

УДК 630*61

СИСТЕМА МОДЕЛЕЙ РОСТА И ДИНАМИКИ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РОССИИ (таблицы хода роста)

А. З. ШВИДЕНКО (Международный институт прикладного системного анализа); Д. Г. ЩЕПАЩЕНКО (МГУЛ);
С. НИЛЬССОН (Международный институт прикладного системного анализа); Ю. И. БУЛУЙ (МГУЛ)

Модели динамики основных таксационных показателей древостоев (главным образом, таблицы хода роста, далее – ТХР) являются неотъемлемой частью учета лесов и лесопользования. За более чем полтора столетия историю существования ТХР в России (с момента публикации Варгасом де Бадемаром в 1844 г. его «Исследования о запасе и приросте лесов в Тульской губернии...») многое изменилось в методических подходах и технике разработки таблиц. Проблема разрасталась вширь – как в географическом смысле, так и в части появления многочисленных типов ТХР: нормальных, модальных, оптимальных, разнотравных, смешанных, разновозрастных и иных древостоев, целевых программ лесовыращивания и т. д., составленных различными методами и на различных классификационных основах. 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, полученных, 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 «метаанализа», т. е. географических обобщений закономерностей роста, осуществленные в работах А. В. Тюрина и В. В. Зареева, дали интересные методические решения, но не изменили сути подхода.

Стратегический путь совершенствования методологической основы указанного вида лесотаксационных нормативов понятен – это постепенный переход к процессному моделированию (моделированию механизма) движущих сил роста и продуктивности насаждений. Такие модели обычно представляют в виде систем дифференциальных уравнений, входом же в них служат ресурсы окружающей среды и качество условий произрастания (поглощенная часть ФАР, обеспеченность теплом и водное питание, доступный азот и т.д.). Хотя существуют многочисленные модели подобного типа,

созданные для познания динамики и продуктивности растительности в двух крайних территориальных проявлениях (для отдельных местобитаний и в рамках глобальных моделей растительности), пройдет еще немало времени, прежде чем модели, использующие «процессные» блоки, станут общепринятым средством лесной науки и практического лесного хозяйства. В связи с этим возникает важный вопрос о том, насколько действующие нормативы роста и продуктивности лесов удовлетворяют потребности нынешние и ближайшего будущего и что должно быть сделано для их улучшения.

Два вида ТХР – нормальных и модальных (реально существующих) насаждений широко применяются в лесном деле. Первый вид содержит количественную характеристику наиболее совершенных в данных лесорастительных условиях насаждений и служит эталоном, на достижение которого должны быть направлены рациональное лесное хозяйство и, следовательно, система лесостроительного проектирования; эти таблицы часто используются как основной норматив для долгосрочного прогноза роста и развития древостоев на больших территориях. ТХР модальных насаждений представляют собой усредненную характеристику однородных групп существующих лесов какого-нибудь региона, и их содержание в значительной мере зависит от предшествующего режима ведения лесного хозяйства. Преимущество таблиц состоит в том, что они описывают динамику реальных древостоев.

Хотя необходимость таблиц «нормальных» древостоев очевидна, есть несколько особенностей, связанных с этим типом нормативов. Первая из них связана с понятием нормальности, и связь этого термина с концепцией нормального леса очевидна [5]. Несмотря на то, что нормальное насаждение определялось как наиболее совершенное в данных лесорастительных условиях, более 100 лет назад (когда было дано это определение) критерием оценки нормальности была исключительно сырьевая ценность древостоя, определяемая по количеству и качеству производимой стволовой древесины. Поэтому под «нормальным» понималось наиболее полное насаждение, имеющее в данных условиях максимально возможный запас удовлетворительного качества и обеспечивающее наивысший средний прирост. Разумеется, в целях организации «правильного» лесного хозяйства необходимо иметь норматив, который бы показывал, насколько конкретный древостой далек от хозяйственного идеала для данной породы в данных условиях произрастания. С другой стороны, многофункциональная сущность лесов определяет

Таблица 1

Ход роста полных сосновых древостоев (общие таблицы, пример)											
Возраст, лет	Ср. высота, м	Ср. диаметр, см	Число деревьев, шт.	Сумма площадей сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Изменение запаса, м ³ /га в год		Общая продуктивность, м ³ /га	Прирост по общей продуктивности, м ³ /га в год		Отпад, м ³ /га в год
						текущее	среднее		текущее	среднее	
III класс бонитета											
10	2,5	2,2	23756	8,8	17	2,99	1,67	23	4,20	2,34	1,22
20	5,5	5,1	7873	15,8	54	4,36	2,72	78	6,41	3,88	2,05
30	8,4	8,1	4147	21,2	101	4,82	3,36	148	7,45	4,92	2,63
40	11,1	11,0	2648	25,3	149	4,75	3,73	224	7,74	5,60	2,99
50	13,4	13,9	1882	28,4	195	4,41	3,90	301	7,58	6,02	3,17
50	15,5	16,5	1433	30,7	237	3,95	3,95	375	7,16	6,25	3,21
70	17,2	19,0	1146	32,5	274	3,44	3,91	444	6,59	6,34	3,15
80	18,7	21,3	950	33,8	306	2,96	3,82	507	5,96	6,33	3,01
90	20,0	23,4	810	34,8	333	2,51	3,70	563	5,32	6,26	2,82
100	21,1	25,3	706	35,5	356	2,11	3,56	613	4,71	6,13	2,60
110	22,0	27,1	627	36,1	375	1,76	3,41	657	4,13	5,98	2,37
120	22,7	28,7	566	36,5	391	1,46	3,26	696	3,60	5,80	2,14
130	23,4	30,1	517	36,8	405	1,20	3,11	729	3,12	5,61	1,92
140	23,9	31,4	478	37,1	416	0,99	2,97	759	2,70	5,42	1,71
150	24,4	32,6	446	37,2	425	0,81	2,83	784	2,33	5,22	1,51
160	24,7	33,7	420	37,4	432	0,67	2,70	805	2,00	5,03	1,33
170	25,0	34,6	398	37,5	438	0,55	2,58	824	1,71	4,85	1,17
180	25,3	35,5	379	37,6	443	0,45	2,46	840	1,47	4,66	1,02
190	25,5	36,3	364	37,6	447	0,36	2,35	853	1,25	4,49	0,89
200	25,7	37,0	350	37,6	450	0,30	2,25	865	1,07	4,32	0,77

принципиально различные (и даже взаимоисключающие) требования к пониманию того, что есть «наиболее совершенное» насаждение в лесах различного функционального назначения. Выполнение лесами главнейших экологических и экономических функций в пределах обширных географических районов, как правило, коррелирует с продуктивностью (это не относится к биоразнообразию), однако «идеал», определяемый целевым назначением лесов, будет другим, например, для эксплуатационных лесов и лесопарковых хозяйств зеленой зоны. В принципе, эти соображения никоим образом не влияют на необходимость такого нормирующего показателя, как «полнота 1,0», и его роль в построении национальной системы учета лесов и системы управляющих воздействий на леса трудно переоценить. Поэтому и сам подход, и полнота как таксационный показатель в ее нынешней трактовке, по-видимому, будут существовать неопределенно длительное время. Вместе с тем термин «нормальный» не отражает современного содержания проблемы. Более подходящим представляется определение «полные насаждения» как наиболее продуктивные (по запасу) древостой данного состава в данных условиях произрастания.

Вторая особенность связана с постоянством «нормальности». Существуют несомненные эмпирические доказательства тезиса, что отдельное насаждение может находиться в «нормальном» состоянии только ограниченный период 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 [4]. Отсюда следует, что возрастная динамика сумм площадей сечения и запасов, приведенных в ТХР полных насаждений, отражает верхнюю границу названных показателей для совокупности древостоев, но не возрастную динамику некоторого отдельного древостоя, 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 [7]. Но даже этот труднодостижимый на практике пример относится только к равномерно размещенным по площади лесным культурам, подвергаемым регулярному уходу низкой интенсивности и при отсутствии разрушающих внешних воздействий.

С предыдущей особенностью тесно соседствует проблема выбора «естественного» ряда развития древостоев – важный методический вопрос, влияющий на правомерность последующего применения таблиц. Казалось бы, лесная типология дает ответ на этот вопрос. Однако оказалось, что 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 столь велика, что применение подобных таблиц в целях учета лесов может приводить к грубым ошибкам и иногда противоречить здравому смыслу. Это предопределило преобладающую разработку ТХР по классам бонитета, для которых обычно указывался наиболее распространенный тип леса.

Наконец 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 при лесостроительстве должны использоваться, как правило, региональные ТХР, применение же общих ограничивается прогнозными расчетами для всего ареала древесной породы и различными научными задачами.

К началу третьего тысячелетия российское лесоводство обладает многими сотнями ТХР. Было несколько попыток их анализа и упорядочения, из которых наиболее эффективной оказалась деятельность координационного совета по лесотаксационным нормативам (80–90-е годы) под руководством В. В. Загребеева. Результатом ее стала система региональных лесотаксационных справочников для большей части территории бывш. СССР. Однако задача модификации нормативов не ставилась и в справочники включали практически все существующие ТХР, а для некоторых важных лесных районов (в частности, Сибири) эта работа не была доведена до конца.

Существуют причины, определяющие необходимость упорядочения, приведения в единую систему и сертификации имеющихся ТХР. 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 в целях как взимания обоснованной арендной платы, так и определения ответственности арендатора перед государством. Отсюда следует возрастающее значение надежных нормативов прогноза, в первую очередь ТХР.

Действующие ТХР составлялись в течение многих десятилетий, и значительная часть их не отражает условий быстроменяющегося мира. Например, Россия сегодня живет в ином климате, чем тридцать лет назад. Средняя годовая температура в основных лесных районах выросла более чем на 0,5 °С (в определенной мере срабатывает эффект увеличения концентрации CO₂ в атмосфере), а во многих – существенно влияние азотных осадков. Сложное взаимодействие указанных факторов по-разному воздей-

Таблица 2

Ход роста модальных древостоев лиственницы среднетаежных экорегионов южной Якутии (брусничниковые типы леса)											
Возраст, лет	Ср. высота, м	Ср. диаметр, см	Число деревьев, шт.	Сумма площадей сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Изменение запаса, м ³ /га в год		Общая продуктивность, м ³ /га	Прирост по общей продуктивности, м ³ /га в год		Отпад, м ³ /га в год
						текущее	среднее		текущее	среднее	
IV класс бонитета											
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
170	20,9	28,5	306	19,5	188	-0,11	1,11	304	0,27	1,79	0,38
180	21,2	29,3	283	19,1	187	-0,13	1,04	306	0,21	1,70	0,34
190	21,4	30,1	264	18,8	185	-0,16	0,98	308	0,16	1,62	0,33
200	21,5	30,8	247	18,5	184	-0,20	0,92	310	0,13	1,55	0,33
210	21,7	31,5	233	18,1	181	-0,24	0,86	311	0,10	1,48	0,34
220	21,8	32,1	219	17,7	179	-0,29	0,81	312	0,07	1,42	0,37

Таблица 3

Пример коэффициентов моделей таблиц хода роста									
Показатели	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃
Ход роста полных насаждений сосны (общие таблицы)									
H	42,6799	-3,6729	-0,0851	0,02153	-0,00134	0,00013	1,2440	0,0380	0,0150
D	69,0852	-6,1604	-0,0791	0,01186	-0,00047	0,000065	1,18853	0,01435	0,00482
BA	59,4199	-6,2761	0,2162	0,04027	-0,003526	0,000162	1,13309	-0,0286	0,00199
GS	1019,16	-162,793	6,0478	0,02743	-0,002283	0,000154	2,0258	-0,0623	0,0131
TV	1839,98	-249,891	5,649	0,02067	-0,001531	0,00012	2,0269	-0,1132	0,0239
Ход роста модельных насаждений лиственницы южной Якутии (средняя тайга, брусничниковые типы леса)									
H	15,0000	6,99002	-1,2816	0,15835	-0,06491	0,007421	13,9786	-5,8609	0,6759
D	-2,2956	31,1631	-5,1251	0,05736	-0,03141	0,004726	4,51593	-2,2025	0,3327
BA	39,8387	-6,42005	0,3821	0,26274	-0,03299	-0,000946	24,4583	6,2606	-1,9144
GS	192,7396	55,7024	-13,875	0,11787	-0,03417	0,003262	4,9184	-0,4067	-0,02297
TV	539,4905	-21,7016	-8,6329	-0,0233	0,02276	-0,002600	-8,6101	5,1828	-0,5753

стует на функционирование лесных экосистем различных районов и формаций (в частности, рядом исследователей отмечено заметное увеличение продуктивности лесов во многих районах северного полушария), что должно быть учтено соответствующими нормативами. Вместе с тем невозможно заново составить все ТХР в обозримый срок. Поэтому возникает необходимость внесения модельных поправок, что сложно методически и труднореализуемо, поскольку основная масса ТХР дана в цифровой (табличной) форме. Очевидна потребность представления таблиц в аналитической форме при условии, что это не приведет к потере содержащейся в них информации.

Упорядочение существующих ТХР имеет также познавательный смысл, поскольку они содержат обобщенную информацию о состоянии и росте древостоев к концу «доиндустриальной» эры. Сохранить эту информацию в наиболее полном виде важно с научной точки зрения.

Качество многих таблиц оставляет желать лучшего: далеко не всегда соблюдались разумная строгость в классификационных построениях, системный контроль взаимосвязанных показателей и др., значительное число их неполно (например, практически все ТХР модальных насаждений не содержат данных по общей продуктивности насаждений – важнейшего показателя оценки биосферной роли лесов, в частности углеродного цикла).

Нередки случаи, когда для одного района существует несколько таблиц одного и того же типа. Наконец, относительно небольшая часть ТХР неудовлетворительна по методам составления (например, вместо обоснования хода роста по высоте по экспериментальным данным использовались закономерности, заложенные в общей бонитировочной шкале М. М. Орлова). Этот перечень может быть продолжен.

В течение последнего десятилетия Лесной проект Международного института прикладного системного анализа (Австрия) при участии ряда российских научных учреждений провел анализ ТХР, предназначенных для лесов Северной Евразии, их упорядочение и представление в аналитической форме, а также (до возможной степени) унификацию.

Назначение и классификация. Назначение разработанной системы таблиц хода роста – учет леса и лесоустроительное проектирование. Поэтому в нее входят основные 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 некое обобщение базовых единиц лесорастительного, лесохозяйственного и лесотаксационного районирования [6]. Экорегионы объединялись территориальные общности в зависимости от величины ареала данной породы, экосистемного разнообразия лесов и наличия таблиц. Например, ареал сосны обыкновенной был разделен на 12 частей (в европейской и азиатской частях России – по шесть), ареал лиственницы – на 18 (соответственно 2 и 16).

В качестве главного классификационного признака использовался бонитет древостоев. Таблицы, составленные на иной классификационной основе (например, по типам леса), имеют полное право на существование и могут применяться для конкретных целей. Однако для учета лесов нужна однозначная численная (вообще говоря, искусственная) классификационная основа, и бонитет, пожалуй, – единственный приемлемый показатель такого рода.

Унификация ТХР произведена по форме и уровням продуктивности. Последнее понимается только в том смысле, что в некоторых, так называемых базовых, возрастах для идентификации одних и тех же классов бонитетов всех пород использованы одни и те же значения высот (по двум группам – одна для хвойных и семенных насаждений, вторая – для порослевых). В качестве базовых выбирались возрасты, при которых стабилизируется рост дерева в высоту: для быстрорастущих пород – 50 лет, для кедра – 160, для остальных пород, взятых из выравненной общепониманной шкалы М. М. Орлова, – 100 лет [9]. От существенного изменения отечественных классификационных принципов (обозначения классов бонитета и т. д.) решили отказаться, чтобы обеспечить максимум преемственности лесотаксационной нормативной базы, главным образом в целях сопоставимости данных учета лесов разных лет на всех уровнях.

Использование бонитета как основного классификационного признака не означает, что типологический базис не учитывался. Например, в пределах одного и того же района и класса бонитета закономерности роста заболоченных и суходольных лесов одной и той же породы существенно различны. В этом случае таблицы разделялись на типологические группы типов леса, например на автоморфные и гидроморфные, но в их рамках классифицировались по бонитетам. Таблицы, составленные по типам леса, моделировались по бонитетам, если содержащиеся в них закономерности роста древостоев позволяли такое преобразование.

Модельный подход. Первичными показателями моделирования ТХР служили средняя высота (H), средний диаметр (D), сумма площадей сечений (G), запас (M) (в некоторых случаях выравнивали закономерности зависимости видового числа от таксационных показателей древостоев и вычисляли запас с последующим выравниванием) и общая продуктивность (TP). Если данные по общей

продуктивности в исходных таблицах не приводились, последняя вычислялась, как правило, через редуцированные числа среднего дерева отпада, заимствованные из опубликованных и иных источников. В исключительных случаях, когда для конкретной таблицы показатели измерений оказывались недоступными, использовались зависимости из наиболее близкой ТХР данной породы.

Ход роста указанных выше показателей (X_i) выравнивался с использованием функции роста Бергаланфи, известной в таксационной литературе как функция Дракина-Вуевского или Ричарда-Чэпмена [10], дифференциальное (1) и интегральное (2) уравнения которой имеют вид

$$\frac{dX_i}{dt} = c_3 c_2 c_1^{1/\epsilon_3} - c_3 c_2 X_i \tag{1}$$

$$X_i = c_1 [1 - \exp(-c_2 A)]^{\epsilon_3} \tag{2}$$

Уравнения (1) и (2) описывают прирост и накопленное значение таксационного показателя как функцию возраста в пределах класса бонитета. Коэффициенты модели имеют содержательную биологическую трактовку: c₁ представляет собой максимально возможное значение ростовой функции (асимптоту), т. е. отражает величину использованного потенциала условий произрастания; c₂ масштабирует временную ось и характеризует скорость роста древостоев, будучи пропорциональным возрасту кульминации прироста. Величина c-(c₂(1-1/c₃)exp(c₃-1)) дает максимальное значение текущего прироста; [ln(c₃/c₂)] – точка перегиба ростовой функции. Моделирование многочисленных ТХР, проводившееся в рамках рассматриваемой работы, показало, что набор коэффициентов c₁, c₂, c₃ хорошо описывает особенности роста различных пород для различных условий произрастания и режимов хозяйства.

Вычисленные на базе исходных (одной или нескольких) таблиц по отдельным классам бонитета коэффициенты модели для породы в целом аппроксимировались посредством полиномов в виде квадратичной формы

$$\begin{aligned} c_1 &= c_{13}N^2 + c_{12}N + c_{11}; \\ c_2 &= c_{23}N^2 + c_{22}N + c_{21}; \\ c_3 &= c_{33}N^2 + c_{32}N + c_{31}; \end{aligned} \tag{3}$$

где N – код класса бонитета.

Уравнения (1) и (2) описывают динамику древостоев только на стадии роста. Однако обширные территории естественных лесов Северной Евразии представлены стадиями перестойных разных типов разновозрастности древостоев, находящихся на стадии разрушения, когда сумма площадей сечений и запас с возрастом уменьшаются. Для описания динамики на этой фазе уравнение (1) было модифицировано с введением зависимости коэффициента c₂ от возраста

$$c_2 = c_2 = \text{const при } A < Ad,$$

$$c_2 = c_2 [-c_4 \exp(A-Ad)] \text{ при } A > Ad,$$

где Aс – возраст начала фазы разрушения. Особенности подхода, верификация модели и некоторые эмпирические связи между коэффициентами рассматриваются в работах [1, 11].

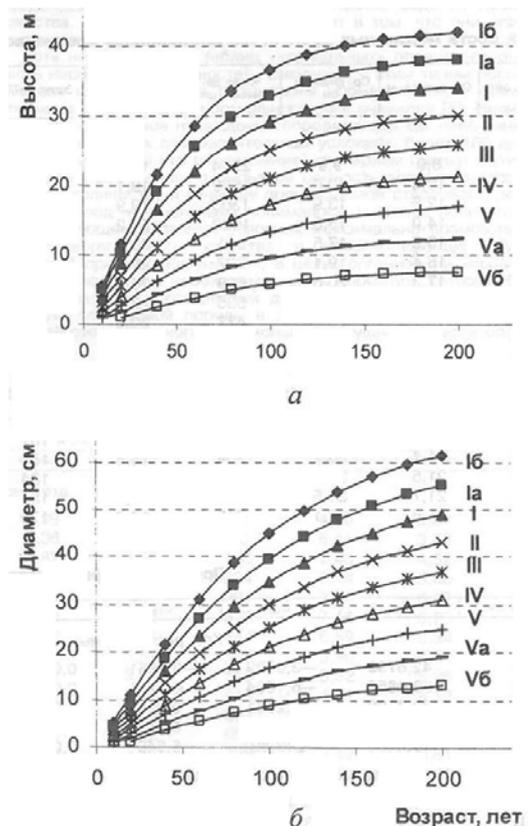


Рис. 1. Ход роста: а – по высоте; б – по диаметру

Полные насаждения подавляющего большинства типов возрастной структуры с определенного возраста вступают в стадию разрушения, однако среди множества ТХР «нормальных» насаждений это явление отражается в исключительных случаях. Например, из всех общих таблиц, помещенных в Общесоюзные нормативы для таксации лесов, уменьшение сумм площадей сечений и запаса указывается только для двух-трех высших классов 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 древостой Европейского Севера, Сибири и Дальнего Востока) возрастной диапазон ограничен и не включает период после возраста естественной спелости. В исследуемом подходе к моделированию допускалось, что в течение 11–111 классов возраста после наступления возраста спелости полные древостой находятся в стадии стабилизации запаса.

«Производные» показатели таблиц (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 таблицы данного типа и для данного объединения экорегионов подвергались графическому и формальному аналитическому анализу с тем, чтобы исключить очевидные погрешности и опечатки (их 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 в том случае, если средняя квадратическая разница модельных и исходных значений для сопоставимых показателей не превышала ±3 % и расхождение в любой отдельно взятой точке ±6 %. Адекватность выравнивания проверялась по анализу остатков. После этого модель приводилась к окончательному виду посредством формулы (3) путем вычисления коэффициентов (обобщенной) модели для породы (данной ТХР) по классам бонитета.

Указанный подход позволяет формальное расширение таблиц. Например, расширение возрастного диапазона, добавление одного-двух соседних классов бонитета (хотя, разумеется, пользоваться

подобной экстраполяцией надо крайне осторожно) с последующим анализом существа табулируемых закономерностей. Некоторые детали моделирования, направленные на усовершенствование формальной структуры результатов (предварительное выравнивание некоторых показателей, привязка высот в базовых возрастах к общесоюзной шкале и др.) в статье опущены.

Подавляющее большинство ТХР в России составлено для чистых одновозрастных насаждений, а для смешанных, разновозрастных, сложных по форме насаждений они весьма ограничены. Используемая методика дала хорошие результаты для одновозрастных и условно разновозрастных древостоев. Более сложный вопрос с моделированием ТХР смешанных и разновозрастных (составленных, как правило, по поколениям) насаждений. В моделях смешанных насаждений мы приводим динамику состава, ход роста по высоте и диаметру преобладающей породы. Динамика сумм площадей сечений, запаса и общей продуктивности дана в целом для всех пород. Такое решение обусловлено не только и не столько громоздкостью таблиц, содержащих ход роста по составляющим элементам леса, а неудобствами их практического применения. С одной стороны, подтверждено наличие устойчивых закономерностей динамики запаса и общей продуктивности для смешанных древостоев в целом, с другой – высокая вариабельность состава смешанных насаждений и таксационных признаков незначительно представленных элементов леса обуславливает очень низкую точность табулируемых показателей, что делает значимость таких ТХР и возможность их практического применения весьма условными. По этой же причине мы отказались от моделирования существующих таблиц абсолютно разновозрастных насаждений (это относится к немногочисленным таблицам для древостоев кедров сибирского и корейского, бука на Северном Кавказе), составленных по поколениям и (или) ярусам.

В настоящее время работа по созданию унифицированной системы моделей ТХР закончена. Ее результаты находятся в стадии проверки и окончательного редактирования перед передачей их на рассмотрение в соответствующие органы лесного хозяйства. Всего в систему включено около 110 ТХР (в последней сводке опубликованных таблиц [3] для территории России приведено 80). В табл. 1 и 2 даны примеры ТХР для полных сосновых насаждений Северной Евразии III класса бонитета (на основе ТХР, составленных В. В. Загребным [2]) и модальных лиственничников IV класса бонитета южной Якутии (брусничниковые типы леса, экорегионы средней тайги). Модели последних построены как объединение закономерностей модальных лиственничных древостоев, содержащихся в

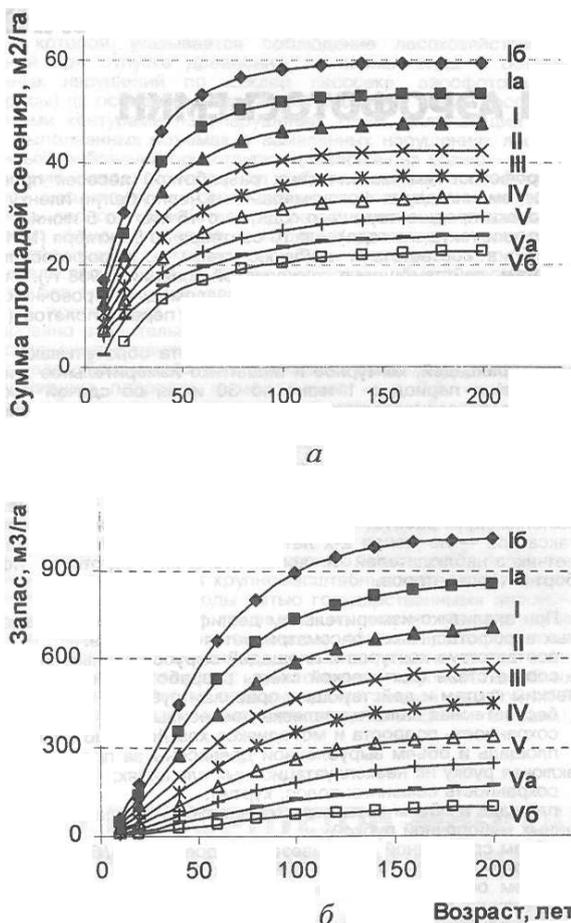


Рис. 2. Ход роста: а – по сумме площадей сечения; б – по запасу

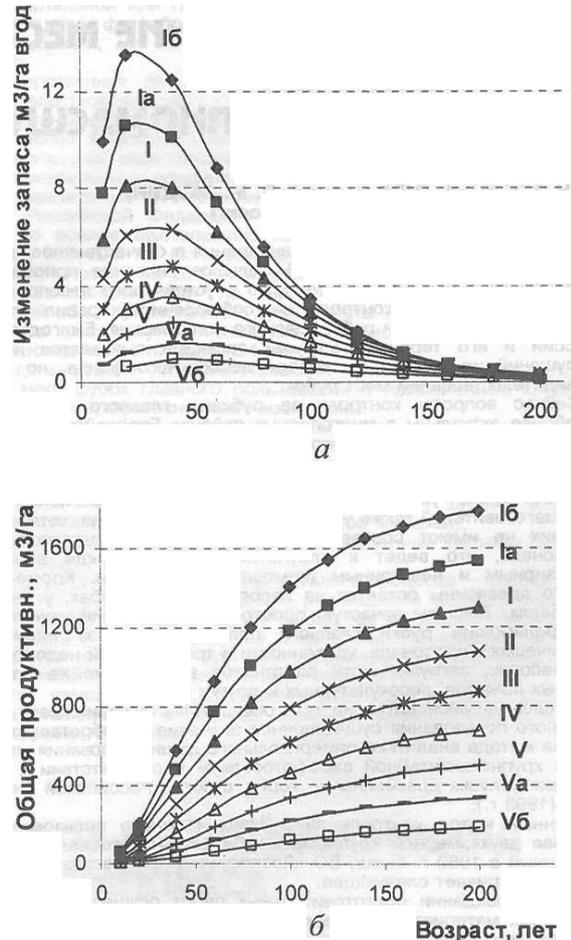


Рис. 3. Текущее изменение запаса (а) и ход роста по общей продуктивности (б)

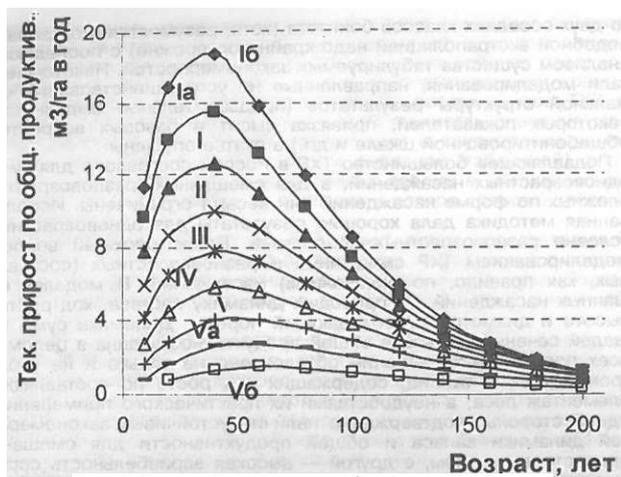


Рис. 4. Текущий прирост по общей продуктивности

ТХР: для типа леса – лиственничник брусничниковый (разработчик – И. Шурдук, для III–V классов бонитета, Ленско-Виллойский плоскогорный среднетаежный ЛХР) [8, стр. 51–52, табл. 45–47] и двух типов леса – лиственничник брусничниковый и рододендроновый (разработана – Э. Фалалеевым и Б. Шайдоровым для южной части Витимского плоскогорья, класс бонитета – V, Северо-Байкальский горнотаежный ЛХР) [8, стр. 54, табл. 50]. Табл. 3 содержит коэффициенты моделей для табл. 1 и 2. На рис. 1–4 дана графическая модель общих ТХР полных сосновых насаждений.

Выполненная работа продемонстрировала возможность адекватного представления практически всех существующих в стране ТХР в унифицированной аналитической форме, что свидетельствует о наличии сходных внутренних закономерностей роста древостоев различных пород, структуры, происхождения, уровней производительности и т. д. на обширных просторах Северной Евразии. В этом отношении анализ множества коэффициентов ростовых функций может представить ценную информацию.

Созданная система ТХР представляет собой обучающуюся систему, допускающую любые расширения, изменения и уточнения программными средствами. Используемые методические подходы могут быть легко трансформированы в последовательную методику разработки ТХР «традиционного» типа – потребность в таковых по-прежнему велика и будет возрастать. Наконец, модели ТХР являются незаменимым источником для разработки новых типов важных лесотаксационных нормативов. Одно из таких перспективных приложений – разработка моделей и таблиц биологической продуктивности лесных экосистем – будет представлена в следующей статье.

Список литературы

1. **Веневский С. В., Швиденко А. З.** Моделирование динамики древостоев на фазе разрушения / Устойчивое развитие бореальных лесов (материалы VII конференции Международной ассоциации исследователей бореальных лесов). М., 1997. С. 30–33.
2. **Загребев В. В., Сухих В. И., Швиденко А. З. и др.** Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М., 496 с.
3. **Козловский Б. В., Павлов В. М.** Ход роста основных лесобразующих пород СССР. М., 1967, 329 с.
4. **Кузьмичев В. В.** Закономерности роста древостоев. Новосибирск, 1977. 160 с.
5. **Орлов М. М.** Лесоустройство. Т. 1. Л., 1927. 428 с.
6. **Швиденко А. З., Страхов В. В., Нильссон С. и др.** Продуктивность лесов России // Лесохозяйственная информация. Вып. 1–2. 2000. С. 7–23.
7. **Строчицкий А. А., Швиденко А. З., Лакида П. И.** Модели роста и продуктивность оптимальных древостоев. Киев, 1992. 144 с.
8. **Фалалеев Э. Н.** Ход роста основных лесобразующих лесов Сибири. Ч. II. Красноярск, 1996 с.
9. **Швиденко А. З., Строчицкий А. А., Савич Ю. Н., Кашпор С. Н.** Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии. Киев, 1987. 560 с.
10. **Richards F. J. A.** Flexible Growth Function for Empirical Use // Journal of Experimental Botany. 1959. P. 290–300.
11. **Shvidenko A., Venevsky S., Raie G., Nilsson S. A.** System for Evaluation of Growth and Mortality in Russian Forests // Water, Soil and Air Pollution. Vol. 82. 1995. P. 333–348.