

УДК 630*5

МОДЕЛИ ДИНАМИКИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ДРЕВОСТОЕВ

© 2015 г. М. В. Рогозин, Г. С. Разин

Естественнонаучный институт

Пермского государственного национального исследовательского университета

614990, Пермь, ул. Генкеля, 4

E-mail: rog-mikhail@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.12.2014 г.

Обсуждаются концепции моделей хода роста древостоев и процедура моделирования их развития. Модели состояний в статике (таблицы хода роста) сыграли выдающуюся роль в выяснении характеристик максимально продуктивных древостоев в разных регионах страны, однако они не дают ответа на вопрос, из каких начальных состояний формируются древостои. Доминируют работы, изучающие статичные состояния, выхваченные из биологического времени, вследствие чего драма реального роста древостоев осталась неизученной. Поэтому не случайно появились «хроно-», «плантационное» и даже «нетрадиционное» лесоводства, подводящие базу под новые концепции развития древостоев, т. е. в лесоводстве начался кризис – появились альтернативные теории и противоборствующие научные школы. Для разработки моделей развития древостоев предложено использовать метод повторных наблюдений в сочетании с выяснением истории начальной густоты по индикаторам: сбегу ствола, коэффициенту перекрытия крон, их суммарному объему и относительной длине кроны. В качестве теоретической основы моделей развития можно постулировать общие свойства древостоя, например константы для массы хвои и объемов крон, имеющие ясный биологический смысл в виде пределов этих показателей в процессе заполнения полога древостоя биомассой.

Ключевые слова: *древостой, типы роста, состояния в статике, ход роста, константы массы хвои и кроны, модели развития, географические культуры.*

DOI: 10.15372/SJFS20150205

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование служит целям управления лесными экосистемами и всегда начинается на уровне выделов (древостоев), которые далее объединяют во все более крупные агрегации (Комаров, Шанин, 2014). Модель всегда проще реального объекта и отражает не все его свойства, а только те, которые *интересны* в данном исследовании (Батороев, 1981). Поэтому модели роста, динамики и развития древостоев отражают только те свойства, которые определены их разработчиками как главные. В данной работе рассмотрены наиболее простые модельные объекты – одноярусные и одновозрастные древостои. Модели рассмотрены концептуально и без технических подробностей, с анализом

основных идей и со ссылками на крупные работы, где они обсуждались и применялись. Проанализированы только отечественные работы, внутри которых обсуждались и работы иностранных авторов. Такой анализ, на наш взгляд, достаточен для понимания того, в каком направлении идти дальше, извлекая уроки из отечественной истории данного вопроса.

РАЗВИТИЕ ДРЕВОСТОЕВ И ТИПЫ ИХ РОСТА

С первого года возникновения древостоя в нем происходит дифференциация деревьев по размерам – формируется их разнообразие по жизненному потенциалу. Причины этого процесса могут быть самые разные: сроки появления всходов, различия в возрасте, не-

равномерное расположение, микроусловия и др. Отстающие деревья постепенно отмирают – происходит самоизреживание древостоев. Каждое дерево появляется на свет с природной способностью расти и развиваться с максимальным использованием доставшихся ему индивидуальных особенностей и условий жизни в ценнозе, развивая в первую очередь корневую систему и крону. Древостой, состоящий из множества разнообразных по жизненному потенциалу особей, приобретает интегральное свойство развиваться с полным использованием условий и стремится ускоренно осваивать доставшееся жизненное пространство. В этом проявляется стремление древостоя быстрее достичь индивидуальных пределов по всем таксационным показателям – линейным, площадным и объемным (Разин, Рогозин, 2012). Казалось бы, логика этих простых умозаключений вполне согласуется с идеями и законами экологии (Одум, 1986), однако ее законы не используются в полной мере в моделировании развития древостоев.

Рост древостоев весьма разнообразен, и впервые об изменении их роста сообщалось еще в начале XX в. Флюри и Гуттенбергом, ссылаясь на которых Н. В. Третьяков (1937) приводит пример, когда ель в 50 лет на трех участках имела высоту 13.5, 16.5 и 19.5 м, а в возрасте спелости таксировалась одним классом бонитета. Однако этот факт, а также другие свидетельства изменений классов бонитета (Третьяков, 1927; Лебков, 1965; Разин, 1965; Давидов, 1977; Кузьмичев, 1977) были подвергнуты сомнениям (но не проверялись при этом) сторонниками их устойчивости. Так, в обзоре Н. Н. Свалова (1978), посвященном прогнозу роста древостоев, о причинах их изменений упомянуто лишь вскользь. По-видимому, причиной такого ухода от ана-

лиза неудобных фактов было стремление использовать классы бонитета для составления в СССР огромного количества таблиц хода роста (ТХР). И все-таки Н. Н. Свалов делает замечание, что изменения классов бонитета с возрастом показали несовершенство шкалы М. М. Орлова и что она пригодна для таксации древостоев только в статике.

Этот вывод – ключевой в прогнозировании роста древостоев. Шкала бонитетов пригодна для таксации только в статике, т. е. «здесь и сейчас», из чего логически вытекает вывод о ее непригодности для прогноза (реконструкции) роста древостоев.

Рост фитоценозов наиболее точно изучается по данным длительных повторных наблюдений. Таких наблюдений немного, и сразу после публикации таких данных (Итоги..., 1964) мы определили у древостоев классы бонитета до десятых долей и построили по ним линии роста. Оказалось, что в течение 60 лет бонитет был стабилен (находился в пределах ± 1.0 класса) лишь у 10 % древостоев. В молодости его меняли 84 %, а ближе к спелому возрасту – до 97 % древостоев (табл. 1). У других пород изменения также были значительные, и в наших первых работах (Разин, 1965, 1967) сделан вывод: реальные древостои не растут по шкале бонитетов М. М. Орлова и составлять на ее основе ТХР нельзя, так как они будут непригодны для прогноза роста. Позже к подобным выводам пришли и другие авторы (Давидов, 1977; Кузьмичев, 1977; Сеннов, 1999).

Изучением роста древостоев традиционно занимались таксаторы. Они первыми обнаружили типы роста (Третьяков, 1927, 1937), изучили их разнообразие (Лебков, 1965; Давидов, 1977; Закономерности..., 1976): «Тип роста древостоев – числовой показатель, характеризующий скорость и траекторию из-

Таблица 1. Изменения классов бонитета в 119 сосновых древостоях в различных возрастных периодах, % от числа древостоев

Поведение классов бонитета	Возрастной период, лет						В среднем
	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	
Стабильное	16	16	7	10	5	3	10
Нестабильное	84	84	93	90	95	97	90
В том числе повышение / понижение	32 / 52	68 / 16	54 / 39	25 / 68	9 / 86	7 / 90	32 / 58

менения таксационных показателей. Система типов роста ... моделирует все естественное разнообразие линий роста древостоев» (Лесная энциклопедия, 1986, с. 452). В энциклопедии приведены 16 типовых рядов роста, разработанных В. В. Загреевым. Они имеют разную крутизну подъема и пересечение всех линий в 100 лет. Их можно разделить на три части: первая часть линий быстро растет до 100 лет, далее до 160 лет рост замедляется, высота увеличивается всего на 1–7 %; вторая занимает среднее положение, а третья часть линий растет медленно, но увеличивает высоту после 100 лет еще на 23–30 % (Закономерности..., 1976, с. 101).

Смысл этих линий роста в высоту оказался иным, чем полагали селекционеры, понимая под ними изменения роста по отношению к среднему значению, например: медленный в раннем возрасте, затем усиленный и вновь медленный; средний, затем усиленный и далее слабый и т. д. (Котов и др., 1977; Рогозин и др., 1986). Очевидно, что «типы роста» у селекционеров и «типы хода роста» у таксаторов не совпадают. Поэтому под типом роста древостоя мы будем понимать то, что вкладывают в него селекционеры, а именно: изменения роста по отношению к средним показателям у некоторого множества древостоев, растущих в одинаковых условиях.

Причины таких *типов роста* (в понимании селекционеров) были неясны, в то время как *типы хода роста*, представленные таксаторами в виде системы линий роста, по видимому, отражали влияние общих географических и эдафических факторов (Загреев, 1978). На наш взгляд, именно поэтому и в связи с необходимостью изучить леса во всех регионах СССР в 1970-е гг. было решено разработку ТХР унифицировать и составлять местные таблицы с подбором возрастного ряда по классам бонитета, которые бы отражали конкретные особенности развития насаждений. При этом *типы роста* от селекционеров можно было считать уже «случайными» отклонениями от неких средних линий развития, характерных для региона.

МОДЕЛИ ДИНАМИКИ СТАТИЧНЫХ СОСТОЯНИЙ

Такие таблицы составляли многие выдающиеся таксаторы. Проблемы и неадекватность прогноза роста по ним мы уже освещали (Разин, Рогозин, 2010а, б, 2012). Кратко опишем историю их разработки.

Первые русские «Опытные таблицы запаса и прироста нормальных насаждений» опубликовал в 1846 г. Варгас де Бедемар. Подобные таблицы разработал и М. М. Орлов (1897), однако назвал их «Таблицы хода роста нормальных насаждений». В новом названии слова «ход роста» образовали новое понятие, подразумевающее «движение» роста, т. е. его динамику во времени. Отметим, что в таблицах Варгаса де Бедемара такого смысла не содержалось. Новое название сразу прижилось из-за краткости и широкой смысловой нагрузки, а также удобной аббревиатуры.

А. В. Тюрин вместо прежнего термина «нормальные» использовал термин «сомкнутые»; ТХР у него включала 28 единиц (Тюрин и др., 1944). В справочнике В. Б. Козловского и В. М. Павлова (1967) приведены уже 113 ТХР. Здесь они названы весьма разнообразно: большинство – сомкнутыми, множество – без наименований, некоторые – нормальными, нормально сомкнутыми, высокополнотными, модалными. В. В. Загреев (1978) указал, что им собрано очень большое число ТХР: нормальных – 370 единиц, модалных – 104. В современном справочнике (Швиденко и др., 2008) приведено свыше 120 таблиц, имеющих наименование «Ход роста полных (нормальных) древостоев».

В 1970-е гг. решалась задача составления ТХР для всех регионов страны и создания единой системы лесотаксационных нормативов (Свалов, 1979). Для этого было разработано множество стандартных статистических процедур (Закономерности..., 1976), и методы составления ТХР приобрели некоторые общие черты. Наибольшее распространение получил метод ВНИИЛМ (Загреев, 1978). Метод Н. Н. Свалова (1979) был близок к нему, хотя сам автор считал его направленным на разработку «...общих таблиц, единых

для всех стадий лесочетных и лесопроектных работ», полагая, что «...теория региональных таблиц не может служить основой к решению проблемы моделирования динамики древостоев». По материалам 1740 пробных площадей Н. Н. Свалов составил «Таблицы производительности сосновых древостоев максимальной полноты», классифицированные по высоте в 100 лет на 11 классов. Считаясь ведущим таксатором, Н. Н. Свалов при обосновании главного направления моделирования производительности древостоев сделал категоричный вывод о том, что классификационной основой их может быть только бонитет (Свалов, 1979). Это позволило успешно решить множество задач. Были определены методика и традиции исследований, которые давали некую общую модель постановки проблем и их решений, т. е. вполне в духе Т. Куна (2009) сформировалась *научная парадигма*, предписывающая исследователям работать по определенным правилам, соблюдая традиции, и заканчивать работы по изучению динамики продуктивности древостоев составлением таблиц «хода роста».

С тех пор многие исследователи начали применять преимущественно метод ВНИИЛМ. Его суть при составлении ТХР для одного типа леса (бонитета) следующая: нахождение полных древостоев в трех опорных возрастах (хвойные – 50, 100, 150 лет; мягколиственные – 20, 50 и 80 лет); определение «верхней» высоты древостоя по крупным деревьям, их рубка и анализ хода роста моделей из старших по возрасту древостоев, аналитическое выравнивание линий роста крупных моделей по высоте (выравненная линия «укажет» линию изменения высоты в младших возрастах). В соответствии с «указаниями» этой линии находят полные древостои в младших возрастах с соответствующей верхней высотой (Свалов, 1979; Верховов, Черных, 2007).

Моделирование по данному методу заключается в выяснении параметров асимметрии рядов, формул связи показателей с возрастом и т. д. В последние годы ТХР полных древостоев пытаются улучшить (Мионов, 2013), анализировать с целью нахождения густоты, приводящей к максимальной

производительности (Стяжкин, 2005), а также включить их в единую согласованную систему лесотаксационных нормативов для Северной Евразии (Швиденко и др., 2003, 2008). По этому поводу есть мнение (Семечкин, Зиганшин, 2008), что некоторые авторы искренне уверены в том, что в них действительно показан «истинный» ход роста насаждений, и подвергают их углубленному исследованию.

Наиболее сложные модели, основанные на выяснении статичных состояний древостоев, разработаны З. Я. Нагимовым (2000). Они созданы с целью нахождения оптимальной густоты, а также фитомассы сосняков в условиях южной и средней тайги на Урале. Были изучены площади питания, размеры деревьев, масса хвои и кроны 1 тыс. модельных деревьев на 108 пробных площадях в возрасте от 16 до 120 лет. Поиск оптимальной густоты был основан на поиске такой площади питания деревьев, которая обеспечивает их наибольший прирост.

Подходы З. Я. Нагимова получили развитие у А. А. Вайса (2014) для оценки, моделирования и оптимизации горизонтальной структуры древостоев на основе изучения «социальных» групп – искусственных образований с любым случайно выбранным деревом, помещаемым в центр многоугольной выборки, для которого рассчитывали два показателя: среднее расстояние до соседей и отношение суммы диаметров крон 1–16 соседей к диаметру кроны дерева, выбранного центральным. Этот второй показатель назван «напряженность конкуренции».

В методе ВНИИЛМ и его последних модификациях, включая подходы на основе выяснения оптимальной площади питания и оптимальной конкуренции на основе разделения древостоя на «социальные группы», по существу, моделировали историю развития отдельных деревьев и переносили ее на ход роста древостоя, а далее и на совокупность из древостоев разного возраста. Исследователи вполне полагались на то, что модельные деревья 85-го ранга и выше отражают не только историю развития высоты *своего* древостоя, но указывают ее и для других, более молодых древостоев. По средней линии рос-

та таких моделей находили координаты высот и возраста для поиска молодых древостоев и составляли «естественный ряд развития древостоев» по бонитетам и типам леса.

Концепцию таких ТХР можно представить как поиск статичных состояний, которые сочетают в себе оптимальным образом два состояния древостоя: высокую продуктивность (полноту) и наилучшие таксационные показатели, выражающиеся в приближении рядов их распределения к нормальному закону. Эти состояния находили, закладывая некоторое множество пробных площадей одновременно, стараясь равномерно представить их по классам возраста, затем аппроксимировали линии тренда и снимали с них данные для 10, 20, 30 лет и далее. В таблице отражали динамику этих статичных состояний по классам возраста.

Но эта динамика – не развитие, а лишь *фиксация состояний* – предельных для «нормальных» и неких средних – для «модальных» ТХР. Выяснить, какими эти состояния будут через 10 лет или из каких прежних состояний они появились, составители таблиц не пытались, да и задачи такой не ставили. В итоге сам процесс развития древостоев оказывался неизученным. Поэтому неслучайно появились «хронолесоводство» (Битков, 2009), «плантационное лесоводство» (Плантационное лесоводство, 2007) и даже «нетрадиционное лесоводство» (Марченко И. С., Марченко С. И., 1998), где есть весомые аргументы в обоснование ряда новых концепций развития древостоев. Эти «частные» лесоводства подтверждают общий характер развития наук вообще и то, что в лесных науках начался кризис – появились альтернативные теории и сосуществуют противоборствующие научные школы. Далее происходит научная революция, старая парадигма исчезает и формируется новая (Кун, 2009).

МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ

Неадекватность таблиц хода роста реальной динамике роста древостоев отмечалась давно (Разин, 1967, 1979; Давидов, 1977; Кузьмичев, 1977, 1980; Кофман, 1986; Нагимов, 2000; Семечкин, Зиганшин, 2008; Рого-

зин, Разин, 2012) и уже упоминается в учебниках (Сеннов, 2005; Верхунов, Черных, 2007). Почему же они не являются моделями развития?

Во-первых, «ход роста» по ним никогда не проверялся на реальных древостоях повторными наблюдениями. Во-вторых, термин «ход роста», справедливый для дерева, был присвоен таблицам продуктивности древостоев в статике и весь XX в. вводил в заблуждение их разработчиков. В-третьих, давление авторитетов В. В. Загреева и Н. Н. Свалова было настолько мощным, что иные варианты моделирования не приветствовались или замалчивались. Наконец, и сами интересы лесоустройства были простыми – оценить состояние лесов «здесь и сейчас», для чего модели развития не требовались.

Например, Н. Н. Свалов (1979) описал 13 способов моделирования хода роста древостоев и 4 их комбинации. Однако наиболее точный способ, основанный на повторных наблюдениях, называемый историческим, а также его сокращенный вариант (метод Гейера), где развитие древостоев отслеживалось в течение 10–20 лет с таксацией через 5 лет (Свалов, 1979), который мог бы проверить «ход роста» ТХР и саму методику моделирования, не применялись ни разу.

Однако известна работа (Кузьмичев, 1977), где у полных древостоев теоретические линии динамики сумм площадей их сечений для I и IV классов бонитета сопоставлялись с данными 4–5 обмеров в течение 20 лет на 16 пробных площадях. Это были данные 70-летней давности немецкого лесовода А. Шваппаха. Результаты были поразительны – древостои сохраняли полноту 1.0 в течение 5–10 лет, а далее резко ее теряли. На графике были хорошо видны отрезки линий развития полноты, по трендам близкие к элементам системы наших колоколообразных кривых с точкой перегиба, которая наступает тем раньше, чем больше была начальная густота (Разин, 1979; Рогозин, Разин, 2012). Подобную систему моделей приводит В. В. Кузьмичев и в своей диссертации (1980), где сделан категоричный вывод о том, что необходимо изменить принципы составления ТХР.

Позднее Г. Б. Кофман (1986, с. 4) также отметил, что «...на начальном этапе большой популярностью пользовалась систематизация получаемого материала в таблицы хода роста, с известной долей иронии и не без основания названных В. Пешелем (Reschel, 1938) кладбищами цифр, отражающими способ их создания. Громадный материал, накопленный усилиями многих исследователей, позволил сформулировать ряд обобщающих принципов, ... но на этом фундаменте начало строиться, в общем-то, несколько иное здание. Последующее применение математических, а скорее, просто более изощренных статистических методов, описанных применительно к обработке лесоводственной информации К. Е. Никитиным и А. З. Швиденко (1978), привело к утрате общности и целостности восприятия, к его дроблению на множество моделей, зачастую являющихся "вещью в себе"».

Казалось бы, выводы столь авторитетных ученых должны были указать новое направление моделирования. Однако они прямо противоречили парадигме ТХР и лишь вежливо упоминались, так как генеральная линия их моделирования уже была определена. Далее в России начались социальные потрясения и стало не до моделей.

Сейчас наступил ренессанс и рассматриваются общие, конкурентные, энергетические модели развития лесных экосистем (Моделирование..., 2007; Алексеев, 2014; Грабарник и др., 2014). Важно не повторять прежних ошибок, поэтому вспомним первую из них. Еще в начале XX в., когда начали использовать деревья-модели, смысл операций с ними (изучение хода роста) был перенесен на выстраиваемую из полных древостоев статичную конструкцию – таблицу показателей, снятых с линий трендов. Таблицу стали называть аналогично – «ход роста древостоев». Именно здесь и произошла подмена понятий: свойства древостоев как единиц наблюдений в статике перенесли на свойства всего явления – *процесс развития* древостоев. Семантика названий «таблицы производительности» и «таблицы хода роста» разная. Их будут пытаться использовать для разных целей, хотя по содержанию они

идентичны. Следует устранить семантические нестыковки и использовать то название, которое они имели с самого начала (Варгас, 1846) и которое применил для своих таблиц Н. Н. Свалов (1979).

Успешное развитие древостоя определяет его прирост, который зависит от мощности фотосинтезирующего аппарата. Однако этот аппарат, а также объемы крон и масса хвои прежде мало интересовали лесоводов. Более того, при изучении прироста леса так вопрос и не ставился, причем прирост не увязывали и с ходом роста древостоев (Антанайтис, Загреев, 1981). Разработанные тогда модели имели лаг прогноза 5 лет при точности $\pm 5-8\%$ и вероятности 68% (при вероятности 95% ошибки будут $\pm 10-16\%$), и используются они до сих пор (Багинский, 2011). Но если для актуализации данных таксации этого достаточно, то для выращивания леса нужен прогноз на 30–50 лет. При этом ошибки возрастут до 50%, т. е. прогнозы по таким моделям теряют смысл.

В развитии как процессе выделяют восходящую линию (прогресс) и нисходящую (регресс). В лесоводстве прогресс связывают с увеличением прироста древесины, а регресс – с понижением. Что же их детерминирует? Очевидно, что причины лежат в объемах фотосинтезирующего аппарата и массе листвы в пологе древостоя, а также в суммарном объеме крон. Расчеты по ним сложные, но результаты получаются интересные. Так, масса хвои в полных сосняках III класса бонитета от 40 до 120 лет оказалась практически постоянной – в пределах 12.8–13.3 т/га (Нагимов, 2000). В древостоях ели одного естественного ряда развития с малой начальной густотой также обнаружены константы по суммарным объемам крон в возрасте после 40 лет (Рогозин, Разин, 2012, 2013). Константы имеют ясный биологический смысл: это предел, выше которого полог древостоя уже не может заполняться биомассой, и их наличие подтверждается известными в экологии законами (Одум, 1986; Реймерс, 1994).

Этот момент меняет наше представление о главных признаках в моделировании. Если обнаружена константа (суммарный объем крон, масса хвои), то моделирование находит

свою точку отсчета, свой «опорный экспериментальный факт» (Кофман, 1986, с. 4). Г. Б. Кофман (1986, с. 184) высказывал также идею о том, что «...на основании эмпирических обобщений изначально постулируется какое-нибудь интегральное свойство, анализ которого приводит к зависимостям размер-густота. Примером таких постулатов может служить постоянство сомкнутости полога либо камбиальной поверхности на единице площади. Быть может, целесообразно также рассмотреть варианты с постоянством массы хвои и физиологически активной биомассы».

Данные постулаты имеют множество аналогов в экологии популяций, имеющих ранг законов. Экологами сформулировано уже более 20 общих популяционных закономерностей, и многие из них дополняют друг друга. Так, «закон популяционного максимума Ю. Одума» конкретизируют «теория лимитов популяционной численности Х. Андресварты–Л. Бирча» и «теория биоценотической регуляции численности популяции К. Фридрихса» (по: Реймерс, 1994, с. 79). Влияние численности популяции на ее продуктивность сформулировал и российский ученый А. А. Уранов (1965, с. 254): «...Количественное выражение жизненности популяции состоит в определении массы органического вещества, производимого на единице территории. Она зависит от количества особей и возрастает при увеличении численности до некоторого предела (оптимальной численности) и уменьшается при ее увеличении».

Однако в лесоведении признанных (цитируемых) законов пока нет. Во всяком случае, ни в одном из современных учебников по лесоводству, лесной таксации и лесным культурам о них нет упоминания. Почему-то наши исследователи-лесоводы стесняются называть открытые важные закономерности законами в отличие от зарубежных исследователей, оперирующих десятками частных законов в экологии и давно ссылающихся на них по именам авторов. У нас же можно отметить только очень редко упоминаемые «ранговый закон роста деревьев в молодняках Е. Л. Маслакова» (1981) и, по-видимому, «закон естественного морфогенеза одно-

ярусных древостоев Г. С. Разина» (1979), названные законами их авторами. Почему же столь важные законы и закономерности в обзорах литературы во многих диссертациях важными не признаются и перечисляются в одном ряду со множеством исследований других авторов? При этом не помогают даже докторские диссертации и солидные книги (Маслаков, 1981, 1984; Кузьмичев, 1977, 1980), не говоря уж о статьях Г. С. Разина (1965, 1967, 1977, 1979, 1981, 1988), опубликованных просто в журналах.

По-видимому, причиной такой осторожности в их признании был развенчанный «закон единства в строении насаждений», выдвинутый проф. Н. В. Третьяковым (1927) и поддержанный А. В. Тюриным (1931). Отечественные таксаторы обнаружили, что предложенная в нем концепция единства строения древостоев по некоторым таксационным показателям при их аппроксимации по функции Лапласа–Гаусса (по закону нормального распределения) не универсальна и проявляет себя лишь в узком диапазоне условий, поэтому оказались нужны не всеобщие, а дифференцированные по регионам нормативно-справочные материалы для таксации древостоев, отражающие местные особенности их развития (Закономерности..., 1976; Загребев, 1978; Верхунов, Черных, 2007).

Модели развития древостоев точнее всего получают на основе стационарных наблюдений. По таким данным (Итоги..., 1964) мы провели анализ хода роста культур, созданных М. К. Турским с разной густотой. Оказалось, что от начальной густоты зависели все их показатели, и в редких культурах они были выше, что отметили и другие исследователи (Кузьмичев, 1977; Нагимов, 2000). Это с самого начала побудило нас изучать рост и развитие дендроценозов в ином ключе (Разин, 1967). Нужно было определить, как же искать естественные ряды развития древостоев по густоте. Поиск этих рядов коренным образом отличался от метода ВНИИЛМ и его модификаций.

Детально методика моделирования изложена в брошюре (Разин, 1977). Ниже приводим ее основные позиции и обсудим отличия.

Главными учитываемыми факторами были следующие:

I. Лесорастительная зона и подзона, Пермско-Камский южно-таежный экорегион, код 572 (Швиденко и др., 2008).

II. Тип условий местопроизрастания (ТУМ) – С₂, С₂₋₃, на суглинистых свежих и свежевлажных почвах, экспозиция до 5–7°.

III. Тип древостоя – одновозрастный, чистый, одноярусный еловый.

IV. Начальная густота в возрасте 10 лет.

V. Степень вмешательства – только вырубка лиственных пород в молодняках и уборка сухостоя.

Окончательные выводы по идентичности условий делались с учетом видовой высоты древостоя: $HF = M/\sum g$.

Моделирование (реконструкция) развития древостоев одного естественного ряда по начальной густоте состояло из следующих операций.

1. Строится график $(HF)_{cp} = f(A)$ и проводится выравненная средняя линия по точкам расположения HF . Вдоль нее проводятся две линии, ограничивающие область нормативного отклонения: для молодняков от +15 до –15 %, для средневозрастных – от +10 до –10, а для приспевающих и старше – от +7 до –7 %. На этот же график наносятся значения HF для древостоев и других пробных площадей, предварительное определение ТУМ которых было сомнительным, и если HF этих проверяемых древостоев оказывалось в пределах допустимых отклонений, то они тоже признавались находящимися в одном ряду по ТУМ.

2. Разделение древостоев на классы по начальной густоте является наиболее сложным и осуществляется вначале с использованием среднего диаметра древостоя (D_{cp}). Для этого строится график зависимости среднего диаметра от возраста $D_{cp} = f(A)$ по всем пробным площадям. На этом графике вся плоскость – это область значений диаметров, которая ограничивается крайними линиями. Она была разделена в нашем случае для 15 классов густоты на 15 полосок одинаковой ширины в каждом классе возраста. Каждая полоска отражает возрастной ряд изменяющихся значений диаметра, относящихся к одному из 15 классов густоты.

3. Дополнительными, а часто и обязательными критериями отнесения древостоя к какому-либо классу начальной густоты служат еще 4 показателя, формирующихся в зависимости от истории густоты древостоя (N) и важных для прогноза его развития:

– коэффициент K , названный нами «условный средний сбег стволов», в виде отношения среднего диаметра на высоте 1.3 м (D_{cp}) к средней высоте древостоя (H);

– коэффициент формы ствола q_2 , также зависящий от густоты древостоя (Моисеенко, 1965);

– средняя длина крон, отнесенная к средней высоте древостоя: $L_{кр}/H$;

– средний диаметр крон, отнесенный к средней высоте древостоя: $D_{кр}/H$.

В процессе подразделения древостоев ели по начальной густоте нами была создана их классификация (табл. 2).

4. Далее для всех пробных площадей, попадающих в полоски по начальной густоте, строится область значений и подбирается тренд зависимости от возраста всех необходимых для моделирования показателей: $H = f(A)$, $HF = f(A)$, $D_{кр}/H = f(A)$, $L_{кр}/H = f(A)$, $N = f(A)$. С линий трендов берутся отсчеты значений показателей по ступеням возраста (через 5 или 10 лет) и заносятся в пустые ячейки таблицы.

Однако в период острых дискуссий в 2010–2012 гг., посвященных применению этой методики и обсуждению полученных моделей развития древостоев, мы убедились в непонимании оппонентами ключевых и переломных моментов (предельных состояний) в развитии древостоев, на открытие которых и была нацелена методика. Поэтому мы даем

Таблица 2. Классификация древостоев ели по начальной густоте

Группа густоты	Номер класса густоты – начальная густота в возрасте 10 лет, тыс. шт./га		
	1–172	2–62	3–32
Очень густые	1–172	2–62	3–32
Густые	4–20	5–14	6–10
Средней густоты	7–7.9	8–6.3	9–5.1
Редкие	10–4.2	11–2.9	12–2.2
Очень редкие	13–1.65	14–1.29	15–1.03

подробные пояснения, которых не было в статье (Разин, Рогозин, 2010б), послужившей основой для этой дискуссии и в которой впервые представлены 15 моделей развития (хода роста) еловых древостоев в зависимости от начальной густоты.

Во-первых, к сообществам древесных растений (древостоям) в целях моделирования всего спектра их состояний мы относили и давно заброшенные, загущенные посевы в питомниках, а также самые редкие по наблюдаемой густоте древостои, иногда с расстоянием между деревьями в самом раннем возрасте в среднем 3–4 м, которые в традиционных методах моделирования динамики продуктивности просто отбрасывают как резкие отклонения от «нормальности».

Во-вторых, мы принимали как не требующее доказательства утверждение о том, что с первых лет жизни и формирования в древостоях начинается дифференциация деревьев (качественное разделение их по росту и развитию), которая является следствием конкуренции, и чем густота больше, тем интенсивнее конкуренция, приводящая к отпаду части растений. Для оценки конкуренции мы использовали два разных показателя: коэффициент перекрытия кронами горизонтальной поверхности (сомкнутость крон, $C_{кр}$) – показатель, почти не используемый таксаторами, и знакомый всем лесоведам показатель «сомкнутость полога» ($C_{п}$). Последний ограничен значением 1.0, тогда как сомкнутость крон может достигать в парцеллах подроста значений 2.0 и более.

В-третьих, исследования мы начали с поиска предельно густых ценозов. Далее, принимая высоту за независимую переменную (она зависит от возраста и густоты, но в этом качестве мы проанализировали ее уже потом), получили следующую модель состояний древостоев (табл. 3).

Понять эту модель можно быстрее, если представить ее составление как процесс по-

иска для нее данных в натуре, начиная с самых молодых ельников. Например, при найденной средней высоте 1 м на такой пробной площади была рассчитана сомкнутость крон, равная $2.60 \text{ м}^2/\text{м}^2$, т. е. на 1 м^2 площади приходилось 2.6 м^2 проекций крон деревьев; при таком перекрытии кронами напочвенный покров практически отсутствует, тип леса определить трудно и он может быть назван «мертвопокровным».

Этот маленький ельник имел очень высокую густоту – 172 тыс. шт./га и малую площадь кроны одного дерева – 0.15 м^2 . Это был крайний случай – пробная площадь, заложенная на заброшенных посевах в питомнике. Следующая высота 3 м была найдена в другом мертвопокровном ельнике, где предельная сомкнутость крон оказалась меньше ($1.95 \text{ м}^2/\text{м}^2$) при текущей густоте 70 тыс. шт./га. Высоту 5 м также нашли в ельнике с полным отсутствием напочвенного покрова, с меньшими сомкнутостью и густотой ($1.81 \text{ м}^2/\text{м}^2$ и 16 тыс. шт./га).

Данная упрощенная модель описывает предельные статичные состояния ценозов ели при некоторой их высоте и дает представление о том, что в случае изучения древостоев в разных состояниях и с высокой густотой с самого раннего возраста (а не с 20–30 лет, не выбирая сомкнутые древостои с оптимальной структурой и близким к нормальному распределением стволов по диаметру, как это делают при составлении «нормальных» и «модальных» ТХР) обнаруживаются невероятно сомкнутые молодняки, где кроны деревьев прорастают не только в крону соседа, но и в крону второго–третьего дерева, и площадь их проекций может быть больше пробной площади в 1.2–2.6 раза.

Как же древостои преодолевают такой запредельный уровень конкуренции? Через 5–7 лет в таком ельнике обнаружили сильнейшее изреживание и снижение сомкнутости, причем деревья не увеличили свой прирост,

Таблица 3. Предельные значения некоторых показателей, соответствующие средней высоте, достигнутой древостоями ели

Средняя высота, м	1	3	5	7	9	11	13	15	20
Сомкнутость крон, $\text{м}^2/\text{м}^2$	2.60	1.95	1.81	1.67	1.54	1.45	1.38	1.33	1.24
Текущая густота, тыс. шт./га	172	70	16	8.3	4.9	3.3	2.3	1.73	0.96
Площадь кроны среднего дерева, м^2	0.15	0.28	1.13	2.03	3.13	4.45	5.97	7.70	13.0

как это можно было бы ожидать после отпада их части и увеличения площади питания. Обнаруженная депрессия (по существу, начало распада ценоза) привела нас к следующей рабочей гипотезе: «разная начальная густота приводит к появлению разных типов развития древостоев, и нахождение предельных значений сомкнутости крон является ключом для поиска этих различных типов развития».

Но тогда в солидных журналах не допускали к обнародованию такого рода гипотезы, важны были результаты исследований. Мы опубликовали в статье (Разин, 1979) такие результаты, где развитие древостоев по показателю сомкнутости крон было представлено в виде серии пересекающихся колоколообразных кривых с точками перегиба, и вышеприведенная гипотеза прямо следовала из содержания этой статьи. В ней было показано, что древостои с начальной густотой в пределах от 1 до 200 тыс. шт./га проходят следующие этапы сомкнутости крон: редколесье – до 0.2; несомкнутые – 0.3–0.7; сомкнутые – 0.8–1.0; предельно сомкнутые – 1.0–3.2; разомкнутые – 0.7–0.9; изреженные – 0.5–0.6; распадающиеся – 0.3–0.4 и менее.

Скорость прохождения этих этапов была тем выше, чем больше была начальная густота. На основе этих исследований был сформулирован **закон естественного морфогенеза древостоев**: сомкнутость крон деревьев любых простых древостоев (кроме абсолютно разновозрастных) с увеличением средней высоты и возраста повышается по кривой линии от минимума (0.1–0.2) до максимума, равного 1.0 и более, а затем уменьшается до минимума, равного 0.7–0.5 и менее, по кривой линии с интенсивностью, зависящей от породного состава, начальной и текущей густоты, равномерности, режима ухода и условий местопроизрастания.

По динамике густоты древостоев (естественному изреживанию или авторегуляции густоты) выявлены следующие закономерности:

а) отпад деревьев происходит с первых лет жизни;

б) интенсивность отпада зависит от типов местообитания, но значительно больше – от

начальной густоты, и чем она больше, тем больше и отпад растений;

в) интенсивность отпада зависит от коэффициента взаимного перекрытия крон (сомкнутости крон), затем от сомкнутости полога и относительной полноты, и с достижением предельных величин этих показателей отпад резко увеличивается; далее с падением сомкнутости и полноты до 0.9 и ниже интенсивность отпада уменьшается;

г) в отпад попадают в основном деревья, имеющие диаметры ствола менее 0.2–0.5 от среднего и с протяженностью кроны менее 10–12 % от высоты ствола;

д) изначально густые древостои остаются таковыми *только до возраста начала распада*, и перегущенность в них достигает 10–20 раз;

е) естественный отпад (авторегуляция густоты) долго не приводит древостои к оптимальной густоте с точки зрения здравого смысла хозяйствующего субъекта. У дендроценозов свое «целеполагание» – сохранить как можно большее число членов сообщества и как можно более длительное время;

ж) авторегуляция густоты, хотя и действует непрерывно, запаздывает, и перегущенные древостои всегда нуждаются в разреживании. Даже редкие смолоду древостои оказываются перегущенными из-за разрастания кроны, и поэтому наиболее долголетними оказываются древостои, сформировавшиеся без взаимного угнетения деревьев.

Данный закон морфогенеза и следствия из него мы применили для определения оптимальной текущей густоты древостоев, а также разработки моделей еловых культур разной густоты (Разин, 1981, 1988).

Следует пояснить, что знаковая статья (Разин, 1979) поступила в журнал «Лесоведение» в феврале 1977 г., и в этом же году вышла книга В. В. Кузьмичева «Закономерности роста древостоев», в которой на одном из рисунков на стр. 143 хорошо видны отрезки линий развития полноты, близкие по смыслу к нашим колоколообразным кривым. Похожие линии приводит В. В. Кузьмичев и в своей диссертации (1980), где делается категоричный вывод о том, что необходимо изменить принципы составления ТХР. Ранее им же сделан вывод, что «...начальные усло-

вия во многом определяют развитие древостоя. Рост его происходит совсем не по тем закономерностям, которые отражены в таблицах хода роста. Для их выявления требуются ... новые методы изучения хода роста» (Кузьмичев, 1977, с. 146).

Эти пояснения позволяют понять, что еще в 1970-е гг. были открыты новые закономерности в развитии древостоев. Возвращаясь к высказанной гипотезе и динамике развития сомкнутости крон, отметим, что динамика эта, по существу, предопределяет развитие всех других таксационных признаков, которые следуют из сомкнутости. Об этом почему-то исследователи забывают и по давним традициям таксации считают ведущими в развитии древостоев высоту, полноту и диаметр, которые, конечно же, наиболее важны в хозяйственном плане, но являются всего лишь функцией, зависимой от массы фотосинтезирующего аппарата.

Это настолько очевидно, что до сих пор нет ничего лучшего для оценки виталитета дерева, чем классы Крафта по степени развития кроны, предложенные еще в XIX в. Поэтому сомкнутость крон и сумма объемов крон как характеристики фотосинтезирующего аппарата теснее связаны с приростом, чем другие признаки. Более тесной, пожалуй, будет связь с биомассой листвы или кроны. Но они настолько трудны для определения, что нам пока неизвестны попытки их использовать в моделировании развития древостоев, хотя уже немало таблиц фитомассы древостоев по классам бонитета (т. е. в статике), например в крупной работе В. А. Усольцева (1998).

Поэтому в целом табл. 3 нужна как нить Ариадны, ведущая на самом первом этапе работ к выходу из лабиринта теоретических заблуждений в моделировании, если поставлена цель составления таблиц и моделей *развития* древостоев, а не их *состояний* в статике. В экологии плотность популяций детерминирует их развитие (Одум, 1986; Реймерс, 1994), но пока применяемые методы моделирования хода роста, динамики и продуктивности древостоев определяют даже текущую густоту *в последнюю очередь*, не говоря уже о начальной густоте.

Наконец, *четвертая важная особенность* моделирования развития заключалась в использовании пробных площадей с повторными наблюдениями. Для естественных древостоев из 306 пробных площадей таких было 53 (Разин, Рогозин, 2010a), а для лесных культур из 43 пробных площадей на четырех были проведены повторные измерения через 7–15 лет (Рогозин, Разин, 2012). Это позволило при построении различных зависимостей вводить «гид-линии» (указывающие линии), соединяющие точки повторных наблюдений. В этом плане метод Г. С. Разина повторял приемы моделирования, известные как метод Гейера, описанный Н. Н. Сваловым (1979). Отрезки гид-линий корректировали линии, имеющие точку перегиба (предельные состояния). Эти точки оказались наиболее важны, и их находили, ориентируясь на «мертвопокровный» тип леса, когда сомкнутость крон была столь высока, что в напочвенном покрове отсутствовали даже мхи.

Аналитическое выравнивание, т. е. математическое моделирование, описано во многих источниках (Загреев, 1978; Никитин, Швиденко, 1978; Свалов, 1979). Методика этих работ хорошо известна, поэтому мы ее здесь не приводим.

Подчеркнем, что необходимость использования «гид-линий» стала для нас очевидной еще в 1960-е гг., сразу после знакомства с книгой «Итоги экспериментальных работ в лесной опытной даче ТСХА за 1862–1962 годы» (Итоги..., 1964), в которой мы нашли сильнейшие изменения классов бонитета с возрастом, о чем уже сказали. В ней же мы обнаружили данные повторных измерений в культурах, созданных М. К. Турским в 1879 г. По ним были составлены эскизы ТХР сосны по трем вариантам начальной густоты (Рогозин, Разин, 2012), которые и подсказали нам направления поиска законов развития древостоев.

Самые же интригующие моменты в поисках типов роста древостоев будут найдены после выяснения хода роста географических культур и изучения двойственности генетической структуры ценопопуляций.

Рост географических культур оказался зависимым от их начальной густоты, отли-

чающейся в несколько раз. С возрастом климатипы меняли ранги по высоте (Наквасина, 1999; Роговцев и др., 2008; Кузьмина, Кузьмин, 2010; Новикова, 2010; Ямалеев и др., 2011). Влияние густоты иногда исключали аналитически, однако это не решает вопроса о прогнозе роста после 30 лет. В каком направлении будут развиваться климатипы после достижения предела полноты? Закономерное снижение полноты (Кузьмичев, 1977) и сомкнутости крон после их максимума в соответствии с законом морфогенеза (Разин, 1979) и законом развития одноярусных древостоев (Рогозин, Разин, 2012) позволяют прогнозировать неизбежное падение сомкнутости и полноты у климатипов, и оно будет тем сильнее, чем интенсивнее был рост и больше начальная густота. Вероятно, повторится история культур на Украине, где медленнорастущие климатипы во 2–3-м классах возраста догоняли быстрорастущие, и причины этого выяснены не были (Молотков и др., 1982).

Двойственная генетическая структура ценопопуляций (частота правых и левых форм), вероятно, окажется в числе сильнейших факторов в моделировании развития плантационных культур, где возникает вопрос выбора посадочного материала с совершенно особенными технологическими свойствами, а именно с более успешным ростом в условиях *слабого* конкурентного давления. И этот аспект современной эволюции хвойных, направляемой человеком, совершенно не увязан с их естественной эволюцией (Рогозин и др., 2014).

Таким образом, обсуждаемые модели должны основываться на законах развития древостоев с учетом тенденций их современной эволюции. Таких законов известно пока три: закон морфогенеза простых древостоев Г. С. Разина (1979), ранговый закон роста деревьев в молодняках Е. Л. Маслакова (1981) и закон развития одноярусных древостоев (Разин, Рогозин, 2010а).

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Модели динамики состояний в статике в виде многочисленных таблиц продуктив-

ности по классам возраста, называемых также таблицами хода роста полных и модальных древостоев, классифицированы по классам бонитета и по типам леса. Они сыграли выдающуюся роль в оценке производительности наших лесов, однако процесс развития древостоев они не отражают. На наш взгляд, все очевиднее становится положение, что системный анализ древостоев имеет перекося в сторону изучения их состояний в статике, выхваченных из «движения» древостоев в их биологическом времени. Поэтому драма их развития осталась почти не изученной. Надо, наконец, признать это и идти дальше.

2. В связи с этим нужны *модели развития* древостоев, описывающие в табличной или иной форме сам процесс развития – от возраста формирования древостоя до начала его распада, с выделением фаз прогресса и регресса. Для моделей важно постулировать интегральные свойства ценоза, например константы для массы хвои и объемов крон, имеющие ясный биологический смысл в виде неких пределов этих показателей при заполнении полога древостоя биомассой.

Возможны два способа разработки моделей: а) исторический – на протяжении всей жизни каждые 5–10 лет изучают параметры древостоя и составляют естественный ряд его развития; б) Гейера – также каждые 5–10 лет изучают таксационные показатели, но только на отрезке жизни древостоя в 15–20 лет, далее соединяют полученные отрезки линий динамики с аналогичными отрезками, полученными из древостоев другого возраста, и «собирают» весь цикл развития. Разумеется, нужно совпадение условий местопрорастания и начальных условий развития ценоза. Однако способ нуждается в модификации: разделении древостоев по их начальной густоте, определяемой по комплексу индикаторов, предложенных Г. С. Разиным (1977). В таком варианте метод будет близок по точности к историческому методу моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке задания 2014/153 государственных работ в сфере научной деятельности в рам-

ках базовой части госзадания Минобрнауки России (проект 144 № ГР 01201461915).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А. С.* Энергетическая модель хода роста запаса древостоев и возможности ее применения для решения задач устойчивого управления лесами // Научные основы устойчивого управления лесами: мат-лы Всерос. науч. конф. М.: ЦЭПЛ РАН, 2014. С. 10–13.
- Антанайтис В. В., Загреев В. В.* Прирост леса. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 200 с.
- Багинский В. Ф.* Ход роста древостоев и его отражение в таблицах и математических моделях // Лесн. хоз-во. 2011. № 2. С. 40–42.
- Батороев К. Б.* Аналогии и модели в познании. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. 320 с.
- Битков Л. М.* Хронобиологическая концепция лесоводственных мероприятий в сложных ельниках на юго-западе района хвойно-широколиственных лесов европейской части Российской Федерации (Калужская область): дис. ... д-ра с.-х. наук. Брянск: БГИТА, 2009. 304 с.
- Вайс А. А.* Научные основы оценки горизонтальной структуры древостоев для повышения их устойчивости и продуктивности (на примере насаждений Западной и Восточной Сибири): автореф. дис. д-ра с.-х. наук. Красноярск, 2014. 33 с.
- Варгас де Бедемар А. Ф.* Опытные таблицы запаса и прироста нормальных насаждений // Лесн. журн. 1846. С. 5–28.
- Верхунов П. М., Черных В. Л.* Таксация леса. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 395 с.
- Грабарник П. Я., Женет А., Секретенко О. П., Безрукова М. Г.* Моделирование пространственно-временной структуры древостоя с учетом конкуренции // Научные основы устойчивого управления лесами: мат-лы Всерос. науч. конф. М.: ЦЭПЛ РАН, 2014. С. 100.
- Давидов М. В.* К вопросу об установлении типов роста древостоев в природе // Лесн. журн. 1977. № 6. С. 11–16.
- Загреев В. В.* Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 240 с.
- Закономерности лесной таксации: методическое пособие / Под ред. В. Антанайтиса. Каунас: ЛитСХА, 1976. 128 с.
- Итоги экспериментальных работ в лесной опытной даче ТСХА за 1862–1962 годы. М.: Изд-во Акад. им. К. А. Тимирязева, 1964. 562 с.
- Козловский В. Б., Павлов В. М.* Ход роста основных лесообразующих пород СССР. Справочник. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 327 с.
- Комаров А. С., Шанин В. Н.* Имитационное моделирование круговоротов углерода и азота в лесных экосистемах бореальной зоны // Научные основы устойчивого управления лесами: мат-лы Всерос. науч. конф. М.: ЦЭПЛ РАН, 2014. С. 168–169.
- Котов М. М., Котова Л. И., Лебедева Э. П., Шведов Е. И., Вяткин А. М.* Типы деревьев сосны по росту в высоту и их значение в семеноводстве // Лесн. журн. 1977. № 6. С. 23–27.
- Кофман Г. Б.* Рост и форма деревьев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 211 с.
- Кузьмина Н. А., Кузьмин С. Р.* Отбор перспективных климатипов сосны обыкновенной в географических культурах в Красноярском Приангарье // Хвойные бореальной зоны. 2010. № 1–2. С. 115–117.
- Кузьмичев В. В.* Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 160 с.
- Кузьмичев В. В.* Эколого-ценотические закономерности роста разновозрастных сосновых древостоев: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 1980. 31 с.
- Кун Т.* Структура научных революций. М.: АСТ, 2009. 320 с.
- Лебков В. Ф.* Метод составления таблиц хода роста и определения оптимальной густоты насаждений // Лесн. хоз-во. 1965. № 2. С. 19–23.
- Лесная энциклопедия. М., 1986. Т. 2. 890 с.
- Марченко И. С., Марченко С. И.* Нетрадиционное лесоводство: авторский курс / Ред. Е. С. Мурахтанов. Брянск: БГИТА, 1998. 419 с. <http://biopolemar.narod.ru/netradi.htm>

- Маслаков Е. А.* Эколого-ценотические факторы возобновления и формирования (организации) насаждений сосны: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Свердловск, 1981. 50 с.
- Маслаков Е. Л.* Формирование сосновых молодняков. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 168 с.
- Миронов О. В.* Лесоводственные основания аппроксимации хода роста // Лесн. хоз-во. 2013. № 4. С. 30–32.
- Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах / Отв. ред. В. Н. Кудеяров. М.: Наука, 2007. 380 с.
- Моисеенко Ф. П.* О закономерностях в росте, строении и товарности насаждений: доклад на соискание ученой степени д-ра с.-х. наук. Киев, 1965. 78 с.
- Молотков П. И., Патлай И. Н., Давыдова Н. И., Щепотьев Ф. Л., Ирошников А. И., Мосин В. И., Пирагс Д. М., Милютин Л. И.* Селекция лесных пород. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 224 с.
- Наквасина Е. Н.* Географическая изменчивость как основа семеноводства сосны обыкновенной на европейском Севере России: дис... д-ра с.-х. наук. Архангельск, 1999. 488 с.
- Нагимов З. Я.* Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: дис... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛА, 2000. 409 с.
- Никитин К. Е., Швиденко А. З.* Методы и техника обработки лесоводственной информации. М., 1978. 164 с.
- Новикова Т. Н.* Линейный прирост и дифференциация сибирских климатипов сосны в географических культурах в Западном Забайкалье // Хвойные бореальной зоны. 2010. № 1–2. С. 143–146.
- Одум Ю.* Экология. В 2-х т. М.: Мир, 1986. Т. 1. 328 с. Т. 2. 376 с.
- Орлов М. М.* Таблица хода роста нормальных насаждений // Лесн. журн. 1897. № 3. С. 5–18.
- Плантационное лесоводство / Под ред. И. В. Шутова. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2007. 366 с.
- Разин Г. С.* Об изменчивости класса бонитета и полноты насаждений с возрастом // Лесн. журн. 1965. № 5. С. 37–39.
- Разин Г. С.* Метод составления таблиц хода роста древостоев (насаждений) // Лесн. журн. 1967. № 5. С. 71–74.
- Разин Г. С.* Изучение и моделирование хода роста древостоев с различной первичной густотой (на примере ельников Пермской области): Методические рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1977. 43 с.
- Разин Г. С.* Динамика сомкнутости одноярусных древостоев // Лесоведение. 1979. № 1. С. 23–25.
- Разин Г. С.* Способ определения оптимальной густоты древостоев при их целевом выращивании // Лесн. журн. 1981. № 3. С. 35–38.
- Разин Г. С.* Модели роста древостоев еловых культур разной густоты // Лесоведение. 1988. № 2. С. 41–47.
- Разин Г. С., Рогозин М. В.* О законах и закономерностях роста и развития, жизни и отмирания древостоев // Лесн. хоз-во. 2010а. № 2. С. 19–20.
- Разин Г. С., Рогозин М. В.* О ходе роста древостоев. Догматизм в лесной таксации // Лесная таксация и лесоустройство. 2010б. № 1. С. 41–70.
- Разин Г. С., Рогозин М. В.* О таблицах хода роста нормальных (сомкнутых, полных) древостоев (о догматизме в лесных науках) // Лесная таксация и лесоустройство. 2012. № 2. С. 10–16.
- Реймерс Н. Ф.* Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Россия молодая, 1994. 367 с.
- Роговцев Р. В., Тараканов В. В., Ильичев Ю. Н.* Продуктивность географических культур сосны в условиях среднеобского бора // Лесн. хоз-во. 2008. № 2. С. 36–38.
- Рогозин М. В., Голиков А. М., Разин Г. С.* О выращивании леса на сухих почвах: теоретические подходы // Вестн. Поволжского гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 3(23). С. 5–17.
- Рогозин М. В., Прокопьев М. Н., Разин Г. С.* Ранняя диагностика и типы роста сосны обыкновенной. Пермь: Перм. ун-т, 1986. 17 с., библиогр. 60 назв. Рукопись деп. в ЦБНИТИлесхоз 04.06.87 № 598-лх87.

- Рогозин М. В., Разин Г. С.* Лесные культуры Теплоуховых в имении Строгановых на Урале: история, законы развития, селекция ели. Изд. 2-е. Пермь: ПГНИУ, 2012. 210 с. <http://www.elibrary.ru>; www.psu.ru
- Рогозин М. В., Разин Г. С.* Постоянные величины (константы) в ходе роста древостоев // Лесн. хоз-во. 2013. № 1. С. 43–45.
- Свалов Н. Н.* Прогнозирование роста древостоев // Лесоведение и лесоводство. Т. 2. Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ, 1978. С. 110–197.
- Свалов Н. Н.* Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 216 с.
- Семечкин И. В., Зиганшин Р. А.* О применении таблиц хода роста и о ландшафтном определении границ таксационных участков при лесоустройстве // Лесн. таксация и лесоустройство. 2008. № 1. С. 73–82.
- Сеннов С. Н.* Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса // СПб.: СПбНИИЛХ, 1999. 98 с.
- Сеннов С. Н.* Лесоведение и лесоводство: учебник для студ. вузов. М.: Академия, 2005. 256 с.
- Стяжкин В. П.* Возрастная динамика оптимальной густоты и максимальной производительности древостоев ели // Лесн. хоз-во. 2005. № 4. С. 40–43.
- Третьяков Н. В.* Закон единства в строении насаждений. М.; Л.: Новая деревня, 1927. 113 с.
- Третьяков Н. В.* Методика составления таблиц и проверка существующих // Сб. трудов ЦНИИЛХ. М.: Гослестехиздат, 1937. С. 4–44.
- Тюрин А. В.* Нормальная производительность насаждений сосны, березы, осины и ели. М.; Л.: Сельколхозгиз, 1931. 200 с.
- Тюрин А. В., Науменко И. М., Воробьев П. В.* Лесная вспомогательная книжка. М.: Гослестехиздат, 1944. 407 с.
- Уранов А. А.* Фитогенное поле // Проблемы современной ботаники. Т. 1. М.; Л.: Наука, 1965. С. 251–254.
- Усольцев В. А.* Формирование баз данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 543 с.
- Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г., Нильссон С., Булуй Ю. И.* Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России // Лесн. хоз-во. 2003. № 6. С. 34–38.
- Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г., Нильссон С., Булуй Ю. И.* Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы). М.: Рослесхоз, 2008. 886 с.
- Ямалеев О. А., Николаева М. А., Ходачек А. С.* 30-летний опыт изучения географической изменчивости ели в Ленинградской области // Труды СПбНИИЛХ. Вып. 3(26). СПб., 2011. С. 80–96.
- Peschel W.* Die mathematischen Methoden zur Herleitung der Wachstumsgesetze von Baum und Bestand und die Ergebnisse ihrer Anwendung. Berlin, 1938. 260 p.

Dynamics Models and Modeling of Tree Stand Development

M. V. Rogozin, G. S. Razin

Natural Sciences Institute of Perm State National Research University

Genkelya str., 4, Perm, 614990 Russian Federation

E-mail: rog-mikhail@yandex.ru

Brief analysis of scientific works in Russia and in the CIS over the past 100 years. Logical and mathematical models consider the conceptual and show some of the results of their verification. It was found that the models include different laws and the parameters, the sum of which allows you to divide them into four categories: models of static states, development models, models of care for the natural forest and models of cultivation. Each category has fulfilled and fulfills its tasks in economic management. Thus, the model states in statics (table traverse growth) played a prominent role in figuring out what may be the most productive (full) stands in different regions of the country. However, they do not answer the question of what the initial states lead to the production of complete stands. In a study of the growth of stands used system analysis, and it is observed dominance of works studying static state, snatched from the biological time. Therefore, the real drama of the growth of stands remained almost unexplored. It is no accident there were «chrono-forestry» «plantation forestry» and even «non-traditional forestry», where there is a strong case of a number of new concepts of development stands. That is quite in keeping with Kuhn (Kuhn, 2009) in the forestry crisis began – there were alternative theories and coexist conflicting scientific schools. To develop models of stand development, it is proposed to use a well-known method of repeated observations within 10–20 years, in conjunction with the explanation of the history of the initial density. It mounted on the basis of studying the dynamics of its indicators: the trunk, crown overlap coefficient, the sum of volumes of all crowns and the relative length of the crown. According to these indicators, the researcher selects natural series of development stands with the same initial density. As a theoretical basis for the models it is possible to postulate the general properties of the stand, for example, constants for the mass of needles and crown that have a clear biological meaning, with limits of values of these indicators in the process of completing canopy biomass.

Keywords: *tree stand, types of growth, static situations, constants for the mass of needles and crown, growth trend, models of development, geographical forest crops.*

How to cite: *Rogozin M. V., Razin G. S. Dynamics models and modeling of tree stand development // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Siberian Journal of Forest Science). 2015. N. 2: 55–70 (in Russian with English abstract).*