

УДК 630.56

И. В. СЕМЕЧКИН

Институт леса СО РАН им. В. Н. Сукачева,

А. З. ШВИДЕНКО

Международный институт прикладного системного анализа,

Институт леса СО РАН им. В. Н. Сукачева,

Д. Г. ЩЕПАЩЕНКО

Московский государственный университет леса

ОБЩИЕ ТАБЛИЦЫ ХОДА РОСТА И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЛНЫХ («НОРМАЛЬНЫХ») НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ

1. Постановка вопроса

Настоящая работа имеет две основные цели. Во-первых, мы попытались составить общие таблицы хода роста (ТХР) полных («нормальных») насаждений сосны кедровой сибирской - одной из немногих основных лесобразующих пород страны, для которой подобные таблицы ранее не составлялись. Это потребовало решения ряда методических вопросов разработки ТХР разновозрастных и смешанных насаждений. Во-вторых, используя модели фитомассы и специальные алгоритмы, мы трансформировали составленные ТХР в модели и таблицы биологической продуктивности - лесотаксационные нормативы, описывающие динамику фракционного состава фитомассы и чистой первичной продукции (ЧПП) кедровых экосистем.

Хотя проблема разработки общих ТХР не нова, существует явная необходимость обсуждения некоторых принципов и общеметодологических положений. Современная теория и практика моделирования динамики древостоев находятся на перепутье. С одной стороны, потребность в простых и достаточно подробных нормативах, главнейшими из которых в течение почти двух последних столетий оставались таблицы хода роста, по-прежнему велика. С другой, климатические и иные изменения внешней среды (удобряющий эффект увеличения концентрации CO_2 в атмосфере, осаждения азота, удлинение вегетационного периода в высоких широтах и другие) меняют закономерности роста и развития леса, и таблицы, разработанные на основе ретроспективного анализа роста древостоев в течение одного - двух (а для некоторых пород, например кедра и лиственницы, - трех и более) предыдущих столетий, все меньше соответствуют современным особенностям роста и тем более не могут служить надежным средством для прогноза.

Радикального средства разрешения этого противоречия пока не видно. Очевидно, что невозможно (да и нецелесообразно в условиях меняющегося мира) пересоставить все множество существующих ТХР традиционными методами.

Попытки перехода на моделирование процессного типа пока ограничены поисками, и имеющиеся результаты далеки от возможностей их применения в лесохозяйственной практике. Поэтому одним из приемлемых (хотя и паллиативных) решений может быть разработка нормативов роста древостоев в виде моделей, параметры которых имели бы содержательную трактовку. Это предоставляет возможность автоматизированного внесения текущих поправок, отражающих новое знание или некоторые обоснованные предположения [40].

Несмотря на названные и иные недостатки существующих ТХР [3, 14, 41], представляется несомненным, что они еще на долгое время останутся важным нормативным средством учета лесов и планирования лесохозяйственных мероприятий. Практические нужды лесостроительства и лесопользования отчетливо подтвердили целесообразность иметь ТХР различных типов, из которых два - ТХР «нормальных» и модальных, т. е. наиболее распространенных в данном районе древостоев, занимают особое место. История развития лесной таксации в России в течение прошедшего XX века не подтвердила авторитетное мнение Ф. Юдейха [43, с. 155] о том, что ТХР нормальных насаждений «служат более для разработки науки, чем для непосредственного практического применения». Сегодня понятие «нормального» (или в ином словесном оформлении - полного, сомкнутого) насаждения занимает в научном лесоводстве и учете лесов России одно из ключевых мест, хотя очевидна необходимость четкого определения как понятия «нормальности», так и назначения и особенностей лесотаксационных нормативов, основывающихся на этом понятии, либо существенно его использующих.

Причина этому очевидна. Как писал М. М. Орлов, «... таксация насаждений, вообще говоря, основывается на некотором представлении о нормальном состоянии насаждения; это нормальное состояние принимается за идеал, за единицу, и по сравнению с ним оцениваются все особенности таксируемого насаждения. При

лесосечном хозяйстве такую единицу считается одновозрастное, чистое и полное насаждение известной породы, дающее в каждом возрасте такой нормальный прирост, который является наибольшим, возможным при данных условиях местопроизрастания» [17, с. 141]. В случае смешанного или разновозрастного леса, «... за единицу для сравнения берется нормальное полное насаждение такого же состава, бонитета и возраста, как и таксируемое, и по сравнению запасов или площадей сечений, полнота определяется в десятых долях, опираясь во всех случаях на те или иные опытные таблицы хода роста» [там же, с. 146].

Во времена, когда писались эти слова, ТХР были составлены только для чистых одновозрастных насаждений. ТХР для разновозрастного («выборочного») леса не было. За истекшее столетие ситуация изменилась мало, хотя несколько десятков ТХР разновозрастных древостоев было опубликовано. Подходы к разработке таблиц и их конструкция зависели от типа возрастной структуры древостоев. Для условно-разновозрастных насаждений ТХР представлялись в традиционном виде, как закономерности возрастных рядов средних таксационных показателей древостоев. Для (абсолютно) разновозрастных древостоев существует единственная возможность описания динамики по некоторым однородным составным частям древостоя, в качестве которых могут выступать древостой элемента леса, поколения или яруса. Примеры ТХР разновозрастных древостоев достаточно многочисленны (например, [38]), хотя среди них трудно найти таблицы, нашедшие широкое применение в отечественном лесоустройстве. По-видимому, нет оснований ожидать, что ситуация в этой части может заметно измениться, в силу значительных методических трудностей разработки таких таблиц и, что, пожалуй, более важно, - ограниченной их значимости для практических лесосучетных работ.

Исходно, нормальными считались насаждения, используемые как исходные «кирпичики» в теории нормального леса. По самому смыслу схемы «нормального» леса, эти кирпичики должны были быть представлены одновозрастными чистыми по составу древостоями. Однако природный лес, с его многообразием состава пород, морфологии, возрастной структуры, вступал в явное противоречие с этой, достаточно механистической схемой. Методически это порождало большие сложности (и даже сомнения возможности) в отражении динамики природного леса посредством средних величин, которые имели бы практический смысл. Еще одна размерность «нормальности»

заклучалась в том, что она оценивалась только по продуктивности, выражаемой максимальным древесным запасом и/или максимальным древесным приростом (что, заметим, не одно и то же). Хотя подавляющее большинство средообразующих, экономических и социальных функций леса прямо или опосредованно связано с продуктивностью, понятие «нормальности» (имея в виду классическое определение М. М. Орлова, что нормальное - это наиболее совершенное в данных лесорастительных условиях насаждение) может быть существенно различным для лесов разного функционального назначения

Названные и другие причины вызвали ряд предложений отказаться от термина «нормальный» и замене его иными, более соответствующими сути подхода, например «полный» [39] или «сомкнутый» [38]. Термин «полные древостои» представляется нам наиболее соответствующим сути рассматриваемого явления, и мы его используем для определения категории древостоев, имеющих максимальный запас во всех возрастах для принятой единицы классифицирования насаждений. Отсюда следует, что ТХР полных древостоев описывают некоторую верхнюю линию продуктивности некоторой однородной категории древостоев, но не возрастную динамику индивидуального, исходно «полного» древостоя. Заметим, что принятое нами определение по своей сути соответствует определению нормального насаждения, которое должно, по М. М. Орлову, «давать наивысшую производительность, которая может быть получена при данных условиях произрастания, а по срубке его немедленно возобновлялось таким образом, чтобы наивысшая его производительность не прерывалась» [18, с. 308] и расширенному толкованию «нормального» насаждения И. В. Семечкиным: «под «нормальными» насаждениями типа леса подразумеваются такие, которые, имея типические для насаждений определенного возраста состав яруса, средние высоты и средние диаметры элементов леса, обладают максимальной полнотой и запасом» [27, с. 25].

Из других принципиальных вопросов остановимся на двух: основной классификационной единице разработки таблиц и целесообразной величине района их применения.

Длительные дискуссии относительно главной классификационной единицы исследования и моделирования роста и динамики древостоев - класс бонитета или тип леса - не закончились и к настоящему времени. Приведем две авторитетные и взаимоисключающие точки зрения. По этому поводу М. М. Орлов писал: «Типы насаждений, как бы их не пони-

мали, пока не дают оснований для однообразных количественных сравнений насаждений друг с другом, а для своего установления требуют оценки такой совокупности естественнo-исторических факторов, которая неизмеримо труднее и гораздо ошибочнее, чем бонитирование по высотам. Надежным фундаментом для таксации насаждений являются опытные ТХР нормальных насаждений, составленные по классам бонитета. Для типов насаждений опытных таблиц хода роста нет, да едва ли они и могут быть составлены, в силу идейной шаткости и количественной неопределенности, присущих понятию типа насаждений» [17, с. 195]. Подчеркнем, что здесь же напоминалось, что в одном классе бонитета могут быть различные условия местопроизрастания, которые, хотя и дают в окончательном результате (в некотором базовом возрасте) одинаковую производительность, динамика древостоев может быть существенно различна. Противоположная оценка Е. П. Смолоногова и С. В. Залесова [33, с. 50] даже более категорична: «Совершенно нельзя использовать при анализе структуры фитоценозов и их динамики во времени бонитетную шкалу, поскольку она разделяет насаждения только по средней высоте древостоев и возрасту и не отражает особенностей лесорастительных условий».

С сегодняшней точки зрения эти мнения не исключают друг друга, ибо правильный ответ можно дать только на правильно поставленный вопрос. Философски, правильный ответ видимо заключается не в противопоставлении этих понятий, а в их системном объединении: не тип леса или класс бонитета, но тип леса и класс бонитета. Приоритетность и практическая целесообразность использования того или иного основания классификации определяется целевой направленностью работы. Если главная цель моделирования роста насаждений - учет лесов и организация хозяйства, то точка зрения М. М. Орлова и сегодня является, пожалуй, единственной, имея в виду обеспечение минимальных требований точности и соответствия системе лесоучетных работ в стране. Стране нужна унифицированная система учета продуктивности лесов, и класс бонитета, как искусственная классификационная единица, отражающая потенциальную продуктивность некоторой породы в пространстве принятых классификационных признаков - среднего возраста и средней высоты древостоев, - вполне приемлем для этой цели. Видимо, так будет до тех пор, пока лесотшологические построения не приобретут прочной количественной основы. Впрочем, в конечном счете - это только вопрос иерархии приоритетов: и в рамках бо-

нитетной системы часто возникает необходимость непосредственного использования лесотипологической основы, например, целесообразность разработки отдельных ТХР для автоτροφных и гидротрофных условий местопроизрастания или иных лесотипологических обобщений. С другой стороны, ТХР, составленные по типам леса, имеют все права гражданства и незаменимы как научно-познавательное средство количественного описания лесообразовательного процесса в рамках отдельных сукцессионных фаз и периодов [32, 33].

Разумеется, эти рассуждения не имеют ничего общего с рекомендациями непосредственного применения общепонитировочной шкалы М. М. Орлова для бонитировки насаждений в процессе практических лесоучетных работ, или, тем более, ее использования как универсального шаблона закономерностей ростовых процессов. Бонитирование насаждений должно проводиться по местным ТХР, образующим единую унифицированную систему в масштабах страны. Унификация ТХР значит, что классы бонитета в базовых возрастах привязываются к некоторым стандартным высотам, в качестве которых целесообразно использовать общепонитировочную шкалу М. М. Орлова. Базовые возраста (т. е. те, в которых ход роста насаждений в высоту стабилизируется) устанавливаются на основе биоэкологических свойств древесных пород, например 50 лет для быстрорастущих, 160 лет - для кедра и 100 лет для всех остальных [41].

Принципиальным также является вопрос о величине района, для которого составление отдельных ТХР имеет смысл. Каждый древостой имеет свои индивидуальные линии роста и развития, и территория применения тех или иных таблиц определяется однородностью условий местопроизрастания и требованиями к точности, с которой усредненные величины, приводимые в таблицах, должны описывать динамику отдельных древостоев или их совокупностей. Дискуссия о роли местных (региональных) и общих (распространяемых на весь ареал породы) таблиц периодических возникла со времен составления А. В. Тюриным «всеобщих таблиц» [36] до публикации общих таблиц хода роста основных лесообразующих пород СССР в последнем справочнике общесоюзных нормативов для таксации лесов [4]. Главнейшим результатом этих дискуссий стало понимание целесообразности разработки как местных (региональных), так и общих ТХР, хотя и назначение и методика составления их существенно различаются. Местные таблицы предназначены для практических лесоучетных работ (включая бонитирование насаждений) и назна-

чения лесохозяйственных мероприятий. Общие ТХР используются для обобщенных планово-перспективных расчетов, оценки состояния и тенденций динамики древостоев больших природных и административных районов, а также в различных экологических приложениях. Отметим, что составление общих ТХР на типологической основе наталкивается на непреодолимые методические трудности.

Многие исследователи внесли вклад в изучение биологической природы, познание структуры, продуктивности, роста и развития кедровых лесов Сибири. Настоящая работа в определенных аспектах является попыткой частичного обобщения их результатов. Ни в коем случае не претендуя на полноту, нам представляется важным упомянуть имена тех, чьи результаты в той или иной мере были непосредственно использованы при разработке настоящих таблиц: В. Г. Грибачев, В. Е. Ермаков, С. В. Залесов, В. К. Захаров, А. И. Ирошников, В. А. Кирсанов, В. П. Корш, В. Ф. Лебков, Б. В. Любимов, А. С. Махонин, Л. М. Морозов, И. А. Нахабцев, А. Г. Костенко, И. С. Костюченко, В. А. Поварницын, Н. П. Поликарпов, В. Н. Седых, И. В. Семечкин, Е. П. Смолоногов, В. А. Соколов, Н. П. Телегин, А. Е. Тетенькин, П. Ф. Трусов, а также благодарно поклониться сотням безымянных таксаторов из Восточно-Сибирского, Прибайкальского, Западно-Сибирского, Северо-Западного, Центрального, Белорусского и Украинского лесоустроительных предприятий, чьими усилиями собрана гигантская (и полностью не востребованная) информация, без которой был бы невозможен современный уровень познания кедровых лесов Сибири.

Следует отметить особый вклад, который внес Е. П. Смолоногов и его последователи (В. Н. Седых, В. А. Кирсанов, П. Ф. Трусов и другие) в изучение восстановительно-возрастной динамики кедровых лесов, хотя их основные исследования были ограничены западно-сибирской частью ареала.

2. Кедровые леса как объект моделирования

Огромный ареал кедрового сибирского (37.5 млн га покрытых лесом земель, управляемых органами лесного хозяйства, по состоянию на 1.01.2003 г.) обуславливает необходимость эколого-географической дифференциации кедровых лесов по их происхождению, составу, особенностям восстановительно-возрастной динамики древостоев. В этом отношении выделяются 5 основных районов его произрастания: 1) Предуралье и Урал; 2) Западно-Сибирская равнина с дифференциацией ее по зонам: пред-

тундровое редколесье, северная, средняя и южная тайга; 3) Восточно-Сибирское плоскогорье с аналогичным зональным делением; 4) Алтае-Саянская горная система с дифференциацией лесов по высотно-поясным комплексам: низкогорье - черневая тайга, среднегорье - горно-таежный пояс, высокогорье с верхней границей леса - подгольцово-таежные и субальпийско-таежные леса; 5) горы Забайкалья с дифференциацией их на горно-таежные и подгольцово-таежные леса.

В северной части предтундровых редколесий Урала, Западной и Восточной Сибири растут лиственнично-кедровые леса с примесью березы. В южной части этой же подзоны в составе кедровников появляется ель, образуя лиственнично-елово-кедровые леса с примесью березы. Для северной тайги уже характерны елово-кедровые леса с примесью пихты и березы. В средней тайге произрастают пихтово-елово-кедровые леса с примесью березы и иногда осины [32, 33]. В южной тайге и в низкогорьях Алтае-Саянских гор - пихтово-кедровые леса с примесью осины и березы, а по долинам рек, ручьев и ложбинам - ели, местами сосны и лиственницы. В горно-таежном поясе во влажных районах произрастают леса аналогичного состава, а в более сухих районах, в ветровой тени основных хребтов - лиственнично-кедровые леса, которые характерны и для гор Забайкалья. Лишь в пессимальных условиях среды для постоянно сопутствующих кедров пород, а также в низкопродуктивных лесорастительных условиях кедр бывает преобладающим смолоду.

Конечно, в каждом районе произрастания характер образования, формирования и развития кедровника, смены пород и поколений лесообразователей будет иметь свои отличия, но в общих таблицах хода роста кедровников должны быть обобщены самые общие свойства и черты восстановительной и возрастной динамики древостоя основного, экологически главного эдификаторного лесообразователя - кедровника сибирского.

Кедровые леса - это сложные, многовидовые древесные ценозы, в которых кедр возникает в богатых и средних по производительности условиях через смену пород и поколений, и лишь в пессимальных условиях (высокогорья, предтундровые и северо-таежные леса и относительно сухие, холодные, на мерзлотных почвах горные леса Забайкалья) возможно возникновение кедровников без смены пород, смолоду почти чистых. Но продуктивность таких лесов всегда низкая.

Возрастная и морфологическая (таксационная) структура кедрового древостоя не остается постоянной [8, 16, 20, 21, 23-25, 29, 30, 32 и

др.] и в самом общем виде их динамика может быть представлена в рамках двух обобщенных типов сукцессий: 1) ценогенных (возрастных смен) и 2) восстановительных (биогенных и, в основном, пирогенных). В случае возрастных смен, формирование и рост древостоев начинается и протекает под пологом материнского древостоя. В более или менее оформленном виде этот тип развития, ведущий к формированию псевдо-климаксных («девственных») древостоев, возможен в местообитаниях с очень низкой интенсивностью режимов нарушений, в первую очередь, пожаров, поскольку требует их отсутствия в течение длительного периода, продолжительностью не менее двух жизненных циклов основного лесообразователя. Такие разновозрастные кедровники встречаются редко, преимущественно в переувлажненных и высокогорных местообитаниях [33].

Намного более обычны восстановительные сукцессии, характерные черты которых могут быть представлены в виде следующей усредненной схемы послепожарного развития. В средних и особенно лучших условиях местопроизрастания формируются условно-однообразные древостои с возрастной амплитудой 20-60 лет. С увеличением возраста кедровая возрастная структура усложняется. Древостой пополнивают кедр, переходящие из имевшегося подростка под пологом менее долговечных спутников кедр, закономерности таксационного строения древостоев элемента леса постепенно «размываются», и после 120-130-летнего возраста формируется условно-разновозрастные древостои кедр [28, 30, 37]. «Активность процесса возобновления значительно увеличивается в периоды отпада менее долговечных лиственных пород, господствующих на ранних фазах формирования кедровников, а также при распаде ели и пихты, продолжительность жизни которых меньше, чем кедр» [32, с. 82]. Этот процесс продолжается до 200-240 лет, амплитуда возраста увеличивается до 100-160 лет, иногда больше. В более старших возрастах начинается постепенный распад древостоев основного поколения кедр, появляются морфологически обособленные молодые поколения и древостои становятся разновозрастными. Полнота их снижается и редко превышает 0.6. Сохранность старовозрастных насаждений невысока, хотя и заметно снижается от севера к югу, от пессимальных условий к оптимальным. Так, в типичных лесных предприятиях Западной Сибири доля кедровых насаждений в возрасте 161-360 лет составляет соответственно около 70 %, 30 и 20 % для северо-таежных, среднетаежных и южно-таежных условий, соответственно [33]. В относительно ненарушен-

ных лесных массивах кедр Читинского Забайкалья (бассейн реки Хилок) только 5.4 % насаждений имеют возраст свыше 200 лет и самые старые (0.1 %) отмечены в VIII классе возраста (281-320 лет) [37].

Разумеется, приведенная выше схема является некоторым общим усреднением на общем фоне разнообразных типовых траекторий восстановительно-возрастной динамики [24, 25, 26, 32 и др.]. Многочисленные исследования свидетельствуют о встречаемости различных типов возрастной структуры кедровых древостоев на всех этапах развития [6, 10, 23, 35]. В частности, основываясь на исследованиях кедровников Селенгинского и Байкальского лесхозов Бурятии, Захаров и Ермаков [5] рассматривали кедровые леса Забайкалья как однообразные (коэффициент вариации на пробных площадях составил 1.6-1.8 % для насаждений всех возрастов).

Лучшие, наиболее производительные кедровники практически чистыми (8 единиц в составе и более) становятся: в I классе бонитета - в 150 лет, во II - в 120 лет, в III - в 100 лет, в IV - в 60 лет, в V - в 30 лет и древостой Va класса бонитета - чистые смолоду. Таким образом, формирование высокопродуктивных насаждений идет разными путями: не только через чистые и высокополнотные смолоду насаждения кедр, но и, как правило, через смену пород, в процессе восстановительной и возрастной динамики.

В разных частях ареала кедр и в конкретных условиях местопроизрастания состав пионерных пород и темновых пород кедровников различный, отвечающий конкретным экологическим условиям. В северо-таежных равнинных кедровниках Западной Сибири это обычно береза, ель, сосна. В южно-таежной зоне Западной Сибири это береза, осина, ель, пихта, сосна, а в заболоченных условиях отсутствует осина и пихта. Во влажных наветренных горных районах юга Сибири основными спутниками кедр являются береза, осина, пихта, реже ель, а в заветренных более сухих условиях осины уже нет или она редко встречается, зато наряду с березой и пихтой часто встречается лиственница, а по водотокам больше встречается ель. Чем хуже условия для березы и осины, а также ели и пихты, тем чище кедровники смолоду. В Забайкалье низкбонитетные кедровники развиваются без смены пород, смолоду чистыми и густыми. Это связано с образованием гарей и деятельностью кедровок - основного сеятеля семян кедр.

По видимому, первые ТХР кедровников были составлены для наиболее распространенных (III класса бонитета) чистых разновозраст-

ных древостоев Забайкалья [13]. Здесь они часто встречаются и нередко возникают без смены пород, поэтому в этих древостоях экологическая позиция березы (Б), осины (Ос), ели (Е) и пихты (П) слабая. В. А. Поварницын в 1944 г. составил ТХР для кедровников Восточного Саяна (III, IV и V классов бонитета нижних, средних и верхних частей склонов преобладающих типов леса), где также преобладают одновозрастные древостои с незначительной примесью Б, П и Е [19]. В дальнейшем было составлено более 70 ТХР нормальных и модалных кедровых насаждений во всех основных частях ареала кедра. Однако, значительная часть этих таблиц (больше половины) были основаны на массовых данных таксации кедровников при лесоустройстве, без введения каких-либо поправок на ошибки в основном глазомерной таксации, и использовании для бонитировки (во всех возрастах) общебонитировочной шкалы. Это привело к тому, что таблицы содержали явные ошибки в отражении основных закономерностей роста и развития насаждений. Так, в некоторых из них возраст количественной спелости наступает в период нахождения кедра во втором ярусе, при средних высотах 8-10 м в III-IV классах бонитета.

Среди таблиц, составленных на основе более содержательных и обоснованных методик, следует назвать ТХР кедровых древостоев, составленных для Забайкалья [2, 5, 9], для юго-востока Восточно-Сибирского плоскогорья [11], для гор юга Сибири [1, 11, 15, 28, 29, 34], для равнинных кедровников Западной Сибири и Урала [6, 7, 10, 21, 22, 31-33, 35]. Закономерности хода роста кедра в высоту были обобщены В. Ф. Лебковым и И. В. Семечкиным [12], а ход роста кедровой части по основным таксационным показателям - И. В. Семечкиным [30]. Ряд таблиц (в основном не опубликованных) был составлен лесоустроительными предприятиями.

3. Основные методические предпосылки

Общие таблицы хода роста полных кедровых насаждений, рассматриваемые в настоящей работе, представляют количественную характеристику наиболее полных элементов леса (поколений) кедра и сопутствующих пород, превращающихся с возрастом в процессе смены пород в полные (наиболее продуктивные) кедровые насаждения. Это принципиально новый вид таблиц для оценки полноты и запаса конкретных, как сформировавшихся кедровых насаждений, так и потенциальных кедровников на первых стадиях сукцессий, когда преобладают другие породы.

Модели общих таблиц хода роста древостоев и биологической продуктивности кедра сибирского являются частью унифицированной системы моделей роста и продуктивности основных лесобразующих пород России. Детальное описание методики опубликовано нами ранее [41, 42], и здесь мы кратко обозначим только основные особенности использованной методики, учитывая особенности разработки нормативов для столь специфического объекта, каким являются кедровые леса Сибири.

Важно подчеркнуть, что наиболее полные насаждения класса бонитета - это предельные состояния насаждений разных линий развития, а не одна линия развития смолоду полных и всю жизнь сохраняющих наибольшую полноту насаждений. Бытовавшая в XIX веке в лесной таксации аксиома, что смолоду редкие и даже средние по густоте насаждения никогда не смогут достичь полноты 1.0, оказывается лишь гипотезой, опровергаемой накапливаемыми фактами. Впрочем, подобное можно сказать и о некоторых других предпосылках и методах, используемых при составлении ТХР [42]. Насаждения в своем развитии индивидуальны, а их объединение в какую бы то ни было однородную группу (тип леса, класс бонитета, разряд густоты и др.) все равно представляет совокупность древостоев элементов леса, развитие которых не идет синхронно средним линиям развития моделируемой совокупности по всем таксационным признакам. Особенно это относится к кедровникам, древостои которых многопородные, сложные, изменяющиеся во времени и пространстве в процессе восстановительно-возрастной динамики.

Подчеркнем, что для условий горного рельефа (что принципиально важно для кедровых лесов) все данные рассматриваемых ТХР приведены на единицу площади реальной поверхности склонов, а не для горизонтального проложения. Мы не нашли обсуждения этого вопроса в доступных нам публикациях. Может быть показано, что ТХР, в которых суммы площадей сечений и запасы показаны на горизонтальное проложение, неприемлемы для назначения хозяйственных мероприятий, например, рубок ухода. Разумеется, различия этих двух подходов невелики для пологого рельефа, но существенно возрастают для склонов, крутизна которых превышает 20°.

3.1. Таблицы хода роста

Учитывая практическое назначение ТХР, следующие основные предпосылки были использованы при выборе их целесообразной конструкции: 1) по возможности, форма таблиц должна быть близкой к традиционной, 2) по-

дробность и детальность ТХР должны соответствовать как основным правилам практической таксации насаждений, так и (приблизительно) предполагаемой точности таблиц, 3) таблицы должны быть удобны для практического применения. Поэтому в табличной форме представлены (как функция возраста и бонитета) возрастная динамика состава, средней высоты и среднего диаметра главной породы (кедра), запаса и общей продуктивности, а также средний и текущий приросты по наличному запасу и общей продуктивности. Общая продуктивность древостоев понимается в обычном таксационном смысле. Показатели, связанные с запасом и общей продуктивностью, представлены для древостоя в целом, без разделения его на составные части (например, элементы леса). В общих таблицах хода роста полных (нормальных) кедровников конкретную восстановительно-возрастную динамику по элементам леса пород - спутников кедра показывать нецелесообразно. Такая детализация не имеет смысла как из-за высокой неоднородности кедровых насаждений (по составу пород, особенностям возрастной структуры и т. д.) в пределах ареала, так и невозможностью представить сколько-нибудь разумное усреднение такой неоднородности в рамках рассматриваемого лесотаксационного норматива. Поэтому вся примесь в формуле состава обозначена суммарно как сопутствующие породы. Детали восстановительно-возрастной динамики могут быть конкретизированы по экорегионам, лесорастительным и лесохозяйственным районам с привязкой к конкретным типам леса в их генетическом понимании, как это и делается в лучших образцах местных таблиц. Но в таком случае получаются таблицы иного назначения.

Анализ закономерностей взаимосвязи основных таксационных показателей древостоев, отраженных в многочисленных местных (региональных) ТХР нормальных и сомкнутых насаждений кедра показал, что существуют (на приемлемых уровнях точности, но, как правило, в пределах отдельных классов бонитета) устойчивые закономерности динамики и биопродукционного процесса смешанных и разновозрастных кедровых древостоев, что позволяет в целесообразных случаях моделировать эти закономерности для древостоев в целом.

Как обсуждалось выше, классы бонитета выбраны в качестве классификационной основы ТХР. Как было показано в ряде публикаций (см., например, анализ в [30]), биоэкологические свойства сибирского кедра предопределяют целесообразность двух специфических решений: выбора базового возраста для бонитирования и усредненного представления зако-

номерностей роста кедровой части в высоту по классам бонитета. Величины высот по бонитетам и величина межбонитетного интервала в базовом возрасте теоретически могут быть любыми. Однако, любые значительные изменения существующих правил классифицирования сделают невозможным сравнение продуктивности лесов по материалам учета лесов для различных временных периодов. Поэтому высоты для средин классов бонитета взяты из выровненной бонитетной шкалы М. М. Орлова для семенных насаждений в 160 лет [39].

ТХР полных насаждений представляют собой модель максимально полных (наиболее продуктивных) древостоев, в основных своих чертах отражающих восстановительно-возрастную динамику при современной интенсивности режимов природных нарушений. В качестве максимальных сумм площадей сечений кедровой части древостоев взяты зависимости сумм площадей сечений от высоты и класса бонитета, разработанные ранее И. В. Семечкиным [30]. Эти зависимости были скорректированы на средние составы по классам бонитета. Также были использованы (для моделирования или контроля) закономерности, заложенные в типах роста кедровой части по средней высоте (отраженные, в частности, в бонитировочной шкале, составленной для кедровых насаждений), среднему диаметру и суммам площадей сечений [17, 30].

Анализ исходных данных (материалы пробных площадей, местные ТХР) показывает, что единица полноты и запаса березы почти в два раза меньше, осины - на треть меньше, темнохвойных спутников: ели и пихты - на четверть меньше единицы полноты и запаса кедра. Поэтому преобладание или значительное участие лиственных на начальных стадиях сукцессии, когда их средние высоты существенно выше высоты кедра, а также ели и пихты на последующих стадиях, влияют на общую оценку единицы полноты и запаса смешанных насаждений, в которых развивается кедровый элемент леса как будущий основной элемент леса, определяющий насаждение как кедровник. Чем выше класс бонитета, тем больше примесь лиственных и темнохвойных спутников кедра, тем больше понижается общая единица полноты и запаса таких смешанных насаждений в сравнении с чистыми кедровниками, как теоретического ожидания. Происходит нарушение общего закона повышения единицы полноты и запаса полных (нормальных) насаждений одинаковых средних высот (занимающих одинаковое пространство) в связи с повышением класса бонитета. В кедровниках, возникших через смену пород, зависимость обрат-

ная: чем выше класс бонитета, чем больше участия лиственных и темнохвойных пород, тем при равных средних высотах кедр единича полноты и запаса понижается в связи с повышением класса бонитета.

Аналитической основой моделирования является ростовая функция Ричардса-Чепмена, дифференциальная и интегральная форма которой

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

$$X_i = c_1 [1 - \exp(-c_2 A)]^{c_3}, \quad (2)$$

где $t = A$ обозначает средний возраст древостоя, X_i обозначает среднюю высоту H , средний диаметр D , сумму площадей сечений BA , запас GS и общую продуктивность TV , c_i - параметры, которые имеют содержательную интерпретацию: c_1 - максимальное значение ростовой функции (асимптота), $c_1 c_2 (1-1/c_3)^{(c_3-1)}$ - максимальное значение текущего прироста, и $\ln(c_3/c_2)$ - точка перегиба. Указанные коэффициенты вычислялись на основе исходных таблиц для каждого таксационного показателя по классам бонитета, после чего выравнивались при помощи двумерного функционала (зависящего от возраста и бонитета) в виде квадратичной формы:

$$c_i = \sum_{j=1}^2 (c_{ij} N^2 + c_{ij} N + c_{ij}), \quad (3)$$

где N - код класса бонитета ($N = 6, 7, \dots, 11$ для I, II, ... Va классов бонитета), $i = 1, 2$. Остальные показатели - число деревьев, средние и текущие приросты по наличному запасу и общей продуктивности - определялись по известным формулам лесной таксации. Отметим только, что текущие приросты определены как производная уравнения (2) в точке, соответствующей табулируемому возрасту древостоя.

Уравнения (1)-(2) описывают динамику роста только на стадии роста. Однако, кедровые насаждения (в том числе в их «полной» форме) разрушаются, начиная с некоторого возраста. Чтобы описать динамику сумм площадей сечений на стадии разрушения, уравнение (1) было модифицировано как:

$$C_2 = c_2 = \text{const} \text{ для } A < A_d \text{ и } (4)$$

$$C_2 = c_2 [\exp(A - A_d)] \text{ для } A < A_d,$$

где A_d - возраст начала периода разрушения.

Коэффициенты модели общих ТХР полных кедровых древостоев определены методом нелинейного (по параметрам) регрессионного анализа и приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 2

Коэффициенты динамики основных таксационных показателей общих таблиц хода роста полных древостоев кедр сибирского (стадия разрушения)

Показатели	Коэффициенты		
	C_{41}	C_{42}	C_{43}
BA	0.018989	-0.001427	-0.000033
GS	-0.000955	0.004099	-0.000546

3.2. Таблицы

биологической продуктивности

Нормативы продукционного процесса лесных экосистем часто применяются в различных экологических приложениях. После вступления протокола Киото в действие возникла важная задача численного определения биосферной роли лесов, например, в рамках полного углеродного бюджета. Решение этой задачи требует знания динамики компонентов биологической продуктивности лесных экосистем, которые лесоустройством традиционно не определялись, в частности, возрастная динамика фракций фитомассы и чистая первичная продукция. В настоящей работе эти два показателя определены в их обычном общепринятом понимании: фитомасса есть масса органического вещества (выраженная в единицах сухого вещества или углерода на единицу площади, например, т га^{-1} или кг м^{-2}) всех живых растений экосистемы, а чистая первичная продукция (ЧПП) - количество органического вещества, произведенного и запасенного в тканях растений на единицу площади в единицу времени (например, $\text{г м}^{-2} \text{год}^{-1}$).

В качестве основы моделей и таблиц биологической продуктивности (ТБП) были использованы рассмотренные выше ТХР. Для перехода к динамике (наличного) запаса (массы) фитомассы была использована следующая модель:

$$R_i = c_0 \cdot A^{c_1} \cdot SI^{c_2} \cdot RS^{c_3} \cdot \exp(c_4 \cdot A + c_5 \cdot RS), \quad (5)$$

где R_i - отношение массы фракции фитомассы i к запасу древостоя, A - возраст, лет, SI - код класса бонитета (6, 7, ..., 11 для I, II, ... Va классов бонитета соответственно), RS - относительная полнота древостоев (в данном случае равная 1.0), $c_1 - c_5$ - регрессионные коэффициенты. Пять фракций фитомассы ($i = 5$) были учтены для древостоя: древесина ствола, кроны (обе в коре), кора, листья и хвоя и корни.

Уравнение (5) является достаточно точным и адекватным для моделирования фракций фитомассы древесного яруса. Однако в таком виде оно мало пригодно для моделирования

Таблица 1

Коэффициенты динамики основных таксационных показателей общих таблиц хода роста
полных древостоев кедр сибирского (стадия роста)

Показатели	Коэффициенты функций (2) и (3)												
	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{31}	C_{32}	C_{33}				
<i>H</i>	54.112	-5.7469	0.0170956	0.0099736	2.19925E-05	0.000114494	1.37513	-0.16917	0.0528008				
<i>D</i>	141.763	-28.31	1.68934	0.00706053	0.00200819	-0.0001767	1.01658	0.331726	0.00510297				
<i>BA</i>	76.4449	-0.37979	-0.79727	0.0320993	0.00354997	0.000296499	2.45382	-0.696665	0.200158				
<i>GS</i>	1729.23	-257.88	6.65324	0.015797	0.000707808	1.01368E-05	2.99073	-0.83925	0.271435				
<i>TV</i>	2974.1	-487.17	15.1287	0.0175078	2.96454E-05	6.55122E-05	3.53237	-0.926607	0.278846				

фитомассы низших ярусов экосистем (подлеска, подростка и живого напочвенного покрова), поскольку эти величины в большей степени определяются типологической характеристикой лесов, а не средними таксационными показателями древостоев. К сожалению, типологическая основа не могла быть использована в рамках выбранной методологии. Поэтому в целях улучшения точности и адекватности моделей для оценки фитомассы нижних ярусов мы модифицировали уравнение (5), заменив отношение R_i на величину фитомассы соответствующих фракций на единицу площади. Это позволило получить статистически значимые регрессионные уравнения.

Результаты моделирования приведены в таблице 3, которая содержит коэффициенты уравнения (5) для кедр и основных его спутников. Более детальное обсуждение подходов к моделированию фитомассы, выбора типа модели и полученных результатов содержится в [41].

Ход роста наличного запаса фракций фитомассы по классам бонитета (в сухом веществе) в ТБП получается очевидным путем, умножая отношение R_i на запас древостоя элемента леса. Переход к углероду производится, используя средние коэффициенты: 0.5 для древесины и 0.45 для зеленых частей. Моделирование динамики чистой первичной продукции более сложно - оно требует знания общей про-

Таблица 3

Коэффициенты регрессионных уравнений фитомассы кедр и основных его спутников (объяснения в тексте)

Порода	Фракция фитомассы	Коэффициенты						R^2	N
		c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5		
Листвен-	Ствол	0.3387	0.0766	0.0364	-0.0825	-0.0006	0.0508	0.13	271
	В т.ч. кора	0.0311	-0.0289	0.6192	0.0036	-0.0004	-0.1444	0.38	201
	Ветви	0.5197	-0.9132	0.7981	-0.2485	0.0051	-0.3437	0.34	273
	Хвоя	0.0812	-0.9576	0.7698	-0.5758	0.0043	0.5305	0.42	273
	Корни	0.0450	-0.2149	0.8342	-0.6664	0.0009	0.4961	0.39	63
Ель	Ствол	0.2035	-0.0261	0.3308	-0.1059	-0.0001	0.1632	0.21	97
	В т.ч. кора	0.0085	0.0557	0.8674	-0.0706	-0.0013	-0.0733	0.56	41
	Ветви	0.1311	-0.7928	1.3393	0.1238	0.0039	-0.2798	0.76	109
	Хвоя	1.5264	-1.3441	0.8601	-0.0253	0.0086	-0.4165	0.90	113
	Корни	0.4109	-0.0923	0.6929	0.8043	0.0004	-2.0952	0.33	90
Пихта	Ствол	0.3191	-0.2276	0.2834	-0.3283	0.0028	0.2785	0.08	110
	В т.ч. кора	0.2480	-0.5023	0.2377	0.0848	0.0043	-0.3596	0.19	80
	Ветви	0.4651	-1.3997	1.3166	-0.5024	0.0130	0.2107	0.31	108
	Хвоя	0.0272	-0.5720	1.0133	-0.7372	0.0027	0.4282	0.21	116
	Корни	0.0406	-1.0311	1.3670	-1.1220	0.0103	1.5004	0.48	27
Кедр	Ствол	0.2377	0.2057	0.0834	0.1842	-0.0018	-0.3556	0.17	108
	В т.ч. кора	0.1872	-0.2961	0.4769	0.6700	0.0008	-0.9415	0.40	71
	Ветви	0.1077	-0.3139	0.8116	-0.0276	-0.0009	-0.7577	0.54	111
	Хвоя	0.4251	-0.7082	0.9321	0.3271	-0.0010	-1.2715	0.73	112
	Корни	0.6517	-0.3384	0.4001	0.5589	0.0008	-1.1526	0.42	63
Береза	Ствол	0.9982	0.0323	-0.3886	-0.2010	-0.0004	0.0616	0.27	238
	В т.ч. кора	0.3137	-0.1499	0.1084	0.5037	-0.0022	-0.6485	0.40	175
	Ветви	0.3729	-0.2983	-0.1744	-0.3717	0.0047	-0.0531	0.18	246
	Хвоя	0.4336	-1.3900	0.1711	-1.6585	0.0142	1.2080	0.60	246
	Корни	0.1793	-0.4740	1.0304	-0.0263	0.0006	-0.2932	0.90	22
Осина	Ствол	0.4022	0.0572	-0.1699	-0.3393	-0.0014	0.2364	0.16	135
	В т.ч. кора	0.1757	-0.4376	0.6777	0.4150	0.0019	-0.6882	0.46	110
	Ветви	0.0404	-0.1206	0.6086	-0.3047	0.0005	-0.0986	0.17	133
	Хвоя	0.1125	-1.3143	0.7062	-1.5857	0.0069	1.0340	0.84	139
	Корни	1.6160	-0.2857	0.0994	0.8754	-0.0005	-1.4635	0.62	51
Кедр	Пдр+пдл ¹	0.0007	2.9234	-0.9569	0.3560	-0.0188	-2.2670	0.47	97
	НЖП ²	0.0025	2.0397	2.3526	3.7123	-0.0121	-7.1858	0.70	132

¹ Модель для оценки суммарной фитомассы подростка и подлеска.

² Модель для оценки фитомассы напочвенного живого покрова.

дуктивности фитомассы для каждого года восстановительно-возрастной динамики экосистем. Общая продуктивность фитомассы в возрасте A лет ($ОПФ_A$) определена как количество фитомассы, произведенной экосистемой за период ее существования (т. е. с момента начала моделируемого периода восстановительно-возрастной динамики) до возраста A ; тогда разница $ОПФ_A - ОПФ_{A-1}$ дает чистую первичную продукцию экосистемы за год A . Оценивание $ОПФ_A$ требует циклического моделирования продукционного процесса по фракциям фитомассы за весь период существования экосистемы. С этой целью был разработан специальный метод разработки моделей биологической продуктивности лесных экосистем. Этот метод и реализованные в нем алгоритмы достаточно громоздки. Они описаны в [42], и здесь мы их не рассматриваем.

4. Результаты моделирования и краткое обсуждение

Предлагаемые общие таблицы хода роста и таблицы биологической продуктивности полных кедровых насаждений приведены в таблицах 4 и 5. Материал таблиц представляет обширную информацию для познания наиболее общих закономерностей роста кедровых насаждений в Сибири. Мы представляем читателю возможность провести этот анализ самостоятельно, ограничившись несколькими важными примерами.

Продолжительность стадии роста полных кедровых насаждений зависит от их продуктивности: более продуктивные насаждения начинают медленно разрушаться с 220-240 лет, хотя запас их в следующие 80-60 лет уменьшается незначительно. Стадия роста насаждений низших бонитетов более продолжительна, и для насаждений Va класса бонитета мы не обнаружили снижения сумм площадей сечений и запасов до 300-летнего возраста. Потенциальный максимальный запас кедровников ограни-

чен 1000-1200 м³ га⁻¹ при общей продуктивности 1600-2000 м³ га⁻¹. Доля суммарного отпада зависит от уровня продуктивности и достигает 60-65 % общего запаса к концу стадии роста в древостоях I и II классов бонитета, существенно снижаясь в низкобонитетных лесах. В значительной мере это объясняется отпадом менее долговечных спутников кедра в более производительных насаждениях.

Темпы динамика биопродукционного процесса существенно зависят от уровня продуктивности. Таблица 6 содержит возрасты (округленные до 5 лет), в которых наблюдаются максимальные значения основных показателей биопродукционного процесса по классам бонитета. Все данные приведены для древостоя в целом.

Как следует из таблицы 6, максимум среднего прироста по наличному запасу (возраст количественной спелости) меняется в зависимости от уровня продуктивности от 90 (I бонитет) до 170 лет (Va бонитет), в то время как возраст максимума текущего прироста существенно ниже - от 50 до 110 лет. Максимумы текущего и среднего приростов по общей продуктивности синхронно повторяют таковые для наличного запаса, но сдвинуты в сторону увеличения на 5-10 лет. В то время как максимумы текущего прироста по наличному запасу фитомассы практически совпадают с таковыми для запаса древостоя, максимумы текущего прироста по общей продуктивности фитомассы значительно выше, особенно для низких бонитетов.

Таблицы биопродуктивности являются первым лесотаксационным нормативом подобного типа для кедровых насаждений. Закономерности изменения основных биопродукционных показателей приведены на рисунке. Динамика изменения запаса основных фракций фитомассы достаточно согласована. Обратим внимание на высокие значения общей продуктивности фитомассы, достигающие, например, для древостоев III класса бонитета 2600 т сухо-

Таблица 6

Возраст максимальных значений
 основных показателей биопродукционного процесса экосистем кедра сибирского

Показатели	Возраст максимальных значений по классам бонитета					
	I	II	III	IV	V	Va
Текущий прирост по запасу	50	60	70	90	100	110
Средний прирост по запасу	90	100	125	150	160	170
Текущий прирост по ОП ¹	60	70	80	95	115	115
Средний прирост по ОП	100	110	135	150	165	180
Текущий прирост по запасу фитомассы	50	60	80	90	100	110
Текущий прирост по ОП фитомассы	80	90	105	120	140	190
Чистая первичная продукция	80	90	105	120	150	190

¹ ОП - общая продуктивность

Таблица 4

Ход роста полных (нормальных) древостоев кедра сибирского

Возраст, лет	Состав	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечения, м ² /га	Запас, м ³ /га	Изменение запаса, м ³ /[га·год]		Общая продуктивность, м ³ /га	Прирост по общей продуктивности, м ³ /[га·год]		Отпад, м ³ /[га·год]
						текущее	среднее		текущий	средний	
I бонитет											
20	10K90Соп	5.3	5.3	13.6	65	6.49	3.23	71	8.28	3.56	1.78
30	19K81Соп	8.3	9.8	23.4	141	8.61	4.71	176	12.37	5.85	3.75
40	26K74Соп	11.2	14.6	32.4	234	9.72	5.84	314	15.02	7.84	5.30
50	33K67Соп	13.9	19.7	40.4	333	10.06	6.66	471	16.33	9.43	6.27
60	39K61Соп	16.5	24.8	47.0	433	9.87	7.22	637	16.57	10.61	6.70
70	45K55Соп	18.9	29.8	52.4	529	9.33	7.56	800	16.06	11.43	6.72
80	51K49Соп	21.0	34.7	56.8	619	8.61	7.74	956	15.06	11.95	6.45
90	57K43Соп	23.1	39.3	60.2	701	7.79	7.79	1101	13.79	12.23	6.00
100	62K38Соп	24.9	43.7	63.0	775	6.95	7.75	1232	12.40	12.32	5.46
110	66K34Соп	26.6	47.7	65.1	840	6.13	7.64	1349	11.00	12.26	4.87
120	70K30Соп	28.1	51.6	66.8	897	5.36	7.48	1452	9.65	12.10	4.29
130	73K27Соп	29.5	55.1	68.1	948	4.66	7.29	1542	8.39	11.86	3.74
140	75K25Соп	30.8	58.4	69.1	991	4.02	7.08	1620	7.25	11.57	3.23
150	77K23Соп	31.9	61.4	69.9	1028	3.46	6.85	1687	6.23	11.25	2.77
160	79K21Соп	33.0	64.2	70.5	1060	2.96	6.63	1745	5.32	10.91	2.36
180	83K17Соп	34.8	69.1	71.3	1111	2.16	6.17	1836	3.85	10.20	1.69
200	86K14Соп	36.2	73.1	71.8	1148	1.56	5.74	1902	2.76	9.51	1.20
220	88K12Соп	37.4	76.5	72.1	1174	1.12	5.34	1948	1.96	8.86	0.84
240	90K10Соп	38.4	79.3	72.2	1193	-0.17	4.97	1981	1.39	8.26	1.56
260	91K09Соп	39.2	81.6	71.5	1189	-0.25	4.57	2005	0.98	7.71	1.23
280	92K08Соп	39.9	83.5	69.7	1183	-0.33	4.23	2021	0.69	7.22	1.02
300	93K07Соп	40.4	85.0	66.0	1176	-0.42	3.92	2033	0.48	6.78	0.90
II бонитет											
20	28K72Соп	4.2	2.8	8.5	31	3.76	1.55	34	4.63	1.71	0.87
30	35K65Соп	6.8	5.7	16.2	80	5.83	2.65	98	7.99	3.26	2.16
40	41K59Соп	9.3	9.2	24.1	145	7.24	3.64	191	10.62	4.79	3.38
50	46K54Соп	11.7	13.1	31.5	222	7.98	4.44	307	12.28	6.14	4.30
60	52K48Соп	14.0	17.2	38.1	303	8.18	5.05	434	13.02	7.23	4.84
70	56K44Соп	16.2	21.3	43.8	384	7.98	5.49	565	13.03	8.07	5.04
80	61K39Соп	18.1	25.3	48.5	462	7.52	5.77	693	12.51	8.66	4.99
90	66K34Соп	19.9	29.2	52.4	534	6.91	5.94	814	11.67	9.04	4.75
100	70K30Соп	21.6	32.9	55.6	600	6.23	6.00	925	10.63	9.25	4.40
110	73K27Соп	23.1	36.4	58.2	659	5.53	5.99	1026	9.52	9.33	3.99
120	76K24Соп	24.5	39.7	60.2	711	4.86	5.92	1116	8.42	9.30	3.56
130	79K21Соп	25.7	42.7	61.9	756	4.23	5.82	1195	7.36	9.19	3.13
140	80K20Соп	26.9	45.5	63.2	795	3.65	5.68	1263	6.37	9.02	2.73
150	82K18Соп	27.9	48.1	64.2	829	3.13	5.53	1323	5.49	8.82	2.35
160	83K17Соп	28.8	50.5	65.1	858	2.68	5.36	1373	4.70	8.58	2.02
180	86K14Соп	30.4	54.6	66.2	904	1.93	5.02	1454	3.39	8.08	1.46
200	89K11Соп	31.7	57.9	66.9	937	1.38	4.68	1511	2.42	7.56	1.05
220	90K10Соп	32.7	60.7	67.4	960	0.98	4.36	1552	1.72	7.06	0.74
240	92K08Соп	33.6	63.0	67.7	977	0.69	4.07	1581	1.21	6.59	0.52
260	93K07Соп	34.3	64.8	66.8	988	-0.32	3.80	1602	0.85	6.16	1.17
280	94K06Соп	34.8	66.2	64.9	981	-0.43	3.50	1616	0.59	5.77	1.03
300	94K06Соп	35.2	67.4	61.3	971	-0.57	3.24	1626	0.41	5.42	0.98

Возраст, лет	Состав	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечения, м ² /га	Запас, м ³ /га	Изменение запаса, м ³ /[га·год]		Общая продуктивность, м ³ /га	Прирост по общей продуктивности, м ³ /[га·год]		Отпад, м ³ /[га·год]
						текущее	среднее		текущий	средний	
III бонитет											
20	46K54Соп	2.9	1.4	3.4	8	1.30	0.40	9	1.51	0.43	0.21
30	51K49Соп	4.9	3.2	8.2	28	2.79	0.94	34	3.59	1.12	0.80
40	56K44Соп	7.0	5.6	14.1	64	4.24	1.59	81	5.82	2.02	1.58
50	60K40Соп	9.1	8.4	20.4	112	5.37	2.24	149	7.73	2.98	2.35
60	63K37Соп	11.1	11.4	26.5	170	6.07	2.83	233	9.04	3.89	2.97
70	67K33Соп	13.0	14.6	32.2	232	6.36	3.32	328	9.73	4.68	3.37
80	71K29Соп	14.8	17.8	37.3	296	6.32	3.70	426	9.88	5.33	3.56
90	74K26Соп	16.4	20.9	41.6	358	6.04	3.97	524	9.60	5.82	3.56
100	77K23Соп	17.9	23.9	45.4	416	5.60	4.16	617	9.03	6.17	3.43
110	80K20Соп	19.3	26.8	48.5	469	5.08	4.27	704	8.29	6.40	3.20
120	82K18Соп	20.6	29.5	51.1	518	4.53	4.31	783	7.46	6.52	2.93
130	84K16Соп	21.7	32.0	53.2	560	3.98	4.31	853	6.61	6.56	2.62
140	85K15Соп	22.7	34.4	55.0	597	3.46	4.27	915	5.79	6.54	2.32
150	86K14Соп	23.6	36.5	56.4	630	2.99	4.20	969	5.02	6.46	2.03
160	87K13Соп	24.5	38.5	57.5	657	2.56	4.11	1015	4.31	6.35	1.76
180	90K10Соп	25.9	41.9	59.2	701	1.84	3.89	1089	3.13	6.05	1.29
200	92K08Соп	27.0	44.7	60.3	732	1.31	3.66	1143	2.24	5.71	0.93
220	93K07Соп	27.9	46.9	61.0	754	0.92	3.43	1181	1.58	5.37	0.66
240	94K06Соп	28.7	48.7	61.4	770	0.64	3.21	1207	1.11	5.03	0.47
260	95K05Соп	29.2	50.2	60.3	780	-0.33	3.00	1226	0.77	4.71	1.10
280	95K05Соп	29.7	51.3	58.3	773	-0.45	2.76	1239	0.53	4.42	0.98
300	96K04Соп	30.0	52.2	54.9	762	-0.60	2.54	1248	0.37	4.16	0.97
IV бонитет											
20	64K36Соп	1.7	0.6	0.9	1	0.26	0.06	1	0.28	0.06	0.02
30	68K32Соп	3.2	1.7	2.9	7	0.90	0.22	7	1.06	0.24	0.16
40	70K30Соп	4.8	3.2	6.3	20	1.85	0.50	24	2.34	0.60	0.49
50	73K27Соп	6.6	5.1	10.7	44	2.88	0.88	55	3.82	1.10	0.94
60	76K24Соп	8.3	7.3	15.6	77	3.77	1.29	100	5.19	1.67	1.42
70	78K22Соп	9.9	9.6	20.6	118	4.40	1.69	158	6.24	2.25	1.84
80	80K20Соп	11.5	12.0	25.4	164	4.73	2.05	224	6.88	2.79	2.15
90	83K17Соп	12.9	14.4	29.8	212	4.80	2.36	294	7.12	3.26	2.32
100	85K15Соп	14.3	16.8	33.8	260	4.66	2.60	365	7.02	3.65	2.36
110	86K14Соп	15.5	19.1	37.3	305	4.37	2.77	433	6.68	3.94	2.31
120	88K12Соп	16.6	21.3	40.3	347	3.99	2.89	498	6.18	4.15	2.19
130	89K11Соп	17.6	23.3	42.9	384	3.57	2.96	557	5.59	4.28	2.02
140	90K10Соп	18.6	25.2	45.0	418	3.15	2.99	609	4.97	4.35	1.82
150	91K09Соп	19.4	27.0	46.8	447	2.73	2.98	656	4.35	4.37	1.62
160	92K08Соп	20.1	28.6	48.2	473	2.35	2.96	697	3.77	4.35	1.42
180	93K07Соп	21.4	31.4	50.4	513	1.70	2.85	762	2.76	4.23	1.06
200	94K06Соп	22.3	33.7	51.9	542	1.20	2.71	809	1.97	4.04	0.77
220	95K05Соп	23.1	35.5	52.8	562	0.84	2.55	842	1.39	3.83	0.55
240	96K04Соп	23.7	37.0	53.5	576	0.58	2.40	865	0.96	3.61	0.39
260	97K03Соп	24.2	38.2	53.9	586	0.40	2.25	881	0.67	3.39	0.27
280	97K03Соп	24.5	39.1	54.1	592	-0.17	2.12	892	0.46	3.19	0.63
300	97K03Соп	24.8	39.9	53.5	588	-0.24	1.96	900	0.31	3.00	0.55
V бонитет											
30	84K16Соп	1.9	0.8	0.8	1	0.19	0.03	1	0.20	0.03	0.01
40	85K15Соп	3.1	1.8	2.2	5	0.58	0.12	5	0.66	0.13	0.08
50	87K13Соп	4.4	3.0	4.6	13	1.18	0.27	15	1.42	0.31	0.24
60	88K12Соп	5.8	4.4	7.8	29	1.88	0.48	34	2.35	0.57	0.47
70	89K11Соп	7.1	6.1	11.5	51	2.52	0.72	62	3.25	0.89	0.73

Возраст, лет	Состав	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечения, м ² /га	Запас, м ³ /га	Изменение запаса, м ³ /[га·год]		Общая продуктивность, м ³ /га	Прирост по общей продуктивности, м ³ /[га·год]		Отпад, м ³ /[га·год]
						текущее	среднее		текущий	средний	
80	90К10Соп	8.5	7.9	15.4	79	3.01	0.98	99	3.98	1.23	0.98
90	91К09Соп	9.7	9.7	19.3	110	3.29	1.22	141	4.46	1.57	1.17
100	92К08Соп	10.9	11.5	23.0	144	3.39	1.44	187	4.67	1.87	1.29
110	93К07Соп	11.9	13.3	26.4	177	3.32	1.61	234	4.65	2.12	1.33
120	94К06Соп	12.9	15.0	29.5	210	3.13	1.75	279	4.45	2.33	1.32
130	95К05Соп	13.7	16.7	32.1	240	2.86	1.84	322	4.13	2.48	1.26
140	95К05Соп	14.5	18.2	34.4	267	2.56	1.91	362	3.73	2.58	1.17
150	95К05Соп	15.2	19.6	36.4	291	2.25	1.94	397	3.32	2.65	1.06
160	96К04Соп	15.8	21.0	38.0	312	1.95	1.95	428	2.90	2.67	0.94
180	97К03Соп	16.9	23.3	40.5	346	1.42	1.92	478	2.14	2.66	0.72
200	97К03Соп	17.7	25.2	42.2	370	1.00	1.85	514	1.53	2.57	0.53
220	98К02Соп	18.3	26.8	43.3	386	0.69	1.76	540	1.07	2.45	0.38
240	98К02Соп	18.8	28.1	44.0	398	0.47	1.66	558	0.74	2.32	0.26
260	98К02Соп	19.1	29.1	44.5	406	0.32	1.56	570	0.50	2.19	0.18
280	98К02Соп	19.4	29.9	44.9	411	-0.02	1.47	578	0.34	2.07	0.36
300	99К01Соп	19.6	30.5	44.3	410	-0.04	1.37	584	0.23	1.95	0.27
Va бонитет											
30	100К	1.0	0.4	0.2	0	0.02	0.00	0	0.02	0.00	0.00
40	100К	1.8	0.9	0.6	1	0.12	0.02	1	0.12	0.02	0.00
50	100К	2.7	1.7	1.7	3	0.35	0.06	3	0.36	0.06	0.01
60	100К	3.7	2.6	3.4	8	0.71	0.14	8	0.75	0.14	0.04
70	100К	4.8	3.8	5.7	17	1.12	0.25	18	1.23	0.26	0.11
80	100К	5.8	5.0	8.4	31	1.51	0.38	33	1.71	0.41	0.20
90	100К	6.8	6.4	11.3	47	1.82	0.53	52	2.10	0.58	0.28
100	100К	7.7	7.8	14.3	66	2.00	0.66	74	2.35	0.74	0.35
110	100К	8.6	9.2	17.1	87	2.05	0.79	99	2.46	0.90	0.40
120	100К	9.3	10.6	19.8	107	2.01	0.89	123	2.44	1.03	0.43
130	100К	10.0	11.9	22.2	127	1.89	0.98	147	2.32	1.13	0.43
140	100К	10.6	13.2	24.3	145	1.73	1.03	170	2.14	1.21	0.42
150	100К	11.2	14.5	26.1	161	1.54	1.07	190	1.93	1.27	0.39
160	100К	11.7	15.6	27.6	176	1.34	1.10	208	1.70	1.30	0.36
180	100К	12.4	17.6	29.9	199	0.98	1.10	238	1.26	1.32	0.28
200	100К	13.0	19.3	31.6	215	0.69	1.08	259	0.90	1.29	0.21
220	100К	13.5	20.8	32.6	227	0.47	1.03	274	0.62	1.25	0.15
240	100К	13.8	21.9	33.4	235	0.32	0.98	284	0.42	1.18	0.10
260	100К	14.0	22.8	33.8	240	0.21	0.92	291	0.28	1.12	0.07
280	100К	14.2	23.6	34.1	243	0.14	0.87	296	0.19	1.06	0.05
300	100К	14.4	24.2	34.3	246	0.09	0.82	299	0.13	1.00	0.03

го вещества на гектаре к возрасту 300 лет. В значительной мере это объясняется продукцией зеленых частей, которая составляет около 30 %, и продукцией тонких корней (< 2 мм) - 28 % (эти данные не включены в табулированную форму моделей, но содержатся в их электронной версии).

Интересны закономерности изменения чистой первичной продукции (ЧПП) кедровых экосистем. В первой части периода роста ЧПП быстро возрастает, достигая максимальных величин порядка 700-800 г С м⁻² к 80-100 годам в I-II классах бонитета, 570 г С м⁻² в 100-

120 лет в III классе бонитета и около 290 г С м⁻² к 200 годам в Va классе бонитета. Это связано, главным образом, с восстановлением всех растительных компонентов экосистемы, а в потенциальных кедровниках высших бонитетов - с ускоренным ростом пионерных пород на первом этапе восстановительной сукцессии. После достижения максимума, ЧПП существенно снижается (почти наполовину к 300 годам) в высокопродуктивных насаждениях и остается почти неизменной в насаждениях низших бонитетов. ЧПП экосистем модальных насаждений в среднем достигают 50-70 % ЧПП полных

Таблица 5

Динамика биологической продуктивности полных насаждений кедр сибирского

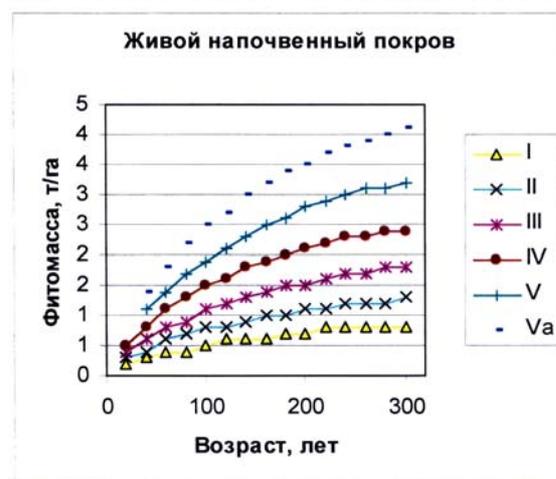
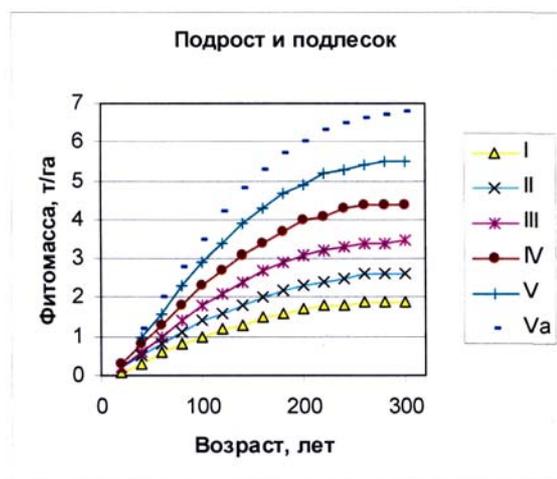
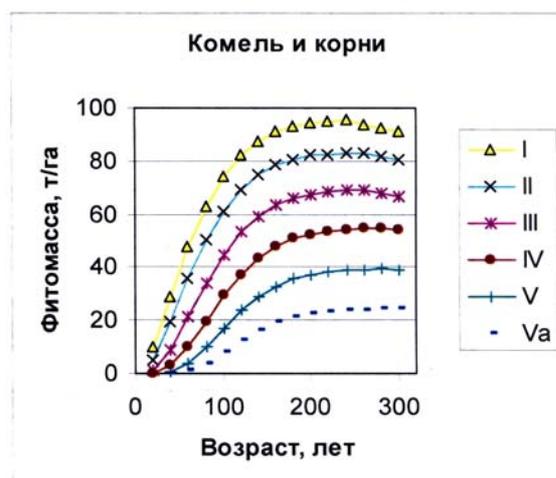
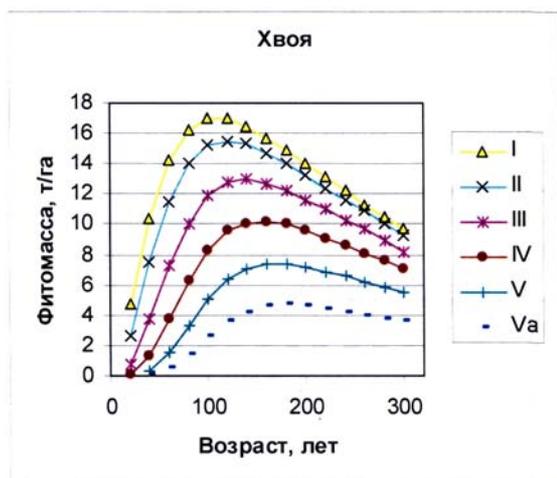
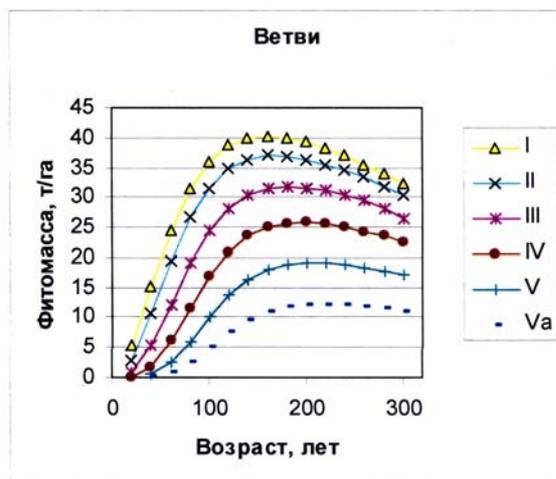
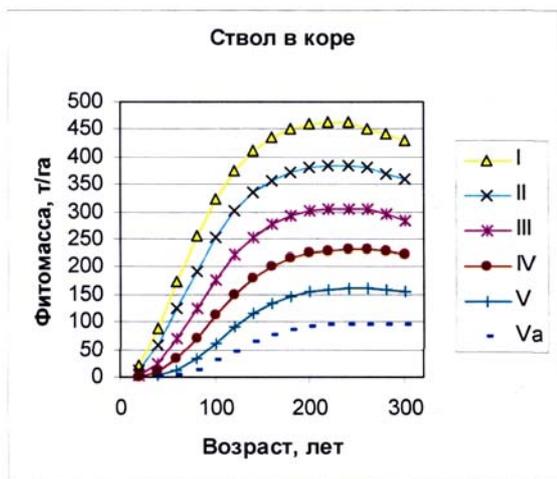
Возраст, лет	Фитомасса насаждения, т×га ⁻¹										Фитомасса, т×га ⁻¹		Текущий прирост фитомассы, т×га ⁻¹		Углерод фитомассы, т×га ⁻¹				Чистая первичная продукция, т×см ² ×год ⁻¹	
	древостой										Общая продуктивность		наличного		по общей		в т.ч. ствол			
	ствол	в т.ч. кора	древесина	кроны	хвоя	листво	наземной	корни	всего	подстилка	напочвенный покров	всего	насаждения		по общей		в т.ч. ствол	всего		в т.ч. ствол
													насаждения	продуктивности	насаждения	продуктивности				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
	I бонитет																			
20	22.4	4.6	5.4	4.8	32.6	10.1	42.7	0.1	0.2	43.0	59.0	3.98	6.59	21.2	11.2	28.9	11.6	32.3		
40	89.8	13.9	15.3	10.4	115.5	29.2	144.7	0.3	0.3	145.3	264.2	5.77	13.02	72.1	44.9	129.2	56.5	63.7		
60	174.5	23.2	24.5	14.2	213.2	47.9	261.1	0.6	0.4	262.1	560.6	5.70	15.95	130.3	87.3	273.9	120.4	77.7		
80	255.4	30.9	31.5	16.2	303.1	63.1	366.2	0.8	0.4	367.4	887.5	4.80	16.44	182.9	127.7	432.9	185.6	79.8		
100	322.8	36.8	36.1	17.0	375.9	74.5	450.4	1.0	0.5	451.9	1209.9	3.69	15.72	225.0	161.4	589.2	242.8	76.1		
120	374.5	41.1	38.7	17.0	430.2	82.4	512.6	1.2	0.6	514.4	1512.6	2.64	14.58	256.2	187.2	735.5	288.7	70.3		
140	411.6	44.0	40.0	16.5	468.1	87.7	555.8	1.3	0.6	557.7	1791.6	1.78	13.40	278.0	205.8	869.9	323.8	64.4		
160	436.7	46.0	40.3	15.7	492.7	91.2	583.9	1.5	0.6	586.0	2048.3	1.11	12.35	292.2	218.4	993.1	349.6	59.2		
180	452.3	47.3	40.0	14.9	507.2	93.3	600.5	1.6	0.7	602.8	2285.6	0.61	11.46	300.5	226.1	1106.9	368.2	54.9		
200	460.6	48.1	39.3	14.0	513.9	94.5	608.4	1.7	0.7	610.8	2507.1	0.24	10.75	304.6	230.3	1212.9	381.5	51.4		
220	463.6	48.7	38.3	13.1	515.0	95.1	610.1	1.8	0.8	612.7	2715.8	-0.03	10.17	305.6	231.8	1312.6	390.8	48.6		
240	462.6	49.0	37.2	12.3	512.1	95.4	607.5	1.8	0.8	610.1	2914.2	-0.21	9.71	304.3	231.3	1407.5	397.3	46.4		
260	452.1	48.4	35.5	11.3	498.9	94.0	592.9	1.9	0.8	595.6	3103.7	-0.74	9.28	297.1	226.0	1498.0	401.8	44.3		
280	440.7	47.9	33.9	10.5	485.1	92.7	577.8	1.9	0.8	580.5	3285.2	-0.77	8.92	289.6	220.3	1584.7	404.9	42.6		
300	428.4	47.4	32.4	9.7	470.5	91.4	561.9	1.9	0.8	564.6	3460.3	-0.80	8.62	281.8	214.2	1668.4	407.0	41.2		
	II бонитет																			
20	10.9	2.4	2.9	2.7	16.5	5.1	21.6	0.2	0.3	22.1	30.8	2.43	3.88	10.9	5.4	15.0	5.7	19.0		
40	56.6	9.3	10.8	7.5	74.9	19.3	94.2	0.5	0.4	95.1	170.8	4.49	9.61	47.1	28.3	83.4	35.2	46.9		
60	123.8	17.5	19.5	11.5	154.8	35.7	190.5	0.8	0.6	191.9	403.6	4.93	13.07	95.2	61.9	197.0	83.8	63.6		
80	193.0	24.9	26.6	14.0	233.6	50.1	283.7	1.1	0.7	285.5	680.5	4.37	14.27	142.0	96.5	331.5	137.4	69.2		
100	253.2	30.7	31.6	15.2	300.0	61.3	361.3	1.4	0.8	363.5	965.8	3.45	14.12	180.9	126.6	469.7	186.3	68.3		
120	300.4	35.0	34.8	15.5	350.7	69.4	420.1	1.6	0.8	422.5	1241.0	2.51	13.38	210.4	150.2	602.5	226.5	64.5		
140	334.7	38.0	36.4	15.3	386.4	74.9	461.3	1.8	0.9	464.0	1499.2	1.71	12.48	231.2	167.4	726.7	257.6	59.9		
160	358.1	40.1	37.0	14.7	409.8	78.5	488.3	2.0	1.0	491.3	1739.6	1.08	11.62	244.8	179.1	842.0	280.7	55.7		
180	372.8	41.4	36.9	14.0	423.7	80.7	504.4	2.2	1.0	507.6	1963.8	0.60	10.87	253.0	186.4	949.3	297.3	52.0		
200	380.8	42.3	36.3	13.2	430.3	82.1	512.4	2.3	1.1	515.8	2174.4	0.25	10.25	257.1	190.4	1050.0	309.1	48.9		

Продолжение таблицы 5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
220	384.0	42.8	35.5	12.4	431.9	82.7	514.6	2.4	1.1	518.1	2373.9	0.01	9.75	258.3	192.0	1145.1	317.4	465	
240	383.6	43.1	34.5	11.6	429.7	83.0	512.7	2.5	1.2	516.4	2564.3	-0.16	9.34	257.4	191.8	1235.9	323.1	445	
260	380.6	43.3	33.4	10.9	424.9	83.1	508.0	2.6	1.2	511.8	2747.4	-0.28	9.00	255.2	190.3	1323.2	327.1	429	
280	369.9	42.7	31.8	10.0	411.7	81.7	493.4	2.6	1.2	497.2	2923.6	-0.74	8.66	248.0	185.0	1407.3	329.8	413	
300	358.3	42.1	30.3	9.3	397.9	80.3	478.2	2.6	1.3	482.1	3093.6	-0.79	8.37	240.4	179.1	1488.3	331.7	399	
III бонитет																			
20	2.8	0.7	0.8	0.8	4.4	1.4	5.8	0.2	0.4	6.4	10.2	0.90	1.41	3.1	1.4	4.9	1.5	69	
40	25.0	4.3	5.3	3.7	34.0	8.9	42.9	0.6	0.6	44.1	78.6	2.75	5.43	21.8	12.5	38.2	15.2	265	
60	70.0	10.4	12.1	7.3	89.4	21.1	110.5	1.0	0.8	112.3	228.8	3.82	9.17	55.7	35.0	111.4	46.2	446	
80	124.9	17.0	19.0	10.1	154.0	33.8	187.8	1.4	0.9	190.1	437.0	3.84	11.26	94.5	62.5	212.6	86.5	546	
100	177.5	22.7	24.5	11.9	213.9	44.9	258.8	1.8	1.1	261.7	670.9	3.26	11.91	130.1	88.8	325.9	127.1	576	
120	221.2	27.2	28.2	12.8	262.2	53.3	315.5	2.1	1.2	318.8	908.3	2.49	11.74	158.6	110.6	440.4	162.4	565	
140	254.2	30.4	30.5	13.0	297.7	59.3	357.0	2.4	1.3	360.7	1137.7	1.75	11.20	179.5	127.1	550.7	190.7	538	
160	277.3	32.7	31.6	12.7	321.6	63.4	385.0	2.7	1.4	389.1	1355.1	1.14	10.57	193.7	138.6	654.9	212.0	506	
180	292.3	34.2	31.9	12.3	336.5	66.0	402.5	2.9	1.5	406.9	1560.2	0.67	9.98	202.6	146.1	752.9	227.5	476	
200	300.9	35.2	31.6	11.6	344.1	67.6	411.7	3.1	1.5	416.3	1754.3	0.33	9.47	207.4	150.5	845.5	238.5	451	
220	304.9	35.8	31.1	11.0	347.0	68.6	415.6	3.2	1.6	420.4	1939.0	0.09	9.04	209.4	152.5	933.5	246.2	430	
240	305.6	36.2	30.3	10.3	346.2	69.0	415.2	3.3	1.7	420.2	2116.0	-0.08	8.69	209.4	152.8	1017.7	251.6	413	
260	303.9	36.4	29.4	9.7	343.0	69.2	412.2	3.4	1.7	417.3	2286.6	-0.2	8.40	207.9	151.9	1098.9	255.2	400	
280	294.7	35.9	28.0	8.9	331.6	67.9	399.5	3.4	1.8	404.7	2451.2	-0.66	8.09	201.6	147.3	1177.2	257.7	385	
300	284.4	35.2	26.5	8.2	319.1	66.5	385.6	3.5	1.8	390.9	2609.9	-0.72	7.81	194.8	142.2	1252.7	259.4	372	
IV бонитет																			
20	0.4	0.1	0.1	0.1	0.6	0.2	0.8	0.3	0.5	1.6	4.8	0.21	0.49	0.8	0.2	2.2	0.2	23	
40	8.0	1.5	1.8	1.3	11.1	3.0	14.1	0.8	0.8	15.7	32.6	1.26	2.49	7.7	4.0	15.6	4.6	121	
60	32.2	5.0	6.1	3.7	42.0	10.1	52.1	1.3	1.1	54.5	114.4	2.47	5.55	26.9	16.1	55.2	20.2	269	
80	70.1	10.0	11.6	6.3	88.0	19.7	107.7	1.8	1.3	110.8	253.3	3.00	8.03	54.9	35.0	122.6	46.3	389	
100	111.8	15.0	16.8	8.3	136.9	29.3	166.2	2.3	1.5	170.0	429.8	2.84	9.36	84.4	55.9	208.0	76.6	452	
120	149.6	19.2	20.8	9.6	180.0	37.4	217.4	2.7	1.6	221.7	622.5	2.32	9.77	110.2	74.8	300.9	103.3	470	
140	179.6	22.5	23.5	10.1	213.2	43.5	256.7	3.1	1.8	261.6	817.2	1.71	9.65	130.1	89.8	394.4	129.4	463	
160	201.5	24.9	25.0	10.2	236.7	47.8	284.5	3.4	1.9	289.8	1006.8	1.16	9.31	144.2	100.7	485.1	148.0	445	
180	216.1	26.5	25.7	10.0	251.8	50.7	302.5	3.7	2.0	308.2	1188.8	0.72	8.91	153.3	108.0	572.0	161.8	425	
200	224.9	27.6	25.8	9.6	260.3	52.5	312.8	4.0	2.1	318.9	1363.0	0.39	8.54	158.7	112.5	654.9	171.6	406	
220	229.5	28.3	25.5	9.1	264.1	53.6	317.7	4.1	2.2	324.0	1530.4	0.15	8.22	161.3	114.8	734.4	178.5	390	
240	231.0	28.7	25.0	8.6	264.6	54.2	318.8	4.3	2.3	325.4	1691.8	-0.01	7.95	161.9	115.5	811.1	183.2	377	
260	230.3	28.9	24.3	8.1	262.7	54.5	317.2	4.4	2.3	323.9	1848.3	-0.12	7.72	161.2	115.2	885.3	186.4	366	
280	228.1	29.1	23.6	7.6	259.3	54.6	313.9	4.4	2.4	320.7	2000.7	-0.19	7.53	159.7	114.1	957.5	188.6	357	
300	221.7	28.8	22.5	7.1	251.3	53.8	305.1	4.4	2.4	311.9	2149.0	-0.45	7.32	155.3	110.8	1027.8	190.0	347	

Окончание таблицы 5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
											У бонитет									
40	19	0.4	0.5	0.3	2.7	0.7	3.4	10	1.1	5.5	19.6	0.44	1.21	2.6	0.9	9.1	10	57		
60	12.0	2.0	2.5	1.5	16.0	3.9	19.9	1.6	1.4	22.9	62.1	1.30	3.09	11.3	6.0	29.4	7.0	148		
80	33.8	5.0	6.0	3.3	43.1	9.8	52.9	2.3	1.7	56.9	147.0	1.99	5.24	28.1	16.9	70.2	20.7	252		
100	62.5	8.7	10.1	5.1	77.7	17.0	94.7	2.9	1.9	99.5	269.5	2.16	6.81	49.3	31.3	129.2	39.9	327		
120	91.3	12.2	13.7	6.4	111.4	23.6	135.0	3.4	2.1	140.5	415.3	1.91	7.61	69.7	45.6	199.1	60.0	365		
140	115.7	15.1	16.3	7.1	139.1	29.0	168.1	3.9	2.3	174.3	570.8	1.48	7.86	86.5	57.8	273.6	77.9	376		
160	134.1	17.3	18.0	7.4	159.5	32.9	192.4	4.3	2.5	199.2	728.0	1.04	7.82	98.9	67.0	348.5	92.2	372		
180	146.8	18.8	18.8	7.4	173.0	35.6	208.6	4.7	2.6	215.9	882.7	0.67	7.65	107.3	73.4	422.1	102.9	363		
200	154.7	19.8	19.1	7.2	181.0	37.3	218.3	4.9	2.8	226.0	1033.6	0.38	7.45	112.4	77.4	493.7	110.6	353		
220	159.1	20.4	19.1	6.9	185.1	38.4	223.5	5.2	2.9	231.6	1180.7	0.18	7.27	115.1	79.6	563.3	115.9	344		
240	160.9	20.8	18.8	6.6	186.3	39.0	225.3	5.3	3.0	233.6	1324.2	0.04	7.10	116.1	80.5	631.1	119.6	335		
260	160.9	21.1	18.3	6.2	185.4	39.3	224.7	5.4	3.1	233.2	1464.6	-0.06	6.95	116.0	80.5	697.4	122.0	328		
280	159.6	21.2	17.8	5.9	183.3	39.5	222.8	5.5	3.1	231.4	1602.3	-0.12	6.83	115.1	79.8	762.4	123.7	322		
300	156.0	21.1	17.1	5.5	178.6	39.1	217.7	5.5	3.2	226.4	1737.3	-0.26	6.69	112.5	78.0	826.1	124.7	315		
											Уа бонитет									
40	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.6	1.2	1.4	3.2	19.8	0.15	0.92	1.5	0.2	9.0	0.1	42	
60	3.5	0.6	0.8	0.5	4.8	1.2	6.0	2.0	1.8	9.8	47.2	0.54	1.87	4.6	1.7	21.7	1.8	88		
80	13.3	2.0	2.5	1.4	17.2	4.0	21.2	2.8	2.2	26.2	99.0	1.06	3.27	12.8	6.6	46.2	7.0	155		
100	29.1	4.2	5.1	2.6	36.8	8.1	44.9	3.5	2.5	50.9	178.6	1.34	4.57	25.0	14.6	84.0	16.1	217		
120	47.0	6.5	7.6	3.6	58.2	12.5	70.7	4.2	2.7	77.6	279.9	1.29	5.44	38.3	23.5	132.1	26.8	258		
140	63.3	8.6	9.6	4.2	77.1	16.3	93.4	4.8	3.0	101.2	394.3	1.06	5.91	50.0	31.6	186.4	36.9	280		
160	76.1	10.2	10.9	4.6	91.6	19.2	110.8	5.3	3.2	119.3	514.9	0.77	6.11	59.0	38.0	243.4	45.3	289		
180	85.1	11.3	11.7	4.7	101.5	21.3	122.8	5.7	3.4	131.9	637.9	0.51	6.17	65.3	42.5	301.4	51.7	291		
200	90.9	12.1	12.0	4.6	107.5	22.6	130.1	6.0	3.5	139.6	761.2	0.30	6.16	69.2	45.4	359.4	56.2	290		
220	94.2	12.5	12.1	4.4	110.7	23.4	134.1	6.3	3.7	144.1	884.0	0.16	6.13	71.4	47.1	417.1	59.4	288		
240	95.7	12.9	12.0	4.2	111.9	23.9	135.8	6.5	3.8	146.1	1006.1	0.05	6.08	72.4	47.8	474.4	61.5	285		
260	95.9	13.0	11.7	4.0	111.6	24.2	135.8	6.6	3.9	146.3	1127.3	-0.02	6.04	72.5	48.0	531.2	62.9	283		
280	95.3	13.2	11.4	3.8	110.5	24.3	134.8	6.7	4.0	145.5	1247.5	-0.06	5.99	72.1	47.7	587.5	63.8	280		
300	94.1	13.2	11.1	3.6	108.8	24.3	133.1	6.8	4.1	144.0	1366.7	-0.09	5.94	71.4	47.1	643.4	64.4	278		



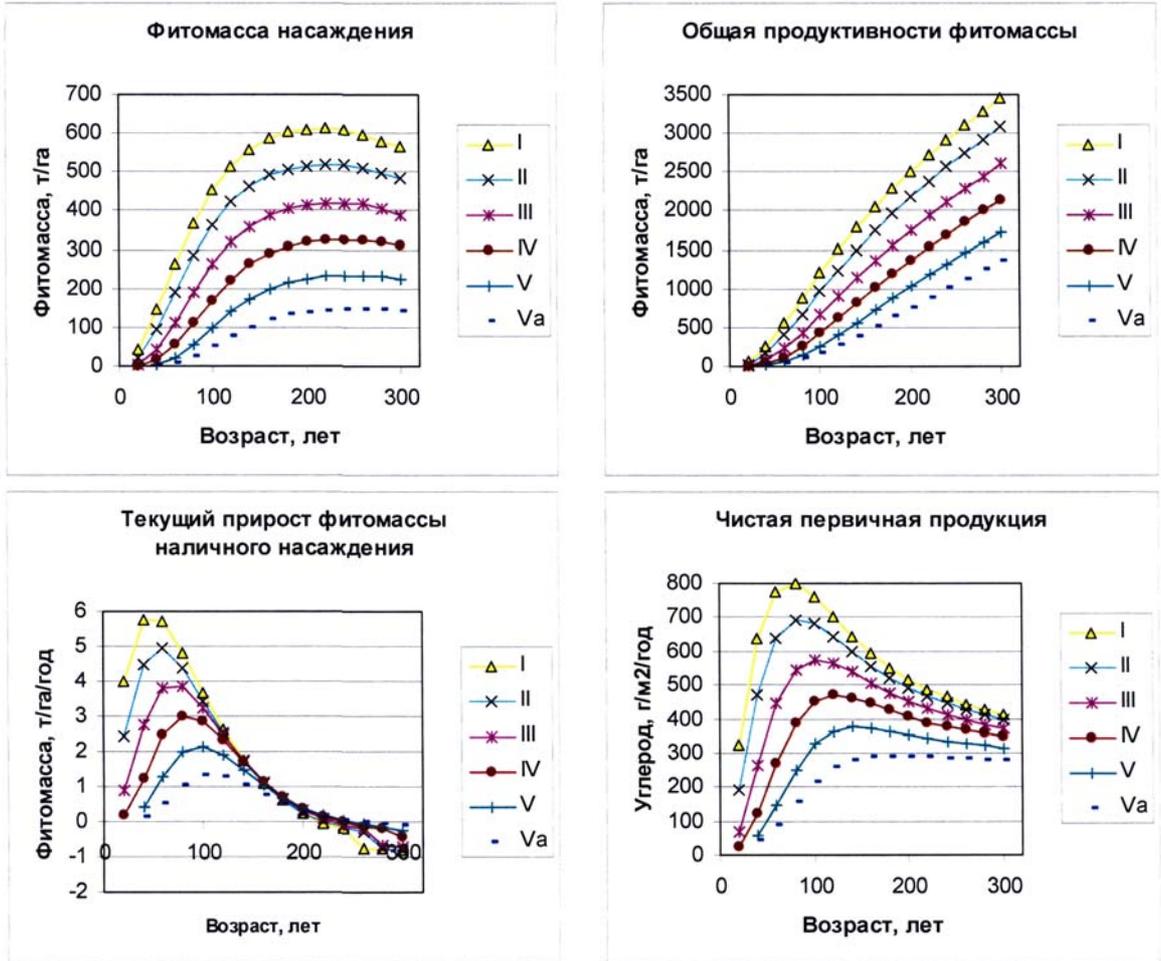


Рис. Динамика биологической продуктивности полных кедровых древостоев

насаждений, т. е. ЧПП модальных кедровых насаждений средней производительности составляет около 250-300 г С м² в течение первых 300 лет жизни кедровых экосистем в Сибири.

В заключении отметим, что рассмотренные выше модели являются частью компьютерной автоматизированной системы, что позволяет автоматизированно вносить в них любые усовершенствования и изменения, если потребность в таковых возникает, либо адаптировать модели для некоторой части ареала.

Библиографический список

1. **Грибачев В. Г.** Ход роста кедровых насаждений IV класса бонитета в условиях Горного Алтая // Научно-техническая информация, № 17. - Москва: Московский лесотехнический институт, 1956. - С. 11-15.
2. **Ермаков В. Е.** Ход роста кедровых насаждений Забайкалья // Сборник работ по лесному хозяйству. Вып. 1. - Минск: Белорусский лесотехн. институт, 1958. - С. 15-19.
3. **Загреев В. В.** Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. - Москва: Лесная промышленность, 1978. - 240 с.
4. **Загреев В. В., Сухих В. И., Швиденко А. З. и др.** Общесоюзные нормативы для таксации лесов. Справочник. Москва: Колос, 1991. - 495 с.
5. **Захаров В. К., Ермаков В. Е.** Строение и ход роста кедровых древостоев Забайкалья. Изв. высших учебных заведений // Лесной журнал, 1959. - С. 13-14.
6. **Кирсанов В. А.** Возрастная структура древостоев и естественное возобновление кедра сибирского на Северном Урале и в смежном Зауралье // Лесообразовательный процесс на Урале и Зауралье. - Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. - С. 129-145.
7. **Кирсанов В. А., Смолоногов Е. П., Трусов П. Ф.** Специфика динамики темнохвойно-кедровых лесов - основа организации и ведения хозяйства в них // Леса Урала и хозяйство в них. - Свердловск, 1970, вып. 5. - С. 291-295
8. **Колесников Б. П., Смолоногов Е. П.** Некоторые закономерности возрастной и восстановительной динамики кедровых лесов Зауральского Приобья // Проблема кедра. - Новосибирск: СО АН СССР, 1960. - С. 21-31.
9. **Костенко А. Г.** Особенности роста и семяношения кедра сибирского в Бурятской АССР в связи с комплексным использованием кедровых насаждений: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. - Минск, 1970. - 25 с.
10. **Костюченко И. С.** Динамика темнохвойно-кедровых лесов в Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. - Красноярск, 1977. - 24 с.
11. **Лебков В. Ф.** Организация хозяйства в горных лесах Южной Сибири. - Красноярск: Красн. книж. изд-во, 1967. - 288 с.
12. **Лебков В. Ф., Семечкин И. В.** Бонитировочная шкала для древостоев кедра сибирского // Организация лесного хозяйства и инвентаризация лесов. Труды Института леса и древесины, т. 66. - Москва: Изд-во АН СССР. 1963. - С. 19-28.
13. **Любимов Б. В., Корш В. П.** Исследование хода роста нормальных кедровых насаждений III класса бонитета // Труды Сибирской сельскохозяйственной академии. - Вып. 3. - Т. 5. - Омск, 1926.
14. **Науменко И. М.** Об опытных таблицах хода роста насаждений // Лесное хозяйство. - 1956. - № 2. - С. 25-27.
15. **Нахабцев И. А.** Ход роста модальных насаждений и динамика товарной структуры древостоев кедра сибирского района Восточных Саян // Сборник статей по обмену производственно-техническим опытом по лесному хозяйству и лесоустройству. - Ленинград: Наука, 1962. - С. 27-34.
16. **Непомилуева Н. И.** Кедр сибирский на северо-востоке европейской части СССР. - Ленинград: Наука, 1974. - 184 с.
17. **Орлов М. М.** Очерки лесоустройства в его современной практике // Ленинград - Москва: «Новая Деревня», 1924. - 304 с.
18. **Орлов М. М.** Лесоустройство. Т. 1. Элементы лесного хозяйства. - Ленинград: Издание журнала «Лесное Хозяйство, Лесопромышленность и Топливо», 1927. - 428 с.
19. **Поварницын В. А.** Кедровые леса СССР. - Красноярск: Красноярский рабочий, 1944. - 221 с.
20. **Савин Е. Н., Тетенькин А. Е., Семечкин И. В. и др.** Леса Монгольской Народной Республики (хозяйственное использование) // Биологические ресурсы и природные условия Монгольской Народной Республики. Т. 12. - М.: Наука, 1980. - 148 с.
21. **Седых В. Н.** Динамика кедровых лесов среднетаежного Приобья (Тюменская область): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Свердловск, 1974. - 31 с.
22. **Седых В. Н., Смолоногов Е. П.** Биологические основы совершенствования таксации и организации хозяйства в темнохвойно-кедровых лесах среднетаежного Приобья // Леса Урала и хозяйство в них, вып. 8. - Свердловск: изд. Урал. лесн. опытн. ст. ВНИИЛМ, 1975. - С. 206-221.
23. **Седых В. Н.** Динамика возрастной структуры древостоев кедра // Исследование

лесов Западной Сибири. - Красноярск, 1977. - С. 55-62.

24. Седых В. Н. Формирование кедровых лесов Приобья. - Новосибирск: Наука, 1979. - 110 с.

25. Седых В. Н. Аэрокосмический мониторинг лесного покрова. - Новосибирск: Наука. - 239 с.

26. Седых В. Н., Смолоногов Е. П. Биологические основы совершенствования таксации и организации хозяйства в темнохвойно-кедровых лесах среднетаежного Приобья // Леса Урала и хозяйство в них. - Свердловск, 1975. Вып. 8. - С. 206-221.

27. Семечкин И. В. Ход роста наиболее распространенных елово-лиственных древостоев Ленинградской области // Лесной журнал, № 5, 1959. - С. 24-29.

28. Семечкин И. В. Динамика таксационных показателей и возрасты спелости циклично-разновозрастных кедровников // Совершенствование методов таксации и устройства лесов Сибири. - Москва: Наука, 1967. - С. 28-61.

29. Семечкин И. В. Динамика возрастной структуры древостоев и методы ее изучения // Вопросы лесоведения. Т. 1. - Красноярск: ИЛИД, 1970. - С. 422-444.

30. Семечкин И. В. Структура и динамика кедровников Сибири. - Новосибирск: Издательство РАН, 2002. - 252 с.

31. Смолоногов Е. П. Особенности динамики и строения темнохвойно-кедровых лесов северной тайги Урала и прилегающей части Западно-Сибирской равнины // Материалы по динамике растительного покрова. - Владимир, 1968. - С. 39-40.

32. Смолоногов Е. П. Эколого-географическая дифференциация и динамика кедровых лесов Урала и Западно-Сибирской равнины. - Свердловск: УРО РАН, 1990. - 200 с.

33. Смолоногов Е. П., Залесов С. В. Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах. - Екате-

ринбург: Уральский государственный лесотехнический университет. - 85 с.

34. Телегин Н. П. Строение, рост и инвентаризация кедровников Горного Алтая для целей организации комплексного хозяйства: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук (ЛТА). - Ленинград, 1966. - 20 с.

35. Трусов П. Ф. Горные темнохвойно-кедровые леса севера Свердловской области: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. - Свердловск, 1974. - 27 с.

36. Тюрин А. В. Нормальная производительность насаждений сосны, березы, осины и ели. Изд. 2-е, Сельхозгиз. - Москва - Ленинград, 1931. - 212 с.

37. Фищенко В. В., Семечкин И. В. Строение и рост кедровников Читинской зоны бассейна озера Байкал // Лесная таксация и лесоустройство. - 2002. - № 1(31). - С. 61-65.

38. Ход роста основных лесообразующих пород Сибири: Учебное пособие. Часть II / Фалалеев Э. Н., Беззаботнов Е. Л., Данилин М. А. и др. - Красноярск: РИО СибГИ. - 196 с.

39. Швиденко А. З., Савич Ю. Н., Строчинский А. А. и др. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии. Киев: Урожай, 1987. - 560 стр.

40. Швиденко А. З. Современные проблемы отечественной лесной таксации. Методология и моделирование // Лесная таксация и лесоустройство. - 2002. № 1(31). - С. 41-51.

41. Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г., Нильссон С., Булый Ю. И. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы хода роста) // Лесное хозяйство. - 2003. - № 6. - С. 34-38.

42. Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г., Нильссон С., Булый Ю. И. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы биологической продуктивности) // Лесное хозяйство. - 2004. - № 2. - С. 40-44.

43. Юдейх Ф. Краткий очерк истории лесоустройства. - СПб, 1877. - 155 с.