24,8	12,1	1,93	0,580
Оротуканский	10,4	2,1	1,8	0,4	5,8	1,3	4,5	24,2	11,8	1,68	0,614
Палаткинский	10,4	2,0	1,7	0,3	5,6	0,9	2,7	21,7	10,6	2,48	0,552
Сеймчанский	42,8	8,6	7,7	1,6	23,5	3,1	14,0	92,8	45,4	1,82	0,575
Тауйский	17,2	3,2	2,7	0,5	8,7	1,3	2,9	33,3	16,4	3,55	0,514
Тенькинский	5,3	1,0	0,9	0,2	2,9	0,6	1,9	11,7	5,7	1,81	0,591
Северо-Эвенкийский	7,5	1,5	1,2	0,2	4,0	0,8	2,2	16,0	7,8	2,44	0,566
Ольский	22,9	4,4	3,5	0,7	11,7	1,6	4,1	44,4	21,9	3,26	0,516
Корякский АО	10,0	1,9	1,6	0,3	5,2	0,9	2,5	20,6	10,1	2,42	0,548
Чукотский АО	24,3	4,8	4,1	0,8	13,2	2,7	9,8	54,9	26,8	1,62	0,596
Всего	3969,5	736,0	599,6	126,9	1838,8	179,7	514,9	7229,3	3573,6	3,20	0,479



Большая часть фитомассы (60 %) сосредоточена в спелых и перестойных лиственничниках, ещё 23 % находится в средневозрастных древостоях. В этой части различия между лиственничниками различных административных единиц региона невелики.

Структура фитомассы лиственничных насаждений достаточно специфична. Несколько больше половины (54,6 %) фитомассы заключено в стволах деревьев; 25,4 % приходится на корни деревьев, 8,3 % на ветви, 1,8 % на хвою, 2,5 % заключено в подросте и подлеске и 7,4 % в живом напочвенном покрове.

## **2.5. Запасы мёртвого органического вещества растительности**

Органическое вещество, поступающее на поверхность почвы с отмершими стволами и крупными ветвями относится к отпаду [Богатырёв, 1990]. Под опадом подразумеваются опадающие мелкие ветви, листья/хвоя, плоды, семена и пр. При отмирании корней пополняется резервуар мёртвого органического вещества непосредственно в почве.

Сухостой и валеж (coarse woody debris) включает в себя мёртвые стволы и ветви, диаметром более 1 см и не потерявшие морфологического строения. Запас углерода в этом резервуаре зависит от возраста и состава пород, лесохозяйственных мероприятий и нарушений. Запасы сухостоя и валежа учитываются для каждого лесного выдела при лесоустройстве, однако обобщенные данные не приводятся. Для оценки запасов данной фракции мы использовали соотношение фитомассы и мёртвой древесины. Это отношение вычислено для каждого экорегиона исходя по данным из литературных источников.

Запасы углерода в лесной подстилке были рассчитаны по карте подстилок. В свою очередь она была получена на основе почвенной карты [Фридланд, 1988] и описания типичных почвенных профилей к ней. Для каждого полигона почвенной карты были рассчитаны мощность и плотность подстилки. Путем наложения почвенной карты и карты лесов получены средние запасы подстилки ( $\text{г С м}^{-2}$ ) для лиственничных насаждений по биоклиматическим зонам [Full carbon ..., 2000]. Для зоны тундры запасы подстилки в лиственничниках составили  $8,42 \text{ кг С м}^{-2}$ , лесотундры и северной тайги –  $13,68 \text{ кг С м}^{-2}$ , средней тайги –  $13,62 \text{ кг С м}^{-2}$ , южной тайги –  $12,21 \text{ кг С м}^{-2}$ . Средние запасы подстилки для лиственничников в целом составляют  $13,59 \text{ кг С м}^{-2}$ .

Запасы углерода в мёртвых корнях вычислены через отношение их массы к массе живых корней. Данное отношение вычислено по опубликованным измерениям на пробных площадях. Оно дифференцировано по группам возраста лиственничников.

## 2.6. Структура фитомассы лиственничников на северо-востоке Республики Саха в зависимости от почв

Продуктивность лесных насаждений в суровых климатических условиях северо-восточной Якутии находится в тесной зависимости от положения на рельефе местности. Рельеф создает микроклимат, перераспределяя тепло и влагу, а, следовательно, определяет биологическую продуктивность. В этих суровых условиях связь продуктивности насаждений с почвенными условиями прослеживается особенно четко. Полевые работы проводили в районе устья реки Джанкы при её впадении в Яну. Географические координаты — 66°20' – 67°40' сш и 132°00'-133°15' в.д. Древесная растительность представлена низкостелыми низкостелыми лиственничниками. В поймах рек распространены чозения и ивы. В подлеске наблюдается берёзки Миддендорфа и тощая, ивы, душекия. В напочвенном покрове преобладают зелёные и влаголюбивые мхи, лишайники родов Кладония и Цетрария; распространены также багульник, брусника, голубика, сфагновые мхи. В почвенном покрове преобладают регулярно-циклические криокомплексы палево-криозёмов и криозёмов торфянистых. Дренажные участки и склоны теплой экспозиции занимают палево-песчаные почвы. К элементам рельефа, в которых наблюдается застой влаги, приурочены торфянисто-глеевые почвы.

На разных элементах рельефа заложено 122 круговых пробных площади (КПП). Исследования проводились в долине реки, на плато, крутых склонах северной и южной экспозиции. Таким образом, удалось охватить все основные контрастные типы мезорельефа и почв, с которыми тесно коррелируют с условия местообитания.

В долине реки Джанкы КПП закладывали в лесном выделе, общей площадью 18 га. Насаждение представлено чистым лиственничником. При ближайшем рассмотрении обнаруживается значительная пестрота мезорельефа, почвенных условий и растительности (табл. 2.7). Это связано с особенностями строения речной долины.

В средней части северного склона сопки расположили 28 КПП. Уклон составляет около 22°. Древостой представлен лиственничником брусничниково-багульничково-зеленомошным Vб бонитета с полнотой 0,2-0,3. Подлесок развит средне, преобладают душекия, встречаются также ивы. В кустарничковом ярусе багульник и брусника. Мохово-лишайниковый покров сплошной, преобладают зелёные мхи (*Hylocomium proliferum*, *Pleurozium Schreber*), в понижениях микрорельефа встречается сфагнум. Лишайники обильно представлены родом *Cladonia*, а также *Cetraria cucullata*. Наиболее распространенной почвой является криозём торфянистый на сланцах с высокой (более 70 %) каменистостью профиля. Мощность органических горизонтов 10-25 см. Мерзлота с крупными жилами льда наблюдается на глубине 20-40 см.

Таблица 2.7

## Разнообразие природных условий на речной террасе

Элемент мезо-рельефа	Тип леса	Почва	Мощность органогенных горизонтов, см	Глубина залегания мерзлоты, см
Бровки	Брусничниково-разнотравный, зелено-мошный	Криозём супесчаный	1-3	50-80
Пологие участки	Голубичниково-зелено-мошный, брусничниково-багульниково-зеленомошный	Криозём торфянистый легкосуглинистый	7-14	18-30
Заросшие протоки	Осоковое болото	Торфянисто-глееватая низинная легкосуглинистая	18-20	25-35
Верховые западины	Сфагновый	Торфянисто-глееватая верховая легкосуглинистая	15-20	25-30

На южном склоне сопки в его верхней трети заложены 28 КПП. Уклон составляет около 25°. Лиственничник брусничниковый Va бонитета имеет полноту 0,4-0,5. Подлесок средней густоты, в нем преобладает кедровый стланик и можжевельник, встречаются также смородина и шиповник. Живой напочвенный покров представлен брусникой, лишайниками рода Кладония и Стереокаулон (*Stereocaulon tomentosum*), шикшей, зелёными мхами, встречается камнеломка (*Saxifraga bronchialis*). Почвы палево-легкосуглинистые на метаморфических сланцах. Щебнистость верхних горизонтов около 25 %. Мощность органогенного горизонта 2-5 см. Не льдистая мерзлота наблюдается на глубине 60-120 см.

Тридцать девять КПП расположили на склоне пологого холма недалеко от вершины. Уклон не превышает 3°. Лиственничник брусничниково-багульниково-зеленомошный. Подроста практически нет. Подлесок густой с преобладанием берёзы тощей. Насаждение пройдено пожаром около 20 лет назад. Огонь уничтожил подрост, часть ослабленных деревьев погибло. Моховой покров видимо не был существенно поврежден, т.к. не наблюдается обычного в таких случаях всплеска текущего прироста [Щепашенко и др., 1998]. В напочвенном покрове багульник, брусника, шикша, аулакомниум болотный образует почти сплошной моховой покров, распространены также лишайники. Наблюдается трещино-бугорковатый микрорельеф. Бугры диаметром 50-100 см, высотой 15-20 см. Единично встречаются круги вспучивания. На микроповышениях преобладает палево-криозём

легкосуглинистый. Мощность органогенного горизонта 2-6 см. Мерзлота с небольшим количеством льда в виде кристаллов и мелких жил встречается на глубине около 50 см. В микропонижениях встречаются криозём и криозём торфянистый легкосуглинистые. Мощность подстилки и очеса мхов возрастает до 6-10 см. Более льдистая, чем на бугорках мерзлота наблюдается на глубине около 40 см. Средняя таксационная характеристика в зависимости от почвенных условий приведена в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Средняя таксационная характеристика насаждений  
в зависимости от почвенных условий

Элемент рельефа	Почва	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Сумма площадей поперечных сечений, м <sup>2</sup> /га
Долина реки	Криозём супесчаный на аллювиальных отложениях	125	10,6	10,4	20,4
	Криозём торфянистый легкосуглинистый на аллювиальных отложениях	127	6,2	6,1	6,7
	Торфянисто-глеевая верховая легкосуглинистая	92	5,4	5,7	0,6
Северный склон	Криозём торфянистый на сланцах	113	5,6	7,2	5,3
Южный склон	Палевая легкосуглинистая на сланцах	124	10,0	9,8	13,5
Плато	Комплекс палево-криозёмов и криозёмов легкосуглинистых	115	6,2	7,5	3,0

Выборочно-перечислительную таксацию производили путем закладки круговых пробных площадей постоянного радиуса – 9,77 м. Площадки закладывали по буссольным ходам на расстоянии 50 метров друг от друга. На круговой площадке проводили сплошной пересчет деревьев по диаметру с подразделением по ярусам, породам, классам технической годности. Отдельно учитывали сухостойные и поврежденные деревья. Производили описание напочвенного покрова, указывали состав и густоту подлеска, закладывали почвенный разрез.

На каждой круговой площадке случайным образом отбирали модельное дерево, после рубки которого на высоте 0; 0,5; 1,3; 1,5 м и далее через 1 м определяли диаметр в коре и без коры. На высотах 0; 1,5 и далее через 2 м подсчитывали годовые кольца. Образцы древесины (поперечные спилы толщиной около 5 см вместе с корой) выпиливали на высоте 0,5 м от шейки корня и на середине высоты дерева. Далее производили пересчет ветвей по классам длины (через 25 см) и диаметра в месте прикрепле-

ния к стволу (через 0,5 см). Крону взвешивали. Всего было срублено 127 модельных деревьев.

Поперечные спилы были использованы для определения плотности древесины и коры. Для определения объема каждый образец был разбит на 16 секторов, у каждого из которых определяли радиус (в коре и без коры) и высоту. Затем образец взвешивали, очищали от коры и вновь взвешивали. Была рассчитана плотность древесины и коры для каждого модельного дерева. Средняя плотность древесины составляет  $0,545 \pm 0,015 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ , а коры –  $0,265 \pm 0,014 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ .

У 10 модельных деревьев, отобранных по классам диаметра, высот и возраста брали модельные ветви из различных частей кроны и представляющих все сочетания классов длины и толщины. Измеряли диаметр основания и длину модельной ветви, взвешивали отдельно хвою и обесхвоенные ветви в свежесрезанном и абсолютно сухом состоянии. Для полигона составили уравнение (2.13) зависимости соотношения веса хвои и древесной массы от размера ветвей, по которому определяли структуру фитомассы крон модельных деревьев.

$$\frac{M_{\text{ветвей}}}{M_{\text{хвои}}} = 0,2633 \cdot \ln(d^2 \cdot l) + 0,9207 \quad (2.13),$$

где

$M$  – масса ветвей и хвои;

$d$  – диаметр основания ветви, см;

$l$  – длина ветви, м.

Для модельных деревьев по ступеням толщины рассчитали массу фракций фитомассы (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Фитомасса по фракциям в абсолютно сухом виде  
по ступеням толщины деревьев на высоте 1,3 м

Фракции фитомассы	Масса фракций фитомассы, кг по ступеням толщины деревьев, см												
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Древесина	0,8	2,9	6,7	12,8	20,0	30,4	39,2	55,2	67,9	95,6	108,1	118,7	166,0
Кора	0,2	0,5	1,1	2,0	2,8	4,3	5,2	7,2	9,2	12,1	12,7	19,3	19,2
Ветви	0,2	0,6	1,1	1,7	2,5	3,3	4,3	5,3	6,5	7,7	9,0	10,3	11,8
Хвоя	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	2,7

Затем, опираясь на перечет деревьев по диаметру на пробных площадях, был вычислен запас фитомассы по фракциям на единице площади. Результаты представлены в табл. 2.10.

Мы проанализировали литературные источники, чтобы выявить особенности структуры фитомассы притундровых лиственничников. Были отобраны пробные площади по возможности с близкими к нашим таксационными характеристиками насаждений. По Якутии данные имеются в работах Д.П. Митрофанова [1984], Л.К. Позднякова и др. [1969], а также И.И.

Панарина и др. [1980]. Лиственничники Красноярского края представлены в исследованиях Д.П. Митрофанова [1977] и Л.К. Позднякова [1975]. Т.А. Москалюк [1979, 1988] приводит данные по Магаданской области.

Таблица 2.10

Структура надземной фитомассы лиственничных древостоев  
в т/га абсолютно сухого вещества

Почвы	Фитомасса по фракциям				Всего
	древесина ствола	кора ствола	обесхвоен- ные ветви	хвоя	
Криозём супесчаный на аллювиальных отложениях	32,160	7,728	5,730	1,470	47,088
Криозём торфянистый легко-суглинистый на аллювиальных отложениях	13,700	3,464	2,160	0,590	19,914
Торфянисто-глееватая верховая легкосуглинистая	2,550	0,680	0,260	0,080	3,570
Криозём торфянистый на сланцах	10,030	2,496	1,580	0,420	14,526
Палевая легкосуглинистая на сланцах	23,300	5,680	3,840	0,990	33,810
Комплекс палево-криозёмов и криозёмов легкосуглинистых	5,410	1,352	0,950	0,260	7,972

Как можно видеть на рис. 2.12 результаты наших измерений вполне укладываются в общую картину и уточняют структуру фитомассы лиственничников с невысоким запасом стволовой древесины.

Запасы органической массы и углерода живого напочвенного покрова и подстилки изменяются в довольно широких пределах в зависимости от типа условий местообитания (ТУМ). Кроме того, значительное влияние оказывают регулярные лесные пожары. В суровых климатических условиях, свойственных северо-восточной Якутии, микробиологическое разложение органического вещества происходит медленнее, чем его накопление. Ещё одной предпосылкой регулярных пожаров является обилие лишайников, которые распространены повсеместно, охотно заселяют моховой покров даже во влажных условиях местообитания.

Содержание углерода определяли методом сухого сжигания в токе кислорода с кулонометрическим окончанием [Аналитическое обеспечение..., 1993].

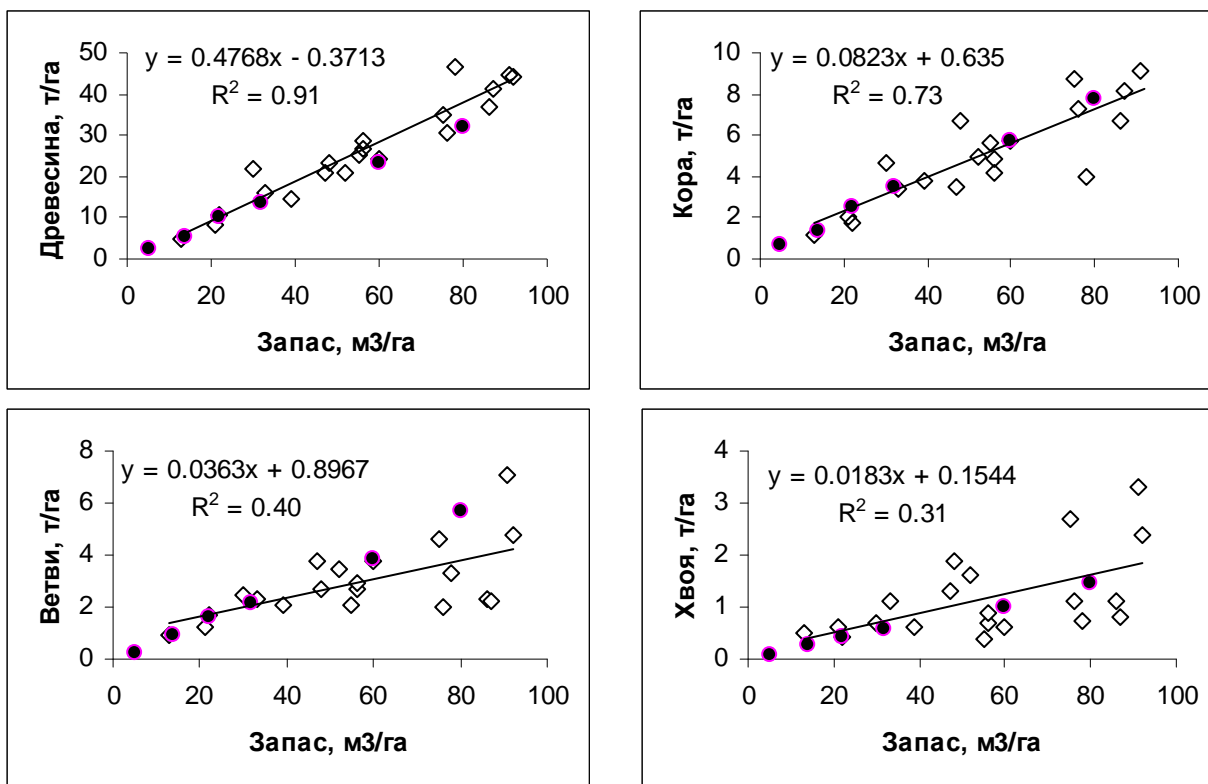


Рис.2.12. Зависимость массы фракций фитомассы от запаса насаждений по нашим определениям (выделено черным) и литературным источникам

В табл. 2.11 приведены запасы органического вещества и углерода в подстилке и живом напочвенном покрове.

Таблица 2.11

Запасы органического вещества и углерода в подстилке и живом напочвенном покрове

Почвы	Живой напочвенный покров		Органогенные горизонты	
	органическое вещество, т·га <sup>-1</sup>	углерод, т·га <sup>-1</sup>	органическое вещество, т·га <sup>-1</sup>	углерод, т·га <sup>-1</sup>
Криозём супесчаный на аллювиальных отложениях	3,7 ± 1,8	1,0 ± 0,5	11,5 ± 2,3	3,4 ± 0,7
Криозём торфянистый легкосуглинистый на аллювиальных отложениях	12,6 ± 2,2	3,5 ± 0,6	77,4 ± 6,1	22,3 ± 1,8
Торфянисто-глеевая верховая легкосуглинистая	18,5 ± 1,1	4,9 ± 0,3	147,9 ± 4,4	45,3 ± 1,3
Криозём торфянистый на сланцах	7,8 ± 0,7	2,0 ± 0,2	50,5 ± 8,1	14,9 ± 2,4
Палевая легкосуглинистая на сланцах	6,7 ± 0,7	1,8 ± 0,2	26,1 ± 3,5	7,2 ± 1,0
Комплекс палево-криозёмов и криозёмов легкосуглинистых	8,5 ± 0,4	2,2 ± 0,1	60,0 ± 4,4	18,4 ± 1,3

Полученные данные говорят о том, что даже во влажных ТУМ в нижних ярусах леса не происходит значительного накопления углерода. В большинстве ТУМ запасы углерода претерпевают циклические колебания с периодом в 60-120 лет, связанные с низовыми пожарами.

### **Summary**

This Chapter contains assessment of live biomass (phytomass) of larch ecosystems of the Russian North-East. A special database of phytomass measurements in Russian forests was developed. The DB also contains detailed biometric characteristics of forests in which the sample plots were established. Currently the database comprises about 4000 sample plots (of which 366 are in larch forests) which were established in territories of the former USSR. The database also includes results of measurements which were provided by the authors of this book in larch forests of northern-eastern Yakutia.

Models of phytomass fractions (stem wood over bark; bark of stems; wood of branches over bark; foliage; roots; understory; and green forest floor) were developed in form

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{GS} = c_0 \cdot A^{c_1} \cdot SI^{c_2} \cdot RS^{c_3} \cdot EXP(C_4 \cdot A + C_5 \cdot RS),$$

where  $M_{fr}$  – phytomass fractions;  $GS$  – growing stock volume, m<sup>3</sup>/ha;  $A$  – age, years;  $SI$  – site index;  $RS$  – relative stocking;  $c_0, c_1, \dots, c_5, \dots$  – parameters of the models.

For understory and green forest floor,  $M_{fr}$  instead of  $R_{fr}$  has been modeled. Coefficients of the models are presented in Table 2.3.

It is shown that the models developed are statistically significant at 0.05 level and adequately describe the experimental data.

Using the State Forest Account-2003 and developed models, we estimated the amount of live biomass in forests of the Russian North-East. Of the total 7.525 Tg C (or 3.15 kg C m<sup>-2</sup>), 50.6% are in stem wood, 25.4% in roots, 8/3% in branches, 1.8% in needles, 2.5% in understory, and 7.4% in green forest floor. Spatial distribution of average phytomass' density is presented in Figure 2.1.



### **3. МОДЕЛЬНАЯ И НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНАЯ БАЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛИСТВЕННИЧНЫХ НАСАЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА**

Познание закономерностей роста, динамики и продуктивности лесов производится, как правило, при помощи различных моделей. Традиционно в российской лесной науке рост древостоев отражался при помощи таблиц хода роста (ТХР), содержащих возрастную динамику основных таксационных показателей древостоев по принятым классификационным единицам, в качестве которых служили классы бонитета или типы леса. Модельная основа ТХР была и остаётся достаточно слабой, часто ТХР содержали только ряды выровненных и упорядоченных результатов наблюдений. Очевидно, что численные модели такого рода мало приемлемы для описания роста древостоев в меняющемся климате.

Другое направление исследования ростовых процессов в лесах базируется на моделях, которые пытаются описать изучаемые явления на процессном уровне, т.е. оценить влияние основных ресурсов внешней среды на базовые процессы функционирования экосистем, такие как, например, фотосинтез и дыхание. Очевидна сложность такого подхода, особенно в части разработки моделей, которые были бы приемлемыми для применения в практике лесного хозяйства. Пока примеров успешной разработки подобных моделей нет. Модели процессного типа нашли свое применение в экологических исследованиях, в частности в разработке динамических глобальных моделей растительности. Такие модели имеют познавательное значение, но непригодны для применения в практическом лесоводстве.

Путь сближения этих двух подходов представляется целесообразным (и, видимо, неизбежным) в условиях существенно меняющегося мира. Первым этапом на этом пути является представление существующих нормативов роста в модельном виде, причем параметры моделей должны иметь содержательную трактовку.

Усиление значения несырьевых функций лесов в современном мире ставит на повестку дня разработку новых нормативно-справочных материалов, предназначенных для учёта экологических и социальных функций лесов. Важнейшими в этой части являются показатели биологической продуктивности лесных экосистем, включающее совокупность количественных характеристик запасов живой фитомассы (надземной и подземной), ежегодно создаваемой продукции (также надземной и подземной) и запасов мортмассы или детрита (т.е. растительных остатков).

Одной из главнейших характеристик продукционного процесса растительных экосистем является чистая первичная продукция (ЧПП, Net Primary Production). ЧПП определяется как разница между валовой продукцией (общим фотосинтезом) и автотрофным дыханием экосистем. Эта

величина обычно ассоциируется с количеством ежегодно создаваемого экосистемой растительного органического вещества [Odum, 1971;; Базилевич, 1993]. Теоретически эти два определения идентичны, хотя методы определения ЧПП могут приводить к не совпадающим результатам. Выражают ЧПП обычно в весовых единицах на некоторую площадь за единицу времени, например Тг ( $=10^{12}$  г = млн т) год<sup>-1</sup> абсолютно сухого вещества или углерода.

Для оценки ЧПП растительности на больших территориях в настоящее время используют множество модельных и дистанционных подходов, таких как инвентаризационно-статистические методы, модели различной природы (гар-модели, эколого-физиологические модели потоков углерода, например, с использованием хлорофильного индекса, дистанционные методы, построенные на измерении вегетационного индекса (NDVI) и другие). Каждый из этих методов имеет свои преимущества и свои недостатки [Мокронос, 1998, Швиденко и др., 2002].

Оценка особенностей роста и биологической продуктивности лиственничников Северо-Востока требует анализа существующей и разработки недостающей модельной и нормативно-справочной базы, что и является основным предметом рассмотрения в этой главе. Для района исследования проведен анализ и моделирование существующих нормативов хода роста. На основе этих моделей и моделей фитомассы (глава 3) разработаны нормативы биологической продуктивности лиственничных насаждений для района исследования. Базируясь на специально собранном экспериментальном материале, были разработаны нормативы роста и продуктивности лиственничников северо-востока Республика Саха в зависимости от почвенных условий, что представляет существенный интерес для дальнейшего совершенствования методических особенностей исследования роста и продуктивности лесов на вечной мерзлоте. Для сравнительных целей оценки специфики роста и продуктивности лиственничников региона, мы приводим также модели общих таблиц хода роста полных насаждений лиственницы в России. Приведенные результаты являются частью системного рассмотрения проблемы совершенствования нормативов роста, которое проводилось в масштабе всей страны [Швиденко и др., 2001, 2003], в связи с чем некоторые результаты и обсуждения выходят за пределы обозначенного нами района исследования.

### **3.1. Моделирование и унификация существующих таблиц хода роста**

Модели динамики основных таксационных показателей древостоев (главным образом – ТХР) являются неотъемлемой частью учёта лесов и лесоуправления. За более чем полутора вековую историю существования ТХР в России (с момента публикации Варгасом-де-Бадемаром в 1844 году

его работы «Исследование о запасе и приросте лесов в Тульской губернии...») многое изменилось в методических подходах и технике разработки ТХР. Проблема разрасталась вширь, как в географическом смысле, так и в части появления многочисленных типов ТХР – нормальных, модальных, оптимальных, разнотуповых, смешанных, разновозрастных и иных древостоев, целевых программ лесовыращивания и т.д., составленных различными методами и на различных классификационных основаниях. Совершенствовались технические приемы и средства обработки исходных данных. В то же время, базовая методология познания роста и динамики древостоев почти не менялась, представляя собой эмпирические обобщения закономерностей роста, полученные главным образом на временных пробных площадях с использованием приемов внешнего (феноменологического) моделирования, обычно путем механически применяемого регрессионного анализа. Немногие попытки использовать более совершенный модельный базис (например, функции роста) ограничивались стремлением подобрать аналитические выражения, которые бы адекватно отражали опытные данные. Попытки географических обобщений закономерностей роста, осуществленные в известных работах А.В. Тюрина и В.В. Загребина, принесли интересные методические решения, однако они не изменили суть подхода.

Два вида ТХР – нормальных и модальных (реально существующих) насаждений – имеют широкое применение в лесном деле страны. ТХР нормальных насаждений содержат количественную характеристику наиболее совершенных в данных лесорастительных условиях насаждений и служат эталоном, образцом, на достижение которого должно быть направлено рациональное лесное хозяйство и, следовательно, система лесоуправительного проектирования; они часто используются как основной норматив для долгосрочного прогноза роста и развития древостоев на больших территориях. ТХР модальных насаждений представляют собой некоторую усредненную характеристику однородных групп существующих лесов некоторого региона, и их содержание в значительной мере зависит от предшествующего режима ведения лесного хозяйства. Однако они имеют то преимущество, что описывают динамику реальных древостоев.

Хотя необходимость наличия ТХР «нормальных» древостоев очевидна, существует несколько особенностей, связанных с этим типом нормативов. Первая из них связана с понятием нормальности, и связь этого термина с концепцией нормального леса очевидна [Орлов, 1927]. Хотя нормальное насаждение определялось как наиболее совершенное в данных лесорастительных условиях, очевидно, что более чем сто лет назад (когда было дано это определение) критерием оценки нормальности была исключительно сырьевая ценность древостоя, оцениваемая по количеству и качеству производимой стволовой древесины. Поэтому «нормальное» по сути трактовалось как наиболее полное насаждение, имеющее в данных услови-

ях максимально возможный запас удовлетворительного качества и обеспечивающее для «нормального» лесного массива наивысший средний прирост. Разумеется, в целях организации «правильного» лесного хозяйства, необходимо иметь норматив, который бы показывал, насколько некоторый конкретный древостой далек от оптимального для данной породы в данных условиях произрастания. С другой стороны, многофункциональная сущность лесов, понимаемая в современном смысле, определяет принципиально различные (и даже взаимоисключающие) требования к определению того, что есть «наиболее совершенное» насаждение в лесах различного функционального назначения. Полнота выполнения лесами главных экологических и экономических функций лесов, как правило, коррелирует с продуктивностью, однако «хозяйственный идеал», определяемый целевым назначением лесов, будет существенно иным, например, для эксплуатационных лесов и для лесопарковых хозчастей зеленой зоны. В принципе, эти соображения никоим образом не влияют на необходимость такого нормирующего показателя, как «полнота 1,0» – его роль в построении национальной системы учёта лесов и системы управляющих воздействий на леса трудно переоценить. Поэтому и сам подход, и полнота, как таксационный показатель в её нынешней трактовке, по-видимому, будут существовать неопределенно длительное время. Вместе с тем, термин «нормальный» не отражает современного содержания проблемы. Как было показано (Швиденко и др., 2003) наиболее подходящим и отражающим суть явления представляется термин «полные насаждения», определяемые как наиболее продуктивные (по наличному запасу) насаждения данного состава в данных условиях произрастания.

Вторая особенность связана с *постоянством* «нормальности». Отдельное насаждение может находиться в «нормальном» состоянии только в течение некоторого ограниченного периода времени, после чего оно выходит из этого состояния или в силу эндогенных причин (например, естественного изреживания в биогруппах) или, чаще, выводится из него экзогенными факторами [например, Кузьмичев, 1977]. Отсюда следует, что возрастная динамика сумм площадей сечения и запасов, приводимые в ТХР полных насаждений, отражают некоторую верхнюю границу названных показателей для совокупности древостоев, но не возрастную динамику некоторого отдельного древостоя, насколько бы «полным» он не был в некоторый определенный момент времени, и эта разница для отдельного древостоя тем больше, чем дальше условия его произрастания от экологического оптимума. Сказанное не исключает возможности длительного поддержания насаждения в некотором «квази-нормальном» состоянии, что, в частности, отражается в целевых программах лесовыращивания [Строчинский и др., 1992] но даже этот, крайне трудно достижимый в практике пример, относится только к равномерно размещенным по площади лесным

культурам, подвергаемым регулярному уходу низкой интенсивности и при отсутствии разрушающих внешних воздействий.

Принципиально важным вопросом является выбор основы классифицирования нормативов роста, что влияет на обоснованность важных методических вопросов их составления (например, подбор древостоев «естественного ряда») и специфику последующего применения таблиц. Казалось бы, лесная типология представляет хороший ответ на этот вопрос. Однако в пределах одного типа леса (в любой из существующих лесотипологических классификаций), и, тем более, группы типов леса (что обычно в практических приложениях), изменчивость роста и продуктивности часто бывает столь велика, что использование подобных ТХР в целях учёта лесов может приводить к грубым ошибкам. Это предопределило преобладающую разработку ТХР по классам бонитета (для которых обычно указывался наиболее распространённый тип леса) в рамках более общих и объективно определяемых типологических категорий, таких, как экологические модификации лесных формаций (например, автоморфные и гидроморфные местообитания). В принципе, наиболее плодотворным (по крайней мере, для природных лесов района исследования) представляется системное объединение разрабатываемых нормативов роста с генетической классификацией типов леса; однако это остаётся задачей исследований будущего.

Существенное практическое значение имеет соотношение общих и региональных (местных) таблиц. Каждый древостой реализует свои собственные траектории роста, и степень возможного обобщения, т.е. разработки и применения таблиц той или иной степени географической и параметрической общности, определяется требуемой точностью (т.е., целями оценки). Поэтому для оценки роста древостоев должны применяться, как правило, региональные ТХР. Применение общих ТХР оправдано в целях прогнозных расчетов для всего ареала древесной породы и для различных научных задач.

Существуют очевидные причины, определяющие необходимость упорядочения, приведения в единую систему и сертификации существующих ТХР.

1. Рано или поздно, но долгосрочная аренда лесов в том или ином виде станет одной из основных форм организации многоцелевого лесопользования. Это потребует знания не только исходного состояния арендуемых массивов, но и прогнозной оценки их динамики – как в целях взимания обоснованной арендной платы, так и определения ответственности арендатора перед государством. Отсюда следует возрастающее значение наличия надежных нормативов прогноза, т.е. в первую очередь ТХР.

2. Существующие ТХР составлялись в течение длительного периода времени, и многие из них не отражают условий быстро ме-

няющегося мира. Так, Россия сегодня живет в ином климате, чем 3-4 десятилетия назад. Средняя годовая температура в основных лесных районах страны выросла за этот период более чем на 0,5 °С; в определенной мере срабатывает удобряющий эффект увеличения концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере; во многих районах существенно влияют осадения азота. Сложное взаимодействие этих и иных факторов по-разному воздействует на функционирование лесных экосистем различных районов и формаций (в частности, рядом исследователей отмечено значимое увеличение продуктивности лесов во многих районах северного полушария), что должно быть учтено соответствующими нормативами. Вместе с тем, невозможно пересоставить все ТХР в обозримый срок. Отсюда возникает необходимость внесения необходимых модельных поправок, что сложно методически и трудно реализуемо, поскольку основная масса ТХР дана лишь в цифровой (табличной) форме. Поэтому очевидна потребность представления ТХР в аналитической форме, при условии, что это не приведет к потере содержащейся в них информации.

3. Упорядочение существующих ТХР имеет явный познавательный смысл, поскольку они содержат обобщенную информацию состояния и роста древостоев к концу «до индустриальной» эры, и возможно полное сохранение этого накопленного знания важно с научной точки зрения.

4. Качество многих таблиц (как по форме, так и содержанию) оставляет желать лучшего: далеко не всегда соблюдалась разумная строгость в классификационных построениях, системный контроль взаимосвязанных показателей и др.

5. Многие таблицы неполны, например, практически все ТХР модальных насаждений не содержит данных по общей продуктивности насаждений – важнейшего показателя оценки биосферной роли лесов, в частности углеродного цикла.

6. Нередки случаи, когда для одного района существует несколько ТХР одного и того же типа, и нужно ответить на вопрос – различаются они только по форме или по содержанию тоже.

7. Наконец, некоторая, относительно небольшая часть ТХР неудовлетворительны по методам составления – например те, где вместо обоснования хода роста по высоте по экспериментальным данным, использовались закономерности, заложенные в общей бонитировочной шкале М.М. Орлова.

Для района исследования дополнительно существует ряд специфических и недостаточно проработанных методических вопросов моделирования роста и продуктивности лесов. В первую очередь, это необходимость логического и экспериментального обоснования эталона полноты 1.0. С

одной стороны, должна быть учтена редкостность северных древостоев, что объясняется корневой конкуренцией за влагу и элементы питания. С другой – высокая мозаичность лиственничных древостоев на вечной мерзлоте, проявляющаяся на небольших площадях, создает значительные трудности в выборе подходящего эталона даже для относительно однородных и небольших по площади лесорастительных районов. Некоторые шаги в этом направлении сделаны, однако системное решение проблемы потребует намного больших усилий и объема экспериментального материала, чем это было возможным в рамках настоящей работы.

### **3.1.1. Методический подход**

*Назначение и классификация.* Разработанная система ТХР для страны предназначалась, главным образом, для целей учёта леса и лесоустойчивого проектирования, поэтому в неё включены основные практически важные категории таблиц – полных (общие и региональные ТХР) и модальных (региональные ТХР) насаждений, естественного и искусственного происхождения, включая целевые программы лесовыращивания главнейших пород. В качестве основной пространственной единицы использован экорегион как некоторое обобщение базовых единиц лесорастительного, лесохозяйственного и лесотаксационного районирования [Швиденко и др., 2000]. Экорегионы объединялись в некоторые территориальные общности в зависимости от величины ареала данной породы, экосистемного разнообразия лесов и наличия таблиц. Например, ареал лиственницы был разделен на 18 частей, в том числе 2 в Европейской, и 16 – в Азиатской части России.

Унификация ТХР произведена по форме и по уровням продуктивности. Последнее понимается только в том смысле, что в базовых возрастах для идентификации одних и тех же классов бонитетов были использованы одни и те же значения высот, взятые из выровненной общесреднебонитетовой шкалы М.М. Орлова [Швиденко и др., 1987]. В качестве базового выбрали возраст, в котором рост в высоту стабилизируется (для лиственницы – 100 лет).

В качестве основного классификационного признака использовался бонитет древостоев. Использование бонитета как основного классификационного признака не означает, что типологический базис нами игнорировался. Например, в пределах одного и того же района и (унифицированного) класса бонитета закономерности роста заболоченных и суходольных лесов одной и той же породы существенно различны. В таком случае ТХР разделялись на типологические группы, например, автоморфных и гидроморфных групп типов леса, но в рамках этих групп классифицировались по бонитетам.

*Модельный подход.* Первичными показателями моделирования ТХР служили средняя высота ( $H$ ), средний диаметр ( $D$ ), сумма площадей сечения ( $G$ ), запас ( $M$ ) и общая продуктивность ( $TP$ ). В тех случаях, когда данные по общей продуктивности в исходных таблицах не приводились, последняя вычислялась, как правило, через редуциционные числа среднего дерева отпада, заимствованные из опубликованных и иных источников. В исключительных случаях, когда для конкретной ТХР данные измерений оказывались недоступными, использовались зависимости из наиболее близкой ТХР.

Ход роста указанных выше показателей ( $X_i$ ) выравнивался с использованием функции роста Бергаланфи, известной в таксационной литературе как функция Дракина-Вуевского или Ричарда-Чэпмена [Richards, 1959], дифференциальное (3.1) и интегральное (3.2) уравнения которой имеет вид:

$$\frac{dX_i}{dt} = c_3 c_2 c_1^{1/c_3} - c_3 c_2 X_i \quad (3.1)$$

$$X_i = c_1 [1 - \exp(-c_2 A)]^{c_3} \quad (3.2)$$

Уравнения (3.1) и (3.2) описывают, соответственно, прирост и накопленное значение таксационного показателя как функцию возраста в пределах класса бонитета. Коэффициенты модели имеют содержательную биологическую трактовку:  $c_1$  – представляет собой максимально возможное значение ростовой функции (асимптоту), т.е. отражает величину использованного потенциала условий произрастания;  $c_2$  – масштабирует временную ось и характеризует скорость роста древостоя, будучи пропорциональным возрасту кульминации прироста. Величина  $c_1 c_2 (1 - 1/c_3) \exp(c_3 - 1)$  даёт максимальное значение текущего прироста, и  $[\ln(c_3)/c_2]$  есть точка перегиба ростовой функции. Моделирование многочисленных ТХР в рамках настоящей работы показали, что наборы коэффициентов  $c_{1,2,3}$  хорошо описывают особенности роста различных пород для различных условий произрастания и режимов хозяйства.

Вычисленные на основе исходных (одной или нескольких) таблиц по отдельным классам бонитета, коэффициенты модели для породы в целом аппроксимировали посредством полиномов, как правило, в виде квадратичной формы

$$\begin{aligned} c_1 &= c_{13}SI^2 + c_{12}SI + c_{11} \\ c_2 &= c_{23}SI^2 + c_{22}SI + c_{21} \\ c_3 &= c_{33}SI^2 + c_{32}SI + c_{31}, \end{aligned} \quad (3.3),$$

где  $SI$  – индекс продуктивности насаждений (класс бонитета),  $c_i$  и  $c_{ij}$  – коэффициенты.

Уравнения (3.1) и (3.2) описывают динамику древостоев только на стадии роста. Однако значительные территории естественных лесов Се-



верной Евразии представлены стадиями перестойных, разных типов разновозрастности древостоев, находящихся на стадии разрушения, когда сумма площадей сечений и запас уменьшаются с возрастом. Для описания динамики на этой фазе уравнение (3.1) было модифицировано, вводя зависимость коэффициента  $C_2$  от возраста следующим образом

$$C_2 = C_2 = const \quad \text{при } A < A_d, \text{ и}$$

$$C_2 = C_2 \exp(-C_4 (A - A_d)) \text{ при } A \geq A_d$$

где  $A_d$  – возраст начала фазы разрушения.

Очевидно, что полные насаждения подавляющего большинства типов возрастной структуры с определенного возраста вступают в стадию разрушения. Однако среди всего множества ТХР «нормальных» насаждений это явление отражается в исключительных случаях (например, из всех общих ТХР, помещенных в «Общесоюзные нормативы ...» [1992], уменьшение сумм площадей сечений и запаса указывается только для двух-трех высших бонитетов для сосны и лиственницы, и уменьшение это составляет малую величину – от долей процента до нескольких процентов). Очевидно, это связано с тем, что для подавляющего большинства ТХР (исключая модальные древостои Европейского Севера, Сибири и Дальнего Востока) возрастной диапазон ограничен и не включает период после возраста естественной спелости. В нашем подходе к моделированию, мы приняли предпосылку, что в течение 2-3 классов возраста после наступления возраста спелости полные древостои находятся в стадии стабилизации запаса.

«Производные» показатели ТХР (число стволов, текущий и средний приросты по наличному запасу и общей продуктивности) вычислялись по известным формулам лесной таксации. Следует подчеркнуть, однако, что текущие приросты по запасу и общей продуктивности вычислены через производные функций возрастной динамики этих показателей, т.е. в табличной форме унифицированных ТХР приводятся значения, соответствующие приросту в данном возрасте (для данного года), а не средние величины за некоторый период.

*Особенности моделирования и верификация результатов.* Исходные ТХР данного типа и для данного объединения экорегионов подвергались графическому и формальному аналитическому анализу с тем, чтобы исключить очевидные погрешности и опечатки (которых неожиданно оказалось достаточно много). После этого первичные показатели выравнивались по уравнению (2). Для расчетов использовались различные версии пакета нелинейного (по параметрам) моделирования Matlab. В целях верификации исходные и модельные результаты сравнивались, и результаты моделирования признавались удовлетворительными, если средняя квадратическая разница модельных и исходных значений для сопоставимых показателей не превышала  $\pm 3 \%$  и расхождение в любой отдельно взятой точке  $\pm 6 \%$ . Адекватность выравнивания проверялась по анализу остатков. После этого

модель приводилась к окончательному виду посредством (3.3) путем вычисления коэффициентов (обобщенной) модели для породы (данной ТХР) по классам бонитета.

Использованный подход позволяет формальное расширение таблиц, например, расширение возрастного диапазона, добавление одного-двух соседних классов бонитета, хотя подобной экстраполяцией мы пользовались крайне осторожно, с последующим анализом существования табулируемых закономерностей.

### 3.1.2. Результаты моделирования

В рамках описанной выше системы для ареала лиственницы на территории России было разработано 19 таблиц хода роста (общие и 10 региональных). Для района исследования рекомендуется 2 ТХР полных и 6 ТХР модальных насаждений (табл. 3.1; в списке указаны также общие ТХР лиственничных насаждений).

Таблица 3.1

Перечень таблиц хода роста лиственничных древостоев, рекомендуемых для Северо-Востока

№	Наименование и зона действия таблиц хода роста	Авторы базовых таблиц и источники
1	Общие таблицы хода роста (ТХР) лиственничных древостоев Северной Евразии	Н.В. Выводцев [Загреев и др., 1992, стр. 309-314]
2	Таблицы хода роста (ТХР) полных древостоев экорегионов северной и редкостойной тайги Якутии и Магаданской области	Б.И. Подмаско [Корякин, 1990, табл. 152]
3	ТХР полных древостоев горных экорегионов центра и юга Якутии	А.И. Уткин [Уткин, 1961]
4	ТХР модальных древостоев экорегионов лесотундры, редкостойной и северной тайги Северной и Центральной Якутии	Л.К. Поздняков [Фалалеев, 1975, табл. 40-42, табл. 43-44]
5	ТХР модальных древостоев экорегионов средней тайги Южной Якутии (брусничные типы леса)	И.Ф. Шурдук [Фалалеев, 1975, табл. 45-47] и Э.Н. Фалалеев и Ц.Б. Шайдоров [Фалалеев, 1975, табл. 50]
6.	ТХР модальных древостоев экорегионов средней тайги Южной Якутии (мохово-багульниковые типы леса)	И.Ф. Шурдук [Фалалеев, 1975, табл. 48-49]
7	ТХР модальных древостоев экорегионов лесотундры и редкостойной тайги северо-востока Якутии и Магаданской области	Э.Н.Фалалеев и Яковлев [Корякин, 1990, табл. 151]
8	ТХР модальных древостоев Приохотья (гидроморфные местообитания)	Н.В. Выводцев, З.А. Выводцева и Е.А. Лысун [Выводцев и др., 1996, приложение 23]
9	ТХР модальных древостоев экорегионов лесотундры и редкостойной тайги северо-востока Якутии в зависимости от почв и рельефа	Д.Г. Щепашенко и М.В. Щепашенко [Щепашенко и Щепашенко, 2005]

Коэффициенты полученных нами моделей приведены в табл. 3.2, 3.3. Полностью же таблицы хода роста не приводятся в данной работе из-за их большого объёма. Однако они опубликованы министерством природных ресурсов ([Швиденко и др., 2006]) и размещены в интернет ([http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest\\_cdrom](http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom)).

В целях иллюстрации в табл. 3.4 приведен пример ТХР модальных лиственничников IV класса бонитета южной Якутии (брусничные типы леса, экорегионы средней тайги). Модель построена для III-V бонитетов как объединение закономерностей роста модальных лиственничных древостоев, содержащихся в двух ТХР 1) типа леса лиственничник брусничный, разработанных И.Ф. Шурдук для III, IV и V классов бонитета Ленско-Вилюйского плоскогорного среднетаёжного ЛХР и 2) двух типов леса (лиственничник брусничный и лиственничник рододендроновый), разработанных Э. Н. Фалалеевым и Б. Шайдоровым для южной части Витимского плоскогорья, оба V бонитета в Северо-Байкальском горно-таёжном ЛХР.

Таблица 3.2

## Коэффициенты моделей таблиц хода роста лиственничников Северо-Востока

Показатель	Коэффициенты моделей (уравнения 3.2, 3.3)									Примечание
	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	
1.4. Ход роста полных (нормальных) лиственничных древостоев										
H	4.5078E+1	-4.2071E+0	-3.1800E-2	1.7070E-2	-5.8000E-4	1.4000E-5	1.0069E+0	-2.2110E-2	9.1000E-3	
D	5.4081E+1	-3.3845E+0	-1.6730E-1	1.1780E-2	-3.3000E-4	7.1000E-6	1.0675E+0	1.5400E-2	8.5000E-4	
BA	5.2971E+1	-2.6395E+0	-1.4038E-1	5.7020E-2	-1.1880E-2	7.8500E-4	1.5117E+0	-2.3683E-1	2.2310E-2	
GS	9.3105E+2	-1.2228E+2	1.8816E+0	3.8593E-2	-6.6600E-3	4.4000E-4	2.6830E+0	-4.3777E-1	4.6840E-2	
TV	1.5240E+3	-2.4270E+2	8.1645E+0	2.6492E-2	-1.9100E-3	-2.4000E-5	2.2172E+0	-1.4478E-1	1.7060E-2	
4.1.5. Ход роста полных лиственничных древостоев на востоке Якутии и в Магаданской области (экорегiónы редкостойной и северной тайги)										
H	3.8236E+1	-2.7597E+0	-1.1229E-1	2.9943E-2	-2.4806E-3	1.2207E-4	1.5464E+0	-3.7341E-2	8.2810E-3	
D	3.9269E+1	-4.1550E+0	2.3426E-1	4.7056E-2	-1.0828E-2	1.0033E-3	2.7938E+0	-6.6094E-1	1.0547E-1	
BA	3.7724E+1	4.7577E-1	-2.1735E-1	6.0341E-2	2.3657E-4	-7.8160E-4	6.3259E-1	6.2235E-1	-5.0697E-2	
GS	6.1752E+2	-5.7867E+1	-8.4368E-1	3.1106E-2	-1.5579E-4	-1.6378E-4	2.1960E+0	3.5157E-2	2.5278E-2	
TV	1.2186E+3	-1.6740E+2	4.0258E+0	4.1082E-2	-5.1573E-3	2.7962E-4	4.0464E+0	-5.9954E-1	7.8739E-2	
4.1.6. Ход роста полных лиственничных древостоев горных экорегiónов центра и юга Якутии										
H	2.9443E+1	-7.4606E-1	-2.2713E-1	-3.6180E-2	2.5106E-2	-2.4700E-3	-7.6106E+0	3.2435E+0	-2.6086E-1	
D	1.0270E+2	-1.6866E+1	5.6656E-1	3.0727E-2	-7.5400E-3	8.9000E-4	6.9137E+0	-1.8054E+0	1.7966E-1	
BA	4.9907E+1	-1.5121E+0	-4.8399E-1	-9.6300E-3	6.5200E-3	2.9700E-4	3.1276E+1	-1.1914E+1	1.1959E+0	
GS	7.4885E+2	-9.3020E+1	4.8400E-2	7.6223E-2	-2.1500E-2	2.2050E-3	4.1413E+1	-1.5488E+1	1.5286E+0	
TV	1.4868E+3	-2.2615E+2	4.3039E+0	2.1555E-2	-5.4600E-3	9.7300E-4	3.1394E+1	-1.1588E+1	1.1437E+0	
4.2.5. Ход роста модальных лиственничных древостоев Центральной и Северной Якутии (экорегiónы редкостойной северной и средней тайги)										
H	8.3460E+1	-1.7540E+1	1.1000E+0	-1.6241E-1	6.3109E-2	-5.3778E-3	-1.2415E+1	4.9224E+0	-4.1666E-1	
D	-3.0801E+1	2.5247E+1	-2.6467E+0	8.3196E-2	-2.6698E-2	2.5043E-3	1.7306E+1	-5.9466E+0	5.5628E-1	
BA	1.2472E+1	4.5002E+0	-4.9512E-1	3.3705E-2	-4.4550E-3	8.4600E-4	-9.4132E+0	3.2783E+0	-2.4422E-1	P*
GS	-1.7749E+2	1.3966E+2	-1.4268E+1	9.1135E-2	-1.8400E-2	1.4890E-3	-3.6887E+1	1.3109E+1	-1.0626E0	P*
TV	5.3312E+2	-5.7921E+1	3.0079E-1	4.8839E-2	-6.6856E-3	6.6345E-4	5.3540E+0	-4.0008E-1	2.5920E-2	

## Коэффициенты моделей таблиц хода роста лиственничников Северо-Востока

Показатель	Коэффициенты моделей (уравнения 3.2, 3.3)									Примечание
	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	
4.2.6. Ход роста модальных лиственничных древостоев Южной Якутии (группа брусничных типов леса, экорегионы средней тайги)										I=-2*
H	1.5000E+1	6.9900E+0	-1.2816E+0	1.5835E-1	-6.4912E-2	7.4210E-3	1.3979E+1	-5.8609E+0	6.7586E-1	
D	-2.2956E+0	3.1163E+1	-5.1251E+0	5.7356E-2	-3.1407E-2	4.7260E-3	4.5159E+0	-2.2025E+0	3.3272E-1	
BA	3.9839E+1	-6.4201E+0	3.8210E-1	2.6274E-1	-3.2988E-2	-9.4600E-4	2.4458E+1	6.2606E+0	-1.914E+0	
GS	1.9274E+2	5.5702E+1	-1.3875E+1	1.1787E-1	-3.4170E-2	3.2620E-3	4.9184E+0	-4.0667E-1	-2.2970E-2	
TV	5.3949E+2	-2.1702E+1	-8.6329E+0	-2.3250E-2	2.2761E-2	-2.6000E-3	-8.6101E+0	5.1828E+0	-5.7530E-1	
4.2.7. Ход роста модальных лиственничных древостоев Южной Якутии (группа багульниково-моховых типов леса, экорегионы средней тайги)										I=-2*
H	1.6000E+1	6.9900E+0	-1.2816E+0	9.4500E-2	-3.6072E-2	4.2190E-3	7.5206E+0	-2.8197E+0	3.2569E-1	
D	5.5000E+0	3.1163E+1	-5.0500E+0	6.9000E-2	-3.1407E-2	3.8000E-3	5.5000E+0	-2.2025E+0	2.6500E-1	
BA	2.1000E+1	-1.0000E+0	0.0000E+0	2.6274E-1	-3.2988E-2	-9.4600E-4	2.4458E+1	6.2606E+0	-1.914E+0	
GS	3.7864E+2	-9.1836E+1	8.8010E+0	2.9311E-2	-1.7300E-3	2.8800E-4	2.0886E+0	-4.4410E-2	2.4832E-2	
TV	3.0348E+2	-1.8603E+1	-6.9110E-2	1.8893E-2	1.4550E-3	-7.4000E-5	3.7434E-1	8.3062E-1	-7.2520E-2	
4.2.8. Ход роста модальных лиственничных древостоев северо-востока Якутии и Магаданской области (экорегионы лесотундры и редкостойной тайги)										
H	7.7500E+1	-1.5469E+1	9.4905E-1	-4.6500E-2	2.2750E-2	-1.9500E-3	-3.3870E+0	1.6535E+0	-1.2950E-1	
D	3.8107E+0	-1.6461E+0	-2.0900E-2	1.5540E-2	-9.4000E-4	1.7000E-4	2.0260E+0	-5.7700E-1	9.7000E-2	
BA	1.6786E+1	3.7130E+0	-7.2215E-1	-4.2100E-2	2.8600E-2	-2.2000E-3	1.7620E+0	-9.0100E-1	1.7800E-1	
GS	5.4802E+2	-8.5413E+1	1.8390E+0	-8.6020E-2	3.9016E-2	-3.5700E-3	-9.9708E+0	4.3933E+0	-4.0889E-1	
TV	1.1921E+3	-2.1302E+2	9.9979E+0	-6.3100E-3	7.9200E-3	-6.7000E-4	-4.7734E+0	2.4211E+0	-2.1258E-1	
4.2.11. Ход роста модальных лиственничных древостоев северо-востока Якутии в зависимости от почв и рельефа. Аллювиальные связанопесчаные почвы речных пойм и первых террас.										
H	1.8560E+1			1.8915E-2			1.0429E+0			
D	1.9178E+1			2.5554E-2			1.5185E+0			
BA	1.7590E+1			1.6832E-2			1.5805E+0			
GS	1.4072E+2			1.6851E-2			2.2972E+0			
TV	1.9971E+2			1.6069E-2			2.4613E+0			

## Коэффициенты моделей таблиц хода роста лиственничников Северо-Востока

Показатель	Коэффициенты моделей (уравнения 3.2, 3.3)									Примечание
	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C31	C32	C33	
4.2.11. Ход роста модальных лиственничных древостоев северо-востока Якутии в зависимости от почв и рельефа. Палевые почвы и Палево-криозёмы на склонах теплых экспозиций и бровках террас.										
H	1.4538E+1			3.0101E-2			1.5725E+0			
D	1.5444E+1			3.7697E-2			2.7759E+0			
BA	1.4762E+1			2.9137E-2			3.2320E+0			
GS	9.6607E+1			2.9634E-2			4.5328E+0			
TV	1.4092E+2			2.8295E-2			4.7552E+0			
4.2.11. Ход роста модальных лиственничных древостоев северо-востока Якутии в зависимости от почв и рельефа. Криозёмы на плато и пологих склонах.										
H	1.1968E+1			4.1810E-2			4.6569E+0			
D	1.2943E+1			4.8743E-2			6.7052E+0			
BA	9.9500E+0			3.7022E-2			4.5175E+0			
GS	5.4240E+1			3.9222E-2			7.9945E+0			
TV	7.9842E+1			3.6851E-2			7.8605E+0			
4.2.11. Ход роста модальных лиственничных древостоев северо-востока Якутии в зависимости от почв и рельефа. Криозёмы торфянистые и Торфянисто-глеевые на слабодренированных пологих участках, а также Торфянистые на крутых северных склонах.										
H	8.1820E+0			2.6029E-2			2.3642E+0			
D	8.8382E+0			4.2905E-2			6.7530E+0			
BA	6.4631E+0			3.2389E-2			4.4390E+0			
GS	2.5589E+1			2.9636E-2			5.7200E+0			
TV	4.0668E+1			2.7566E-2			5.6061E+0			

\*Указанное в примечании «I=-2» означает, что в данном случае I бонитет кодировался цифрой -2, как правило же I=2.

Указанное в примечании «P» означает стадию разрушения, коэффициенты указаны в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Таблицы хода роста лиственничных древостоев. Коэффициенты стадии разрушения древостоев.

Показатели	Коэффициенты		
	C41	C42	C43
Ход роста модальных лиственничных древостоев Центральной и Северной Якутии (экорегiónы редкостойной и средней тайги)			
BA	3.4138E-2	7.9588E-2	-6.3783E-1
GS	6.6770E-3	1.0771E-2	-1.3950E-2

Таблица 3.4

Ход роста модальных древостоев лиственницы среднетаёжных экорегiónов южной Якутии (брусничные типы леса), пример для IV бонитета

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число деревьев, шт	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> ·га <sup>-1</sup>	Запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup>	Изменение запаса, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>		Общая продуктивность, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup>	Прирост по общей продуктивности, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>		Отпад, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>
						текущее	среднее		текущий	средний	
40	8,9	9,9	2204	16,8	79	2,76	1,98	90	3,69	2,24	0,93
50	10,8	12,0	1699	19,1	105	2,38	2,10	126	3,55	2,52	1,17
60	12,5	13,9	1303	19,9	127	1,93	2,11	160	3,20	2,67	1,27
70	14,0	15,8	1030	20,2	144	1,50	2,05	190	2,75	2,71	1,25
80	15,3	17,5	841	20,2	157	1,14	1,96	215	2,30	2,69	1,16
90	16,4	19,1	707	20,3	167	0,85	1,85	236	1,88	2,62	1,03
100	17,3	20,6	609	20,3	174	0,63	1,74	253	1,51	2,53	0,88
110	18,1	22,0	535	20,3	180	0,46	1,63	266	1,20	2,42	0,74
120	18,8	23,3	477	20,3	183	0,33	1,53	277	0,95	2,31	0,62
130	19,4	24,5	431	20,3	186	0,24	1,43	285	0,74	2,19	0,50
140	19,9	25,6	395	20,3	188	0,17	1,35	292	0,58	2,08	0,41
150	20,3	26,6	364	20,3	190	-0,06	1,27	297	0,45	1,98	0,52
160	20,6	27,6	332	19,9	189	-0,08	1,18	301	0,35	1,88	0,43
180	21,2	29,3	283	19,1	187	-0,13	1,04	306	0,21	1,70	0,34
200	21,5	30,8	247	18,5	184	-0,20	0,92	310	0,13	1,55	0,33
220	21,8	32,1	219	17,7	179	-0,29	0,81	312	0,07	1,42	0,37

На рис. 3.1–3.8 дана графическая модель общих ТХР полных листовенных насаждений.

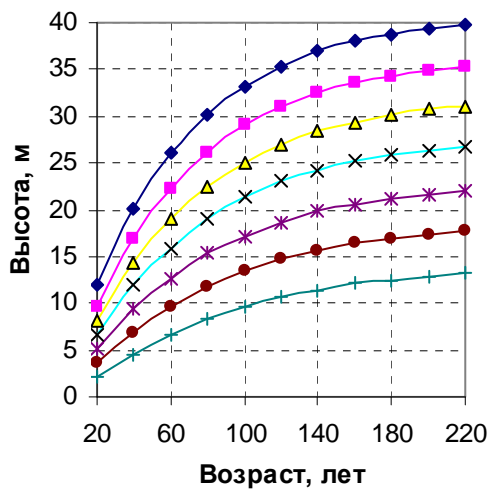


Рис. 3.1. Ход роста по высоте

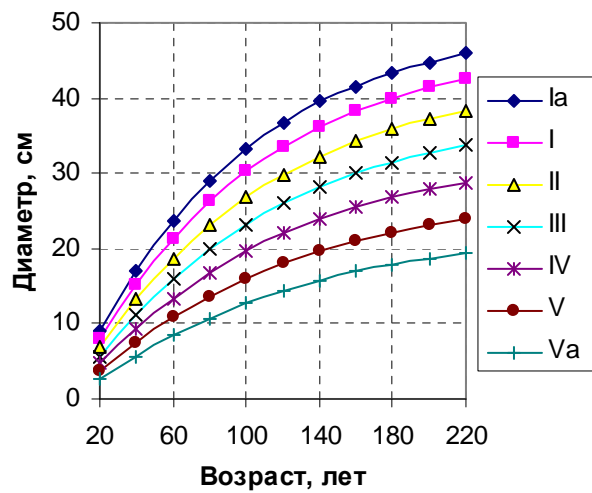


Рис. 3.2. Ход роста по диаметру

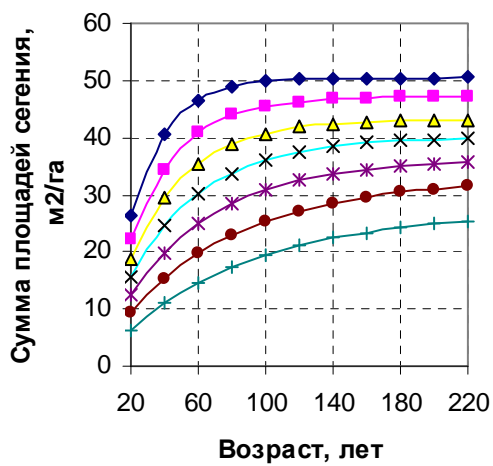


Рис. 3.3. Ход роста по сумме площадей сечения

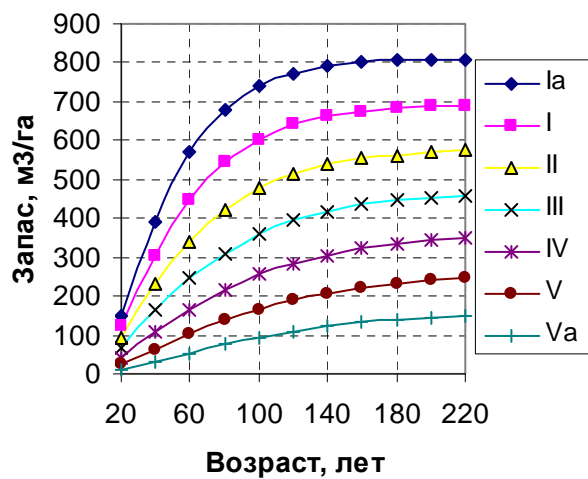


Рис. 3.4. Ход роста по запасу



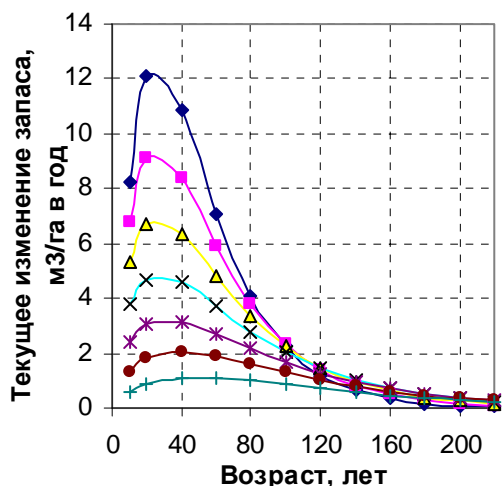


Рис. 3.5. Текущее изменение запаса

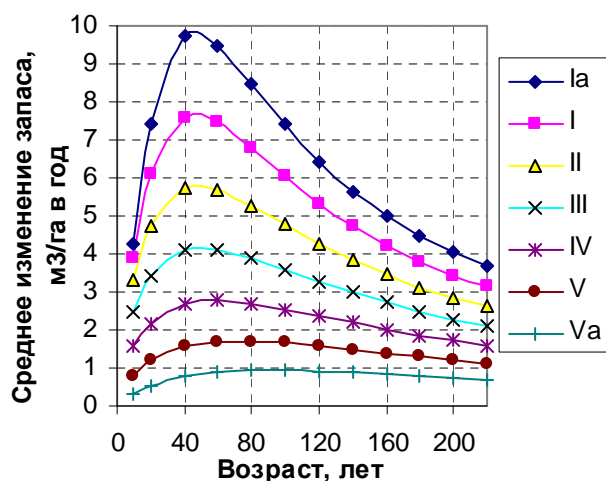


Рис. 3.6. Среднее изменение запаса

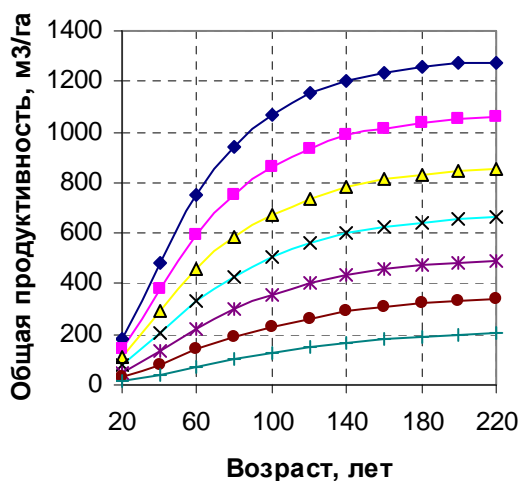


Рис. 3.7. Ход роста по общей продуктивности

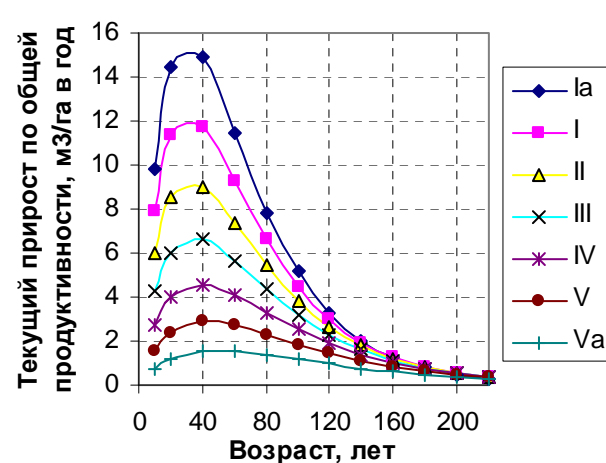


Рис. 3.8. Текущий прирост по общей продуктивности

Анализ разработанных моделей роста позволяет сделать ряд интересных выводов. Мы остановимся на главнейших.

Сравнение закономерностей формирования полных насаждений региона с таковыми, представленными в общих таблицах, в молодом возрасте не обнаруживает существенных отклонений. Эталоны полноты 1.0, рассматриваемые как зависимость сумм площадей сечения от средней высоты древостоев, показывают некоторую тенденцию увеличения с улучшением условий произрастания (класса бонитета), но тенденция эта для низкопродуктивных древостоев региона выражена слабо. Возможно, это объясняется относительно малым диапазоном изменения продуктивности древостоев (в основном от IV до Vb классов бонитета). В старших возрастах отличие региональных полных насаждений от всеобщих более значительно, оче-

видно в силу влияния повторяющихся пожаров низкой интенсивности. До предельных возрастов, представленных в моделях (200-240 лет), разрушения древостоев (устойчивого снижения сумм площадей сечения и запасов) не наблюдается.

Формирование модальных насаждений определяется, главным образом, местной спецификой условий местопроизрастания и соответствующими особенностями пожарного режима. Послепожарное восстановление лиственницы происходит интенсивно, что ведет к формированию густых (с полнотой 0.7-1.0) молодняков, отличающихся достаточно интенсивным ростом. Повторяющиеся низовые пожары приводят к существенному изреживанию, и к 50-60 годам их полнота существенно понижается. Разрушение древостоев, как правило, отчетливо проявляется после 120-150 летнего возраста, хотя заметные особенности местопроизрастаний вносят заметные коррективы. Так, в условиях Южной Якутии запас лиственничников на суходолах (преимущественно брусничные типы леса) начинает заметно уменьшаться со 150 летнего возраста, тогда как во влажных местообитаниях начало этого процесса сдвинуто к 200-220 летнему возрасту.

Особенности формирования модальных древостоев сказываются на динамике их основных таксационных показателей. Максимум среднего прироста по наличному запасу (количественная спелость древостоев) сдвинут в достаточно молодые возраста по сравнению с полными насаждениями и в среднем равен от 40 до 70-80 лет для древостоев IV-Va классов бонитета, повышаясь с ухудшением их продуктивности. Количественная спелость по общей продуктивности в среднем на 15-20 лет выше.

В отличие от полных, отпад в модальных насаждениях остаётся высоким на протяжении всей жизни древостоя, хотя и несколько снижается в больших возрастах. Это сказывается на соотношении динамики наличного запаса и общей продуктивности. Если до 100-120 летнего возраста отношение общей продуктивности к запасу составляет величины, близкие к таковым, установленным для более продуктивных лесов запада и юга страны (порядка 1.3-1.5), то к 200-220 летним возрастам эта величина достигает 1.7-1.9. Исключение составляют низкородуктивные лиственничники заболоченных местообитаний, где низовые пожары высокой интенсивности наблюдается крайне редко.

Рассмотренный набор ТХР позволяет решать основные лесохозяйственные и лесоучётные задачи в регионе, связанные с формированием и ростом лиственничных насаждений, хотя специфика роста и функционирования лесов на северном пределе их распространения требует дополнительных исследований. Поскольку разработанная система допускает любые расширения, изменения и уточнения программными средствами, то использованные методические подходы могут быть трансформированы в последовательную методику разработки ТХР «традиционного» типа – потребность в таковых по-прежнему велика и будет возрастать. С другой

стороны, для лесов на вечной мерзлоте, особенно в условиях её деградации, требуется учёт дополнительных факторов, в частности, влияния ландшафтно-почвенных условий на рост и продуктивность насаждений.

### 3.2. Ход роста лиственничников на различных почвах северо-востока Республики Саха

В настоящее время таблицы хода роста, разработанные на почвенно-типологической основе, не играют большой роли в лесохозяйственной практике. Однако анализ их показывает, что подобные таблицы могут являться более надёжной основой для прогноза развития лесов, проектирования лесохозяйственных мероприятий. По мере развития и формализации почвенной и лесотипологической классификаций, накопления данных о взаимосвязи роста леса с почвенными условиями этот вид таблиц может найти более широкое применение.

Взаимосвязь почв, растительности и рельефа проявляется особенно ярко на границах зон природы. Это связано с наличием четко выраженного лимитирующего фактора, каким в лесотундре является тепло. Выраженный рельеф северо-востока Якутии, перераспределяющий тепло и влагу, позволяет проследить зависимость роста леса от почв.

Нами были построены модальные таблицы хода роста лиственницы северо-восточной Якутии в зависимости от типа почв. Исходными данными послужили материалы пробных площадей, полученные при лесоустройстве (частично при нашем участии). Всего в анализе использованы материалы 1250 пробных площадей, в том числе по почвам: криозём суглинистый – 310, криозём торфянистый суглинистый – 375, криозём торфянисто-перегнойный суглинистый – 55, аллювиальная связнопесчаная – 34, палевая суглинистая – 32, палевая фрагментарная – 15, торфянисто-глеевая – 61, палево-криозём суглинистый – 86, торфянистая на сланцах – 12, криозём суглинистый на сланцах – 170. Почвы и их лесорастительные свойства описаны в разделе 1.4 [Щепашенко и др., 1997].

Для выравнивания хода роста в высоту использовали уравнение (3.4)

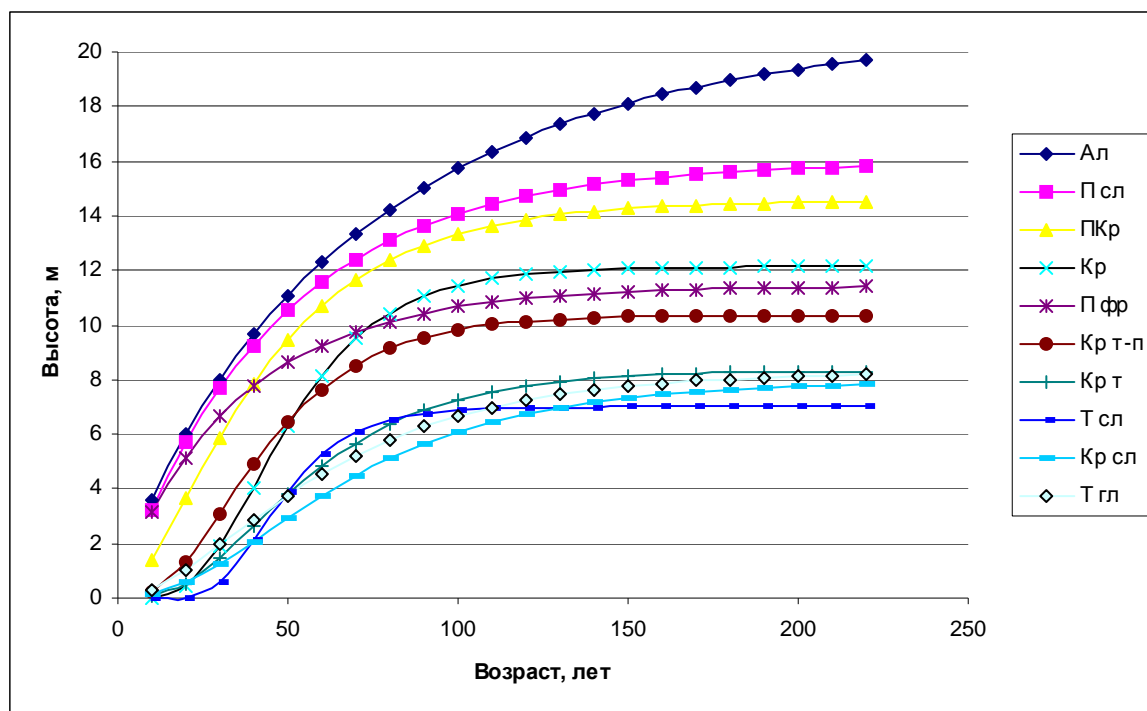
$$H = c_1 [1 - \exp(-c_2 A)]^{c_3}, \quad (3.4)$$

где  $H$  – высота древостоя, м;

$c_1, c_2, c_3$  – коэффициенты уравнения;

$A$  – возраст древостоя, лет.

На рис. 3.9 приведены кривые хода роста лиственницы на 10 почвенных разностях. Они свидетельствуют о том, что лесорастительные свойства этих почв варьируют очень сильно. Так, например на палевых, палево-криозёмах и аллювиальных почвах лиственница к 100 годам достигает 13-15 метров, в то время как на торфянисто-глеевых и торфянистых на сланцах её высота к этому возрасту составляет всего 6-7 метров.



Кр – криозём легкосуглинистый (1), Кр т – криозём торфянистый легкосуглинистый (2), Кр т-п – криозём торфянисто-перегнойный легкосуглинистый (3), Ал – аллювиальная связанопесчаная (5), П сл – палевая легкосуглинистая на сланцах (6); П фр – палевая фрагментарная на сланцах (примитивная щебнистая тёплых склонов – 7), Т гл – торфянисто-глеевая низинная (10); ПКр – палево-криозём легкосуглинистый (16), Т сл – торфянистая на сланцах (17), Кр сл – криозём легкосуглинистый на сланцах (18).

Рис.3.9. Хода роста лиственницы в высоту по почвам

Сравнение рядов регрессии было произведено по алгоритму Н.А. Плохинского [1970, стр. 322]. Этот метод позволил рассчитать три статистических критерия: критерий различия рядов, критерий превышения одного ряда над другим и критерий непараллельности рядов. Указанные критерии приведены в табл. 3.5.

Критерий различия рядов регрессии подтверждает высокую достоверность различия хода роста лиственницы на разных почвах. Недостовверное различие (на уровне достоверности 0,95) в ходе роста отмечено на почвах северных склонов между собой: торфянистая на сланцах (Т сл) и криозём на сланцах (Кр сл). Подтверждается близость роста на почвах северных склонов с ростом на торфянистых почвах плакоров: криозём торфянистый (Кр т), торфянисто-глеевая низинная (Т гл), торфянистой на сланцах (Т сл).

Критерий превышения одного ряда над другим чаще всего достоверен при достоверности различия кривых. Критерий непараллельности рядов подтверждает параллельность кривых хода роста за ис-

ключением сильно отличающихся по лесорастительным свойствам почв, например палевая и торфянисто-глеевая.

Таблица 3.5

Статистические критерии сравнения рядов хода роста по почвам

Почвы	Критерии сравнения рядов хода роста по почвам									
	Кр	Кр т	Кр т-п	Ал	П сл	П фр	Т гл	ПКр	Т сл	
Кр т	+++ +++ -									
Кр т-п	+++ +++ -	- ++ -								
Ал	+++ +++ -	+++ +++ -	+++ +++ -							
П сл	+++ +++ +	+++ +++ +	+++ +++ +	+++ - -						
П фр	+++ +++ +	- - -	+++ +++ -	+++ +++ -	+++ +++ +					
Т гл	+ +++ -	- - -	- ++ -	+++ +++ -	+++ +++ ++	++ ++ -				
ПКр	+++ +++ -	+++ +++ -	+++ +++ -	+++ - -	+++ - +	+++ +++ -	+++ +++ -			
Т сл	+++ +++ -	- +++ -	- +++ -	+++ +++ +	+++ +++ -	++ +++ -	++ + -	+++ +++ -		
Кр сл	++ +++ -	- ++ -	+ +++ -	+++ +++ +	+++ +++ -	+ +++ -	++ - -	+++ +++ -	- - -	

++	Критерий различия рядов
+++	Критерий превышения одного ряда над другим
-	Критерий непараллельности рядов

+++ Уровень достоверности 0,999

++ Уровень достоверности 0,99

+ Уровень достоверности 0,95

- Не достоверен на уровне 0,95

Далее нами было рассчитано сходство почв между собой по отношению к ходу роста (рис. 3.9) При этом использован статистический пакет Klaster [Рожков, 1979, 1989].

При этом сходство между объектами (в данном случае кривыми хода роста) рассчитывается по следующей формуле.

$$C_{it} = (1 - d_{it}^2)^{-1}, \text{ где}$$

$d_{it}$  – расстояние между объектами  $i$  и  $t$ ;

$$d_{it} = \frac{1}{q} \left( \sum_{j=1}^q \frac{(x_{ij} - x_{tj})^2}{S_j} \right)^{1/2}, \text{ где}$$

- $q$  - число признаков;
- $x_{ij}$  - значение  $j$ -го признака для  $i$ -го объекта;
- $S_j$  - дисперсия  $j$ -го признака;

$$S_j = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_{ij} - x'_j)^2), \text{ где}$$

- $n$  - количество объектов;
- $x_{ij}$  - значение  $j$ -го признака для  $i$ -го объекта;
- $x'_j$  - среднее арифметическое значение  $j$ -го признака.

На приведенных рисунках (рис. 3.9, 3.10) можно выделить четыре группы кривых на уровне сходства 80 %. Это может быть объяснено различной теплообеспеченностью этих почв в связи с расположением на рельефе.

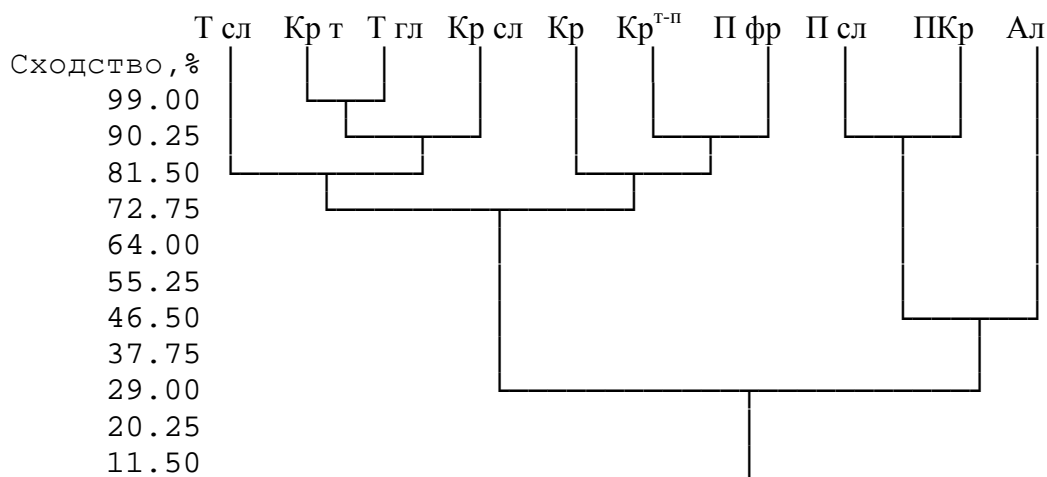


Рис. 3.10. Дендрограмма сходства кривых хода роста

Выположенные элементы рельефа, не страдающие избыточным увлажнением, занимают криозёмы – наиболее представленный тип почв. Мощность деятельного слоя почвы составляет 40-80 см (уровень мерзлоты здесь и далее измеряли в августе). Преобладают зеленомошные типы леса (лиственничники бруснично-багульниково-зеленомошные, голубичниково-зеленомошные и осоково-зеленомошные) Va класса бонитета с полной

0,2-0,3. Подлесок редкий, состоит из берёзы тощей. В хорошо развитом травяно-кустарничковом ярусе преобладают багульник, брусника, голубика. В эту же группу кривых попадает кривая роста на палевой фрагментарной почве, что вероятно связано с ограничением корнеобитаемого слоя на этих почвах.

Холодная группа включает криозёмы и торфяные на сланцах, располагающиеся на склонах холодных экспозиций. Здесь создается настолько неблагоприятный тепловой режим, что нередко образуются "висячие" болота. Мощность торфа достигает 15-25 см, непосредственно под ним залегает рухляк горной породы с небольшой примесью мелкозема. Глубина залегания льдистой мерзлоты 15-30 см. Древостой представлен редкостойной лиственницей с полнотой 0,2 и менее. В подлеске встречаются ослабленные кедровый стланик, ольховник кустарниковый и берёза тощая. В кустарничковом ярусе голубика и багульник. Лишайниково-моховой покров сплошной, преобладают зелёные мхи, в понижениях микрорельефа встречаются сфагнумы. Лишайники обильно представлены родом *Cladonia*, а также *Cetraria*. Насаждения на плохо дренированных почвах плакоров (криозёмах торфянистых и торфянисто-глеевых) практически не отличаются по ходу роста от редин северных склонов.

Теплая группа представлена палевыми легкосуглинистыми почвами южных склонов увалов и палево-криозёмами легкосуглинистыми и связанопесчаными, которые представляют собой переход от палевых почв к криозёмам (склоны теплых экспозиций, бровки террас и т.п.). Мерзлота, наблюдаемая в нижней части профиля этих почв, как правило, нельдистая или слабольдистая с редкими мелкими кристаллами. Для этих условий характерны лиственничники бруснично-лишайниковые, брусничные и брусничниково-багульниково-зеленомошные, как правило, V класса бонитета с полнотой 0,4-0,6. В составе древостоя иногда встречается осина и берёза плосколистная. В подлеске можжевельник, шиповник, смородина. Живой напочвенный покров представлен брусникой, зелёными мхами, лишайниками родов *Cladonia* и *Stereocaulon*, встречается полынь, бобовые (вика, астрагал), камнеломки.

Аллювиальные связанопесчаные почвы речных пойм и первых террас имеют многолетнюю водопроницаемая мерзлоту на глубине не менее 80-120 см. Это местоположение обычно занимают чистые лиственничные насаждения IV класса бонитета, максимальной полноты (0,8-0,9) и запаса для этого региона. Характерный тип леса – лиственничник бруснично-ритидиевый. В подлеске единично встречается кедровый стланик, смородина. Живой напочвенный покров пятнистый, представлен брусникой, грушанкой, лишайниками рода кладония, из мхов наиболее распространён ритидиум.

Ход роста лиственничников в высоту для выделенных групп почв представлен на рис. 3.11.

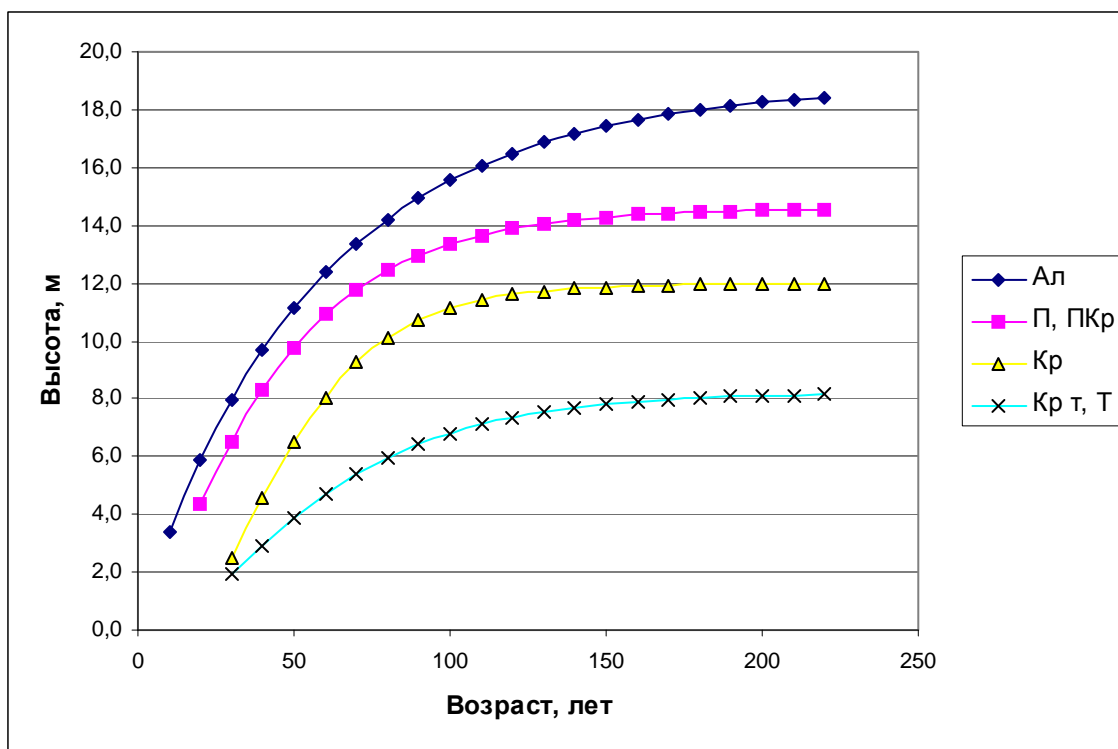


Рис.3.11. Ход роста лиственничников в высоту по группам почв

Для данных групп почв и были построены модальные таблицы хода роста (см. приложение В). Для расчета отдельных показателей в таблице хода роста применяли следующую методику. Средние диаметры были получены через линейную зависимость от высоты, отдельно для каждой группы почв. Сумма площадей сечений аппроксимирована функцией Ричарда-Чепмена (3.4) в зависимости от высоты, отдельно для каждой группы почв. Число стволов вычислено, исходя из суммы площадей сечений и среднего диаметра. Видовые числа и редуцированные числа отпада для вычисления запаса и общей продуктивности были взяты из модальных таблиц для республики Саха и Магаданской области [Фалалеев, 1975].

Таким образом, нами проанализирован ход роста лиственничников на 10 почвах, типичных для северо-востока Республики Саха, выделены 4 группы и для них составлены модальные таблицы хода роста. Разработанные таблицы представляют интерес для дальнейших исследований и обобщения закономерностей роста древостоев на вечной мерзлоте.



### 3.3. Модели и таблицы биологической продуктивности

Учёт фитомассы по фракциям не сопоставим по трудозатратам с получением таксационной характеристики древостоев. За 150-летнюю историю лесотаксационной науки накоплено большое количество данных пересчитываемой таксации на временных и постоянных пробных площадях, составлено большое количество региональных таблиц хода роста (ТХР), налажен государственный учёт лесного фонда (ГУЛФ). Данные о запасах и продуктивности фитомассы всё ещё остаются отрывочными и малочисленными по сравнению с таксационной характеристикой лесов. Одним из методов составления таблиц биопродуктивности является выравнивание показателей фитомассы одного возрастного ряда, аналогично методу составления таблиц хода роста. Примером могут служить таблицы листовенничных древостоев Южной Эвенкии [Красиков, 1987]. Этот метод в случае небольшого количества пробных площадей даёт невысокую точность. Более надёжным представляется метод оценки запасов фитомассы и её динамики с возрастом на основе данных ГУЛФ, используя модели ТХР и регрессионные зависимости фитомассы от таксационных показателей древостоев.

Предполагаемая в будущем оценка углеродного бюджета лесов для каждого таксационного выдела, что следует из логики практических приложений протокола Киото, предопределяет необходимость таксации фитомассы, чистой первичной продукции и ряда других показателей лесных экосистем, которые современной системой учёта лесов России не определяются. Отсюда следует целесообразность разработки новых типов лесотаксационных нормативов, важнейшей разновидностью которых являются модели и таблицы биологической продуктивности лесных экосистем (МБП).

Назначение нормативов этого типа – представить нормативно-справочную информацию для оценки динамики фитомассы по фракциям, приростов по фитомассе и, следовательно, чистой первичной продукции (ЧПП, Net Primary Production, NPP) и чистой экосистемной продукции (ЧЭП, Net Ecosystem Production, NEP) лесов. Разработка нормативов такого типа ранее не проводилась, поэтому важно четко определиться с основными методическими и модельными вопросами. Ниже кратко рассмотрена методика и приведены результаты разработки МБП для листовенничников региона, основанные на моделях ТХР, рассмотренных выше. Такой подход представляется логичным, поскольку позволяет 1) использовать накопленные знания роста и продуктивности древостоев и 2) иметь МБП, совместимые с действующими нормативами. Структура системы и классификация МБП приняты аналогичными структуре системы ТХР.

Однако переход от ТХР к МБП не тривиален и требует системного рассмотрения методики моделирования фитомассы и её динамики. Фитомасса представляет собой живое растительное вещество экосистем (древесина живых деревьев, содержащая живые и мёртвые клетки, как и кора, относятся к фитомассе в целом). Определим, по аналогии с известными таксационными показателями древостоев, *наличную массу фитомассы* в возрасте  $A$  ( $F_A$ ) как её максимальное количество, достигаемое экосистемой в течение вегетационного периода года  $A$  и *общую продуктивность экосистемы по фитомассе* в возрасте  $A$  ( $TPF_A$ ) как накопленную величину всей произведенной фитомассы за период существования насаждения. Оба показателя определяются в единицах массы на единицу площади, в сухом органическом веществе или углероде, например,  $\text{кг С} \cdot \text{м}^{-2}$  или  $\text{Мг}$  ( $10^6 \text{ г} = 1 \text{ т}$ )  $\text{С} \cdot \text{га}^{-1}$ . Очевидно, что годичный текущий прирост по общей продуктивности фитомассы  $GGF_A$  даёт  $NPP_A$  (определяемую, как масса органического вещества, произведенного экосистемой за единицу времени – год в нашем рассмотрении), а годичный прирост по наличной массе фитомассы  $NGF_A$  – часть чистой экосистемной продукции, обусловленной растительностью  $NEP_A$  (обычно чистая экосистемная продукция определяется как общее изменение органического вещества в экосистеме, но наш подход не включает рассмотрение органического вещества почвы), т.е.

$$GGF_A = NPP_A = TPF_A - TPR_{A-1} \quad (3.5)$$

и

$$NGF_A = NEP_A = F_A - F_{A-1} \quad (3.6)$$

Значения  $NPP_A$  и  $NEP_A$  изменятся незначительно, если мы будем рассматривать их величину как разность соответствующих показателей на начало и конец года  $A$ , однако количество фитомассы будет занижено на величину годичной продукции зелёных частей, отмирающих или использованных в течение вегетационного периода. Производные функций, описывающих изменение чистой первичной и чистой экосистемной продукции в зависимости от возраста дают «точечное» значение  $NPP_A$  и  $NEP_A$  для данного года, соответственно.

Разработка моделей взаимосвязи фитомассы с таксационными показателями подробно описана в разделе 2.3.

**Разработка моделей биопроductивности.** Два показателя имеют определяющее значение в моделях биологической продуктивности – динамика наличной массы фитомассы и динамика фитомассы по общей продуктивности.

Расчета динамики наличной массы фитомассы достаточно прост: имея модели отношения фитомассы  $R^i$  и соответствующие таксационные показатели ТХР, масса каждой фракции вычисляется для каждого возраста в очевидный способ – умножая  $R^i$  на табличный запас  $GS$ .

Общая продуктивность экосистемы по фитомассе  $TPF_t$  к моменту времени  $t$  определяется как

$$TPF_A = TPF_A^{st} + TPF_A^{br} + TPF_A^{fol} + TPF_A^{root} + TPF_A^{under} + TPF_A^{gff} \quad (3.7),$$

где верхние индексы обозначают фракции фитомассы:  $st$  – ствол,  $br$  – скелет кроны (оба показателя в коре),  $fol$  – листья и хвоя,  $root$  – корни,  $under$  – подлесок и подрост и  $gff$  – живой напочвенный покров. Для слагаемых правой части уравнения (3.7) общая продукция фитомассы по отдельным фракциям определяется:

стволовой древесины  $TPF_A^{st}$ , считая  $R^i$  одинаковым для наличного древостоя и отпада

$$TPF_A^{st} = \sum_{A=1}^A [(TV_A - TV_{A-1})R^{st}], \quad (3.8)$$

включая кору

$$TPF_A^{bark} = \sum_{A=1}^A [(TV_A - TV_{A-1})R^{bark}], \quad (3.9)$$

скелет кроны (ветви)  $TPF_A^{br}$  - коэффициент  $v$  отражает потери древесины кроны живых деревьев (отмирание ветвей, повреждения насекомыми и ветром, и т.д.).

$$TPF_A^{br} = \sum_{A=1}^A [(TV_A - TV_{A-1})R^{br} + vF_{A-1}^{br}]; \quad (3.10)$$

листьев и хвои  $TPF_A^{fol}$  - принимая равномерный отпад деревьев в течение года, учитывая среднюю продолжительность жизни хвои и продолжительность вегетационного периода посредством  $\eta$

$$TPF_A^{fol} = \sum_{A=1}^A \left[ (F_A^{fol} - F_{A-1}^{fol}) + (TPF_{A-l}^{fol} - TPF_{A-l-1}^{fol}) + \left(1 + \frac{v}{q}\right) F_{A-1}^{fol} + \frac{\eta}{2k} [(TV_A - GS_A) - (TV_{A-1} - GS_{A-1})] R_{A-1}^{fol} \right] \quad (3.11)$$

В уравнениях (3.7-3.11)  $TV$  и  $GS$  обозначают общую продуктивность и наличный запас древостоя. В выражении (3.11) первое слагаемое учитывает изменение запаса листьев (хвои); второе – вновь образовавшуюся хвою взамен опадающей, предполагая, что в текущем году опадает вся хвоя, образовавшаяся  $l$  лет назад,  $l$  – средний срок жизни хвои; третье – потерю живой хвои (поедание насекомыми, механические повреждения и т.д.), что учитывается коэффициентом  $v$ ; четвертое – хвою, произведенную деревьями текущего отпада. Очевидно, что, складывая первые два слагаемых, мы всегда имеем величину большую или равную нулю.

Например, имеются сведения, что при обычных условиях зоогенные потери продукции составляют в лесах 1-3 % от фитомассы ауксисластов и 2-6 % от текущей продукции зелёных частей [Глазов, 1979].

Другие обозначения в формуле (3.11): 2 – поправка на срок, в течение которого происходит неучтенное отмирание деревьев – полгода (т.е.,

если потеря происходит после проведения учёта (середина сезона), то её не нужно учитывать второй раз);  $q$  – поправка на срок, в течение которого происходит потеря ассимиляционного аппарата (для листопадных пород равна 2, для вечнозелёных – 1; т.е., если учёт листвы был произведён в середине сезона, то всё, что было потеряно позже не имеет значения для продуктивности – вся листва опадает в конце года; для вечнозелёных пород потеря во второй половине года восполняется приростом следующего года и поэтому должна быть учтена);  $l$  – срок жизни хвои;  $k$  – поправка на продуцирующую способность отмирающих деревьев. В полных насаждениях, где отмирание связано в основном с естественными причинами, мы приняли  $k=3$ , а в модальных насаждениях, где возможен отпад жизнеспособных деревьев  $k=1.5$ .

Выражение для корней имеет вид

$$TPF_A^{f-root} = \sum_{A=1}^A \left[ \begin{aligned} &Pc^{f-root} (F_A^{root} - F_{A-1}^{root}) + (TPF_{A-l}^{f-root} - TPF_{A-l-1}^{f-root}) + \nu F_{A-1}^{f-root} + \\ &\frac{Pc^{f-root}}{2k} [(TV_A - GS_A) - (TV_{A-1} - GS_{A-1})] R_{A-1}^{root} \end{aligned} \right] \quad (3.12)$$

$$TPF^{root} = TPF_A^{f-root} + (1 - Pc^{f-root}) TV_A R_A^{root} \quad (3.13)$$

где  $TPF_A^{f-root}$  и  $TPF^{root}$  соответственно общая продуктивность фитомассы тонких (до 2 мм) и всех корней. Первое слагаемое в (3.12) учитывает изменение запаса корней живых деревьев; второе – вновь образовавшиеся тонкие корни, которые замещают отмершие; третье – потерю тонких корней (насекомые, животные) и четвертое – вновь произведённые тонкие корни деревьев, которые отмирают в текущем году.

$Pc^{f-root}$  обозначает долю тонких корней по отношению ко всем живым. Остальные коэффициенты уравнения (3.12)  $k$ ,  $l$  и  $\nu$  имеют смысл, аналогичный уравнению (3.11), применительно к тонким корням. Наконец,  $(TV_A - GS_A) - (TV_{A-1} - GS_{A-1})$  и  $(TV_A - GS_A)$  представляют собой отпад ствольной древесины за год  $A$  и за всю жизнь древостоя до возраста  $A$ , соответственно.

Для суммы подроста и подлеска общая продукция фитомассы

$$TPF_A^{under} = \sum_{A=1}^A [(F_A^{under} - F_{A-1}^{under}) + \xi^{under} F_{A-1}^{under}] \quad (3.14)$$

и живого напочвенного покрова

$$TPF_A^{gff} = \sum_{A=1}^A [(F_A^{gff} - F_{A-1}^{gff}) + \xi^{gff} F_{A-1}^{gff}], \quad (3.15)$$

где  $\xi^{under}$  и  $\xi^{gff}$  обозначают суммарный годичный отпад зелёных частей и тонких корней для подроста и подлеска, и напочвенного живого покрова соответственно.

Коэффициенты, использованные в приведенных выше формулах, были получены на основе анализа и обобщения опубликованных данных. Как правило, использовались доступные данные измерений для всей циркумполярной бореальной и умеренной зонах, поскольку по некоторым показателям данные, собранные на территории России, были крайне ограничены. В частности, для оценки длительности жизни тонких корней (или обратной величины, обычно называемой кругооборотом тонких корней) собранная нами база включала всего 220 измерений для всех умеренных и бореальных лесов мира [Gill, Jackson, 2000 и другие]. Это привело к необходимости использования в ряде случаев (весьма ограниченных) оценок по аналогии со сходными лесами других территорий. Табл. 3.6 содержит, в качестве примера, коэффициенты, использованные для разработки МБП лиственницы.

Таблица 3.6

Коэффициенты, использованные при разработке региональных моделей биопродуктивности

Область применения таблиц биопродуктивности	Часть года с наличием хвои	Срок жизни тонких корней, лет	Коэффициенты, отражающие годовые потери фракций фитомассы			
			ветви	хвоя	подрост, подлесок	живой напочвенный покров
Полные (нормальные) насаждения						
Всеобщие таблицы	0,32	3,0	0,01	0,02	0,2	0,3
Восток Якутии и Магаданская обл.	0,27	4	0,01	0,04	0,15	0,2
Центральная и южная Якутия	0,30	3,5	0,01	0,04	0,2	0,2
Модальные насаждения						
Центральная и северная Якутия	0,29	4,0	0,01	0,04	0,2	0,2
Южная Якутия, дренированные местообитания	0,30	3,5	0,01	0,05	0,2	0,3
Южная Якутия, переувлажнённые местообитания	0,30	3,5	0,01	0,05	0,2	0,2
Магаданская область и северо-восток Якутии	0,27	4,0	0,01	0,04	0,15	0,2

Сходные проблемы с параметризацией уравнений возникали и в части оценки доли тонких корней (отношения массы тонких корней к фитомассе всех корней древостоя). Для лиственничных древостоев мы использовали следующую зависимость процента тонких корней от возраста и бонитета.

$$P_{C_{A,SI}}^{fine-roots} = 0,000223A^2 - 0,11524A + 26,90905 - 0,75 \sum_{i=si+5}^{12} \left[ 1,2^{i-4} / (1 + 0,002A) \right],$$

где класс бонитета закодирован (0, 1, ... для Ia, I, ... и т.д.). Модель использует следующие, подтвержденные результатами измерений, гипотезы: 1) процент тонких корней убывает с возрастом; 2) доля тонких корней в низкопродуктивных насаждениях выше, чем в высокопродуктивных; 3) различие между бонитетами не постоянно и уменьшается с улучшением условий роста (для одинаковых возрастов); 4) различия между бонитетами уменьшаются с возрастом.

Описанная выше методика оказалась успешной для разработки таблиц биопродуктивности для всех ТХР, включенных в систему [Швиденко и др., 2003]. Табл. 3.7 содержит, в качестве примера, таблицы биопродуктивности модальных лиственничников южной Якутии IV бонитета. Текущий прирост фитомассы по общей продуктивности, указанный в единицах массы углерода в последней колонке, представляет собой чистую первичную продукцию экосистемы, выраженную в г С м<sup>-2</sup> год<sup>-1</sup> для каждого возраста таблицы. Соответствующие ТХР были представлены в предыдущем разделе. Полный набор таблиц биопродуктивности лиственничных экосистем Северо-Востока опубликован ранее ([Швиденко и др., 2006; [http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest\\_cdrom](http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom)] )

Как можно видеть из табл. 3.7, за 220 лет лиственничным насаждением на 1 га производится 1349,9 т сухого вещества. В табл. 3.8 показано, что ЧПП главным образом обеспечивается за счет ассимилирующего аппарата (38 %) и тонких корней (21 %). В приведенном примере доля ЧПП, приходящаяся на стволую древесину составляет только 11 %.

В целях иллюстрации, приведем ещё один пример. На рис. 3.12-3.14 приведено графическое изображение некоторых основных зависимостей МБП модальных лиственничников южной Якутии (брусничные типы леса, экорегионы средней тайги) для III-V классов бонитета. Запасы хвой достигают своего максимума в 80 лет и затем после 110 летнего возраста насаждения плавно снижаются (рис.3.12). Вслед за началом разрушения насаждения по запасу (в возрасте 150 лет), происходит снижение запасов фитомассы насаждения за счёт фракций ствола и корней. Фитомасса ветвей продолжает расти до 190 лет.

Таблица 3.7

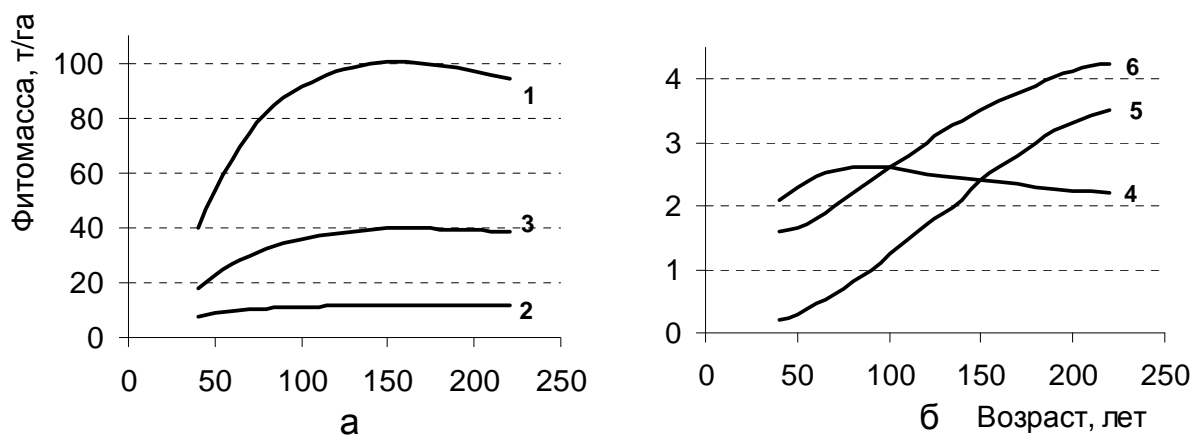
Динамика биологической продуктивности модальных древостоев лиственницы среднетаёжных экорегионов Южной Якутии (брусничные типы леса). Пример для IV класса бонитета.

Возраст, лет	Фитомасса насаждения, т·га <sup>-1</sup>										Общая продуктивность фитомассы, т·га <sup>-1</sup>	Текущий прирост фитомассы т·га <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>		Углерод, т·га <sup>-1</sup>				Чистая первичная продукция, гС·м <sup>-2</sup> ·год <sup>-1</sup>
	древостой							подрост и подлесок	напочвенный покров	всего		наличного насаждения	по общей продуктивности	наличного насаждения		по общей продуктивности		
	ствол	в т.ч. кора	древесина кроны	хвоя	итого надземной	корни	всего							всего	в т.ч. ствол	всего	в т.ч. ствол	
40	39,8	7,5	7,6	2,1	49,5	17,6	67,1	0,2	1,6	68,9	152,0	2,17	6,36	34,2	19,9	72,9	21,8	272
60	64,9	11,8	9,5	2,5	76,9	26,5	103,4	0,5	1,8	105,7	289,4	1,54	6,94	52,6	32,5	138,6	39,6	302
80	81,5	14,5	10,6	2,6	94,7	32,2	126,9	0,8	2,2	129,9	430,7	0,95	6,85	64,7	40,8	205,8	53,8	303
100	91,4	16,0	11,2	2,6	105,2	35,8	141,0	1,3	2,7	145,0	568,8	0,59	6,68	72,1	45,7	271,1	63,7	298
120	96,7	16,8	11,4	2,5	110,6	37,7	148,3	1,7	3,0	153,0	702,1	0,32	6,45	76,1	48,4	333,9	70,1	292
140	99,6	17,1	11,6	2,4	113,6	39,0	152,6	2,1	3,3	158,0	832,9	0,22	6,39	78,7	49,8	395,3	74,1	291
160	100,2	17,0	11,7	2,4	114,3	39,6	153,9	2,6	3,6	160,1	962,9	-0,02	6,33	79,6	50,1	456,2	76,5	291
180	98,9	16,7	11,7	2,3	112,9	39,5	152,4	3,0	3,9	159,3	1091,9	-0,05	6,34	79,3	49,5	516,4	78,0	291
200	97,0	16,3	11,8	2,3	111,1	39,3	150,4	3,3	4,1	157,8	1221,5	-0,10	6,39	78,5	48,5	576,9	78,8	294
220	94,0	15,7	11,7	2,2	107,9	38,2	146,1	3,5	4,3	153,9	1349,9	-0,24	6,29	76,5	47,0	636,7	79,4	292

Таблица 3.8

Общая продуктивность фитомассы отдельных фракций фитомассы модальных древостоев лиственницы в Южной Якутии (брусничные типы леса). Пример для IV бонитета.

Возраст, лет	Общая продуктивность фитомассы по фракциям, т·га <sup>-1</sup>						
	ствол	древесина кроны	хвоя	корни	в т.ч. тонкие	подрост и подлесок	живой напочвенный покров
40	43,6	14,4	44,1	31,6	13,5	0,8	17,4
60	79,3	22,0	92,8	65,3	33,6	2,4	27,6
80	107,6	27,9	146,9	102,9	59,5	5,3	40,1
100	127,4	32,6	202,3	141,6	88,9	9,9	55,1
120	140,2	36,3	257,4	179,7	120,3	16,1	72,3
140	148,1	39,6	311,8	217,6	152,8	24,2	91,6
160	153,0	42,5	365,5	255,0	186	34,1	112,8
180	155,9	45,1	418,1	291,6	219,4	45,6	135,6
200	157,7	47,7	469,7	328,0	252,9	58,5	159,9
220	158,7	50,2	520,3	362,9	286,4	72,5	185,2



а: 1 – ствол, 2 – ветви, 3 – корни;

б: 4 – хвоя, 5 – подрост и подлесок, 6 – живой напочвенный покров.

Рис. 3.12. Изменение наличной фитомассы лиственничных насаждений Южной Якутии (средняя тайга, брусничные типы леса) IV бонитета с возрастом по фракциям.

Нижние яруса леса продолжают наращивать свою массу на протяжении всей жизни древостоя. Насаждения III бонитета обнаруживают максимальный прирост по наличной фитомассе в молодом возрасте, затем в возрасте спелости уступают первенство IV бонитету (рис. 3.13а, 3.14а). На стадии разрушения они, однако, показывает наименьшее снижение продуктивности по сравнению с другими бонитетами. Общая продуктивность насаждений по фитомассе монотонно возрастает на протяжении всей жизни древостоя (рис. 3.13б). Прирост по общей продуктивности имеет мак-



симум у III и IV бонитетов в 60 и 70 лет соответственно (рис. 3.14б), в то время как у V бонитета он продолжает увеличиваться с некоторыми колебаниями до 220 лет. Это объясняется лучшим развитием нижних ярусов леса и увеличением доли хвои в структуре фитомассы с ухудшением условий произрастания.

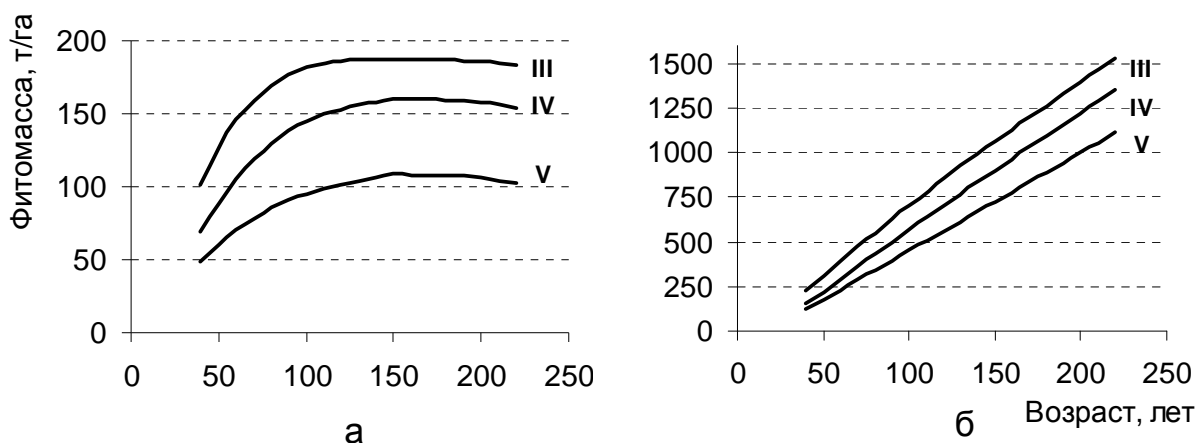


Рис.3.13. Изменение наличной фитомассы (а) и общей продуктивности фитомассы (б) с возрастом в зависимости от бонитета насаждения лиственничников южной Якутии

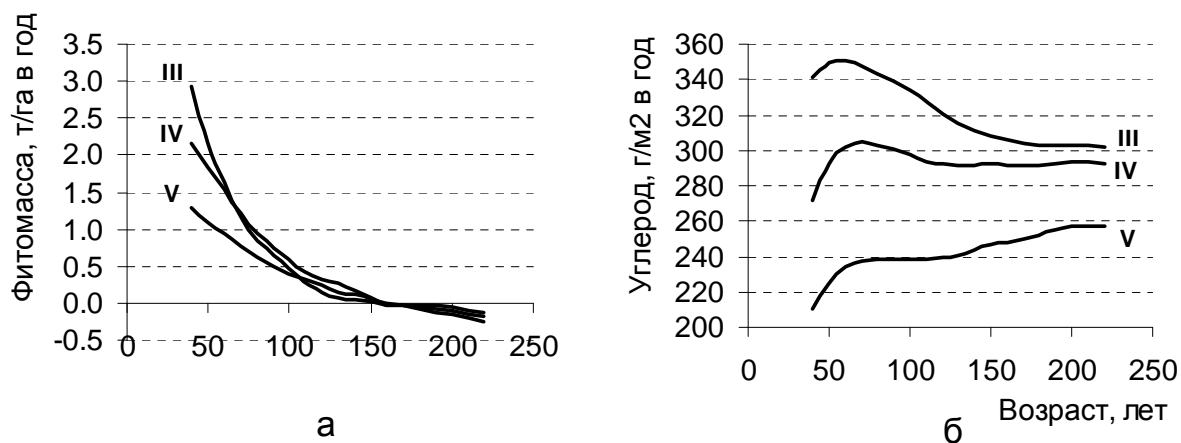


Рис.3.14. Зависимость прироста наличной фитомассы (а) и прироста по общей продуктивности фитомассы (чистой первичной продукции) (б) от возраста и бонитета лиственничников южной Якутии

Реализованный подход имеет то ощутимое преимущество, что процесс моделирования биологической продуктивности представляет собой динамическую систему. Возможно обновление, как моделей фитомассы (при наличии дополнительного экспериментального материала), так и самих МБП, меняя матрицу коэффициентов (табл. 3.12) по мере накопления новой эмпирической информации. При появлении новых ТХР вычисление

соответствующих МБП может производиться в автоматическом режиме, хотя содержательный анализ промежуточных и окончательных результатов необходим.

Очевидно, что надежность применения ТХР для долгосрочного прогнозирования продуктивности в условиях меняющейся внешней среды невелика, поскольку ТХР традиционного типа описывают современные и ретроспективные закономерности динамики древостоев. Это же относится и к ТБП, которые базируются на ТХР.

Точность применения ТБП в современных экологических и лесочётных задачах определяется надежностью ТХР и точностью моделей фитомассы. Как существующие ТХР, так и построенные на их основе модели, не принадлежат к числу лесотаксационных нормативов, точность которых может быть оценена формальным путем. Более определенный ответ может быть дан в части моделей фитомассы, хотя и при разработке последних необходимые статистические предпосылки, строго говоря, не выполняются или выполняются только частично (например, требование к репрезентативному территориальному размещению опытных данных). Оценивание фитомассы и биологической продуктивности для различных объектов (отдельное насаждение, лесной массив, экорегион, леса страны в целом) представляют собой типичную нечеткую задачу, что накладывает специфические требования на процесс оценки точности. Тем не менее, было показано [Швиденко и др., 2001], что рассмотренный выше подход позволяет оценить общую фитомассу на больших территориях (начиная с уровня лесхоза) с погрешностью в пределах  $\pm 5\%$  (доверительная вероятность 0,9), если используемые в качестве входов в модели таксационные показатели являются несмещенными (или величина смещения известна). Более детально этот вопрос обсуждается ниже.

Разработанная система роста и динамики продуктивности лиственных лесов России имеет существенное значения для дальнейшего развития методических и модельных основ лесной таксации. Конечно, первый и главнейший результат состоит в том, что система собрала в аккумулированном и формально упорядоченном виде гигантскую информацию, накопленную многими поколениями российских таксаторов. Второй результат состоит в том, что вся эта информация впервые становится доступной для лесотаксационной науки и практики в практически удобной «операциональной» форме. Важно также то, что система допускает изменения и усовершенствования включенных в неё нормативов программным путем, если потребность в таковых изменениях возникает, вследствие ли появления нового знания или изменения требований.

### 3.4. Оценка неопределённости при составлении таблиц биопродуктивности

Оценить ошибку, возникающую при составлении таблиц биопродуктивности (ТБП) довольно сложно, если рассматривать каждый шаг этого процесса отдельно. Действительно, ошибки возникают на каждом из этапов:

- метод отбора пробных площадей;
- определение фитомассы в пределах пробной площади;
- определение таксационных показателей;
- построение моделей взаимосвязи фитомассы и таксационных показателей;
- многие другие.

По своей сути, суммарные ошибки представляют сложное сочетание систематических и случайных ошибок, часть которых не поддается формальному оцениванию. Кроме того, ошибки отдельных этапов могут, как усиливать, так и компенсировать друг друга.

Если для построения таблиц хода роста используют, как правило, большое число наблюдений, то данные по фитомассе более ограничены, вследствие значительной трудоёмкости процесса сбора материала. Поэтому возникает вопрос, достаточно ли определенное число наблюдений, сопоставимое с количествами, содержащимися в исходной базе (например, для насаждений с преобладанием лиственницы мы имеем около 300 пробных площадей) для построения таблиц и какова величина неопределённости, возникающая при таких построениях.

Если рассматривать весь процесс создания таблиц как один случайный процесс, то оценить неопределённость представляется возможным наблюдая, как изменяется результат в зависимости от количества наблюдений. Идея такого способа оценки была высказана Сергеем Кумакшевым.

Из имеющихся 300 наблюдений случайным образом отбирались серии по 10, затем 50, 100, 150, 200 и 250 наблюдений. Каждая последующая выборка включала предыдущие наблюдения. Таким образом, мы имитировали последовательное накопление исходных данных для моделирования. Используя эти выборки с ограниченным числом наблюдений, мы проводили регрессионный анализ зависимости массы фитомассы от таксационных показателей (уравнение 3.16).

$$R_{fr} = \frac{M_{fr}}{V_{st}} = c_0 \cdot A^{C_1} \cdot SI^{C_2} \cdot RS^{C_3} \cdot EXP(C_4 \cdot A + C_5 \cdot RS) \quad (3.16)$$

Пояснения приведены в разделе 2.3.2.

Для обеспечения большей статистической достоверности нами было проведено 5 экспериментов по данной методике. То есть с использованием генератора случайных чисел был произведен выбор 5 рядов, каждый из ко-

торых включал 10, 50, 100, 150, 200 и 250 наблюдений. Для каждой из этих 30 выборок (5 рядов по 6 вариантов с нарастанием числа наблюдений) проведён регрессионный анализ по уравнению 3.16.

Затем в полученные уравнения было подставлено по 3 значения возраста (50, 100 и 150 лет), бонитета (I, III и Va) и полноты (1,0, 0,7 и 0,4) – всего 27 значений. Результаты, полученные при различном числе наблюдений, сравнивали между собой.

Нас заинтересовало поведение отдельных фракций фитомассы. Вариабельность у них различная и, следовательно, различна точность производимых оценок.

### **3.4.1. Точность оценки фитомассы ствола**

Ниже приведены значения коэффициентов регрессии и среднее отклонение в оценке фитомассы ствола (табл. 3.9) в зависимости от числа пробных площадей.

*Таблица 3.9*

Пример зависимости точности оценки массы древесины от числа наблюдений (изображено на рис. 3.15, ряд 2).

Число наблюдений	Коэффициенты регрессии (уравнение 3.16)						Отклонение, %
	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	
10	0,0551	0,1176	0,8946	0,0465	-0,0023	0,0470	-11,0
50	0,3457	-0,0047	0,2983	0,1058	-0,0004	-0,1689	-3,3
100	0,3198	0,0889	0,0875	-0,0565	-0,0009	-0,0269	-0,4
150	0,3439	0,1047	0,0333	-0,0435	-0,0010	-0,0499	-0,2
200	0,3594	0,1097	0,0028	-0,0497	-0,0009	-0,0510	0,6
250	0,3934	0,0763	-0,0055	-0,0626	-0,0005	-0,0111	0,3
302	0,3424	0,0820	0,0068	-0,1154	-0,0006	0,0872	0,0

В графической форме зависимость точности вычислений от количества наблюдений представлена на рис. 3.15 и 3.16. В частности на рис. 3.15 представлены средние отклонения от значений при максимальном числе наблюдений, а на рис. 3.16 – индивидуальные отклонения (27 значений × 5 рядов × 6 вариантов).

Как можно видеть на рис. 3.15 и 3.16, увеличение числа наблюдений приводит к возрастанию точности, которая для фитомассы стволов стабилизируется в пределах 5 % при числе наблюдений 100-150.

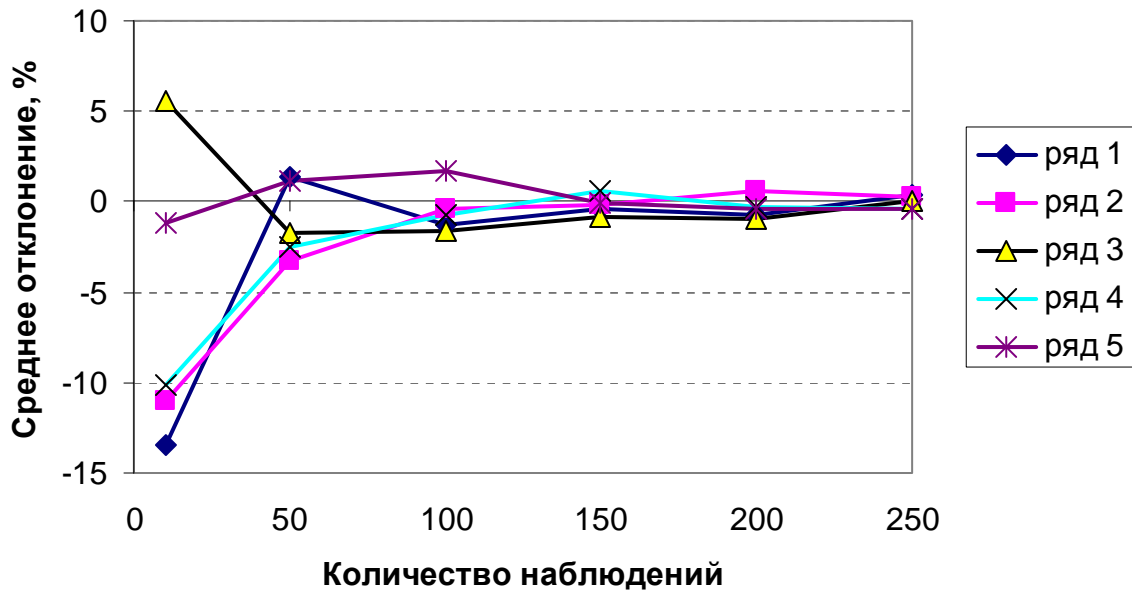


Рис. 3.15. Зависимость точности оценки массы древесины от числа наблюдений (средние отклонения от максимальных значений – при 302 наблюдениях)

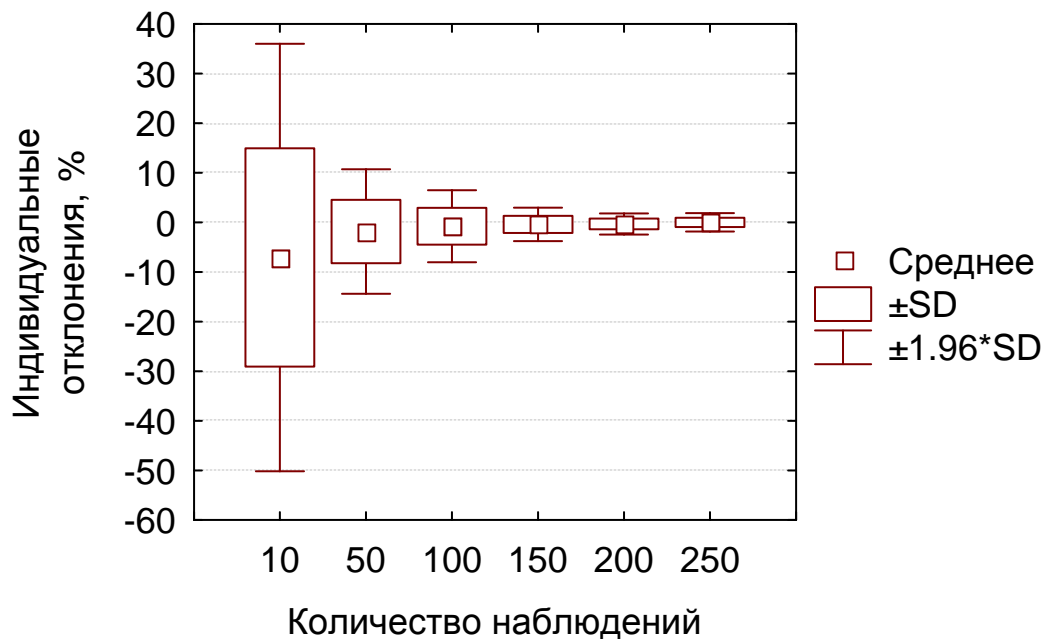


Рис. 3.16. Зависимость точности оценки массы древесины от числа наблюдений (индивидуальные отклонения от максимальных значений – при 302 наблюдениях). SD – стандартное отклонение ( $\sigma$ )

### 3.4.2. Точность оценки фитомассы хвои

Данная фракция показывает высокую вариабельность. Поэтому для достижения порога достоверности в 5 % требуется большее количество наблюдений. Ниже приведены значения коэффициентов регрессии и отклонение в оценке фитомассы хвои лиственницы (табл. 3.10) в зависимости от числа пробных площадей. В графической форме эта зависимость представлена на рис. 3.17 и 3.18.

Как видно из приведённого иллюстративного материала, увеличение числа наблюдений приводит к возрастанию точности. Однако возрастание точности постепенно замедляется. Средние отклонения находятся в  $\pm 5$  % интервале, начиная с 200 наблюдений. Индивидуальные отклонения даже при числе наблюдений 250 отклонения могут достигать  $\pm 10$ .

Таблица 3.10

Пример зависимости точности оценки фитомассы хвои от числа наблюдений (изображено на рис. 3.16, ряд 2)

Число наблюдений	Коэффициенты регрессии (уравнение 3.16)						Отклонение, %
	C0	C1	C2	C3	C4	C5	
10	0,4280	-2,1899	2,1863	0,0632	0,0196	-0,4223	-49,9
50	0,0457	-1,2790	1,8100	-0,1597	0,0069	0,0969	-10,8
100	0,0351	-1,0778	1,4474	-0,4614	0,0044	0,4595	-6,1
150	0,0311	-1,0828	1,4399	-0,5009	0,0049	0,5530	-9,1
200	0,0497	-1,0164	1,0863	-0,5794	0,0044	0,5976	-2,9
250	0,0445	-0,8903	0,8936	-0,6285	0,0033	0,6862	-0,4
286	0,0769	-0,9510	0,7530	-0,6500	0,0039	0,6157	0,0

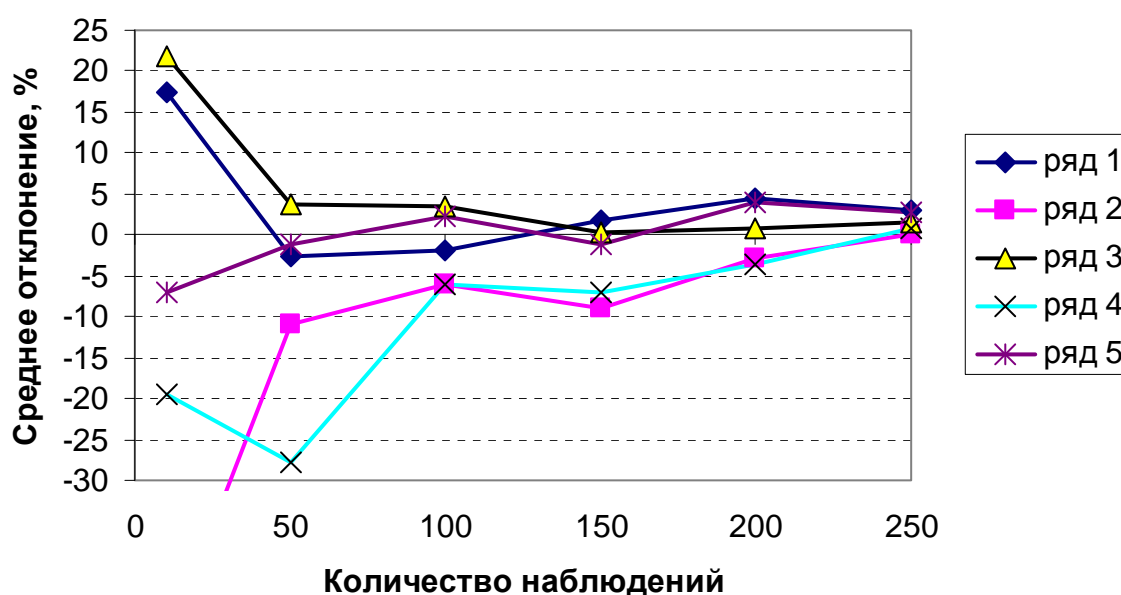


Рис. 3.17. Зависимость точности оценки фитомассы хвои от числа наблюдений

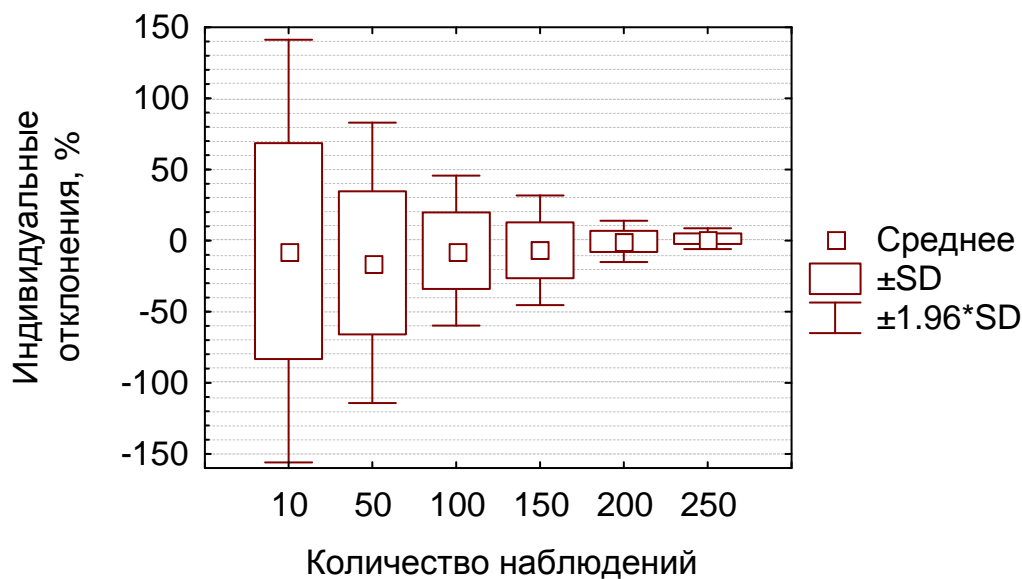


Рис. 3.18. Зависимость точности оценки фитомассы хвои от числа наблюдений. SD – стандартное отклонение ( $\sigma$ )

Для проверки тезиса о том, что точность при большем (чем имеется у нас в наличии для лиственницы) количестве наблюдений увеличивается, мы использовали данные для сосновых лесов. Это наиболее изученная порода с точки зрения фитомассы. В нашей базе данных содержится 1003 наблюдения по хвое сосны. На рис. 3.19 и 3.20 представлена зависимость точности вычисления массы хвои сосны от числа наблюдений.

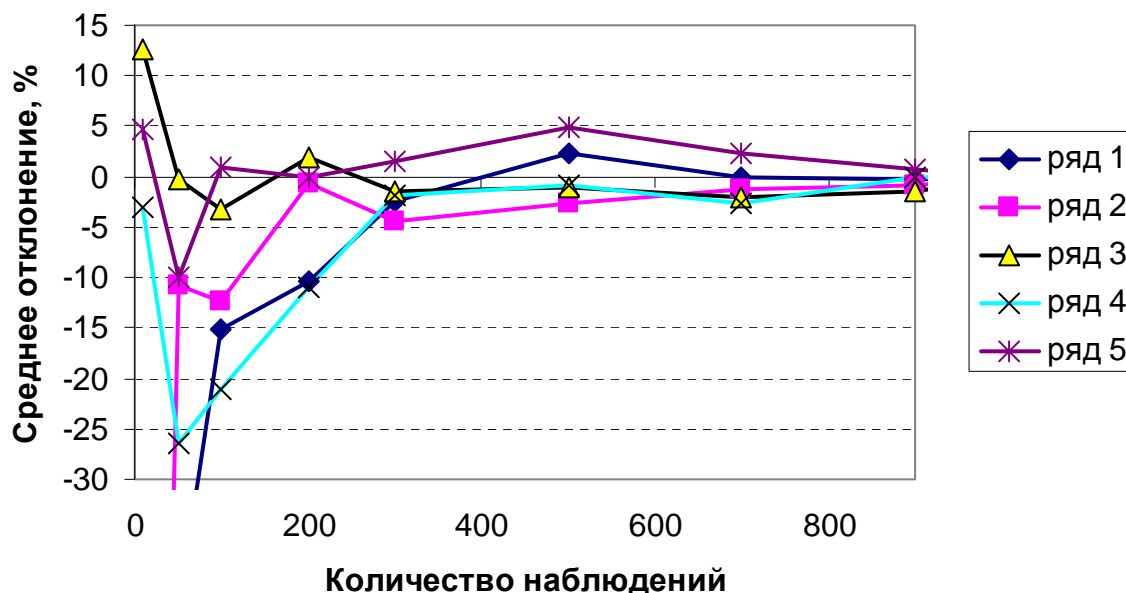


Рис. 3.19. Зависимость точности оценки фитомассы хвои сосны от числа наблюдений

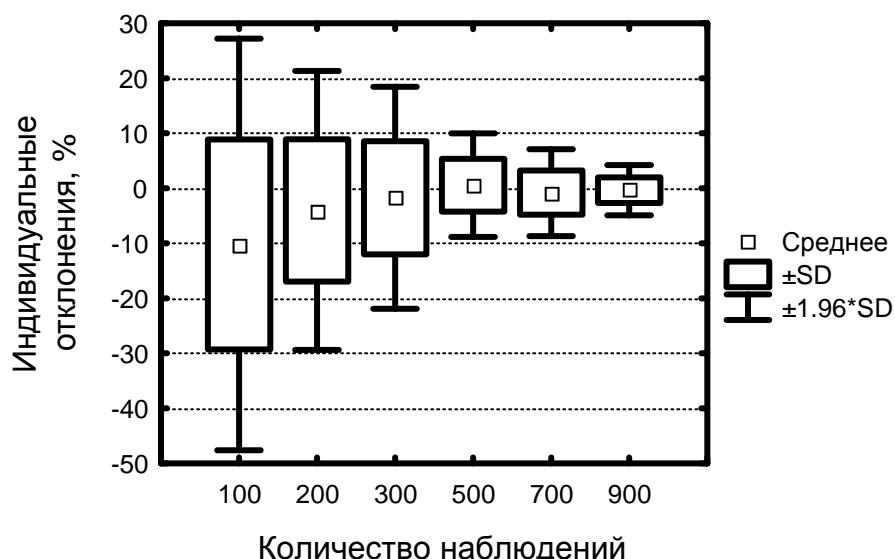


Рис. 3.20. Зависимость точности оценки фитомассы хвои сосны от числа наблюдений

При числе наблюдений до ста среднее отклонение превышает 20 %, причём как с положительным, так и с отрицательным знаком. При числе наблюдений 200 отклонение уже составляет только 10 %, а при числе наблюдений более 300 точность колеблется в пределах 5 %. Индивидуальные отклонения показывают высокую вариабельность и стабилизируются в пределах 10 % при числе наблюдений более 500. Это приводит нас к выводу, что мало представленные фракции, такие как фракция хвои, при использованном методе моделирования (т.е. регрессией на таксационные показатели древостоев) не могут быть оценены с погрешностью, меньшей, чем 10 % даже при большом числе наблюдений.



### 3.4.3. Точность оценки фитомассы ветвей

Ветви лиственницы представлены в нашей базе 298 наблюдениями.

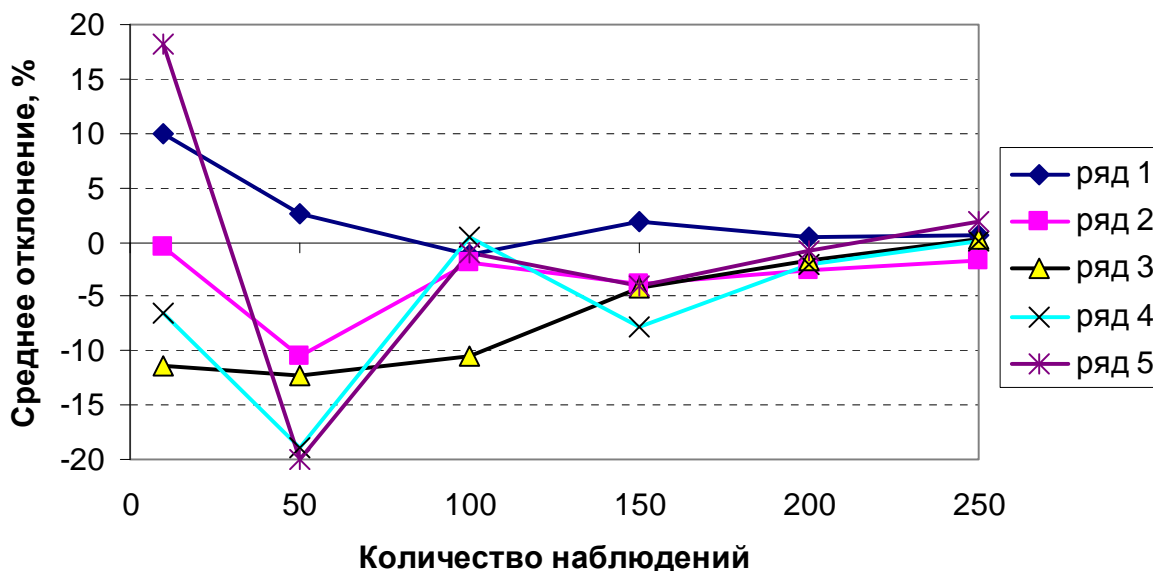


Рис. 3.21. Зависимость точности оценки фитомассы ветвей лиственницы от числа наблюдений

В среднем отклонения с 5 % погрешностью мы наблюдаем при количестве исходных данных более 200.

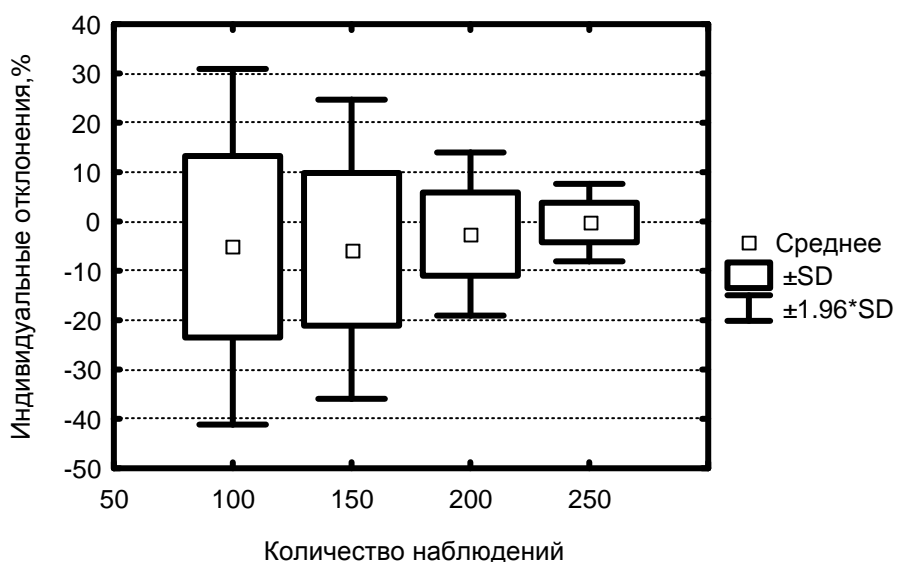


Рис. 3.22. Зависимость точности оценки фитомассы ветвей лиственницы от числа наблюдений

Индивидуальные отклонения укладываются в  $\pm 10\%$  интервал.

### 3.4.4. Точность оценки подземной фитомассы

Корни – наименее изученная фракция фитомассы. В нашей базе данных корни лиственницы представлены 68, а корни сосны – 536 наблюдениями.

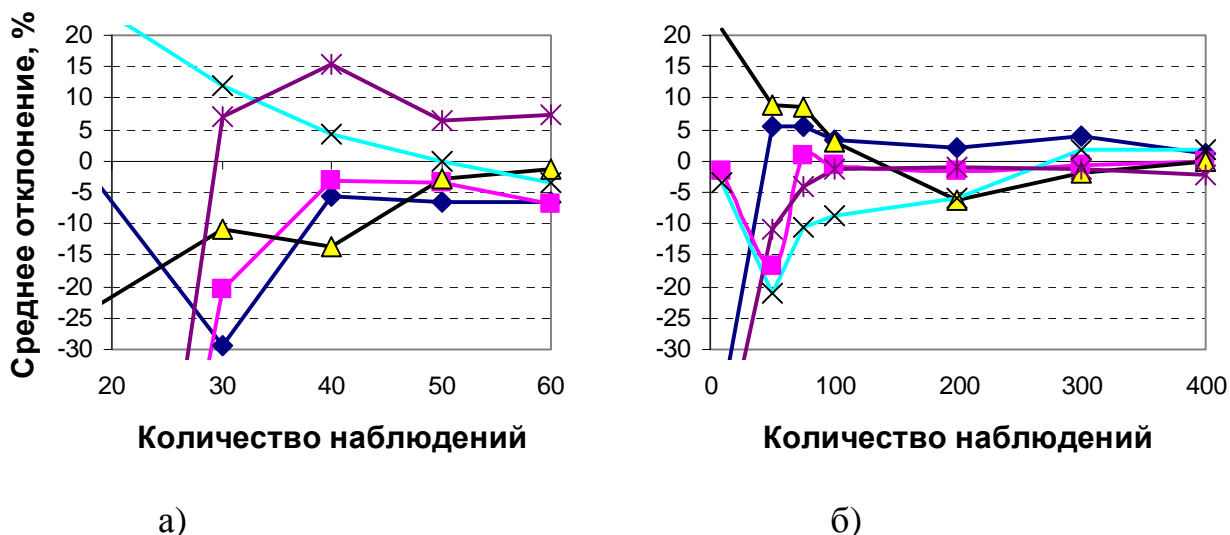


Рис. 3.23. Зависимость точности оценки фитомассы корней лиственницы (а) и сосны (б) от числа наблюдений

Как можно видеть на рисунке среднее отклонение укладывается в  $\pm 5\%$  интервал при количестве наблюдений 300 и более. Для имеющегося количества наблюдений для корней лиственницы мы можем говорить о том, что в среднем ошибка не превышает  $\pm 10\%$ .

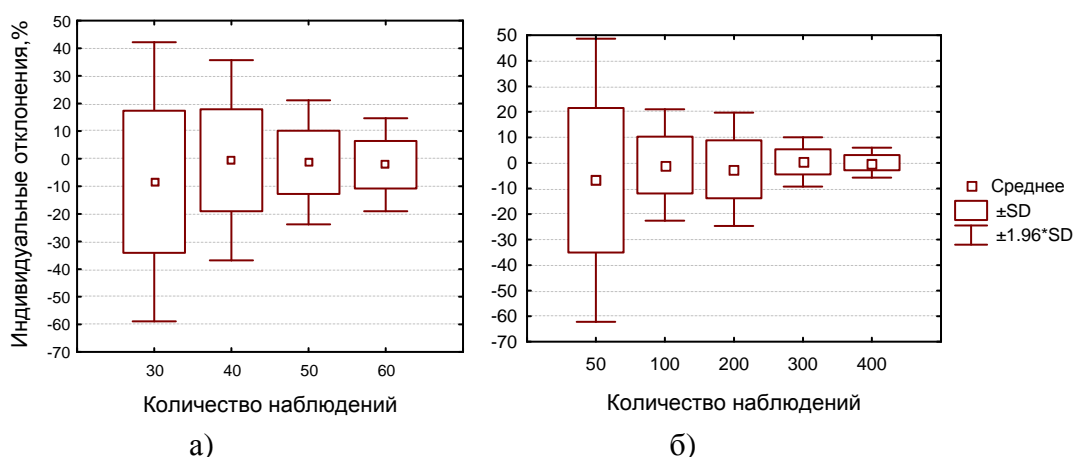


Рис. 3.24. Зависимость точности оценки фитомассы корней лиственницы (а) и сосны (б) от числа наблюдений

Индивидуальные отклонения демонстрируют более высокую дисперсию. В целом, отдельные значения в ТБП могут давать отклонение  $\pm 20\%$  при числе наблюдений около 70. Только при количестве 400 наблюдений индивидуальные отклонения укладываются в  $\pm 5\%$  интервал.

### 3.4.5. Точность оценки фитомассы нижних ярусов леса

Моделирование зависимости фитомассы нижних ярусов леса от таксационных показателей имело свои особенности. Мы использовали то же уравнение (3.16), но зависимой переменной было выбрано не отношение массы к объёму стволовой древесины, а непосредственно масса фракции. Моделирование отношения не даёт удовлетворительных результатов, так как нижние яруса не связаны непосредственно с запасом древесины, хотя их масса зависит от возраста древостоя, его полноты и бонитета.

Нам удалось собрать 97 наблюдений фитомассы подроста и подлеска. Судя по данным, представленным на рисунке 3.25 при таком числе наблюдений можно говорить об ошибке не ниже  $\pm 10\%$ .

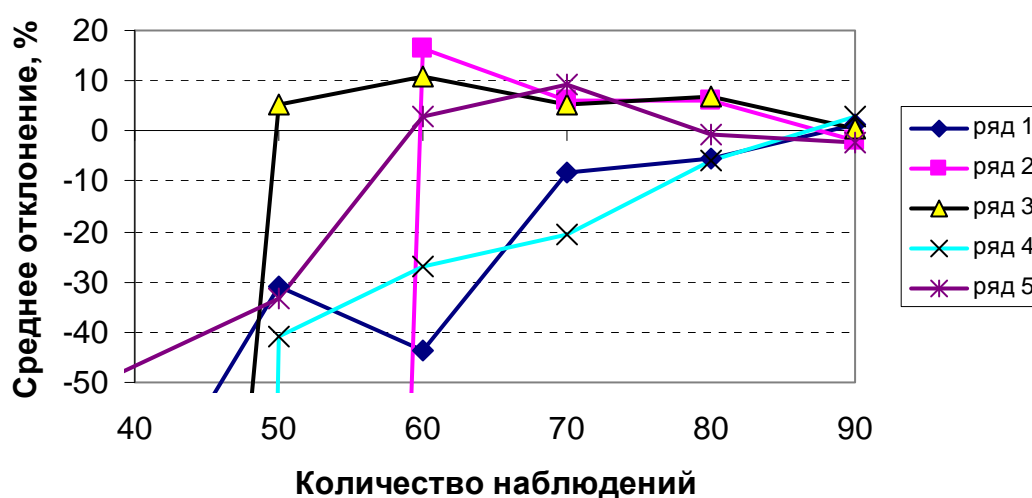


Рис. 3.25. Зависимость точности оценки фитомассы подроста и подлеска от числа наблюдений (средние отклонения)

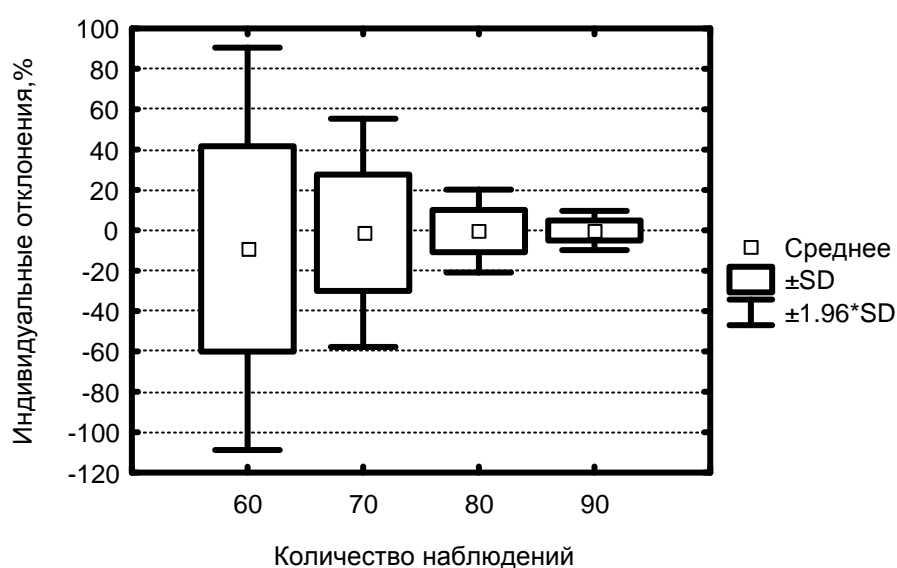


Рис. 3.26. Зависимость точности оценки фитомассы подроста и подлеска от числа наблюдений (индивидуальные отклонения)

Живой напочвенный покров лиственничников представлен в литературе 127 пробными площадями.

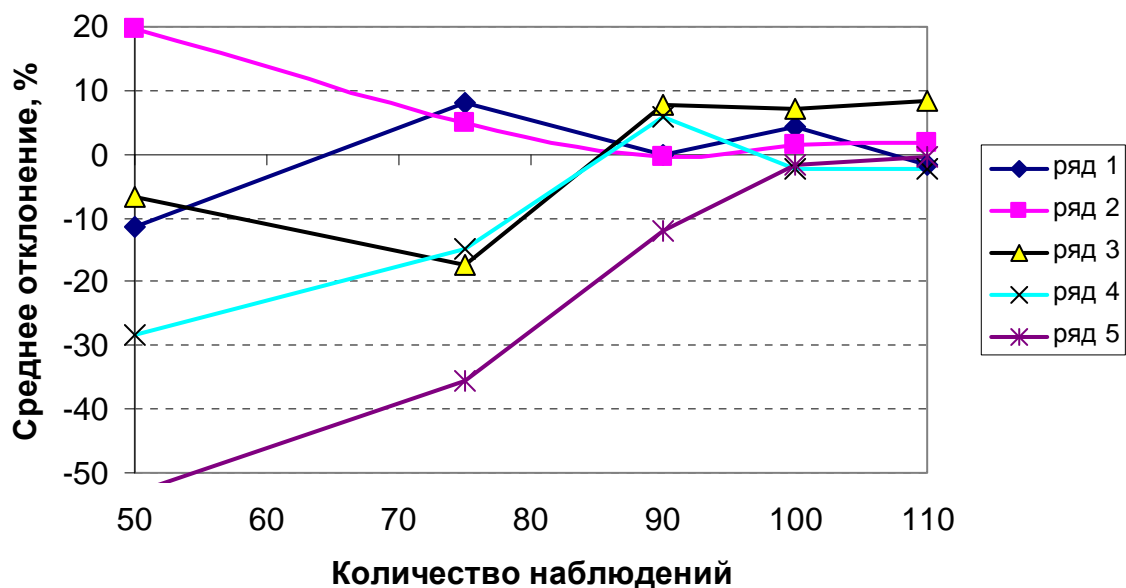


Рис. 3.27. Зависимость точности оценки фитомассы живого напочвенного покрова от числа наблюдений

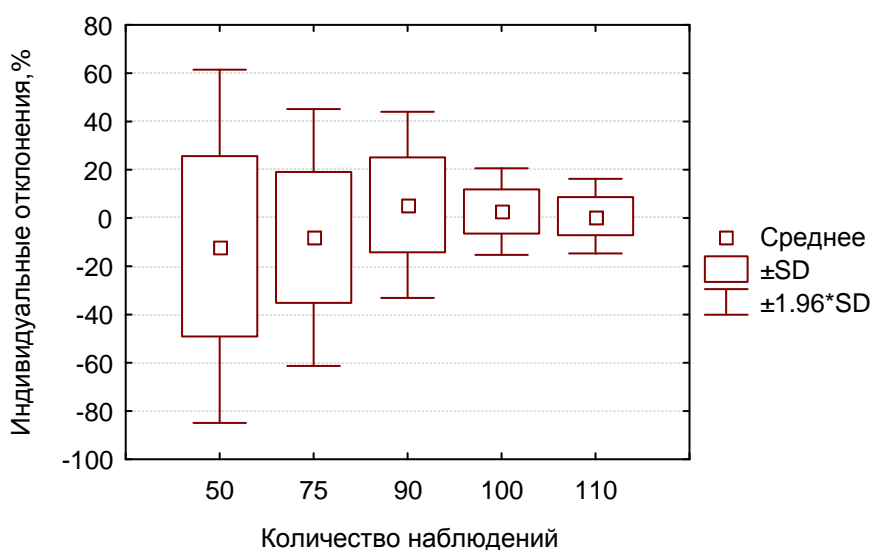


Рис. 3.28. Зависимость точности оценки фитомассы живого напочвенного покрова от числа наблюдений (индивидуальные отклонения)

В среднем оценка живого напочвенного покрова произведена с ошибкой в 10 %. Индивидуальные ошибки могут достигать величины в 20 %.

Нижние яруса леса в меньшей степени зависят от таксационных характеристик древостоя, по сравнению с фракциями древостоя. При дальнейшем накоплении исходного материала более правильным представля-

ется моделирование нижних ярусов леса на зонально-типологическом принципе.

### 3.4.6. Точность оценки фитомассы насаждения

Изучив поведение отдельных фракций фитомассы при разном числе наблюдений, можно оценить, насколько точно произведена оценка общей фитомассы насаждения.

Таблица 3.11

Величина ошибок при составлении ТБП при имеющемся количестве наблюдений

Фракции фитомассы	Число наблюдений	Отклонение, %	
		среднее	отдельных значений
Ствол	302	1	2
Ветви	298	5	10
Хвоя	286	5	10
Корни	68	10	20
Подрост и подлесок	97	10	20
Живой напочвенный покров	127	10	20
Насаждение в целом		2	5

Результаты, представленные в табл. 3.11 соизмеримы с ошибками, которые возникают при измерении фитомассы на пробных площадях по общепринятым методикам.

На рис. 3.29 показано, насколько в среднем отличаются таблицы биопродуктивности, составленные при ограниченном (10, 50, 100, 150, 200 и 250) числе наблюдений от ТБП, полученных на основе максимального числа наблюдений.

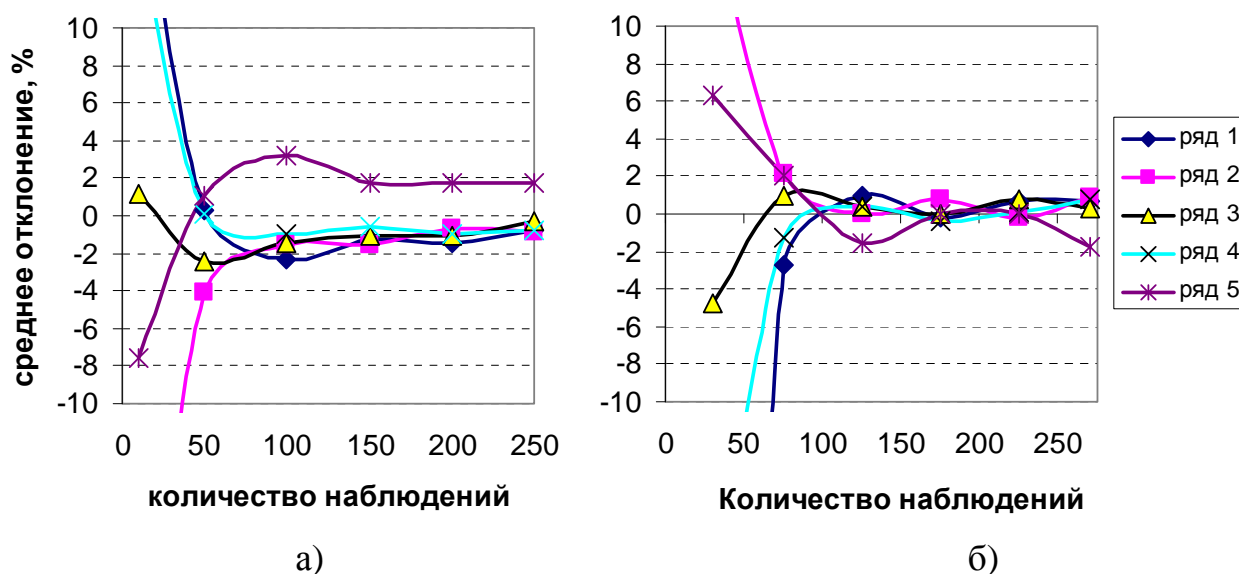


Рис. 3.29. Зависимость точности оценки фитомассы лиственных насаждений от числа наблюдений (а – отклонение от максимального, б – отклонение от предыдущего)

Так, например, ТБП, составленные на основе 100 случайным образом отобранных наблюдений могут давать среднюю ошибку до 4 %. На рис.3.29б показано парное сравнение тех же ТБП, составленных при разном числе исходных наблюдений (10-50, 50-100, ... , 250-302). Можно видеть, что увеличение числа наблюдений с 10 до 50 часто приводит к изменению ТБП более чем на 10 %. При переходе от 50 к 100 наблюдениям результат изменяется на 4 %, а при переходе от 100 до 150 и далее – результат изменяется менее чем на 2 %.

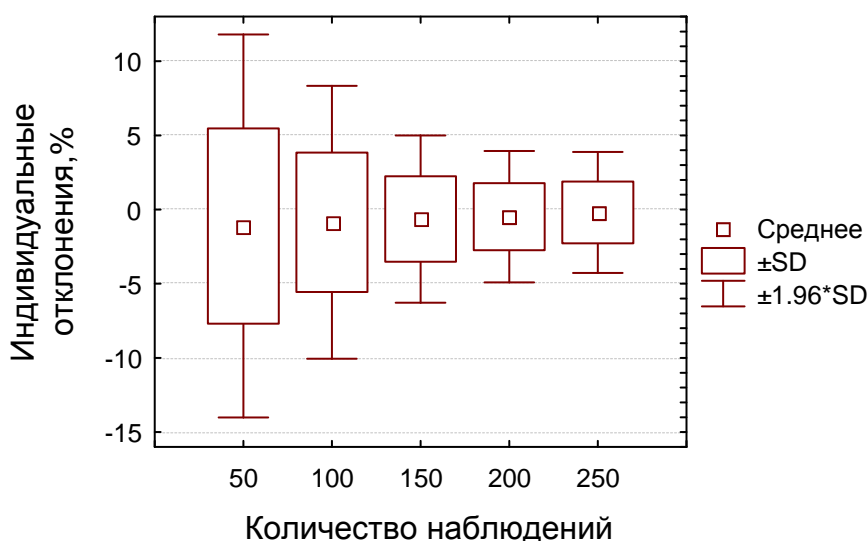


Рис. 3.30. Зависимость точности оценки фитомассы лиственных насаждений от числа наблюдений

Индивидуальные отклонения остаются в  $\pm 5$  % интервале, начиная с 200 наблюдений.

Так как основная масса приходится на ствол, то точность оценки этой фракции определяет в значительной мере точность оценки фитомассы всего насаждения.

Приведенные результаты должны восприниматься с некоторой предосторожностью, поскольку «истинный результат» представлял собой выборочное среднее из максимально имеющегося количества измерений, которые не были собраны с соблюдением требований спланированного эксперимента. Тем не менее, приведенные в этом разделе материалы дают достаточные основания полагать, что разработанные нормативы оценки биологической продуктивности обеспечивают точность, достаточную на современном этапе исследований подобного рода. Дальнейшее накопление экспериментального материала позволит выявить зависимость от природных факторов и уточнить региональные особенности.

## **Summary**

The Chapter presents models and tables that describe growth and biological productivity of larch forests of the Northern-Eastern Russia. The results discussed in the Chapter are part of a system consideration of the problem for all Russian forests.

Traditionally, the major tool for description of regularities of growth of stands in Russia is growth (yield) tables which contain dynamics of major biometric indicators of stands (average height and average diameter of trees at breast height; basal area; growing stock volume; net and gross growth; mortality) by site indexes or forest types. There are different types of growth tables (GTs) in Russia – general and regional, for normal (fully stocked) and modal (actual) stands. Usually GTs are presented in a numerical form, and the modeling basis of these is very weak or not reported. We provided a comprehensive analysis of GTs that have been developed for the study's region using all available normative and experimental information and developed unified growth models for larch forests of the region. The methodology of the approach and details are available from [Shvidenko et al., 2007]. The Richards-Chapmen growth function has been used as the analytical basis of modeling.

Two regionally distributed models of fully stocked stands and 6 models for modal stands are recommended for the region (parameters of the models are presented in Table 3.2 and a numerical representation of the models – in Appendix B and [http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest\\_cdrom](http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom)). These models describe age development of larch stands by site indexes (stands from IV (rarely III) to Vb site indexes grow in the region). The major driver that affects structure and growth of the larch stands is fire regimes, which are closely tied with landscape specifics and hydrological regimes of sites. The post fire regeneration of larch is intensive that results in forming of rather dense young stands. However, further ground (non-stand replacing) recurrent fires substantially decrease density of larch stands, and the relative stocking after 50-60 years rarely exceeds 0.5-0.6, often less. Dependently upon site specifics and connected to these severity of ground fires, the destruction of the modal stands (i.e. decreasing the basal area and growing stock volume with age) is observed from 120-150 years. Such a development defines specifics of major biometric indicators of stands like growing stock, net and gross growth, mortality etc.

Taking into account peculiarities of structure and growth of larch forests on permafrost (a close interconnection between productivity of forests and landscape specifics; high heterogeneity of mosaic structure of stands; crucial impacts of fire regimes), an attempt of development of growth models on a soil-typological basis has been done. These models are considered as a first stage of development of models of growth which would be most suitable for permafrost conditions under climate change.

Using the developed growth models and models of live biomass dynamics (Chapter 2), models of biological productivity (MBPs) of larch ecosystems of

the region have been developed ([http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest\\_cdrom](http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forest_cdrom)). This is a first attempt of development of MBPs for the region. MBPs contain dynamics of live biomass and Net Primary Production for the growth models described above. Live biomass is presented by major fractions (stem wood over bark; bark; wood of branches; needles; roots; understory and shrubs; green forest floor).

The dynamics of live biomass follow major regularities of formation and growth of stands. The maximum of the total live biomass of modal stands is observed at 120-150 years; however, these maximums are not clearly expressed, particularly for forests of low productivity (V-Vb site indexes). Age dynamics of individual live biomass components are components specific. Indicators of biological productivity of fully stocked stands show that suppression of fire regimes could substantially increase amount of carbon stored in larch forests of the region.

Dynamics of NPP have been modeled based on an original algorithm that simulates the growth process of total production of live biomass. NPP is rapidly growing at the first development stages of stands and reaches the maximum at 60-80 years, and for about 20 years later for forests of Va-Vb site indexes. After 120-150 years, NPP slightly decreases, as a result of two contradictory processes – decreasing of NPP allocated in trees and increasing NPP of understory, shrubs and green forest floor.

The method that was used for assessing biological productivity of forests has no recognized systematic errors. In order to estimate the impacts of the amount of experimental data on accuracy of the models of biological productivity, a special simulation procedure has been examined. It is shown that increase of experimental data to a definite limit decreases the uncertainties of the results; further increasing of the amount of data does not decrease the errors significantly. Availability of about 300 sample plots (such an amount was available for modeling of live biomass of larch forests) allows to provide an acceptable level of accuracy.

The developed system of the above mentioned models accumulated available knowledge on growth and productivity of larch forests of the region in a formally well-ordered and operational form. The system makes it possible to introduce physical indicators of environment (temperature, humidity etc.) in traditional empirical growth models that is important in conditions of changing environment.



## 4. ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ЛИСТВЕННИЧНИКИ СЕВЕРО-ВОСТОКА

### 4.1. Актуальность глобальных изменений

Термин «глобальные изменения» отражает ускоренную динамику окружающего мира, включая все его составляющие – человеческое общество, климат, растительность, состояние внешней среды, наличие и использование возобновляемых и не возобновляемых природных ресурсов. Глобальные изменения являются интегральным отражением динамики современного мира, проявляясь в сложном взаимопроникновении воздействий, откликов и обратных связей природной, экономической и социальной его составляющих. Глобальные изменения – важнейшая специфическая черта процесса перехода человеческого общества к философии устойчивого развития. Этот переход намечается в условиях наблюдающегося глобального экологического кризиса, инициированного нерегулируемым антропогенным давлением на природу и неконтролируемым увеличением использования несолнечной энергии, что существенно ухудшает качество основных компонентов жизненной среды – воды, воздуха, почв, растительности.

Ещё в 1972 году была издана широко известная книга «Пределы роста» [Meadows et al., 1972], переведенная на множество языков, ставшая в ряде стран книгой-бестселлером, которая явилась итогом работы группы специалистов разных стран. Основой этой работы стала компьютерная модель World3, в которой на основе множества статистических данных были смоделированы возможные сценарии развития мира с 1900 по 2100 годы. В соответствии с выводами следовало, что человечество уверенно шло к катастрофе, избежать которую возможно было лишь приняв меры по ограничению и регулированию роста производства и изменению критериев прогресса. Книга подчеркивала невозможность бесконечного материального роста на физически конечной планете, требовала отказаться от повышения количественных показателей роста в пользу качественного, устойчивого развития.

В 1992 году три соавтора представили новую книгу «За пределами роста» [Meadows et al., 1992], где подчеркивались весьма незначительные расхождения фактических глобальных тенденций за прошедшие 20 лет с прогнозами 1972 года и продолжала обосновываться идея необходимости остановки материального роста и перехода к устойчивому развитию общества. При этом как в свое время аграрная, а затем промышленная революции изменили направленность развития цивилизации, так и сейчас, по глубокому убеждению авторов ожидаемая экологическая революция должна изменить приоритеты и ценностные ориентиры развития общества. Однако

если аграрная революция длилась тысячи лет, промышленная – сотни лет, для экологической революции, при наблюдаемом сейчас экспоненциальном росте, человечеству отпущены какие-нибудь десятки лет.

В 2007 году издана третья книга тех же авторов «Пределы роста. 30 лет спустя» [Медоуз, 2007], где подчеркивается верность предшествующих прогнозов об имеющихся пределах роста на планете и все большей необходимости во взвешенной, разумной стратегии развития. И если в 1972 году казалось, что население и мировая экономика с большим запасом вписывается в пределы ёмкости планеты, то к 1992 году, а особенно в последние годы выясняется, что человечество уже вышло за пределы самоподдержания Земли и не всегда может остановиться. Действительно, влажные тропические леса вырубаются в недопустимых масштабах; общемировое производство зерна уже не в состоянии поддерживать рост населения; существенного роста морского вылова рыбы не произошло; природные катаклизмы с каждым годом обходятся все дороже; борьба за пресную воду и ископаемые виды топлива становится все жестче; США и другие ведущие страны продолжают увеличивать выбросы парниковых газов.

М. Wackernagel и его коллеги [1997, 2002a, б] оценили нагрузку на окружающую среду со стороны человека и сравнили её с поддерживающей способностью планеты. Они определили экологическую нагрузку как земельную территорию, необходимую для получения нужного количества ресурсов (зерна, продовольствия, древесины, рыбы, площадей под городскую застройку) и разложения выбросов, производимых мировым сообществом (прежде всего диоксида углерода). Сравнив полученные значения с территориями, доступными на планете, Вакернагель заключил, что человечество уже расходует примерно на 20 % больше (по состоянию на 1999г.), чем допускает уровень самоподдержания (потенциальная емкость планеты или же биоёмкость) (рис. 4.1).

Принимая предложенный Вакернагелем показатель (нагрузка на окружающую среду или экологическая нагрузка, экологический след) и используя соответствующие математические методы, Всемирный фонд дикой природы публикует с 1998 года данные по экологической нагрузке более чем для 150 стран в своих докладах «Живая планета». Из этих данных также следует, что с 80-х годов XX века на планете ежегодно используется больше ресурсов, чем может быть восстановлено за тот же период, а экологическая нагрузка на внешнюю среду уже на 25 % (по состоянию на 2003г.) превышает ее регенеративную способность [Живая ..., 2006].



Рис.4.1. Нагрузка на окружающую среду и уровень самоподдержания (потенциальная ёмкость биосферы). График показывает долю поверхности планеты, необходимую для обеспечения человечества ресурсами и для разложения загрязнений. Расчеты ведутся для каждого года, начиная с 1960 г. Потребности человечества сравниваются с доступными ресурсами: на самом деле планета у нас только одна. Начиная с 80-х гг., потребности человека превышают возможности планеты, и выход за пределы в 1999 г. составляет порядка 20 % [3-6].

Герман Дейли [1990] предложил три простых правила, позволяющие определить пределы устойчивости для потоков сырья и энергии:

- для невозобновимых ресурсов (ископаемые виды топлива, руды с высоким содержанием металлов и других соединений, грунтовые воды) устойчивая скорость потребления не может превышать устойчивой скорости, с которой для замещения невозобновимого ресурса может использоваться другой, возобновимый ресурс;
- для загрязнителей устойчивая скорость возникновения не может превышать скорость, с которой загрязнитель может быть разложен, поглощен или переработан средой без вреда для соответствующего стока;
- для возобновимых ресурсов (почвы, воды, леса, рыбы) устойчивая скорость использования не может превышать скорость самовосстановления этих ресурсов.

Несмотря на простоту последнего правила, а это кажущаяся простота, масса данных подтверждает, что по совокупности человечество расхо-

дует ресурсы планеты быстрее, чем они успевают возобновиться, а современный уровень развития весьма далек от целей устойчивого развития, поставленных мировым сообществом ещё в 1992 году Конференцией ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро.

В табл. 4.1 приведены данные по странам с абсолютно наибольшим антропогенным воздействием на планету, самими большими величинами общего экологического следа [Живая ..., 2006]. Они обеспечивают около 70 % планетарного экологического следа. При этом лишь три страны из указанных, Российская Федерация, Бразилия и Канада, имеют экологический резерв. Напрашивается однозначная оценка: это обеспечивается в значительной степени за счет объёмов площадей биологически продуктивной территории и в первую очередь за счёт лесных ресурсов. Тем более, что именно России, Бразилии, Канаде принадлежат наибольшие площади лесов и они занимают первые места в мировом распределении лесов между странами [Страхов и др., 2001]. Среди других стран, менее значимых по антропогенному влиянию на планету, экологический резерв имеют Австралия, некоторые страны Африки, Южной Америки.

Таблица 4.1

Экологический след и предложение в отдельных странах

Страны	Полный экологический след (млн. гга, 2003 г.)	Экологический след на душу населения (гга/чел)	Биоемкость (гга/чел)	Экологический резерв/дефицит (-) (гга/чел)
Мир:	<b>14073</b>	<b>2,2</b>	<b>1,8</b>	<b>-0,4</b>
США	2819	9,6	4,7	-4,8
Китай	2152	1,6	0,8	-0,9
Индия	802	0,8	0,4	-0,4
Россия	<b>631</b>	<b>4,4</b>	<b>6,9</b>	<b>2,5</b>
Япония	556	4,4	0,7	-3,6
Бразилия	<b>383</b>	<b>2,1</b>	<b>9,9</b>	<b>7,8</b>
Германия	375	4,5	1,7	-2,8
Франция	339	5,6	3,0	-2,6
Великобритания	333	5,6	1,6	-4,0
Мексика	265	2,6	1,7	-0,9
Канада	<b>240</b>	<b>7,6</b>	<b>14,5</b>	<b>6,9</b>
Италия	239	4,2	1,0	-3,1

Примечание: Результаты сложения могут не совпадать с совокупными показателями из-за округления

Необходимо отметить, разложение количественного показателя общего экологического следа на основные составляющие его компоненты (застроенные земли, атомную энергию, CO<sub>2</sub> от сжигания ископаемого топлива, рыбопромысловые зоны, леса, пастбища, пахотные угодья) показы-

вает весьма характерную картину: наиболее удручающая динамика среди составляющих – след от CO<sub>2</sub>, связанный с использованием ископаемых видов топлива, увеличившийся например только за период 1963-2003 гг. более чем в 9 раз. Достаточно серьезна динамика по застроенным землям, атомной энергии, пастбищам и пахотным угодьям. При этом дефицит природных ресурсов может компенсироваться за счет наращивания в первую очередь лесных ресурсов.

Вместе с тем, возможно привести выдержку из материалов 1999 г. Всемирной комиссии по лесному хозяйству и устойчивому развитию: «Существует четкая мировая тенденция к массовому уничтожению лесных угодий... Текущие тенденции направлены на ускорение сведения лесов, уничтожение оставшихся очагов реликтовых лесов, прогрессирующее ухудшение качества остающихся лесных площадей. Преобладающая часть сохранившихся лесов истощается во все больших масштабах и находится под угрозой исчезновения». Действительно, до развития сельского хозяйства на Земле было от 6 до 7 млрд га лесов, сейчас – только 3,9 млрд га. Больше половины утраченных природных лесов планеты были сведены после 1950г. В США утрачено 95% исходных лесов. В Европе таких лесов практически не осталось. В Китае утрачено три четверти лесов [Медоуз и др., 2007].

Одной из важнейших предпосылок устойчивого развития является поддержание региональной устойчивости биосферы (в частности, сбалансированность основных биогеохимических циклов в пределах экологических регионов). Глобальные изменения в высоких широтах Азиатского континента – жизненно важная проблема, как в региональном контексте, поскольку регион является одной из территорий планеты, наиболее чувствительных к изменениям внешней среды, так и с глобальной – как регион, оказывающий заметное влияние на функционирование системы Земли в целом и её климатической и гидрологической составляющих в частности. Критическая значимость воздействий глобальных изменений на окружающую среду Сибири и её жизненные ресурсы, на здоровье человека и социально-экономическую обеспеченность человеческого бытия высоко вероятна, как в краткосрочных воздействиях, так и, особенно, в долгосрочных последствиях и проявлениях.

Два типа взаимодействующих процессов – антропогенное давление на биосферу и изменения климатической системы планеты (как трендовые, так и флуктуационные) – составляют ядро глобальных изменений, которые определяют состояние, устойчивость, природные и антропогенные риски, связанные с экосистемами и гидрологическом циклом обширных районов Северной Евразии. Промышленное освоение региона (как исторически, так и в настоящее время) характеризуется физическим разрушением природных ландшафтов, интенсивным и крупномасштабным загрязнением окружающей среды (включая воды, почвы и атмосферу), трансформацией

и разрушением коренных экосистем, в особенности лесов и переувлажнённых территорий. Уже наблюдающиеся и прогнозные изменения климата в регионе в несколько раз превышают соответствующие глобальные показатели. Эволюционно, северные экосистемы формировались при относительно однородном климате и в относительно узком климатическом интервале, что делает их экологический режим мало устойчивым к существенным изменениям климатических условий. Гидрологический режим территорий во многом определяется наличием многолетней мерзлоты. Всё вместе позволяет оценить растительные экосистемы Северной Евразии как высоко чувствительные к глобальным изменениям. Высоко вероятно, что глобальные изменения приведут к усилению стратегических рисков во всех компонентах природных ландшафтов этого обширного региона, что будет влиять на устойчивость экономики, на жизненный уровень и здоровье населения.

Природные риски ассоциируются с определенными потерями, обусловленными выводом экосистем из допустимого (или оптимального) диапазонов их функционирования, вследствие изменения внешней среды или воздействий, превышающих буферные возможности и экологический резерв систем. Управление рисками – специфический процесс, состоящий из строго определенных шагов, позволяющих выработать стратегию и принимать рациональные решения по снижению рисков, реагировать на возникновения экстремальных ситуаций и минимизировать возникающие потери. Оценка рисков и возможности управления ими существенно различаются в зависимости от того, рассматриваются ли краткосрочные реакции или риски, порождаемые длительными стрессовыми воздействиями и обнаруживающиеся в отдаленной перспективе; от характера и интенсивности воздействий, приводящих к различной степени нарушенности (включая полное разрушение экосистем и необратимые изменения в них) и определяющих основной пусковой механизм закономерностей сукцессионной динамики; от того, какова типология и интегральное проявление режимов нарушений (например, взаимоотношение дигрессивных и демутиационных режимов в многолетних сукцессионных последовательностях) и другие. Было отмечено, что величина рисков и рейтинг интенсивности катастрофических событий тем выше, чем более глобальная температура отклоняется от некоторого оптимального уровня. Реакции экосистем бореальной зоны на воздействия, как правило, нелинейны; способность к адаптации различна, но в целом весьма ограничена; смягчение негативных последствий глобальных изменений требует комплексных и масштабных мероприятий.

Глобальное изменение климата из предположения, высказанного в 1962 г. М.И. Будыко, стало в настоящее время реальностью. При этом имеются в виду не обычные его колебания, а устойчивые долговременные тренды. Наиболее принятая точка зрения связывает глобальное потепление

с возрастающей концентрацией парниковых газов. В докладе ИРСС (межправительственная группа экспертов по изменению климата) [ИРСС, 2007] отмечается, что концентрация основных парниковых газов на границе третьего тысячелетия достигла максимальных из зарегистрированных за весь период наблюдений значений и продолжает повышаться. На протяжении последних 650 тысяч лет концентрации диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и метана ( $\text{CH}_4$ ) в атмосфере подвергались существенным колебаниям в ходе ледниковых эпох и межледниковья, однако даже максимальные из этих предшествующих величин гораздо меньше, нежели нынешние атмосферные концентрации этих газов. С точки зрения радиационного воздействия парниковых газов, выбрасываемых в результате антропогенной деятельности,  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  занимают, соответственно, первое и второе место по своей значимости. С доиндустриального времени (1750 г) по 2005 год концентрация  $\text{CO}_2$  увеличилась на 35 % (с 280 до 379 частей на миллион), а концентрация  $\text{CH}_4$  – почти в два с половиной раза – с 715 частей на миллиард в начале 90х годов прошлого столетия до 1774 частей на миллиард в 2005 году [ИРСС, 2007]. Увеличилась концентрация закиси азота – с 270 до 319 частей на миллиард (+18 %). В атмосфере также появились в заметных количествах хлорофторуглеводороды – синтетические материалы, задерживающие тепло и обедняющие озоновый слой [Будыко, 1974, 1977, 1980; Будыко, Гройсман, 1989; Борисенков, 1988; Ясманов, 1985; Яншин, 2001]. Другими важнейшими «парниковыми газами» являются озон и водяной пар. Метан и закись азота в основном образуются в результате деятельности человека (сельское хозяйство, сжигание ископаемого топлива, изменений в землепользовании, природных нарушений, например, растительных пожаров, накоплении бытовых и промышленных отходов, и других источников). Большие запасы метана законсервированы в болотах и мерзлотных грунтах зоны многолетней мерзлоты и при определённых условиях могут попасть в атмосферу. Приблизительно три четверти увеличения атмосферной концентрации  $\text{CO}_2$  в последние годы обусловлено сжиганием ископаемых видов топлива, а остальная часть приходится преимущественно на изменения в землепользовании, включая обезлесение. Повышение концентрации других парниковых газов – прежде всего тропосферного озона ( $\text{O}_3$ ) – в основном объясняется сжиганием ископаемых видов топлива, а также другими промышленными и сельскохозяйственными выбросами. Из других антропогенных факторов, оказывающих существенное влияние на климат, следует назвать рост производства энергии, увеличение массы антропогенного аэрозоля в атмосфере, изменение альbedo подстилающей поверхности в ходе строительства городов, дорог и промышленной инфраструктуры. Однако все эти воздействия, по мнению специалистов, в ближайшем будущем не смогут привести к таким глобальным изменениям климата, как те, которые обусловлены парниковым эффектом [Антропогенные ..., 1987].

Для оценки происходящих глобальных изменений климата исследователями разработаны различные модели, описывающие процессы обмена энергией между атмосферой и поверхностью Земли [Антропогенные ..., 1987; Радиационно-конвективная модель ..., 1991; Climate change, 1990; IPCC, 2007], а также используется "метод аналогов", который оценивает чувствительность глобальной температуры к концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере на основании изучения палеоклимата [Будыко, 1980, 1983, 1989, 1991а, б]. Интенсивные работы по развитию глобальных моделей климата ведутся в американском Национальном центре атмосферных исследований (модель NCAR); в Годдардовском институте космических исследований, (модель GISS); в институте метеорологических исследований Японии (модель MRI); Метеорологической службой Великобритании, (модель UKMO); в Главной геофизической обсерватории Санкт-Петербурга (модель MGO) и ряде других исследовательских центрах.

Основные выводы, к которым приходят ученые, кратко можно сформулировать следующим образом [IPCC, 2007]:

1. Среднегодовая температура атмосферного воздуха в приземном слое выросла в течение 1906-2005 гг. в глобальном масштабе на  $0,74^\circ\text{C}$ . Линейный тренд за последние 50 лет ( $0,13^\circ\text{C}$  за 10 лет) был примерно в 2 раза выше, чем за прошедшее столетие. Одиннадцать из 12 наиболее теплых лет, зафиксированных за всю историю инструментальных измерений климатических показателей, приходятся на 1995-2006 годы. Наиболее значительное повышение температуры приходится на высокие широты Азиатского континента. Сходное потепление наблюдается в нижних и средних слоях тропосферы.
2. Во многих районах мира увеличение температуры сопровождается увеличением осадков. Однако для северных регионов Азии положительный тренд незначительный или отсутствует. Отмечается большая территориальная и временная изменчивость количества выпадающих осадков.
3. Спутниковые данные показывают, что ледовый покров в северных морях уменьшается с 1978 года на  $2,7\%$  в год. Температура на поверхности слоя вечной мерзлоты в Арктике в целом возросла примерно на  $3^\circ\text{C}$  по сравнению с 1980-ми годами. Существенно уменьшились площади сезонно мерзлых территорий.
4. Уровень мирового океана увеличивался на  $1,8$  мм в год в 1961-2003 гг. и на  $3,1$  мм/год в десятилетие 1993-2003 гг. Средняя температура мирового океана после 1960х выросла до глубины  $3000$  м, и  $80\%$  тепла, поступившего в климатическую систему Земли было абсорбировано мировым океаном.



5. Есть надежные статистические данные, подтверждающие существенное увеличение изменчивости погоды практически повсеместно, увеличение концентрации и суровости тепловых волн, очень влажных и очень сухих периодов, ураганных ветров и других климатических аномалий.

Опираясь на результаты многочисленных моделей в рамках основных сценариев прогнозного развития мира, IPCC [2007] приходит к выводу, что в течении XXI века концентрация углекислого газа может удвоиться. Увеличение средней температуры приземного слоя атмосферы может составить от 1,4 до 5,8 °С. В большей степени потепление затронет Северное полушарие, в частности, зону распространения бореальных лесов. Хотя многие модели прогнозируют также повышение количества осадков в лесной зоне северной Евразии, неопределенности прогноза остаются значительными. Высоко вероятно более частое возникновение неблагоприятных явлений – засух, сильных ливней и экстремальных паводков.

#### **4.2. Влияние изменений внешней среды на состояние и продуктивность лесов высоких широт**

Лесные насаждения являются не только уникальным механизмом по связыванию углерода, но также представляют собой индикатор происходящих изменений климата. Ожидается, что наибольшие изменения климата произойдут в высоких широтах и ему в наибольшей степени будут подвержены бореальные леса [IPCC, 2007]. Ожидаемые изменения климата неизбежно повлекут за собой изменение почв и леса. Лес, и особенно почвы являются инерционными системами. Выведенные из состояния относительного равновесия при изменении климата они будут стремиться занять новое стабильное состояние, соответствующие изменившемуся климату. Скорость изменений свойств и характеристик почвы и леса будет зависеть от их характерных времен [Таргульян, Соколов, 1976]. Новое стабильное состояние, к которому будут стремиться лес и почвы, может быть оценено на основе новых пространственных закономерностей распределения леса и почв (сравнительно-географический и сравнительно-исторический методы). Для большей части территории можно найти прообраз будущего состояния, используя имеющиеся прогнозы изменения климата при неизменности остальных факторов лесо- и почвообразования.

Научные результаты последнего десятилетия во многом проясняют характер влияния глобальных изменений на растительные экосистемы и, в частности, на лес. Влияние глобальных изменений на лесные экосистемы, реакции растительности и обратные связи, возникающие в системе «внешняя среда – растительность» разнообразны и специфичны в зависимости от породного состава лесов, условий местопроизрастания, степени и направ-

ленности антропогенного воздействия, пороговых уровней внешних воздействий. Ожидаемые последствия многолики и могут проявляться как результат непосредственных воздействий на коротких временных интервалах (влияние на продуктивность, изменение режимов природных нарушений), так и проявляться в долгосрочных трендах и/или качественных изменениях лесных экосистем, которые не всегда могут быть надежно спрогнозированы.

Основные воздействия на леса высоких широт связаны с изменением климатических показателей (трендовыми и флуктуационными), увеличением содержания углекислоты в атмосфере, мокрыми и сухими осадками азота. Существенную роль в степени воздействия и ответных реакциях экосистем играют уровни и направленность лесохозяйственного воздействия на леса.

Температура в высоких широтах, как правило, является лимитирующим жизненным ресурсом. Поэтому предполагается, что увеличение температуры на территории России в среднем, и в высоких широтах – в особенности, способствует повышению продуктивности лесов, поскольку обычные устойчивые температуры вегетационного периода здесь существенно ниже, чем температурный оптимум для деревьев умеренных (25-30 °С) и высоких (15-20 °С) широт. В последние десятилетия получены существенные результаты в понимании воздействия климатических факторов на функционирование и продуктивность лесных систем северного полушария [Landberg, 1986; Nikinmaa, 1992; Schulze et al., 1999 и др.]. В многочисленных опытах по увеличению температуры почвы и/или воздуха возрастание продуктивности составляло 15-20 %, иногда больше. Отмечено увеличение радиального прироста сосны обыкновенной Кольского полуострова в течение XX века в среднем на 57 % [Алексеев, Сорока, 2001].

Однако, в части оценки результирующего влияния повышения температуры на продуктивность лесов на больших территориях (в частности, на чистую биомную продукцию) существуют многие неопределенности, поскольку остаётся неясным какая составляющая продукционного процесса – ЧПП или гетеротрофное дыхание – является более чувствительной к повышению температуры. Наблюдая географические закономерности распределения органического вещества в почве, М. Kirschbaum [1995] отмечает, что рост среднегодовой температуры на 1 °С может привести к потерям органического вещества почв от 3 % в тропиках до 10 % в тундре. Автором отмечается, что за период с 1860 по 1990 гг. на фоне увеличения температуры на 0,5 °С и концентрации CO<sub>2</sub> на 22 %, произошло увеличение стока углерода в тропических экосистемах, то есть прибавка чистой продукции превысила ускоренную деградацию почвенной органики. В высоких широтах наблюдается обратная картина. Баланс углерода, по мнению автора, сместился в сторону потери углерода, так как увеличение скорости разло-

жения органики почв не компенсируется полностью за счет увеличения первичной продуктивности.

За период с 1958 года начало вегетационного периода в северном полушарии сдвинулось на 7 дней [Muneni et al. 1997], что способствует увеличению продуктивности лесов. Однако, чтобы это произошло, требуется соответствующее увеличение осадков, Этого не наблюдалось в обширных континентальных районах Азиатской России в течение последних двух деkad. Имеются примеры для высоких широт, когда увеличение температуры вело к уменьшению радиального прироста деревьев в связи со спровоцированным этим увеличением недостатком влаги [Barber et al., 2000]. Увеличение вегетационного периода может входить в противоречие с фотопериодизмом растений, а недостаточное охлаждение в зимний период в южных районах умеренной зоны отрицательно влиять на ЧПП [Norby et al., 2000]. Помимо прямых короткопериодных воздействий и реакций экосистем на увеличение температуры, существуют многочисленные непрямые, в частности, температурно-обусловленные изменения водного режима, направленности сукцессий, обеспеченности растений питательными веществами, состава древесных пород, размножения насекомых и патогенов.

В настоящее время около половины эмиссионного углекислого газа остаётся в атмосфере. В 1995-2005 гг. средняя глобальная концентрация  $\text{CO}_2$  продолжала возрастать со скоростью 1,9 частей на миллион в год [Foster et al., 2007]. Наличие удобряющего влияния повышенной концентрации  $\text{CO}_2$  на продуктивность наземной растительности (в частности, на интенсивность фотосинтеза) общепринято. Например, влияние возрастающей концентрации на ЧПП часто отражают «формулой Киллинга»

$$\text{NPP}(C_a) = \text{NPP}_0 [1 + \beta \ln(C_a/C_{a=0})],$$

где  $C_a$  – фактическая концентрация  $\text{CO}_2$ ,  $\beta$  – фактор роста,  $C_{a=0}$  – некая базовая концентрация  $\text{CO}_2$  (например, доиндустриальная),  $\text{NPP}_0 = \text{NPP}(C_{a=0})$  [Bacsatow, Keeling, 1973].

В целом, формула эта содержит подтверждающуюся идею, однако многие аспекты процесса остаются неизвестными. Так, увеличение интенсивности фотосинтеза лимитируется другими факторами внешней среды (наличие влаги, элементов питания и пр.). Среди других причин, которые ограничивают возможности растительного покрова поглощать избыток углекислого газа, называют возможную деградацию растительного покрова при изменении климата и усиление гетеротрофного дыхания.

В части экспериментальной оценки удобряющего влияния повышенных концентраций  $\text{CO}_2$  на функционирование и продуктивность лесов применялись различные методы: (1) применение специальных камер с повышенным содержанием  $\text{CO}_2$ ; в эти камеры помещают листья, побеги или деревья целиком [Oechel et al., 1992; Barton et al., 1993 и др.]; (2) повышение концентраций  $\text{CO}_2$  на участках насаждений, изолированных газонепроницаемым материалом, чтобы избежать горизонтальных потоков угле-

кислого газа [Norby et al., 2001; Wullschleger et al., 2001]; (3) применение косвенных методов, таких как дендрохронологический анализ и другие подходы.

Существуют многочисленные публикации, как в части влияния увеличивающихся концентраций  $\text{CO}_2$ , так и других изменений внешней среды [Morrison, 1993; Marshall, Monserud, 1996; Jacoby, D'Arrigo, 1997; Briffa et al., 1998; Martinelli, 2004; Waterhouse et al., 2004]. Так, эксперименты с сеянцами при удвоенном содержании углекислого газа показывают увеличение их роста на 20-40 % [Melillo et al., 1993]. Yazaki et al. [2001] провели в течении 2-х лет эксперимент на сеянцах лиственницы сибирской с удвоением концентрации углекислого газа и различным содержанием элементов питания. Отмечено, что рост сеянцев улучшается при увеличении содержания элементов питания. Однако, достоверное положительное влияние повышенной концентрации углекислого газа было обнаружено только при повышенном содержании элементов питания. Delucia et al. [1999] провели эксперимент по увеличению концентрации углекислого газа на 200 микролитров на литр в сосновом лесу в Северной Каролине, США. В результате двухлетних наблюдений зафиксировано 25 % увеличение чистой первичной продуктивности по сравнению с контролем. Увеличивается прирост надземной части, тонких корней и величина опада. Авторы прогнозируют, что за счёт увеличения чистой первичной продуктивности лесов к 2050 году будет связано 50 % прибавки углекислого газа, связанного с деятельностью человека.

Большинство исследователей отмечают, что в первые годы происходит заметное увеличение прироста, которое, однако, нивелируется в последующие годы. Последующие снижение прироста объясняют акклиматизацией растений или исчерпанием доступных элементов питания. Тем не менее, остаётся потребность в знании того, как леса различных пород и возрастов, растущие в различных географических районах реагирует на этот фактор. Многие исследования анализировали рост и функционирование только молодых растений, в течение короткого периода, внутри специальных камер, что существенно видоизменяло условия, существующие в природе [Nunez-Elisea et al., 1999; Thacker et al. 2003; Ojeda et al., 2004]. Очень немногие исследования изучали деревья старших возрастов в природных условиях и практически отсутствуют долговременные исследования на уровне экосистемы [LaMarche et al., 1984; Karnosky et al., 2003]. Оказалось, что реакция на повышенное содержание  $\text{CO}_2$  существенно различна у разных пород, зависит от климатических условий индивидуальных вегетационных периодов, обеспеченности доступным азотом, наличием загрязнений и др. [Naumburg et al., 2001; Takeuchi et al., 2001; Aasamaa et al., 2002]. Некоторые анализы последних лет предполагают, что увеличение ЧПП лесных экосистем как реакция на увеличивающуюся концентрацию  $\text{CO}_2$  достаточно предсказуемо для разнообразных условий произрастания

лесов (в опытах FACE отклик в древостоях различных пород умеренной зоны составил  $+23\pm 2$  % при удвоении концентрации в сравнении с преиндустриальным периодом – до 550 частей на миллион) [Norby et al., 2005], однако проверка результата проводилась на молодых древостоях, и остаётся неясным, насколько этот результат может быть перенесен на многообразие природных лесов.

Существенные особенности вносит одновременное изменение нескольких факторов, например, увеличение температуры совместно с действием удобрений [Linder, 1998]. Однако, имеющихся данных пока явно недостаточно для вычленения эффектов, оказываемых отдельными факторами. Было также показано, что повышенные концентрации углекислоты способствуют более раннему созреванию лесных деревьев (при меньших размерах в возрасте спелости) и непропорциональное перераспределение углерода в генеративные органы [De Graaff et al., 2006]. В ряде экспериментов на уровне лесной экосистемы было показано, что недостаток азота уменьшает влияние повышенных концентраций  $\text{CO}_2$  на прирост фитомассы [De Graaff et al., 2006; Novak et al., 2004], а внесение дополнительных количеств азота усиливало реакцию растений [Reich, Nadelhoffer, 1989]. На региональном уровне, Magnani et al. [2007] показали, что чистое накопление углерода в умеренных и бореальных лесах, осреднённое на всё время существования древостоев высоко коррелирует с региональным уровнем мокрого осаждения азота. Осаждения неорганического азота может играть существенную роль в бореальных лесах, поскольку его недостаток здесь осознан как один из важных факторов, ограничивающих продуктивность лесов.

Интересный факт структурных изменений фитомассы лесов России в 1961-2000-х годах был отмечен в работе [Lapenis et al., 2005], где были показаны относительно небольшие, но статистически значимые тренды в изменении доли участия надземной древесины, корней и зелёных частей, причем тренды эти имели различный характер: в то время как доля зелёных частей заметно увеличилась за этот период, доля фитомассы, приходящейся на надземную древесину и корни уменьшилась. Авторы объясняют эту динамику изменениями в климатических условиях, связывая это явление с изменением индекса напряжённости сухости Палмерса.

Непрямое влияние климатических изменений на лесной покров больших территорий связано с коренными изменениями природных ландшафтов на многолетней мерзлоте. Исследования, проведённые в центральной Аляске [Jorgenson et al., 2001], показали широко распространённую и быстро протекающую деградацию многолетней мерзлоты. В связи с этим авторы отметили смену берёзовых лесов на болота и заболоченные травяные сообщества. Многолетнемерзлотные почвы содержат значительное количество льда и после оттаивания наблюдается просадка поверхности на 1-2,5 м, происходит заселение влаголюбивыми травами и начинается нако-

пление органических остатков. Изучаемая территория (около 265 тыс. га) на 17 % не имела льдистой мерзлоты, 48 % сохранило стабильную мерзлоту, 31 % – частично деградированную и 4 % полностью деградированную. Почти половина (42 %) территории, имеющей мерзлоту, подвержено термокарсту. За последние 46 лет площадь берёзовых лесов сократилась на 35 %. Основываясь на анализе аэрофотоснимков и радиоуглеродном методе авторы считают, что начало деградации мерзлоты началось в середине 18 века. Если текущие условия сохранятся, то исчезновение берёзовых лесов прогнозируется к концу текущего столетия. Процесс деградации многолетней мерзлоты и сопутствующее ему изменение гидрологического режима больших территорий является одним из важнейших проявлений глобальных изменений в районе исследования.

Значительную роль во влиянии глобальных изменений на продуктивность лесов на больших территориях играет распространение природных и антропогенных нарушений. Растительные пожары на больших территориях высоких широт Азиатского континента являются следствием повышения температуры, не компенсируемого достаточным увеличением количества осадков (т.е. нарастанием аридности климата), а также существенно возросшей вариабельности сезонных погодных условий. Мы уже отмечали огромные площади растительных пожаров в Азиатской России в течение последнего десятилетия, что в частности привело к существенному уменьшению площади лиственничников Северо-Востока России за последнее десятилетие (глава 5). Второй важнейший тип природных нарушений – крупномасштабные вспышки размножения вредных насекомых, в частности сибирского шелкопряда. В первые годы нынешнего века наблюдалась крупнейшая вспышка размножения этого вредителя в лиственничниках средней тайги (север Прибайкалья, южная Якутия) на площади порядка 10 млн га, в основном на северных территориях, где массовое размножение этого вредителя ранее не наблюдалось.

Увеличение частоты и величины климатических аномалий приводит к интенсификации нарушений лесного покрова, и, в конечном счете, – к снижению его продуктивности. За первые 5 лет начала 21-го века произошло три наводнения, повторяемость которых оценивалась не чаще, чем раз в 50 лет; два года отмечены катастрофическими пожарами и 2 года – вспышками массового размножения, площади которых превышают средние многолетние почти в 3 раза. Загрязнение внешней среды также является важным фактором, снижающим жизнеспособность и продуктивность лесов, особенно в условиях климатических экотонов. Обширные районы Сибири подвержены индустриальному загрязнению, особенно в районах интенсивной нефте- и газодобычи (Западная Сибирь) и развитой металлургии (север Красноярского края).

Попытки оценки суммарного влияния глобальных изменений различной природы на продуктивность лесов России за истекшие 40-50 лет

дают совпадающие по знаку, но достаточно неопределенные количественно оценки. Пространственный анализ «индекса зелёности» выделил обширные регионы с повышенной ЧПП [Myneni et al., 1997; Zhou et al., 2001]. По достаточно согласованному мнению многих публикаций, изменения климата и внешней среды в условиях достаточного количества влаги положительно влияют на продуктивность лесов [Boesvenue, Running 2006]. По мнению В.А. Алексеева и М.В. Маркова [2003] среднее годовое повышение прироста лесов России (речь идет о приросте по наличному запасу) может быть принято 0,5 % в год, т.е. порядка 20 % за последние 40 лет предыдущего столетия, однако эти числа должны быть использованы с осторожностью, поскольку вычислены на основе косвенных данных по изменению запаса и ряда экспертных предположений.

Количественные и экспертные прогнозы состояния и продуктивности таёжных лесов Северной Евразии на 21 столетие немногочисленны. Tchebakova et al. [2001] построили модель для расчета изменения запасов фитомассы в горных лесах юга Сибири, как следствие ожидаемого изменения климата. Выбранный сценарий изменения климата подразумевает увеличение летних температур на 2 °С и увеличение количества осадков на 20 %. Модельные результаты предполагают, что новые климатические условия на четверть территории изменят тип растительности. Пояс черневой (с преобладанием пихты и кедра) и светлохвойной тайги увеличит свою территорию за счет сокращения степей и субальпийской тайги. Сократится также зона горных тундр и площадь сухих степей. Данные изменения в растительности поднимут запасы фитомассы всей территории на 17 %. Однако, следует иметь в виду, что практическая реализация такого результата потребовала бы тысячелетий, поскольку естественное расселение древесных растений в новые территории – процесс намного медленней, чем это предполагается в ряде моделей и палео-реконструкций [Удра, 1988].

Несмотря на значительный прогресс в рассматриваемой области, многие важнейшие вопросы ещё ждут своего решения. Пока нет ещё фундаментального понимания, как древесные растения и экосистемы функционируют в динамических условиях множественных ограничений на жизненные ресурсы, и ответы на важнейшие вопросы этого плана – (1) насколько устойчивой является прямая стимуляция фотосинтеза и ЧПП этими изменениями внешней среды? (2) в какой степени ограничения на жизненные ресурсы (например на элементы питания) лимитируют CO<sub>2</sub> удобряющий эффект на прирост биомассы и как долго влияние таких ограничений остаётся существенными? (3) в какой мере осаждения азота могут смягчать влияние обычного для высоких широт недостатка доступного азота на рост растений? (4) как эти изменения взаимодействуют с гидрологическим циклом, в частности, с водным стрессом? (5) как скажется влияние криогенной деструкции многолетнемерзлотных лесных ландшафтов на экосистемы высоких широт – в полной мере пока не даны.

### **4.3. Ожидаемые глобальные изменения на Северо-Востоке России и их влияние на лиственничные леса**

#### **4.3.1. Ожидаемые климатические изменения**

В течение нескольких последних десятилетий температура воздуха на поверхности в Арктике увеличивалась примерно вдвое быстрее, чем в среднем на планете. Это потепление существенно интенсифицировалось после 1980 года (около 1°С за декаду) [McBean et al., 2005]. Хотя в течение прошлого столетия в большей части циркумполярной Арктики наблюдался слабый тренд увеличения осадков (около 1 % за декаду), процесс этот сильно варьирует в пространственном отношении и для района исследования является весьма неопределенным из-за очень малого количества станций сети измерений осадков. Тем не менее, не вызывает сомнения, что изменение температуры и осадков, уменьшение мощности ледового покрова в Северном Ледовитом океане [Lemke et al., 2007], уменьшение периода ледового покрова рек и озер [Walsh et al., 2005], повышение температуры вечномерзлотного слоя до значительных глубин почти во всей циркумполярной зоне вечной мерзлоты [Romanovsky et al., 2002], увеличение активности фотосинтетического аппарата [Slayback et al., 2003] ведет к значительному изменению функционирования экосистем высоких широт [Walther et al., 2002].

Согласно 4-ой оценке IPCC ожидаются значительные климатические изменения в северной Азии (центр района соответствует примерно 60°с.ш.). В сценарии SRES A1F1, соответствующему максимально проектируемому уровню эмиссий, возрастание температур (в сравнении с доиндустриальными) планируется к 2080-м годам: для зимних месяцев 10,5 °С, весенних 8,3; летних 6,9 и осенних 8,3 °С; возрастание количества осадков предполагается на 59, 43, 15 и 25 % соответственно. В сценарии B1К (при минимальном уровне эмиссий) возрастание температур предполагается примерно на 40 % меньше и осадков – почти вдвое меньше, чем в предыдущем сценарии [IPCC, 2007].

В табл. 4.2 приводятся некоторые климатические показатели, усредненные по административным районам Север-Востока страны средние годовые температура и количество осадков (средние за 1950-2000 гг), а также средняя температура и количество осадков вегетационного периода, в качестве которого в целях сравнения взяты четыре месяца – май, июнь, июль и август. Исходные климатические данные доступны на [www.worldclim.org](http://www.worldclim.org). В этой же таблице приведен прогноз изменения температур и осадков на 2020 и 2080е годы. Прогноз произведен по модели глобальной циркуляции атмосферы HADCM3 для IPCC сценария A2A.



Таблица 4.2.

Климатические показатели района исследований (объяснения в тексте)

Показатели	Якутия	Магаданская область	Корякский АО	Чукотский АО
Средняя годовая температура (Т) за 1950-2000гг.	-12,91	-11,28	-6,61	-11,4
Прогноз Т на 2020 г.	-10,91	-9,14	-4,80	-9,1
Прогноз Т на 2050 г.	-8,94	-6,99	-2,43	-6,8
Годовые осадки (О) в 1950-2000гг.	297	356	492	311
Прогноз О на 2020 г.	322	378	499	322
Прогноз О на 2050 г.	331	423	588	382
Средняя температура вегетационного периода (СТВП) за 1950-2000 гг.	8,20	6,72	6,39	3,92
Прогноз СТВП на 2020 г.	9,47	8,13	7,48	5,27
Прогноз СТВП на 2050 г.	10,90	9,66	8,95	6,09
Осадки за вегетационный период (среднее за 1950-2000 гг.)	168	178	193	133
Прогноз О на 2020 г.	183	185	195	137
Прогноз О на 2050 г.	183	201	225	151

На основе данных табл. 4.2 и других климатических материалов для района исследования можно сделать следующие выводы. В пределах всего Северо-Востока России, ожидается сильное потепление – порядка 4 °С для средней годовой температуры. Более значительное повышение температуры ожидается зимой и меньшее – летом. Количество осадков также увеличивается, темпы этого увеличения значительно выше для зимы, чем для лета. Упрощённое вычисление коэффициентов увлажнения, типа гидротермического коэффициента Селянинова (для периодов со средними дневными температурами >0 °С, >5 °С и >10 °С) свидетельствуют о постепенной и ощутимой аридизации климата, причем более сильное проявление этого процесса ожидается в континентальных районах и незначительное – в прибрежных океанических территориях. Хотя для большей части территории региона указанные коэффициенты не выходят за рамки, в пределах которых возможно произрастание лесной растительности, значительная часть континентальной Якутии и соседних районов, по крайней мере, в отдельные годы, будет находиться в условиях недостатка влаги.

В целом, в регионе ожидается достаточно сильная перестройка атмосферной циркуляции. По результатам моделирования для ситуации удвоения CO<sub>2</sub>, с большой степенью достоверности выявляются очаги уменьшения давления над областью Азиатского антициклона зимой [Climate change, 1990]. Это окажет существенное влияние на высотную поясность, структура которой должна измениться по сравнению с современной вследствие ослабления мощной зимней приземной инверсии, в частности, ожидается более сглаженное распределение температуры по

высоте. Этот прогноз достаточно хорошо согласуется с результатами численного моделирования с помощью моделей общей циркуляции, что повышает его достоверность [Будыко, 1988]. Следует отметить, однако, что проведённое обсуждение является некоторым усреднением, в которое чисто локальные условия (например, рельеф) будут вносить существенные специфические черты.

Социально-экономические прогнозы для района исследования достаточно неопределенны. Современные способы «освоения» северных территорий пока не дают никакой основы для оптимистического взгляда в будущее. Уровень атмосферного и почвенного загрязнения во многих районах интенсивной добычи ископаемых ресурсов и промышленных конгломераций превысил все разумные пределы; темпы загрязнения усиливаются. Подобные черты характерны и для значительной части Северо-Востока. Вместе с тем, хотя регион исключительно богат природными ресурсами, две последние декады свидетельствовали о резком снижении темпов его освоения. Во всех субъектах РФ наблюдался значительный миграционный отток населения, достигающий -15-20 % в наиболее северных территориях [Чепалыга и Чепалыга, 2006]. Тем не менее, есть основания предполагать, что это временное явление, и антропогенное влияние на природные ландшафты Северо-Востока будет существенно усиливаться в ближайшие десятилетия.

#### **4.3.2. Прогноз изменения лиственничников Северо-Востока**

Предполагается, что глобальные изменения, в первую очередь климатические, окажут значительное воздействие на лиственничные леса региона, вызывая разнообразную реакцию экосистем и изменения в размещении лесов, породном составе, структуре и продуктивности.

- В географических и высотных лесотундровых экотонах при потеплении и достаточной почвенной влажности, в том числе за счет таяния многолетней мерзлоты, вероятно увеличение сомкнутости редколесий и изменения габитуса древесных растений. Продвижение лесов на север вероятно по поймам рек и на наиболее дренированных местообитаниях – имеются отчетливые свидетельства наступления леса на тундру, как в высотном, так и в географическом отношении. Процесс расселения лиственницы в новые местообитания будет очень медленным, заметно проявляясь на временных интервалах порядка столетий.
- В глубине ареала возможно появление, а к южной границе увеличение доли участия других пород (сосна, ель, кедр, берёза).
- В горных лесах, особенно континентальных районов, где на маломощных почвах ожидается сокращение влагообеспеченности, вод-

ный стресс увеличится, что может привести к усыханию лиственничников на значительных площадях.

- Заметное увеличение продуктивности существующих лиственничных насаждений наиболее вероятно в наиболее комфортных местобитаниях.
- Ожидается акселерация режимов природных нарушений, в первую очередь растительных пожаров на всей территории региона, а также вспышек массового размножения вредителей в южной и центральной его частях, которые окажут существенное негативное влияние на состояние и продуктивность лесов.

Как показано выше, в части климатических показателей наиболее заметно будут меняться температура и влажность, которые в значительной степени определяют почвенные процессы, а также состав и продуктивность лесных насаждений. Приуроченность насаждений к определенным элементам рельефа также является важным и специфичным для региона фактором продуктивности лесов (табл. 4.3).

*Таблица 4.3*

Классификация условий произрастания в координатах тепла и влаги

Тепло	Влага	Элемент рельефа	Почвы
холодные	влажные	-	-
	средние	северный склон	криозёмы торфянистые
	сухие	-	-
средние	влажные	пониженная часть высокой террасы	торфянисто-глеевые
	средние	первая надпойменная терраса, средняя часть высокой террасы, плато	криозёмы
	сухие	участок высокой террасы, прилегающий к бровке	палево-криозёмы
тёплые	влажные	пойма	аллювиальные
	средние	восточный и западный склоны	палево-криозёмы
	сухие	южный склон	палевые

Классификация, приведенная в табл. 4.3, служит хорошей основой для оценки типологического разнообразия существующих лиственничных лесов и оценки наиболее вероятных траекторий их динамики. На рис. 4.2 показано расположение почв и коренных типов леса в координатах гидро-термических и эдафических условий [Щепашенко и др., 1997].

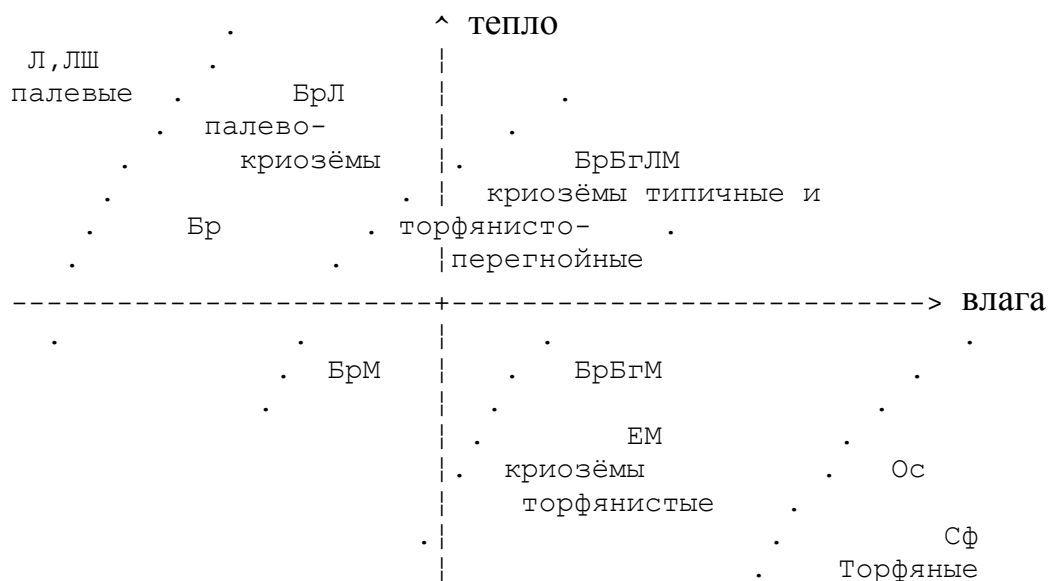


Рис.4.2. (предложен В.А. Рожковым) Экотопы типов леса лиственничников: Л – лишайниковый, ЛШ – лишайниково-шикшиевый, БрЛ – бруснично-лишайниковый, Бр – брусничный, БрБГЛМ – бруснично-багульниково-лишайниково-моховой, БрБГМ – бруснично-багульниково-моховой, ЕМ – ерниково-моховой, Ос – осоковый, Сф – сфагновый.

Очевидно, ожидаемые изменения режимов температуры и влажности, определяют определённый «сдвиг» типов леса в более благоприятные условия местопроизрастания, хотя процесс этот будет существенно корректироваться как влажностным режимом отдельных регионов, так и спецификой макро-, мезо- и микрорельефа.

В среднем, в качестве некоторого обобщённого аналога возможных изменений продуктивности лиственничных лесов в зависимости от изменений климата, могут быть рассмотрены зональные закономерности изменения фитомассы лиственничных лесов России. В табл. 4.4 приведены средние плотности фитомассы, вычисленные для всех лиственничных лесов страны (включая леса крайнего севера за пределами территории Государственного лесного фонда). Как следует из данных таблицы, существует заметный потенциал повышения продуктивности лесов региона: переход от северотаежных к среднетаежным условиям увеличивает ЧПП лиственничных экосистем примерно в полтора раза. Однако реализация такого варианта на значительных площадях, при условии стабильного потепления, возможна только в достаточно далеком будущем, отстоящего от нынешнего времени на период порядка тысячелетия. Заметим, что повышенная ЧПП лиственничников тундровой зоны, занимающих относительно небольшие площади, объясняется их специфическим расположением преимущественно в долинах рек.

Таблица 4.4.

Плотности фитомассы лиственных лесов России по биоклиматическим зонам

Зоны	Площадь, $\times 10^6$ га	Плотность фитомассы по фракциям, кг С м <sup>-2</sup>						
		зелёные части	ствол	ветви	итого надземной	подземная	все-го	в т.ч. древесное
Тундра	3,8	0,20	2,20	0,32	2,76	1,15	3,91	3,60
Лесотундра и северная тайга	47,2	0,18	1,50	0,23	1,94	0,85	2,79	2,49
Средняя тайга	202,3	0,18	2,41	0,34	2,97	1,18	4,15	3,89
Южная тайга	12,9	0,18	3,48	0,46	4,15	1,49	5,65	5,42
Зона умеренных лесов	1,3	0,18	3,05	0,45	3,71	1,38	5,08	4,87
Степи и полупустыни	1,8	0,21	3,75	0,52	4,51	1,71	6,22	5,96
<b>Всего</b>	<b>269,3</b>	<b>0,18</b>	<b>2,32</b>	<b>0,33</b>	<b>2,86</b>	<b>1,14</b>	<b>4,00</b>	<b>3,73</b>

В целом можно заключить, что климатические изменения оказывают положительное влияние на лиственные леса региона. Вместе с тем, возрастающая опасность катастрофических природных нарушений порождает отчетливые риски крупномасштабных изменений растительного покрова, сопровождающихся его обеднением и деградацией, особенно в экотонах лесной зоны. Современные тенденции смены темнохвойных пород сосной в засушливом климате и лиственницей на холодных и мерзлотных почвах вследствие пожаров могут рассматриваться как аналог перестройки зональной растительности при потеплении.

Возрастающая нестабильность климата (рост изменчивости климатических условий, усиление частоты и силы проявления экстремальных аномалий) на фоне совмещения различных трендов потепления и развития вековой тепло-сухой фазы на большей части континентальной территории региона может иметь существенные отрицательные последствия в части снижения устойчивости экосистем и их жизнеспособности; значительной межсезонной вариации интенсивности продукционного процесса и увеличения патологического отпада в лесах.

Существеннейшим образом возрастают риски крупномасштабных растительных (лесных и торфяных) пожаров. В 20-м веке оборот огня в растительных экосистемах сократился на треть по сравнению с 19-м веком, а средние площади растительных пожаров на территории Азиатской части России в последние десятилетия достигли площади 10 млн га в год. Существует отчетливая обратная положительная связь между катастрофическими пожарами, распространяющимися на большие территории, и региональной погодой, которая может менять сложившиеся закономерности ат-

мосферной циркуляции и препятствовать циклонической деятельности. Это ведет к снижению количества осадков на территориях с большими площадями пожаров. В результате, такие пожары ведут к гибели лесов на значительных территориях и развитию деграционных процессов. В последние десятилетия наблюдается усиление процессов «зелёного опустынивания», главным образом в зонах лесотундры и северной тайги [Ефремов, Швиденко, 2004], как следствие частых рекуррентных пожаров. Возрастают риски вспышек массового размножения опасных вредителей леса. Усиливающееся промышленное давление на северные территории, охватывающее отдельные, но обширные территории, сопровождается необратимой деграцией коренных типов растительности и загрязнением почв, воды и воздуха, существенно усиливает отрицательные последствия климатических изменений.

Деграция многолетней мерзлоты – процесс, наблюдающийся в пределах всего высокоширотного циркумполярного пояса. Климатически обусловленное таяние многолетней мерзлоты существенно интенсифицируется в нарушенных ландшафтах, что может необратимо менять гидрологический режим и усиливать аридизацию больших районов до критических состояний. Риски, порождаемые изменениями гидрологического цикла, значительны, но разнообразны в различных биоклиматических и ландшафтных зонах региона. На вечномерзлотных территориях Якутии современное потепление распространяется до глубины 70-80 м, при этом низкотемпературные мерзлые грунты реагируют более отчетливо. Вместе с тем, наблюдается высокая термическая устойчивость криолитозоны Центральной Якутии, что обусловлено наметившейся тенденцией в уменьшении снегоотложений в районе за последние 15-25 лет. При потеплении климата с трендом больше  $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}$  в год (современный тренд в Якутии составляет  $0,06\text{-}0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$  в год) существенно нарастает вероятность отрицательных геокриологических, ландшафтных и экологических проявлений. Предполагается, что на площадях вечной мерзлоты с ледовым комплексом (около 35 % площади Якутии и 35-40 % площади Северо-Востока России) термокарст, оврагообразование, оползни, заозёрность и заболоченность могут увеличиться в 1,5-2 раза в 2050-2100 гг. при будущем глобальном потеплении климата на  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Всё вместе порождает высокие вероятности стрессовых состояний экосистем, снижение их устойчивости и продуктивности. Усиление термического разложения громадного количества подземной органики, накопленной в мерзлотных толщах и торфяных залежах высоких широт, будет оказывать существенное влияние на климатическую систему Земли.

Антропогенная трансформация земной поверхности, хотя и ограничена относительно небольшой частью земель региона, вносит свой вклад в понижение продуктивности наземной растительности. Так, на отвалах рассыпных месторождений золота в районах Центральной Колымы фитомасса

древесных ассоциаций уменьшается в 2 раза, травяно-кустарниково-мохового покрова – в 5 раз. При этом фитомасса на северных склонах в 2 раза выше, чем на южных в силу специфики иссушения на разных элементах ландшафта [Залюц, 1981].

Прогноз будущего состояния и динамики лиственничников региона во многом зависит от правильной организации лесного хозяйства в них. Вопрос этот исключительно сложен, учитывая, что основная часть лесов является практически неуправляемой, и пока нет оснований ожидать интенсификации процесса управления лесами, по крайней мере в краткосрочной перспективе. Обширные территории лесного фонда Северо-Востока, при наличии важных общих черт, достаточно разнообразны в различных своих частях, и, что особенно важно в рамках рассматриваемой проблемы, – разнообразны по ожидаемым климатическим изменениям и социально-экономической специфике. Поэтому первая важная задача подготовки лесных территорий региона к глобальным изменениям – их районирование по целесообразным типам ведения лесного хозяйства, адаптированных к основным проблемам, порождаемым глобальными изменениями. Такое районирование должно определить основные направления хозяйственного воздействия на лесные экосистемы, разделение территории по интенсивности охраны лесов от пожаров и других нарушений, допустимые режимы многоцелевого лесопользования и – как исключительно важный элемент – специфику подготовки лесных ландшафтов к ожидаемым неблагоприятным изменениям климата. Во многом требуется совершенствование традиционных подходов к лесопользованию, в основном сложившихся в зонах интенсивного лесного хозяйства и лесозаготовки.

В новых основополагающих документах управления лесами страны (Лесной кодекс и основанные на нём руководящие материалы) декларируется необходимость перехода к устойчивому управлению лесами (УУЛ). Критерии и индикаторы УУЛ, принятые на национальной уровне, целесообразно адаптировать для условий региона. Поскольку проблема многоцелевого использования лесов сводится к гармонизации не совпадающих, а часто противоречивых функций, выполняемых лесами, общая задача лесного хозяйства региона – выбор приоритетов и ориентация на них всей системы управления лесами. Очевидно, что биосферная и средообразующая функции являются главнейшими для лесов региона. В этом отношении углерододепонирующая функция является одной из высоко приоритетных. Проблема включения этой функции в парадигму УУЛ и практическое лесопользование достаточно разработана для лесов умеренной зоны [например, Nabuurs, Mohren, 1993, 1995; Alban, Regala, 1992; мн. др.], однако она практически не рассматривалась для лесов региона. Решение этой проблемы имеет очевидный практический смысл, если учесть, что международный рынок углерододепонирующих проектов оценивается величинами порядка 10 млрд. долларов ежегодно, а стоимость

растущего леса, как системы, депонирующей углерод, по некоторым источникам в 5 раз превышает его стоимость на корню как древесного сырья [Solberg, 1997].

В настоящее время управляемость природными ресурсами (в частности, лесами) и контроль за их использованием на Северо-Востоке находятся ниже критического уровня. Воздействие токсического антропогенного загрязнения воды и воздуха, снижение иммунной защиты организма, усиление влияния нарастающих стрессовых состояний, воздействие комплекса негативных социальных явлений, связанных, в том числе, с активизацией процессов миграции, с высокой вероятностью будут усиливать отрицательное влияние климатических изменений на уровень жизни и здоровье населения и усиливать нежелательные обратные связи в регионе.

Современное знание последствий глобальных изменений ограничено, уровни неопределенностей прогнозов и оценок часто неизвестны. Многие жизненно важные для будущих поколений вопросы требуют углубленного исследования и анализа. Эти вопросы включают такие фундаментальные проблемы, как пороговые величины допустимых (неразрушающих) воздействий на экосистемы высоких широт, учитывая нелинейность и многовариантность откликов на долгопериодную аккумуляцию стрессовых состояний; системный анализ динамики систем, включающих компоненты различной природы – биофизические, экологические, социальные и экономические; теория и практика принятия субоптимальных решений в условиях неопределенности; разработка интегральных систем наблюдений за состоянием и динамикой экосистем; многие другие.

Проблемы, связанные с климатическими изменениями, пока не присутствуют в обосновании существенных социальных, экономических и управленческих решений в подавляющем большинстве стран мира, включая Россию. Стране в целом и особо уязвимым регионам, к которым относится и рассматриваемый регион, необходима долгосрочная и глубоко продуманная стратегическая программа адаптации природных ландшафтов и всех частей хозяйственного сектора к климатическим изменениям и снижения негативных воздействий последних.

#### **4.4. Перспективы**

Основные составляющие глобальных изменений в районе исследования включают изменения климата, изменения внешней среды (главным образом, возрастание атмосферной концентрации CO<sub>2</sub> и промышленных загрязнений воздуха и воды) и увеличивающееся антропогенное давление на природные ландшафты. В главе анализируются климатические изменения последних десятилетий, а также прогноз по одной из широко используемых моделей общей циркуляции атмосферы на 2020-е и 2050-е годы. Согласно этому прогнозу, на Северо-Востоке России ожидается значи-



тельное потепление. Прогнозируется также возрастание количества осадков, однако этого увеличения в континентальной части региона будет недостаточно, чтобы компенсировать увеличение температуры, т.е. ожидается возрастание сухости климата, особенно в вегетационный период. Высоко вероятно, что таяние многолетней мерзлоты дополнительно скажется на гидрологическом режиме больших территорий, способствуя их аридизации. Ожидается также существенное усиление явлений термоэрозии и физического разрушения природных ландшафтов.

Направление динамики лиственных лесов под влиянием изменения климата оценивается путем классификации существующих местообитаний в координатах тепла и увлажненности. При этом существенную роль играет принадлежность лесных экосистем к определённым элементам ландшафта. На части территории, особенно в наиболее благоприятных при нынешнем климате местопроизрастаниях, ожидается увеличение продуктивности лесов. Продвижение лиственных деревьев в исконно нелесные земли географического и высотного экотонов, наблюдаемое в настоящее время, будет продолжаться, однако процесс этот очень медленный и приобретает заметное распространение на временных отрезках порядка столетий. Однако большая часть региона будет подвержена неблагоприятным воздействиям, таким как увеличивающаяся изменчивость климата, более частые и сильно выраженные климатические аномалии, усиливающийся водный стресс. Высоко вероятно, что эти климатические особенности приведут к существенному возрастанию природных нарушений – пожаров на всей территории региона и вспышек массового размножения насекомых в его центральной и южной частях. Нерегулируемое антропогенное воздействие будет усиливать неблагоприятные воздействия климатических изменений. В конечном счёте, это создает угрозу уничтожения и деградации лесов на больших территориях, северного остепнения и зелёного опустынивания.

Потребуется переход к устойчивому управлению лесами Северо-Востока России, разработка специальных систем ведения лесного хозяйства, направленных на подготовку лесных ландшафтов к глобальным изменениям и смягчению их неблагоприятных последствий. Эти системы должны быть районированы в зависимости от специфики отдельных частей этого обширного региона и климатических изменений в них. Основой таких систем является необходимость перехода к парадигме устойчивого управления лесами на обширных территориях Северо-Востока России. Поддержание и усиление биосферных функций лесов, в частности, углероддепонирующей, а также средообразующей и ландшафтноохранной функций, являются основной предпосылкой перехода к устойчивому управлению как лесами, так и ландшафтами в целом в данном регионе.

## *Summary*

Major elements of global change in the study's region include climatic change, environmental changes (basically increase of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, industrial air pollution and water contamination), as well as increasing anthropogenic pressure on natural landscapes. This Chapter analyzes climatic change in the region during several last decades and presents a forecast for 2020 and 2050. The latter is done by using one of widely recognized GCM (HADCM3). According to this forecast, significant warming is expected in Northern-East of Russia. The increase of precipitation is also expected. However, the increase of precipitation across the continental territories of the region will not be enough to compensate the increase of temperature. It means that the increase of climate aridity is expected, particularly during the growth period. Very likely, thawing of permafrost will also impact the hydrological regime on large territories in a mostly negative way and will accelerate the processes of aridization. Substantial increase of thermoerosion and physical destruction of landscapes are expected too.

The future trajectories of dynamics of larch forests under climate change are estimated based on a classification of these in coordinates of heat and humidity. Distribution of forests by elements of relief also plays a substantial role. Most favorable conditions for growth of larch forests are expected in best (under current climate) sites. The substantial increase of productivity of forests is expected here. Shift of forests in non forest territories that is already observed will continue. However, this process is very slow and may occupy substantial areas over very long periods of time that is measured by centuries.

Major part of the region will be exposed to negative impacts connected to increasing climate variability, more frequent and severe climatic anomalies, increasing water stress. Very likely, these climatic peculiarities will cause a dramatic increase of natural disturbances – wild fire over the entire area of the region and insects' outbreaks in its central and southern parts. Unregulated anthropogenic impacts will accelerate the unfavorable consequences of climatic change. Eventually, all this together generates a threat of impoverishment and degradation of forests over vast territories including the processes of northern steppization and green desertification.

The forests of Northern-Eastern Russia require development of special systems of forest management. The systems should be regionalized taking into account the specifics of individual parts of this vast region, as well as the specifics of global change within those. The overall background of such systems should be based on philosophy, criteria and indicators of the paradigm of sustainable forest management. These systems should be oriented to a special prep-

aration of forest landscapes of the region to global change that would allow to mitigate the negative consequences of global change. Maintenance and increase of biospheric services of forests (particularly, carbon sequestering), as well as the services of protection of environment and natural landscapes as a whole, generate the overall prerequisite of transition to sustainable forest management in the region.

## 5. УГЛЕРОДНЫЙ БЮДЖЕТ ЭКОСИСТЕМ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Биосферная функция является одной из важнейших для лесных экосистем района исследования. Она проявляется во влиянии лесов на основные биогеохимические циклы (БГХЦ) – углеродный, азотный, гидрологический. Углеродный цикл является информационной и методологической основой оценки биосферной роли лесов. Лиственничные экосистемы Северо-Востока являются, по-видимому, наименее исследованными в этом отношении среди всех лесов России.

Углерод, содержащийся в различных компонентах углеродного цикла (атмосфера, океан, растительность, почва и пр.) принято называть углеродными резервуарами (carbon pools). Углерод, переходящий из одного резервуара в другой за некоторый период времени (обычно за год) определяют как поток (carbon flux). Увеличение запаса (stock) углерода в наземной экосистеме называют депонированием, а потоки углерода из экосистемы в атмосферу – эмиссией. Кроме того, рассматривают вынос углерода в гидросферу и литосферу, обычно определяемый как (боковой) транспорт (lateral transport). Разница входящих в резервуар и выходящих из него потоков углерода за определенный промежуток времени характеризует бюджет углерода.

### 5.1. Современное состояние вопроса

Многочисленные исследования последних десятилетий [Dixon et al., 1994; IPCC, 2001, 2007 и др.] свидетельствуют о значительной роли лесных экосистем в глобальном углеродном цикле. Атмосферный углерод находится в непрерывном круговороте: в результате фотосинтеза он усваивается растительностью, а при разложении органики или её сжигании – освобождается и поступает в атмосферу. Таким образом, наземной растительностью ежегодно поглощается около 55-60 Пг С ( $1 \text{ Пг} = 10^{15} \text{ г} = 1 \text{ млрд т}$ ) в виде чистой первичной продукции (ЧПП) и примерно столько же возвращается обратно в результате гетеротрофного дыхания и нарушений. Углерод, содержащийся в атмосфере, может практически полностью пройти через растительность в течение 10 лет. Океан имеет большой запас углерода (36000 Пг), но годичный обмен водной поверхности с атмосферой примерно равен наземному [Schneider, 1990].

В настоящее время мировая наука особое внимание уделяет как планетарному циклу углерода в целом, так и круговороту углерода в системе растительность-атмосфера, т.е. бюджету углерода растительных экосистем. Это связано с угрозой глобального потепления под влиянием парникового эффекта. Опубликованы работы по интегральному анализу проблемы [Уткин, 1995] и оценке таких статей бюджета, как запас орга-

нического углерода в растительности и почве [Вомперский и др., 1994; Углерод..., 1994; Rozhkov et al., 1996], его эмиссия в атмосферу и обратное депонирование (сток) за счёт фотосинтеза [Исаев и др., 1993; Макаревский, 1991; Shvidenko et al., 1995, 2003 и др.].

Наиболее существенные климатические изменения ожидаются в высоких широтах северного полушария, в частности, в зоне бореальных лесов, в которой сконцентрировано около четверти глобального запаса органического углерода почв и растительности [Forest area..., 2001]. В отличие от лесных экосистем тропических и субтропических зон, бореальные леса образованы небольшим числом видов деревьев и характеризуются замедленным биологическим круговоротом. В связи с этим, они могут депонировать углерод на длительных характеристических временах не только в фитомассе, но и в древесном детрите, гумусе и торфах, разложение которых замедлено. Специфической чертой бореальных лесов является длительный жизненный цикл основных лесообразующих пород (порядка 200-500 лет), что обеспечивает длительное пребывание запасенного углерода в экосистемах. Время нахождения углерода в различных резервуарах для лесов России сильно варьирует и оценивается для фитомассы – в пределах 1(20)-300(600) лет, лесной подстилки по трем слоям сверху вниз: 1-10, 6(10)-100, 5(100)-200(700); сухостоя – 10-100(250) лет; валежа – 100-300(500) лет; гумуса и торфа – от 1-3 до 10-12 тыс. лет [Исаев и др., 1995]. Фитомасса является одним из наиболее динамичных компонентов углеродного цикла.

В последние годы во всём мире наблюдается повышенный интерес к проблеме изменения климата и лесов. Большинство зарубежных авторов, работающих над проблемой оценки роли лесов в глобальном цикле углерода, проводили исследования в соответствии с требованиями национальных программ по инвентаризации стоков парниковых газов и с учётом особенностей лесного фонда этих стран. Среди наиболее значительных работ можно выделить исследование бюджета углерода лесов: Великобритании [Cannell, Dewar, 1990-1996], США [Post et al., 1982, 1990; Harmon et al., 1984, 1990; Turner et al., 1995, 1997; Houghton, 1995, 1996, 1998], Финляндии [Karjalainen et al., 1999], Канады [Kurz et al., 1992-1996], Европы [Kauppi et al., 1992; Nabuurs, Mohren, 1993, 1995; Nilsson, Schopfhauser, 1995], Германии [Burschel et al., 1993] и многие другие.

Глобальные оценки бюджета углерода лесных экосистем немногочисленны и достаточно неопределенны [Dixon et al., 1994; Houghton, 1995, 1996a, 1996b, 1998; FAO, 2001]. Согласованная точка зрения сводится к тому, что хотя у лесного хозяйства и существуют значительные резервы для поглощения углерода, в течение последних десятилетий леса планеты выступали скорее источником углерода. Это связано главным образом с обезлесиванием в тропиках, площадь которого в течение двух последних десятилетий оценивают свыше 10 миллионов га в год. Предполагается, что

глобальное потепление спровоцирует дополнительную эмиссию углерода в атмосферу в связи с усилением дыхания, гниения и пожарами.

Практически все исследователи рассматривают умеренные и бореальные леса в последние десятилетия как поглотитель углерода, хотя оценки достаточно разнообразны – 0,2 Пг С год<sup>-1</sup> для лесов умеренного пояса [Heath et al., 1993], 0,7 Пг С год<sup>-1</sup> для всех умеренных и бореальных лесов за последние 20 лет [Sedjo, 1992], 0,6-0,7 Пг С год<sup>-1</sup> для всех бореальных лесов и редколесий для начала 1990-х годов [Goodale et al., 2002].

Специалистами Лесной службы Канады был осуществлён масштабный проект по определению бюджета углерода в лесных экосистемах страны. Углеродный бюджет лесов страны был оценен на основе разработки национальной модели CFM-2 [Kurz et al., 1992; Kurz, Apps, 1993]. Основное внимание уделяется описанию «отклика» на климатические изменения в конкретных биомах [Apps et al., 1993; Cihlar et al., 1993; Price et al., 1993]. В моделях учитывают такие показатели, как режим нарушений, возрастная и сукцессионная динамика.

Несколько групп учёных выполнили основательные исследования по российским лесам [Алексеев, Бердси, 1994; Исаев и др. 1995, 1996; Shvidenko et al., 1994-2004]. Большая часть работ рассматривает важные отдельные вопросы проблемы. Одной из первых, комплексная оценка запасов углерода лесов и болот России была проведена Институтом леса им. В.Н. Сукачева СО РАН [Алексеев, Бердси, 1994, 1995]. Группа экспертов Международного института леса Российской академии естественных наук и Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН [Исаев и др., 1995, 1996; Уткин и др., 1988, 2001; Замолодчиков и др., 1998; Исаев, Коровин, 1999] в целом для России рассмотрели экологические аспекты накопления углерода лесными насаждениями РФ и дали их численную оценку. Долгосрочная программа по изучению российских лесов и их вклада в углеродный баланс проводится в Международном институте прикладного системного анализа (IIASA) в Австрии совместно с рядом российских институтов – Почвенным институтом им. В.В. Докучаева, Московским Государственным университетом леса, Дальневосточным научно-исследовательским институтом лесного хозяйства, Институтом леса СО РАН, рядом других [Nilsson et al., 2000; Shvidenko et al., 1994, 2002; Швиденко и др., 2001, 2002, 2003; Shepashenko et al., 1998]. В отличие от других групп исследователей, IIASA рассматривает полный углеродный бюджет лесов наряду с рассмотрением всех растительных экосистем России.

Исследованиями фитомассы лесных насаждений занимается коллектив учёных во главе с В.А. Усольцевым. Ими собран огромный материал по фитомассе насаждений, который организован в виде банка данных о фитомассе лесов бореальной зоны Северной Евразии [Усольцев, 1998, 2001, 2002], на основе которого разработаны системы регрессионных уравнений

зависимости фракций фитомассы от дендрометрических показателей древостоев в статике и динамике.

Оценке роли российских лесов в глобальных процессах посвящены работы М.Л. Гитарского и др. [2002], Б.Н. Моисеева и др. [2002, 2004], А.Н. Филипчука и др. [2003], В.В. Страхова и др. [2004] и других.

Работы перечисленных и некоторых других исследователей определяют современное состояние изученности углеродного цикла лесов России. Коротко, основные методические, модельные и оценочные результаты сводятся к следующему.

Конечным целям Рамочной Конвенции ООН по климатическим изменениям и Киотского протокола соответствует только учёт полного углеродного бюджета [Shvidenko et al., 2003]. Полнота анализа – понятие многомерное. Должны учитываться все резервуары (в растительности, почве, продукции и потреблении растительных продуктов и т.д.) и потоки углерода между основными компонентами биосферы – наземной биотой, атмосферой, гидросферой, литосферой, а также обеспечена полнота рассмотрения на экосистемном и процессном уровнях. Как идеальный случай, углеродный бюджет лесов целесообразно рассматривать в общей системе взаимодействия наземной биоты с другими основными биогеохимическими циклами [Nilsson et al., 2000]. Опыт системного анализа проблемы показывает, что современные подходы позволяют обеспечить полноту на уровне 97-98 % осознанных резервуаров и процессов.

Полный углеродный бюджет (ПУБ) имеет две равнозначные цели: численная оценка резервуаров и/или потоков углерода и оценка неопределенности результатов. В связи с вступлением в силу Киотского протокола, были высказаны предложения о необходимости перехода к верифицированному ПУБ, т.е. к методологии, которая позволяет получить результаты с заданной точностью и представлять направляющую информацию о том, каким образом (в случае такой необходимости) точность результата может быть улучшена. Это ставит достаточно строгие системные требования к методологии и информационному обеспечению ПУБ. ПУБ является типичной нечеткой, или недостаточно организованной (fuzzy) системой. Мы употребляем этот термин в его современном математическом смысле, т.е. принимая, что функция принадлежности элементов или модулей к системе является стохастической. Из этого факта следует, строго говоря, что ни один подход, метод или модель ПУБ, рассматриваемые изолированно, не представляют необходимой и достаточной информации для формально исчерпывающей оценки неопределенности: требуется системная интеграция различных методов и подходов [Shvidenko et al., 1994, 2004]. В целом, исчерпывающее следование принципам системного анализа представляется обязательным, если ставится задача надёжной оценки неопределенностей. Методически это предопределяет необходимость использования однозначных определений и классификационных схем, строгую структуризацию

задачи во всех аспектах – объектном, процессном, временном, пространственном и т.д., представление всей системы оценивания в виде явных алгоритмов, включая формулировку гипотез и предпосылок, разработки систем оценивания неопределенностей, которые учитывали бы нечеткий характер проблемы, и ряд других.

Ландшафтно-экосистемный подход рассматривается как наиболее приемлемый методологический базис ПУБ. Этот подход постулирует, что экосистема на разных уровнях пространственного обобщения является основным объектом информационного обеспечения, моделирования и оценки. Влияние свойств индивидуальных ландшафтов учитывается при оценивании внутри- и межландшафтных потоков вещества и энергии. Этот подход целесообразно реализовать путем рационального сочетания двух основных модельных форм ПУБ – 1) базирующейся на оценке потоков углерода и 2) оценивающей динамику резервуаров.

Запасы углерода и темпы его депонирования в лесных экосистемах зависят от продуктивности лесов, их состояния, породного состава и возрастной структуры, а также режима ведения хозяйства и, особенно, интенсивности природных и антропогенных нарушений. Особое значение имеют эмиссии вследствие пожаров и вспышек размножения насекомых и болезней. Для всех лесов России указанные эмиссии в средние по пожарной опасности годы оцениваются в 50-100 Тг С год<sup>-1</sup>, а в экстремальные – могут превышать 150-200 Тг [Софронов и др., 1998, 2000; Shvidenko, Nilsson, 2000; Исаев, Коровин, 1999; Kajii et al., 2003].

В условиях России, с её огромным лесным фондом и разнообразным составом лесов динамику фитомассы целесообразно оценивать, базируясь на материалах государственного учёта лесного фонда [Алексеев, Бердси, 1994; Уткин и др., 1999]. Однако это требует внимательного анализа особенностей исходной информации, которой могут быть присущи значительные систематические ошибки [Shvidenko, Nilsson, 2002]. Отсутствие единого подхода к проблеме, а в некоторых случаях использование недостаточной информации и упрощённых методик привело к значительному разбросу опубликованных результатов, как по величине основных резервуаров, так и потоков. Однако оценки последних лет, которые основываются на более углубленном анализе проблемы дают достаточно совпадающие результаты – 32-34 Пг С [Исаев, Коровин 1999; Shvidenko, Nilsson, 2002]. Несколько ниже оценка Алексеева и Бердси – 28 Пг С. Другие оценки – 69,5 [Turner et al., 1998]; 42,1 [Krankina et al., 1996]; 47,1 [Krankina, Dixon, 1994]; 46,0 [Apps et al., 1993]; 46,3 и 51,5 Пг С, в зависимости от метода [Kolchugina et al., 1993] – относятся к первому периоду оценивания запаса фитомассы в масштабе страны и, как правило, базировались на несовершенных методах, недостаточной или вторичной информации и содержали ряд ошибочных методических решений.



Роль лесных экосистем в углеродном балансе может быть существенно различна: в зависимости от многих причин экосистемы могут обеспечивать как поглощение (сток) углерода, так и выброс его в атмосферу [Woodwell et al., 1968; Кобак, 1988].

Т.Р. Kolchugina, Т.С. Vinson [1993a, 1993b, 1995] одними из первых дали общую характеристику бюджета углерода лесов вышедшего СССР. Чистая первичная продукция была оценена в 6 Пг С год<sup>-1</sup>. Запас углерода в растительности (фитомасса растений и древесный детрит) составил 118 Пг, почв – 404 Пг С (что составляет 16 % глобальных запасов), а размер годичного депонирования оценивался величиной 492 млн т С год<sup>-1</sup>. Эти данные вошли в итоговые издания IPCC. Позже было показано, что эти оценки значительно завышают реальную картину, поскольку базировались в основном на данных Н.И. Базилевич [1993], которые относятся к *потенциальному*, а не реально существующему растительному покрову.

Результаты последнего десятилетия более сопоставимы. По одной из оценок, размеры годичного депонирования углерода лесными насаждениями составляют 240 млн т С год<sup>-1</sup>, из которых 93 % приходится на покрытые лесом земли [Исаев и др., 1995]. Эта оценка базируется на несовершенной методике и включает только изменение запасов углерода в фитомассе в 1990-х годах. Оценки Международного института прикладного системного анализа (IIASA), относящиеся к этому периоду, значительно ниже. В исследованиях IIASA сделана попытка оценить ПУБ за весь период существования данных государственного учёта лесного фонда для всей страны, начиная с 1961 года. Было показано, что в среднем за этот период покрытые лесом земли России обеспечивали депонирование углерода в размере 433 Тг С год<sup>-1</sup>, из которых 153 Тг С год<sup>-1</sup> – в фитомассе, 57 Тг С год<sup>-1</sup> в древесном детрите и 223 Тг С год<sup>-1</sup> – в почве [Shvidenko, Nilsson, 2002]. Значительная часть этого поглощения объясняется изменениями в лесном фонде – за 1961-1998 годы площадь покрытых лесом земель страны увеличилась на 78,7 миллионов га. Если эффект изменения землепользования исключить, то депонирование углерода оценивалось на уровне 270 Тг С год<sup>-1</sup>. Однако межгодовая изменчивость очень высока – от 150 до свыше 500 Тг С год<sup>-1</sup>.

Рассмотренные выше результаты получены в основном «бухгалтерским» методами, на основе различного рода лесоинвентаризационных данных, главным образом ежегодного прироста древесины, изменения фитомассы крон, корней, величин опада и отпада. Изменения запасов лесной подстилки и органического вещества почвы рассматривалась в единичных работах.

Для оценки углеродного бюджета существуют многочисленные сложные модели различного уровня, которые рассматривают базовые процессы (фотосинтез, затраты энергии на автотрофное дыхание и пр.), учитывают влияние погодных особенностей на величины ЧПП и

гетеротрофного дыхания (ГД) и т.д. Обычно это входит составными частями в динамические глобальные модели растительности (DGVM). При всей теоретической привлекательности и познавательной ценности DGVM, на региональном уровне они существенно завышают основные показатели биопродукционного процесса, поскольку описывают потенциальный растительный покров и практически не включают нарушения. В настоящее время разрабатывается новое поколение DGVM, где названные недостатки устраняются.

Известен ряд модельных подходов, рассматривающих структуру продуктов, получаемых при пользовании лесом, и время «жизни» углерода в этих продуктах. Более продвинутые модели учитывают расход топлива в процессе заготовки и переработки древесины в различные продукты, затраты энергии (и соответствующие эмиссии) на лесохозяйственные работы.

## 5.2. Основные принципы подхода

ПУБ включает рассмотрение всех резервуаров и потоков углерода для рассматриваемого объекта (изменение стволовой древесины, кроны, корней, опад и отпад, процессы в лесной подстилке и органическом веществе почвы). Учёт «антропогенной составляющей» (лесозаготовки, переработка древесины главного и промежуточного пользования леса, затраты энергии на лесное хозяйство и т.д.) производится в соответствии со значением этих процессов для рассматриваемого района.

Для лиственных лесов района исследования мы попытались рассчитать полный углеродный бюджет в его двух основных формах – базируясь на динамике основных резервуаров углерода

$$[dC/dt] = \Delta C = \Delta Ph + \Delta D + \Delta SOC, \quad (5.1)$$

где  $\Delta Ph$ ,  $\Delta D$  и  $\Delta SOC$  обозначают ежегодные изменения запасов  $C$  в фитомассе, мёртвом растительном веществе и почвах, и путем оценки потоков между лесными экосистемами и атмосферой, литосферой и гидросферой.

$$NBP = NPP - HR - D - L, \quad (5.2)$$

где  $NBP$  и  $NPP$  – чистая биомная и чистая первичная продукция, соответственно,  $HR$  – гетеротрофное дыхание экосистем (почвы и вследствие разложения валежа и сухостоя),  $D$  – поток, обусловленный нарушениями, и  $L$  – углерод, выносимый в гидросферу и литосферу. Чистая биомная продукция понимается как изменение количества органического углерода в экосистемах, обобщённая на значительные территории и на относительно продолжительный период времени – не менее года [Schulze et al., 1998, 1999; Schimel et al., 2001].

Гетеротрофное дыхание является одним из основных компонентов углеродного бюджета. Данные по измерению почвенного дыхания для

района исследования фрагментарны и в основном относятся к ограниченным по времени промежуткам летнего периода. Луговые черноземовидные почвы Северо-Востока России изучали Т.Н. Волотковская и Г.Н. Савинов [1988], глеево-торфяные тундровые – Д.Г. Федоров-Давидов и Д.А. Галичинский [1993]. Они же проводили измерения на тундровых подбурах. S.A. Zimov et al. [1993] и D.G. Zamolodchikov et al. [2001] измеряли почвенное дыхание в различных экосистемах на поверхностно оглеенных криозёмах. Недостаток измерений в регионе исследований предопределил необходимость использования данных, полученных в других районах со сходными климатическими условиями и почвами. В наших оценках гетеротрофного дыхания мы существенно использовали эмпирические модели и базу данных, разработанную И. Кургановой [Kurganova, 2003]. Оценка потоков, обусловленных разложением древесного детрита, произведена с использованием простой экспоненциальной модели [Shvidenko, Nilsson 2002].

Из нарушений наибольшее влияние на углеродный бюджет в районе оказывают пожары. Для оценки влияния нарушений мы использовали модельный подход, развиваемый IIASA [Shvidenko, Nilsson 2000]. Мы опишем его кратко на примере оценки пожарных эмиссий. Общий поток углерода  $TCF_{\rho,t1}$  в течение года  $t_1$ , обусловленный пожарами, вычисляется как:

$$TCF_{\rho,t1} = DF_{\rho,t1} + PDF_{\rho,t < t1}. \quad (5.3)$$

где  $DF_{\rho,t1}$  обозначает прямые пожарные эмиссии в год пожара  $t_1$ , и  $PDF_{\rho,t < t1}$  – послепожарный поток, обусловленный пожарами, которые произошли в течение некоторого предыдущего периода  $t < t_1$ . Прямой поток определяется как:

$$DF(t') = \sum_{ilkq} [C_{ilkq} \cdot S_{ilkq} \cdot (FC)_{ilkq}]_{t1} \gamma, \quad (5.4)$$

где  $C_{ilkq}$  – доля лесных горючих материалов (ЛГМ), сгоревших в течение пожара,  $S_{ilkq}$  – площадь пожара,  $(FC)_{ilkq}$  – запас лесных горючих материалов ( $t \cdot \text{га}^{-1}$ , сухое вещество), и  $\gamma$  – коэффициент для пересчета массы сухого вещества в углерод (мы использовали 0,5 для древесных ЛГМ и 0,45 для остальных фракций [Вонский, 1957; Филиппов, 1968; Телицин, 1973]. Индексы (уравнение 5.4) обозначают:  $i$  – территориальная единица, для которой проводятся вычисления;  $l$  – классы земельного покрова (категории земель лесного фонда);  $k$  – тип лесного пожара; и  $q$  – тип ЛГМ.

Послепожарный поток обусловлен разложением недогоревших ЛГМ и послепожарного отпада, а также изменениями в структуре и количестве органического вещества почвы. Пусть  $O_{ij}(t)$  есть функция, описывающая количество мёртвого органического вещества, поступающего в резервуар разложения  $j$  в год  $t$ , и  $O_{ij}(t^*)$  обозначает значение этой функции в год  $t^*$ .

Используя простую экспоненту в качестве модели, процесс разложения вещества в резервуаре  $j$  описывается как:

$$G_{ij}(t^*, \tau) = O_{ij}(t^*) \exp(-\alpha_{ij}\tau), \quad (5.5)$$

где  $G_{ij}(t^*, \tau)$  – масса неразложившейся органики в течение периода  $\tau$ ,  $\alpha_{ij}$  – постоянная процесса разложения и  $\tau$  – количество лет между годом пожара и годом оценки  $PDF$ , т.е.  $\tau^* = t^* - t_1$ . Как следует из уравнения (5.5), период, необходимый для разложения 95 % органического вещества  $T_{0,95}$  зависит только от  $\alpha_{ij}$ ,  $T_{0,95} = \ln 20 / \alpha_{ij}$ . Отсюда, послепожарный поток в атмосферу в течение года  $t_1$ , обусловленный пожарами предыдущих лет, оценивается как:

$$(PDF)_{ij}(t_1) = 1.05\chi \left[ \exp(\alpha_{ij}) - 1 \right] \cdot \sum_{\tau=0}^{\phi+1} O_{ij}(t - \tau) \cdot \exp(-\alpha_{ij}\tau) + \delta SOC, \quad (5.6)$$

где  $\chi$ ,  $0 < \chi < 1$ , обозначает долю углерода, поступающего вследствие пожара в атмосферу,  $\phi = \text{int}[T_{0,95}]$  (целая часть числа  $T_{0,95}$ ), и  $\delta SOC$  – послепожарное изменение почвенного гетеротрофного дыхания в течение года  $t_1$ .

Региональные данные для параметризации (5.1-5.6) скудны и часто недостаточны. Значение  $\chi$  принято 0,86, базируясь на доступных измерениях и обобщениях: от 0,82 для канадских лесов [Kurz et al., 1992] до 0,75-0,92 [Chagina, 1970; Vedrova, 1995] в зоне южной тайги Центральной Сибири. Для оценки послепожарных потоков требуется рассмотрение достаточно длительного периода, который для района исследования достигает 200 лет. В рамках оценки динамики резервуаров, изменение почвенного органического углерода определялось как  $(\Delta SOC)_{ijt1} = 1,05(1 - \chi)(PDF - \delta SOC)_{ijt1} + C_{sch,t}$ , где первая компонента представляет изменение почвенного углерода, обусловленное разложением послепожарного отпада и вторая компонента описывает часть органики, запасаемой в виде древесного угля (элементарного углерода).

Неохраняемая от пожаров территория на севере Якутии и Магаданской области составляет 279 млн га. Учёт пожаров на данной территории официально не производится. Судить о горимости этой территории можно только по спутниковым данным. Мы использовали данные Красноярского центра мониторинга лесных пожаров за 1996-2003 годы, доступные из публикаций и интернета [<http://www.fire.uni-freiburg.de/>], а также средние частоты пожаров в лиственных экосистемах региона.

Спутниковые данные дают только общую оценку территорий пройденных пожаром. Распределение площадей по видам пожаров, запасы горючих материалов и сгораемая их доля даны на основании доступных публикаций [Телицын, 1988; Шешуков и др., 1992; Матвеев, 1992].

Описанный подход не включает рассмотрение связывание углерода вследствие лесовозобновительного процесса. Эта часть ПУБ учитывается в процессе оценки ЧПП. Послепожарное восстановление растительности длится в зоне бореальных лесов десятки лет.

Переход от абсолютно сухой массы древесины к углероду осуществлялся через коэффициент 0,5, который принимается большинством исследователей и рекомендован IPCC [IPCC, 2001]. Для зелёных частей этот коэффициент составляет 0,45. Коэффициент перехода от гумуса почвы к углероду принят равным 0,579 [Аринушкина, 1970; Газизуллин и др., 1991].

Содержание углерода принято для верхового торфа в среднем 56 %, а для низинного – 58 % [Лиштван и др., 1989]. Среднее содержание углерода в лесной подстилке для слоя O1 оценивается в 56 %, в слое O2 – 48 %, в слое O3 – 38 % [Лебедева, Золотухина, 1989].

### **5.3. Динамика лиственничных лесов региона за период с 1993 по 2003 годы**

Государственный учёт лесного фонда является единственным источником данных, позволяющим оценить динамику лесов Северо-Востока. Хотя данные по лесам Северо-Востока существуют с момента завершения первой полной инвентаризации лесов страны (представлены в ГУЛФ – 1961), в определяющей мере они базировались на данных аэротаксации и, по-видимому, существенно завышали запасы древостоев [Shvidenko, Nilsson, 2002]. Точность этих данных значительно менялась по мере расширения использования дистанционных методов на территории Республики Саха и Магаданской области в 1960-1990-х гг., что вело к существенному изменению оценок. Так, средний запас древостоев в Республике Саха, согласно данным ГУЛФ, уменьшился за этот период с 95 до 70 м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>, а в Магаданской области с 65 до 38 м<sup>3</sup>·га<sup>-1</sup>, что, по-видимому, не может быть объяснено реальной динамикой лесного фонда. Для целей оценки динамики основных компонентов ПУБ целесообразно выбрать период, в течение которого систематические ошибки сводных данных (в первую очередь по запасу) существенно бы не менялись. Для нашего анализа мы выбрали период 1993-2003, поскольку

- в течение этого времени методы и технологии учёта практически не менялись, что позволяет оценить их надёжность как примерно равную в ГУЛФ 1993 и 2003;
- доступность для анализа баз данных ГУЛФ по лесным предприятиям Северо-Востока за этот период, что позволяло оценить динамику фитомассы с надлежащей полнотой.

Как следует из табл. 5.1, в течение 1993-2003 гг. наблюдалась медленное, но отчетливое снижение площади лесов района в целом и листвен-

ничников в частности, как основной лесной формации. Так, общая площадь покрытых лесом земель уменьшилась за этот период на 1,1 % и общий запас на 3,2 %, и тенденция эта отмечена для всех административных районов. Уменьшение площадей лиственничников более значительно и составило 5,2 %. Примерно на такую же величину уменьшился и запас (на 5,0 %). Объяснение этому явлению мы находим как в ужесточении пожарных режимов, наблюдаемых в связи с изменением климата в районе исследования, так и в снижении уровня охраны и защиты лесов по сравнению с предыдущими годами. Эта тенденция ведет к отрицательной динамике фитомассы лиственничных экосистем региона.

Динамика площадей и запасов лиственничных лесов региона, а также некоторых таксационных показателей приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Динамика лиственничников на покрытых лесом землях, находящихся в ведении органов лесного хозяйства

Показатель	Год	Характеристика лиственничников по административным единицам				Итого
		Корякский АО	Чукотский АО	Магаданская обл.	Республика Саха	
Площадь, тыс. га	1993	448,4	1776,6	7579,6	115023,4	124827,9
	2003	417,6	1652,4	6810,2	109407,9	118288,0
Запас, млн м <sup>3</sup>	1993	19,84	50,48	288,08	7788,33	8146,72
	2003	18,47	44,97	283,24	7396,57	7743,25
Средняя полнота	1993	0,42	0,44	0,45	0,51	0,50
	2003	0,41	0,44	0,44	0,52	0,51
Средний бонитет	1993	V,74	Va,15	Va,10	V,28	V,35
	2003	V,74	Va,15	Va,06	V,24	V,30

Площадь лесов с преобладанием лиственницы уменьшилась за 10 лет на 6,5 млн га. Запас лесов также уменьшился – на 400 млн м<sup>3</sup>. Указанное снижение площади и запасов происходило в основном на фоне некоторого улучшения лесного фонда, так как за 10 лет средняя полнота возросла на одну сотую, а бонитет на 5 сотых.

#### 5.4. Динамика фитомассы

Запасы фитомассы лиственничников района исследования были оценены на основе разработанных моделей и данных ГУЛФ 1993 и 2003 по каждому лесхозу региона исследования для лесов, управляемых органами лесного хозяйства (покрытые лесом земли этой категории составили в 2003 году 99,9 % всех лесов региона). В табл. 5.2 приведены данные по динамике фитомассы лиственничников региона.

Таблица 5.2.

Динамика структуры фитомассы лиственных деревьев на покрытых лесом землях, находящихся в ведении органов лесного хозяйства

Показатель	Год	Корякский АО	Чукотский АО	Магаданская обл.	Республика Саха	Итого
Фитомасса ствола, млн тонн	1993	10,8	27,3	155,4	4145,5	4339,0
	2003	10,0	24,3	152,9	3931,5	4118,7
в т.ч. кора, млн тонн	1993	2,1	5,4	30,5	769,5	807,5
	2003	1,9	4,8	29,8	728,6	765,1
Фитомасса ветвей, млн тонн	1993	1,7	4,6	26,5	628,2	661,0
	2003	1,6	4,1	25,4	593,2	624,3
Фитомасса хвои, млн тонн	1993	0,3	0,9	5,3	132,1	138,6
	2003	0,3	0,8	5,1	125,7	131,9
Фитомасса корней, млн тонн	1993	5,6	14,7	82,4	1932,9	2035,6
	2003	5,2	13,2	80,8	1818,3	1917,5
Фитомасса подроста и подлеска, млн тонн	1993	1,0	2,8	13,0	193,7	210,5
	2003	0,9	2,7	12,2	175,8	191,6
Фитомасса живого напочвенного покрова, млн тонн	1993	2,7	10,5	44,5	541,1	598,8
	2003	2,5	9,8	40,6	501,6	554,5
Общая фитомасса, млн тонн	1993	22,1	60,8	327,1	7572,9	7983,0
	2003	20,6	54,9	317,3	7145,8	7538,6
Углерод фитомассы, млн тонн	1999	10,9	29,7	160,4	3743,1	3944,1
	2003	10,1	26,8	155,7	3532,8	3725,4
Плотность углерода, кг м <sup>-2</sup>	1999	2,42	1,67	2,12	3,25	3,16
	2003	2,42	1,62	2,29	3,23	3,15
Отношение массы углерода к запасу стволовой древесины, т м <sup>-3</sup>	1993	0,548	0,588	0,557	0,481	0,484
	2003	0,548	0,596	0,550	0,478	0,481

Как следует из табл. 5.2, общий запас фитомассы (сухое вещество) составил в 2003 году 7539 миллионов тонн или 3725 Тг углерода. Это составляет 3,15 кг С м<sup>-2</sup> (или 72% к средней величине для всех российских лесов). Древесина лиственницы тяжелее других основных лесобразующих пород России, поэтому отношение фитомассы к наличному запасу составило 0,421 т С м<sup>-3</sup> (или на 15% выше, чем соответствующее среднее для страны в целом). Специфична и структура фитомассы по сравнению с другими породами и лесорастительными зонами: в фитомассе лиственных деревьев несколько ниже доля стволовой древесины и древесины кроны (соответственно 54,6 и 8,3 %) и повышена доля фитомассы корней (25,4 % от общей фитомассы экосистем или 46,6 % фитомассы стволовой древесины) и живого напочвенного покрова (7,4 %). Фитомасса хвои составляет 1,75 % от общей, что примерно соответствует зональным результатам измерений для этой породы.

Все вычисления были повторены для 1993 года, используя данные ГУЛФ 1993 (табл. 5.2). Средние величины (плотность фитомассы на единицу площади и отношение фитомассы к запасу) изменились незначительно, хотя некоторая тенденция детериорации лиственничников наблюдается: плотность углерода растительности несколько увеличилась только в Магаданской области. Мало изменилась и фракционная структура фитомассы. Общий запас фитомассы уменьшился за 10 лет на 219 Тг С (-5,5 %). Причина этого – в уменьшении общей площади покрытых лесом земель примерно на эту же величину (-5,2 %). Это уменьшение, очевидно, является следствием повышенной горимости лесных земель района в течение последнего десятилетия.

### **5.5. Чистая первичная продукция лиственничных экосистем и её динамика в 1993-2003 годах**

Оценка ЧПП лиственничных экосистем района исследования проведена с использованием метода и моделей биологической продуктивности, описанных в разделе 3.3. Результаты для 1993 и 2003 гг. (на 1.01 каждого года) представлены в табл. 5.3.

Данные табл. 5.3 представляют, насколько нам известно, первую оценку ЧПП лиственничников Северо-Востока России. В среднем для района, ЧПП лиственничных экосистем оценена (на основе данных учёта лесов в 2003 году) в  $246 \text{ г С м}^{-2}$  с колебаниями от  $187 \text{ г С м}^{-2}$  (Магаданская область) до  $250 \text{ г С м}^{-2}$  (Республика Саха). Это заметно выше, чем прежние (средние для страны) оценки ЧПП для зон лесотундры, северной и редкостойной тайги, оцененные в  $179 \text{ г С м}^{-2}$  [Швиденко и др. 2001], и примерно соответствует среднему значению для субарктических и бореальных лесов Канады, для которых оценки составляют, соответственно, в  $152$  и  $300 \text{ г С м}^{-2}$  [Li et al., 2003]. Заметим, что предыдущая оценка [Kurz et al., 1996] была выше – соответственно  $228$  и  $376 \text{ г С м}^{-2}$ .

Структура ЧПП отражает специфику северных лиственничных лесов. Доля надземной древесины в общей ЧПП мала и составляет всего 14,8 % (из них 11,1 % в стволовой древесине). Примерно равный вклад обеспечивает хвоя (28,0 %) и корни (31,4 %, в основном за счет тонких корней). Высока доля живого напочвенного покрова (20,1 %). Территориальная изменчивость структуры ЧПП (по административным районам) в основном определяется различиями в типологической структуре и таксационной характеристике лесов. В частности, ЧПП живого напочвенного покрова больше в районах с большим влиянием приморского климата (например, 29,3 % в Чукотском АО против 19,7 % в Республике Саха); более продуктивные леса имеют большую долю ЧПП надземной древесины.



Таблица 5.3

Динамика чистой первичной продукции лиственничников на покрытых лесом землях, находящихся в ведении органов лесного хозяйства

Фракции фитомассы	Год	Чистая первичная продукция лиственничников по административным единицам, тыс. тонн С				Итого
		Корякский АО	Чукотский АО	Магаданская обл.	Республика Саха	
Стволовая древесина	1993	79,5	333,4	1218,0	29397,7	31028,6
	2003	76,8	307,6	1184,6	30639,4	32208,4
Ветви	1993	21,6	110,5	416,9	10132,2	10681,2
	2003	20,7	103,0	391,2	10120,1	10635,0
Хвоя	1993	229,8	685,1	2861,4	80939,9	84716,2
	2003	215,1	632,8	2769,3	77599,8	81217,0
Корни	1993	281,6	924,0	3700,8	90882,3	95788,7
	2003	263,1	854,0	3511,9	86592,4	91221,4
Подрост и подлесок	1993	76,5	346,2	1436,0	16392,3	18251,0
	2003	69,3	321,8	1307,5	14863,3	16561,9
Живой напочвенный покров	1993	251,8	990,6	3908,8	58131,8	63283,0
	2003	232,3	920,9	3567,0	53907,0	58627,2
Общая продукция	1993	940,8	3389,8	13541,9	285876,2	303748,7
	2003	877,3	3140,1	12731,5	273722,0	290470,9
Плотность ЧПП, кг м <sup>-2</sup>	1999	0,210	0,191	0,179	0,249	0,243
	2003	0,210	0,190	0,187	0,250	0,246
Отношение ЧПП к запасу стволовой древесины, кг м <sup>-3</sup>	1993	0,0474	0,0672	0,0470	0,0367	0,0373
	2003	0,0475	0,0698	0,0450	0,0370	0,0375

За десятилетие 1993-2003 гг. структура ЧПП изменилась мало. Общая ЧПП лиственничных экосистем уменьшилась на 13,3 Тг С, или на 4,4 %, что хорошо коррелирует с уменьшением площадей лиственничников. Вместе с тем наблюдается слабая тенденция некоторого повышения средней плотности ЧПП – с 243 до 246 г С м<sup>-2</sup>, хотя разница в оценках находится в пределах точности.

## 5.6. Углерод почвы

### 5.6.1. Обзор основных работ, посвященных углероду почв

Почвенный покров является крупнейшим резервуаром углерода наземных экосистем. Благодаря своему положению «на границе» атмосферы, литосферы и биосферы, почвы представляют собой место пересечения большого геологического и малого биологического круговоротов веществ, осуществляя связь между ними. Почвы выступают и как результат взаимодействия биоты с поверхностными горными породами, и как фактор её сохранения и дальнейшей эволюции. В почвах происходит трансформация отмирающей биомассы и возврат поглощённой в ходе фотосинтеза углекислоты в атмосферу. Проблемой остаётся определение структуры запасов углерода в почве, соотношение стабильных и лабильных фракций органического углерода. Часть углерода растительных остатков окисляется в почве до углекислого газа и переходит в газообразную форму, другая переводится в относительно стабильный фонд гумусовых веществ, некоторое количество переходит в литифицированные осадки, участвующие в длительном геологическом круговороте. В почве происходит трансформация как органических соединений углерода (гумификация и минерализация), так и неорганического углерода, заключённого в литогенных карбонатных минералах. Гумификации подвергается 5-10 % годового опада и отпада [Базилевич, 1993б; Чагина, 1970], остальная часть в виде  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  возвращается в атмосферу или выносится с водой. Некоторое количество минерального углерода в виде ионов попадает в почву с атмосферными осадками.

Часть исследователей приходит к выводу, что в настоящее время почвы холодных областей являются скорее источником, чем поглотителем углерода, хотя экосистемы в целом могут функционировать как поглотители [Kirchbaum, 1995; Zimov et al., 1993].

Запасы углерода в почвах Земли (1500 Пг, из них 455 Пг в торфах) примерно в три раза превышают его содержание в фитомассе (500-600 Пг) и в два раза – содержание углерода в атмосфере (700 Пг) [Post et al, 1990; Gorhman, 1991]. Существующая неопределённость связана с недостатком фактического материала, различными методами изучения, вариабельностью плотности почв, сложностью учёта каменности и корней [Charin et al., 1993].

По-видимому, первые глобальные оценки содержания органического углерода в педосфере планеты сделаны Н.И. Базилевич [Bazilevich, 1974] и М.М. Кононовой [1976], которые провели свои расчёты на основании среднего содержания гумуса в главных типах почв и географических закономерностях гумусообразования.

В работах Т.Р. Kolchugina, T.S. Vinson [1993]; К.И. Kobak, N. Kondrasheva [1993] предприняты попытки разделить углерод на группы по времени его нахождения в почве. Были выделены фракции «быстрого» углерода (подстилки – время фиксации 2 года), «лабильного» (время нахождения 480 лет) и «стабильного» (1350 лет). Было принято, что доля стабильного углерода составляет для всех почв – 40 % от общего содержания. К. Kobak и N. Kondrasheva [1993] также обнаружили нелинейную зависимость между запасами углерода в почвах, фитомассой и коэффициентом сухости.

В работах W.M. Post et al. [1982] и P.J. Zinke et al. [1984] запас органического углерода в метровом слое оценивается в 1309-1728 Пг в зависимости от метода расчёта. Ими был собран материал более чем по 3500 почвенным профилям, учитывался объёмный вес почвы и каменистость. Однако для подсчёта площадей они использовали не почвенную карту, а карту основных экосистем земного шара.

При изучении углеродного бюджета канадских лесов [Kurz et al., 1992] углерод почвы делят на «быстрый» (верхние 10 см подстилки) – с периодом полураспада 3-20 лет в зависимости от экоклиматической провинции, «умеренный» (нижняя часть подстилки) – 20-100 лет и «медленный» (гумусовые вещества почвы) – более 100 лет.

При подсчёте запасов углерода Почвенная служба Канады [Tarnocai, 1994] использовала компьютерную почвенную карту масштаба 1:1 000 000 и базу данных – около 105 тысяч определений органического углерода в почвах.

Д.С. Орловым и О.Н. Бирюковой [1993] рассчитаны запасы углерода органических соединений для метрового слоя главных типов почв и торфяников России. Содержание углерода в глее-мерзлотно-таёжных почвах они оценивают в  $37,2 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ . Эта оценка, однако, не учитывают запас углерода, аккумуляированного в лесной подстилке.

Детальные подсчёты содержания углерода в болотах России приведены в работе С.Э. Вомперского [1994]. По этой оценке общая площадь болот (мощность торфа более 30 см) и заболоченных земель составляет 369 млн га, а запас углерода в метровом слое оценен в 113,5 Пг. Болотные экосистемы России являются одним из важных резервуаров накопления углерода на планете.

Запасы углерода в метровом слое всех почв и торфяников России оценены Д.С. Орловым и О.Н. Бирюковой [1995] в 296 Пг. Ими, однако, не приводятся данные о запасах углерода в подстилках. Очень близкую оценку приводит V.S. Stolbovoi et al. [2004].

Почвенным институтом им. В.В. Докучаева создан комплекс электронных карт, отражающих запасы углерода в почвах России. Основой для этого комплекса послужила Почвенная карта СНГ масштаба 1:4 000 000 [Герасимова и др., 1995]. Итоговая карта содержит около 7000 контуров и

содержит информацию о запасах органического углерода в слое 0-20, 0-50 и 0-100 см; запас неорганического углерода в слое 0-100 см; мощность органо-генных горизонтов. Общее количество органического углерода в почвах России (метровый слой) оценено авторами в 342,1 Пг, из них 119,5 Пг аккумулировано в органо-генных горизонтах. Запас углерода карбонатов составляет около 25 % от общего углерода в почве. Доля углерода, аккумулированного в подстилках составляет в среднем около 35 %, однако в тундровой и таёжной зонах он достигает иногда 50 %. Оценка Почвенного института [Rozhkov et al., 1996] выше, чем некоторые другие [Stolbovoi et al., 2004], поскольку содержит пересчет на «абсолютное» содержание углерода. По данным Б.М. Когут и А.С. Фрид [Аналитическое..., 1993] перейти от данных, полученных по методу мокрого сжигания (Тюрина) к результатам по методу сухого сжигания можно, используя коэффициент  $1,28 \pm 0,19$  (в среднем для страны; цит. работа приводит коэффициенты по типам почв).

Запасы углерода в почвах мерзлотной зоны, по данным Почвенного института, приведены в табл. 5.4. Согласно этой оценке, средний запас органического углерода составляет  $190 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ , что примерно на 10 % ниже средней оценки для всех почв России. Оценки Desyatokin et al. [1994] для Республики Саха несколько ниже (табл. 5.5).

Таблица 5.4

Запасы углерода, аккумулированного в почвах мерзлотной зоны [Rozhkov et al., 1996]

Почвенная зона	Общая площадь, тыс. га	Запасы органического углерода по слоям, млн тонн				Запасы углерода карбонатов, Тг	Общие запасы углерода, Тг
		0-5	0-20	0-50	0-100	0-100	0-100
Таёжно-мерзлотные почвы	96268	3287,1	8661,3	13719,5	18217,6	17299,8	35517,4
Горные мерзлотно-таёжные и горно-тундровые	173170	5497,4	14576,3	25542,9	33080,5	8277,3	41357,8

В лесных почвах содержится около 34 % всего почвенного углерода на планете [Post et al., 1982]. Хотя оценки запасов углерода в лесных почвах России многочисленны, они достаточно противоречивы – от 74 [Алексеев, Бердси, 1994] до 200 Пг [Kolchugina, Vinston, 1993] для покрытых лесом земель. Столь высокий разброс оценок объясняется различиями в надёжности исходной информации, использованными методами (напри-

мер, исключением из рассмотрения торфяных почв, покрытых лесом) и различными подходами к определению метрового слоя почв.

Данные последних лет вполне сопоставимы. О.В.Честных с соавторами [1999] собрали базу данных по содержанию углерода в типичных почвенных профилях. Используя эту базу и информацию о землях лесного фонда из материалов государственного учёта лесов, они рассчитали запасы органического углерода в лесных почвах. В почвах земель лесного фонда России на площади 1110,5 млн га аккумулировано, по их данным, 172,4 Пг углерода ( $155,2 \text{ т С га}^{-1}$ ). Детальная ГИС оценка, выполненная ПАСА, на основе наложения почвенной карты и карты лесов (масштаб 1:2500000), составила для лесных земель 148,6 Пг, или  $168,5 \text{ т С га}^{-1}$  [Shvidenko, Nilsson, 2003]. По оценке В.А. Алексеева и Р.А. Бердси почвы лесного фонда России содержат 62,3 % С лесных экосистем.

Таблица 5.5

Запасы углерода в почвах Якутии [Desyatokin et al., 1994]

Тип почвы	Площадь ( $\times 10^6$ га)	Запасы углерода	
		$\text{т} \cdot \text{га}^{-1}$	Тг
Tundra gleysoils	14,43	163,5	2359,3
Tundra molly gleysoils	5,50	88,9	488,9
Inseptisoils	5,5	122,3	672,7
Tundra gelus-molly gleysoils	11,11	213,0	2364,3
Marches gleysoils	0,38	74,7	28,4
Всего тундровых почв	37,00		5913,6
Gleibrunisoils	–	85,0	–
Molly-glei brunisoils	–	136,5	–
Regosoils	–	46,4	–
Alfiregoils	–	14,3	–
Alfi-glei brunisoils	–	23,2	–
Brunisoils	–	151,7	–
Alfisoils	–	101,5	–
Zendi leptisoils	–	141,4	–
Cambisoils	–	107,8	–
Alfi-cambisoils	–	79,2	–
Cambisoils	–	141,1	–
Всего лесных	125,50	89,4	11219,7
Итого	162,50		17133,3

Изучая бюджет углерода лесов Финляндии, Т. Karjalainen et al. [1999] отмечает, что 79 % углерода лесных экосистем сосредоточено в почвах. По данным J. Liski, С. J. Westman [1995], запасы углерода в лесных почвах южной Финляндии для органогенных горизонтов и метрового минерального слоя составляют от 4,0 до 11,9  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ . В более глубоких слоях, до уровня грунтовых вод содержится 1,3-2,4  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ , что составляет 18-28 % от общего

запаса углерода почв. В лесах США на долю почв приходится около половины запасов углерода [Turner et al., 1997] и около 6 % на подстилку.

### 5.6.2. Запасы углерода в почвах лиственничников региона

Для оценки запасов углерода в почвах лиственничных экосистем региона исследования мы использовали почвенную карту и базу данных типичных профилей по типам почв. Результаты оценки приведены в табл. 5.6. За метровый слой почвы у минеральных почв принимали подстилку и 1 м слоя минеральной части почвы; для органогенных почв (для которых подстилка обычно не выделяется) – 1 метр, начиная с поверхности.

В табл. 5.6. приведены запасы углерода в метровом слое почв лиственничников. Как следует из приведенной таблицы, среднее содержание углерода 1м слоя почв составляет около 250 т С га<sup>-1</sup>. Это выше, чем средняя величина для лесов страны примерно на 40 %, что объясняется значительными площадями редкостойных лиственничников, произрастающих на торфяных и торфянистых болотных почвах с очень высокими (около 700-900 т С га<sup>-1</sup>) запасами углерода. Следует также учесть, что в эту оценку включена значительная часть профиля в вечномерзлом состоянии. Почвы дренированных местообитаний (подбуры, подзолы, некоторые типы глеезёмов) содержат относительно невысокие запасы углерода.

Таблица 5.6

Запасы углерода в метровом слое почв лиственничников Северо-Востока России

Наименование почв	С, т·га <sup>-1</sup>	Корякский АО	Чукотский АО	Магаданская обл.	Республика Саха	Итого
Аллювиальные лугово-болотные	276	–	2,7	–	–	2,7
		–	9,9	–	–	9,9
Глеезёмы торфянистые и торфянисто-перегнойные тундровые	240	–	75,6	–	6207,1	6282,7
		–	315,0	–	25863,0	26178,0
Глеезёмы и тундровые поверхностно-глеевые	65	–	0,8	–	60,2	61,0
		–	12,4	–	926,7	939,1
Глеезёмы торфянистые и торфяные болотные	441	–	53,4	147,4	6121,2	6322,0
		–	121,2	334,2	13880,2	14335,6
Глеезёмы торфянисто-перегнойные таёжные	172	–	19,5	–	883,2	902,6
		–	113,5	–	5147,0	5260,4
Глеезёмы таёжные	134	–	15,4	–	188,8	204,1
		–	114,8	–	1409,6	1524,3
Глеезёмы тундровые дифференцированные торфянисто-перегнойные	58	–	3,5	–	157,5	161,1
		–	61,0	–	2738,0	2798,9
Глеезёмы тундровые торфяные	312	–	–	–	6568,9	6568,9
		–	–	–	21073,2	21073,2

Окончание таблицы 5.6

Наименование почв	С, т·га <sup>-1</sup>	Корякский АО	Чукотский АО	Магаданская обл.	Республика Саха	Итого
Горные примитивные	40	–	2,3	–	118,5	120,8
		–	56,0	–	2935,4	2991,4
Дерново-карбонатные	184	–	–	123,0	351,9	474,9
		–	–	669,0	1913,9	2582,9
Дерново-карбонатные тундровые	240	–	–	–	864,2	864,2
		–	–	–	3600,6	3600,6
Палевые перегнойные	238	–	–	–	475,8	475,8
		–	–	–	2000,1	2000,1
Торфяные болотные	679	–	13,2	–	–	13,2
		–	19,5	–	–	19,5
Торфяные болотные верховые	943	–	–	741,3	1097,9	1839,2
		–	–	786,1	1164,2	1950,3
Торфяные болотные низинные	679	–	–	174,3	–	174,3
		–	–	256,9	–	256,9
Подбуры таёжные	107	–	5,3	215,0	287,7	508,1
		–	50,0	2009,2	2688,9	4748,2
Подбуры сухоторфянистые	131	2,8	16,3	57,5	–	76,7
		21,8	125,1	440,9	–	587,8
Подбуры тундровые	97	–	17,8	25,0	351,5	394,2
		–	183,3	257,7	3626,5	4067,5
Подзолы иллювиально-железисто-гумусовые	80	–	–	–	119,4	119,4
		–	–	–	1487,1	1487,1
Таёжные торфянисто-перегнойные высокогумусные неоглеенные	184	72,8	86,6	378,0	3484,8	4022,2
		395,8	470,8	2056,2	18953,6	21876,4
Итого С, млн тонн		75,6	312,4	1861,5	27338,6	29588,2
Итого площадь, тыс. га		417,6	1652,4	6810,2	109407,9	118288,1

### 5.6.3. Гетеротрофное дыхание и потоки углерода в литосфере и гидросфере

Гетеротрофное дыхание (ГД) лесных экосистем включает два основных компонента: гетеротрофное дыхание почв (которое в основном изучается при помощи камерного метода) и поток, обусловленный разложением наземной и надземной древесины, который обычно не включается в почвенное ГД. Величина почвенного ГД дыхания зависит от типа почв, особенностей произрастающей растительности и специфики погодных показателей конкретного сезона. В нашей приближенной оценке мы использовали усредненные данные для района исследований и данные для аналогичных и сходных почв высоких широт, собранные в базу данных И. Кургановой [Kurganova, 2003]. На основе имеющихся измерений для 16

основных типов почв лиственничников района были использованы средние интенсивности потоков, которые варьировали в значительном диапазоне: от  $0,15 \text{ т С га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  для примитивных горных почв до  $1,75 \text{ т С га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  для таёжных торфяно-перегнойных высокогумусных неоглеенных и  $2,90 \text{ т С га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  для палевых перегнойных почв. ГД различных типов глееземов и подбуров оценено на уровне  $1,0\text{-}1,2 \text{ т С га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ . Используя эмпирические уравнения влияния сезонных климатических показателей вегетационного периода (средней температуры, осадков, суммы эффективных температур) на ГД [Mukhortova, 2005], были внесены усредненные поправки на 1993 и 2003 гг. Средняя величина интенсивности ГД вычислена как средневзвешенная по площади различных типов почв.

Поток  $\text{CO}_2$  вследствие разложения древесины зависит от количества отпада средней (диаметр в верхнем конце от 1 до 8 см) и крупной ( $> 8\text{ см}$ ) надземной и наземной древесины. На 1993 г. это количество было определено, используя базу данных по лесным горючим материалам (ГЛМ), собранной Лесным проектом ИИАСА, и составило в среднем  $3,27 \text{ т С га}^{-1}$ . Средняя величина для 2003 г. рассчитана с учётом скорости разложения (уравнение 5.5), естественного отпада и отпада после нарушений на покрытых лесом землях. Расчёты показывают, что количество сухой древесины (на покрытых лесом землях) увеличилось до  $3,60 \text{ т С га}^{-1}$ . При средних зональных коэффициентах разложения порядка  $0,031\text{-}0,040$ , это даёт  $0,10 \text{ т С га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  в 1993 году и  $0,12 \text{ т С га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$  в 2003 году.

Запасы углерода в мёртвых корнях были оценены методами, сходными с таковыми, использованными для сухой древесины. В среднем для изучаемых экосистем, среднее количество углерода в этом резервуаре составило  $2,84 \text{ т С га}^{-1}$  в 1993 году и  $2,98 \text{ т С га}^{-1}$  в 2003 году.

Вынос углерода в гидросферу и литосферу может быть оценен, базируясь на данных лизиметрических измерений и концентраций растворимого углерода (РОУ) и органического углерода в виде частиц (ОУЧ) в водных резервуарах. Содержание РОУ и ОУЧ в почвенных растворах лесов бореальной зоны достаточно высоко и колеблется от  $50$  до  $100 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  [например, Пономарева и Плотникова, 1972; Дьяконова, 1972]. Концентрации РОУ и ОУЧ в речных водах значительно ниже – от  $10$  до  $30 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$  [Романкевич, Ветров, 2001]. Это свидетельствует о значительных количествах РОУ и ОУЧ, адсорбируемых на геохимических барьерах литосферы, где содержание органических веществ достаточно высоко, порядка  $0,5\text{-}1,5 \%$ . Результаты прямых оценок потоков углерода в литосферу фрагментарны [Глазовский, 1983; Rapalee et al., 1998] и полностью отсутствуют для района исследований. Мы использовали доступные данные, включая БД СД-РОМ «Земельный покров России» [Stolbovoi, McCallum, 2001]. В среднем для района исследований транспорт в гидросферу оценен в  $0,05 \text{ т С га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ , и в литосферу –  $0,01 \text{ т С га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ .



## 5.7. Полный углеродный бюджет лиственничников

### 5.7.1. Бюджет углерода на уровне типов условий произрастания

Исследования на уровне насаждения являются основой для понимания процессов, протекающих в лесных экосистемах. На этом уровне возможно более точное определение запасов и потоков углерода, прогнозирование результатов деятельности лесного хозяйства на углеродный обмен. Очевидно, что максимальную информацию представляют комплексные измерения, проводимые на стационарных экспериментальных участках. К сожалению, мы не имели возможности непосредственного измерения всех компонентов углеродного бюджета *in situ*. Поэтому мы представляем некоторые оценки для типов условий местопроизрастания, которые были выделены на основании наших исследований на северо-востоке Республики Саха. Для этих типов на основании данных пробных площадей составлены таблицы хода роста и таблицы биопродуктивности. Поэтому приведенные ниже результаты представляют собой некоторое «полуэмпирическое» обобщение для зоны редкостойной тайги бассейна рек Яны и Индигирки. Ход роста этих насаждений описан в разделе 3.2, биологическая продуктивность – в разделе 3. Хотя использованный экспериментальный материал отражает в целом средний пожарный режим лиственничников (наличие низовых пожаров малой и средней интенсивности с интервалом 60-100 лет), следует отметить, что рассматриваемые насаждения сформировались и развивались при отсутствии разрушающих внешних воздействий, например, верховых или торфяных пожаров, поэтому отражают естественную сукцессионную динамику лиственничных экосистем.

Наиболее продуктивные лиственничные насаждения рассматриваемого района достигают продуктивности IV класса бонитета. Произрастая на аллювиальных связнопесчаных почвах речных пойм и первых террас, они накапливают к возрасту 200 лет  $55,7 \text{ т С га}^{-1}$  в общей фитомассе экосистемы, из которой 59 % приходится на стволы деревьев. Общая продуктивность по всей фитомассе примерно в 7,5 раз выше, что определяется листопадностью лиственницы, существенной долей живого напочвенного покрова в общей ЧПП и, в несколько меньшей мере, продуктивностью тонких корней. Соотношение же общей продуктивности по ствольной древесине к наличному запасу к 220 годам составляет только 1,34. Это свидетельствует об относительно небольшом отпаде на протяжении жизни древостоя и несколько меньше усредненных таксационных оценок для древостоев рассматриваемого уровня продуктивности, приводимым в таблицах хода роста.

Чистая первичная продукция быстро возрастает до 50-60-летнего возраста (до величины порядка  $220 \text{ г С м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ ), после чего практически

стабилизируется, медленно возрастая до  $240 \text{ г С м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$  к 200-220-летнему возрасту. Такая динамика ЧПП в значительной мере определяется отсутствием существенного изменения криорежима почв в речных поймах с возрастом насаждений. Средняя величина гетеротрофного дыхания для аллювиальных почв речных пойм и лугов северотаёжных местообитаний оценивается величинами порядка  $140\text{-}160 \text{ г С м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$  [Kurganova, 2003]. Измерения динамики гетеротрофного дыхания в зависимости от особенностей сукцессионной динамики и возраста древостоев для района исследования отсутствуют. По-видимому, можно допустить, что почвенное ГД в рассматриваемых условиях местопроизрастания с возрастом древостоев меняется мало. Вместе с тем, надо принять во внимание некоторые дополнительные особенности сукцессионной динамики лиственных древостоев. Поскольку лиственные древостои восстанавливаются, как правило, после пожаров, в лиственныхниках молодых возрастов образуется значительное количество сухой древесины в виде сухостоя и валежа (порядка  $15\text{-}20 \text{ т С га}^{-1}$  в древостоях высшей производительности), которая разлагается в течение последующих десятилетий. При средней скорости разложения в  $0,01\text{-}0,02$  (коэффициент  $\alpha_{ij}$  в уравнении 5.5) это даёт средний поток порядка  $30\text{-}40 \text{ г С м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$  в первые 3-4 десятилетия формирования насаждений, снижаясь впоследствии примерно вдвое (с учётом текущего отпада формирующегося насаждения). Эта величина, как правило, не включается в измерения почвенного гетеротрофного дыхания и должна быть учтена отдельно. Наконец, должны быть учтены потоки углерода в гидросферу и литосферу. Как следует из существующих оценок [Stolbovoi et al., 2004], они достаточно малы – средние для района исследования порядка  $4$  и  $1 \text{ г С м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ , хотя для легких по механическому составу лиственныхников речных пойм могут быть в  $1,5\text{-}2$  раза выше. Хотя эти значения находятся в пределах точности оценки «базовых» компонент углеродного бюджета, таких как ЧПП и ГД, эти потоки оценивают углерод, удаляемый из биологического круговорота, и учёт их целесообразен.

Суммируя приведенные оценки, мы можем заключить, что примерно до 40-50 летнего возраста вновь формирующиеся лиственные насаждения служат источником углерода в атмосферу (в среднем  $20\text{-}30 \text{ г С м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ ), после чего начинают обеспечивать чистый сток (чистую экосистемную продукцию), который после 70-80 летнего возраста составляет около  $50\text{-}60 \text{ г С м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ , и в течение следующих 150 лет практически стабилизируется, несколько возрастая (до  $70\text{-}80 \text{ г С м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ ).

В целом, сходный характер имеет динамика углеродного бюджета лиственныхников на иных дренированных местообитаниях, хотя численные оценки стока несколько ниже. На палевых почвах склонов теплых экспозиций (насаждения V класса бонитета) ЧПП достигает максимума в 70-80 лет (около  $200\text{-}220 \text{ г С м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ ), после чего начинает медленно снижаться, примерно на 10 % к 200-220 годам. Сходная картина наблюдается

и на криозёмах на плато и пологих склонах, хотя некоторое увеличение ЧПП наблюдается и в высоких возрастах, главным образом за счет развития живого напочвенного покрова. Явление снижения продуктивности древостоев на вечной мерзлоте через 50-60 лет после пожара было неоднократно описано (например, [Седых, 1992]) и связано с ухудшением условий местопроизрастания (в частности, вследствие «подъёма» вечной мерзлоты с восстановлением изолирующего мохово-лишайникового слоя). Тем не менее, и низкопродуктивные лиственничники (V и Va классов бонитета), начиная с некоторого возраста, обычно 50-60 лет, обеспечивают чистый сток углерода, порядка  $40-60 \text{ г С м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ , в течение полутора-двух столетий, при условии отсутствия интенсивных разрушающих пожаров.

Несколько иные закономерности динамики углеродного бюджета низкопроизводительных редкостойных лиственничников на переувлажнённых местообитаниях. Пожары здесь случаются редко (оборот огня 300-800 лет, иногда больше), однако пожары более интенсивны и процесс восстановления часто замедляется на многие десятилетия. К 200-220-летнему возрасту древостоя, доля фитомассы стволов в общей фитомассе экосистем достигает 35-38 %, относительная величина отпада возрастает (отношение общей продуктивности стволовой древесины к наличному запасу для древостоев Vb бонитета к 200-летнему возрасту составляет 1,55). Чистая первичная продукция низкая и медленно увеличивается, по крайней мере до 220-летнего возраста. Имеющиеся публикации свидетельствуют, что криогенная деградация подобных лиственничников наступает несколько позднее этого возраста.

Экспериментальных данных для сравнения и независимой оценки основных компонентов углеродного баланса лиственничников района не много. М. Shibuya et al. [2004] измеряли фитомассу и чистую первичную продукцию для возрастного ряда лиственничников (от 23 до 230 лет) на многолетней мерзлоте недалеко от Якутска (средняя годовая температура  $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Надземная ЧПП составила от 5,1; 6,47 и 3,10  $\text{т} \cdot \text{га}^{-1}$  сухого вещества в год для молодняка (23 года), приспевающего (121 год) и спелого (173 года) насаждения соответственно. Полная чистая первичная продукция в целом оценена в 2,54 и 1,50  $\text{т С га}^{-1}$  для молодого и спелого насаждения, соответственно. Однако эти данные не включают живой напочвенный покров, а из описания методики неясно, насколько полно была учтена продукция тонких корней. Есть основания предполагать, что общая ЧПП авторами занижена. С учётом этих замечаний, данные наших таблиц биопродуктивности не противоречат цитируемым результатам.

Для сходных условий за пределами района исследования Е.Ф. Vedrova [2002] описывает углеродный цикл лиственничной тайги северной тайги Средней Сибири. Запас углерода лесной экосистемы составил в среднем  $104 \text{ т С га}^{-1}$  (углерод почвы учитывался только для активного слоя) в том числе древостой и нижние яруса –  $35 \text{ т С га}^{-1}$ , легко гидролизуемые фрак-

ции органического вещества – 41 т С га<sup>-1</sup>, гумус – 18 т С га<sup>-1</sup>. Продукция составляет от 1,8 до 3,0 т С га<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>, более половины из которой приходится на живой напочвенный покров. Высвобождение углерода при разложении органических остатков составляет 1,3-1,9 т С га<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>. Из них 80-82 % попадают в атмосферу, до 3 % переходит в гумус, от 0,5 до 3,2 % выносятся поверхностным стоком и 9-15 % фильтруется в грунтовые воды. Е.Ф. Vedrova оценивает чистую экосистемную продукцию в 0,41-1,27 т С га<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>, что близко к нашим результатам.

В целом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы относительно углеродного бюджета лиственничников на уровне отдельного насаждения.

- Чистая первичная продукция экосистем закономерно возрастает с увеличением возраста. Увеличение ЧПП обусловлено главным образом продукцией зелёных частей, в частности живого напочвенного покрова. Начиная с некоторого возраста (порядка 120 лет) доля ЧПП, обусловленная надземной древесиной, стабилизируется и постепенно начинает уменьшаться.

- Величина ЧПП зависит от качества условий местопроизрастания, достигая максимума в возрасте спелости древостоев. В наилучших условиях произрастания (древостои IV класса бонитета) ЧПП достигает величин 230-240 г С м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>, в худших (Vb бонитет) – 140-150 г С м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>.

- Наблюдается закономерная динамика чистой экосистемной продукции с возрастом древостоев. В период формирования древостоя (до 50-80 лет) лиственничные экосистемы служат источником углерода в атмосферу. Величина этой эмиссии зависит от особенностей формирования древостоя после нарушений (как правило, пожаров), качества условий произрастания и специфики почв и в среднем составляет 20-30 г С м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> в течение первых 40-60 лет формирования насаждения. После этого лиственничные экосистемы аккумулируют углерод, в среднем от 40 до 80 г С м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> в течение достаточно длительного периода времени (в нашем случае предельный возраст ограничен 220 годами).

- Наши результаты не учитывают сезонные особенности погоды и тенденций изменения климата. Несмотря на многочисленные модельные результаты, показывающие увеличение как ЧПП так и гетеротрофного дыхания лесных экосистем высоких широт с возрастанием температуры, результирующее влияние этих двух противоположных процессов пока остаётся предметом научных дискуссий. Прогноз ещё более затруднен для района исследования, где таяние вечной мерзлоты ведет к существенному изменению гидрологического режима и часто к аридизации ландшафтов с вероятным ускоренным разложением больших количеств органического вещества, накопленного в почвах и торфах. Однако фактические данные,

которые подтверждали бы проявления и темпы этого процесса, пока крайне недостаточны для каких-либо надёжных суждений.

### **5.7.2. Агрегированная оценка бюджета углерода для лиственных лесов района исследования**

Два основных метода исследования углеродного бюджета больших территорий – 1) метод, основанный на оценке основных потоков и 2) метод, учитывающий изменения резервуаров – применительно к району исследования имеют свои преимущества и недостатки. Основные потоки (ЧПП, ГД, эмиссии вследствие нарушений) подвержены значительной межсезонной изменчивости, которая практически не изучена для лиственных лесов района исследования. Изменение резервуаров относительно надёжно для растительности, принимая во внимание наличие данных ГУЛФ, однако для почв может быть оценено только сугубо приближенно, практически на экспертном уровне. Поэтому в наших оценках мы использовали оба этих метода, с тем, чтобы получить хотя бы приближенную оценку углеродного бюджета лиственных лесов экосистем региона. С другой стороны, расчёты могут быть проведены как с учётом изменения земельного покрова (т.е. для территорий, занятых лиственными экосистемами в 1993 и 2003 гг.), так и для средних величин на единицу площади, занимаемой лиственными лесами. Ниже мы рассматриваем оба варианта.

#### **Нарушения в лиственных лесах**

Три основных типа нарушений в лиственных лесах имеют наибольшее значение для оценки углеродного бюджета: пожары, хозяйственное воздействие (промышленное освоение территорий, заготовка древесины) и вспышки размножения насекомых. К сожалению, статистические данные о нарушениях, как и данные прямых измерений недостаточны, что предопределяет неизбежность использования косвенных и экспертных оценок.

Пожары являются главнейшим типом нарушений, существенно влияющим на динамику лиственных лесов и эмиссии углерода в атмосферу. В зависимости от типа и интенсивности пожара, особенностей экосистем и условий местообитания, погодных особенностей сезона и времени пожара, во время пожара может потребляться до 25-30 % наземной и надземной органики [Валендик, 1990; Шешуков и др., 1992; Фуряев, 1996]. В особых случаях, в частности при торфяных пожарах, потери углерода могут быть больше. D.W. Johnsen [1992] указывает на потерю углерода почвой, достигающую 50 % при лесных пожарах, сжигании порубочных остатков и обработке почв при создании лесных культур.

Официальные данные пожарной статистики не могут быть использованы для района исследования, поскольку он находится в основном вне

пределов территории авиационной охраны лесов. Данные спутниковых измерений, доступные с 1997 года, достаточно надёжны для центральной и южной частей Республики Саха, но, по-видимому, неполны для крайнего северо-востока, поскольку находятся в зоне неустойчивого приема основных российских станций, принимающих спутниковые данные (в Красноярске и Иркутске). Есть предпосылки утверждать, что в течение рассматриваемого десятилетия горимость лесов региона исследования существенно увеличилась. Свидетельством этого является отмеченное выше уменьшение площадей лиственничных лесов в течение последнего десятилетия. Это уменьшение (6,54 млн га) высоко коррелирует с увеличением площади гарей, погибших насаждений, пустырей и прогалин в регионе, которая по данным учёта лесного фонда составила 11,2 млн га в 1993 г., 14,4 млн га в 1998 и 17,6 млн га в 2003 г. Конечно, сугубая приближенность этих данных несомненна, к тому же на процесс гибели насаждений (гари указываются только для покрытых лесом земель) накладывается процесс лесовосстановления на не покрытых лесом землях. Учёт лесного фонда отражает только пожары, приводящие к переводу покрытых лесом земель в не покрытые. Базируясь на литературных источниках, мы приняли следующее распределение пожаров в лиственничниках района по типам: верховые пожары – 5 % (в основном, для территорий с высоко горючим подлеском, например, кедровым стлаником); почвенные (торфяные) – 12 %; 25 % – беглые низовые и 58 % – устойчивые низовые. Первые два типа пожаров уничтожают древостой (до полноты 0,1 и ниже), равно как и 1/3 устойчивых низовых [Матвеев, 1992; Шешуков, 1992, и др.]. Такие предпосылки объясняют 80-90 % уменьшения площади лиственничников в 1993-2003 гг. В наших оценках общей площади, пройденной пожарами, мы использовали спутниковые данные для 1998-2003 (скорректированные на площадь лиственничных насаждений в лесном фонде) и приняли предпосылку, что горимость лесов района увеличилась за последнее десятилетие на 20 % (с 1,35 до 1,62 млн га). Полученные площади согласовываются с величиной среднего пожарного интервала, взятого из доступных публикаций и наших оценок, вычисленных на основе анализа модельных деревьев. Количество ЛГМ, сгоревших во время пожаров, взято из базы данных, созданной в ИАASA. Эта база данных содержит средние величины ГМ по классам земельного покрова и по типам ГМ и их сгораемую часть для сетки  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  для территории России. Принятые нами средние величины составили (в т С га<sup>-1</sup>): для верховых пожаров – 2,4; торфяных – 8,0; беглых низовых – 0,5; устойчивых низовых – 2,0. Из общего количества сгоревших ЛГМ, 4 % отнесено в древесный уголь (элементарный углерод) с замедленным (порядка 1000 лет) циклом разложения, который мы исключаем из расчёта эмиссий. Расчёты дают количество углерода, вынесенного в атмосферу в виде парниковых газов и частиц (пыли) – 30,6 Тг С в 1993 и 36,7 Тг С в 2003 году.

Биотические нарушения, в частности вспышки опасных хвоегрызущих насекомых, ранее для района исследования не рассматривались как существенные. Однако в последние годы, особенно после исключительно жарких последних лет XX столетия, вспышка сибирского шелкопряда (*Dendrolimus superans sibiricus*) была отмечена в России на площади, превышающей 10 млн га [МПП, 2003]. Около 5 млн га этой территории приходится на район исследований. Измерительная информация о последствиях этой вспышки отсутствует, хотя на большей части очага существенного усыхания древостоев не произошло (Т. Максимов, Институт биологических проблем Севера РАН, Якутск – персональное сообщение). Вспышки в течение предыдущего десятилетия отмечались на небольших территориях и были сосредоточены в южной части региона. Опыт показывает, что однократное объедание лиственницы обычно не приводит к гибели лиственных лесов и значительному отпаду, исключая случаи крайне неблагоприятных климатических условий, например засухи следующего года. В нашей оценке мы учли для поражённых участков 90 % объедание хвои и 30 % снижение прироста по сравнению с многолетними средними. Это даёт приближённую оценку порядка 3 Тг С год<sup>-1</sup> для 2003 года.

Таблица 5.7

Оценка средней площади нарушений  
(средние годовые за 1998-2002 гг)

Показатели	Данные по административным единицам				
	Магаданская обл.	Республика Саха	Чукотский АО	Корякский АО	Итого
Общая площадь земель, пройденных пожаром, тыс. га · год <sup>-1</sup>	252	1760	299	148	2459
Оценка пожаров для лиственных лесов, тыс. га · год <sup>-1</sup>	130	1230	30	70	1460
Площадь лесов, поврежденных насекомыми, тыс. га · год <sup>-1</sup>	0,0	1500	0,0	0,0	1500
Заготовлено ликвидной древесины, тыс. м <sup>3а</sup>	1,7	345,4	0,0	0,0	347,1
Заготовлено древесины, тыс. м <sup>3</sup> (включая оценку местного потребления и промышленное освоение территорий)	500	4800	200	200	5700

<sup>a</sup> Данные базы данных Института экономических исследований, г. Хабаровск [2003].

Промышленные заготовки древесины в районе незначительны. По официальным данным (использована база данных Дальневосточного института экономических исследований РАН) в течение последних 5 лет заготовка ликвидной древесины в регионе не превышала 350 тыс. м<sup>3</sup> в год. Потребление древесины местным населением для отопления может быть оценено только экспертным путем. В наших оценках мы использовали данные о количестве сельского и городского населения [Новая Россия, 1994] и экспертные оценки годового потребления, приведенные Shvidenko et al. [1995]. Также включены экспертные оценки потерь древесины вследствие промышленного освоения территорий. Считая, что 70 % заготовленной древесины используется как топливо и принимая, что средний период существования заготовленных древесных продуктов 30 лет, эмиссия углерода оценена 1,7 и 2,3 Тг С в год, для 1993 и 2003 гг соответственно. Сводные данные об учтенных нарушениях приведены в табл. 5.7.

Таким образом, полученные нами оценки эмиссий вследствие нарушений составляют 32,3 и 42,0 Тг С год<sup>-1</sup>, соответственно для 1993 и 2003 гг.

### **5.7.3. Обсуждение результатов**

#### **Изменение запасов**

Данные табл. 5.8 показывают, что на протяжении 1993-2003 гг. запас углерода на покрытых лесом землях лиственных лесов уменьшился примерно на 1,9 Пг (млрд тонн) С. Очевидно, что основная причина этому в уменьшении площади лесов на 6,5 млн га. Более содержательный анализ представляет рассмотрение величин, отнесённых на единицу площади. Хотя в целом углерод растительности за десятилетие увеличился на 0,36 т С га<sup>-1</sup>, это изменение обусловлено увеличением мёртвого органического вещества экосистем. Средняя плотность фитомассы практически не изменилась, уменьшившись на 0,3 %. Более или менее надёжная оценка динамики органического вещества почвы сопряжена с большими сложностями, в силу недостаточной информации. Вычисленные нами средние величины запаса органического углерода в почвах лиственных лесов относятся к ненарушенным почвам, т.е. это некоторые «потенциальные данные». Поэтому оценка фактического состояния может быть проведена на основе некоторых предпосылок и косвенных расчётов. Одно из таких предложений – использовать для агрегированных расчётов индекс напряженности нарушений экосистем, предложенный А. Shvidenko, S. Nilsson [2003]. Этот индекс определяется как отношение площади нарушенных экосистем (гари, погибшие насаждения, антропогенные редины, пустыри и прогалины) к лесной площади. За рассматриваемое десятилетие для района исследования индекс изменился с 5,9 до 7,3. Используя эмпирические модели связи рассматриваемого индекса с потерями органического углерода в подстилке



и 1м слое почвы, которые приведены в цитируемой работе, мы оценили средние потери почвенного углерода (табл. 5.8). Для всех лиственничников это уменьшение составило 0,8 т С за 10 лет, или 0,08 т С год<sup>-1</sup>. Отсюда следует, что если мы учитываем изменение углерода почв, в течение последнего десятилетия наблюдалось ухудшение углеродного бюджета лиственничных экосистем: последние потеряли примерно 0,7 т углерода на каждый гектар покрытых лесом лиственничных лесов Северо-Востока.

Таблица 5.8

Основные показатели углеродного бюджета  
лиственничных лесов Северо-Востока России

Показатели	Величины			Средние, ед · га <sup>-1</sup>		
	1993	2003	Разница	1993	2003	Разница
Покрытые лесом, млн га	124,83	118,29	-6,54			
Запас древостоев, млн м <sup>3</sup>	8146,72	7743,25	-403,47	65,26	65,46	+0,20
	Резервуары (Тг С)			тонн С га <sup>-1</sup>		
Фитомасса	3944,1	3725,4	-218,7	31,6	31,49	-0,11
Наземная и надземная сухая древесина	408,2	425,8	+17,6	3,27	3,60	+0,33
Мёртвые корни	354,5	352,5	-29,3	2,84	2,98	+0,14
Углерод в растительности	4706,8	4503,7	-230,4	37,71	38,07	+0,36
Углерод почвы (скорректированный)	30708,2	29004,7	-1703,5	246,00	245,20	-0,80
Запас орг. С в экосистемах	35415,0	33508,4	-1906,6	283,71	283,27	-0,44
	<b>Потоки (Тг С год<sup>-1</sup>)</b>			тонн С га <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup>		
Чистая первичная продукция	303,7	290,5	-13,2	2,43	2,46	+0,03
Гетеротрофное дыхание	192,2	184,5	-7,7	1,54	1,56	+0,02
Разложение надземной и наземной древесины	12,5	14,2	+1,7	0,10	0,12	+0,02
Транспорт в гидросферу	6,2	5,9	-0,3	0,05	0,05	0
Транспорт в литосферу	1,2	1,2	0,0	0,01	0,01	0
Чистая экосистемная продукция	91,6	84,7	-6,9	0,73	0,72	-0,01
Нарушения	32,3	42,0	+9,7	0,26	0,36	+0,10
Чистая биомная продукция	59,3	42,7	-16,6	0,48	0,36	-0,11

**Оценка, базирующаяся на потоках**

В среднем, ЧБП лиственничников достаточно высока и составляет порядка 15 % от ЧПП, что соответствует средним данным для практически не эксплуатируемых лесов. Вместе с тем, наши результаты показывают её систематическое уменьшение за рассматриваемое десятилетие: с 0,48 до

0,36 т С га<sup>-1</sup>. Основная причина этого уменьшения следует из усиления природных нарушений в регионе.

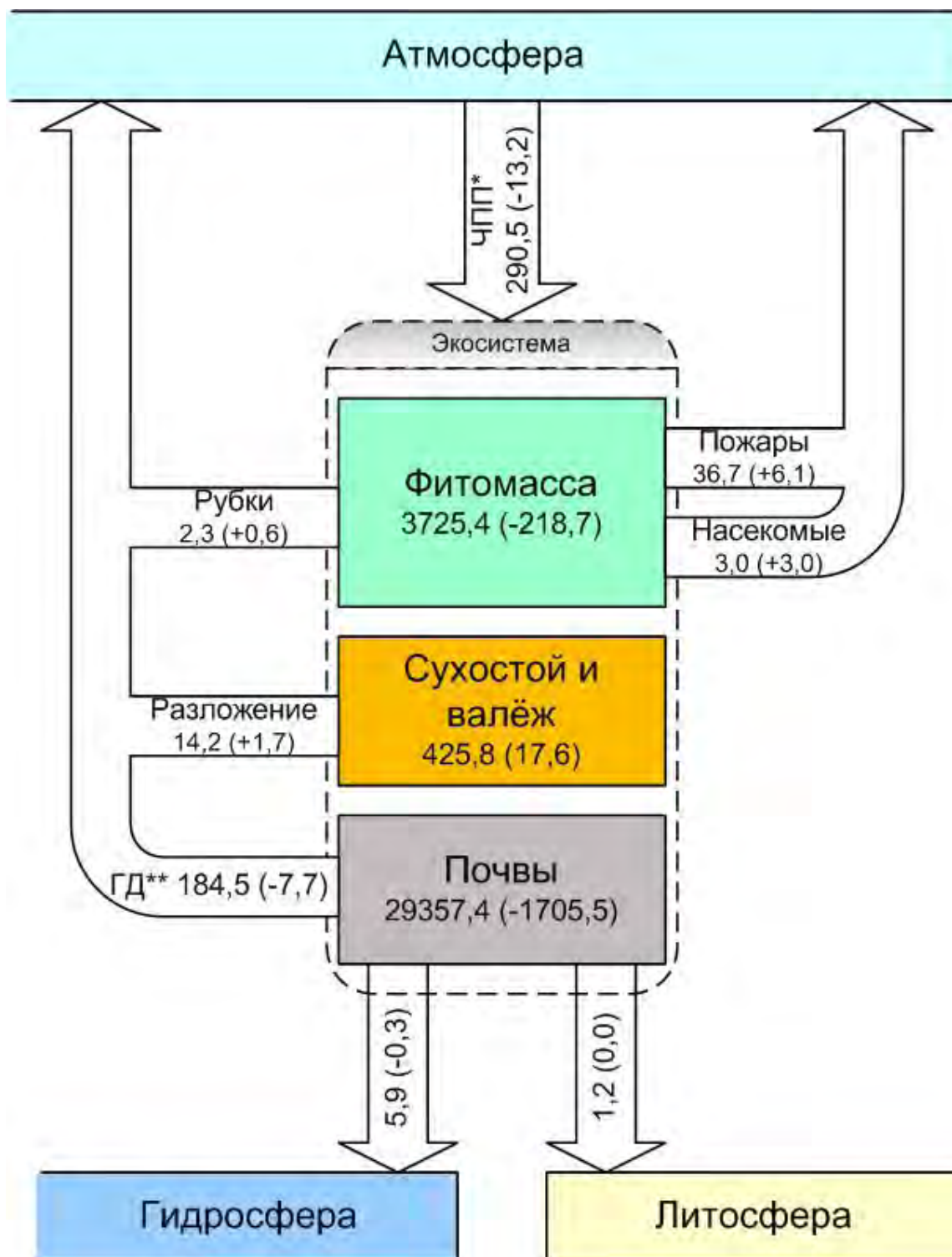


Рис. 5.1. Бюджет углерода лиственничников Северо-Востока России (1993-2003). Резервуары углерода приведены в Тг С, потоки в Тг С год<sup>-1</sup>. ЧПП – чистая первичная продукция; ГД – гетеротрофное дыхание

Очевидно, что точность оценок некоторых резервуаров и потоков углерода невысока, хотя знаки и порядок величин, полученных различными методами, вполне сопоставимы. Наибольший вклад в неопределенность вносит оценка динамики углерода почв. Возможность систематических ошибок обусловлена отсутствием непосредственного учёта влияния климатических изменений на основные компоненты углеродного цикла. В некоторой мере это учитывается косвенно, путем использования доступных измерений последних лет. С другой стороны, наш расчёт ограничен землями лесного фонда. Однако площадь лиственныхников на землях запаса составляет только 0.6% общей площади лесов этой формации в районе исследования, и влияние неучтенных земель находится в пределах точности общей оценки. В целом, экспертная оценка неопределенности конечных результатов (изменения резервуаров за 1993-2003 гг, величина ЧБП на начало и конец периода) находится на уровне 30-40%. Хотя такой уровень обеспечивает достаточную однозначность общего вывода о влиянии лиственныхных экосистем Северо-Востока России на глобальный углеродный бюджет, приведенные результаты должны рассматриваться как первый опыт оценки углеродного бюджета для обширного и мало изученного района.

## **Summary**

The Chapter contains the first attempt of estimation of the full carbon budget of larch ecosystems of the study's region. The estimation was provided for the period of 1993-2003. Two approaches have been used: 1) assessment of dynamics of major carbon pools (live biomass, dead vegetation organic matter, and soil organic carbon) and estimation of major carbon fluxes for 1993 and 2003 (Net Primary Production, heterotrophic respiration, fluxes caused by disturbances, and lateral fluxes into hydrosphere and lithosphere).

It is shown that the larch ecosystems of the North-East of Russia have lost 1.9 Pg C during the period of the assessment. The major reason of this is the decrease of the area of larch forests at 6.5 million hectares, basically due to acceleration of wild fires in the region. While the average vegetation biomass of the larch forests was increased at 0,36 t C ha<sup>-1</sup> for the period, these dynamics have been caused by the increase of dead vegetation matter (+ 0,47 t C ha<sup>-1</sup>). The average amount of live biomass on the forested area has decreased (- 0,11 t C ha<sup>-1</sup>).

The average densities of major carbon fluxes (NPP and heterotrophic respiration) slightly increased during the period of 1993-2003. Although the share of Net Biome Production is relatively high (constituting about 15% of NPP), it is decreased for about one-fourth (from 0.48 t C ha<sup>-1</sup> to 0.36 t C ha<sup>-1</sup>) during the considered decade.

Uncertainties of the reported results (the change of the total carbon pool of the larch ecosystems for 1993-2003 and NBP for 1993 and 2003) were estimated in an expert way at the level of 30-40% that allows to make certain judgments about the impacts of larch ecosystems of the study's region on the global carbon budget.

## **Заключение**

В настоящей работе дана характеристика лесного покрова, рассмотрены особенности биопродукционного процесса и проведена оценка углеродного бюджета лиственных лесов Северо-Востока России. Район исследования ограничен границами четырех субъектов Российской Федерации – Республики Саха (Якутия), Магаданской области, Корякского и Чукотского автономных округов. Выбор района исследования обусловлен малой изученностью объекта исследования, спецификой лиственных экосистем, произрастающих в предельных условиях существования лесов на земле, а также тем, что в этом районе ожидаются наиболее значительные климатические изменения в масштабе планеты.

В работе сделаны выводы теоретического и практического плана, нацеленные на совершенствование современного понимания структуры и функционирования лиственных экосистем района, познание закономерностей продукционного процесса в них, а также на повышение методической обоснованности и точности учёта влияния лесов России на основные глобальные биогеохимические циклы, учитывая требования международного переговорного процесса после вступления в силу Протокола Киото.

1. Структура, рост и биологическая продуктивность лиственных лесов Северо-Востока России определяются климатическими особенностями района, ландшафтной спецификой местопроизрастаний и режимом природных и антропогенных нарушений, среди которых растительные пожары играют основную роль. В работе показано, что лиственничникам района свойственны сходные закономерности биопродукционного процесса, что позволило разработать серию математических моделей роста древостоев, динамики фитомассы по основным фракциям и чистой первичной продукции экосистем. Уровни точности и адекватности моделей позволяют рекомендовать их для последующего применения в научных исследованиях и практике лесного хозяйства.

2. В работе показана возможность построения унифицированных моделей хода роста лиственных насаждений на бонитетной основе в целях их применения для учёта лесов и построения экологических моделей, в том числе для оценивания влияния лесов на углеродный бюджет. Вместе с тем, учитывая специфику и высокую мозаичность лиственных экосистем на вечной мерзлоте, представляется перспективным более детальное включение почвенно-типологических характеристик в процесс моделирования роста и продуктивности насаждений.

3. Оценка фитомассы лесных экосистем с приемлемой точностью требует построения нелинейных многомерных моделей, которые в качестве входов используют основные таксационные показатели древостоев, определяемые при практическом учёте лесов: породный состав, возраст,

уровни производительности (классы бонитета) и полноту. Аналитическая форма моделей должна допускать немонотонные зависимости фракций фитомассы от переменных, включенных в модели. Поэтому для некоторых пород и фракций традиционные подходы, основывающиеся на непосредственном применении аллометрических закономерностей, не дают возможности построить достаточно адекватные модели.

4. Разработаны и использованы методика, модели, алгоритмы и программы создания нормативов биологической продуктивности лесных экосистем. Нормативы включают возрастную динамику запасов фракций фитомассы и чистой первичной продукции по фракциям и принятым классификационным единицам (тип леса, бонитет). Изучена зависимость точности нормативов от количества использованного экспериментального материала. Развиваемый подход не имел ранее аналогов в лесотаксационной науке и представляет собой моделирующую систему, позволяющую последовательную модификацию и усовершенствование нормативов.

5. Изучена динамика фитомассы лиственных насаждений по основным фракциям (древесный ствол; древесина кроны; крупные и тонкие корни; хвоя; фитомасса подроста, подлеска и живого напочвенного покрова). В автоморфных условиях общая фитомасса экосистем увеличивается в среднем до 160 летнего возраста, независимо от уровня продуктивности насаждений (изучались произрастающие в регионе древостои IV-Vб классов бонитета). Это в основном объясняется увеличением фракций надземной древесины, которые достигают максимума в этом возрасте. Фракция хвои достигает максимума на один-три класса возраста ранее, в то время как фитомасса подлеска, подроста и напочвенного покрова продолжает увеличиваться с возрастом. Динамика фитомассы лиственных влажных и заболоченных местообитаний имеет много сходных черт с суходольными лесами, однако максимумы фитомассы надземной древесины здесь менее выражены и сдвинуты в более высокие возраста. Поэтому общее накопление фитомассы в полу- и гидроморфных лиственных насаждениях, как правило, не обнаруживает максимума до 200-220 лет. Доля подземной фитомассы существенно выше, чем в древостоях более южных широт. Доля запасов тонких корней в общей подземной фитомассе зависит, главным образом, от возраста и уровня продуктивности насаждений.

6. Специфика роста и развития лиственных насаждений Северо-Востока проявляется в своеобразных закономерностях возрастной динамики чистой первичной продукции (ЧПП), которая возрастает быстрыми темпами в молодом возрасте: для модальных насаждений зон лесотундры и редкостойной тайги величины ЧПП достигают к 20 летнему возрасту  $320 \text{ г С м}^{-2}$  в насаждениях III и  $160 \text{ г С м}^{-2}$  – V классов бонитета. Затем темпы увеличения ЧПП существенно замедляются, достигая максимума в 60-200 лет в зависимости от условий местообитания и класса бонитета насажде-

ний. Такая динамика объясняется формированием густых лиственничников на горях и последующим влиянием низовых пожаров.

7. Оценка полного углеродного бюджета лиственничных лесов показывает, что лиственничные экосистемы накопили значительные запасы углерода в почвах и растительности. Насаждения лиственницы выполняют углеродопоглощающую функцию практически в течение всего периода существования насаждений (до 200-250, иногда 350-400 лет), хотя темпы накопления углерода существенно снижаются в древостоях высоких возрастов. Влияние же лесного покрова больших территорий севера бореальной зоны на глобальный углеродный цикл в значительной мере определяется режимом нарушений, в первую очередь пожарами. В целом, пожары 1993-2003 гг. привели к уменьшению покрытых лесом земель в регионе с преобладанием лиственницы на 6.5 млн га, что оказало негативное влияние на углеродный бюджет этой лесной формации. Оценки, приведенные в главе 5, свидетельствуют об отрицательной биомной продукции лиственничников Северо-Востока (порядка 100 миллионов тонн углерода в год в течение последнего десятилетия) и о значительном уменьшении запаса органического углерода почв. Высоко вероятно, что ожидаемые изменения климата существенно усилят разрушение органического вещества почв, болотных экосистем и мерзлотных почв. Беспрецедентные по площади вспышки опасных хвоегрызущих насекомых, наблюдаемые в последние годы в зоне средней и, частично, северной тайги, позволяют предположить, что и этот фактор будет оказывать существенное влияние на устойчивость, продуктивность и биосферную роль лиственничных экосистем Северо-Востока России.

Леса района являются практически неуправляемыми и перспективы усиления интенсивности лесного хозяйства здесь выглядят весьма проблематичными, несмотря на исключительно важные средообразующие и природоохранные функции лесов на пределе их распространения. Это ставит большие препятствия внедрению любых рациональных мероприятий, нацеленных на сохранение и усиление биосферной роли лиственничников региона. Очевидно, что первоначальной стратегической задачей является усиление охраны и защиты рассматриваемых экосистем от пожаров. Такая деятельность могла бы быть составной частью предупреждающей программы подготовки северных ландшафтов к негативным последствиям глобального потепления.

В работе было показано, что только полный углеродный бюджет соответствует конечным целям Рамочной конвенции ООН по климатическим изменениям. Если будущее развитие международного переговорного процесса по смягчению нежелательных последствий изменений глобального климата приведёт к практической реализации этого принципа, есть основания предполагать, что появятся экономические рычаги внедрения системы управления углеродным бюджетом и в лиственничниках отдаленных районов Северо-Востока.

Общие рекомендации по совершенствованию ведения лесного хозяйства региона могут быть сформулированы следующим образом.

- Лиственничные насаждения продолжают депонировать углерод на протяжении всей своей жизни, поэтому система лесного хозяйства здесь должна быть направлена на возможное удлинение жизненного цикла древостоев, включая охрану лесов от нарушений, увеличение оборота рубки в эксплуатируемых лесах (по сравнению с действующими), что будет способствовать увеличению периода удержания углерода в экосистеме.
- Малопродуктивные лиственничные древостои, не подлежащие промышленной эксплуатации по экономическим (или экологическим) соображениям, представляют существенный интерес как поглотители углерода в свете международных обязательств России. Однако эффективное обеспечение углеродопоглощающей функции этих лесов требует разработки специальной системы лесохозяйственных мероприятий, в первую очередь, управления пожарами в регионе.
- Цели и основные составляющие системы управления углеродным циклом лиственничников должны рассматриваться как подмножество парадигмы устойчивого управления лесами. Базовые блоки такой системы включают 1) целесообразную пространственно-функциональную классификацию лесов; 2) систему экологического мониторинга лесного покрова; 3) адаптированную к условиям района систему охраны лесов от пожаров; 4) разработку региональной системы лесопользования, включая технологические решения по использованию древесины, возрасты рубок, размер расчётной лесосеки и т.д.
- Таяние многолетней мерзлоты составляет одну из наиболее опасных угроз будущему состоянию и продуктивности лиственничников Северо-Востока, по крайней мере, в двух аспектах. Первый определяется нежелательным изменением гидрологического режима больших территорий, нарастанием аридности условий местопроизрастания на фоне существенного физического разрушения ландшафтов вследствие термокарста, солифлюкции и т.д. Второй – с сопутствующей акселерацией катастрофических природных нарушений, в первую очередь пожаров. Высоко вероятно, что эти два фактора существенным образом усилят процессы северного остепнения и «зеленого» опустынивания. Это предопределяет необходимость разработки и внедрения систем адаптации северных территорий к глобальными изменениям.
- Полученные результаты могут быть использованы для обоснования роли лиственничных лесов Северо-Востока России в глобальном цикле углерода, в частности при выполнении углерододепонирующих проектов.



## Основные термины

*Баланс углерода* (carbon balance) – разница между потоками углерода в лесную экосистему и из нее за определённый срок.

*Бонитет* – (site index) безразмерный показатель продуктивности древостоев, определяемый по среднему возрасту и средней высоте древостоя (преобладающего элемента леса).

*Вегетационный индекс* (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный индекс растительности, индекс «зелёности» - простой количественный показатель, используемый для оценки фотосинтетически активной биомассы. Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова. Вычисляется как  $(NIR-RED)/(NIR+RED)$ , где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра.

Согласно этой формуле, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму этих интенсивностей.

Расчёт NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в ближней инфракрасной области (0,7–1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять и анализировать растительные от прочих природных объектов. Использование нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и пр.

*Гетеротрофное дыхание* (heterotrophic respiration) – дыхание нефотосинтезирующих организмов, населяющих экосистему, включая почвенные микроорганизмы, т.е. выделение двуокси углерода в результате разложения органического вещества.

*Запас* (growing stock) – сумма объемов стволов живых деревьев, составляющих древостой (элемент леса),  $m^3 \cdot га^{-1}$ .

*Землепользование* (land use) – совокупность мероприятий и затрат на определенной категории земель, выполняющей различные социально-экономические функции (пастьба скота, выращивание делового леса, национальные парки и пр.).

*Индекс листовой поверхности* (leaf area index, LAI) – отношение половины площади поверхности листьев к площади поверхности земли.

*Общая продуктивность древостоя* – суммарный объем стволовой древесины, произведенной лесным насаждением за период его существования, т.е. сумма наличного запаса древостоя в возрасте  $A$  и суммарный отпад в древостое до возраста  $A$ .

*Парниковый эффект* (greenhouse effect) – эффект, вызванный особенностью некоторых газов пропускать солнечную радиацию к Земле и улавливать отраженную от Земли энергию (тепловое излучение), который приводит к повышению температуры на Земле.

*Полнота (относительная)* – отношение сумм площадей сечения таксируемого древостоя к сумме площадей сечения аналогичного древостоя при полноте 1.0 (берется из таблиц хода роста полных насаждений).

*Среднее изменение запаса (средний прирост по наличному запасу)* – изменение запаса древостоя за 1 год, рассчитанное на весь период существования древостоя, т.е.  $Z_{VCP} = M_A/A$ , где  $M_A$  – запас древостоя в возрасте  $A$ .

*Плотность древесины (specific gravity – amer., wood density – eur.)* –

*Поток углерода (carbon flux)* – переход углерода из одного резервуара в другой.

*Продукция* – это фитомасса, ассимилированная растительным сообществом в единицу времени на единицу площади (например,  $г\ м^{-2}\cdot год^{-1}$ ). Как правило, измеряется в единицах массы углерода.

*Состав древостоя* – процентное распределение запаса древостоя по составляющим породам. Обычно указывается с округлением до 10 %, например, 7К3Е означает, что в запасе стволовой древесины от 65 до 74 % приходится на кедр и от 25 до 34 % приходится на ель.

*Средний диаметр* – среднеквадратическая величина диаметров деревьев элемента леса, измеренных на высоте груди, т.е. 1.3 м от поверхности почвы (диаметр среднего дерева древостоя).

*Средняя высота древостоя (элемента леса)* – высота, соответствующая дереву со средним диаметром (высота среднего дерева древостоя), м.

*Сумма площадей (поперечного) сечения* – сумма площадей поперечных сечений всех живых деревьев древостоя (элемента леса), измеренная на высоте груди,  $м^2\cdot га^{-1}$ .

*Текущее изменение запаса (текущий прирост по наличному запасу)* – изменение запаса древостоя за единицу времени, как правило за 1 год. В практике лесной таксации обычно измеряется как средняя величина за некоторый период. Измеряется в  $м^3\cdot га^{-1}\cdot год^{-1}$ .

*Текущий прирост по общей продуктивности* – изменение общей продуктивности за единицу времени, как правило за 1 год. Измеряется в  $м^3\cdot га^{-1}\cdot год^{-1}$ .

*Резервуар углерода (carbon pool)* – хранилище углерода в различных компонентах экосистемы. В лесах, например, фитомасса, древесный детрит, гумус почвы.

*Сток* (sink), депонирование – процесс перехода углерода из атмосферы в какой-либо другой резервуар, например сток в фитомассу.

*Сухостой и валеж* (coarse woody debris) включает в себя мёртвые стволы и ветви, диаметром более 1 см и не потерявшие морфологического строения.

*Фитомасса* (phytomass) – абсолютно сухой вес живых надземных и подземных частей растений в определенный момент времени, приходящийся на единицу площади поверхности почвы ( $100 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} = 1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ ).

*Хлорофильный индекс* (chlorophyll index) - проективное содержание хлорофилла в ассимилирующих органах, т.е. масса хлорофилла на единицу площади территории, например, по данным К.Бобковой и др. [<http://ib.ksc.komi.ru/t/ru/ir/vt/04-76/07.html>] для древостоев еловых фитоценозов Печорского региона составляют 10,12 и 13,00 кг на 1 га.

*Валовая первичная продукция* (GPP) – общее количество ассимилированного органического вещества (включая потери на автотрофное дыхание).

*Чистая первичная продукция* (NPP) – общее количество ассимилированного органического вещества за вычетом потерь на дыхание, то есть общая продукция, которая доступна для использования в качестве пищи на других уровнях ценоза или остаётся в виде запасенной химической энергии. Измеряется в единицах массы сухого вещества за единицу времени (как правило,  $\text{т га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ ) или углерода ( $\text{т С га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ ).

*Чистая биомная продукция* (NBP) – изменение количества органического углерода в экосистемах, обобщённая на значительные территории и на относительно продолжительный период времени – не менее года [Schulze and Heimann, 1998; Schulze et al., 1999; Schimel et al., 2001].

*Чистая экосистемная продукция* (NEP) – годовое изменение запаса живой и мёртвой фитомассы экосистемы, определяют как разность между чистой первичной продукцией растений (NPP) и гетеротрофным дыханием. Измеряется в единицах массы сухого вещества за единицу времени (как правило,  $\text{т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ ) или углерода ( $\text{т С га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ ).

*Эмиссия углерода* – процесс перехода углерода из какого-либо резервуара в атмосферу. Резервуар углерода может быть его источником, если количество углерода, входящего в него, меньше, чем поток из него.

*Эффективность использования углерода* (Carbon use efficiency – CUE) is defined as the ratio of net primary production (NPP) to gross primary production (GPP).

### **Соотношение единиц измерения**

1 петаграмм (Пг) =  $10^{15}$  г = 1 млрд тонн = 1 гигатонна (Гт).

1 тераграмм (Тг) =  $10^{12}$  г = 1 млн тонн = 1 мегатонна (Мт).

$100 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} = 1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$

## Conclusion

This book describes the extent and distribution of larch forests of Northern-Eastern part of Russia, considers the specifics of forest forming processes and productivity, and quantifies the full carbon budget of this forest formation. The study's region includes four administrative regions of the Russian Federation – Republic Saha (Yakutia), Magadan oblast', Koriak and Chukotka Autonomous Okrugs. Larch forests of this region are purely understood in many aspects. They grow in the most severe climatic conditions under which forests exist over the globe. The most dramatic climatic change at the planet is expected there.

Theoretical and practical considerations and conclusions of this book are destined for improvements of current understanding of structure, growth and functioning of larch ecosystems of the region; understanding of major regularities of biological productivity; and for improving methodology and accuracy of account of the full carbon budget of larch forests taking into account requirements of the post Kyoto negotiation process.

Structure, growth and productivity of larch forests of North-East of Russia are defined by climatic peculiarities of the region, landscape specifics and by the regime of natural and human-induced disturbances, among which forest fires play the major and pivotal role. Similar regularities of growth and biological productivity of forests are recognized for the region. It allowed to develop a set of mathematical models of growth of larch stands, dynamics of live biomass and Net Primary Production (by major components). The models have satisfactory accuracy and adequacy that allows to recommend them for use in research and practical forest management.

It is shown possibility to develop unified growth models of larch forests using a site index (bonitaet) classification basis aiming at their use in forest inventory, as well as to develop ecological models oriented for assessing the impacts of forests on carbon budget. At the same time, taking into account specifics and high mosaic structure of larch ecosystems on permafrost, it seems promising a more complete inclusion of soil-landscape parameters in the process of modeling of growth and productivity of forests on permafrost.

Estimation of live biomass of forest ecosystems with an acceptable accuracy requires development of non-linear multi-dimensional models. As the input, these models should use biometric characteristics of stands which are measured by practical forest inventory: species composition, age, levels of productivity (site index classes) and relative stocking. Analytical form of the models should be able to describe non-monotonous dependences of live biomass components on variables used in the models. For this reason, traditional approaches that directly use traditional allometric regularities are not always appropriate for development of the adequate enough models.

A new approach, algorithms and software were developed for generating the models and tables of biological productivity of forest ecosystems. The latter includes age dynamics of live biomass and Net Primary Production of larch ecosystems by components and appropriate classification units (site index, forest type). The approach used did not have any previous analogues and is represented by a modeling system which allows consecutive improvement and modification of the models. In order to assess the accuracy of the models, the dependence of their accuracy on amount of experimental data used was quantified.

Dynamics of live biomass of larch forests by major components of live biomass (stem wood over bark; wood of branches; coarse and fine roots; needles; live biomass of understory, shrubs and green forest floor) reveal many specific features which are not resided for more southern taiga forests. In automorphic conditions, the total live biomass of the ecosystems increases up to 160 years, independently on level of productivity (the range of productivity of larch stands in the region is from IV to Vb site indexes). This is mostly explained by increasing mass of aboveground wood which reaches maximum values at this age. The mass of needles arrives at the maximum for one to three age classes earlier, while live biomass of understory, shrubs and green forest floor continues to increase up to the destructive stage of the stands. Dynamics of live biomass of humid and swamped sites have many common features with upland forests. However, maximums of above ground live biomass of forests on wetlands are less pronounced and shifted to higher ages. This is why, accumulation of total live biomass in meso-hydromorphic and hydromorphic conditions, as a rule, do not reveal any maximum up to 200-220 years. The share of belowground live biomass is substantially higher than in larch forests of more southern latitudes. The share of the mass of fine roots in the total amount is higher than in more productive larch forests of the south and mostly depends on age and level of productivity of forests.

5. Growth and development of larch forests of the region reveal specific regularities of age dynamics of Net Primary Production (NPP), which rapidly grows at young development stages. NPP of modal stands of zones of forest tundra and northern taiga is estimated at  $320 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  by 20 years in stands of III and  $160 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  in stands of V site indexes. Later, the rate of the increase of NPP slows down substantially, reaching the maximum at 60-200 years dependently on specifics of sites and level of productivity. The major reason of such dynamics is peculiarities of post fire restoration of larch forests: very dense young forests are usually formed after fire, but following ground fires on permafrost kill a substantial part of trees of these stands.

6. Larch forests accumulated a significant amount of organic carbon in soil and vegetation. Under stands' development without catastrophic fires, larch ecosystems serve as a net carbon sink practically during all the period of life of stands (up to 200-250, sometimes 350-400 years), although the rate of carbon

accumulation decrease substantially in old growth stands. The impacts of forest cover of large northern territories on the global carbon cycle are defined, to a significant extent, by disturbances regimes, mostly by wild fire. Fires that were occurring over the decade of 1993-2003 have decreased the forested area of larch stands of the region at 6.5 million hectares and substantially affected the carbon budget. The estimates of Chapter 5 show that Net Biome Production of the larch forests was negative (the emission to the atmosphere is estimated about 100 million ton carbon per year) and a soil carbon pool was significantly decreased. The expected climate change may dramatically accelerate this process. In addition, unexampled by area outbreaks of dangerous needle-gnawing pests that occurred in northern larch forests during the recent decades allow to assume that also this factor will significantly impact stability, productivity and biospheric role of larch ecosystems of Northern-Eastern Russia.

The region's forests are practically unmanaged. Prospects of increasing intensity of forest management in the region are more than problematic in spite of the extremely important environmental role which forests play at the northern edge of their existence. Such a situation hinders introduction of any relevant activities destined to protection of the region's forests and increase of their biospheric role. Evidently, the most important strategic task of the region's forest management is improvement of forest fire protection. Such activities should be part of an anticipating program of preparation and possible adaptation of northern landscapes to negative consequences of climate change.

It has been shown (Chapter 5) that only the full carbon account (including both technosphere and biosphere) corresponds to the eventual goals of the UN Framework Convention on Climate Change. If future developments of the post-Kyoto international negotiation process will lead to a practical implementation of this principle, one could suppose that economic backgrounds for relevant carbon management would also arise in remote larch ecosystems of Northern-Eastern Russia.

Overall conclusions and recommendations on improvements of forest management in the region could be expressed as the following.

- Larch forests continue to sequester carbon over the entire life period of the stands. Thus, the system of forest management should be oriented at a possible prolongation of the life cycle of larch stands including improving forest protection, increasing rotation period in exploitable forests, etc., that would increase resident time of carbon in the ecosystems.
- Low productive northern larch forests that are excluded from industrial exploitation due to economic (or ecological) reasons, are able to provide a substantial sink of carbon. However, in order to provide effective and stable carbon sequestration by region's forests, a special system of forest management should be developed and implemented. In the region, any

rational carbon management system means obligatory development of an effective system of forest fire management.

- Objectives and major components of carbon management in larch forests of the region should be considered as a subset of those of the sustainable forest management paradigm. Major parts of such a system are: (1) relevant spatial and functional classification of the forests; (2) system of monitoring of forest cover; (3) system of forest fire protection that would be adapted to the region's specifics; (4) development of a regional system of forest use including appropriate technologies of logging, age of harvest, annual allowable cut etc.
- Permafrost thawing is one of most dangerous threats for future state, functioning and even surviving of larch forests of Northern-Eastern Russia. This problem should be considered in two interconnected aspects. The first deals with the undesirable change of hydrological regime on large areas, increasing aridity in combination with physical destruction of northern landscapes due to thermocarst, soliflucation etc. The second one deals with concomitant acceleration catastrophic natural disturbances, mostly forest fire. Very likely, these two processes will dramatically increase already observed processes of northern steppization and "green" desertification. This defines an urgent and mandatory need of development and implementation of a system of adaptation of northern territories on permafrost to on-going and expected global change.

## Список литературы

1. **Абаимов, А.П.** О границах ареалов восточно-сибирских видов лиственниц / А.П. Абаимов, И.Ю. Коропачинский, С.А. Карпель // Бот. ж. – 1980. – Т.65. – № 1. – С. 118-120.
2. **Абаимов, А.П.** Лиственница Гмелина и Каяндера / А.П. Абаимов, И.Ю. Коропачинский. – Новосибирск, 1984. – 120 с.
3. **Абаимов, А.П.** Проблемы притундрового лесоводства Сибири / А.П. Абаимов, А.И. Бондарев // Лесное хозяйство. – 1994. – № 6. – С. 29-31.
4. **Абаимов, А.П.** Эколого-фитоценотическая оценка воздействия пожаров на леса криолитозоны Средней Сибири / А.П. Абаимов, С.Г. Прокушин, О.А. Зырянова // Сиб. экол. ж. – 1996. – № 1. – С. 51-60.
5. **Абаимов, А.П.** Лиственничные леса и редколесья севера Сибири (разнообразие, особенности экологии и лесообразовательного процесса): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Центр. сиб. ботан. сад СО РАН. Новосибирск, 1997. – 32 с.
6. **Абаимов, А.П.** Экологическая и лесообразующая роль пожаров в криолитозоне Сибири [В лиственничных лесах] / А.П. Абаимов, С.Г. Прокушин, О.А. Зарянова и др. // Лесоведение – 2001. – № 5. – С. 50-59.
7. **Аболин, Р.И.** Геоботаническое и почвенное описание Лено-Вилюйской равнины: тр. комиссии по изучению Якутской АССР / Р.И. Аболин – Т. 10. – М.: Изд-во АН СССР, 1929. – 378 с.
8. **Агеенко, А.С.** Ход роста лиственницы даурской в бассейне р. Амгуни / А.С. Агеенко // Амурский сб. – Вып. 2. – Хабаровск, 1960. – С. 329-336.
9. **Агроклиматический справочник по Якутской АССР.** – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 145 с.
10. **Адамчик, М.Н.** Лесная и кустарниковая растительность центральной части Анадырского бассейна / М.Н. Адамчик // Лесоводственные исследования на севере Дальнего Востока. Вып. 14. – Магадан, 1972. – С. 47-85.
11. **Азаренок, М. В.** Структура и географические закономерности распределения фитомассы лиственничников (на примере Северной Евразии): автореф. дис ... канд. с.-х. наук / М. В. Азаренок – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 2000. – 19 с.
12. **Алексеев, В.А.** Углерод в экосистемах лесов и болот России / В.А. Алексеев, Р.А. Бердси. – Красноярск: ИЛиД, 1994. – 532 с.
13. **Алексеев, В.А.** Статистические данные о лесном фонде и изменении продуктивности лесов России во второй половине XX века / В.А. Алексеев, М.В. Марков. – СПб: СПб лесной экол. центр, 2003. – 272 с.
14. **Аналитическое обеспечение мониторинга гумусового состояния почв: Методические рекомендации / составитель Б.М. Когут.** – М.: РАСХН, 1993. – 73 с.
15. **Анисимов, О.А.** Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных районах России / О.А. Анисимов, Белолуцкая М.А. // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 6. – С. 15-22.
16. **Анучин, Н.П.** Лесная таксация / Н.П. Анучин. – 5-е изд. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 552 с.
17. **Аринушкина, Е.В.** Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1970. – 487 с.
18. **Аткин, А.С.** О точности учёта различных фракций фитомассы в сосновых молодняках / А.С. Аткин // Леса и древесные породы Северного Казахстана. – Л.: Наука, 1974. – С. 57-63.



19. **Аткин, А.С.** Закономерности формирования органической массы в лесных сообществах: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. – Екатеринбург: УГЛА, 1994. – 40 с.
20. **Аткина, Л.И.** Особенности накопления подстилок в лесных сообществах / Л.И. Аткина, А.С. Аткин // Почвоведение. – 2000. – № 8. – С. 1004-1008.
21. **Бабич, Н.А.** Биологическая продуктивность лесных культур / Н.А. Бабич, М.Д. Мерзленко. – Архангельск: АГТУ, 1998. – 89 с.
22. **Базилевич, Н.И.** Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н.И. Базилевич. – М.: Наука, 1993а. – 293 с.
23. **Базилевич, Н.И.** Географические закономерности биологической продуктивности почвенно-растительных формаций Северной Евразии / Н.И. Базилевич // Почвоведение. – 1993б. – № 10. – С. 10-18.
24. **Балобаев, В.Т.** Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии / В.Т. Балобаев, М.К. Гаврилова, Ю.Б. Скачков и др. – Якутск: Якутский фил. СО РАН, 2003. – 53 с.
25. **Бахтин, А.А.** Анализ некоторых способов отбора деревьев для определения надземной фитомассы ели / А.А. Бахтин // Лесная таксация и лесоустройство. – Красноярск, 1988. – С. 100-104.
26. **Бирюкова, О.Н.** Запасы органического вещества и типы гумуса в почвах и торфах Севера Европейской части России / О.Н. Бирюкова, Д.С. Орлов // Почвоведение. – 1993. – № 10. – С. 39-56.
27. **Бобров, Е.Г.** История и систематика лиственниц / Е.Г. Бобров. – Л., 1972. – 92 с.
28. **Богданов, В.М.** Строение и рост лиственничных и сосновых насаждений юго-западной Якутии, особенности лесоустройства и организации лесного хозяйства в них: автореф. ... канд. с.-х. наук. / В.М. Богданов – Л., 1971. – 38 с.
29. **Богданов, В.М.** Ход роста лиственничников-брусничников юго-западной Якутии / В.М. Богданов, Г.А. Перцев // Лиственница: межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск: КрГУ, 1979. – С. 26-34.
30. **Богатырёв, Л.Г.** Терминологический словарь по биологическому круговороту / Л.Г. Богатырёв. – М.: МГУ, 1990. – 103 с.
31. **Бойченко А.М.** Притундровые лиственничные редколесья на междуречье Яны и Индигирки и вопросы лесопользования / А.М. Бойченко, А.П. Исаев, А.В. Протопопов // Пробл. притундрового лесоводства. – Архангельск, 1995. – С. 138-146.
32. **Бондарев, А.И.** Установление нормативов полноты в притундровых лиственничниках Средней Сибири // Лесн. хоз-во. – 1997. – № 2. – С. 44-45
33. **Бондарев, А.И.** Строение и нормативы таксации притундровых лесов северо-востока Красноярского края [Лиственница]: автореф. дис ... канд. с.-х. наук / А.И. Бондарев. – Красноярск: Краснояр. гос. технол. акад., 1995. – 19 с.
34. **Будыко, М.И.** Тепловой баланс поверхности земли / М.И. Будыко // Известия АН СССР. Сер. геогр., 1962. – № 1. – С. 6-16.
35. **Будыко, М.И.** Изменение климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. 280 с.
36. **Будыко, М.И.** Глобальная экология / М.И. Будыко. – М., 1977. – 327 с.
37. **Будыко, М.И.** Климат в прошлом и будущем / М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 130 с.
38. **Будыко, М.И.** Потепление 1980-х годов / М.И. Будыко, П.Н. Гройсман // Метеорология и гидрология. – 1989. – № 3.
39. **Будыко, М.И.** Ожидаемые изменения климата СССР в 2000 году / М.И. Будыко, П.Я. Гройсман // Метеорология и гидрология. – № 4. – 1991. – С. 84-94.
40. **Будыко, М.И.** Аналоговый метод оценки предстоящих изменений климата / М.И. Будыко // Метеорология и гидрология. – № 4. – 1991.
41. **Ваганов, Е.А.** Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарк-

- тике / Е.А. Ваганов, С.Г. Шиятов, И.В. Сви́дерская и др. // Новосибирск: Наука, 1985. – 108 с.
42. **Ваганов, Е.А.** Сезонный рост и структура годичных колец лиственницы на северном пределе леса / Е.А. Ваганов, Л.Г. Высотская, А.В. Шашкин // Лесоведение. – 1994. – № 5. – С. 3-15.
  43. **Валендик, Э.Н.** Борьба с крупными лесными пожарами / Э.Н. Валендик. – Новосибирск: Наука, 1990. – 193 с.
  44. **Васильев, В.Н.** Растительность Анадырского края / В.Н. Васильев. – М.-Л.: АН СССР, 1956. – 216 с.
  45. **Ведрова, Э.Ф.** Круговорот углерода в молодняках основных лесообразующих пород Сибири / Э.Ф. Ведрова, Л.В. Спиридонова, В.Д. Стаканов // Лесоведение. – 2000. №3. – С. 40-48.
  46. **Веневский, С.В.** Моделирование динамики древостоев на фазе разрушения / С.В. Веневский, А.З. Швиденко // Устойчивое развитие бореальных лесов: тр. VII ежегодной конф. Междунар. ассоциации исследователей бореальных лесов. М.: Федеральн. служба лесного хозяйства России, 1997. – С. 30-33.
  47. **Випер, В.Н.** Влияние подлеска и травяно-кустарничкового покрова на возобновление лиственничных лесов Центральной Якутии / В.Н. Випер – М.: Наука, 1973. 64 с.
  48. **Волков, С.В.** Ход роста лиственницы сибирской в водосборном бассейне верхнего течения р. Лены и её притоков / С.В. Волков, Н.Г. Косарев // Лиственница: межвуз. сб. науч. тр. / Красноярск: КрГУ, 1979. – С. 22-26.
  49. **Волотковская, Т.Н.** Биологическая активность мерзлотных лугово-чернозёмовидных почв долины реки Амга / Т.Н. Волотковская, Г.Н. Савинов // Проблемы гидротермики мерзлотных почв. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 37-40.
  50. **Вомперский, С.Э.** Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах / С.Э. Вомперский, А.И. Иванов, О.П. Цыганова и др. // Почвоведение. – 1994. – № 12. – С. 17-25.
  51. **Выводцев, Н.В.** Нормативные основы для ведения лесного хозяйства на севере Хабаровского края: Концептуальный аспект / Н.В. Выводцев, З.А. Выводцева, Е.Ю. Лысун. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1996. – 68 с.
  52. **Выводцев, Н.В.** Построение таблиц хода роста лиственничников максимальной производительности / Н.В. Выводцев, З.А. Выводцева // Пробл. рационального лесопользования на Дальнем Востоке: сб. научн. тр. / ДальНИИЛХ, Хабаровск. – Вып. 28. – 1986. – С. 20-31.
  53. **Выводцев, Н.В.** Прогнозирование продуктивности лиственничников на Дальнем Востоке / Н.В. Выводцев, З.А. Выводцева, Е.Ю. Лысун и др. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2000. – 70 с.
  54. **Габделхаков, А.К.** Фитомасса липняков лесостепи Башкирского Предуралья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Йошкар-Ола: МГТУ, 1997. – 24 с.
  55. **Габеев, В.Н.** Экология и продуктивность сосновых лесов / В.Н. Габеев. – Новосибирск: Наука, 1990. – 227 с.
  56. **Гаврилова, М.К.** Климаты холодных регионов Земли / М.К. Гаврилова. – Якутск: Якутский фил. СО РАН, 1998. – 208 с.
  57. **Глазов, М.В.** Структура и особенности функционирования биоты ельников южной тайги Валдая / М.В. Глазов // Организация экосистем ельников южной тайги. – М.: Ин-т геогр. АН СССР, 1979. – С. 10-39.
  58. **Галактионова, Т.Ф.** Лиственничные леса / Т.Ф. Галактионова // Растительность бассейна р. Вилюя. – М.-Л.: АН СССР, 1962. – С. 35-41.
  59. **Галиновский, В.И.** Лиственничные леса Восточной Сибири / В.И. Галиновский

- // Лесная индустрия. – 1938. – № 4. – С.45-48; № 5. – С. 56-50.
60. **Георгиевский, В. Ю.** Оценка воздействия предсказанного изменения климата на гидрологический режим и речных водных ресурсах на территории бывшего СССР / В. Ю. Георгиевский и др. // Метеорология и Гидрология. – № 11. – 1996. – С. 89-99.
  61. **Герасимов, И.П.** Восточно-Сибирская мерзлотно-таежная область / И.П. Герасимов // Почвенно-географическое районирование СССР (в связи с сельскохозяйственным использованием земель). – М., 1962.
  62. **Герасимов, И.П.** Верхоянская провинция / И.П. Герасимов, Н.Н. Розанов // Почвенно-географическое районирование СССР. – М., 1962. – С. 147-150.
  63. **Герасимова, М.И.** Почвенная карта СНГ М 1,4 млн. / М.И. Герасимова, И.П. Гаврилова, М.Д.Богданова и др. – М.: Роскартография, 1995.
  64. **Гитарский М.Л.** Расчетная оценка стока углерода в лесах России за последнее десятилетие / М.Л. Гитарский, Р.Т. Карабань, А.Н. Филипчук и др. // Пробл. экол. мониторинга и моделирования экосистем, 2002. – Т.18. – С. 261-275.
  65. **Глазовская, М.А.** Роль и функции педосферы в геохимическом углеродном цикле / М.А. Глазовская // Почвоведение. – 1996. – №2. – С. 174-186.
  66. **Глазовский, Н.Ф.** Принципы районирования территорий по условиям природной региональной миграции вещества // Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана природы. – Т. 120. – М.: Мысль, 1982. – С. 19-28.
  67. **Глинка, К.Д.** Очерк почв Якутии / К.Д. Глинка //Якутия. – Л.: изд-во АН СССР, 1927. – С. 131-164.
  68. **Говорушко, С.М.** Подземные льды и термокарст в низовьях р. Индигирки / Некрасов И.А., Геннадик Б.И. (ред.) Полевые и экспериментальные исследования мерзлых почв, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР. – Якутск. – С. 34-39.
  69. **Голиков, В.В.** Биологическая продуктивность сибирских хвойных пород / В.В. Голиков. – Красноярск: СТИ, 1976. – 100 с.
  70. **Гордина, Н.П.** Пространственная структура и продуктивность сосняков нижнего Енисея / Н.П. Гордина. – Красноярск: Изд-во. Краснояр. ун-та, 1985. – 126 с.
  71. **ГОСТ 16128-70.** Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М., 1970. – 23 с.
  72. **Григорьев, А.А.** Классификация климатов СССР / А.А. Григорьев, М.И. Будыко. – Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1959. – № 3. – С. 3-18.
  73. **Гутман, А.Л.** Моделирование фитомассы сосновых древостоев / А.Л. Гутман, В.В. Успенский // Тез. докл. всес. совещ. "Экспериментальное и математическое моделирование в изучении биогеоценозов лесов и болот", Западная Двина, 4 – 6 авг. 1987. – М.: 1987. – С. 92-94.
  74. **Дадыкин, В.Н.** Особенности поведения растений на холодных почвах / В.Н. Дадыкин. – М.: изд-во АН СССР, 1952. – 279 с.
  75. **Димо, В. М.** Тепловой режим почв СССР / В. М. Димо. – М., 1972. – 359 с.
  76. **Дылис, Н.В.** К характеристике лиственничных лесов Алданского нагорья / Н.В. Дылис // Тр. ин-та леса АН СССР. – Т. 3. – М.: АН СССР, 1950. – С. 293-318.
  77. **Дылис, Н.В.** Лиственница Восточной Сибири и Дальнего Востока / Н.В. Дылис. – М.: изд-во АН СССР, 1961. 210 с.
  78. **Дылис, Н.В.** Лиственница / Н.В. Дылис. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. 96 с.
  79. **Дьяконова, К.В.** Органические и минеральные вещества в лизиметрических растворах различных почв и их роль в современных процессах почвообразования / К.В. Дьяконова // Органическое вещество естественных и культивируемых почв. – М.: Наука, 1972. – С. 183-223.
  80. **Евдокименко, М.Д.** Послепожарная динамика микроклимата и гидротермиче-

- ского режима мерзлотных почв в лиственничниках Станового хребта // Сибирский экол. журн. – 1996. – № 1. – Вып.3. – С. 73-79.
81. **Еловская, Л.Г.** Систематический список почв мерзлотно-таежной области (на примере почв Якутии) / Л.Г. Еловская, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розанов // Почвы мерзлотной области. – Якутск: кн. изд-во, 1965.
  82. **Еловская, Л.Г.** Особенности генезиса и режима солей в условиях многолетней мерзлоты / Л.Г. Еловская, А.К. Коноровский // Материалы VIII Всесоюзного междувед. совещания по геоэкологии (мерзлотоведению). – Вып.2. – Якутск, 1966. – С. 212-218.
  83. **Еловская, Л.Г.** Систематический список почв мерзлотно-таежной области (на примере почв Якутии) / Л.Г. Еловская, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розанов // Почвы мерзлотной области. – Якутск: кн. изд-во, 1969. – С. 9-12.
  84. **Еловская, Л.Г.** К вопросу о классификации и систематике почв Якутии / Л.Г. Еловская, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розанов // Мерзлота и почва. – Вып. III. – Якутск: кн. изд-во, 1974. – С. 29-61.
  85. **Еловская, Л.Г.** Районирование и мелиорация мерзлотных почв в Якутии / Л.Г. Еловская, А.К. Коноровский. – Новосибирск: Наука, 1978. – 175 с.
  86. **Еловская, Л.Г.** Почвы северной Якутии / Л.Г. Еловская, Е.Н. Петрова, Л.В. Тетерина. – Новосибирск: Наука, 1979. – 304 с.
  87. **Ефремов, Д.Ф.** Долговременные экологические последствия лесных пожаров в лесах Дальнего Востока и их вклад в глобальные процессы / Д.Ф. Ефремов, А.З. Швиденко // Управление лесными пожарами на экорегиональном уровне. – М.: Алекс, 2004. – С. 66-73.
  88. Живая планета. Доклад Всемирного фонда дикой природы (WWF) – Россия, 2006. – 42с.
  89. **Забелин, О.Ф.** Последствия пожаров в лиственничниках брусничных на почвах с многолетней мерзлотой: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / О.Ф. Забелин. – Красноярск, 1978. – 24 с.
  90. **Залющ, М.Н.** Водно-тепловой режим и рекультивация отвалов горных пород в условиях Центральной Колымы / Некрасов И.А., Геннадиник Б.И. (ред.) Полевые и экспериментальные исследования мерзлых почв, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР. – Якутск. – С. 39-49.
  91. **Замолотчиков, Д.Г.** Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам / Д.Г. Замолотчиков, А.И. Уткин, Г.Н. Коровин // Лесоведение. – 1998. – № 3. – С. 84-93.
  92. **Зольников, В.Г.** Почвы и природные зоны Земли. – Л.: Наука, 1970. – 340 с.
  93. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. Карта масштаба 1:8000000 / Огуреева Г.Н. (ред.). – М.: МГУ. – 1999.
  94. **Иванов, Л.А.** Физиология растений. – Л.: Гослестехиздат, 1936. – 386 с.
  95. **Иванова, Г.А.** Климатическая изменчивость прироста лиственницы в Центральной Эвенкии / Г.А. Иванова, Н.Н. Волосатова, О.И. Левкина // Ботан. исследования в Сибири. – Вып. 7. – Красноярск. 1999. – С. 113-117.
  96. **Иванова, Е.Н.** Новые материалы по общей географии и классификации почв полярного и бореального пояса Сибири / Е.Н. Иванова, Н.Н. Розанов, А.А. Ерохина и др. // Почвоведение. – 1961. – № 11 – с. 7-23.
  97. **Иванова, Е.Н.** Мерзлотно-таежные почвы Северной Якутии / Е.Н. Иванова // Почвоведение. – 1965. – № 7. – С. 17-21.
  98. **Игнатенко, И.В.** Почвенно-географическое районирование Крайнего Северо-Востока СССР / И.В. Игнатенко, Е.М. Наумов, И.Е. Богданов и др. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. – С. 44-96.

99. **Игнатенко, И.В.** Подбуры Крайнего Северо-Востока СССР / И.В. Игнатенко, Н.В. Хавкина // География и генезис почв Магаданской области. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. – С. 93-117.
100. Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. Ч.1. Организация лесоустройства. Полевые работы. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. – С. 52-58.
101. **Исаев, А.П.** Лиственничные леса северотаёжной подзоны Якутии и лесовозобновление на вырубках: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.П. Исаев. – Красноярск, 1993. – 21 с.
102. **Исаев, А.С.** Стволовые вредители даурской лиственницы. М.: Наука, 1966.
103. **Исаев, А.С.** Низовые пожары в лиственничных лесах Восточной Сибири и значение стволовых вредителей в послепожарном состоянии древостоя / А.С. Исаев, А.И. Уткин // Защита лесов Сибири от насекомых вредителей. – М.: АН СССР, 1963. – С. 118-183.
104. **Исаев, А.С.** Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России (Аналитический обзор) / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.И. Сухих и др. – М.: Центр экол. политики России, 1995. – 155 с.
105. **Исаев, А.С.** Оценка запасов и годовичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, А.И. Уткин и др. // Лесоведение. – 1993. – № 6. – С. 3-10.
106. **Исаев, А.С.** Углерод в лесах северной Евразии. Круговорот углерода на территории России / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин // Избранные тр. по проблеме: Глобальная эволюция биосферы. Антропогенный вклад. – М., 1999. – С. 63-95.
107. **Исаченко, А.Г.** Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / А.Г. Исаченко. – М.: Высшая школа, 1991. – 368 с.
108. **Кабанов, Н.Е.** Типы лиственничных лесов Камчатки / Н.Е. Кабанов // Леса Камчатки и их лесохозяйственное значение. – М.: АН СССР, 1963. – С.12-125.
109. **Калашников, Е.Н.** Ландшафтные методы инвентаризации и картографирования лесов / Е.Н. Калашников // Актуальные вопросы исследования лесов в Сибири – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1981. – С. 61-63.
110. **Калашников, Е.Н.** Исследования лесных ландшафтов дистанционными методами (на примере Ангаро-Енисейского региона) // Исследования лесов аэрокосмическими методами. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 10-34.
111. **Караваяев, М.Н.** Конспект флоры Якутии. – М.-Л., 1958. – 190 с.
112. **Карелин, Д.В.** Запасы и продукция углерода в фитомассе тундровых и лесотундровых экосистем России / Д.В. Карелин; Д.Г. Замолотчиков; Т.Г. Гильманов // Лесоведение. – 1995. – № 5. – С. 29-36.
113. **Карпачевский, Л.О.** К истории хвойных лесов на Камчатке / Л.О. Карпачевский, Е.П. Метельцева // Бот. журн. – 1966. – Т.51. – № 1. – С. 119-124.
114. **Карпачевский, Л.О.** К характеристике лесных почв центральной части долины р. Камчатки / Л.О. Карпачевский // Научн. докл. высш. школы. Биол. науки. – 1972. – № 8. – С. 119 – 126.
115. **Карпенко, А.С.** Основные закономерности растительного покрова Индигиркой изменности / А.С. Карпенко // Бот. ж. – 1958. – Т. 43. – №1. – С. 70-75.
116. **Киреев, Д.М.** Ландшафтный подход при лесном дешифрировании аэроснимков / Д.М. Киреев // Аэрофотосъемка и картографировании лесов Сибири. – М: Наука, 1966. – С. 105-119.
117. **Киреев, Д.М.** Программа и методика изучения лесных ландшафтов с применением аэрометодов / Д.М. Киреев // Ландшафтный метод дешифрирования аэ-

- роснимков. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 44-71.
118. **Киреев, Д.М.** Структура таежных ландшафтов и методы её дистанционного изучения (на примере Западно-Сибирской лесоболотной равнины) / Д.М. Киреев. – Новосибирск: Наука, 1979. – С. 11-59.
  119. **Киреев, Д.М.** Ландшафтно-морфологическое картографирование лесов / Д.М. Киреев, В.Л. Сергеева. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1992. – 60 с.
  120. **Колесников, Б.П.** Очерк растительности Дальнего Востока / Б.П. Колесников. – Хабаровск, 1955. – 104 с.
  121. **Колесников, Б.П.** О генетической классификации типов леса и задачах лесной типологии в восточных районах СССР / Б.П. Колесников // Известия Сиб. отд. АН СССР, 1958. – № 4. – С. 3-15.
  122. **Колесников, Б.П.** Генетическая классификация типов леса и некоторые ближайшие задачи её совершенствования / Б.П. Колесников // Тр. казах. НИИ лесн. хоз-ва. – 1966. – № 5. – С. 38-54.
  123. **Комаров, В.Л.** Введение и изучение растительности Якутии / В.Л. Комаров // Тр. комиссии по изучению Якутской АССР. – Т.1. – Л., 1926. – 168 с.
  124. **Комин, Г.Е.** Методика определения возраста деревьев в заболоченных лесах // Зап. Свердловского отд. ВБО. – Вып. 3. – Свердловск, 1964. – С. 133-140.
  125. **Короходкина, В.Г.** Влияние пожаров на температуру и влажность лесных почв // Почвенные исследования в Якутии. – Якутск, 1974. – С. 103-109.
  126. **Корякин, В.Н.** Продуктивность хвойных лесов Камчатки как объекта рубок главного пользования / В.Н. Корякин, Н.В. Романова // Тр. ДальНИИЛХ. – Хабаровск, 1988. – Вып. 30. – С. 61-75.
  127. **Корякин, В.Н.** Использование типовых линий для построения таблиц хода роста лиственничных насаждений / В.Н. Корякин, Н.В. Выводцев, З.А. Выводцева // Тр. ДальНИИЛХ. – Хабаровск, 1982. – Вып. 24. – С. 73-83.
  128. **Котляров, И. И.** Основные типы долинных лиственничников юга Магаданской области / И. И. Котляров // Лесоводственные исследования на севере Дальнего Востока. Тр. ДальНИИЛХ. – Вып. 14. – Магадан, 1972. – С.22-46.
  129. **Котляров, И. И.** Горные лиственничники юга Магаданской области / И. И. Котляров // Использование и воспроизводство ресурсов Дальнего Востока. – Хабаровск, 1975 – С. 26-71.
  130. **Красиков, И.И.** Ход роста лиственничников бассейна реки Курейки правого притока Енисея / И.И. Красиков // Лиственница и её использование в народном хозяйстве. – Красноярск: КГУ, 1981. – С. 8-11.
  131. **Красиков, И.И.** Динамика надземной фитомассы лиственничных древостоев Южной Эвенкии / И.И. Красиков // Лиственница и её комплексная переработка. – Красноярск, 1987. – С. 23-27.
  132. **Куделя, В.А.** Строение, товарность и особенности таксации лиственничных древостоев Центральной Якутии: автореф. ... дис. канд. с.-х. наук / В.А. Куделя. – Киев, 1985. – 22 с.
  133. **Куделя, В.А.** Лиственничные древостои Центральной Якутии / В.А. Куделя. – Красноярск: ИЛИД, 1988. – 220 с.
  134. **Кузьмичев, В.В.** Закономерности роста древостоев / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.
  135. **Курбанов, Э.А.** Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района России / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 300 с.
  136. **Курнаев, С.Ф.** Лесорастительное районирование СССР / С.Ф. Курнаев. – М.: Наука, 1973. – 202 с.
  137. **Лавренко, Е.М.** Основные вопросы изучения биологической продуктивности

- наземных растений и их сообществ / Е.М. Лавренко, В.М. Понятовская // Бот. журн. – Т. 52. – № 11. – 1967.
138. **Лакида, П.И.** Фитомасса лесов Украины. – Тернополь: Збруч, 2002. – 256 с.
139. Ландшафтная таксация и формирование насаждений пригородных зон. – Л.: Стройиздат, 1977. – 224 с.
140. **Лебедева, Е.А.** Модифицированный метод определения органического вещества в лесных подстилках / Е.А. Лебедева, А.И. Золотухина // Почвоведение. – 1989. – № 4. – С. 148-151.
141. **Лебков, В.Ф.** Углерододепонирующие функции спелости сосняков и ельников Европейского региона России / В.Ф. Лебков, М.Ф. Каплина // Лесн. хоз-во. – 1995. – № 1. – С. 2-4.
142. Лесной фонд России (по учёту на 1 января 1993 г.) / Справочник. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. – 280 с.
143. Лесной фонд России (по данным гос. учёта лесного фонда по состоянию на 1 января 1998 г.) / Справочник. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. – 650 с.
144. Лесной фонд России (по данным государственного учёта лесного фонда по состоянию на 1 января 2003 г.) / Справочник. – М.: ВНИИЛМ, 2003. – 640 с.
145. **Лукичева, А.Н.** Растительность северо-запада Якутии и её связь с геологическим строением местности. – М.-Л.: изд-во АН СССР. – 1963. – 168 с.
146. **Мажитова, Г.Г.** Пирогенная динамика мерзлотных почв Колымского нагорья / Г.Г. Мажитова // Почвоведение. – 2000. – № 5. – С. 619-629.
147. **Макаревский, М.Ф.** Запас и баланс органического углерода в лесных и болотных биогеоценозах / М.Ф. Макаревский // Экология. – 1991. – № 3. – С. 3-10.
148. **Макеев, О.В.** Криогенные почвы / О.В. Макеев // Криогенные почвы и их рациональное использование. М., 1977. – С. 64-68.
149. **Макеев, О.В.** Мерзлота как фактор почвообразования / О.В. Макеев // Пробл. почвоведения. – М., 1978. – С. 196-201.
150. **Макеев, О.В.** Фации почвенного криогенеза и особенности организации в них почвенных профилей / О.В. Макеев. – М.: Наука, 1981. – 88 с.
151. **Матвеев, П.М.** Последствия пожаров в листовенных биогеоценозах на многолетней мерзлоте: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Йошкар-Ола, 1992. – 49 с.
152. **Матвеев, П.М.** К оценке роли огня в листовенных древостоях на мерзлотных почвах / П.М. Матвеев, А.П. Абаимов // Лесные пожары и их последствия. – Красноярск, 1980. – С. 123-129.
153. **Медоуз, Д.** Пределы роста. 30 лет спустя / Донелла Медоуз, Йорген Рандерс, Денис Медоуз. / Пер. с англ. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 342 с.
154. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова, В.В. Смирнов и др. – М.: Мысль, 1978. – 182 с.
155. **Моисеев, Б.Н.** Расчеты возможной реакции лесов России на глобальное потепление климата / Б.Н. Моисеев, В.В. Страхов // Лесн. хоз-во. – 2002. – № 4. – С. 5-8.
156. **Моисеев, Б.Н.** Оценка потоков и баланс органического углерода в основных биомах России / Б.Н. Моисеев, И.О. Алябина // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». – 2004. – №1. – С. 61-69.
157. **Моисеев, Н.Н.** Быть или не быть ... человечеству? – М., 1999. – 288 с.
158. **Москалюк Т.А.** Первичная продуктивность и биологический круговорот в листовенниках севера Дальнего Востока / Т.А. Москалюк, А.А. Пугачёв // Лесоведение. – 2007. – № 6. – С. 55-64.
159. **Митрофанов, Д.П.** Химический состав лесных растений Сибири / Д.П. Митрофанов. – Наука: Новосибирск, 1977. – 119 с.

160. **Молчанов, А.А.** Влияние леса на почву и гидрологические условия / А.А. Молчанов // Сб. работ по геоботанике, ботанической географии, систематике растений и палеогеографии. – М., 1960. – С. 194-204.
161. **Молчанов, А.А.** Методика изучения прироста древесных растений / А.А. Молчанов, В.В. Смирнов – М., 1967. – 95 с.
162. **Морозов, Г.Ф.** Учение о типах насаждений. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1930. – 410 с.
163. **Москалюк, Т.А.** Запасы и структура растительной массы в основных типах лиственничников Северного Охотоморья / Т.А. Москалюк // Биологический круговорот в тундролесьях юга Магаданской области. – Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1979. – С. 16-28.
164. **Москалюк, Т.А.** Структура и продуктивность лесов северного Охотоморья / Т.А. Москалюк. – Владивосток, 1988. – 144 с.
165. МПР. Справка «Об итогах работы МПР России в 2002 году и задачах природоохранного и природоресурсного комплекса в 2003 году». – М, 2003. – 60 с.
166. **Назимова, Д.И.** Географическая модель лесорастительных зон и биомов Северной Евразии на базе данных по климату / Д.И. Назимова // Ботан. исследования в Сибири. – Красноярск, 1994. – Вып. 2. – С. 61-72.
167. **Назимова, Д.И.** Климатическая ординация лесных экосистем как основа их классификации / Д.И. Назимова // Лесоведение. – 1995. – № 4. – С. 63-73.
168. **Назимова, Д.И.** Секторно-зональные закономерности структуры растительного покрова (на примере гор южной Сибири и бореальной Евразии): дис. в форме науч. докл. ... докт. биол. наук / Д.И. Назимова. – Красноярск, 1998. – 50 с.
169. **Науменко, З. М.** О типологии лиственничных лесов Крайнего Северо-Востока // ИВУЗ Лесной журн. – 1968. – № 4. – С. 154-155.
170. **Науменко, З.М.** Леса Магаданской области / З.М. Науменко // Леса СССР. – М.: Наука, 1969. – Т. IV. – С. 701-713.
171. **Наумов, Е.М.** Таежные мерзлотные почвы Северной Колымы и Чукотки / Е.М. Наумов // Почвы мерзлотных областей. – Якутск, 1969. – С. 243-245.
172. **Наумов, Е.М.** Главные типы генетических почвенных профилей и особенности почвенного покрова таежной зоны крайнего северо-востока // Почвы и растительность мерзлотных районов СССР (Материалы V Всесоюзного симпозиума). – Магадан, 1973. – С. 48-55.
173. **Наумов, Е.М.** Криоаридные почвы северного полюса холода / Е.М. Наумов // Мерзлота и почва. – Якутск, 1974. – С. 104-110.
174. **Наумов, Е.М.** Почвенная карта Северо-Восточной Евразии. – 1:2500000 / Е.М. Наумов. – Киев: ГУГ, КиК при кабинете Министров Украины, 1993.
175. **Наумов, Е.М.** Почвы и почвенный покров Северо-Востока Евразии: дис. в форме науч. докл. ... докт. с.-х. наук / Е.М. Наумов. – М., 1993. – 63 с.
176. **Наумов, Е.М.** Особенности таежного почвообразования на Крайнем Северо-Востоке Азии / Е.М. Наумов, Б.П. Градусов– М.: Колос, 1974. – 147 с.
177. **Недригайлов, С.Н.** Лесные ресурсы и лесная хозяйственная деятельность в Якутии / С.Н. Недригайлов // Якутия. – Л.: изд-во АН СССР, 1927. – С. 517-574.
178. **Недригайлов, С.Н.** Лесной покров и лесные ресурсы северо-западного края ЯССР / С.Н. Недригайлов // Лесные ресурсы Якутии. М., 1932. – Вып. 3 (Тр. СОПС АН СССР). – С. 121-124.
179. **Некрасов, И.А.** Вечная мерзлота Якутии. – Якутск: кн. изд-во, 1984. – 120 с.
180. **Нильссон С.** Углеродный бюджет растительных экосистем России / С. Нильссон, Е. Ваганов, А. Швиденко и др. // Докл. акад. наук. – 393. – № 4. – С. 541-543.
181. Новая Россия: Информационно-статистический альманах. – М.: МАИ, 1994. – 736 с.



182. Общее мерзлотоведение. – Новосибирск: Наука, 1974. – 291 с.
183. Общесоюзные нормативы для таксации лесов: Справочник / В.В.Загребев, В.И.Сухих, А.З.Швиденко и др. – М.: Колос, 1992. – 495 с.
184. **Одум, Е.** Основы экологии / Е. Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
185. **Онучин, А.А.** Опыт таксации фитомассы сосновых древостоев / А.А. Онучин, А.Н. Борисов. – Лесоведение. – 1984. – № 6. – С. 66-71.
186. **Орлов, Д.С.** Запасы органических соединений в почвах Российской Федерации / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова // Почвоведение – 1995. – №1. – С. 21-32.
187. **Орлов, М.М.** Лесоустройство. Т.1. Элементы лесного хозяйства. – Л.: Изд. ж-ла «Лесное хозяйство, лесопромышленность и топливо», 1927. – 428 с.
188. ОСТ 56 69 83 Пробные площади лесоустроительные. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 20 с.
189. **Панарин, И.И.** Горные леса зоны БАМ / И.И. Панарин, Д.П. Митрофанов, Л.Н. Исаева. – Новосибирск: Наука, 1980. – 222 с.
190. **Плешиков, Ф.И.** Цикл углерода в лиственничниках северной тайги / Ф.И. Плешиков, Э.Ф. Ведрова, В.Я. Каплунов, Л.В. Мухортова и др. // Докл. РАН, 2003. – Т. 388. – № 2. – С. 246-248.
191. **Плохинский, Н.А.** Биометрия / Н.А. Плохинский. – М.: МГУ, 1970. – 368 с.
192. **Поварницын, В.А.** Леса Лено-Алданского водораздела по Саньяхтатской тропе / В.А. Поварницын // Лесные ресурсы Якутии. – Тр. СОПС АН СССР. – Сер. Якутск. – Вып.3. – Л., 1932. – С. 103-119.
193. **Поварницын, В.А.** Типы лесов сибирской лиственницы СССР / В.А. Поварницын // Сиб. лесотехн. ин-т. Сб. тр. – Л.: Гослестехиздат, 1941. – С. 17-51.
194. **Поздняков, Л.К.** Леса верхнего течения Яны / Л.К. Поздняков // Соц. строительство. – Якутск, 1941. – № 3. – С. 56-67.
195. **Поздняков, Л.К.** О ходе роста даурской лиственницы Верхоянского района Якутской АССР. – Докл. АН СССР, 1948. – Т. 60. – № 2. – С. 301-304.
196. **Поздняков, Л.К.** Сортиментные таблицы для даурской лиственницы / Л.К. Поздняков. – М., 1955.
197. **Поздняков, Л.К.** Естественное возобновление даурской лиственницы а бассейне реки Яны // Тр. ин-та леса АН СССР, 1958. – Т. 37. – С. 95-107.
198. **Поздняков, Л.К.** Леса верхнего течения Яны // Материалы о лесах Якутии – тр. ин-та биологии ЯФ АН СССР. – М., 1961. – Вып. VII. – С. 162-242.
199. **Поздняков, Л.К.** Лиственничные и сосновые леса Верхнего Алдана / Л.К. Поздняков. – М., АН СССР, 1961. – 174 с.
200. **Поздняков, Л.К.** Влияние беглых низовых пожаров на режим влажности и температуру почвы // Лесное хозяйство. – 1963а. – № 4. – С. 62-63.
201. **Поздняков, Л.К.** Гидроклиматический режим лиственничных лесов Центральной Якутии / Л.К. Поздняков. – М.: АН СССР, 1963б. – 146 с.
202. **Поздняков, Л.К.** Лиственничные леса Якутии (эколого-лесоводственная характеристика и научное обоснование некоторых лесохозяйственных мероприятий). Автореф. дис. ... докт. наук. – Красноярск, 1963в. – 44 с.
203. **Поздняков, Л.К.** Элементы биологической продуктивности светлохвойных лесов Якутии / Л.К. Поздняков // Лесоведение. – 1967. – № 6. – С. 36-42.
204. **Поздняков, Л.К.** Леса Якутской АССР / Л.К. Поздняков // Леса СССР. – Т.4. – М.: Наука, 1969. – С. 469-537.
205. **Поздняков, Л.К.** Лесное ресурсоведение. М.: – Наука, 1973. – 120 с.
206. **Поздняков, Л.К.** Даурская лиственница. – М.: Наука, 1975. – 296 с.
207. **Поздняков, Л.К.** Таблицы для определения объемов стволов. Лиственница. Якутская АССР / Л.К. Поздняков // Справочное пособие по таксации лесов Си-

- бири. – Т.1. – Красноярск: СТИ, 1975. – С.100-101.
208. **Поздняков, Л.К.** Мерзлотное лесоведение / Л.К. Поздняков. – Новосибирск: Наука, 1986. – 191 с.
209. **Поздняков, Л.К.** Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии / Л.К. Поздняков, В.В. Протопопов, В.М. Горбатенко. – Красноярск: Красноярск. книж. изд-во, 1969. – 156 с.
210. **Пономарева, В.В.** Закономерности миграции и накопления элементов в подзолистых почвах (лизиметрические измерения) / В.В. Пономарева, Н.С. Плотникова // Биогеохимические процессы в подзолистых почвах. – Ленинград: Наука, 1972. – С. 6-65.
211. **Попов, А.И.** Мерзлотоведение и гляциология / А.И. Попов, Г.К. Тушинский. – М.: Высш. шк., 1973. – 272 с.
212. **Попов, Л.В.** Южнотаежные леса Средней Сибири / Л.В. Попов – Иркутск: Изд-во Иркут.ун-та, 1982. – 330 с.
213. **Прахов, Н.Н.** Основные элементы растительности Верхоянского хребта / Н.Н. Прахов // Тр. Ин-та биологии ЯФ АН СССР, 1957. – Вып. III. – С. 36-67.
214. Программа и методика биогеоценологических исследований. – М.: Наука, 1966. – 50 с.
215. **Прокушкин, С.Г.** Минеральное питание сосны / С.Г. Прокушкин – Новосибирск: Наука, 1982. – 190 с.
216. **Протопопов, В.В.** Биологическая продуктивность горных лесов Западного Саяна. / В.В. Протопопов // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. с.59-65.
217. **Пряжников, А.А.** Запасы углерода в фитомассе и почве лесных и тундровых экосистем Российского Севера / А.А. Пряжников, О.В.Честных; Д.В. Карелин и др. // Освоение Севера и проблемы рекультивации: тез. докл. III Междунар. конф. – Сыктывкар, 1996. – С. 160-163.
218. **Пузаченко, Ю.Г.** Структура растительности лесной зоны СССР / Ю.Г. Пузаченко, В.С. Скулкин. – М: Наука, 1981. – 276 с.
219. **Пшеничникова, Л.С.** Продуктивность сосновых молодняков разной густоты / Л.С. Пшеничникова // Факторы продуктивности леса: сб. науч. тр. – Новосибирск: Наука, 1989. – С. 36-52.
220. **Ремезов, Н.П.** Методические указания к изучению биологического круговорота зольных веществ и азота наземных растительных сообществ в основных природных зонах умеренного пояса / Н.П. Ремезов, Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич // Бот. журн. – 1963. – 48. – № 6.
221. **Репях, С.М.** Кормовые добавки из древесной зелени / С.М. Репях, Э.Д. Левин. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 95 с.
222. **Родин, Л.Е.** Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара / Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич. – М.-Л.: Наука, 1965.
223. **Родин, Л.Е.** Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л.Е. Родин, Н.П. Ремезов, Н.И. Базилевич. – Л., 1968. – 143 с.
224. **Рождественский, С.Г.** Оценка пригодности регрессионных уравнений разного вида для аппроксимации фитомассы и годичной продукции древостоев / С.Г. Рождественский, Н.А. Ильина, Я.И. Гульбе и др. // Тез. докл. Всес. совещ. "Стабильность и продуктивность лесных экосистем", Тарту, 29-31 окт., 1985. – Тарту, 1985. – С. 113-115.
225. **Рожков, В.А.** Почвенная информатика. – М.: Агропромиздат, 1989. – 221 с.

226. **Рожков, В.А.** Проблемы информационного обеспечения систем управления и функционирования бореальных лесов / В.А. Рожков, Михайлов С.И., Карпачевский М.Л. и др. // Тр. VII ежегодной конф. МАИБЛ. Устойчивое развитие бореальных лесов. – М.: Фед. служба лесного хозяйства России, 1997. – С. 92-97.
227. **Романкевич, Е.А.** Цикл углерода в арктических морях России / Е.А. Романкевич, А.А.Ветров. – М: Наука, 2001. – 301 с.
228. **Рыбинская, А.П.** Биохимическая характеристика коры осины и березы как кормового ресурса на Европейском Севере / А.П. Рыбинская, Н.А. Туфанова // Интенсификация подсоски и использования вторичной продукции леса. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1986. – С.121-128.
229. **Саввинов, Д.Д.** Основные этапы исследования гидротермического режима мерзлотных почв Якутии / Д.Д. Саввинов // Почвенные исследования в Якутии. – Якутск: кн. изд-во, 1974. – С. 72-90.
230. **Саввинов, Д.Д.** Гидротермический режим почв в зоне многолетней мерзлоты / Д.Д. Саввинов. – Новосибирск: Наука, 1976. – 254 с.
231. **Сафронов, М.А.** Пирологическое районирование притундровых лесов Сибири / М.А. Сафронов, А.В. Волокитина // Пробл. притундрового лесоводства. – Архангельск: Природа Севера, 1995. – С. 90-103.
232. **Сафронов, М.А.** Методика оценки баланса углерода по динамике биомассы в пирогенных сукцессиях / М.А. Сафронов, А.В. Волокитина // Лесоведение. – 1998. – № 3. – С. 36-42.
233. **Сафронов, М.А.** Влияние пожаров на баланс углерода в бореальной зоне Северной Евразии: создание информационной базы для моделей / М.А. Сафронов, А.З. Швиденко, И.Г. Голдаммер и др. // Лесоведение. – 2000. – № 4. – С. 3-8.
234. **Свалов, Н.Н.** Строение листовенных древостоев Магаданской области и таблицы объемов стволов / Н.Н. Свалов // Лиственница. Межвуз. сб. науч. тр. – Т.V – Красноярск: СТИ, 1974. – С. 8-13.
235. **Седых, В.Н.** Лесообразовательный процесс: понятия и методы исследования / В.Н. Седых // Теория лесообразовательного процесса. Тез. Докл. Всесоюзн. Совещ. – Красноярск, 1991а. – С. 139-142.
236. **Седых, В.Н.** Аэрокосмический мониторинг лесного покрова / В.Н. Седых. – Новосибирск: Наука, 1991б. – 239 с.
237. **Седых, В.Н.** Лесообразовательный процесс в зависимости от факторов воздействия / В.Н. Седых // Теория лесообразовательного процесса. Тез. Докл. Всесоюзн. Совещ. – Красноярск, 1991в. – С. 142-143.
238. **Семечкин, И.В.** Принципы таксации и выделения разновозрастных древостоев / И.В. Семечкин // Разновозрастные леса Сибири, дальнего Востока и Урала и ведение хозяйства в них. – Красноярск: кн. изд-во, 1967. – С. 5-13.
239. **Семечкин, И.В.** Динамика возрастной структуры древостоев и методы её изучения / И.В. Семечкин // Вопросы лесоведения. – Т.1. – Красноярск, ИлиД, 1970. – С. 422-444.
240. **Семечкин, И.В.** Структура и динамика кедровников Сибири / И.В. Семечкин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 254 с.
241. **Семечкина, М.Г.** Структура фитомассы сосняков / М.Г. Семечкина. – Новосибирск: Наука, 1978. – 165 с.
242. **Семечкина, М.Г.** Оценка методов определения наземной фитомассы сосновых древостоев / М.Г. Семечкина, И.В. Семечкин // Исследование биологических ресурсов средней тайги Сибири. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1973. – С. 105-115.
243. **Сидорова, О.В.** Рекордсмены долголетия среди древесных видов /

- О.В.Сидорова, М.М. Наурзбаев, Е.А. Ваганов // Лесн. хоз-во. – 2005. – №6. – С. 23-24 (39).
244. **Смирнова, К.М.** Круговорот азота и зольных элементов в ельнике сложном / К.М. Смирнова // Вестн. МГУ. – 1951. – № 10.
245. **Сныткин, Г.В.** Лесные пожары и борьба с ними на Крайнем Северо-Востоке Сибири: автореф. дис. ... к. с.-х. наук / Г.В. Сныткин. – М., 2002. – 48 с.
246. **Соколов, В.А.** Структура и динамика таёжных лесов / В.А. Соколов, А.С. Аткин, С.К. Фабер и др. – Новосибирск: Наука, 1994. – 168 с.
247. **Соколов, И.А.** Взаимодействие почвы и среды: почва-память и почва-момент / И.А. Соколов, В.О. Таргульян // Изучение и освоение природной среды. – М., 1976. – С. 150-164.
248. **Соколов, И.А.** О разнообразии форм гидроморфного неглеевого почвообразования / И.А. Соколов // Почвоведение. – 1980. – № 2.
249. **Соколов, И.А.** Палевые почвы северной тайги Восточной Сибири и Дальнего Востока / И.А. Соколов, Быстряков Г.М. – Вестн. МГУ. Сер.17. Почвоведение. – 1980. – № 1. – С. 30-37.
250. **Соколов, И.А.** Почвы севера: эколого-генетическая, географическая и классификационно-номенклатурная концепция / И.А. Соколов, Г.М. Быстряков, А.О. Макеев и др. // Геохимия ландшафтов и география почв. – М.: МГУ, 1982. – С. 128-145.
251. **Соколов, В.А.** Состояние и теоретические основы формирования липняков / В.А. Соколов. – Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во. – 20 с.
252. Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Вып. 24. – 169 с.
253. Справочник для таксации лесов Дальнего Востока. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1990. – 526 с.
254. Справочное пособие по таксации и устройству лесов Сибири. – Красноярск: кн. изд-во, 1966. – 378 с.
255. **Стариков, Г.Ф.** Леса Чукотки / Г.Ф. Стариков, П.Н. Дьяконов // Магадан: Обл. кн. изд-во, 1955. – 112 с.
256. **Стариков, Г.Ф.** Леса Магаданской области / Г.Ф. Стариков. – Магадан: кн. изд-во, 1958. – 224 с.
257. **Старк, С.К.** Леса Верхнеколымского района / С.К. Старк. – М., 1933. – 40 с.
258. **Степанов, Г.М.** Лесовозобновление на гарях в северной тайге Якутии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Г.М. Степанов. – Красноярск, 1985. – 24 с.
259. **Степанов, Г.М.** Температурный режим мерзлотных почв на гарях северной Якутии / Г.М. Степанов // Лесоведение. – 1988. – №5. – С. 67-71.
260. **Страхов, В.В.** Глобализация лесного хозяйства / В.В.Страхов, А.И. Писаренко, В.А. Борисов – М.: ВНИИЦлесресурс, 2001. – 400с.
261. **Страхов В.В.** Ожидаемое влияние климатической конвенции на лесной сектор (о киото-углероде и древесном биотопливе) / В.В. Страхов, А.И. Писаренко, А.М. Алферов и др. // Лесн. хоз-во. – 2004. – № 1. – С. 10-12.
262. **Строчинский, А.А.** Модели роста и продуктивность оптимальных древостоев / А.А. Строчинский, А.З. Швиденко, П.И. Лакида. – Киев: Изд-во УСХА, 1992. – 144 с.
263. **Сукачев, В.Н.** Труды Амурской экспедиции. – 1912. – Вып. 16. – 286 с.
264. **Сукачев, В.Н.** Методические указания к изучению типов леса / В.Н. Сукачев, С.В. Зонн. – М.: изд-во АН СССР, 1961. – 144 с.
265. **Сукачев, В.Н.** Программа и методика биогеоценотических исследований / В.Н. Сукачев, Н.В. Дылис. – М.: Наука, 1966. – 334 с.
266. **Сумгин, М.И.** Вечная мерзлота почвы в пределах СССР / М.И. Сумгин. – М.:

- изд-во АН СССР, 1937. – 379 с.
267. **Сухих, В.И.** Мониторинг лесов: Вопросы системного анализа / В.И. Сухих, А.З. Швиденко // Охрана лесных экосистем и рациональное использование лесных ресурсов. – М., 1991. – Ч. 3. – С. 5-7.
268. **Таргульян, В.О.** Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях / В.О. Таргульян. – М.: Наука, 1971. – 268 с.
269. **Тарабукина, И.Г.** Влияние пожаров на мерзлотные почвы / И.Г. Тарабукина, Д.Д. Саввинов. – Новосибирск: Наука, 1990. – 211 с.
270. **Тарабукина, И.Г.** Влияние лесных пожаров на гидротермический режим мерзлотных почв: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / И.Г. Тарабукина. – Красноярск: ИЛиД, 1992. – 16 с.
271. **Телицын, Г.П.** Лесные пожары, их предупреждение и тушение в Хабаровском крае / Г.П. Телицын. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1988. – 59 с.
272. **Тимофеев, П.А.** Леса Якутии / П.А. Тимофеев. – Якутск: кн. изд-во, 1980. – 151 с.
273. **Тихомиров, Б.А.** Ход роста лиственницы сибирской по исследованиям в Хакасском округе Сибирского края / Б.А. Тихомиров, И.А. Тищенко. – Омск, 1929.
274. **Тихомиров, Б.А.** Лиственничные леса Сибири и Дальнего Востока / Б.А. Тихомиров, И.Ю. Коропачинский, Э.Н. Фалалеев. – Л.: изд-во АН СССР, 1961. – 164 с.
275. **Токмурзин, Т.Х.** Таксация фитомассы древостоев / Т.Х. Токмурзин, С.Б. Байзаков, К.Н. Нурпеисов. – Алма-Ата, 1987. – 57 с.
276. **Токмурзин, Т.Х.** Таблицы хода роста фитомассы древостоев сосны Прииртышья / Т.Х. Токмурзин, К.Н. Нурпеисов // Науч. тр. Каз. с.-х. ин-т. – Алма-Ата, 1976. – Т. 19. – Вып. 3. – С. 127-136.
277. **Третьяков, В.Н.** Эскиз таблиц хода роста для даурской (с полуострова Камчатки) лиственницы III бонитета // Леса центральной части полуострова Камчатки (Тр. СОПС. Сер. Камчатская. Вып.6) / В.Н. Третьяков, А.Л. Биркенгоф. – М.-Л.: АН СССР, 1938. – С. 195-198.
278. **Тыртиков, А.П.** Растительность низовьев р. Яны / А.П. Тыртиков // Бюлл. Моск. об-ва испыт. прир. Отделение биологии. – 1955. – Т.60(5). – С. 135-146.
279. **Тыртиков, А.П.** Лес на северном пределе в Азии. – КМК: М. – 1995. – 145 с.
280. **Тюлина, Л.Н.** Лесная растительность Хатангского района у её северного предела / Л.Н. Тюлина // Тр. ин-та / Всес. Арктич. – Л., 1937. – Т. 2. – С. 83-180.
281. **Тюлина, Л.Н.** Очерк лесной растительности верхнего течения р. Алдана / Л.Н. Тюлина // Тр. ин-та биол. ЯФ АН СССР. – Якутск, 1957. – Вып. 3. – С. 83-138.
282. **Тюлина, Л.Н.** Лесная растительность среднего и нижнего течения р.Юдомы и низовьев р. Май / Л.Н. Тюлина. – М.: АН СССР, 1959. – 223 с.
283. **Удра, И.Ф.** 1988. Расселение растений и вопросы палео- и биогеографии. – Киев: Наукова думка. – 200 с.
284. **Усольцев, В.А.** Продуктивность и структура фитомассы древостоев: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / В.А. Усольцев. – Киев, 1985. – 46 с.
285. **Усольцев, В.А.** Рост и структура фитомассы древостоев / В.А. Усольцев. – Новосибирск: Наука, 1988. 253 с.
286. **Усольцев, В.А.** Формирование банков данных о фитомассе лесов / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УРО РАН, 1998. – 541 с.
287. **Усольцев, В.А.** Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УРО РАН, 2001. – 708 с.
288. **Усольцев, В.А.** Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы

- географии / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УРО РАН, 2002. – 761 с.
289. **Усольцев, В.А.** Возрастная динамика формирования наземной фитомассы сосны кустанайских боров в зависимости от густоты / В.А. Усольцев, А.А. Макаренко // Вестн. с.-х. науки Казахстана. – 1978. – № 12. – С. 105-111.
290. **Усольцев, В.А.** Фитомасса крон березы Урало-Казахстанского региона: принципы составления нормативов / В.А. Усольцев, А.А. Сальников. // Лесные экосистемы Тургайской впадины: тез. докл. – Кустанай, 1993. – С. 18-20.
291. **Усольцев, В.А.** Уравнения и таблицы для подеревной оценки фитомассы лиственничников Сибири / В.А. Усольцев, А.Б. Фимушин, В.В. Кириллова и др. // Лесная таксация и лесоустройство. – Красноярск: СГТУ, 2000. – С. 116-122.
292. **Уткин, А.И.** Некоторые особенности распространения корневых систем древесных пород в холодных почвах / А.И. Уткин // Сообщения ин-та леса АН СССР. – 1958. – Вып.9. – С. 64-71.
293. **Уткин, А.И.** О роли вечной мерзлоты в лесах Центральной Якутии. Сообщения лаборатории лесоведения АН СССР / А.И. Уткин // Новые лесоводственные исследования. – М.: АН СССР, 1960. – С. 99-111.
294. **Уткин, А.И.** К характеристике хода роста лиственницы даурской в Якутии / А.И. Уткин // Лесное хозяйство. – 1961. – № 3. – С. 11-13.
295. **Уткин, А.И.** Низовые пожары в лиственничных лесах Восточной Сибири и их влияние на состояние древостоев / А.И. Уткин, А.С. Исаев // Лиственница. – Т.2. – Красноярск, 1962. – С. 60-69.
296. **Уткин, А.И.** Леса центральной Якутии. – М.: Наука, 1965. – 207 с.
297. **Уткин, А.И.** Исследования по первичной биологической продуктивности лесов в СССР / А.И. Уткин // Лесоведение. – 1970. – № 3. – С. 58-59.
298. **Уткин, А.И.** Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты). / А.И. Уткин // Лесоведение и лесоводство: Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИ, 1975. – Т.1. – С. 9-189.
299. **Уткин, А.И.** Лесные биогеоценозы криогенной области как специфические системы / А.И. Уткин // Экология. – 1976. – № 3. – С. 15-22.
300. **Уткин, А.И.** Об энергетике лесных биогеоценозов // Структурно-функциональная организация биогеоценозов / А.И. Уткин // Сб. тр. лаборатории лесоведения АН СССР. – М.: Наука, 1980. – С. 51-69.
301. **Уткин, А.И.** Первичная биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной во Владимирской области / А.И. Уткин, М.Г. Ифанова, Л.С. Ермолова // Лесоведение. – 1981. – № 4. – С. 19-27.
302. **Уткин, А.И.** Методика исследований первичной биологической продуктивности лесов / А.И. Уткин // Биологическая продуктивность лесов Поволжья. – М.: Наука, 1982. – С. 59-72.
303. **Уткин, А.И.** Уточнения техники применения регрессионного метода в изучении биологической продуктивности древостоев / А.И. Уткин, Н.Ф. Каплина, Н.А. Ильина // Лесоведение. – 1987. – № 1. – С. 40-53.
304. **Уткин, А.И.** Продукционная инвариантность древостоев / А.И. Уткин, С.Г. Рождественский, Я.И. Гульбе и др. // Лесоведение. – 1988. – № 2. – С. 12-23.
305. **Уткин, А.И.** Углеродный цикл в лесоводстве / А.И. Уткин // Лесоведение. – 1995. – № 5. – С. 3-20.
306. **Уткин, А.И.** Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов / А.И. Уткин, Д.Г. Замолодчиков, Г.Н. Коровин и др. // Лесоведение. – 1997. – № 5. – С. 51-65.
307. **Уткин, А.И.** Влияние возрастного критерия лесных насаждений на точность

- региональных оценок запасов и депонирования углерода в фитомассе лесов / А.И. Уткин, Д.Г. Замолодчиков, В.И. Сухих // Экология. – 1999. – №4. – С. 243-250.
308. **Уткин, А.И.** Аллометрия фитомассы и продукции деревьев лиственницы в высокопродуктивных молодняках / А.И. Уткин, А.А. Пряжников, Т.А. Гульбе // Лесоведение. – 2001 – №1. – С. 54-63.
309. **Фалалеев, Э.Н.** Леса Сибири / Э.Н. Фалалеев. – Красноярск: изд-во Красноярского ун-та, 1985. – 135 с.
310. **Фалалеев, Э.Н.** Ход роста основных лесообразующих пород Сибири / Э.Н. Фалалеев. – Ч.П. – Красноярск, 1975. – 196 с.
311. **Фалалеев, Э.Н.** Ход роста модальных лиственничных древостоев юга Магаданской области / Э.Н. Фалалеев, С.С. Яковлев // Лесная таксация и лесоустройство. – Красноярск: СибТИ, 1982. – С. 114-118.
312. **Фарбер, С.К.** Формирование древостоев Восточной Сибири / С.К. Фарбер. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 432 с.
313. **Федоров-Давидов, Д.Г.** Дыхание тундровых биогеоценозов и почв Колымской низменности // Почвоведение. – 1998. – № 3. – С. 291-302.
314. **Федоров-Давидов, Д.Г.** Динамика эмиссий из мерзлотных почв / Д.Г. Федоров-Давидов, Д.А. Гиличинский // Дыхание почв. – Пушино: тр. ин-та почвоведения и фотосинтеза РАН, 1993. – С. 76-102.
315. **Фельдман, Г.М.** Термокарст и вечная мерзлота / Г.М. Фельдман. – Новосибирск: Наука, 1984. – 260 с.
316. **Филипчук А.Н.** Вклад лесов России в углеродный баланс планеты / А.Н. Филипчук, Б.Н. Моисеев // Лесохозяйственная информация. – 2003. – № 1. – С. 27-34.
317. **Филипчук А.Н.** Оценка стока атмосферного углерода в растительный покров России / А.Н. Филипчук, Б.Н. Моисеев // Всемирная конф. по изменению климата. Тез. докл. – М.: Ин-т глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2003. – С. 543.
318. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения / Пер. с англ. Н.Л. Гудскова, Н.В. Обручевой, К.С. Спекторова и др. – М.: Агрпромиздат, 1989. – 460 с.
319. **Фуряев, В.В.** Лесные пожары как экологический фактор формирования тайги / В.В. Фуряев // Проблемы лесоведения Сибири. – М: Наука, 1977. – С. 136-147.
320. **Фуряев, В.В.** Роль пожаров в процессе лесообразования / В.В. Фуряев. – Новосибирск: Наука, 1996. – 252 с.
321. Ход роста основных лесообразующих лесов Сибири. Ч. 1. / Э.Н. Фалалеев (ред.). – Красноярск: Сибирский технологический ин-т, 1976. – 196 с.
322. **Хлыновская, Н.И.** Определение запасов общей фитомассы зональной растительности ландшафтов Северо-Востока путём математического моделирования с использованием климатических показателей / Н.И. Хлыновская // Пробл. изучения и охраны ландшафтов Северо-Востока СССР. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. – С. 27-43.
323. **Хлыновская, Н.И.** Запасы общей фитомассы основных типов растительности в ландшафтах Северо-Востока СССР / Н.И. Хлыновская, А.И. Нестеренко, Н.Е. Подковыркина // Пробл. изучения и охраны ландшафтов Северо-Востока СССР. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1988. – С. 8-27.
324. **Цай, С.И.** Сосновые и лиственничные леса Бурятской АССР / С.И. Цай, А.Т. Пискун, М.В. Кузьменков. – Улан-Уде: Бурятское кн. изд-во, 1981. – 160 с.
325. **Цветков, П.А.** Послепожарное возобновление в северотаёжных лиственнич-

- никах / П.А. Цветков, Г.М. Цветкова // Лесн. хоз-во. – 1995. – № 6. – С. 44-47.
326. **Цыбуков, В.Н.** Таксационные особенности лиственничников Дальнего Востока: Учеб. Пособие / В.Н. Цыбуков. – Уссурийск, 1990. – 53 с.
327. **Цыбуков, В.Н.** Таблицы хода роста лиственничных лесов среднего и нижнего Приамурья / В.Н. Цыбуков, А.Г. Измоденов. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 31 с.
328. **Цыпленкин Е.И.** Вечная мерзлота и почвообразование / Е.И. Цыпленкин // Почвоведение. – 1946. – № 12. – С. 64-68.
329. **Чагина, Е.Г.** Баланс углерода при разложении подстилки в кедровых лесах Западного Саяна / Е.Г. Чагина // Пробл. лесоведения. – Т.1. – Красноярск: ИЛИД, 1970. – С. 246-252.
330. **Чевычелов А.П.** Пирогенез и зональное таежное континентальное автоморфное почвообразование на Северо-Востоке Азии: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / А.П. Чевычелов. – Новосибирск: ИПА СО РАН, 1997. – 33 с.
331. **Чепалыга, Г.И.** Регионы России. М., 2006. – 100 с.
332. **Честных, О.В.** Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России / О.В. Честных, Д.Г. Замолотчиков, А.И. Уткин и др. // Лесоведение. – 1999. – №2. – С. 13-21.
333. **Черепнин, В.Л.** Фитомасса суши Земли и климат / В.Л. Черепнин. – Красноярск: КрасГУ, 1999. – 129 с.
334. **Черников, В.А.** Влияние лесных палов на возобновление лиственницы / В.А. Черников // Лесное хоз-во. – 1951. – № 12.
335. **Чертовской, В.Г.** Предтундровые леса / В.Г. Чертовский, Б.А. Семенов, В.Ф. Цветков и др. // М.: Агропромиздат, 1987. – 169 с.
336. **Чугунов, Б.В.** Основные типы лесов Ленского района ЯССР и лесовозобновление в них // Тр. ин-та биологии ЯФ СО АН СССР, 1955. – Вып. 1. – С. 147-171.
337. **Чугунов, Б.В.** Возобновление леса в Юго-Западной Якутии / Б.В. Чугунов // Тр. Ин-та биол. Якутск. фил. АН СССР. – 1961. – Вып. 7. – С. 260-323.
338. **Чугунова Р.В.** Гари южной Якутии и их лесовозобновление / Р.В. Чугунова // Леса Южной Якутии. – М.: Наука, 1964. – С. 110-143.
339. **Чумин, В.Т.** Лиственничники восточных макросклонов Северного Сихотэ-Алиня, их рост и строение / В.Т. Чумин, В.Н. Цыбуков // Тр. ДальНИИЛХ. – Вып.16. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1974. – С. 18-29.
340. **Шанин, С.С.** Строение сосновых и лиственничных древостоев Сибири / С.С. Шанин. – М: Лесная промышленность, 1965.
341. **Шашко, Д.И.** Агроклиматическое районирование Восточной Сибири. (Секция сельского хозяйства) / Д.И. Шашко. – М., 1958. – 18 с.
342. **Шашко, Д.И.** Агроклиматическое районирование СССР по обеспеченности растений теплом и влагой / Д.И. Шашко // Вопросы агроклиматического районирования СССР. – М., 1958. – С. 38-92.
343. **Шашко, Д.И.** Климатические условия земледелия Центральной Якутии. (С вопросами методики с.-х. оценки климата) / Д.И. Шашко. – М., 1961. – 264 с.
344. **Швиденко, А. З.** Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии / А.З. Швиденко, А.А. Строчинский, Ю.Н. Савич и др. – Киев: Урожай, 1987. – 560 с.
345. **Швиденко, А. З.** Динамика лесов России в 1961-1993 гг и глобальный углеродный бюджет / А.З. Швиденко, С. Нильссон // Лесная таксация и лесоустройство. – Красноярск: КГТА, 1997. – С. 15-23.
346. **Швиденко, А. З.** Продуктивность лесов России / А.З. Швиденко, С. Нильссон, В.В. Страхов // Лесохозяйственная информация. – 1999. – № 9-10, ВНИИЦлесре-



- курс. – С. 5-22.
347. **Швиденко, А.З.** Продуктивность лесов России. 3. Пространственный масштаб оценки продуктивности / А.З. Швиденко, В.В. Страхов, С. Нильссон и др. – М.: Лесохозяйственная информация, 2000. – Вып. 1-2. – С. 7-23.
348. **Швиденко, А.З.** Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 2. Нетто-первична продукция экосистем / А.З. Швиденко, С. Нильссон, В.С. Столбовой и др. // Экология. – 2001. – № 2. – С. 83-90.
349. **Швиденко, А.З.** Агрегированные модели фитомассы насаждений основных лесообразующих пород России / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко, С. Нильссон // Лесная таксация и лесоустройство. – Красноярск, 2001. – № 1. – С. 50-57.
350. **Швиденко, А.З.** Босферная роль лесов России на старте третьего тысячелетия: углеродный бюджет и протокол Киото / А. Швиденко, Е. Ваганов, С. Нильссон // Сибирский экол. журн. – № 6. – 2003. – С. 649-658.
351. **Швиденко, А.З.** Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России. 1. Таблицы хода роста / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко, С. Нильссон и др. // Лесное хозяйство. – 2003. – № 6. – С. 34-38.
352. **Швиденко, А.З.** Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России. 2. Таблицы биологической продуктивности) / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко, С. Нильссон и др. // Лесное хозяйство. – 2004. – № 2. – С. 40-44.
353. **Швиденко, А.З.** Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко, С. Нильссон, Ю.И. Булуй. – М.: МПР РФ, 2006. – 803 с.
354. **Шейнгауз, А.С.** Комплексное лесохозяйственное районирование / А.С. Шейнгауз, А.А. Дорофеева, Д.Ф. Ефремов и др. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. – 142 с.
355. **Шейнгауз, А.С.** Лесорастительное районирование Севера Дальнего Востока на основе математических методов / А.С. Шейнгауз, А.А. Дорофеева, А.П. Сапожников // Биологические Пробл. Севера, IX симпозиум. Ч. 1. – Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 1981. – С. 202.
356. **Шейнгауз, А.С.** Лесорастительное районирование Дальнего Востока на основе автоматической классификации / А.С. Шейнгауз, А.А. Дорофеева, Д.Ф. Ефремов и др. // География и природные ресурсы. – 1985. – № 4. – С. 22-31.
357. **Шелудякова, В.А.** Растительность бассейна реки Индигирка / В.А. Шелудякова // Сов. Ботаника. – 1938. – № 4-5. – С. 43-79.
358. **Шелудякова, В.А.** Растительность Верхоянского района Якутской АССР / В.А. Шелудякова. – Якутск: кн. изд-во, 1948. – 68 с.
359. **Шешуков, М.А.** Лесные пожары и борьба с ними на севере Дальнего Востока / М.А. Шешуков, А.П. Савченко, В.В. Пешков. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1992. – 95 с.
360. **Шурдук, И.Ф.** К вопросу о возрастном строении лиственничных древостоев в Южной Якутии / И.Ф. Шурдук // Межвузовские науч. тр. по лесному хозяйству. – Красноярск, 1972.
361. **Шурдук, И.Ф.** Таблицы выхода деловой древесины по ступеням толщины. Лиственница. Западная часть центральной Якутии / И.Ф. Шурдук // Справочное пособие по таксации лесов Сибири. – Т.1. – Красноярск: СТИ, 1974. – С. 144.
362. **Шурдук, И.Ф.** Динамика основных таксационных показателей насаждений лиственницы даурской в южной Якутии // Повышение продуктивности лесов Сибири и Дальнего Востока. – Красноярск: СибТИ, 1974. – С. 72-74.

363. **Щепашенко, Д.Г.** Лесные почвы северо-восточной Якутии / Д.Г. Щепашенко, В.А. Рожков, Е.М. Наумов // Почвоведение. – 1997. – № 12. – С. 1510-1517.
364. **Щепашенко, Д.Г.** Влияние лесных пожаров на морфологию почв и прирост лиственницы в Якутии / Д.Г. Щепашенко, М.В. Щепашенко // Лесное хозяйство. – 1998. – № 6. – С. 47-48.
365. **Щербаков, И.П.** О восстановлении лесной растительности на крайнем северном пределе в Евразии / И.П. Щербаков // Изв. СО АН СССР. Сер. биол-мед. наук. – 1965. – № 8. – Вып. 2. – С. 53-61.
366. **Щербаков, И.П.** Лесовозобновление на лесосеках Северо-Восточной Якутии // Охрана природы Якутии. – Иркутск: кн. изд-во, 1971. – С. 89-94.
367. **Щербаков, И.П.** Введение в типологию северотаёжных лесов Якутии / И.П. Щербаков // Исследование растительности и почв в лесах Северо-Востока СССР. – Якутск: Кн. изд-во, 1971. – С. 3-33.
368. **Щербаков, И.П.** Лесной покров Северо-Востока СССР / И.П. Щербаков. – Новосибирск: Наука, 1975. – 343 с.
369. **Щербаков, И.П.** Лесные пожары Якутии и их влияние на природу леса / И.П. Щербаков, О.Ф. Зубелин, Б.А. Карпель и др. – Новосибир.: Наука, 1979. – 294 с.
370. **Юрцев, Б.А.** К характеристике подзоны северотаежных лиственничников в западной части бассейна р. Яны / Б.А.Юрцев // Материалы по растительности Якутии Л.: Изд-во ЛТА, 1961. – С. 222-252.
371. **Яковлев, С.С.** Возрастная структура лиственничников Магаданской области / С.С. Яковлев, Э.Н. Фалалеев // Научный поиск молодежи – лесной промышленности края: тез. докл. – Красноярск, 1982. – С. 21-26.
372. **Яншин, А.Л.** Потепление климата и другие глобальные экологические проблемы на пороге XXI века // Экология и жизнь. – 2001. – № 1. – С. 42-43.
373. **Ярмишко, В.Т.** Особенности строения корневых систем древесных пород в холодных почвах / В.Т. Ярмишко, В.А. Демьянов // Адаптация древесных растений в экстремальных условиях Севера. – Петрозаводск: Инст. леса КФ АН СССР, 1984. – С. 100-117.
374. **Aasamaa, K.** Rate of stomatal opening, shoot hydraulic conductance and photosynthetic characteristics in relation to leaf abscisic acid concentration in six temperate deciduous trees / Aasamaa, K., Sober, A., Hartung, W., & Niinemets, U. – Tree Physiology. – 2002. - №22. – P. 267-276.
375. **Alban D.H.** Carbon storage in Lake States aspen ecosystems / D.H. Alban, D.A. Perala // Can. J. of for. res. – 1992. – № 2. – P. 1107-1110.
376. **Alexeyev, V.A.** Carbon storage in forests and peatlands of Russia. Gen. Tech. Rep. NE-244 / V.A. Alexeyev, R.A. Birdsey eds. – Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. – 1998. – 137 p.
377. **Apps, M.J.** Boreal forest and tundra / M.J. Apps, W.A. Kurz, R.J. Luxmoore et al. // Water, Air and Soil Pollution. – 1993. – №70. – P. 39-53.
378. **Apps, M.J.** Estimating carbon budgets of Canadian forest ecosystems using a national scale model / M.J. Apps, W.A. Kurz, D.T. Price // Carbon cycling in boreal forest and subarctic ecosystems: Biospheric responses and feedbacks to global climate change. department of civic engineering. – Oregon state univ. Corvallis. Oregon. USA, 1993. – P. 243-252.
379. **Barber, V.A.** Reduced growth of Alaskan white spruce in the 20<sup>th</sup> century from temperature-induced drought stress / Barber, V.A., Juday, G.P., Finney, B.P. // Nature. – 2000. – V. 405. – P. 668-673.
380. **Bazzaz, F.A.** Plant Resource Allocation /eds. F.A. Bazzaz, & J. Grace. – Academic, San Diego, California, 1997. – 303 p.

381. **Bazilevich, N.I.** Energy flow and biogeochemical regularities of the main world ecosystems / N.I. Bazilevich // Proc. First Int. Congr. of Ecol. The Hague. Sept, 8-14, 1974. – Wageningen, 1974. – P. 182-187.
382. **Billings, W.D.** Carbon balance of Alaskan tundra and taiga ecosystems: past, present and future / W.D. Billings // Quaternary Sci. Rev. – 1987. – V.6. – P. 165-177.
383. **Bobylev, L.P.** Arctic Environment Variability in the Context of Global Change / Bobylev, L.P., Kondratyev, K.Ya., and O.M. Johanness. - Springer & Praxis Publishing, 2003. – 471 pp.
384. **Boisvenue, C.** Impact of climate change on natural forest productivity –evidence since the middle of the 20<sup>th</sup> century / Boisvenue C., Running S.W. // Global Change Biology. – 2006. – V. 12. – P. 1-21.
385. **Botkin, D.B.** Dimension analysis methods / D.B. Botkin, K.D. Woods, A.H. Feiveson. – 1990. – 6 p.
386. **Brown, R.J.E.** Effects of Fire on the Permafrost Ground. Thermal Regime / R.J.E. Brown // The role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems. Edited by R.W. Wien and D.A. MacLean. John Wiley & Sons, 1983. – P. 97-110.
387. **Brown, P.M.** OLFLIST: A database of maximum tree ages // Tree Rings, Environment and Humanity (eds. Dean, J.S., Meko, D.M., Swenam, T.W.), Radiocarbon, Special Issues, 1996. – P. 727-731.
388. **Burschel, P.** Present role of German forests and forestry in the national carbon budget and options to its increase / P. Burschel, E. Kursten, B.C. Larson et al. // Water, air and soil pollutions. – 1993. – № 1-4. – P. 325-340.
389. **Burrough, P.A.** Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment / P.A. Burrough. – Oxford: Clarendon press, 1986. – 193 p.
390. **Cannell, M.G.R.** Conifer plantations on drained peatlands in Britain: a net gain or loss of carbon / M.G.R. Cannell, R.C. Dewar, T. Pyat // Forestry. – 1993. – № 66(4). – P. 353-369.
391. **Cess, R.D.** Uncertainties in carbon dioxide radiative forcing in atmospheric General Circulation Models / Cess, R.D., M.-H Zhang, G.L. Potter, et al. – Science. – 1993. – Vol. 262. – P. 1252-1255.
392. **Cihlar, J.** Carbon budget and succession dynamics of Canadian vegetation / J. Cihlar, M. Apps // Vinson T.S., Kolchugina T.P. (eds.). Carbon cycling in boreal forest and subarctic ecosystems: Biospheric responses and feedbacks to global climate change. department of civic engineering. – Oregon state univ. Corvallis. Oregon. USA. 1993. – P. 215-220.
393. **Dai, A.** A Global Data Set of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with Soil Moisture and Effects of Surface Warming / A. Dai, K.E. Trenberth, T. J. Qian. – Hydrometeorology, in press. – 2004.
394. **Daly, H.** Towards Some Operational Principles of Sustainable Development. – Ecological Economics, 2. - 1990.
395. **De Graaff, M.A.** Interactions between plant growth and soil nutrient cycling under elevated CO<sub>2</sub>: a meta-analysis / De Graaff M.A. et al. // Global Change Biology. – 2006. – V.12. – P. 2077-2091.
396. **Delucia, E.H.** Net Primary Production of a Forest Ecosystem with experimental CO<sub>2</sub> enrichment / E.H. Delucia, J.G. Hamilton, Sh.L. Naidu et al. // Science. – Vol. 284. – 1999. – P. 1177-1179.
397. **DeLucia, E.H.** Climate-driven changes in biomass allocation compromise the ability of pines to store atmospheric carbon / E.H. DeLucia, H. Maherali, E.V. Carey. – Global Change Biology. – 2000. – № 6. – P. 587-593.
398. **Desyatokin, R.V.** Carbon storage of plant ecosystems in Yakutia / R.V. Desyatokin,

- T.S. Maximov, B.I. Ivanov // Proc. of the Second Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russian in 1993. – NIES, Tsukuba, Japan, 1994. – P. 187-195.
399. **Dixon, R.K.** Carbon pools and flux of global forest ecosystems / R.K. Dixon, S. Brown, R.A. Houghton et al. // Science. – 1994. – Vol. 263 (1544). – P. 185-190.
400. FAO Global Forest Resource Assessment 2000, Main Report. – FAO Forestry Paper 140. – Rome (2001).
401. Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest / Eds. E. Kasischke, B. Stocks. – Springer Verlag, 2000. – 350 p.
402. **Flury, Ph.** Untersuchungen über das Verhältniss der Reisigmasse zur Derbholzmasse / Ph. Flury // Mitt. Schweiz. Centralanstalt Forstl. – Versuchswesen. 1892. – Bd. 2. – S. 25-32.
403. **Folland, C.K.** Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / C.K. Folland et al. – ed. J.T. Houghton et al. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001.
404. Forest area and area change // Global forest resources assessment 2000 – Main report / FAO Forestry Paper. – Vol. 140. – 2001. – P.1-15.
405. **Gill, R.A.** Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems / R.A. Gill, R.B. Jackson // New Phytologist. – 2000. – Vol. 147. – P. 13-31.
406. **Goetz, S.J.** Modeling carbon fluxes, net primary production and light utilization in boreal forest stands / S.J. Goetz // Univ. of Maryland, USA, 1997. – 110 p.
407. **Goldewijk, K.K.** Simulating the carbon flux between the terrestrial environment and the atmosphere / K.K. Goldewijk, J.G. Minnen, G.J.J. Kreileman et al. // Water, Air and Soil Pollution. – 1994. – V.76. – P.99-230.
408. **Goodale, Ch. L.** Forests carbon sinks in the Northern Hemisphere / Ch.L. Goodale, M.J. Apps, R.A. Birdsey et al. // Ecol. Appl. – 12(3). – 2002. – P. 891-899.
409. **Gorham, E.** Northern peatlands: role in carbon cycle and probable responses to climatic warming / E. Gorham // Ecol. Appl. – 1991. – № 1. – P. 182-195.
410. **Gower, S.T.** Net primary production and carbon allocation patterns of boreal forest ecosystems / S.T. Gower, O. Krankina, R.J. Olson et al. // Ecol. Appl. – 2000. Vol. 11, No. 5, pp. 1395–1411.
411. **Hansen, R.S.** MOD44B: Vegetation Continuous Fields, Collection 3, Version 3.0.0. Earth Interactions / Hansen, R.S., DeFries, R.S., Townshend, J.R.G., Caroll, M., Dimiceli, C., and R.A. Sohlberg. – 2003. – 20 pp.
412. **Harmon, M.E.** Survival of trees after low-intensity surface fires in Great Smoky Mountains National Park / M.E. Harmon. – Ecology. – 1984. – Vol.65(3). – P. 796-802.
413. **Harmon, M.E.** Effects on carbon storage of conversion of old growth forests to young forests / M.E. Harmon, W.K. Ferrell, J.F. Franklin // Science. – 1990. – № 247. – P. 699-702.
414. **Hatano, R.** Effect of forest fire on physico-chemical properties of taiga permafrost soils, near Yakutsk, Russia / R. Hatano, T. Sawamoto, R.M. Desyatkin et al. // Proc. of the Eighth Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russian in 1999. – NIES, Tsukuba, Japan. – 2000. – P. 111-120.
415. **Heath, L.S.** Contribution of temperate forests to the world's carbon budget / L.S. Heath, P.E. Kauppi, P. Burschel et al. // Water, air and soil pollution. – 1993. – № 70(1-4). – P. 55-69.
416. **Houghton, R.A.** Land use change and the carbon cycle / R.A. Houghton // Global change biology. – 1995. – № 1. – P. 275-287.

417. **Houghton, R.A.** Converting terrestrial ecosystems from sources to sink of carbon / R.A. Houghton // *Ambio*. – 1996a. – Vol. 25. – № 25. – P. 267-272.
418. **Houghton, R.A.** Terrestrial sources and sinks of carbon inferred from terrestrial data / R.A. Houghton // *Tellus Series B – Chemical and physical meteorology*. – 1996b. – Vol. 48. – № 4. – P. 420-432.
419. **Houghton, R.A.** Historical role of forests in the Global Carbon Cycle / R.A. Houghton // *Workshop proc.: Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry*. – Springer-Varvag Berlin Heidelberg, 1998. – P. 1-24.
420. IPCC: Land use, Land use change, and Forestry / R.T. Watson, I.R. Noble, B. Bolib, et al. – A special report of the IPCC. – Cambridge University Press. – 2000. – 30 p.
421. IPCC: Climate change 2001: The scientific bases. Contribution on working group I to the third assessment report of the Intergovernmental panel of climate change / J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs et al. – UK, Cambridge and NY, USA: Cambridge Univ. Press., 2001. – 881 p.
422. IPCC: Climate Change 2007; The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Avert, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. – 996 pp.
423. **Isaev A.** Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests / A. Isaev, G. Korovin, D. Zamolodchikov et al. // *Boreal forest and global change. Water, air and soil pollution*. – 82. – 1995. – P. 247-256.
424. **Jackson, R.B.** A global budget for fine roots biomass, surface area, and nutrient contents / R.B. Jackson, H.A. Mooney, E.-D. Schulze // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1997. – V. 94. – P. 7362-7366.
425. **Johnsen, D.W.** Effects of forest management on soil carbon storage / D.W. Johnsen // *Water, Air and Soil pollution*. – 1992. – № 64. – P. 83-120.
426. **Jones, P.D.** Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001 / P.D. Jones, A. Moberg // *J. Climate*. – 2003. – 16. – P. 206-223.
427. **Jorgenson.** Permafrost degradation and ecological changes associated with a warming climate in central Alaska / Jorgenson, Racine, Walters, Osterkamp // *Climatic change*. – 2001. – 48 (4). – P. 551-579.
428. **Kajamoto, T.** Stand structure and biomass of *Larix cajanderi* forest near altitudinal treeline in Chersky Mountains, eastern Siberia / T. Kajamoto, Y. Matsuura, A.P. Isaev et al. / Eds. S. Mori et al. // *Proc. of the 6th Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russian (JSPS) in 1997*. – Japan. – 1998. – P. 65-71.
429. **Kajamoto, T.** Root growth pattern of *Larix gmelinii* and microsite difference in soil-temperature on permafrost soils in Central Siberia / T. Kajamoto, Y. Matsuura, S. Mori et al. / Eds. S.Mori et al. // *Proc. of the 6th Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russian (JSPS) in 1997*. – Japan. – 1998. – P. 43-51.
430. **Kajamoto, T.** Above- and below-ground biomass and annual production rates of *Larix gmelinii* stand near Tura in Central Siberia / T. Kajamoto, Y. Matsuura, M.A. Sofronov et al. / Eds. G. Inoue, A. Takenaka. // *Proc. of the Fifth Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russian in 1996*. – NIES, Tsukuba, Japan. – 1997. – P. 119-129.
431. **Kajii, Y.** Vegetation Fire in Russia in 1998: Estimation of area and emissions of pollutants by AVHRR satellite data / Y. Kajii, S. Kato, D. Streets, et al. // *J. of Geophysical Research*. – 2003. – 108. – P. 1029-1078.
432. **Kamide, K.** Effect of forest fire on physico-chemical properties of Taiga soils in

- Yakutsk, Russia / K. Kamide, R. Hatano, O. Nakahara et al. // Proc. 9th Symp. Joint Siberian Permafrost Studies between Japan and Russian in 2000. – Tsukuba, Japan. – 2001. – P. 104-111.
433. **Kanazawa, Y.** Biomass of Larix Gmelinii stand in Spaskaya pad, Yakutsk / Y. Kanazawa, A. Osawa, B.I. Ivanov et al.// Proc. of the 2th Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russian in 1993. – Tsukuba, Japan. – 1994. – P. 153-158.
434. **Karjalainen, T.** Scenarios for the carbon balance of Finnish forests and wood products / T. Karjalainen, S. Kellomaki, A. Pussinen // Environmental Sci. and policy. – 1999. – Vol. 2. – P. 165-175.
435. **Karnosky, D.F.** Tropospheric O<sub>3</sub> moderates responses of temperate hardwood forests to elevated CO<sub>2</sub>: a synthesis of molecular to ecosystem results from the Aspen FACE project./ Karnosky, D.F., Zak, D.R., Pregitzer, K.S., et al. // Functional Ecology. – 2003. – 17. – P. 289-304.
436. **Kauppi, P.E.** Biomass and carbon budget of European forests 1971 to 1990 / P.E. Kauppi, K. Mielikainen, K. Kuusela // Science. – 1992. – Vol. 256. – P. 70-74.
437. **Keeling, C.D.** A Compendium of Data on Global Change / C.D. Keeling, T.P. Whorf // Trends Online: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge, Tennessee. – 2004.
438. **Kirschbaum M.U.F.** A modeling study of the effects of changes in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, temperature and atmospheric nitrogen input on soil organic storage / M.U.F. Kirschbaum // Tellus. – 1995. – № 45. – P. 321-334.
439. **Kobak, K.I.** Residence time of carbon in soils of the boreal zones / K.I. Kobak, N. Kondrasheva / Vinson T.S., Kolchugina T.P. (eds.) // Carbon cycling in boreal forest and sub-arctic ecosystems: Biospheric responses and feedbacks to global climate change. – Department of civic engineering. Oregon state univ. Corvallis. Oregon. USA, 1993. – P. 51-58.
440. **Kofman, P. D.** Harvesting and processing forest biomass for energy production in Ireland. The Forest Energy 2006 program / D. Pieter Kofman, T. Kent. 2007. – 58 p.
441. **Kolchugina, T.P.** Equilibrium analysis of carbon pools and fluxes of forest biomes in the former Soviet Union / T.P. Kolchugina, T.S. Vinson // Can. J. of For. Res. – 1993a. – Vol. 23. – P. 81-88.
442. **Kolchugina, T.P.** Comparison of two methods to assess the carbon budget of forest biomes in the former Soviet Union / T.P. Kolchugina, T.S. Vinson // Water, air and soil pollutions. – 1993b. – Vol. 70. – P. 207-221.
443. **Kolchugina, T.P.** Carbon sources and sinks in forest biomes of the former Soviet Union / T.P. Kolchugina, T.S. Vinson // Global Biogeochemical Cycles. – 1993. – № 7(2). – P. 291-304.
444. **Kolchugina, T.P.** Framework to qualify the national terrestrial carbon cycle of the former Soviet Union / T.P. Kolchugina, T.S. Vinson // Carbon cycling in boreal forest and subarctic ecosystems: Biospheric responses and feedbacks to global climate change. department of civic engineering. – Oregon state univ. Corvallis. Oregon. USA, 1993. – P. 259-275.
445. **Kolchugina, T.P.** Role of Russian forests in the global carbon cycle / T.P. Kolchugina, T.S. Vinson // Ambio. – 1995. – Vol. 24(5). – P. 258-264.
446. **Kolchugina, T.P.** Forest management options to conserve and sequester terrestrial carbon in the Russian Federation / T.P. Kolchugina, R.K. Dixon // World Res. Review. – 1994. – Vol. 6. – № 1. – P. 88-101.
447. **Korotkov, I.A.** Classification of forest regions of Russia and former USSR Republics / V.A. Alexeyev and R.A. Birdsey (eds.) // Carbon Storage in Forests and Peat-

- lands of Russia. General Technical Report NE-244, Northern Research Station, Radnor, USA. – 1998. – p. 12-23.
448. **Krankina, O.N.** Dynamics of the dead woods carbon pool in north-western Russian boreal forests / O.N. Krankina, M.E. Harmon // *Water, air and soil pollution*. – 1995. – Vol. 82. – P. 227-238.
449. **Krankina, O.N.** Carbon storage and sequestration in the Russian forest sector / O.N. Krankina, M.E. Harmon, J.K. Winjum // *Ambio*. – 1996. – Vol. 25(4). – P. 284-288.
450. **Kurganova, I.** Carbon Dioxide Emissions from Soils of Russian Terrestrial Ecosystems / I. Kurganova. – IIASA Interim Report IR-02-070. – Laxenburg, Austria, 2002. – 64 p.
451. **Kurz, W.A.** The carbon budget of the Canadian forest sector: Phase 1 / W.A. Kurz, M.J. Apps, T.M. Webb et al. // *For. Can. Northwest Reg. Cent. Edmonton. Alberta. Inf. Rep. NOR-X-326*. – 1992.
452. **Kurz, W.A.** An analysis of future carbon budgets of Canadian boreal forests / W.A. Kurz, M.J. Apps // *Water, air and soil pollution*. – 1995. – Vol. 82, № 1-2. – P. 321-331.
453. **Kurz, W.A.** Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector / W.A. Kurz, S.J. Beukema, M.J. Apps // *Canadian Journal of forest research*. – 1996. – Vol. 26. – P. 1973-1979.
454. **Lakida, P.** Models for forest phytomass estimation in Ukraine / P. Lakida. – Working paper. – IIASA, Laxenburg, 1994. – 48 p.
455. **Lakida, P.** Forest phytomass and carbon in European Russia / P. Lakida, S. Nilsson, A. Shvidenko // *Biomass and Bioenergy*. – 1997. – V. 12. – № 2. – P. 91-99.
456. **LaMarche, V.C.** Increasing atmospheric carbon-dioxide -Tree-ring evidence for growth enhancement in natural vegetation / V.C. LaMarche, D.A. Graybill, H.C. Fritts, M.R. Rose // *Science*. – 1984. – P. 1019-1021.
457. **Landsberg J.** *Physiological ecology of forest production*. – London: Academic Press, 1986. – 198 pp.
458. **Landsberg, J.** *Applications of physiological ecology to forest management* / J.J. Landsberg, S.T. Gower. – Academic press, 1997. – 355 p.
459. **Li, Z.** Belowground biomass dynamics in the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector: recent improvements and implications for the estimation of NPP and NEP / Z. Li, W.A. Kurz, S.J. Apps et al. // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2003. – 33. – P. 126-136.
460. **Liski, J.** Density of organic carbon in soil at coniferous forest sites in southern Finland / J. Liski, C.J. Westman // *Biogeochemistry*. – 1995. – № 29. – P. 183-197.
461. **Lugina, K.M.** *A Compendium of Data on Global Change* / K.M. Lugina, P.Ya. Groisman, K.Ya. Vinnikov et al. // *Trends Online*. – Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge, Tennessee. – 2003.
462. **Magnani, F.** The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests / F. Magnani et al. // *Nature*. – 2007. – V. 447. – P. 849-851.
463. **Mayneni, R.** A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests / R. Mayneni, J. Dong, C.J. Tucker et al. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 2001. – 98(26). P. 14784-14789
464. **Mayneni R.B.** Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991 / Mayneni R.B., Keeling C.D., Tucker C.J. et al. // *Nature*. – 1997. – V.386. – P. 698-702.
465. **Meadows, D.H.** *The Limits to Growth* / D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers and W.W. Behrens III. – New York: Universe Books, 1972.

466. **Meadows, D.H.** Beyond the Limits / D.H. Meadows, D.L. Meadows and J. Randers. – Post Mills, VT: Chelsea Green Publishing Company, 1992.
467. **Mencuccini, M.** Climate influences the leaf area-sapwood relationship in Scots pine / M. Mencuccini, J. Grace // *Tree Physiol.* – 1995. – № 15. – P. 1-10.
468. **Melillo, J.M.** Global climate change and terrestrial net primary production / J.M. Melillo, A.D. McGuire, D.W. Kicklighter et al. // *Nature.* – 1993. – V. 363. – P. 234-240.
469. **Mysak, L.A.** Interdecadal variability in the Arctic and North Atlantic: Observations and models. 4<sup>th</sup> Conf. on Polar meteorology and Oceanography, Dallas, TX. American Meteorology Society, Washington, DC., 1995. – P.(J9)261-(J9)27.
470. **Nabuurs, G.J.** Carbon fixation through forestation activities. A study of the carbon sequestering potential of selected forest types commissioned by the FASE foundation / G.J. Nabuurs, G.M.J. Mohren // IBN research report 93/4. – Arnhem, 1993. – 205 p.
471. **Nabuurs, G.J.** Modeling analysis of potential carbon sequestration in selected forest types / G.J. Nabuurs, G.M.J. Mohren // *Can. Jor. of For. Res.* – 1995. – Vol. 25. – P. 1157-1172.
472. **Nadelhoffer, K.J.** Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems / K.J. Nadelhoffer, J.W. Raich // *Ecology.* – 1992. – V. 73(4). – P. 1139-1147.
473. **Naumburg, E.** Modeling dynamic understory photosynthesis of contrasting species in ambient and elevated carbon dioxide / Naumburg, E., Ellsworth, D.S., Katul, G.G. // *Oecologia.* – 2001. – 126. – P. 487-499.
474. **Nikinmaa E.** Analyses of growth of Scots pine: matching structure with functions // *Acta Forestalia Fennica.* – 1992. – V. 235. – P. 1-68.
475. **Nilsson, S.** The missing “missing sink” / S. Nilsson, M. Jonas, V. Stolbovoi et al. // *The Forestry Chronicle.* – 2003. – 79. – № 6. P.1071-1074.
476. **Nilsson, S.** The carbon-sequestration potential of a global afforestation program / S. Nilsson, W. Schopfhauser // *Climate change.* – 1995. – Vol.30. – P.267-293.
477. **Nilsson, S.** Quantification of full terrestrial biota major greenhouse gases budget at a regional scale: a combination of modeling systems, geographical information systems and remotely sensed data. / S. Nilsson, A. Shvidenko, I. McCallum et al. // *Proc. of the IGARSS 2003, Toulouse, 21-25 July.* – P. 488-490.
478. **Nilsson, S.** Full carbon account for Russia / S. Nilsson, A. Shvidenko, V. Stolbovoi et al. – Interim report. IIASA, 2000. – 181 p.
479. **Nilsson, S.** Uncertainties of the regional terrestrial biota full carbon account: A systems analysis / S. Nilsson, A. Shvidenko, M. Jonas // *Proc. of the Intern. Workshop “Uncertainties of the Full Carbon Account”, Warsaw, September 25-26.* – 2004. – P. 1-15.
480. **Norby, R.L.** Nitrogen resorption in senescing tree leaves in a warmer, carbon-enriched atmosphere / Norby R.L., Long J.T.M., Hartz-Rubin J.S. // *Plant and Soil.* – 2000. – V.224. – P. 15-29.
481. **Norby, R.J.** Forest response to elevated is conserved across a broad range of productivity / Norby R.J., Delucia E.H., Gielen B. et al. – *PNAS USA*, 2004. – V. 102. – P. 18052-18056.
482. **Novak, R.S.** Functional responses of plants to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> – do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions? / Novak R.S. et al. // *New Phytologist.* – 2004. – V. 163. – P. 253-280.
483. **Nunez-Elisea, R.** Influence of flooding on net CO<sub>2</sub> assimilation, growth and stem anatomy of *Annona* species / R. Nunez-Elisea, B. Schaffer, J.B. Fisher et al. – *Annals of Botany.* – 1999. – 84. – P. 771-780.



484. **Odum, E.P.** Fundamentals of Ecology / E.P. Odum. 3<sup>rd</sup> ed. Publ. by W.B. Saunders Company, 1971. – 574 p.
485. **Ojeda, M.** Flooding, root temperature, physiology and growth of two *Annona* species / M. Ojeda, B. Schaffer, F.S. Davies // *Tree Physiology*. – 2004. – 24. P. 1019-1025.
486. **Osawa, A.** Forest fire history and tree growth patterns in East Siberia / A. Osawa, T.C. Maximov, B.I. Ivanov // *Proc. of the Second Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russian in 1999*. – NIES, Tsukuba, Japan. – 2000. – P. 159-163.
487. **Palmer, W.C.** Meteorological Drought / W.C. Palmer. – Res. Paper № 45. – 58. – Dept. of Commerce, Washington, D.C. – 1965.
488. **Post, W.M.** Soil carbon pools and world life zones / W.M. Post, W.R. Emanuel, P.J. Zinke et al. – *Nature*. – 1982. – V. 298. – P. 156-159.
489. **Post, W.M.** Aspects of the interaction between vegetation and soil under global change / W.M. Post, Pastor J., King A.W. et al. // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 1992. – 64. – P. 345-363.
490. **Post, W.M.** The global carbon cycle / W.M. Post, Peng T-N., Emanuel W.R. et al. // *American Scientists*. – 1990. – 78. – P. 310-326.
491. **Post, W.M.** Historical variations in terrestrial biospheric carbon storage / W.M. Post, A.W. King, S.D. Wullschlegler // *Global biogeochemical cycles*. – 1997. – №11. – P.99-109.
492. **Price, D.T.** Simulating the carbon budget of the Canadian boreal forest using an integrated suite of process-based model / D.T. Price, M.J. Apps, W.A. Kurz et al.// Ung Ch-H. (ed). *Forest growth models and their use*. – 1993. – P. 251-264.
493. **Raich, J.W.** Belowground carbon allocation in forest ecosystems: Global trends / J.W. Raich, K.J. Nadelhoffer // *Ecology*. – 1989. – V. 70. – P. 1346-1354.
494. **Rapalee, G.** Soil carbon stocks and their rates of accumulation and loss in a boreal forest landscape / G. Rapalee, S.E. Trumbore, E.A. Davidson et al. // *Global Biogeochemical Cycles*. – 1998. – 12. – P. 687-701.
495. **Richards, F.J.** A flexible growth function for empirical use / F.J. Richards // *Journal of Experimental Botany*. – 1959. – P. 290-300.
496. **Robock, A.** The Global Soil Moisture Data Bank / A. Robock et. al. – *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* – 2000. – 81. – P. 1281-1299.
497. **Ruess, R.W.** Contributions of the fine root production and turnover to the carbon and nitrogen cycling in taiga forests of the Alaskan interior / R.W. Ruess, K. Van Clever, J. Yarie et al. – *Can. J. For. Res.* – 1996. – № 26. P. 1326-1336.
498. **Satto T.** Notes on Kittredge's method of estimation of amount of leaves of forest stand / T. Satto // *Japen Forestry Soc.* – 1962. – Vol. 44. – P. 267-272.
499. **Satto T.** Production and distribution of dry matter in forest ecosystems / T. Satto // *Tokio Univ. Forests*. – 1966. – № 16. – P. 1-15.
500. **Satto T.** Primary production in a plantation of Japanese larch, *Larix leptolepis*: a summarized report of JPTF-66 KOIWAI / T. Satto // *J. Jap. For. Soc.* – 1970. – V. 52. – P. 154-158.
501. **Schimmel, D.S.** Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems / D.S. Schimmel, J.L. House, Hibbard et al. – *Nature*. – 2001. – 414/8. – P. 169-172.
502. **Schlesinger, W.H.** Biogeochemistry: an analysis of global change / W.H. Schlesinger. – California: Academic Press Inc., 1991. – 351p.
503. **Schneider, M.K.** The year of free-air CO<sub>2</sub> enrichment altered the mobilization of N from soil in *Lolium perenne* L. swards / Schneider M.K. et al. // *Global Change Biolo-*

- gy. – 2004. – V.10. – P. 1377-1388.
504. **Schulze, E.-D.** Carbon and water exchange of terrestrial systems / E.-D. Schulze, M. Heimann // *Asian Change in the Context of Global Change* / ed. J.N. Galloway and J. Melillo. – Cambridge University Press, Cambridge, 1998. – P. 145–161.
505. **Schulze, E.-D.** Productivity of forests in the Eurosiberian boreal region and their potential to act as a carbon sink-a synthesis / E.-D. Schulze, Lloid J., Kelliher F.M., et al. // *Global Change Biology*. – 1999. – № 3. – P. 703-722.
506. **Sedjo, R.A.** Temperate forest ecosystems in global carbon cycle / R.A. Sedjo // *Ambio*. – 1992. – Vol. 21(4). – P. 274-277.
507. **Shepashenko, D.** Phytomass (live biomass) and carbon of Siberian forests / D. Shepashenko, A. Shvidenko, S. Nilsson // *Biomass and Bioenergy*. – 1998. – Vol. 14. – № 1. – P. 21-31.
508. **Shibuya, M.** Time trend in aboveground biomass, net primary production, and carbon storage of natural *Larix gmelini* stands in Eastern Siberia / M. Shibuya, T. Satto H., T. Sawamoto et al. // *Eurasian Journal of Forest Research*. – 2004. – № 7-2. – P. 67-74.
509. **Schimmel, D.S.** Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems / D.S. Schimmel, J.L. House, K.A. Hibbard et al. // *Nature*. – 2001. – 414/8. – P. 169–172.
510. **Shvidenko, A.** A system for evaluation of growth and mortality in Russian forests / A. Shvidenko, S. Venevsky, G. Raile et al. // *Water, Air and Soil Pollution*. – 1995. – V. 88. – P. 333-350.
511. **Shvidenko, A.** Dynamics of fully stocked stands in the territory of the former Soviet Union / A. Shvidenko, S. Venevsky, G. Raile et al. // Working Paper WP-96-19. – Laxenburg: IIASA, 1996. – 68 p.
512. **Shvidenko, A.** Generalized estimation of increment and mortality in Russian forests / A. Shvidenko, S. Venevsky, S. Nilsson // *Sustainable Development of Boreal Forests: Proc. of the 7th Annual Conf. of the IBFRA, August 19-23, 1996, Sanct Petersburg*. – Moscow: Federal Forest Service of Russia, 1997. – P. 184-191.
513. **Shvidenko, A.Z.** Fire and carbon budget of Russian Forests / A. Shvidenko, S. Nilsson // *Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest* / Eds. E.Kasischke and B.Stocks. – Springer Verlag. – 2000. – P. 289-311.
514. **Shvidenko, A.** Dynamics of Russian Forests and the Carbon Budget in 1961–1998: An Assessment Based on Long-Term Forest Inventory Data / A. Shvidenko, S. Nilsson // *Climatic Change*. – 2002. – V. 55. – P. 5-37.
515. **Shvidenko, A.** Synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961–1998. / A. Shvidenko, S Nilsson // *Tellus*. – 2003. – 55B. – P. 391-415.
516. **Shvidenko, A.** Burning biomass in the territories of the former Soviet Union: Impact on the carbon budget. / A. Shvidenko, S. Nilsson, R.K. Dixon et al. // *Greenhouse gas emissions and response policies in Central and Eastern Europe* / Eds. G.Marland, S.Molnar, A.Sankovski, et al. – Hungarian Meteorological Service, Budapest, 1995. – P. 235-258.
517. **Shvidenko, A.** Possibilities for increasing carbon sequestration through improved protection of Russian forests / A. Shvidenko, S. Nilsson, V. Rojkov. – IIASA, WP-95-86. – Laxenburg, 1995. – 27 p.
518. **Shvidenko, A.** Models for growth of pine stand in territories of Northern Eurasia / A. Shvidenko, E. Samarskaia, S. Venevsky et al. // Working Paper WP-96-164. – Laxenburg: IIASA, 1996. – 99 p.
519. **Slayback, D.A.** Northern hemisphere photosynthetic trends 1982-1999 / D.A. Slay-

- back et al. // *Global Change Biology*. – 2003 – 9. – P. 1-15.
520. **Smith, W.R.** Energy from Forest Biomass: XVII Iufro World Congress Energy Group Proceedings. / W.R. Smith. – Academic Pr., 1982. – 279 p.
521. **Stolbovoi, V.** CD-ROM "Land Resources of Russia" / V. Stolbovoi, I. McCallum. – International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science, Laxenburg, Austria. – 2002.
522. **Stolbovoi, V.S.** Aggregated estimation of basic parameters of biological production and carbon budget of Russian terrestrial ecosystems: 3. Biogeochemical Carbon Fluxes / V.S. Stolbovoi, S. Nilsson, A.Z. Shvidenko et al. // *Russian Journal of Ecology*. – 2004 – V. 35. – № 3. – P. 150-155.
523. **Tajimoto, T.** Age- and site-related differences in carbon allocation patterns of Siberian larch trees / T. Tajimoto, A.P. Abaimov // *Proc. of the Eighth Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russian in 1999*. NIES, Tsukuba, Japan. – 2000. – P. 29-35.
524. **Takenaka, A.** The tree size and mortality of larch trees: theoretical analysis with a carbon budget model / A. Takenaka, A.P. Abaimov // *Proc. of the 8th Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russian in 1999*. NIES, Tsukuba, Japan. – 2000. – P. 42-46.
525. **Takeuchi, Y.** Photosynthesis, light and nitrogen relationships in a young deciduous forest canopy under open-air CO<sub>2</sub> enrichment / Takeuchi, Y., Kubiske, M.E., Isebrands, J.G. et al. // *Plant Cell and Environment*. – 2001. – 24. – P. 1257-1268.
526. **Tarnocai, C.** Amount of organic carbon in Canadian soils / C. Tarnocai // *Transactions of the X<sup>th</sup> World Congr. Soil Sci.* – V. – 6a. – Acapulco, Mexico. – 1994. – P. 67-82.
527. **Tchebakova, N.M.** Phytomass change in the mountain forests of southern Siberia under climate warming / N.M. Tchebakova, R.A. Monserud, E.I. Parfenova. – [http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon\\_seq/p53.pdf](http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/p53.pdf). – 2001. – 13 p.
528. **Thacker, J.R.M.** (2003) Field and laboratory studies on the effects of neem (*Azadirachta indica*) oil on the feeding activity of the large pine weevil (*Hylobius abietis* L.) and implications for pest control in commercial conifer plantations / Thacker, J.R.M., Bryan, W.J., McGinley, C. // *Crop Protection*. – 2003. – 22. – P. 753-760.
529. The global carbon cycle / Ch.B. Field, M.R. Raupach. – *Scope 62*. – Island press, 2004. – 526 p.
530. **Turner, D.P.** A carbon budget for forests of the conterminous United States / D.P. Turner, M.E. Koerper, M.E. Harmon et al. // *Ecol. Appl.* – 1995. – Vol.5. – № 2. – P. 421-436.
531. **Turner, D.P.** Accounting for biological and anthropogenic factors in national land-base carbon budgets / D.P. Turner, J.K. Winjum, T.P. Kolchugina et al. // *Ambio*. – 1997. – Vol. 26. – № 4. – P. 220-226.
532. **Van Cleve, K.** State factor control of element cycling in taiga forests / K. Van Cleve, F.S. Chapin, C.T. Durness et al. // *Bio Science*. – 1990. – 31 p.
533. **Vedrova, E.F.** Carbon cycle in the stands of Middle Siberian northern taiga / E.F. Vedrova // *Средообразующая роль бореальных лесов: локальный, региональный и глобальный уровни. Междунар. конф. IBFRA: Тез. докл.* – Красноярск, 2002. – С. 97.
534. **Vedrova, E.F.** Structure and transformation of organic matter of larch forest soils in northern taiga / E.F. Vedrova, I.N. Bezkorovainaya, L.V. Mukhortova // *там же* – С. 97.
535. **Viereek, L.A.** Soil temperature in river bottom stand in interior Alaska // *Ecology of*

- the subarctic regions / L.A. Viereck // Proc. of the Helsinki Symp., 1970. – P. 223-233.
536. **Vogt, K.A.** Tree root turnover and senescence / K.A. Vogt, J. Bloomfield // *Plant Roots: the Hidden Half* / Eds. A.E.Y. Waisel, U. Kafkafi. – New York: Marcel Dekker, 1991. – P. 281-306.
537. **Vygotskaya, N.N.** Leaf conductance and CO<sub>2</sub> assimilation of Larch *gmelinii* growing in an eastern Siberian boreal forest / N.N. Vygotskaya, I. Milyukova, A. Varlagin et al. // *Tree physiology*. – 1997. – 12. – P. 607-615.
538. **Yazaki, K.** Growth and annual ring structure of *Larix sibirica* grown at different carbon dioxide concentrations and nutrient supply rates / K. Yazaki, R. Funada, S. Mory et al. // *Tree physiology*. – 2001. – V. 21. – P. 1223-1229.
539. **Ye, H.** Decadal variability of Russian winter snow accumulation and its associations with Atlantic sea surface temperature anomalies. *Int. Inst. Of Climatology*, 2000. – 20. – P. 1709-1728.
540. **Wackernagel, M.** et al. *Ecological Footprints of Nations: How Much Nature Do They Use? How Much Nature Do They Have?* - Xalapa, Mexico: Centro de Estudios para la Sustentabilidad [Center for Sustainability Studies], March 10, 1997.
541. **Wackernagel, M.** et al. Tracking the Ecological Overshoot of the Human Economy”, *Proceedings of the Academy of Science* 99, №14. - Washington, DC, 2002: 9266-9271 pp.
542. **Wackernagel, M.** et al. Tracking the ecological overshoot of the human economy [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.142033699](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.142033699). 2002.
543. **West, D.C.** Succession: concepts and application / D.C. West, H.H. Shugart, D.B. Botkin, eds. – New York: Springer-Verlag, 1981. – P.132-153.
544. **Woodwell, G.M.** Primary production in terrestrial communities / G.M. Woodwell, R.H. Whittaker // *American Zoology*. – 1968. – №8. – P. 19-30.
545. **Zamolodchikov, D.G.** An Empirical Model of Carbon Fluxes in Russian Tundra / D.G. Zamolodchikov, L.D. Karelin // *Global Change Biology*. – 2002. – № 7. – P. 147-161.
546. **Zimov, S.A.** Planetary maximum CO<sub>2</sub> and ecosystems of the North / S.A. Zimov, S.P. Davydov, Y.V. Voropaev et al. // *Carbon cycling in boreal forest and subarctic ecosystems: Biospheric responses and feedbacks to global climate change* / Eds. T.S. Vinson, T.P. Kolchugina. – Department of civic engineering. Oregon state univ. Corvallis. Oregon. USA, 1993. – P. 21-34.
547. **Zimov, S.A.** Winter Biotic Activity and Production CO<sub>2</sub> in Siberian Soils: A Factor in the Greenhouse Effect / S.A. Zimov, G.M. Zimova, S.P. Davydov et al. // *Journal of Geophysical Research*. – 1993. – № 98. – P. 5017-5023.
548. **Zinke, P.J.** Worldwide organic soil carbon and nitrogen data / P.J. Zinke, A.G. Stangenberger, W.W. Post et al. // ORNL/TM – 8857. – Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge. Tennessee. USA, 1984. – 150 p.
549. **Zyryanova, I.A.** Plant association diversity regeneration as related to cryogenic microrelief and forest fires / I.A. Zyryanova, T.N. Bugaenko, N.N. Bugaenko et al. // *Proc. of the 9th Symp. on the Joint Siberian Permafrost Studies Between Japan and Russian in 2000*. – NIES, Tsukuba, Japan, 2001. – P. 18-23.

**Приложение А**  
**Результаты анализа почвенных образцов**

*Таблица А1*

**Результаты валового химического анализа почв**

Гори- зонт	Глубина взятия образца, см	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Si/Al	Si/ Al+Fe	Si/Fe
Разрез 1-91. Палево-криозём надмерзлотно-глеватый супесчаный на жиле льда. ТУМ: Плато и пологие склоны												
АВ	2-8	75,87	13,91	5,08	0,55	0,76	2,01	0,06	0,77	9,26	7,51	39,72
Вм	20-30	71,58	16,29	6,05	0,65	1,02	2,54	0,06	0,81	7,46	6,03	31,46
ВС	60-70	72,32	15,92	5,76	0,64	0,91	2,59	0,06	0,79	7,71	6,26	33,39
Gh	110-115	70,38	16,30	6,17	1,42	1,18	2,67	0,06	0,80	7,33	5,90	30,31
Разрез 10-91. Палевая среднесуглинистая на сланцах. ТУМ: Крутые южные склоны												
В1м	4-9	62,42	19,17	12,00	0,55	1,10	2,29	0,07	1,42	5,53	3,95	13,83
В2м	15-25	59,83	20,36	13,08	0,50	1,34	2,39	0,12	1,38	4,99	3,54	12,16
ВС	50-60	58,44	20,58	14,01	0,71	1,23	2,37	0,15	1,51	4,82	3,36	11,09
Разрез 19-91а. Криозём торфянисто-перегнойный. ТУМ: Плато и пологие склоны												
Ат	6-9	59,37	22,20	11,52	0,46	1,18	3,44	0,06	0,78	4,54	3,41	13,70
Ат-п	9-15	66,76	19,97	7,22	0,23	1,00	3,06	0,05	0,72	5,67	4,61	24,59
ВС	18-28	71,83	16,74	5,63	0,27	0,98	2,80	0,05	0,71	7,28	6,00	33,92
ВС	34-44	72,93	15,67	5,32	0,37	1,18	2,74	0,05	0,73	7,90	6,49	36,43
Разрез 6-90. Криозём торфянистый легко суглинистый. ТУМ: Плато и пологие склоны												
Ат	13-18	70,23	17,15	5,96	1,24	0,90	2,58	0,05	0,88	6,95	5,69	31,31
ВС	30-40	69,06	17,25	6,78	1,40	0,89	2,63	0,06	0,92	6,79	5,43	27,07

## Окончание таблицы А1

Гори- зонт	Глубина взятия образца, см	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Si/Al	Si/ Al+Fe	Si/Fe
Разрез 8-90. Палевая среднесуглинистая на аллювиальном галечнике. ТУМ: бровки террас												
Вм	5-14	71,15	16,70	5,88	1,02	0,94	2,34	0,09	0,89	7,23	5,90	32,17
BC	25-35	70,19	16,93	6,35	1,03	1,01	2,58	0,06	0,86	7,04	5,68	29,41
С	40-50	70,92	16,67	6,13	0,94	1,01	2,39	0,06	0,90	7,22	5,85	30,78
Разрез 12-90. Торфянисто-глеевая легкосуглинистая на древне-аллювиальных отложениях. ТУМ: Пониженная часть террасы												
В	17-20	70,59	16,75	5,78	1,13	1,24	2,56	0,06	0,90	7,15	5,86	32,47
BCG	21-25	74,73	14,98	4,37	0,76	0,88	2,39	0,05	0,85	8,47	7,14	45,46
Разрез 18-91. Палево-криозём легко суглинистый. ТУМ: Бровки террас												
А1т	3- 6	59,03	19,92	13,30	1,52	0,95	2,37	1,06	0,85	5,03	3,53	11,80
АВ	6-12	59,63	20,56	13,00	0,75	1,05	2,52	0,66	0,82	4,92	3,51	12,20
Вм	15-25	71,10	16,50	7,00	0,29	1,04	2,29	0,08	0,71	7,31	5,76	27,02
BC	26-35	73,30	16,29	5,03	0,26	0,90	2,45	0,06	0,71	7,63	6,38	38,75
Разрез 20-91. Криозём легко суглинистый. ТУМ: Высокие террасы												
BC1	6-16	69,32	17,48	6,55	0,52	1,11	3,16	0,05	0,80	6,73	5,43	28,14
BC2	22-32	70,83	16,84	5,79	0,52	1,04	3,21	0,06	0,72	7,14	5,86	32,55
Разрез 13-90. Палевая легкосуглинистая на сланцах. ТУМ: Крутые склоны												
В1м	8-18	71,05	17,66	4,80	0,41	0,94	3,22	0,05	0,88	6,83	5,82	39,37
В2м	20-28	69,90	18,38	4,79	0,55	1,19	3,28	0,04	0,84	6,45	5,53	38,76
BCg	43-50	72,66	16,43	4,41	0,59	1,00	3,08	0,05	0,78	7,51	6,41	43,84

Таблица А2

## Результаты агрохимического анализа почв

Индекс горизонта	Глубина взятия образца, см	Гумус, %	рН		Гидр. кисл. мг-экв на 100 г почвы	Поглощенные		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Легко гидролизуемый азот	Fe по	
			водный	солевой		Са	Mg				Джексонау	Тамму
Разрез N19-91а. Криозём торфянисто-перегнойный легко суглинистый. Плато и пологие склоны												
Ао	0-3	-	4,32	3,22	81,37	2,90	1,01	0,01	22,27	18,6	5,47	3,88
Ат-п	3-9	6,00	4,52	3,25	27,57	1,51	0,48	4,25	9,27	10,25	4,99	2,73
BC	12-22	2,30	5,27	3,80	8,75	1,70	0,71	8,57	4,82	4,66	2,63	1,23
BC	34-44	1,63	6,14	4,41	3,06	2,56	1,12	19,28	5,42	3,73	2,27	0,63
Разрез N6-90. Криозём торфянистый легко суглинистый. Плато и пологие склоны												
Аог	4-6	-	5,21	4,51	-	-	-	-	-	-	-	-
Т	7-13	-	5,62	4,80	-	-	-	-	-	-	-	-
Ат	13-18	3,01	5,51	4,38	7,64	8,46	1,74	26,60	5,54	5,59	-	-
BC	30-40	4,62	5,86	4,75	7,92	12,26	1,85	9,95	6,98	7,22	-	-
Разрез 1-91. Палево-криозём надмерзлотно-глееватый супесчаный. Плато и пологие склоны												
Ао	0-2	-	5,58	4,95	-	-	-	-	-	-	-	-
АВ	2-8	3,93	4,92	3,65	12,86	4,17	1,66	2,75	7,83	7,92	2,86	1,04
Вм	20-30	0,67	6,49	5,16	1,40	4,26	1,89	22,98	4,09	3,72	2,97	0,36
BC	60-70	0,45	7,32	6,36	0,52	4,87	1,95	27,33	9,03	2,9	2,69	0,27
Gh	110-115	1,80	8,42	7,62	0,08	17,19	4,01	20,88	12,04	7,92	2,68	2,29
Разрез N12-90. Торфянисто-глеевая легкосуглинистая на древне-аллювиальных отложениях. Пониженная часть террасы												
Т	2-12	-	5,00	4,29	-	-	-	-	-	-	-	-
ТВ	17-20	2,16	5,72	4,58	8,83	14,36	2,26	12,70	9,39	11,65	-	-
BCG	21-25	1,99	5,82	4,52	3,64	4,86	0,64	17,65	4,33	4,66	-	-
Разрез N9-90. Аллювиальная связано песчаная. Первая надпойменная терраса												
АоА1	0-2	-	5,48	4,74	-	-	-	-	-	-	-	-
А1	2-6	-	5,49	4,77	-	-	-	-	-	-	-	-
А11	11-18	0,59	6,08	4,87	1,64	2,43	0,56	59,55	5,54	4,660	-	-
А12	23-33	0,68	6,24	5,14	1,18	2,49	0,67	28,35	6,26	2,796	-	-

Продолжение таблицы А2

Индекс горизонта	Глубина взятия образца, см	Гумус, %	рН		Гидр. кисл. мг·экв на 100 г почвы	Поглощенные		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Легко гидролизуемый азот	Fe по	
			водный	солевой		Ca	Mg				Джексону	Тамму
Разрез N8-90. Палевая легкосуглинистая на аллювиальном галечнике. Бровки террас												
Ао	0-2	-	5,23	4,42	-	-	-	-	-	-	-	-
АоА1	2-4	-	5,85	5,25	-	-	-	-	-	-	-	-
Вм	5-14	2,33	5,27	4,06	9,38	6,56	1,58	24,10	11,07	7,46	-	-
BC	25-35	1,76	5,46	4,16	6,09	4,97	1,37	31,50	8,19	4,66	-	-
С	40-50	2,16	5,04	4,02	7,01	5,44	1,40	19,15	6,98	5,13	-	-
Разрез 10-91. Палевая среднесуглинистая на сланцах. Крутые южные склоны												
Ао	0-1	-	5,46	4,55	-	-	-	-	-	-	-	-
А1	1-2	-	5,02	4,09	52,5	14,87	5,69	0,01	39,73	15,37	4,93	1,42
В1м	4-9	10,94	4,56	3,44	22,08	5,82	3,84	0,01	20,47	10,25	7,02	1,09
В2м	15-25	1,23	5,66	3,92	7,26	7,28	5,59	0,01	9,03	5,82	5,80	0,77
BC	50-60	1,18	6,62	4,85	3,06	11,60	6,98	3,25	8,43	-	6,14	0,71
Разрез N10-90. Палево-криозём глееватый легко суглинистый. Пологие склоны												
А0	0-2	-	4,79	3,90	-	-	-	-	-	-	-	-
А0А1	2-5	-	4,41	3,45	-	-	-	-	-	-	-	-
Вм	5-10	2,67	5,40	4,22	8,64	9,65	2,57	13,20	13,24	10,02	-	-
BCg	23-33	1,93	6,18	4,88	2,91	8,16	1,76	34,30	6,98	6,52	-	-
Разрез 11-91. Палевая легкосуглинистая на сланцах. Вершина холма												
АотА1	1-5	-	5,46	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-
А1А2	5-8	-	5,38	4,1	16,40	14,80	6,16	0,01	21,67	16,30	5,60	3,05
А2В	8-18	2,58	6,21	4,7	4,72	11,09	5,35	0,01	9,63	7,92	5,55	0,94
В1	20-30	0,91	6,86	5,3	1,75	8,16	3,82	0,01	10,52	0,01	5,31	0,59
В2	30-40	1,21	7,06	5,4	2,36	21,45	10,52	0,01	17,1	10,70	10,28	0,74
В3	60-70	0,90	7,53	6,2	0,87	14,74	6,50	4,00	16,25	12,5	7,17	0,60



Продолжение таблицы А2

Индекс горизонта	Глубина взятия образца, см	Гу-мус, %	рН		Гидр. кисл.	Поглощенные		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Легко гидро-лизуемый азот	Fe по	
			водный	солевой		Ca	Mg				Джексонау	Тамму
			мг·экв на 100 г почвы					мг на 100 г почвы				
Разрез N31-90. Торфянистая на сланцах. Крутые северные склоны												
T	5-15	-	4,47	3,41	-	-	-	-	-	-	-	-
BC	20-25	4,10	4,50	3,57	62,79	5,77	2,29	-	17,57	22,60	-	-
Разрез 13-91. Палево-криозём. Пологие склоны												
A0	0-3	-	4,80	4,38	-	-	-	-	-	-	-	-
A0A1	3-5	-	4,72	3,82	20,55	5,29	1,42	8,70	27,69	22,36	2,01	1,10
B1	5-10	1,18	4,98	3,90	9,62	0,97	0,31	11,30	4,03	12,10	2,25	0,73
B2	10-17	0,95	5,52	3,96	6,04	1,05	0,49	15,68	5,42	10,70	3,40	1,06
BC	30-40	0,79	6,08	4,50	2,45	2,42	1,02	26,70	3,37	6,99	2,63	0,70
BC	60-65	1,18	6,52	5,40	1,31	2,96	1,13	36,98	4,82	6,06	2,45	0,45
Разрез 14-91. Криозём торфянисто-перегнойный легко суглинистый. Пологие склоны												
A0	0-3	-	4,85	3,52	-	-	-	-	-	-	-	-
At	3-6	-	4,49	3,42	52,5	4,91	1,25	8,23	22,27	-	2,34	1,61
A1	7-9	3,87	4,65	3,48	12,16	1,71	0,50	7,98	5,42	6,06	2,20	1,05
BC1	9-18	0,62	6,10	4,42	2,27	1,86	0,59	23,10	3,37	5,59	2,05	0,64
BC2	35-45	0,62	6,20	4,65	2,36	2,51	0,74	19,90	4,33	3,26	2,32	0,83
Разрез 15-91. Криозём торфянистый легко суглинистый. Плато.												
Оч	0-7	-	5,12	4,29	-	-	-	-	-	-	-	-
At	7-14	-	5,18	4,24	-	-	-	-	-	-	-	-
BC	15-25	4,32	5,67	3,90	9,01	2,96	0,69	14,30	4,82	10,25	1,40	0,77
Разрез 16-91. Палево-криозём легко суглинистый. Пологие склоны												
A0	0-2	-	4,96	3,90	-	-	-	-	-	-	-	-
A0A1	2-4	-	4,92	3,91	56,0	18,40	2,75	0,01	30,01	21,9	3,05	1,95
B1	5-10	5,61	5,36	3,85	15,04	12,31	2,00	0,01	9,03	12,11	4,13	1,87
BC	24-34	1,46	6,44	5,02	2,53	4,87	0,99	9,33	7,83	6,99	2,86	1,05

Продолжение таблицы А2

Индекс горизонта	Глубина взятия образца, см	Гумус, %	рН		Гидр. кисл. мг·экв на 100 г почвы	Поглощенные		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Легко гидролизуемый азот	Fe по	
			водный	солевой		Ca	Mg				Джексоу	Тамму
Разрез 17-91. Криозём торфянисто-перегнойный глеевый легко суглинистый. Плато.												
A0	0-3	-	4,12	2,98	-	-	-	-	-	-	-	-
At	3-6	-	4,35	3,44	-	-	-	-	31,30	-	-	-
A1g	8-18	5,20	5,06	3,66	28,43	4,71	1,20	3,75	17,82	18,64	4,10	2,96
BCg	35-42	1,57	5,52	4,05	4,81	13,40	1,95	23,12	7,59	6,06	1,69	0,86
Разрез 20-91. Криозём супесчаный глееватый. Высокие террасы												
A0	0-2	-	5,76	4,97	-	-	-	-	-	-	-	-
BC	6-16	3,59	5,45	3,97	8,57	5,17	1,16	36,48	5,42	12,58	2,88	1,20
BC	22-32	1,29	6,82	5,80	1,31	4,21	0,89	41,20	2,17	8,60	2,75	0,74
Разрез 18-91. Палево-криозём легко суглинистый. Пологие склоны												
A0T	0-4	-	4,62	3,65	-	-	-	-	-	-	-	-
A1T	3-6	-	5,32	4,10	5,5	8,90	2,06	0,01	26,49	18,64	7,20	4,57
AB	6-12	3,98	5,30	3,85	23,32	2,49	0,69	0,01	18,66	9,78	11,40	5,49
B	15-25	1,40	5,49	3,78	9,45	2,90	1,01	1,40	4,82	8,39	6,15	2,51
BC	26-35	1,21	5,70	4,00	5,25	1,63	0,66	3,63	2,89	4,42	2,60	0,89
Разрез 21-91. Палево-криозём легко суглинистый на сланцах. Бровки склонов												
A0	0-3	-	4,52	3,52	-	-	-	-	-	-	-	-
AB	3-11	3,59	4,86	3,45	15,36	2,04	0,98	5,85	18,06	15,80	1,96	0,93
BC	14-20	1,12	5,77	3,96	4,90	2,04	0,86	6,23	6,02	8,39	2,21	1,24
Разрез 22-91. Палевая легкосуглинистая на сланцах. Основание холма												
A0	0-3	-	4,30	3,52	-	-	-	-	-	-	-	-
At	3-6	-	4,47	3,24	-	-	-	-	-	-	-	-
II	6-16	4,44	5,19	3,80	14,08	3,52	1,50	5,23	9,03	11,65	3,40	1,47
B1	17-24	1,95	5,41	3,81	7,25	2,34	0,85	20,38	4,09	6,52	1,90	0,80
BC	36-46	1,95	5,47	3,90	6,56	1,78	0,61	27,20	3,61	5,59	1,24	0,56

Продолжение таблицы А2

Индекс горизонта	Глубина взятия образца, см	Гу- мус, %	рН		Гидр. кисл. мг·эquiv на 100 г почвы	Поглощенные		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Легко гидролизу- емый азот	Fe по	
			водный	солевой		Са	Mg				Джексона	Тамму
Разрез 24-91. Палевая фрагментарная легкосуглинистая. Бровки склонов.												
A0	0-2	-	4,99	4,10	-	-	-	-	-	-	-	--
A2	4-5	3,90	4,60	3,21	20,38	1,72	0,53	0,01	6,02	9,32	1,11	0,38
B	4-10	3,43	5,37	3,94	9,97	1,27	1,22	5,23	19,02	10,72	2,09	0,62
B	9-16	2,15	4,97	3,65	14,17	0,93	0,35	0,01	4,09	6,99	3,34	0,49
B2	20-30	1,61	5,67	4,02	6,39	0,85	0,31	0,01	3,37	6,05	2,26	0,27
BC	45-55	0,85	6,02	4,26	2,18	2,27	0,70	24,23	1,81	4,19	2,69	0,38
Разрез 25-91. Аллювиальные связано песчаные. Первая терраса												
A0	0-2	-	5,60	5,04	-	-	-	-	-	-	-	-
A11	10-20	1,75	6,14	4,84	1,66	2,40	0,67	41,65	2,89	4,19	2,38	0,52
A12	25-35	1,75	6,55	5,66	1,75	3,84	0,83	39,82	1,81	9,30	2,17	0,56
Разрез 26-91. Аллювиальные связано песчаные. Первая терраса												
A0	0-2	-	6,86	6,65	-	-	-	-	-	-	-	-
A11	2-12	1,76	6,25	5,48	2,01	3,16	0,65	40,57	7,59	8,16	2,20	0,55
A12	15-25	2,22	6,40	5,44	2,10	3,53	0,77	43,70	8,43	6,99	2,17	0,66
Прикопка I-2600-91. Палево-криозём торфянистый супесчаный. Пологие склоны												
ТВ	4-10	-	6,36	5,42	18,37	39,93	11,00	0,01	19,87	14,90	4,40	1,34
B	4-15	2,62	6,41	5,02	3,5	10,74	3,87	0,01	4,82	5,13	4,68	0,84
BC	15-25	1,28	6,82	4,88	1,92	8,92	2,59	0,01	26,49	5,59	3,34	0,59
Прикопка I-1700-91. Криозём торфянистый легкосуглинистый. Пологие склоны												
Оч	0-3	-	5,60	4,74	-	-	-	-	-	-	-	-
T	3-8	-	5,24	4,49	-	-	-	-	-	-	-	-
BC	10-20	1,75	6,34	5,32	1,83	5,54	2,58	15,30	3,37	6,99	2,27	0,42
Разрез N30-90. Торфянистая на сланцах. Северные склоны												
T	5-10	-	4,00	3,03	-	-	-	-	-	-	-	-
BC	15-30	15,70	4,78	3,50	-	-	36,40	3,83	2,17	2,80	12,28	12,116

Продолжение таблицы А2

Индекс горизонта	Глубина взятия образца, см	Гу-мус, %	рН		Гидр. кисл. мг·экв на 100 г почвы	Поглощенные		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Легко гидролизуемый азот	Fe по	
			водный	солевой		Ca	Mg				Джексона	Тамму
Прикопка I-12-91. Кризём торфянистый (выжимное пятно) легкосуглинистый. Древние террасы												
BC	10-20	1,21	6,60	4,94	1,66	2,53	1,20	10,70	5,18	6,99	2,11	0,67
Прикопка II-2-91. Торфянистая глееватая среднесуглинистая. Высокие террасы.												
A0	0-2	-	5,50	4,96	-	-	-	-	-	-	-	-
A1g	4-10	3,90	5,22	3,72	12,09	4,20	1,51	2,88	6,02	13,98	1,66	0,96
B	12-18	2,02	5,10	3,82	9,88	4,62	1,67	2,25	5,42	6,06	1,98	1,13
BC	40-50	1,08	5,26	3,75	8,48	4,19	1,33	13,80	3,37	2,79	1,60	0,77
Разрез N2-90. Примитивная легкосуглинистая на сланцах. Вершина холма.												
A0	0-2	-	-	4,32	-	-	-	-	-	-	-	-
BC	6-20	-	-	4,20	-	-	-	-	-	-	-	-
Разрез N23-90. Примитивная легкосуглинистая на сланцах. Крутые склоны												
A0T	0-3	-	7,25	6,90	-	-	-	-	-	-	-	-
BC	5-15	6,48	6,88	6,15	-	-	1,82	18,31	3,28	17,30	30,82	-
Разрез N1-90. Палевая легкосуглинистая на сланцах. Крутые склоны												
A0	2-4	-	5,78	4,85	0,00	0,40	-	-	-	-	-	-
A1	4-6	3,64	5,91	4,82	0,04	0,08	4,97	6,47	1,54	8,85	28,89	8,388
B1	20-30	2,18	5,10	3,86	2,14	0,06	5,82	1,86	0,50	6,25	12,64	6,058
BC	70-77	3,41	7,10	6,30	-	-	0,91	10,55	0,33	17,25	6,26	4,194
Разрез N13-90. Палевая легкосуглинистая на сланцах. Крутые склоны.												
O2O3	2-4	-	4,75	3,20	7,40	2,00	-	-	-	-	-	-
A0A1	4-8	-	4,57	3,56	1,40	0,80	-	-	-	-	-	-
B1	8-18	3,64	4,86	3,57	3,68	0,14	13,01	4,97	0,03	6,30	10,59	6,524
B2	20-28	2,44	5,35	4,04	1,08	0,08	7,64	8,98	0,61	12,95	9,87	6,524
BCg	43-50	1,82	6,10	4,92	0,02	0,06	2,64	8,83	0,49	42,50	6,26	3,262
Разрез N4-90. Палевая легкосуглинистая на аллювиальном галечнике. Бровки террас												
A0A1	1-5	-	4,66	3,66	3,80	0,60	-	-	-	-	-	-
Bg	7-13	4,15	4,97	3,80	3,35	0,10	15,16	3,49	1,38	13,45	8,19	11,650

## Окончание таблицы А2

Индекс горизонта	Глубина взятия образца, см	Гумус, %	рН		Гидр. кисл. мг·экв на 100 г почвы	Поглощенные		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Легко гидролизуемый азот	Fe по	
			водный	солевой		Ca	Mg				Джексону	Тамму
Разрез N3-90. Палевая легкосуглинистая на аллювиальном галечнике. Бровки террас												
A0	0-2	-	4,93	4,18	1,50	1,00	-	-	-	-	-	-
A0A1	2-6	-	4,32	3,57	4,00	0,80	-	-	-	-	-	-
B	6-11	4,89	4,32	3,82	3,48	0,10	14,47	1,92	0,54	11,95	9,39	11,189
BC1	15-25	1,71	5,20	4,46	-	-	3,18	1,24	0,37	21,20	7,22	-
BC2	50-55	2,50	5,60	4,47	0,10	0,08	5,82	7,05	1,44	34,30	6,02	7,922
Разрез N5-90. Палевая легкосуглинистая на аллювиальном галечнике. Бровки террас												
A0A1	2-5	-	4,62	3,62	6,20	1,20	-	-	-	-	-	-
B	5-14	6,20	4,76	3,87	3,80	0,12	13,01	1,28	0,32	3,25	7,22	8,388
Пятн	25-30	1,71	5,05	4,04	0,36	0,04	3,64	2,72	0,47	23,90	5,05	6,524
C	80-90	1,59	5,94	4,99	0,00	0,06	1,36	2,07	0,40	26,70	4,33	3,728
Разрез N21-90. Палевая легкосуглинистая на аллювиальном галечнике. Бровки террас												
A0T	0-8	-	4,33	3,54	6,40	3,40	-	-	-	-	-	-
B	10-13	7,73	4,76	3,80	-	-	11,60	8,52	1,46	12,45	20,70	-
BC1	13-19	2,50	4,98	4,11	-	-	7,09	3,07	0,75	28,85	8,19	6,525
BC2	25-35	2,84	5,45	4,35	-	-	3,09	1,82	0,48	28,60	7,22	5,592
Разрез N7-90. Палево-криозем глеевый среднесуглинистый. Пологие склоны												
B1	8-11	1,60	5,36	4,06	0,74	0,12	8,09	6,24	1,13	11,30	6,02	5,592
Bg	15-20	1,37	6,06	4,62	0,10	0,06	3,55	6,05	1,14	9,95	4,33	4,194
Разрез N25-90. Торфянисто-глеевая легкосуглинистая на галечнике. Пониженная часть террасы.												
T	0-10	-	4,40	3,30	-	-	-	-	-	-	-	-
BCG	15-25	6,37	5,40	4,08	-	-	10,01	3,90	0,60	42,25	3,85	13,514
Прикопка N2500-90. Криозем торфянистый легкосуглинистый. Пологие склоны												
A0T	0-10	-	4,63	3,81	-	-	-	-	-	-	-	-
T2	10-14	-	5,28	4,66	-	-	-	-	-	-	-	-
BC	20-30	-	6,27	4,75	-	-	4,09	5,55	1,11	31,85	5,54	-

## Гранулометрический состав мелкозёма, в процентах на абсолютно сухую почву

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Гигроско- пическая влажность, %	Потери от обработки HCl, %	Содержание по фракциям, %						
				1.0-0.25 мм	0.25-0.05 мм	0.05-0.01 мм	0.01- 0.005 мм	0.005- 0.001 мм	<0.001 мм	<0.01 мм
Разрез 1-91. Палево-криозём надмерзлотно-глееватый супесчаный на жиле льда. Плато и пологие склоны										
АВ	2-8	0,72	1,49	0,73	59,06	19,13	6,02	4,57	9,00	19,91
Вм	20-30	0,19	1,04	0,003	59,45	25,31	0,99	2,82	10,39	14,54
BC	60-70	0,09	1,01	0,09	67,39	20,99	2,13	4,62	3,77	10,79
Gh	110-115	0,15	2,23	0,13	63,63	22,72	4,66	5,29	1,34	11,84
Разрез 6-90. Криозём торфянистый легко суглинистый. Плато и пологие склоны										
Ат	13-18	0,41	1,70	0,39	28,80	51,66	5,95	7,11	4,39	17,86
BC	30-40	0,38	1,85	0,20	20,84	51,17	9,09	9,24	7,61	26,35
Разрез 8-90. Палевая легкосуглинистая на аллювиальном галечнике. Бровки террас.										
Вм	5-14	0,44	1,85	10,64	23,40	41,91	6,59	5,87	9,74	22,58
BC	25-35	0,49	2,64	2,66	43,93	28,95	7,07	8,36	6,39	22,13
С	40-50	0,08	1,51	2,23	25,78	46,35	6,88	12,21	5,04	24,53
Разрез 12-90. Торфянисто-глеевая легкосуглинистая на древне-аллювиальных отложениях. Пониженная часть террасы										
В	14-16	0,08	3,03	2,90	25,06	42,96	8,07	9,37	8,61	26,53
BCG	16-21	0,03	2,54	0,19	18,96	60,61	6,99	4,78	5,93	18,04
Разрез 10-91. Палевая среднесуглинистая на сланцах. Крутые южные склоны										
В1м	4-9	0,30	1,17	9,34	43,92	10,26	11,08	11,34	12,89	35,70
В2м	15-25	1,50	2,45	17,07	36,52	12,29	8,35	12,97	10,35	31,99
BC	50-60	0,33	2,54	2,85	57,97	11,74	3,78	12,38	8,74	25,30
Разрез 19-91а. Криозём торфянисто-перегнойный легко суглинистый. Плато и пологие склоны										
Ат	3-6	2,15	0,72	5,01	35,57	10,11	8,25	11,96	28,38	49,04
Ат-п	6-9	0,16	1,75	6,38	45,26	19,40	4,49	11,64	11,08	27,61
BC	12-22	0,37	1,17	8,67	60,46	18,15	2,71	2,12	6,72	11,86
BC	34-44	0,01	1,17	6,38	55,48	22,49	3,20	9,22	2,06	14,90

Окончание таблицы А3

Гори- зонт	Глубина взятия образца, см	Гигроско- пическая влажность, %	Потери от обработки НС1, %	Содержание по фракциям, %						
				1.0-0.25 мм	0.25-0.05 мм	0.05-0.01 мм	0.01- 0.005 мм	0.005- 0.001 мм	<0.001 мм	<0.01 мм
Разрез 13-90. Палевая легкосуглинистая на сланцах. Крутые склоны										
В1м	8-18	0,42	1,17	12,82	40,60	17,46	7,17	6,55	14,23	28,28
В2м	20-28	0,12	1,82	12,24	39,47	18,60	5,76	9,16	12,95	28,27
BCg	43-50	0,07	1,51	17,23	46,72	19,24	4,30	8,07	2,93	15,65
Разрез 18-91. Палево-криозём легко суглинистый. Бровки террас										
АВ	6-12	0,46	2,72	1,36	40,36	17,46	7,52	16,89	13,69	38,54
Вм	15-25	0,39	2,83	7,78	46,75	24,21	3,04	7,29	8,10	18,77
BC	26-35	0,09	2,64	7,50	53,33	25,80	6,58	4,79	6,02	17,72
Разрез 20-91. Криозём легко суглинистый. Высокие террасы										
BC1	6-16	0,34	3,59	2,04	33,21	28,61	10,44	11,32	10,79	32,99
BC2	22-32	0,08	1,02	9,82	65,50	13,35	1,50	5,78	3,03	10,58

## Результаты физического анализа почв

Индекс горизонта	Глубина взятия образца, см	Гранулометрический состав	Влажность, %	Плотность	Примечания
I-1-91. Палево-криозём супесчаный					
B1	4-9	супесчаный	14,8	1,13	
B2	15-20	»	12,3	1,37	
BC	34-38	»	14,0	1,40	
BC	56-60	»	17,6	1,41	
BC	81-85	»	29,3	-	мерзлотный, насыщен мелкими кристаллами льда
I-26-91. Криозём торфянисто-перегнойный легко суглинистый средне каменистый					
OB	9-12	легко суглинистый	34,5	0,59	много корней, органических остатков
BC	13-17	»	17,1	1,62	
BC	32-36	»	14,8	1,78	тиксотропный
BC	46-50	»	35,2	-	крупные (до 1 см толщиной) жилы льда
I-2-91. Криозём торфянисто-перегнойный легко суглинистый					
BCg	60-64	супесчаный	31,0	0,93	мерзлота
I-16-91. Криозём торфянисто-перегнойный легко суглинистый средне каменистый.					
B	7-12	легко суглин.	28,4	1,14	много корней, рыхлый
BC	17-22	»	14,1	1,67	уплотнён
I-12-91. Криозём торфянистый легко суглинистый.					
BC	5-9	легко суглин.	12,4	1,65	выжимное пятно
BC	30-34	»	13,5	-	
BC	58-62	»	59,2	-	насыщен крупными жилами льда
I-29-91. Криозём торфянистый легко суглинистый средне каменистый.					
BC	9-14	легко суглин.	24,9	1,17	
BC	19-24	»	18,5	1,49	
BC	39-43	»	13,4	1,90	
I-33-91. Криозем тиксотропный легко суглинистый					
BC	6-12	легко суглин.	22,9	1,16	
BC	14-21	»	18,9	1,60	
BC	30-35	»	16,9	1,69	надмерзлотный тиксотропный
25-91. Аллювиальная связано песчаная на первой террасе реки					
A11	10-15	связано песчаный	3,3	1,29	
A12	32-36	супесчаный	6,1	1,14	
26-91. Аллювиальная связано песчаная на первой террасе реки					
A11	4-10	связано песчаный	4,9	1,16	корни
A12	15-10	супесчаный	5,8	1,21	



## Приложение Б

### Характеристика типов условий местопроизрастания на северо-востоке республики Саха

*Таблица Б1*

Разнообразие природных условий в различных типах условий местопроизрастания

№ Т У М	Типы леса			Почвы			Каменис- тость, %	Мохово- лишайни- ковый покров, см	Мерзло- та, см	Органо- генный гори- зонт, см
	№ п/п	число наблю- дений	%	№ п/п	число наблю- дений	%				
1	15	5	50	5	10	100	60±10	-	-	0.5±0.3
	16	5	50							
2	12	7	70	5	10	100	15±5	1±0.5	75±10	2.5±0.5
	15	3	30							
3	6	13	31	2	31	72	-	3.4±0.6	23,6±1,7	8,9±0,7
	8	11	26	1	6	14				
	7	7	17	10	4	9				
	13	4	10	15	1	2				
	11	3	7	4	1	2				
	3	3	7							
	12	1	2							
5n	5	13	50	7	9	35	80,4±3,6	2,1±0,2	34,8±4,0	8,7±1,4
	1	8	31	2	9	35				
	4	3	12	16	5	19				
	2	1	4	17	3	12				
	19	1	4							
5s	2	13	48	6	20	83	28,4±4,4	1,8±0,2	44,8±8,7	1,5±0,6
	6	6	6	16	2	8				
	3	5	5	2	2	8				
	4	2	2							
	5	1	1							
5br	1	10	42	7	15	65	24,4±4,0	1,3±0,3	54,1±3,8	3,4±0,3
	4	9	38	1	3	13				
	6	3	13	5	2	9				
	5	1	4	16	1	4				
	2	1	4	3	1	4				
				9	1	4				

Продолжение таблицы Б1

№ Т У М	Типы леса			Почвы			Каменистость, %	Мохово-лишайниковый покров, см	Мерзлота, см	Органо-генный горизонт, см
	№ п/п	число наблюдений	%	№ п/п	число наблюдений	%				
6	5	80	61	2	46	35	7,7±5,0	2,3±0,1	46,7±1,5	6,9±0,5
	9	35	27	3	42	32				
	7	8	6	1	41	31				
	4	6	4	7	2	1				
	6	3	2	4	1	1				
7	13	2	67	2	2	67	20,0±15,0	-	37,7±1,3	17,0±2,3
	1	1	33	1	1	33				
8	10	1	100	11	1	100	-	5	32	17
9	9	4	21	2	8	42	1,6±1,1	4,3±1,3	41,3±3,1	14,3±2,5
	7	4	21	10	6	32				
	17	4	21	3	4	21				
	13	3	16	11	1	5				
	6	1	5							
	10	1	5							
	8	1	5							
11	1	5								

Классификатор типов условий местопроизрастания.

1 – низкая пойма, косы, острова; 2 – первая надпойменная терраса; 3 – высокие надпойменные террасы; 5n – крутые склоны северной экспозиции; 5s – крутые склоны южной экспозиции; 5br – бровки террас и склонов; 6 – плато и пологие склоны; 7 – подошвы и основания холмов и гор; 8 – бессточные западины (верховые); 9 – межгорные понижения (низинные).

Классификатор типов леса.

1 – Лиственничник шикшево-лишайниковый; 2 – бруснично-лишайниковый; 3 – брусничный; 4 – бруснично-багульниково-лишайниковый; 5 – бруснично-багульниково-лишайниково-зеленомошный; 6 – бруснично-багульниково-зеленомошный; 7 – багульниково-зеленомошный; 8 – голубично-зеленомошный; 9 – ерничково-зеленомошный; 10 – сфагновый; 11 – осоковый; 12 – грушанково-разнотравный; 13 – осоково-зеленомошный; 14 – душекиевый; 15 – чозенник разнотравный; 16 – ивняк разнотравный; 17 – осоковая марь; 18 – сфагновое болото; 19 – висячее болото.

Классификатор почв.

1 – криозём; 2 – криозём торфянистый; 3 – криозём торфянисто-перегнойный; 4 – криозём торфяный глеевый; 5 – криозём пойменный; 6 – палевая; 7 – палевая фрагментарная; 8 – палевая торфянистая глеевая; 9 – подбур; 10 – тофяно-болотная осоковая; 11 – торфяно-болотная сфагновая; 12 – пойменная мерзлотная; 13 – пойменная торфянисто-глееватая; 14 – пойменная торфянисто-глеевая; 15 – пойменная дерновая; 16 – палево-криозём; 17 – торфянистая на сланцах; 19 – подбур фрагментарный.

Таблица Б2

Ковариация почв, мезорельефа и типов условий местопроизрастания на северо-востоке республики Саха

Номер почвы	Мезорельеф			Мохово-лишайниковый покров, см	Мерзлота, см	Органогенный горизонт, см	ТУМ			Тип леса		
	номер	число наблюдений	%				номер	число наблюдений	%	номер	число наблюдений	%
1	8	23	44	2,1±0,1	40,7±2,2	5,0±0,3	6	31	60	5	33	64
	6	9	17				4	10	20	4	6	12
	10	8	15				3	6	12	3	3	6
	5	6	12				5	3	6	9	3	6
	7	3	6				7	1	2	8	2	4
	9	1	2							6	2	4
	11	1	2							13	1	2
	14	1	2							7	1	2
2	5	29	31	3,1±0,3	36,0±1,9	8,9±0,3	3	31	32	5	33	34
	6	16	17				6	27	28	9	18	19
	10	14	14				4	19	20	6	15	16
	8	11	11				5	11	11	7	13	13
	9	11	11				9	8	8	8	10	10
	17	11	11				7	1	1	17	3	3
	11	2	2							13	2	2
	14	1	1							4	2	2
	7	1	1							1	1	1
	18	1	1									

Продолжение таблицы Б2

Номер почвы	Мезорельеф			Мохово-лишайниковый покров, см	Мерзлота, см	Органогенный горизонт, см	ТУМ			Тип леса		
	номер	число наблюдений	%				номер	число наблюдений	%	номер	число наблюдений	%
3	6	22	47	2,6±0,3	47,9±4,2	8,8±0,9	6	16	57	5	16	56
	8	8	17				4	11	39	9	9	31
	17	5	10				9	1	4	6	2	7
	10	4	8							3	1	3
	11	4	8							7	1	3
	12	3	6									
	7	1	2									
	5	1	2									
4	18	1	50	1,5±0,5	35±13	10,5±1,5	3	1	50	11	1	50
	8	1	50				6	1	50	7	1	50
5	7	2		1,5±0,5	50±12	1,5±0,5	5	2		6	2	
6	9	20		1,8±0,2	65±5	3,4±0,4	5	20		2	12	60
										3	5	25
										6	3	15
7	9	21	81	1,3±0,2	57,9±1,5	2,7±0,3	5	24	92	1	15	57
	7	4	15				4	1	4	4	8	31
	6	1	4				6	1	4	5	2	8
									2	1	4	
9	6	1		4,0	-	7,0	5	1		5	1	
10	18	5	50	1,0±0,0	33,3±2,2	19,9±3,2	9	6	60	13	5	50
	5	3	30				3	4	40	11	3	30
	17	2	20							8	1	10
										17	1	10
11	18	2		5,0±0,0	34±2	31±14	9	1	50	10	2	
							8	1	50			

Окончание таблицы Б2

Номер почвы	Мезорельеф			Мохово-лишайниковый покров, см	Мерзлота, см	Органогенный горизонт, см	ТУМ			Тип леса		
	номер	число наблюдений	%				номер	число наблюдений	%	номер	число наблюдений	%
15	5	1		1,0	50,0	1,5	3	1		12	1	
	9	7	87	2,1±0,3	37,6±7,7	7,0±1,6	5	8		4	2	25
	7	1	13							2	2	25
										1	2	25
										5	1	13
										6	1	12
17	9	3		2,7±0,3	18,3±0,3	22±4	5	3		5	2	67
										19	1	33

Примечание. Классификаторы почв, типов леса и условий местопроизрастания приведены в табл. Б1.

Приложение В

Ход роста модальных лиственничных насаждений в зависимости от почв и рельефа

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число деревьев, шт	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> га <sup>-1</sup>	Запас, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Изменение запаса, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>		Общая продуктивность, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Прирост по общей продуктивности, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>		Отпад, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>
						текущее	среднее		текущий	средний	
<b>Аллювиальные связанопесчаные почвы речных пойм и первых террас (IV-V бонитет)</b>											
20	5,9	4,8	1359	2,4	8	0,40	0,40	8	0,42	0,42	0,02
30	8,0	7,4	941	4,1	17	0,89	0,56	19	1,04	0,63	0,15
40	9,7	9,7	764	5,7	27	1,05	0,68	32	1,31	0,80	0,25
50	11,1	11,7	674	7,2	39	1,12	0,77	46	1,45	0,93	0,33
60	12,4	13,3	623	8,6	50	1,12	0,83	61	1,49	1,02	0,38
70	13,4	14,5	594	9,8	61	1,07	0,86	76	1,47	1,09	0,40
80	14,2	15,5	577	10,9	71	1,00	0,88	90	1,41	1,13	0,41
90	14,9	16,3	567	11,9	80	0,91	0,88	103	1,31	1,15	0,40
100	15,5	17,0	563	12,7	88	0,82	0,88	115	1,20	1,15	0,38
110	16,1	17,5	562	13,4	95	0,73	0,86	126	1,08	1,15	0,36
120	16,5	17,8	562	14,0	102	0,64	0,85	136	0,97	1,13	0,33
130	16,9	18,1	564	14,6	107	0,56	0,82	144	0,86	1,11	0,30
140	17,2	18,4	567	15,0	112	0,49	0,80	152	0,76	1,08	0,27
150	17,4	18,6	571	15,4	116	0,42	0,77	158	0,66	1,06	0,24
160	17,6	18,7	574	15,7	120	0,36	0,75	164	0,58	1,03	0,21
180	18,0	18,9	581	16,3	126	0,29	0,70	174	0,47	0,96	0,18
200	18,2	19,0	587	16,6	130	0,21	0,65	181	0,35	0,90	0,14
220	18,4	19,1	592	16,9	133	0,15	0,60	186	0,26	0,84	0,11

Продолжение приложения В

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число деревьев, шт	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> га <sup>-1</sup>	Запас, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Изменение запаса, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>		Общая продуктивность, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Прирост по общей продуктивности, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>		Отпад, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>
						текущее	среднее		текущий	средний	
<b>Палевые почвы и Палево-криозёмы на склонах теплых экспозиций и бровках террас (V бонитет)</b>											
30	6,5	5,2	1198	2,6	9	0,29	0,29	10	0,33	0,33	0,04
40	8,3	7,7	945	4,4	18	0,97	0,46	22	1,22	0,55	0,25
50	9,8	9,8	835	6,3	30	1,15	0,60	38	1,54	0,75	0,38
60	10,9	11,4	782	8,0	42	1,17	0,70	54	1,64	0,90	0,46
70	11,8	12,6	758	9,4	53	1,08	0,75	70	1,57	0,99	0,49
80	12,5	13,4	749	10,6	62	0,94	0,77	84	1,40	1,05	0,47
90	13,0	14,0	747	11,6	70	0,78	0,77	96	1,20	1,06	0,42
100	13,4	14,5	749	12,3	76	0,63	0,76	106	0,99	1,06	0,36
110	13,7	14,8	753	12,9	81	0,49	0,74	114	0,80	1,03	0,31
120	13,9	15,0	758	13,4	85	0,38	0,71	120	0,63	1,00	0,25
130	14,1	15,1	763	13,7	88	0,29	0,67	125	0,50	0,96	0,20
140	14,2	15,2	768	14,0	90	0,22	0,64	129	0,38	0,92	0,16
150	14,3	15,3	771	14,2	92	0,17	0,61	132	0,30	0,88	0,13
160	14,4	15,3	775	14,3	93	0,13	0,58	134	0,23	0,84	0,10
180	14,5	15,4	780	14,5	95	0,08	0,53	137	0,15	0,76	0,07
200	14,5	15,4	783	14,6	95	0,05	0,48	139	0,09	0,69	0,04
220	14,5	15,4	785	14,7	96	0,03	0,44	140	0,05	0,63	0,02

Продолжение приложения В

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число деревьев, шт	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> га <sup>-1</sup>	Запас, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Изменение запаса, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>		Общая продуктивность, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Прирост по общей продуктивности, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>		Отпад, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>
						текущее	среднее		текущий	средний	
<b>Криозёмы на плато и пологих склонах (Va бонитет)</b>											
40	4,5	4,6	1848	3,1	8	0,21	0,21	10	0,26	0,26	0,05
50	6,5	7,0	1192	4,6	16	0,78	0,32	21	1,02	0,41	0,25
60	8,1	8,9	944	5,9	24	0,83	0,41	32	1,15	0,53	0,32
70	9,3	10,3	834	7,0	32	0,75	0,46	43	1,09	0,61	0,34
80	10,1	11,3	783	7,8	38	0,61	0,48	52	0,93	0,65	0,32
90	10,7	11,9	759	8,4	43	0,47	0,48	60	0,74	0,66	0,27
100	11,1	12,3	749	8,9	46	0,35	0,46	65	0,57	0,65	0,22
110	11,4	12,5	746	9,2	49	0,25	0,44	70	0,42	0,63	0,17
120	11,6	12,7	746	9,4	50	0,17	0,42	73	0,30	0,61	0,13
130	11,7	12,8	747	9,6	52	0,12	0,40	75	0,22	0,58	0,10
140	11,8	12,8	748	9,7	52	0,08	0,37	76	0,15	0,55	0,07
150	11,9	12,9	750	9,8	53	0,06	0,35	77	0,11	0,52	0,05
160	11,9	12,9	752	9,8	53	0,04	0,33	78	0,08	0,49	0,04
180	11,9	12,9	754	9,9	54	0,02	0,30	79	0,04	0,44	0,02
200	12,0	12,9	755	9,9	54	0,01	0,27	79	0,02	0,40	0,01
220	12,0	12,9	756	9,9	54	0,00	0,25	80	0,01	0,36	0,01



## Продолжение приложения В

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число деревьев, шт	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> га <sup>-1</sup>	Запас, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Изменение запаса, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>		Общая продуктивность, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup>	Прирост по общей продуктивности, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>		Отпад, м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup>
						текущее	среднее		текущий	средний	
<b>Криозёмы торфянистые и Торфянисто-глеевые на слабодренированных пологих участках, а также Торфянистые на крутых северных склонах (Vb бонитет)</b>											
40	2,9	2,3	3702	1,6	3	0,08	0,08	4	0,11	0,11	0,03
50	3,9	3,8	2126	2,4	6	0,27	0,12	8	0,37	0,16	0,11
60	4,7	5,2	1548	3,3	9	0,30	0,15	12	0,44	0,21	0,14
70	5,4	6,3	1290	4,0	12	0,30	0,17	17	0,45	0,24	0,15
80	6,0	7,1	1162	4,6	15	0,27	0,18	21	0,43	0,26	0,15
90	6,4	7,7	1097	5,0	17	0,23	0,19	25	0,38	0,28	0,14
100	6,8	8,1	1063	5,4	19	0,19	0,19	28	0,32	0,28	0,13
110	7,1	8,3	1047	5,7	20	0,16	0,19	31	0,27	0,28	0,11
120	7,4	8,5	1040	5,9	22	0,12	0,18	33	0,22	0,27	0,09
130	7,5	8,6	1038	6,0	23	0,10	0,17	35	0,17	0,27	0,08
140	7,7	8,7	1039	6,2	23	0,07	0,17	36	0,14	0,26	0,06
150	7,8	8,7	1040	6,2	24	0,06	0,16	37	0,11	0,25	0,05
160	7,9	8,8	1043	6,3	24	0,04	0,15	38	0,08	0,24	0,04
180	8,0	8,8	1047	6,4	25	0,03	0,14	39	0,06	0,22	0,03
200	8,1	8,8	1050	6,4	25	0,02	0,13	40	0,03	0,20	0,02
220	8,1	8,8	1051	6,4	25	0,01	0,12	40	0,02	0,18	0,01

Приложение Г

**Таблицы биологической продуктивности модальных лиственничных насаждений  
в зависимости от почв и рельефа**

Возраст, лет	Фитомасса насаждения, т·га <sup>-1</sup>								Общая продуктивность фитомассы, т·га <sup>-1</sup>	Текущий прирост фитомассы, т·га <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>		Углерод фитомассы, т·га <sup>-1</sup>				Чистая первичная продукция, г·См <sup>-2</sup> ·год <sup>-1</sup>
	древостой					подрост и подлесок	напочвенный покров	всего		наличного насаждения	По общей продуктивности	наличного насаждения		по общей продуктивности		
	ствол	древесина кроны	хвоя	корни	всего							всего	в т.ч. ствол	всего	в т.ч. ствол	
<b>Аллювиальные связанопесчаные почвы речных пойм и первых террас (IV-V бонитет)</b>																
20	4,1	2,1	0,5	3,1	9,8	0,1	2,8	12,7	33,5	0,84	2,50	6,1	2,0	15,7	2,1	118
40	14,6	4,2	1,0	9,4	29,2	0,5	3,1	32,8	99,3	1,09	3,92	16,2	7,3	46,8	8,2	185
60	26,9	5,7	1,3	15,3	49,2	0,9	3,4	53,5	186,6	0,95	4,65	26,5	13,5	88,1	16,2	220
80	38,2	6,6	1,4	19,5	65,7	1,4	3,6	70,7	283,3	0,76	4,95	35,0	19,1	133,7	24,0	233
100	47,5	7,1	1,5	22,3	78,4	1,8	3,8	84,0	383,4	0,57	5,04	41,6	23,7	180,8	30,7	237
120	54,9	7,6	1,6	24,8	88,9	2,3	3,9	95,1	486,1	0,48	5,17	47,1	27,4	229,0	36,3	242
140	60,4	7,9	1,6	26,5	96,4	2,7	4,0	103,1	589,9	0,35	5,20	51,2	30,2	277,6	40,6	243
160	64,4	8,2	1,6	27,8	102,0	3,1	4,2	109,3	694,5	0,28	5,26	54,2	32,2	326,5	44,0	246
180	67,3	8,6	1,7	28,8	106,4	3,4	4,3	114,1	800,4	0,20	5,32	56,6	33,6	375,8	46,5	248
200	69,2	8,9	1,7	29,5	109,3	3,7	4,4	117,4	907,4	0,15	5,37	58,2	34,6	425,6	48,4	250
220	70,5	9,2	1,7	30,0	111,4	3,9	4,6	119,9	1015,4	0,10	5,43	59,5	35,2	475,8	49,7	252

Продолжение приложения Г

Возраст, лет	Фитомасса насаждения, т·га <sup>-1</sup>								Общая продуктивность фитомассы, т·га <sup>-1</sup>	Текущий прирост фитомассы, т·га <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>		Углерод фитомассы, т·га <sup>-1</sup>				Чистая первичная продукция, г·См <sup>-2</sup> ·год <sup>-1</sup>
	древостой					подрост и подлесок	напочвенный покров	всего		наличного насаждения	По общей продуктивности	наличного насаждения		по общей продуктивности		
	ствол	древесина кроны	хвоя	корни	всего							всего	в т.ч. ствол	всего	в т.ч. ствол	
<b>Палевые почвы и Палево-криозёмы на склонах теплых экспозиций и бровках террас (V бонитет)</b>																
30	4,7	1,9	0,5	3,7	10,8	0,3	3,7	14,8	41,1	0,96	2,57	7,1	2,3	19,2	2,6	122
40	10,0	3,3	0,8	7,4	21,5	0,5	3,9	25,9	72,5	1,21	3,58	12,6	5,0	34,1	5,9	170
60	22,8	5,4	1,2	14,6	44,0	0,9	4,3	49,2	157,1	1,01	4,56	24,3	11,4	74,4	14,5	217
80	33,6	6,2	1,4	18,5	59,7	1,2	4,6	65,5	249,8	0,65	4,62	32,4	16,8	118,4	22,6	218
100	41,0	6,4	1,4	20,2	69,0	1,5	4,6	75,1	339,8	0,35	4,37	37,2	20,5	160,8	28,5	206
120	45,7	6,6	1,4	21,7	75,4	1,9	4,8	82,1	427,7	0,26	4,34	40,7	22,8	202,1	32,4	203
140	48,4	6,7	1,4	22,4	78,9	2,3	4,9	86,1	513,3	0,14	4,23	42,6	24,2	242,2	34,8	198
160	49,8	6,7	1,3	22,7	80,5	2,6	5,0	88,1	597,5	0,09	4,20	43,7	24,9	281,5	36,2	196
180	50,5	6,8	1,3	22,8	81,4	2,9	5,2	89,5	681,4	0,05	4,20	44,3	25,3	320,6	37,0	196
200	50,8	6,8	1,3	22,9	81,8	3,1	5,4	90,3	765,5	0,03	4,21	44,7	25,4	359,8	37,4	196
220	50,8	7,0	1,3	22,9	82,0	3,3	5,6	90,9	850,3	0,03	4,26	45,0	25,4	399,3	37,7	198

Продолжение приложения Г

Возраст, лет	Фитомасса насаждения, т·га <sup>-1</sup>								Общая продуктивность фитомассы, т·га <sup>-1</sup>	Текущий прирост фитомассы, т·га <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>		Углерод фитомассы, т·га <sup>-1</sup>				Чистая первичная продукция, г·См <sup>-2</sup> ·год <sup>-1</sup>
	древостой					подрост и подлесок	напочвенный покров	всего		наличного насаждения	По общей продуктивности	наличного насаждения		по общей продуктивности		
	ствол	древесина кроны	хвоя	корни	всего							всего	в т.ч. ствол	всего	в т.ч. ствол	
<b>Криозёмы на плато и пологих склонах (Va бонитет)</b>																
40	4,6	1,6	0,4	3,8	10,4	0,5	4,7	15,6	56,4	0,84	2,66	7,5	2,3	26,1	2,8	126
60	13,5	3,6	0,8	10,0	27,9	0,9	5,2	34,0	123,8	0,85	3,80	16,6	6,7	58,0	8,8	180
80	21,1	4,5	1,0	13,9	40,5	1,4	5,6	47,5	202,7	0,51	3,98	23,3	10,5	95,2	14,4	187
100	25,5	4,8	1,0	15,4	46,7	1,8	6,0	54,5	281,3	0,23	3,87	26,8	12,8	132,0	18,0	180
120	27,9	4,8	1,0	16,4	50,1	2,2	6,3	58,6	359,3	0,15	3,89	28,9	13,9	168,3	20,0	181
140	29,0	4,8	1,0	16,7	51,5	2,7	6,6	60,8	437,1	0,07	3,89	29,9	14,5	204,4	21,0	181
160	29,4	4,8	0,9	16,8	51,9	3,1	6,8	61,8	515,5	0,05	3,95	30,4	14,7	240,8	21,5	183
180	29,6	4,8	0,9	16,8	52,1	3,5	7,1	62,7	595,4	0,03	4,03	30,8	14,8	277,7	21,7	186
200	29,6	4,9	0,9	16,8	52,2	3,8	7,3	63,3	676,8	0,03	4,11	31,0	14,8	315,4	21,9	190
220	29,5	4,9	0,9	16,7	52,0	4,0	7,6	63,6	760,0	0,02	4,20	31,3	14,7	353,8	21,9	194

Продолжение приложения Г

Возраст, лет	Фитомасса насаждения, т·га <sup>-1</sup>									Общая продуктивность фитомассы, т·га <sup>-1</sup>	Текущий прирост фитомассы, т·га <sup>-1</sup> ·год <sup>-1</sup>		Углерод фитомассы, т·га <sup>-1</sup>				Чистая первичная продукция, г·См <sup>2</sup> ·год <sup>-1</sup>
	древостой					подрост и подлесок	напочвенный покров	всего	наличного насаждения		По общей продуктивности	наличного насаждения		по общей продуктивности			
	ствол	древесина кроны	хвоя	корни	всего							всего	в т.ч. ствол	всего	в т.ч. ствол		
<b>Криозёмы торфянистые и Торфянисто-глеевые на слабодренированных пологих участках, а также Торфянистые на крутых северных склонах (Vb бонитет)</b>																	
40	1,7	0,7	0,2	1,6	4,2	0,4	5,7	10,3	53,8	0,33	1,89	4,8	0,9	24,5	1,1	88	
60	4,9	1,4	0,3	3,9	10,5	0,9	6,2	17,6	98,7	0,38	2,52	8,5	2,5	45,4	3,4	117	
80	8,1	1,9	0,4	5,9	16,3	1,3	6,8	24,4	152,9	0,29	2,84	11,8	4,1	70,6	5,8	132	
100	10,5	2,1	0,4	7,0	20,0	1,7	7,2	28,9	211,5	0,19	2,99	14,0	5,3	97,8	7,8	138	
120	12,0	2,2	0,5	7,5	22,2	2,0	7,6	31,8	272,2	0,11	3,06	15,4	6,0	125,8	9,1	141	
140	12,9	2,2	0,4	7,7	23,2	2,3	7,9	33,4	334,0	0,06	3,11	16,2	6,4	154,3	10,0	143	
160	13,4	2,3	0,4	7,8	23,9	2,6	8,1	34,6	396,9	0,06	3,20	16,8	6,7	183,2	10,5	147	
180	13,6	2,3	0,4	7,9	24,2	3,0	8,5	35,7	462,0	0,04	3,30	17,3	6,8	213,1	10,8	152	
200	13,7	2,3	0,4	8,0	24,4	3,2	8,8	36,4	529,0	0,03	3,39	17,6	6,9	243,9	11,0	156	
220	13,8	2,4	0,4	8,0	24,6	3,4	9,1	37,1	597,8	0,03	3,49	17,9	6,9	275,5	11,1	160	

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
1. Лесоводственно-экологическая характеристика района исследования .....	8
1.1. Биоэкологические особенности лиственницы .....	8
1.2. Физико-географическое описание и климат региона.....	13
1.3. Ландшафтно-типологическая характеристика .....	20
1.3.1. Растения-индикаторы .....	28
1.3.2. Типы леса региона .....	30
1.3.3. Типы лиственничных лесов на северо-востоке Республики Саха .....	39
1.4. Почвы .....	43
1.5. Сведения о лесном фонде региона .....	52
1.6. Закономерности формирования и сукцессионной динамики древостоев .....	57
1.6.1. Влияние лесных пожаров на морфологию почв и прирост лиственницы на северо-востоке Республики Саха .....	67
1.7. Возрастная структура древостоев .....	70
1.7.1. Общие представления о возрастной структуре лиственничников района исследований .....	72
1.7.2. Структура древостоев лиственницы Каяндера на северо- востоке Республики Саха .....	74
1.8. Ландшафтно-экологические закономерности .....	80
Summary .....	83
2. Запас органического вещества и углерода, аккумулированного в лиственничниках .....	85
2.1. Методы определения фитомассы .....	87
2.2. База данных по фитомассе лесов .....	88
2.3. Модели фракций фитомассы .....	96
2.3.1. Комбинирование моделей динамики фитомассы с таблицами хода роста и данными государственного учёта лесного фонда .....	98
2.3.2. Отобранные методы моделирования динамики фитомассы .....	101

2.4. Структура фитомассы лиственничников Северо-Востока ..	110
2.5. Запасы мёртвого органического вещества растительности .....	114
2.6. Структура фитомассы лиственничников на северо-востоке Республики Саха в зависимости от почв .....	115
Summary .....	121
3. Модельная и нормативно-справочная база для оценки роста и продуктивности лиственничных насаждений Северо-Востока	122
3.1. Унифицирование существующих таблиц хода роста .....	123
3.1.1. Методический подход .....	128
3.1.2. Результаты моделирования .....	129
3.2. Ход роста лиственничников на различных почвах северо- востока Республики Саха .....	139
3.3. Модели и таблицы биологической продуктивности .....	145
3.4. Оценка неопределенности при составлении таблиц биопродуктивности .....	156
3.4.1. Точность оценки фитомассы ствола .....	157
3.4.2. Точность оценки фитомассы хвои .....	158
3.4.3. Точность оценки фитомассы ветвей .....	161
3.4.4. Точность оценки подземной фитомассы .....	163
3.4.5. Точность оценки фитомассы нижних ярусов леса .....	164
3.4.6. Точность оценки фитомассы насаждения .....	166
Summary .....	167
4. Глобальные изменения и лиственничники Северо-Востока .....	169
4.1. Актуальность глобальных изменений .....	169
4.2. Влияние изменений внешней среды на состояние и продуктивность лесов высоких широт .....	173
4.3. Ожидаемые глобальные изменения на Северо-Востоке России и их влияние на лиственничные леса .....	180
4.3.1. Ожидаемые климатические изменения .....	180
4.3.2. Прогноз изменения лиственничников Северо-Востока	183
4.4. Перспективы .....	189
Summary .....	191
5. Углеродный бюджет экосистем лиственничных лесов Северо- Востока России .....	194
5.1. Современное состояние вопроса .....	194

5.2. Основные принципы подхода .....	200
5.3. Динамика лиственничных лесов региона в 1993-2003 годах	203
5.4. Динамика фитомассы .....	204
5.5. Чистая первичная продукция лиственничных экосистем и ее динамика в 1993-2003 гг .....	206
5.6. Углерод почвы .....	207
5.6.1. Обзор основных работ, посвященных углероду почв..	207
5.6.2. Запасы углерода в почвах лиственничников .....	211
5.6.3. Гетеротрофное дыхание и потоки углерода в литосферу и гидросферу .....	213
5.7. Полный углеродный бюджет лиственничников .....	214
5.7.1. Бюджет углерода на уровне типов условий произрастания .....	214
5.7.2. Агрегированная оценка бюджета углерода для лиственничных лесов района исследования .....	219
5.7.3. Обсуждение результатов.....	222
Summary .....	226
Выводы и рекомендации .....	227
Основные термины .....	231
Conclusion .....	235
Список литературы .....	239
Приложения .....	267