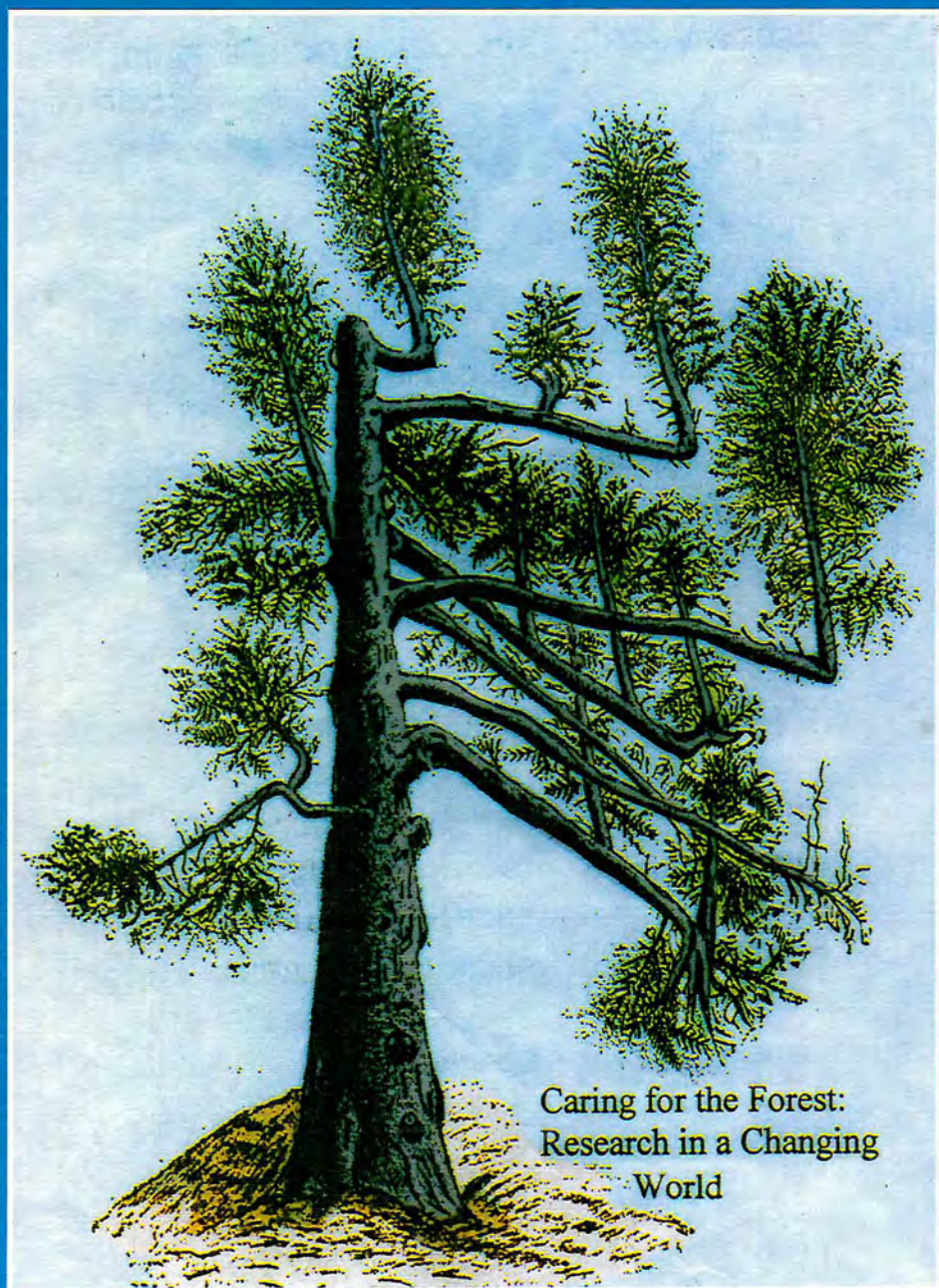
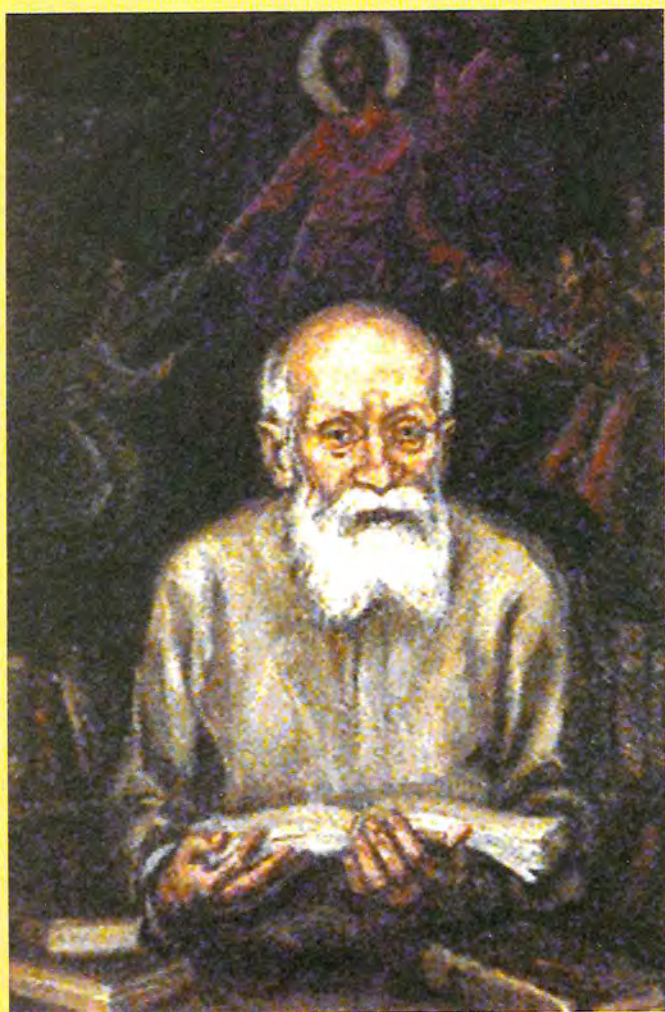


Электронный архив **В. А. Усольцев**

ФИТОМАССА ЛЕСОВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ
И ГЕОГРАФИЯ





ФЕДОРОВ НИКОЛАЙ ФЕДОРОВИЧ
(1828—1903)

Философ, наиболее яркий выразитель идей русского
космизма
(один из немногих сохранившихся портретов)



**БОГДАНОВ (МАЛИНОВСКИЙ)
АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ
(1873—1928)**

Основоположник общей теории систем

Электронный архив УГЛТУ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES • URAL BRANCH
BOTANICAL GARDEN

MINISTRY OF EDUCATION OF RUSSIAN FEDERATION
URAL STATE FOREST ENGINEERING UNIVERSITY

V. A. Usoltsev

FOREST BIOMASS OF NORTHERN EURASIA

THE LIMITS OF PRODUCTIVITY
AND THEIR GEOGRAPHY

YEKATERINBURG • 2003

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. А. Усольцев

ФИТОМАССА ЛЕСОВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ГЕОГРАФИЯ

Усольтцев В. А. **Фитомасса лесов Северной Евразии: предельная продуктивность и география.** Екатеринбург: УрО РАН, 2003. ISBN 5—7691—1418—5.

В монографии обсуждены условия, обеспечивающие максимальную продуктивность лесных экосистем на трех иерархических уровнях — климатическом, эдафическом и ценоотическом. В отличие от обычного картирования потенциальной продуктивности лесных экосистем на климатическом уровне с привлечением в качестве исходных показателей либо данных лесоустройства и лесной таксации, либо фактических данных пробных площадей, впервые выполнен географический анализ распределения предельной фитомассы основных лесообразующих пород Северной Евразии, полученной расчетным путем по условию самоизреживания древостоев на основе сформированной базы данных, а также предложены зависимости предельных показателей фитомассы от индекса континентальности климата и суммы эффективных температур. Результаты могут быть использованы при разработке экологических программ разных уровней.

Usoltsev V. A. **Forest biomass of Northern Eurasia: the limits of productivity and their geography.** Scientific issue. Yekaterinburg: Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2003. ISBN 5—7691—1418—5.

Conditions for attaining maximum productivity of forest ecosystems on three hierarchical levels — climatic, edaphic and cenotic — are analyzed in the monograph. Unlike traditional mapping of potential productivity of forest ecosystems on the climatic level using forest inventory, yield tables or sample plots data as an initial database, a geographical analysis of biomass limits distribution for basic forest forming species of Northern Eurasia calculated by the condition of stand self-thinning using a special biomass database is carried out in the monograph for the first time. Dependences of forest biomass limits upon the climate continentality index and the sum of effective temperatures are first suggested. The results can be useful in realization of ecological programs of different levels.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 00—05—64532 и 01—04—96424)

Ответственный редактор

доктор биологических наук профессор **С. Г. Шиятов**

Рецензент

кандидат физико-математических наук **Г. Б. Кофман**

На обложке зарисовка с натуры пихты сибирской со сломанной вершиной в Царскосельском парке под С.-Петербургом (Арнольд, 1898)

ISBN 5—7691—1418—5

у ПРП-2003—69(03)—77 ПВ-2003
8П6(03)1998

© УрО РАН, 2003 г.

ВВЕДЕНИЕ

В середине XIX века в России в результате взаимовлияния естественных и гуманитарных дисциплин на почве самобытной культуры России и ее Серебряного века возникло своеобразное интеллектуальное течение, получившее определение “русского космизма” (тогда представление о Космосе ассоциировалось с нынешним понятием Природы). Согласно воззрениям космистов, Человек не только испытывает на себе влияние Космоса, но и, будучи носителем Разума, становится участником развития мира и оказывает воздействие на это развитие, причем темпы этого воздействия таковы, что могут создавать проблемы, общие для всего человечества. Один из наиболее ярких выразителей русского космизма Н. Ф. Федоров в серии статей, написанных в 1880—1890 гг. под общим названием “Философия общего дела”, высказывал мнение, что человечество обязано приложить все силы для обеспечения гармоничного развития человека и природы, перевести конфронтацию человека и природы в доброе содружество (Федоров, 1995). Удивительное соответствие идей космизма современной научной картине мира и современному осмыслению глобальных проблем свидетельствует о преемственности основополагающих естественно-научных достижений в российской науке (Усольцев, 2003).

По мнению Н. Н. Моисеева (1988б), начиная со второй половины XIX века российской науке было свойственно стремление к созданию обобщающих теорий и учений, позволяющих с единых позиций увидеть и изучить широкие классы явлений. В духе умонастроений русского космизма В. В. Докучаев — основоположник учения о географических зонах природы (1899, 1948) — полагал, что для российской науки в наибольшей степени подходят те направления, которые требуют комплексного, всестороннего охвата сложных явлений и их взаимосвязи со всем остальным миром, что теперь принято называть системным подходом.

В начале XX века, А. А. Богдановым (1913) были заложены основы теории систем в его работе “Всеобщая организационная наука (Тектология)”, намного опередившей свое время и не принятой в современной ему научной среде. Основная мысль А. А. Богданова состояла в том, что изменения организации систем подчиняются столь же объективным законам природы, как и, например, законы Ньютона, а развитие организации системы неразрывно связано с ее функционированием.

Спустя много лет этот труд и его основные идеи переживают второе рождение и международное признание: “Тектология содержит все исходные идеи, позднее развитые и популяризируемые общей теорией систем и кибернетикой,” и представляет собой “предельное расширение любой теории систем” (Gorelik, 1987. С. 171—172), а “таблица Д. Менделеева, биогеохимия В. Вернадского, теория биогеоценозов В. Сукачева и Н. Тимофеева-

Ресовского — все эти универсальные системы знаний составляют гордость русской и советской науки. Теория организации А. Богданова может быть поставлена в один ряд с подобными учениями” (Моисеев, 1988б. С. 145).

Изучение процессов глобального характера, начатое В. В. Докучаевым, было продолжено В. И. Вернадским (1926), который “еще на границе XIX и XX столетий превратил эмоциональный настрой русского космизма в единое и стройное учение” (Моисеев, 1988а. С. 18) и на строгой научной основе сформулировал концептуальную модель биосферы (и ее эволюции), включающую в себя три составляющих: а) энергетический вход в виде солнечного излучения, б) биологический круговорот веществ и в) выход из биологического круговорота в геологические отложения — “область былых биосфер”. Он показал, что процесс эволюции биосферы и перехода ее в ноосферу характеризуется все возрастающим вкладом антропогенного фактора (преобразующей деятельности человека как мощной геологической силы), который по силе воздействия на биосферу становится сопоставимым с природными факторами.

Введя понятия “давления жизни” и “всюдности жизни”, В. И. Вернадский (1967) всесторонне обсудил проблему *пределов биосферы и пределов жизни*. Отмечая все возрастающие темпы демографического роста, он констатировал, что “площадь, доступная заселению организмами *ограничена*, откуда следует существование предельного количества (массы жизни) живого вещества, могущего существовать на нашей планете” (Вернадский, 1988. С. 176), и предупреждал о неизбежных негативных последствиях, поскольку “ни один живой вид не может существовать в среде, состоящей из своих отбросов”. А человечество, как позднее было подсчитано В. А. Ковдой, производит отбросы органического происхождения в 2000 раз интенсивнее, чем вся остальная биосфера (цит. по: Моисеев, 1999).

В. И. Вернадский (1967) полагал, что “пределы биосферы обусловлены прежде всего *полем существования жизни*” (С. 296), но *поле устойчивости жизни* выходит за пределы последнего, является результатом приспособляемости организмов в течение геологического времени и постепенно, медленно расширяется. В. И. Вернадским по существу было сформулировано представление о *потенциальной продуктивности* растительного покрова: “Поле существования этих зеленых автотрофных организмов прежде всего определяется областью проникновения солнечных лучей” (Там же. С. 301), а “*скорость передачи жизни*”, характеризующая ее энергетическую составляющую, зависит от *плотности* живого вещества. Он ввел понятие коэффициента плотности жизни и констатировал, что “живое вещество является регулятором действенной энергии биосферы” (Там же. С. 181).

Если концепция В. И. Вернадского характеризовалась глобальностью описания (макроподход), то концепция биогеоценоза В. Н. Сукачева (1945) как совокупности биоценоза и биотопа, в которой все компоненты связаны между собой и с элементами среды эдафически-адаптационными отношениями, основана на выделении элементарной (далее не делимой) единицы биосферы (микроподход) (Крапивин и др., 1982).

Окончательное, достаточно строгое определение биогеоценоза было сформулировано Н. В. Тимофеевым-Ресовским (1961): “Элементарный биогеоценоз... можно определить как биохорологическую единицу, внутри которой не проходит ни одной существенной биоценотической, геоморфо-

логической, гидрологической, микроклиматической и почвенно-геохимической границы” (С. 25). Это определение было взято в России за основу при разработке глобальных математических моделей биосферы (Моисеев, 1979).

Любой естественно-научной дисциплине в той или иной степени свойственна терминологическая неопределенность, и “неопрятные” понятия (термин см.: Жирнаускас, 1969) лишь усугубляют ситуацию. Точному определению понятий при разработке классификационных систем в различных биохорологических дисциплинах Н. В. Тимофеев-Ресовский придавал первостепенное значение. Характерно в этом отношении свидетельство Е. М. Фильрозе (1998) о его реакции на доклад Елены Максимилиановны о типах леса, сделанный в Миассово: “Николай Владимирович, работающий в области, весьма далекой от лесной типологии, убедительно показал мне, что ни я, ни мои учителя не понимают, что же такое тип леса, ибо не умеют дать строгое определение его сущности и границ” (С. 61).

Н. В. Тимофеев-Ресовский полагал, что “...точность любой научной и наукообразной дисциплины зависит не от количества элементарной или высшей математики в этой дисциплине, не от обилия формул в тексте, а от строгости и точности определения элементарных структур и элементарных явлений в данной области. Любая область может стать предметом точных и строгих исследований, ежели точно, строго и однозначно сформулированы в ней элементарные структуры и элементарные явления” (цит. по: Новожезов, 2002. С. 31).

Представление о роли математики в познании природы претерпело удивительную метаморфозу: если Аристотель полагал, что “математика кончается там, где начинается природа” (цит. по: Пригожин, Стенгерс, 1986. С. 377), то уже по И. Канту (1966) все обстоит наоборот: “Учение о природе будет содержать науку в собственном смысле лишь в той мере, в какой может быть применена в нем математика” (С. 59).

По-видимому, Н. В. Тимофеев-Ресовский не воспринимал буквально ни ту, ни другую крайность. Его современник В. А. Ратнер (1993) вспоминает: “Сотрудничая и общаясь с самыми выдающимися физиками-теоретиками и математиками, имея учеников-математиков, он тем не менее математикой не владел и, по-моему, за всю жизнь не написал ни одной математической формулы. Он не скрывал этого и даже с некоторой бравадой говорил, что понимает математику только в присутствии самих математиков” (С. 297). Тем не менее Н. В. Тимофеев-Ресовский осознавал, что исследование глобальных процессов биосферы и ее эволюции невозможно без компьютерной имитации, в чем и солидаризировался с Н. Н. Моисеевым: “Я вижу, что Вы дозрели. Без моделирования здесь не обойтись, хотя это и невероятно трудно. Но игра стоит свеч. Никто, кроме Вас, сейчас этим заниматься не сможет и не станет, а заняться этим необходимо” (цит. по: Моисеев, 2002. С. 237).

Способность к глубинному и в то же время всеохватывающему анализу биосферных процессов была характерна для Н. В. Тимофеева-Ресовского. Им уже в то время была по существу и предельно кратко, в специфичной манере сформулирована нынешняя парадигма устойчивого развития. Н. Н. Моисеев (2002) пишет: “Однажды Николай Владимирович попросил меня прикинуть, сколько жителей планеты смогут при нынешнем уровне

технологического развития вписаться в естественные циклы круговорота веществ. Я провозился с этой проблемой довольно долго — месяца три-четыре” и получил результат — “что-то между 200 и 800 млн людей” (С. 236). Оказалось, что Н. В. Тимофеев-Ресовский заранее знал ответ — 500 млн человек — и без всяких расчетов. Поскольку лишь 10 % энергии, используемой людьми, составляет возобновляемая энергия, т. е. энергия, которая участвует в круговороте, а все остальное дает кладовая былых биосфер, то чтобы не нарушать естественного круговорота веществ, человечество должно либо поубавить свои аппетиты, либо пойти на десятикратное сокращение числа жителей планеты.

Сам Н. В. Тимофеев-Ресовский видел выход из кризисной ситуации совсем в другом и развивал идею, созвучную с концепцией расширяющегося “поля устойчивости жизни”, по В. И. Вернадскому (1926), правда, в другом временном масштабе. Если В. И. Вернадский (1926) оперировал понятием геологического времени, то Н. В. Тимофеев-Ресовский (1968) исходил из того, что уже через три поколения людей (т. е. к концу текущего, XXI столетия) примерно половине народонаселения Земли будет не только самим нечего есть, пить, нечем дышать, но и будет нечем “кормить” промышленность. Он предвосхитил нарастание сложности и тревожности взаимодействия биосферы и человечества и даже появление работ Римского клуба.

Как свидетельствует Ю. И. Новоженков (2002), В. Н. Тимофеев-Ресовский стал открыто говорить об экологическом кризисе еще в 1956—1957 гг. в Миассово, когда само слово “экология” знал далеко не каждый. Позднее в докладах, прочитанных в Москве и Обнинске в 1967 г. и суммированных в статье “Биосфера и человечество” (Тимофеев-Ресовский, 1968, 1996), он предлагает несколько способов повышения продуктивности биосферы (в качестве альтернативы десятикратному сокращению либо численности людей, либо их потребностей).

Н. В. Тимофеев-Ресовский (1968) рассматривал возможности повышения биологической продуктивности биосферы по каждой из ее трех упомянутых выше составляющих. Прежде всего, *на энергетическом входе* можно увеличить, во-первых, плотность зеленого покрова Земли и, во-вторых, долю в нем растений с наивысшим КПД фотосинтеза, получив “фактор-2” (т. е. повысив биологическую продуктивность биосферы вдвое). Далее, *в большом биологическом круговороте веществ* можно получить “фактор-5”, т. е. впятеро поднять биопродуктивность биосферы. Этого можно добиться за счет: а) повышения плотности гетеротрофов в “дикий” природе (как следствия возросшей плотности автотрофов), б) увеличения производительности культурных растений и домашних животных и в) решения проблемы равновесия в живой природе и как следствие — улучшения структуры биологических сообществ. И наконец, *на выходе из биосферы* можно повысить биопродуктивность последней за счет предупреждения распада органики на исходные химические элементы.

Вывод Н. В. Тимофеева-Ресовского был довольно оптимистичным: “Человек может в 10 и более раз повысить продуктивность Земли, не подорвав производительных сил ее биосферы”. К сожалению, как показали последующие события, у человечества не остается времени на реализацию выше упомянутых возможностей. Уже есть признаки потери компенсационных способностей биосферы при взрывном росте населения оскудеваю-

щей планеты, и один из них — повышение концентрации углекислоты в атмосфере на 20 % за последнее столетие не сопровождается не только адекватным, но и вообще сколько-нибудь заметным увеличением запасов фитомассы растительного покрова (Моисеев, 1999, 2001). Более того, в результате рубок и пожаров площадь мировых лесов ежегодно сокращается на 9,4 млн га или 0,24 % (Forest area..., 2001). Неслучайно XX Мировой конгресс ИЮФРО (1995) проходил под девизом “Приоритет лесов в изменяющемся мире”, который вынесен автором на обложку книги.

Сегодня страны “золотого миллиарда” потребляют 80 % мировых ресурсов и контролируют 85 % валового национального продукта мира, при этом 40 % мировых ресурсов потребляют США, где проживает около 5 % населения планеты. Тупиковую ситуацию в стратегии выживания мирового сообщества можно сформулировать предельно кратко: “Развитые должны притормозить свой экономический подъем... А они не хотят!” (Черняев, 2001. С. 19). И блокируют международные соглашения по глобальным проблемам. Мировое сообщество все более убеждается в том, что цивилизация находится “на острие бритвы”, в точке бифуркации. И никто сегодня не в состоянии сделать прогноз на будущее — именно по определению бифуркации.

Эту нынешнюю тупиковую ситуацию связывают с тем, что последние примерно 12 тыс. лет были эпохой преобразования человеком природы. В результате развития цивилизации и состояния биосферы вошли в настолько глубокое противоречие, что стали появляться слухи о возможном конце человеческой истории уже в текущем XXI веке (Моисеев, 1999). Существует мрачная гипотеза, согласно которой цивилизации на Земле гибнут в среднем каждые 12 тыс. лет, и ныне завершается очередной такой цикл. При этом новая цивилизация перенимает от предыдущей лишь крохи накопленных знаний. Свидетельством этому могут быть, к примеру, надписи на стенах Дельфийского храма, как наследство другой высокоразвитой цивилизации, возможно, Атлантиды, “утонувшей” около 12 тыс. лет назад (Исаев, 2003).

Н. В. Тимофеев-Ресовский (1968), рассматривая способы повышения продуктивности биосферы, подчеркивал, что для начала “нужно точно инвентаризовать наше живое окружение, в чем мы тоже сильно отстали” (С. 12). Последнее особенно актуально для России, располагающей 70 % девственных лесов северного полушария. Это может дать чрезвычайно высокие экологические и экономические выгоды. Именно девственные леса России (а не сельская культура, т. е. искусственные леса, которыми покрыта вся Западная Европа) представляют собой огромную ценность, которая намного выше ценности всех российских минерально-сырьевых ресурсов (Кондратьев и др., 2002).

Поскольку “леса представляют собой наиболее надежный источник пропитания все возрастающего населения” (Дювиньо, Танг, 1968. С. 110), поскольку они являются наиболее емким резервуаром основного биогена планеты — углерода и определяют в немалой степени функционирование всей биосферы, поскольку “пределы роста” цивилизации (Медоуз и др., 1991) в немалой степени определяются производственными пределами биосферы, в том числе лесного покрова, доминирующего в наземных экосистемах, “требуется знать величину возможного оптимального продуцирования органического вещества в отдельных климатических зонах... Не менее

важно решить вопрос о том, будет ли достигнут абсолютный предел производства органической массы...” (Вальтер, 1975, С. 373—374).

Сегодня фитомасса лесов рассматривается как их основная характеристика, определяющая ход процессов в лесных экосистемах и используемая в целях экологического мониторинга, устойчивого ведения лесного хозяйства, моделирования продуктивности лесов с учетом глобальных изменений, изучения структуры и биоразнообразия лесного покрова, оценки углерододепонирующей емкости лесов (Fowler et al., 2002). Необходимость разработки новых методов оценки запасов углерода, поглощаемого лесами из атмосферы и депонированного в лесных экосистемах, признана в 1997 г. XI Всемирным лесным конгрессом в г. Анталя в Турции (Итоги..., 2000).

Однако точность имеющихся оценок депонируемого в лесной фитомассе углерода совершенно неприемлема для целей прогнозирования глобальной экологической ситуации. Как в 1960-е годы эти оценки на планетарном уровне различались на порядок, варьируя в пределах от 4 (Müller, 1960) до 41 Гт (Deevey, 1960), так и спустя 30 лет, снизившись по общему уровню вчетверо, они тем не менее сохранили десятикратный перепад, от 1 (Kräuchi, 1993) до 10 Гт (Global..., 1991). Поэтому не удивительно, что роль лесных экосистем в глобальных биосферных циклах разными исследователями оценивалась с точностью до наоборот: от отрицательной (Woodwell et al., 1978) до положительной (Кобак и др., 1980).

Е.-Д. Шульце (Schulze, 2000a) полагает, что хотя общие основы углеродного и азотного циклов являются хрестоматийными, но как только мы пытаемся дать количественное описание потоков С и N и получить надежные оценки их связей с природными и антропогенными нарушениями, то сразу же сталкиваемся с большими неопределенностями. Эта экологическая дилемма становится еще более очевидной при решении в отношении того или иного региона вопроса, является ли этот регион источником либо депозитарием углерода. Подобный вопрос поставлен перед научным сообществом “Протоколом Киото”, и ответы на него крайне противоречивы. Существует мнение, что сток углерода обеспечивается исключительно лесами северного полушария, причем одни утверждают, что это происходит на территории США, а другие доказывают, что это обеспечивают леса Сибири. Третьи столь же убедительны в том, что основной сток углерода дают тропические леса (Schulze, 2000a).

Более определенные результаты получены в ВЦ РАН в процессе имитационного моделирования глобального цикла CO_2 в биосфере за период с 1860 по 2050 гг. Выявлена тенденция роста годичной продукции растительного покрова планеты в связи с повышением атмосферной концентрации CO_2 (при том, что площадь лесов ежегодно сокращается на 0,24 %), но в региональном плане этот процесс не однозначен: если экосистемы средних и высоких широт поглощали CO_2 , то в экваториальной области, напротив, выделяли. При этом установлено некоторое пороговое значение концентрации атмосферного CO_2 , за которым показатели годичной продукции начинают снижаться по мере дальнейшего роста названной концентрации (Тарко, 2002).

Поскольку “Протокол Киото” обязывает научное сообщество разработать стратегию компенсации промышленных выбросов биологической фиксацией атмосферного углерода (IGBP, 1998; WBGU, 1998), безотлага-

тельно требуется знание биологии круговорота углерода и других основных и вспомогательных элементов. На лесной покров планеты возлагаются основные надежды в решении упомянутой проблемы, поскольку его высокая углерододепонирующая способность сочетается с относительно низкой потребностью в азоте (Melillo et al., 1996). "Протокол" стимулирует по существу первый шаг человечества в направлении постепенного познания биологии глобального углеродного цикла. Но без ясного понимания основополагающих процессов этого цикла есть риск получения серьезных отягчающих побочных эффектов (Schellnhuber, Wenzel, 1998; Schellnhuber, 1999; Schulze, 2000b).

В качестве исходной основы для имитационного моделирования биосферных процессов необходимо знание потенциальной продуктивности фитомассы лесов в разных регионах и предельно возможной биологической продуктивности лесных экосистем. К сожалению, даже в самых последних аналитических обзорах (напр., Jarvis et al., 2001) можно встретить ничем не обоснованные утверждения, что в благоприятных условиях количество фитомассы в лиственныхниках и сосняках Сибири такое же, как и в Европейской России, а в пределах Европейской России наибольшей фитомассой якобы характеризуется Уральский регион. Последнее противоречит фактическим показателям нашей базы данных о фитомассе лесов Северной Евразии (Усольцев, 2001) и географии распределения ее нормативных показателей (Усольцев, 2002a). В предлагаемой книге предпринята попытка дать представление о потенциале биопродуктивности лесов и закономерностях его распределения на территории Северной Евразии. Но вначале предстоит рассмотреть понятийный аппарат продукционного потенциала.

Автор выражает глубокую благодарность за активное содействие при выполнении работы аспирантам Максимову С. В., Марковскому В. И., Петелиной О. А., Терентьеву В. В. и Платонову И. В., а также доктору Хоффману Х. (Швейцария) и к. с.-х. н. Данилину И. М. (Институт леса СО РАН) за активное содействие в обеспечении литературными источниками. Особо признателен автор к. ф.-м. н. Кофману Г. Б. за ценные комментарии при обсуждении ключевых вопросов и конструктивный разбор.

ПРОДУКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА РАЗНЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ УРОВНЯХ

1.1. УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ И ИЗУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

Идея упорядочения и классификации наук в иерархии уровней их содержательности или уровней интеграции обсуждается со времен Огюста Конта (1798—1857). В биологии к ней обычно обращаются, когда требуется подтверждение той или иной научной концепции или обоснование конкретного исследования (Rowe, 1961).

По В. И. Вернадскому (1988), строение биосферы как области существования живого определяет ее своеобразная *организованность*, т. е. динамичное, вечно изменчивое, в каждый момент меняющееся и никогда не возвращающееся к прежнему образу равновесие. Понимание организованности как динамического равновесия биосферы Н. В. Тимофеев-Ресовский и А. Н. Тюрюканов дополнили представлением о ее *структурной организованности* с выделением следующих основных структурных уровней: биоценотический, почвенный, ландшафтно-геохимический, витасферный (витасфера как синоним “области жизни”, по В. И. Вернадскому) и собственно биосферный. Эта классификация послужила основанием для выделения биосферного класса наук, изучающих соответствующие уровни организованности биосферы — биогеоценологии, почвоведения, геохимии ландшафтов и др. (Тюрюканов, Федоров, 1996).

Совершенно иной смысл вкладывается в понятие *уровней организации* живого, составляющее предмет обсуждения в настоящей главе.

По мнению М. В. Мины (1980), слабости биологических теорий определяются прежде всего чрезвычайным разнообразием изучаемых объектов. Поэтому “на первый план выступает проблема описаний, которые в биологии чаще всего исполняют роль определений. Какие бы методы логических построений мы ни использовали, сколько бы ни усложняли математический аппарат, мы не сможем этим компенсировать недостаточность исходных описаний, несовершенство определений” (С. 20).

Выше уже отмечалось первостепенное значение, которое придавал Н. В. Тимофеев-Ресовский точному определению понятий при разработке классификационных систем в различных биохорологических дисциплинах, и подчеркивалось его положение о том, что любая область может стать предметом точных и строгих исследований, если точно, строго и однозначно сформулированы в ней элементарные структуры и элементарные явления, определяющие уровни изучения живого. Согласно Е.М. Лавренко (1964), *уровни изучения* органического, в том числе растительного мира, определяются его *уровнями организации*. С точки зрения “всеобщей орга-

низационной науки” А. А. Богданова (1913), последние, видимо, можно рассматривать в качестве частных случаев его представления о всеобщих “*организованных комплексах*” любой физической природы. А. А. Богданов пишет: “Мы можем брать организованные комплексы самого различного типа и строения; но если мы исследуем, из каких элементов они слагаются, то без труда констатируем для целой массы случаев... одну общую черту: однородность или по крайней мере известную степень сходства между отдельными частями такого комплекса. Так, общество состоит из многих однородных биологических единиц — организмов; организм также из однородных единиц — клеток; клетка включает в своем составе ряд белковых соединений, представляющих между собою большое сходство по химическим свойствам” (Богданов, 1989. Кн. 1. С. 149).

Анализ структурного подобия множества разных иерархических систем позволил Л. Берталанфи (Bertalanffi, 1950) сформулировать принципы, свойственные системам в целом, и повторно (после А. А. Богданова) заложить основы фундаментальной научной дисциплины — общей теории систем.

В этой связи канадский ученый Р. Маттесич (Mattessich, 1978) выражает крайнее недоумение, как Л. Берталанфи, работая в 20-е годы над системными проблемами, мог пропустить немецкое издание “Тектологии” А. А. Богданова (Bogdanow, 1926, 1928), отрецензированное в печати (см., например: Plenge, 1927), а впоследствии во всех своих работах ни разу не упомянуть имени своего предшественника! Более того, А. Л. Тахтаджян (1989) свидетельствует: “Странно, что Берталанфи нигде не упоминает имени Богданова, хотя, как он писал мне, немецкий перевод “Тектологии” был ему известен” (С. 350).

Л. Берталанфи, рассматривая эволюцию общих концепций в различных отраслях знания в связи с иерархической организацией последних, писал: “Реальность в ее современном понимании проявляется в виде потрясающе иерархической упорядоченности организованных объектов, приводящей к последовательному наложению многих уровней, от физических и химических до биологических и социологических систем. Единство Знания обеспечивается не утопическим сведением всех наук к уровню физики и химии, а структурными однородностями различных уровней реальности” (Там же. С. 164).

А.Б. Новиков (Novikoff, 1945) для обозначения упомянутой “структурной однородности” ввел понятие “*интеграционного уровня*” (integrative level), а Дж. К. Фейблеман (Feibleman, 1954) попытался заложить основы теории интеграционных уровней, систематизировав некоторые “структурные однородности” и установив их взаимосвязи. Однако степень неопределенности в объеме и структуре понятия интеграционного уровня оставалась достаточно высокой, и процесс его конкретизации в исследованиях органического мира имеет свою историю.

Ф. Е. Эглером (Egler, 1942) выделены следующие уровни организации жизни: организм, растительное сообщество, биотическое сообщество, растительный покров и экосистема. Затем А. Б. Новиков (Novikoff, 1945) рассматривает уровни уже в другой последовательности: клетка, ткань, орган, система органов, организм и популяция, а Е. П. Одум (Odum, 1959) добавляет к ним уровни сообщества, экосистемы и биосферы. Если Е. Майр (Mayr,

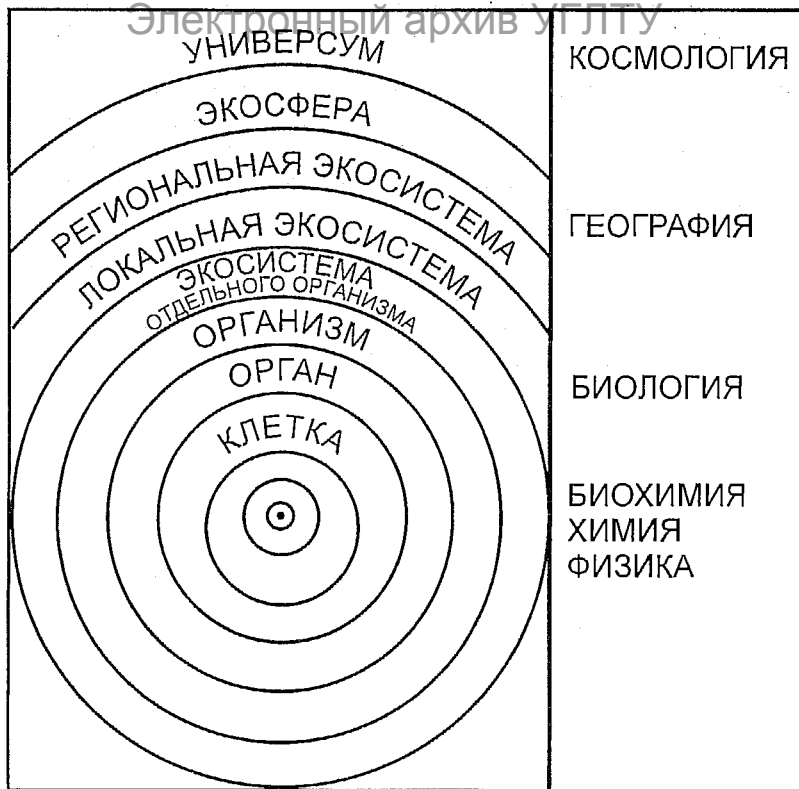


Рис. 1.1. Схема объектов исследования в последовательности “нарастающе включаемых” уровней организации и некоторые соответствующие им области знаний (Rowe, 1961)

1955) принимает уровни организации от клетки, ткани, органа и организма до популяции и вида, то С. Райт (Wright, 1959) в качестве автономного уровня ниже клетки предлагает ген, а на последовательных уровнях выше организма у него следуют дим (панмиктическая единица), вид, экосистема и мировая фауна и флора. Затем Дж. С. Рове (Rowe, 1961) дает свою последовательность “нарастающе включаемых” уровней организации: клетка, орган, организм, экосистема отдельного организма, локальная экосистема, региональная экосистема, экосфера и универсум, с распределением их в качестве объектов изучения между различными дисциплинами, от химии до космологии (рис. 1.1).

К. М. Завадский (1966) предлагает выделить пять основных уровней организации живого: организменный, популяционно-видовой, биоценотический, формационный и биосферный. Поскольку биологические объекты представляют “концентрат многих миллиардов лет эволюции” (Шноль, 1979. С. 7), и невозможно выявить их свойства вне эволюционного подхода, то в пределах каждого основного уровня К. М. Завадский различает ступени эволюции, а в пределах последних — структурные компоненты, напри-

мер, на уровне особи ткань, органы, системы органов, мегамеры и т. д. И уровни организации, и ступени эволюции, и структурные компоненты ступеней представляют тот или иной *тип целостности*, который фиксирует специфичность каждого звена в ряду соподчиненных систем восходящей сложности и дает представление об их дискретности в названном ряду. Таким образом, число типов целостности в ряду соподчиненных систем значительно превышает число уровней организации.

Наконец, Е. М. Лавренко (1964) сводит всю биологическую иерархию к трем уровням: молекула, клетка и организм, но добавляет к ним три надорганизменных уровня: вид (сочетание видовых популяций), биоценоз с его основной составляющей — фитоценозом и “слой живого вещества” с его основной энергетической составляющей — растительным покровом.

Отмечая неправомерность произвольного выделения разными авторами разного числа уровней организации и изучения жизни, Н. В. Тимофеев-Ресовский (1958; Тимофеев-Ресовский и др., 1977) в соответствии с его выше упомянутым принципом выделяет четыре главных уровня организации жизни на Земле: *молекулярно-генетический* (единица изучения — биологически активная макромолекула), *онтогенетический* (единица изучения — особь), *популяционно-видовой* (единица изучения — популяция) и *биогеоценологический*, или биосферный (единица изучения — биогеоценоз). Все четыре уровня “выделены на единой общей основе наличия элементарных структур и явлений, определяющих специфику этих уровней”, и вместе с тем “любое уровень тесно связан с другими, определяясь ими и определяя в свою очередь протекание процессов в них” (Тимофеев-Ресовский и др., 1977. С. 18).

А. Н. Тюрюканов и В. М. Федоров (1996) обобщение Н. В. Тимофеева-Ресовского об уровнях организации живого определяют как “выдающуюся концепцию”, сформированную в результате синтеза нескольких современных биологических дисциплин — молекулярной генетики, радиационной генетики, биофизики, учения о микроэволюции и учения об энтогенезе и филогенетике, популяционной генетики и синтетической теории эволюции, у истоков которых стоял Н. В. Тимофеев-Ресовский.

Концепция Н. В. Тимофеева-Ресовского была взята за основу в теории управления на разных уровнях живого. В пределах биосферы происходит биогенная миграция вещества и энергии, формируемая сочетанием ряда относительно автономных биогеохимических циклов. Различные биогеохимические циклы находятся в иерархическом соподчинении. Относительная стабильность потоков в биогеохимических циклах обеспечивается определенными материальными системами, через которые потоки протекают и которые определенным образом управляют этими потоками. Если известны типы взаимодействий между отдельными уровнями циклов и внутри них, то для выяснения целостной картины поведения системы можно применять метод математического моделирования (Ляпунов, Стебаев, 1964).

Исходя из того, что “совокупность процессов управления в живой природе оказывается естественным образом иерархически организованной” (Ляпунов, 1968. С. 69), строится соответствующая система математических моделей балансовых соотношений, в которой объекты моделирования низшего уровня служат элементами моделируемых систем высшего уровня (принцип рекуррентности) (Ляпунов, Стебаев, 1964; Свирижев, Елизаров, 1972; Ляпунов, Багриновская, 1975; Флейшман, 1986). Тем не менее, по-

скольку “фитоценоз относится к классу динамических систем высокой степени сложности, или очень больших систем, для математического описания которых не существует пока математического аппарата” (Александрова, 1961. С. 108), современное состояние математизации фитоценологии и биологии в целом “ничем почти не отличается от состояния астрономии до Коперника и Ньютона...” (Акчурин и др., 1968. С. 27).

Ограничив область исследования растительного мира его продуктивностью, Л. Н. Соболев (1969) в соответствии с классификацией Н. В. Тимофеева-Ресовского (1958; Тимофеев-Ресовский и др., 1977) выделил три “надклеточных” уровня изучения последней: организменный, ценотический и географический. При этом на *организменном* (физиологическом) уровне изучается продукция фотосинтеза в зависимости от освещения, температуры, влажности, минерального питания и т. д.; на *ценотическом уровне* оценивается продукция растительного сообщества в зависимости от тех же факторов среды, что и на организменном уровне; и на *географическом уровне* оценивается фактическая и потенциальная продукция растительного покрова географической территориальной единицы в зависимости от климата, рельефа, почвенных условий, геологического строения, видового состава и т. д. Совокупность естественных сообществ, расположенных в виде экологических рядов по увлажнению и богатству почвы с градациями по шкалам Л. Г. Раменского с соавт. (1956), Л. Н. Соболев называет географической системой сообществ. По аналогичному принципу применительно лишь к лесным экосистемам П. С. Погребняком (1968) составлена эдафическая сетка почвенных местообитаний.

В 1904 г. Г. Ф. Морозов опубликовал работу о типах насаждений, выделяемых по рельефу и почвенно-грунтовым условиям, и по нему (1904), “тип насаждения есть совокупность насаждений, объединенных в одну обширную группу общностью условий местопроизрастаний или почвенно-грунтовых условий” (С. 14). Однако В. Н. Сукачев (1917) считал, что нельзя классифицировать насаждения только по местообитанию — “признаку, не принадлежащему собственно сообществам” (С. 14). В качестве основного признака, выявляющего саму сущность ценоза, он предложил использовать *организацию* растительных сообществ (рис. 1.2), разрабо-

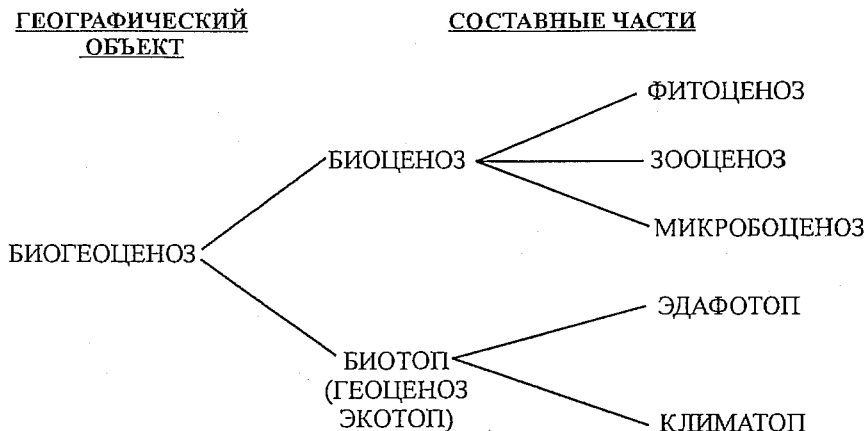


Рис. 1.2. Структурная схема биогеоценоза (Sukachev, 1954; Rowe, 1961)

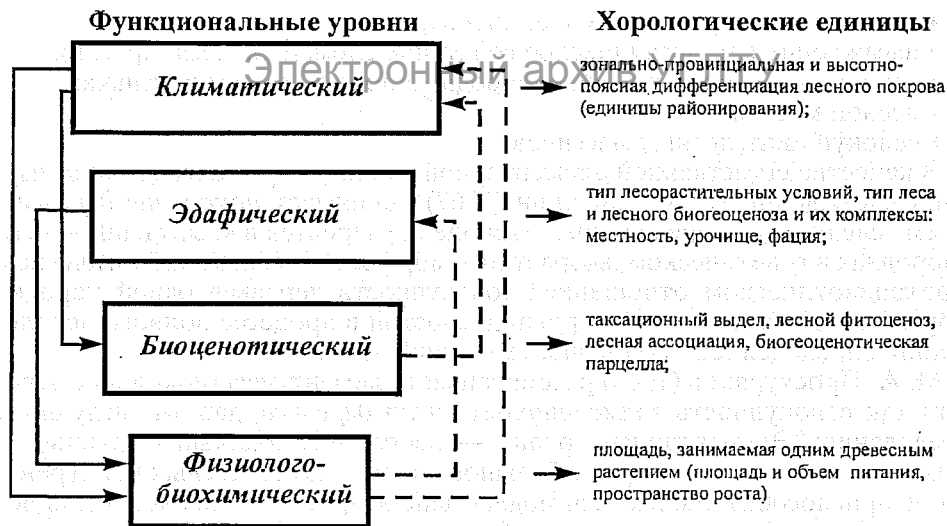


Рис. 1.3. Схема функциональных уровней регулирования продуктивности лесов и хронологических единиц дифференциации растительного покрова (Бузыкин, 1977)

танную в процессе коэволюции растений и среды. Позднее Г. Ф. Морозов уточняет понятие местообитания и, придерживаясь концепции В. В. Докучаева (1899), характеризует тип местообитания как *комплекс* признаков лесообразовательного процесса: “Биологические, биосоциальные и географические факторы, взаимно обуславливая себя, сливаются на наших глазах в один аккорд, в одну цельную неразрывную гармонию” (Морозов, 1931а. С. 94).

Ограничив область исследования продуктивности растительного мира лесными фитоценозами, А. И. Бузыкин (1970, 1977) выделил четыре иерархически соподчиненных функциональных уровня регулирования продуктивности лесов: *физиолого-биохимический*, *биоценотический*, *эдафический* и *климатический* и соответствующие им четыре хронологических единицы: пространство роста одного дерева, лесной фитоценоз (таксационный выдел), тип лесорастительных условий (тип леса) и единица лесорастительного районирования (экорегион) (рис. 1.3). Применительно к лесным фитоценозам продуктивность регулируется комплексом факторов трех иерархических надорганизменных уровней: в пределах эдафотопы — ценотические (плотность древостоя); в пределах однородных географических условий (экорегиона) — эдафические и в пределах ареала вида — это географические (климатические) факторы.

Ограничив область исследования лесных фитоценозов их таксацией и взяв за основу концепцию элемента леса Н. В. Третьякова (1927), И. В. Семечкин (2002) выделяет следующие соподчиненные объекты таксации (измерения):

- отдельное дерево;
- совокупность отдельных деревьев, однородных по некоторым признакам;
- древостой элемента леса;

- совокупность древостоев элементов леса;
- насаждение как органическое сочетание элементов леса (ярусов);
- совокупность насаждений, однородных по некоторым признакам;
- лесной массив;
- совокупность лесных массивов.

В качестве естественной элементарной единицы при таксационном изучении насаждений И. В. Семечкин (1967) принимает *поколение деревьев*, дав ему следующее определение: “Поколение деревьев в насаждении — это однородная в генетическом, возрастном, морфологическом, экологическом и фитоценотическом отношениях совокупность деревьев одной породы, сформировавшаяся в элементарный древостой в процессе полного использования определенной экологической ниши” (С. 120).

М. А. Проскуряков (1983) рассматривает элемент леса (поколение деревьев) как совокупность *элементарных групп деревьев*, дав им следующее определение: “Элементарные группы — небольшие локальные группы деревьев, объединенные в период большого роста циклом тесных конкурентных и приспособительных взаимодействий в пространственно, функционально и во времени целостные ячейки древостоя” (С. 187). Комплекс конкурентных и приспособительных взаимодействий Ю. В. Титов (1978) интерпретирует в терминах эффекта плотности и эффекта группы. М. А. Проскуряков проанализировал отличительные признаки элементарной группы по отношению к другим единицам пространственной структуры — биогруппе (Сляднев, 1952; Макаренко, 1974; Внучков, 1976; Усольцев, 1985а), микрогруппировке (Ярошенко, 1969), ценоячейке (Ипатов, 1970) и биогеоценотической парцелле (Дылис, 1969).

Биогруппу как однородную совокупность территориально сближенных деревьев А. А. Макаренко (1974) рассматривает в качестве “элементарной структурной единицы древостоя” (С. 40). Элементарная группа, по М. А. Проскурякову, по сравнению с биогруппой — более широкое понятие, поскольку характеризуется не только территориальной сближенностью деревьев, но и *общностью* цикла тесных конкурентных и приспособительных взаимодействий в период большого роста деревьев. Элементарная группа не меняет своих размеров после завершения периода большого роста, тогда как размер биогрупп с возрастом непрерывно увеличивается при соответствующем снижении их числа на единице площади древостоя (Усольцев, 1985а, 1985б).

Наше исследование предельной продуктивности лесообразующих древесных видов Северной Евразии (см. главы 2—4) ограничивается двумя уровнями. Это, по Л. Н. Соболеву (1969), — ценотический и географический, а по А. И. Бузыкину (1970, 1977), — биоценотический и климатический уровни. Дифференциация наших объектов исследования по эдафическому уровню А. И. Бузыкина, или по лесотипологическому спектру в пределах экорегиона, не анализируется, поскольку пока не подкреплена наличием экспериментального материала по экологическим (эдафическим) градиентам в пределах каждого экорегиона.

Предполагается, что пробные площади для оценки фитомассы насаждений закладывались в наиболее распространенных типах лесорастительных условий экорегиона. В границах однородных лесорастительных условий в базе данных по пробным площадям отбирались насаждения в предельном

ценотическом состоянии. Поскольку в любой совокупности объектов исследования по краям ряда распределения они представлены менее всего, то закономерности, связанные с такими “предельными” объектами, формализуются наиболее трудно. Поэтому для оптимизации структуры модели, описывающей предельные траектории массообразующих показателей, приняты наиболее простые по строению, одновозрастные чистые древостои, а в качестве их элементарной структурной единицы — биогруппа.

1.2. О ТЕРМИНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Проблему *предельного коэффициента заполнения пространства* поднял в 1611 г. Иоганн Кеплер (1571—1630). Применительно к земной биоте она нашла отражение в концепции “предельного количества живого вещества, могущего существовать на нашей планете” В. И. Вернадского (1967). Эта концепция частично смыкается с формируемым универсальным учением об *экстремумах*. Согласно выдвинутому Л. Эйлером *принципу экстремальности*, движение системы канализируется не по любой из возможных траекторий, а лишь по той, которая характеризуется экстремальным значением некоторого параметра. В живой природе принцип экстремальности обеспечивает системе максимум шансов на выживание путем наиболее экономичного расходования доступных ресурсов (Крушанов, 2003). К этой же области, по-видимому, можно отнести *закон максимума* Н. Ф. Реймерса (1994): “в данном географическом месте при существующих природных условиях экосистема может произвести биомассу и иметь биологическую продуктивность не выше, чем это свойственно самым продуктивным ее элементам в их идеальном сочетании” (С. 159), а также — *закон оптимальности*, обеспечивающий максимально эффективную реализацию системой всех необходимых жизненных функций в эволюционно сложившемся биотическом окружении и экологической обстановке (Демаков, 2000).

Шведский профессор Генрих Люндегорд (1937) подчеркивал, что “точный анализ экологических факторов может открыть совершенно новые и очень плодотворные перспективы в отношении самых мельчайших различий растительного покрова” (С. 337). Но прежде, чем приступить к обзору различных уровней экологических факторов, необходимо определиться с терминологией, касающейся содержания некоторых ключевых понятий.

Потенциальная продуктивность обычно оценивается косвенными методами и факторами (Лебков, 1973). Под категорией *потенциальной продуктивности* лесных экосистем А. И. Уткин (1975) понимает “возможные размеры продуцирования органического вещества в зависимости от гидротермических условий климата отдельных регионов” (С. 23). Тем самым предполагается уровень исследования потенциальной продуктивности — совокупность единиц лесорастительного районирования (экорегiónов) в пределах ареала вида (Бузыкин, 1977).

В. С. Чуенков (1977) в проблеме оценки потенциальной продуктивности лесов выделяет два *направления*: “определение первичной биологической продуктивности (продуктивность биомассы) и определение максимально возможного древесного запаса насаждений” (С. 25), а *методы* оценки по-

тении потенциальной продуктивности он подразделяет на три основные группы: климатологические, лесотипологические и лесоводственно-таксационные, но не разносит их по уровням изучения продуктивности лесов.

Очевидно, что климатологические методы исследования, по В. С. Чуенкову, относятся к уровню исследования совокупности единиц лесорастительного районирования (экорегiónов) в пределах ареала вида, и в этом случае исследуется собственно потенциальная продуктивность лесных экосистем.

Приложение лесотипологических методов В. С. Чуенков (1977) видит “в отыскании наиболее продуктивных насаждений в природе и в их детальном описании. Они требуют большого объема маршрутно-экспедиционных обследований и дают хорошие результаты в естественных лесах” (С. 26). Если соотнести это определение со схемой функциональных уровней регулирования продуктивности лесов (см. рис. 1.3), то лесотипологические методы приложимы к эдафическому уровню с хорологической единицей — экорегiónом. Однако типологический спектр в этом случае предельно сужен и ограничен только типами леса (местообитаниями) высшей продуктивности.

Лесоводственно-таксационные методы, по В. С. Чуенкову (1977), ориентированы на “изучение закономерностей строения и роста насаждений в конкретных условиях произрастания и предполагают в той или иной степени моделирование основных параметров роста и развития насаждений” (С. 26). Поскольку “конкретные условия произрастания”, очевидно, идентифицируются конкретным лесным фитоценозом (насаждением, таксационным выделом), то лесоводственно-таксационные методы приложимы к биоценоотическому уровню изучения продуктивности лесов (см. рис. 1.3).

Лесотипологические методы в пределах экорегiónа в классификации В. С. Чуенкова (1977) относятся лишь к типу лесорастительных условий высшей продуктивности, а лесоводственно-таксационные методы ориентированы на нахождение или моделирование (в пределах этого типа лесорастительных условий) ценоотических состояний, обеспечивающих максимальную биологическую продуктивность или “максимально возможный запас насаждений” (Там же. С. 25).

Применение лесотипологических методов можно отнести к исходному (рекогносцировочному) этапу исследования, выполняемому на эдафическом уровне, тем самым предваряя основной этап исследования максимальной продуктивности, выполняемый на биоценоотическом уровне с применением лесоводственно-таксационных методов к лесному насаждению в качестве единицы изучения.

Таким образом, изучение потенциальной продуктивности лесов на уровне совокупности экорегiónов в дальнейшем предполагается связывать с климатическими факторами на основе использования косвенных методов, а эдафические и ценоотические факторы, оцениваемые посредством прямых измерений, рассматривать в качестве определяющих не потенциальную, а максимальную продуктивность лесных насаждений в пределах того или иного экорегiónа. Соответственно анализ методов изучения продукционного потенциала лесов в концептуальном контексте предлагаемого исследования выполнен по трем направлениям: 1) *потенциальная* продуктивность лесного покрова на уровне совокупности экорегiónов в пределах ареала ви-

да или континента, 2) *максимальная* продуктивность лесных насаждений в пределах экорегиона или экотопа и 3) *предельная* продуктивность в пределах экотопа.

1.3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОДУКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

По определению А. Декандоля (De Candolle, 1855), “методы — это то, что характеризует сущность науки в каждую эпоху и чем определяется ее прогресс”. Во второй половине XX столетия таким основополагающим методом в науке стало *математическое моделирование* как одна из реализаций системного подхода к анализу сложных природных процессов. При построении модели объект заменяется той или иной математической абстракцией в целях выявления *закономерностей* его поведения или функционирования. Для математиков является аксиомой известный тезис, что знание некоторых закономерностей освобождает от необходимости знания очень многих фактов.

Обсуждая степень всеобщности той или иной закономерности и соотношение понятий *закон* и *закономерность*, Е. Ассман (Assmann, 1961) пишет: “Стохастический характер всех до сих пор наблюдаемых закономерностей делает маловероятным простое всеобщее решение... Только интеграция многочисленных отдельных явлений ведет к закономерностям, достаточно определенным и строгим. При этих обстоятельствах мы должны, по-видимому, довольствоваться описанием осциллирующих жизненных процессов с помощью приближенных математических функций, которые как можно лучше отражали бы усредненное поведение множества живых организмов. Термин *закономерность роста* более предпочтителен, поскольку в отличие от *закона роста* содержит предостерегающее ограничение. *Математическая формулировка в каждом случае дает большие преимущества, поскольку обеспечивает лаконичность выражений и позволяет контролировать достоверность суждения посредством статистических методов оценки*” (С. 201).

В зависимости от цели исследования выбирается тот или иной метод математического моделирования, а поскольку каждый исследователь ставит перед собой свою цель, то *методов* моделирования и видов моделей накопилось уже очень много. В несколько меньшем количестве представлены *классификации* методов моделирования биоэкологических процессов (Глинский и др., 1965; Никитин, Швиденко, 1973, 1978; Munro, 1974; Амосов, 1974; Антомонов, 1977; Флейшман, 1978; Розенберг, 1980, 1984; Pielou, 1981; Ågren, 1981; Кулль, Оя, 1984; Оя, 1985; Усольцев, 1985б, 1988; и др.), каждую из которых тот или иной автор строит, исходя из специфики своих научных интересов.

В соответствии с целью настоящего исследования — оценки продукционного потенциала лесных экосистем — и с учетом мнения ряда исследователей (Никитин, Швиденко, 1973; Бихеле и др., 1980; Ågren, 1981; Кулль, Оя, 1984) предполагается рассмотреть два принципиально разных подхода к математическому моделированию и соответственно две обширных группы моделей — индуктивные (эмпирические, стохастические, феноменологические и др.) и дедуктивные (функциональные, физиологические, эколого-

физиологические, имитационные и др.), не вдаваясь в царящую терминологическую неразбериху (особенно в отношении таких понятий как функциональные, феноменологические, структурные модели; см., например, Амосов, 1974; Антомонов, 1977) и не претендуя на еще одну классификацию методов моделирования.

Индуктивное моделирование. В данной группе моделей идут “от эксперимента”, т. е. вначале в соответствии с постановкой задачи набирается эмпирический материал, который затем анализируется и выявляются те или иные закономерности. В фитогеографии функциональные связи “... всегда осложнены и затемнены наложением на основные связи многочисленных второстепенных”, и поэтому “однозначных связей в физико-географической среде не бывает” (Арманд, 1949. С. 89—90).

Стохастическую природу окружающего мира Н. Н. Моисеев (1986) интерпретирует в терминах “классических” механизмов эволюции: “Изменчивость... создает то поле возможностей, откуда механизмы отбора отфильтровывают и формы существования, и формы движения, которые будут реализованы природой. Другими словами, любой процесс развития должен содержать стохастические составляющие” (С. 71).

Д. Л. Арманд (1950), обосновывая свою концепцию о месте и роли функциональных и корреляционных связей между типами растительности и климатом, пишет: “Корреляция является тем типом связи, который присущ всем процессам, изучаемым физической географией. Поэтому методы математической статистики, специально разработанные для изучения корреляционных связей и применяемые в настоящее время лишь в некоторых географических дисциплинах, имеют универсальное значение” (С. 19).

В отличие от функциональной связи, при корреляционной число независимых переменных является условным, поскольку за рамками анализа всегда имеется множество “случайных” переменных, каждая из которых может быть подвергнута анализу в качестве независимой (аргумента). По точкам, соответствующим фактическим данным исследуемых факторов, строится “эмпирическая линия регрессии”. Соответственно “эмпирическая закономерность отличается от теоретической тем, что не содержит элемента объяснения закономерности, но лишь констатацию ее” (Арманд, 1949. С. 93), и кроме того, “любое феноменологическое описание работает только до тех пор, пока продолжают работать по-старому существенные и часто неизвестные нам механизмы” (Виленкин, 1978. С. 16). Л. О. Карпачевский (1981) тоже подчеркивает, что подобную модель нельзя экстраполировать за пределы фактических значений факторов, она учитывает не причину воздействия фактора на продуктивность насаждений, а лишь взаимосвязь их, не раскрывая механизма взаимодействия. Впрочем, последнее характерно для всего класса индуктивных моделей.

Тем не менее эмпирическая закономерность дает возможность синоптического прогноза наиболее вероятного значения функции при заданных значениях аргументов. Как будет показано, подобные закономерности выводятся и используются на каждом из трех уровней оценки продукционного потенциала лесов: климатическом, эдафическом и биоценотическом.

Математическая статистика изначально базировалась на четких предположениях, соответствующих весьма идеализированным ситуациям (условия нормальности и аддитивности ошибок, детерминированности факторов и

др.). А. М. Молчанов (1979), например, полагает, что “закону больших чисел повезло на общественное внимание. О нем часто говорят и пишут, хотя значительно реже понимают” (С. 117). Имея в виду нормальное распределение как один из вариантов упомянутого закона, А. М. Молчанов напоминает: “Еще Анри Пуанкаре писал, что математики считают его экспериментальным фактом, а физики думают, что все это доказано математиками” (Там же. С. 117).

Практическое экспериментирование привело со временем к размыванию жесткости предпосылок и откровениям типа: “Нормальность превратилась не более чем в частный случай” (Адлер, Горский, 1986. С. 12) либо вообще: “Нормальный закон как закон ошибок неверен” (Тутубалин и др., 1999. С. 18). Поэтому экспериментатору приходится переходить с “гладкой дороги нереальных предпосылок, произвольных критериев и абстрактных результатов на каменистый путь реальных проблем” (Налимов, 1971. С. 68). Здесь автор ограничится рассмотрением лишь некоторых актуальных для пользователя-нематематика аспектов применения классического регрессионного моделирования, уходя от анализа альтернативных и более продвинутых подходов — самоорганизующихся моделей, ридж-регрессий и др. (см., например, Ивахненко, 1969, 1982; Розенберг, Феклистов, 1982; Дрейпер, Смит, 1986, 1987).

Обсуждая возможные варианты обработки результатов измерений, В. Н. Тутубалин с соавторами (1999) считают наиболее приемлемым метод наименьших квадратов, составляющий основу регрессионного анализа. Хотя основы матричной алгебры, по алгоритмам которой рассчитываются коэффициенты многофакторной регрессии, заложены еще в XVIII веке, в силу ограниченных возможностей вычислительной техники, но главное, в силу того, что биология тогда еще не претендовала на статус количественной науки, обработка результатов измерений долгое время сводилась к установлению парных зависимостей. Со времен И. Ньютона в течение 200 лет точные науки имели дело лишь с хорошо организованными системами, когда результаты исследований описывались легко интерпретируемыми функциональными связями, которым приписывалась роль абсолютных законов, а методология однофакторного эксперимента считалась единственно правильной (Налимов, 1971).

Преимущества многофакторного эксперимента в условиях плохо организованных (диффузных) систем были показаны Р. Фишером (Fisher, 1924) в 1920-е годы, а в 1930-е годы А. К. Митропольским (1937, 1939) предложены алгоритмы расчета многофакторных регрессий. Однако подвижников, которые бы отважились на подобные расчеты с помощью арифмометра, долгое время не находилось. Наступление 1950—1960-х годов ознаменовалось в экологии “мистикой электронных вычислительных машин” (Тутубалин и др., 1999. С. 201), “регрессионным бумом” (Адлер, Горский, 1986. С. 7) и развитием методов планирования эксперимента (Налимов, Чернова, 1965). Регрессионный анализ стали считать “методом века” (Адлер, Горский, 1987).

Как известно, планируемый эксперимент может быть активным и пассивным, но в обоих случаях основное требование — воспроизводимость его результатов. При активном эксперименте объект исследования управляется путем задания действующим на него факторам определенных значений,

когда все уровни некоторого фактора комбинируются со всеми уровнями остальных факторов. В биологических дисциплинах исследователь имеет дело с пассивным экспериментом, т. е. "пассивно наблюдает за тем, как эксперимент ведет природа" (Налимов, 1971. С. 161). При этом все факторы не только не управляемы, но и тесно коррелированы с неучтенными факторами и между собой, что ведет к смещению оценок. Последнее обстоятельство порождает некоторые потенциально опасные ситуации, часть которых обсуждалась Дж. Боксом (Box, 1966).

Первая ситуация. Ошибка в модели или плохая воспроизводимость эксперимента не является случайной, а обусловлена действием скрытых (латентных) или дрейфующих факторов, не регистрируемых в ходе эксперимента. В этом случае возможно привлечение специальных методов планирования (Маркова, Лисенков, 1973).

Вторая ситуация. Действующие факторы при эксперименте измеряются в искусственно суженных диапазонах, что приводит к занижению коэффициента регрессии. С увеличением диапазона варьирования фактора абсолютная величина коэффициента регрессии возрастает (Адлер и др., 1976; Усольцев, 2002в). Кроме того, при сужении естественных диапазонов два фактора (в принципе ортогональных при условии, если эксперимент спланирован) становятся тесно коррелированными, и один из коэффициентов регрессии при таких факторах оказывается статистически незначимым. По-видимому, по этой причине у В. В. Кузьмичева (1977) при расчете зависимости среднего диаметра древостоя (D) от трех массообразующих показателей: возраста (A), средней высоты (H) и среднего расстояния между деревьями (величины, обратной густоте N) — возраст оказался скоррелированным со средней высотой древостоя и отсеялся как статистически незначимый.

Третья ситуация проявляется при выборе структуры модели. Поскольку в реальном эксперименте и соответствующей регрессии число статистически значимых факторов ограничено (обычно не более 5—6), а в реальном насаждении можно измерить гораздо большее их количество и большая их часть коррелирована по определению (объективно), то возникает проблема отбора наиболее информативных из них. Имеющиеся алгоритмы отбора, или планы отсеивания (Налимов, Чернова, 1965; Налимов, 1971) требуют специальной подготовки и программного обеспечения, совмещенного со стандартными программами обработки данных, и поэтому не нашли пока применения у биологов.

Метод наименьших квадратов предполагает наличие линейности исследуемой зависимости, тогда как более обычны (в том числе в условиях лесной экосистемы) нелинейные связи, среди которых линейная — частный случай. Поэтому либо используют полиномную аппроксимацию (последовательную совокупность линейных связей функции с аргументом, вводимым в первой, второй, третьей и т. д. степенях), либо в случае монотонных нелинейных зависимостей прибегают к приемам линеаризации, в частности, логарифмическому преобразованию. Некорректная линеаризация зависимости при построении структуры модели создает *четвертую ситуацию*, чреватую смещением оценок.

Но еще более сложной представляется *пятая ситуация*, связанная с учетом одновременно действующих факторов — синергизмов. А. М. Мауринь с соавторами (1977) путем ввода в трехфакторную линейную модель

прогноза плодоношения тсуги канадской произведений и квадратов предикторов повысили коэффициент детерминации R^2 с 0,476 до 0,790. Однако достаточно надежного математического аппарата для анализа подобных взаимовлияний пока не разработано.

Наконец, *шестая ситуация*, опасная в аспекте воспроизводимости, связана с тем, что в целях сокращения числа действующих факторов некоторые из них стремятся объединить в один, включающий в себя в сжатой форме информацию об основных воздействиях на объект. Например, уравнение Спурра, широко применяемое в лесной таксации для оценки объема ствола, включает в себя в качестве предиктора так называемый видовой цилиндр d^2h , или произведение квадрата диаметра на высоту ствола, т. е. основные массообразующие показатели ствола. Слабая изменчивость полноты обусловила высокую адекватность уравнения при оценке объема и массы ствола: при одном и том же значении d^2 масса ствола увеличивается прямо пропорционально его высоте. По молчаливому согласию ряд зарубежных и отечественных исследователей стали повсеместно применять этот агрегированный предиктор и при оценке массы кроны, хотя каких-либо убедительных предпосылок для такого переноса нет: при одном и том же d^2 масса кроны дерева с увеличением его высоты не возрастает подобно массе ствола, а напротив, снижается. В совокупности древостоев разного возраста это объясняется сдвигом рангового положения дерева одного и того же диаметра с возрастом древостоя, а в совокупности древостоев разной производительности — большим развитием ассимиляционного аппарата с ухудшением условий произрастания при одинаковой толщине деревьев.

В условиях реального эксперимента некорректность структуры уравнения с видовым цилиндром в качестве предиктора при оценке массы кроны проявляется в меньшей его детерминированности по сравнению с уравнением, имеющим в качестве предиктора только диаметр d . Расчет таких уравнений по совокупности 320 модельных деревьев в сосняках, взятых в диапазоне пяти классов возраста и бонитета дал значения R^2 для массы хвои 0,669 — по d^2h и 0,758 — по d , для массы ветвей — соответственно, 0,810 и 0,870. Подобная закономерность проявилась и при оценке массы крон по совокупности 104 деревьев, сплошь вырубленных в 45-летнем березняке: R^2 для массы листвы составил, соответственно, 0,925 и 0,939, для массы ветвей — 0,899 и 0,924 (Усольцев, 1988).

Аналогичная ситуация имеет место и на уровне древостоя: если при оценке запаса стволовой древесины (M , $\text{м}^3/\text{га}$) использование полноты ($0,785 D^2N$) в формуле запаса ($M = 0,785 D^2HNF$, где D и H — соответственно, средние диаметр и высота; N — число стволов на 1 га и F — видовое число) логически обосновано, то при оценке фитомассы крон (полога) это далеко не очевидно. Преимущество густоты (N) перед полнотой ($G = 0,785 D^2N$) при оценке массы охвоенных побегов сосны на 1 га было статистически доказано С. Б. Байзаковым (1969), но позднее к такому же выводу приходит В. В. Кузьмичев (1977) и при оценке запаса стволовой древесины.

Агрегированный фактор — полнота оказывается несостоятельным в качестве предиктора при оценке фитомассы древесного полога, поскольку при одном и том же D^2 масса кроны с увеличением N не возрастает монотонно, как это имеет место при оценке запаса стволов, а изменяется по колоколообразной кривой, т. е. вначале увеличивается, а затем снижается. В

результате при одном и том же значении G , но противоположных по величине составляющих D и N фитомасса крон в древостое различается в 2—3 раза (Усольцев, 1998, 2001).

Изложенное имеет целью объяснить логику структурирования многофакторных моделей лесной фитомассы, разработанных на обширном экспериментальном материале для 13 лесообразующих пород Северной Евразии

$$P_i/M \text{ или } P_i = f(A, D, H, N, M), \quad (1.1)$$

где P_i — фитомасса в абсолютно сухом состоянии стволов с корой, коры стволов, скелета ветвей, хвои, корней и нижних ярусов растительности (соответственно, $P_s, P_{sb}, P_b, P_f, P_r$ и P_u), т/га; M — запас стволовой древесины, м³/га; A — возраст древостоя, лет; D (см) и H (м) — соответственно, средние диаметр и высота древостоя; N — число стволов, тыс. экз/га. В модели (1.1) сумма площадей сечений G расчленена на составляющие D и N . Попытка включить в модель агрегированный показатель G всегда оказывалась безуспешной вследствие его статистической недостоверности (Усольцев, 1998, 2001, 2002a). И тем не менее, несмотря на очевидную полезность расчленения полноты древостоя на составляющие, при расчете регрессионных моделей фитомассы продолжается использование агрегированного предиктора — полноты (Нагимов и др., 2001; Грешилова, 2003).

Поскольку “оценки коэффициентов регрессии в реальных задачах так называемого пассивного (т. е. непланируемого) эксперимента всегда все же оказываются смещенными в силу того обстоятельства, что никогда нельзя включить в рассмотрение все независимые переменные, ответственные за изучаемое явление” (Налимов, 1994. С. 281), при построении модели приходится искать компромисс между приемлемыми уровнями их точности, с одной стороны, и простоты — с другой. Поэтому, прежде чем отстаивать и рекомендовать ту или иную “упрощенную” регрессионную модель, вместо довода: “Мы склонны считать...” (Нагимов и др., 2001. С. 142), неплохо бы оценить ее по минимуму упомянутых В. В. Налимовым смещений.

Таким образом, все возрастающие возможности вычислительной техники провоцируют исследователя на довольно рискованные пассивные эксперименты. Загружая в компьютер многофакторные матрицы данных, надо иметь в виду, что математическое моделирование, по В.В. Налимову (1971) и Р. Мак-Лоуну (1979), — это искусство применения логики и математики, а не просто умение запускать стандартную программу.

Неслучайно Д. Л. Арманд (1949) предупреждает исследователей от формального применения математики: “В географии математический анализ связей не должен заменять выяснения их сущности, причин и механизма” и далее цитирует известного статистика А. А. Чупрова: “Знание связей, остающихся без истолкования или неверно истолковываемых, часто хуже полного незнания. Недостаточное внимание к этому обстоятельству является одним из злейших статистических преступлений” (С. 92).

Дедуктивное моделирование. В данной группе моделей исследователи идут “от теории”, т. е. в отличие от предыдущей группы моделей эти “являются математической записью представлений автора модели о способе действия объекта” (Ивахненко, 1982. С. 24). Применительно к оценке продукционного потенциала растительного покрова группа дедуктивных моделей

включает в себя описание в том или ином объеме энергетических потоков и процессов круговорота веществ. Необходимым структурным элементом в таких моделях являются, как правило, характеристики ассимиляционного (листового) аппарата, определяющего степень перехвата солнечной энергии на входе в экосистему.

До недавнего времени первичная продуктивность отождествлялась многими биологами с фотосинтезом. В действительности связь этих двух явлений не так проста. Если уравнение фотосинтеза было сформулировано еще в XIX столетии (Rabinowitch, 1971), а на рубеже XIX и XX столетий был экспериментально исследован углеродный баланс и процесс накопления углерода на уровне отдельных растений (Крашенинников, 1901), то факторы, обуславливающие первичную продуктивность растительного покрова, количественно изучаются по сей день.

Хотя солнечная радиация определяет фотосинтетический потенциал растительности, соотношение между ним и потенциальной продуктивностью фитомассы до конца неясно. Е. Д. Форд и А. И. Фрейзер (Ford, Fraser, 1968) полагали, что фотосинтетический потенциал можно оценить путем построения математической модели, учитывающей характер перехвата света лесным пологом. Схема такого перехвата является функцией структуры полога, которая в свою очередь является функцией характера распределения деревьев на площади. А все вместе взятое может быть опосредовано индексом листовой поверхности LAI (m^2/m^2) — отношением поверхности листьев к площади, занимаемой фитоценозом.

Одно из направлений в построении функциональных моделей основано на физиологических законах, лежащих в основе зависимости интенсивности и продуктивности фотосинтеза от фотосинтетически активной радиации (ФАР) и температуры воздуха. Наиболее простой вид подобного класса моделей представляет собой зависимость первичной продуктивности от энергии поглощенной ФАР, умноженной на КПД ФАР и деленной на теплоту сжигания 1 г сухого вещества (Тооминг, Гуляев, 1967).

Более точное выражение продуктивности учитывает потери на дыхание, величина которых в очень значительной степени определяется гидро-термическим режимом территории: если в бореальных хвойных лесах названные потери составляют около 33 %, то в тропических дождевых — до 75 % от брутто-фотосинтеза (Brunig, 1967). В наиболее упрощенном виде (первом приближении) потери на дыхание принимаются пропорциональными листовой поверхности. В этом случае первичная продуктивность находится как разность общей величины ассимиляции углекислоты слоем растительного покрова, определяемой значением ФАР, и расхода на дыхание, определяемого суммарной поверхностью листьев. Подобная формула дает возможность установить при данном уровне ФАР оптимальную поверхность (массу) листьев, обеспечивающую максимум первичной продукции для однородного слоя (Monsi, Saeki, 1953; Будыко, 1964; Ефимова, 1977). Теоретическая формула М. Монси и Т. Саеки была проверена ими на фактических данных П. Бойзен-Йенсена (Boysen Jensen, 1932) и показала хорошее соответствие им. Перечень многочисленных работ, посвященных моделям фотосинтеза, радиационного режима в пологе, дыхания и др. с использованием индекса листовой поверхности LAI и плотности листовой поверхности — отношения поверхности листьев к объему занимаемо-

го фитоценозом пространства — LAD ($\text{м}^2/\text{м}^3$) дан в обзоре А. И. Уткина (1975).

Однако размеры фотосинтетического аппарата определяются не только листовой поверхностью, но и толщиной листовой пластинки. Согласно “концепции максимальной продуктивности” (Каллис и др., 1974), развитие листа у растения исторически шло в направлении максимизации его продуктивности, и в результате адаптации к режиму ФАР удельная плотность листа (сухая масса единицы его поверхности) и диффузионная проводимость CO_2 листьев изменяются взаимосвязанно с коэффициентом корреляции 0,70—0,75. Поэтому удельная плотность листьев рассматривается в качестве “экологического показателя функций фотосинтеза и дыхания” (Там же. С. 5), а отбор генотипов с максимальной удельной плотностью и фотосинтетической активностью листовой — как один из путей повышения продуктивности растительного покрова.

Выявление зависимостей типа *продуктивность* ~ *ФАР* носило локальный характер и давало оценку теоретически возможной продуктивности растительного покрова, полученную путем экстраполяции результата на ту или иную занимаемую растительным сообществом территорию. По мере накопления информации о процессах, протекающих в лесном биогеоценозе, и по мере развития компьютерного обеспечения появилась возможность математического описания более широкого круга явлений, характеризующих функционирование биогеоценоза в терминах “биокибернетики” (Смирнов, 1978). Рассматривая биогеоценоз как кибернетическую систему, Т. Э.-А. Фрей (1971) пишет: “Понятия жизнь и регуляция настолько тесно взаимосвязаны, что следует удивляться не тому, что принципы кибернетики и теории информации применяются с большим успехом в биологических исследованиях, а скорее всего тому, что эти дисциплины возникли в технической, а не в биологической области науки” (С. 293). Со временем стало понятно, почему: методология физики (“физикалистский” подход) опережала в своем развитии принципы системологии (экосистемный подход) (Флейшман, 1986).

Подобные описания продукционного процесса на основе компьютерных имитаций позволили прогнозировать поведение экосистемы в условиях, отличающихся от некоторых исходных. Общий принцип построения подобной модели — это использование закона сохранения в процессах переноса вещества (или энергии) между компонентами экосистемы. Модель включает в себя наборы как внешних переменных (ФАР, температурный и водный режимы, концентрация CO_2 , количество микроэлементов в почве и др.), так и внутренних (фитомасса листовой и других компонентов растительности, количество элементов питания в фитомассе и др.). Вопрос, несут ли подобные модели только предсказательную функцию, или же наряду с ней и объяснительную, — остается дискуссионным (Флейшман, 1978, 1986; Рачко, 1979; Розенберг, 1981; Кулл, Оя, 1984).

Но есть еще один, более высокий уровень неопределенности, связанный с проблемой моделирования биопродукционного процесса, на который обращает внимание Е.-Д. Шульце (Schulze, 2000b). Наше понимание биологии основных биогеохимических циклов первоначально пришло от натурных наблюдений и до сих пор базируется на них (Bolin et al., 1979; Clark, Rosswall, 1981; Apps, Price, 1996). Но это находится в противоречии с идеологией ими-

тационного моделирования, основанного на физике климатической системы, на законах физики и химии, которые дают механистическое представление об основополагающих процессах (Houghton et al., 1996; Bengtsson, 1999). Еще И. Шмитхюзен (1966) писал, что “явления, происходящие в органическом мире, невозможно объяснить одними лишь физическими законами”, хотя “сама жизнь в свою очередь подчиняется законам физики” (С. 10).

Для биолога отклики организмов на среду обитания выходят далеко за рамки физико-химических реакций, включают в себя генетически регулируемые изменения на физиологическом уровне либо активирование энзимных систем как составной части акклиматизаций и адаптаций и связаны с изменениями климата и видового состава. Прогностическая способность таких моделей очень низкая вследствие обилия видов растительности и многовариантности протекающих в них процессов. Более того, круговорот таких элементов, как углерод, нельзя просто отделить от круговорота других элементов, особенно азота, с учетом наличия и статуса последнего (Schulze et al., 1994) и с учетом того, что он, в свою очередь, связан с круговоротом других элементов питания (Ulrich, 1987). Хотя климат в значительной степени обуславливает биогеохимические циклы, модели, построенные на биологической основе, имеют пока коррелятивный уровень (Schulze, 2000b).

При построении имитационных моделей экосистем обычно бывает задействована вся имеющаяся информация об их структуре и поведении. Поскольку она получена биологами и экологами при разработке частных вопросов, то по отдельным из них она чересчур детализирована, а по другим — неполная. Из-за нехватки информации исследователю-“модельеру” бывает трудно установить адекватную структуру связей подсистем, и модель может не дать удовлетворительного прогноза (Розенберг, 1981; Свирев, 1981; Кулл, Оя, 1984). Поэтому дедуктивное моделирование, как и ранее обсуждаемое индуктивное (регрессионное), является в большей степени искусством, нежели наукой (Шеннон, 1978).

Как и упоминавшиеся регрессионные модели, имитационное моделирование может быть применено для описания функционирования растительных сообществ на любом уровне их организации и изучения.

1.4. ФАКТОРЫ СРЕДЫ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ НА УРОВНЕ СОВОКУПНОСТИ ЭКОРЕГИОНОВ ИЛИ КОНТИНЕНТА

1.4.1. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Известно, что структура и функционирование лесного покрова полностью определяются условиями внешней среды. В этой связи Г. Ф. Морозов (1931b) писал: “Все стороны жизни леса как сложного организма, как социального целого — и степень энергии борьбы за существование, и степень изменения обстановки под пологом, и соотношение между породами, и характер живого и мертвого почвенного покрова, рост, плодоношение и возобновление леса... — все это находится под железной властью окружающих местных или, лучше сказать, географических условий среды” (С. 88—89).

Как уже отмечалось выше, потенциальная продуктивность по определению оценивается экстенсивными методами и факторами (Лебков, 1973). Факторы окружающей среды, обуславливающие потенциальную продуктивность растений, Е. Д. Форд и А. И. Фрейзер (Ford, Fraser, 1968) объединяют в три группы:

- непосредственно используемые в ростовом процессе, т. е. видимая радиация, двуокись углерода, кислород, вода и элементы питания; эти факторы, за исключением видимой радиации, можно рассматривать как пулы в окружающей среде, из которых растение может по мере надобности их извлекать (Donald, 1963);

- непосредственно не используемые в ростовом процессе, но влияющие на степень использования факторов первой группы, т. е. температура воздуха и почвы, влажность и скорость ветра;

- регулирующие активность меристемы, т. е. продолжительность светового дня и температура.

Солнечную радиацию Е. Д. Форд и А. И. Фрейзер рассматривают не как пул, из которого растения ее черпают, а как сиюминутный и невозобновимый ресурс, определяющий верхний предел продуктивности растений в любом местообитании (Вернадский, 1926; Loomis, Williams, 1963; Jarvis, Leverenz, 1983). Оценка этого предела как *абсолютной потенциальной продуктивности*, не зависимой от древесного вида и лесохозяйственного вмешательства, может быть получена в предположении, что общая годовичная приходящая радиация превращается в химическую энергию при максимальной квантовой эффективности (quantum efficiency).

Однако солнечная радиация не является фактором, повсеместно лимитирующим продуктивность лесов. Например в условиях Британии к таким относятся эдафические (которые могут быть изменены лесоводственными мероприятиями) и климатические (не подверженные изменению лесоводственными приемами). Для любой системы предел продуктивности, достигаемый лесоводственными мероприятиями, определяется факторами (например, климатическими), которые находятся вне их контроля. Путем модификации контролируемых (например, эдафических и ценологических) факторов фактическая продуктивность "подтягивается" к названному пределу, который Е. Д. Форд и А. И. Фрейзер называют *хозяйственной потенциальной продуктивностью*.

Факторы, определяющие хозяйственную потенциальную продуктивность, варьируют в связи с условиями местообитания, и их влияние на рост дерева зависит, как известно, не только от древесного вида, но и от его провениенции (происхождения). Соответственно хозяйственная потенциальная продуктивность должна определяться с учетом провениенции вида, произрастающего в данном местообитании (Ford, Fraser, 1968).

Дж. Н. Блэк (Black, 1964) применил понятие потенциальной продуктивности при анализе факторов, лимитирующих рост однолетней культуры клевера подземного (*Trifolium subterraneum* L. var. *Vacchus* Marsh) в Аделаиде, южная Австралия. Его оценки потенциальной продуктивности получены по комбинации средненедельного значения солнечной радиации, приходящей в течение года, — с одной стороны, и экспериментально полученного соотношения приходящей солнечной радиации, индекса листовой поверхности и скорости роста — с другой.

Была проведена серия экспериментов, показавшая, что для данного средненедельного значения солнечной радиации имеется оптимальный индекс листовой поверхности, при котором скорость роста максимальна. Исходя из общего соотношения между оптимальным индексом листовой поверхности и солнечной радиацией, определены средненедельные значения названного индекса и соответствующей скорости роста. Годичная потенциальная продуктивность рассчитана как сумма максимальных средненедельных скоростей роста. Поскольку влияние температуры на рост было незначительным, эта продуктивность определена в терминах только одного фактора среды — солнечной радиации (Black, 1963, 1964).

Подобный подход Е. Д. Форд и А. И. Фрейзер полагают не пригодным для лесов в условиях Британии, где солнечная радиация не определяет предел роста, а единственно приемлемым считают оценку хозяйственной потенциальной продуктивности и рассмотрение определяющих ее факторов. Это факторы третьей группы, определяющие период активного роста. При конкретной величине последнего есть предел продуктивности, определяемый солнечной радиацией. Из факторов второй группы, лимитирующих хозяйственную потенциальную продуктивность, главный фактор — температура, обуславливающая также интенсивность, с которой растения извлекают для себя те или иные ресурсы среды, находящиеся в ее пулах.

Таким образом, Е. Д. Форд и А. И. Фрейзер выделяют солнечную радиацию из категории климатических факторов и рассматривают два уровня потенциальной продуктивности лесов. Первый — абсолютная потенциальная продуктивность, определяемая только солнечной радиацией, и второй — хозяйственная потенциальная продуктивность, определяемая уровнем климатических факторов, который специфичен для каждого экорегиона и к которому подтягивается фактическая продуктивность путем модификации эдафических и ценологических факторов. При этом, если хозяйственные мероприятия сосредоточиваются “на местообитаниях со значительным дефицитом факторов среды, они не приведут к реальному прогрессу в повышении общего уровня продуктивности наших лесов” (Ford, Fraser, 1968. С. 180). Подобное вычленение солнечной радиации из комплекса климатических факторов в дальнейшем не получило распространения в исследовании потенциальной продуктивности растительного покрова, поскольку весь комплекс, включая солнечную радиацию, можно отнести к категории *абиотических* (Schütt, 1974; Чуенков, 1977).

Указанные реакции растительных сообществ на абиотические факторы в условиях Британии и Австралии обусловлены географически и характеризуют обезличенный растительный покров. Этот феномен имеет повсеместное подтверждение. Еще К. В. Торнтвейтом (Thornthwaite, 1931, 1948) в условиях Северной Америки установлено, что в теплом климате характер растительности определяется относительным увлажнением, а в холодном — термическим фактором. Если в теплых условиях Австралии температурный фактор не влиял на уровень потенциальной продуктивности растений, то в арктических условиях он определяет скорость роста путем подавления дыхания и отложения ассимилятов в большей степени, чем ассимиляцией двуокси углерода (Warren Wilson, 1966).

К подобному выводу пришли К. Б. Лосицкий и В. С. Чуенков (1980) при оценке совокупности климатических факторов продуктивности лесов: “В

северных районах европейской части СССР в пределах северной и средней тайги рост произрастающих здесь древесных пород лимитируется недостатком тепла при избытке влаги, ...на юге лесостепной зоны (южная и восточная лесостепь) достаточно тепла, но не хватает влаги” (С. 42—43). О тенденции ужесточения условий жизнедеятельности от лесостепи к югу и северу Европейской России и соответственного увеличения относительной доли корней в фитомассе лесных насаждений писал С. В. Зонн (1969), усматривая причины феномена на юге — в недостатке влаги, а на севере — в недостатке тепла.

Аналогичная закономерность прослежена в Сибири по Енисейскому меридиану при расчете первичной продукции сосновых фитоценозов по коэффициенту увлажнения (отношению осадков к испарению): если в районе Нижней Тунгуски потенциальная продуктивность фитомассы лимитируется недостатком тепла при значительном увлажнении территории и составляет 4—5 т/га в год, то в степях Тувы ограничивающим фактором является влага при достаточном теплообеспечении, а потенциальная продуктивность составляет 5—6 т/га в год. Оптимальные условия роста сосняков (потенциальная продуктивность 7—10 т/га в год) приходятся на территорию между 53 и 58° с.ш. — лесостепь и прилегающие южнотаежные территории (Горбатенко, 1975).

Анализ упомянутых работ позволяет сделать вывод, что уровень потенциальной продуктивности в различных экорегионах планеты определяется специфическими вкладами солнечной радиации, температуры, влажности и других факторов. Возможно, по аналогии с выявлением активных периодов воздействия экологических факторов на продуктивность растительного покрова во временной динамике (концепция оптимума экологического фактора) (Поспелова, 1977; Лиела, Дрике, 1977; Лиела, 1980) есть смысл установления подобного оптимума и для климатических факторов в пространственной динамике наряду с одновременным выявлением лимитирующих климатических факторов в каждом экорегионе.

Сказанное находится в соответствии с законом совокупного действия природных факторов Э. Митчерлиха — А. Тинемана — Б. Бауле (Реймерс, 1994): величина урожая зависит не от отдельного, пусть даже лимитирующего фактора, но от всей совокупности экологических факторов одновременно с подсчетом “веса” (коэффициента действия) каждого из них.

Кроме уже рассмотренной географически обусловленной избирательности по отношению к абиотическим факторам *обезличенного* растительного покрова, различаются и реакции *конкретного вида* на один и тот же действующий фактор. Характер географического распределения растительных видов Г. Люндегорд (1937) рассматривает как выражение их “приспособления к факторам, находящимся в минимуме” (С. 323). Он пишет: “Нет сомнения, что географическое распределение форм, приспособленных к борьбе, очень точно передает игру экологических условий. По-видимому, единственно правильной является здесь экологическая классификация, выросшая на основе теории естественного отбора. Однако у нас почти нет наблюдений относительно мезофитов. К климатическим и эдафическим факторам здесь в значительной степени присоединяются биотические, и так как все факторы находятся в максимуме... или в оптимуме их действия, экспериментально-экологический анализ ...стано-

вится более трудным по мере того, как понятие *форма приспособления* начинает получать расширительное содержание. Согласно закону относительности, в области максимума экологический фактор обладает очень незначительным относительным действием. Поэтому в сообществах мезофитов значительное изменение фактора может остаться без соответствующего действия. Этим объясняется то обстоятельство, что мезофитные растительные сообщества оказываются часто очень постоянными и встречаются в местностях, не одинаковых в климатическом и эдафическом отношениях. ...Трудность классифицировать мезофитные растения и растительные сообщества с чисто экологической точки зрения объясняется тем, что они согласно закону относительности менее чувствительны к изменениям климатических и эдафических факторов" (Там же. С. 323—324). И далее: "Когда ни один фактор не находится явно в минимуме, требуется очень обстоятельный анализ, и при этом необходимым условием должно быть ясное понимание значения закона относительности" (Там же. С. 337).

Позднее подобный подход был развит Л. О. Карпачевским (1981), который значение экологического фактора для продуктивности насаждения оценивал информационно-логическим методом по величине коэффициента передачи информации путем ранжирования значений продуктивности и экологических факторов. Названный коэффициент служит у него показателем относительной экологической пластичности древесной породы: чем она более экологически пластична, чем шире диапазон каждого фактора, который она выдерживает, тем менее тесная связь существует между ее продуктивностью и условиями произрастания. Несмотря на это, взгляда придерживался швейцарский эколог Э. Рюбель (Rübel, 1935), подчеркивая, что при изучении совместного действия экологических факторов необходимо иметь в виду, что каждый из них может только тогда полностью проявить себя, когда другие факторы действуют в достаточной мере.

Таким образом, выявление оптимальных и лимитирующих абиотических факторов при оценке потенциальной продуктивности актуально не только для обезличенного растительного покрова, но и для каждого из составляющих его видов.

Сегодня общепризнанно, что основными абиотическими факторами потенциальной продуктивности растительных сообществ являются характеристики гидротермического режима среды. Идея сопоставления осадков с расходами влаги на испарение для оценки степени увлажнения местности и условий роста принадлежит В. В. Докучаеву. В его работах конца XIX столетия выделенные им географические зоны (тундра, лесная зона, лесостепь, степь, сухая степь, пустыня, латеритная зона) впервые были количественно связаны с климатическими факторами — соотношением осадков и возможного испарения: тундра — осадков менее 400 мм при минимальном испарении; северная подзона тайги на подзолах — осадков 500—600 мм при возможном испарении 300—400 мм; степная зона на черноземах — осадков 400—500 мм при таком же испарении; зона пустынь — осадков 100—200 мм при возможном 5-кратном испарении, а также продолжительностью холодного или теплого периодов (Докучаев, 1948). Г. Н. Высоцкий (1905, 1960) охарактеризовал рассматриваемые им четыре природные зоны (влажная лесная область, переходная лесостепная область, умеренно сухая степь и

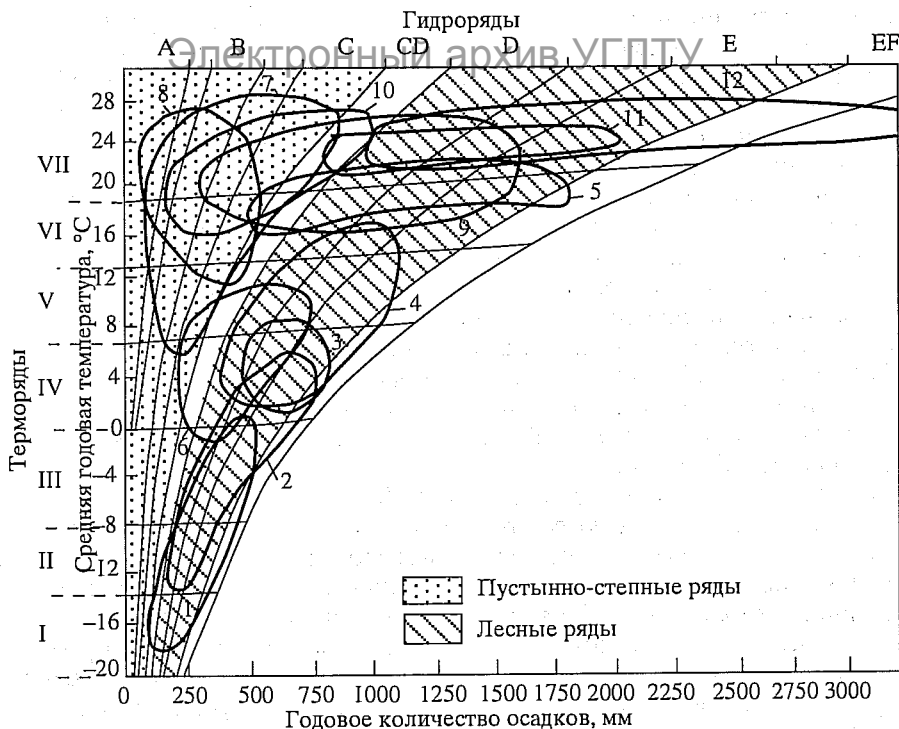


Рис. 1.4. Схема распределения почвенно-климатических и фито-климатических ареалов суши в координатах термо- и гидрорядов (Волобуев, 1947).

Гидроряды (и соответствующие им почвенные гидротипы): А — экстрааридный (пустынный); В — аридный (сероземный); С — семиаридный (каштановый); D — семигумидный (черноземный); Е — гумидный (подзолистый); F — пергумидный (глеево-подзолистый).

Терморяды: I — арктический, II — субарктический, III — умеренно холодный, IV — умеренный, V — умеренно теплый, VI — субтропический, VII — тропический.

1 — тундры; 2 — хвойные леса; 3 — смешанные хвойно-широколиственные леса; 4 — лиственные леса, сбрасывающие листву на зиму; 5 — вечнозеленые леса тропиков и субтропиков; 6 — степи, прерии и пампасы; 7 — полупустыни; 8 — пустыни; 9 — саванны; 10 — тропические редколесья и кустарники; 11 — тропические леса, сбрасывающие листву на сухое время года; 12 — гиллы

южная сухая степь) соответствующими отношениями осадков к испарению (коэффициентами увлажнения): 1,24; 0,97; 0,63 и 0,33.

На этом же принципе была реализована попытка Р. Ланга (Lang, 1915; цит. по: Волобуев, 1945) связать почвообразование и климат в форме градаций “фактора увлажнения”, под которыми Р. Ланг понимал отношение среднегодового количества осадков P к среднегодовой температуре T .

По современным представлениям (Тюрюканов, Федоров, 1996), не только климат, но и почва является одним из основных факторов энергообеспечения растительного покрова. По-видимому, впервые после В. В. Докучаева сопряженное влияние климата и почвы на жизнь растений и зональность растительного покрова суши было детально проанализировано и раскрыто Г. Лյондегордом (1937). В. Р. Волобуев (1945, 1947) вводит понятия *почвенно-климатических* и *фито-климатических ареалов* суши и демонстрирует их сопряженность в координатах термо- и гидрорядов (рис. 1.4). Свою фито-климатическую систему он рассматривает как реализацию предложения академика В. Л. Комарова: “Наложить на гумбольдтовские (широтные) по-

ясы меридиональные зоны (в сущности являющиеся зонами увлажнения) и этим получить флористические округа, каждый со своим климатом, почвой и своим эндемизмом, а также и господствующим растительным пейзажем” (Волобуев, 1947. С. 203).

Все растительные формации суши Земли были подразделены Л. Р. Холдриджем (Holdridge, 1947, 1967) на 116 “зон жизни”, представленных в виде треугольной схемы (рис. 1.5) с тремя входами: среднегодовая температура (биотемпература), годовые осадки и эвапотранспирация. Последняя определяется как сумма осадков за вычетом стока и фильтрации или как суммарная величина эвапорации (испарения) и транспирации. По мнению Л. Р. Холдриджа, температура и атмосферные осадки играют главную роль в определении растительных формаций, хотя другие факторы среды (тип почвы, экспозиция) в пределах каждой климатической зоны могут оказывать сильное воздействие на растения.

Границы между разными зонами влажности определяются критическими отношениями количества осадков и потенциальной эвапотранспирации, а последняя зависит от температуры. Поэтому зоны влажности позволяют обоснованно связать температуру и количество осадков с потребностями растений в воде. Например, в мокрой тундре при годовом количестве осадков 25 см и средней температуре, близкой к точке замерзания, доступная растениям влага соответствует по количеству той, которая имеется во влажном тропическом лесу, где годовое количество осадков равно 400 см, а средняя температура +27° С.

В графической модели Л. Р. Холдриджа различия между растительными формациями связаны с относительными (в процентах) различиями в их климатических условиях. Температура или количество осадков в каждой зоне либо вдвое больше, либо вдвое меньше, чем в соседней зоне. Поэтому разница осадков в 25 см для аридных территорий эквивалентна разнице в 250 см для влажных тропиков.

Температурную шкалу Л. Р. Холдридж попытался обосновать с биологической точки зрения, предполагая, что биологическая активность прекращается при температуре ниже нулевой. Поэтому при расчете среднегодовой температуры (биотемпературы) зимние минусовые температуры были приняты равными нулю. Поскольку малые повышения температуры оказывают на биосистемы более сильное воздействие в диапазоне низких, а не высоких температур, температурные границы “зон жизни” определены на уровнях 1,5; 3; 6; 12 и 24 °С с таким расчетом, чтобы в каждой зоне температура была вдвое выше, чем в предыдущей. Это согласуется с повышением скорости испарения и биологической активности в связи с повышением температуры.

По мнению Р. Риклефса (1979), несмотря на ориентировочный характер схемы Л. Р. Холдриджа и недоучета многих существенных факторов, “есть все основания говорить, что климатические системы классификации жизненных зон выявляют всестороннее влияние температуры и влажности на растительные формации” (С. 83). Кроме того, как и таблица Д. И. Менделеева, она привлекает к себе формальной корректностью, простотой и логикой оформления.

В целом, основная сложность при оценке роли различных факторов в уровне потенциальной продуктивности растительного покрова состоит в

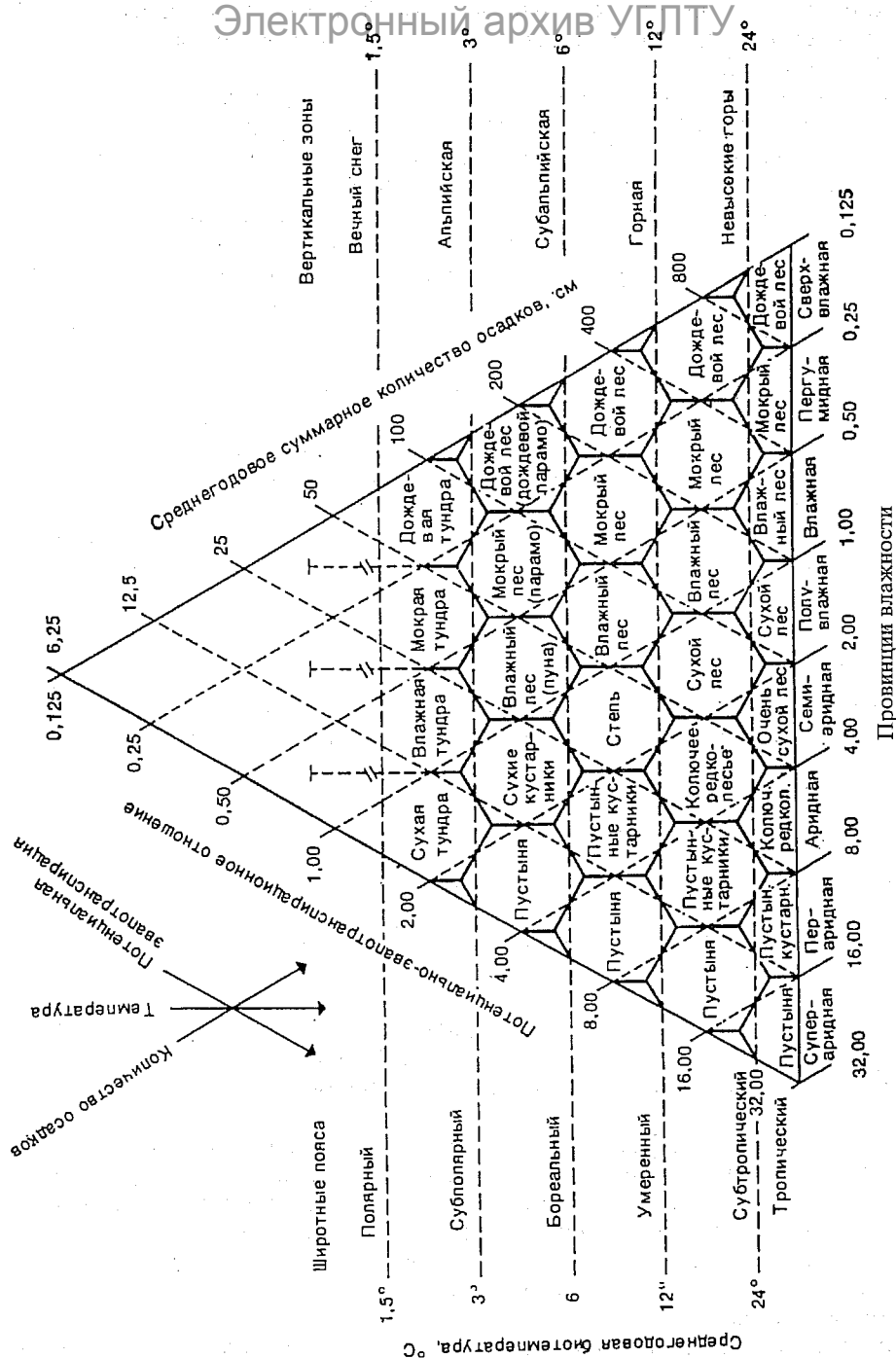


Рис. 1.5. Схема классификации растительных формаций Земного шара (Holdridge, 1967).

Среднегодовая биотемпература вычисляется по среднемесячным температурам, из которых значения ниже точки замораживания принимаются за 0 °С. Потенциально-эвапотранспирационное отношение (отношение потенциальной эвапотранспирации к количеству осадков) возрастает от влажных областей к засушливым

том, что в природе ни один из факторов не действует порознь, а всегда совместно с другими. Поэтому влияние одних факторов часто маскируется действием других (Rübel, 1935; Ярошенко, 1950). В этой связи разделение климатических и эдафических факторов по большей части условное. Конечно, потенциальная продуктивность фитоценозов определяется в первую очередь климатическими факторами (энергетическим входом и увлажнением). Но при этом невольно учитываются и эдафические факторы, даже если они не входят в модель, поскольку почва является функцией пяти почвообразователей, в том числе и климата (Карпачевский, 1981).

1.4.2. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА С ПОМОЩЬЮ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ

Первые попытки связать продуктивность лесных насаждений с климатическими факторами (Weck, 1954, 1955, 1960, 1970; Paterson, 1956, 1962) имели глобальный характер. И. Век и С. Патерсон попытались скоррелировать фактическую продуктивность лесов с климатическим индексом, представляющим собой интегральный показатель, в который в мультипликативной форме включены несколько климатических факторов.

Наибольшую известность получили формулы интегральных (комплексных) климатических индексов И. Века (Weck, 1955)

$$i = [Pn/(T + 10)92][(z - 60)/100], \quad (1.2)$$

где P — осадки мая—июля, мм; T — средняя температура воздуха в мае—июле, °C; n — число дней с осадками $\leq 0,1$ мм в мае—июле; z — число дней в году с положительными средними температурами; 60 — минимальное число дней с положительными температурами, необходимое для роста деревьев; С. Патерсона (Paterson, 1956)

$$CVP = (T_v PGE)/(12T_a)100, \quad (1.3)$$

где T_v — средняя температура самого теплого месяца, °C; T_a — амплитуда температур самого теплого и самого холодного месяцев, °C; P — годовое количество осадков, мм; G — продолжительность периода с температурами ≥ 7 °C, мес.; E — коэффициент эвапотранспирации, и Ж. Пардэ (Pardé, 1961)

$$i = \Delta TSP(G - 2)/(T_v - 10), \quad (1.4)$$

где ΔT — максимальная амплитуда суточных температур в течение вегетационного периода, °C; S — средняя продолжительность дня в период вегетации, ч; P — годовое количество осадков, мм; G — продолжительность вегетационного периода, мес.; T_v — средняя температура самого теплого месяца в десятках °C.

Формулы (1.2—1.4) были широко обсуждены, в том числе и в русскоязычной литературе (Уткин, 1975; Лосицкий, Чуенков, 1980; Чебакова, 1981; Куликова, 1981; Поликарпов и др., 1986). Поэтому ограничимся их кратким анализом.

Климатические факторы, включенные в интегральный индекс, подразделялись на две группы. Те из них, которые увеличивают продуктивность

лесного покрова, вошли в числитель, а те, что снижают ее — в знаменатель. Радиация не учитывалась в формулах интегрального климатического индекса по причине, как считает Е. Ф. Бруниг (Brunig, 1967), отсутствия достаточных и надежных данных. Возможно, в использовании радиации в качестве одного из определяющих факторов не было нужды также вследствие мультиколлинеарности, т. е. скоррелированности ее с температурой и эвапотранспирацией.

Климатический индекс И. Века (Weck, 1954, 1955) представлял собой отношение летних осадков к средней летней температуре воздуха, скорректированное на число дней с минимальными осадками в летние месяцы и на число дней с положительными температурами. В качестве показателя продуктивности он взял годичный средний прирост стволовой древесины сомкнутых древостоев лесообразующих пород по расчетной лесосеке 29 регионов Германии, выраженный в тоннах абсолютно сухого вещества на 1 га. Связь климатического индекса с приростом древесины, характеризуемая коэффициентом корреляции 0,743, использована И. Веком для расчета потенциальной продуктивности насаждений по отдельным регионам Германии.

При таком подходе фактическая продуктивность отдельных спелых сомкнутых древостоев, экстраполированная на ту или иную лесную площадь региона, является потенциальной продуктивностью его территории. Но при этом И. Век (Weck, 1955) подчеркивает, что “эта фактически реализуемая продуктивность, полученная на наиболее репрезентативных участках леса, не является возможной средообусловленной максимальной продуктивностью целого региона” (С. 128). И. Век (1960) делает вывод, что посредством одних только климатических показателей нельзя достаточно точно выявить добротность лесного местообитания, и необходимо также учитывать эдафические факторы.

С. С. Патерсоном климатический индекс связывался с продуктивностью “идеального местообитания”, определяемой им как “средняя годичная продуктивность лесного покрова, выраженная в кубометрах стволовой древесины на 1 га, при условии, что оборот рубки и ведение хозяйства имеют цель получить максимальный коммерческий выход... Это идеальное местообитание следует рассматривать не как абсолютный максимум, а как верхний предел, изменяющийся по мере развития уровня хозяйствования в лесу” (Paterson, 1956. С. 54—55). Очевидно, имелась в виду продуктивность наиболее хозяйственно ценных древостоев.

С. С. Патерсон установил диапазон индексов в пределах от 25 на пределе лесной зоны до 30 000 для превосходных лесов жаркого климата с обильными осадками. Логарифмы среднегодовой продуктивности по стволовой древесине были С. С. Патерсоном скоррелированы с климатическим индексом и описаны линейной регрессией (рис. 1.6), согласно которой бореальный лес продуцирует 0—3 м³/га в год и тропический дождевой лес более 15 м³/га в год коммерческой древесины. В распоряжении С. С. Патерсона были лишь очень немногочисленные данные по континентальным бореальным и по тропическим регионам, поэтому его регрессия неадекватна их условиям.

В этих первых попытках комплекс климатических показателей объединялся в одном интегрированном (проблема подобных интегрированных показателей обсуждалась в разделе 1.3; см. также: Усольцев, 2002б,в) в предположении, что вклады всех факторов одинаковы. Действительно, если переве-

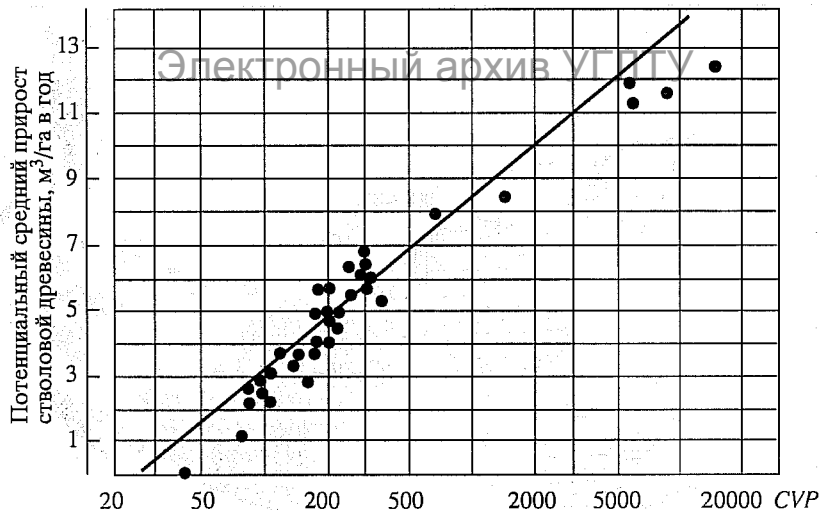


Рис. 1.6. Глобальная зависимость потенциального среднего прироста стволовой древесины от климатического индекса CVP (Paterson, 1956).

Зависимость описана уравнением линейной связи в полупологарифмических координатах $Y = -7,25 + 5,20 \log X$ ($R^2 = 0,81$), хотя фактически тренд нелинейный

сти мультипликативную форму выражений климатического индекса в аддитивную путем логарифмирования, то получим константы при всех переменных, равные 1. Фактически (и в предыдущем разделе это было показано) все обстоит гораздо сложнее. В целом, как уже упоминалось, уровень потенциальной продуктивности в различных экорегионах планеты определяется специфическими вкладами солнечной радиации, температуры, влажности и других факторов (Black, 1963, 1964; Warren Wilson, 1966; Ford, Fraser, 1968).

Естественно, формула климатического индекса стала “давать сбой” при ее использовании в различных регионах. Например, согласно карте потенциальной продуктивности С. Патерсона (Paterson, 1956) почти вся территория бывшего СССР характеризовалась продуктивностью 0—3 м³/га (рис. 1.7). Если для условий Франции формула индекса давала адекватный результат, то в Польше, Румынии и Италии при анализе индексов континентальности выявлено наибольшее (по сравнению с другими факторами) влияние осадков на величину прироста древостоев (Уткин, 1975). Для условий Скандинавии, напротив, влияние осадков было относительно меньшим, поэтому С. Патерсон (цит. по: Уткин, 1975) модифицировал свою формулу путем введения фактора осадков в виде квадратного корня этого показателя, т. е. заменив константу, равную 1 в аддитивной формуле индекса, величиной 0,5.

И. Век (Weck, 1959) попытался подогнать индекс С. Патерсона к эмпирическим данным продуктивности путем различных модификаций его формулы, а также с помощью региональных редуционных коэффициентов. Но сопряженная с этим процессом ничем не обоснованная субъективность (Jones, 1959) чрезвычайно снижала информативную ценность индекса. В конце концов, И. Век (Weck, 1970), отказавшись от идеи нахождения “всемирного” климатического индекса, ограничил применение последнего малыми территориями — странами и субконтинентами.

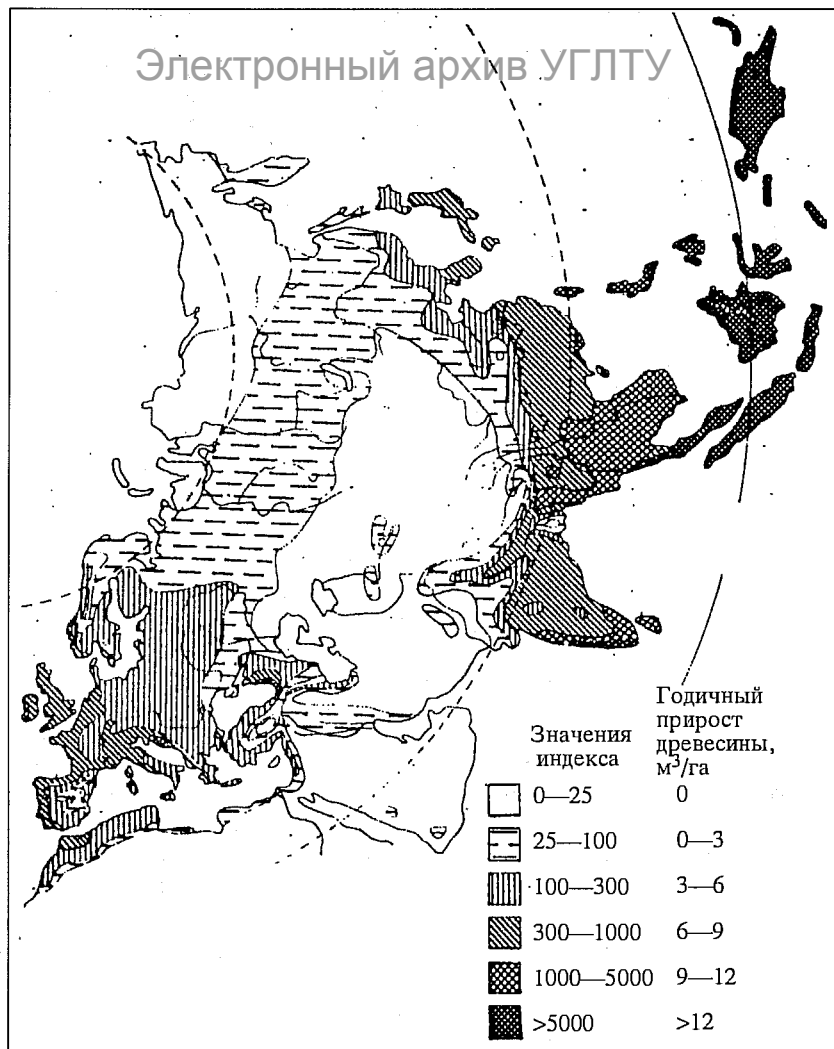


Рис. 1.7. Карта-схема потенциальной продуктивности лесов Евразии, рассчитанной по климатическому индексу С. Патерсона (Paterson, 1956)

По мнению А. И. Уткина (1975), для целей корреляции первичной биологической продуктивности с разного рода индексами более всего подходит биогидротермический потенциал продуктивности (Рябчиков, 1968), выражаемый в баллах от 1 до 19:

$$K_p = (WT_v)/36R, \quad (1.5)$$

где W — среднегодовое валовое увлажнение территории, мм, равное разности осадков P и стока S ; T_v — продолжительность периода вегетации, декад; 36 — число декад в году; R — среднегодовой радиационный баланс, ккал/см². А. М. Рябчиков использовал свой индекс для классификации основных типов ландшафтов суши на равнинах (рис. 1.8). (Необходимо отме-

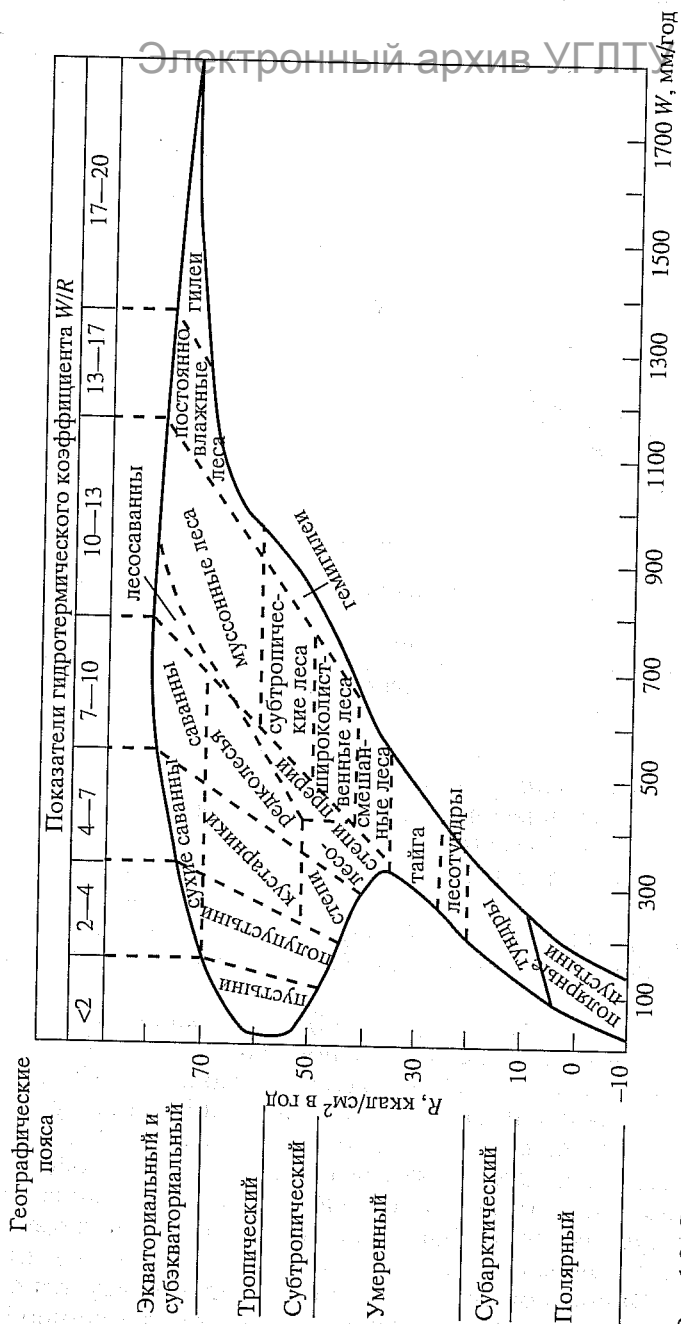


Рис. 1.8. Соотношение тепла и влаги в основных типах ландшафтов суши на равнинах, или “гидротермическая арена” развития природных ландшафтов (Рябчиков, 1968)

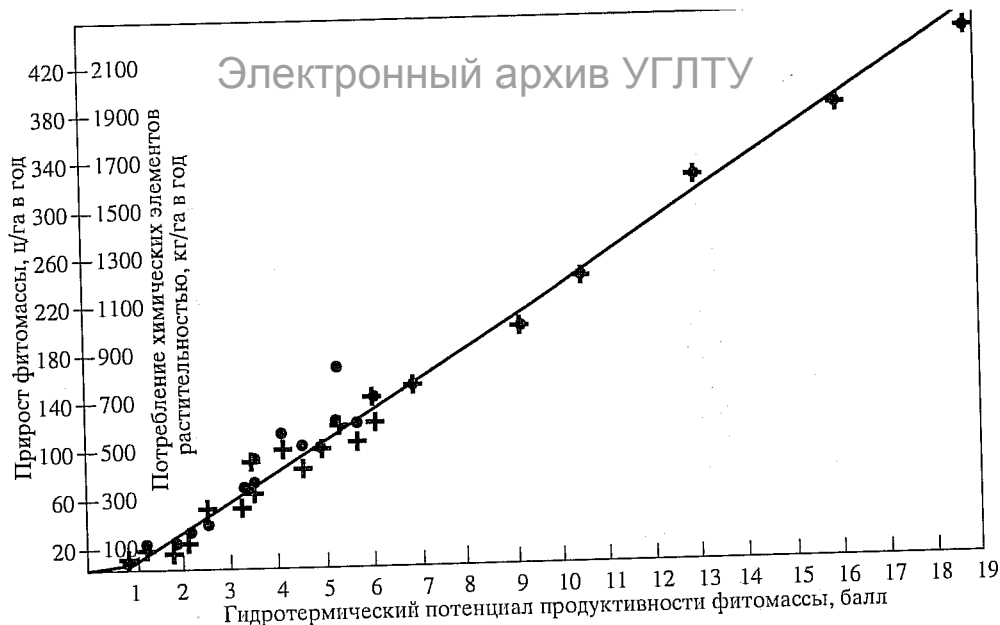


Рис. 1.9. Взаимосвязь гидротермического потенциала продуктивности фитомассы с ее приростом (точки) и потреблением растениями химических элементов (крестики) (Рябчиков, 1968)

тять, что схема распределения типов ландшафтов в координатах *радиационный баланс — увлажнение* у А. М. Рябчикова (1968) повторяет схему распределения фитоклиматических ареалов в координатах термо- и гидрорядов по В. Р. Волобуеву (1947) (см. рис. 1.4), как это иногда водится, без какого-либо упоминания предшественника.) Сравнение А. М. Рябчиковым значений годичной продуктивности, рассчитанных по формуле индекса для разных зон, с данными о годичном приросте фитомассы, приведенными в сводке Л. Е. Родина и Н. И. Базилевич (1965), показало почти полное совпадение (рис. 1.9).

С. Браун и А. Луго (Brown, Lugo, 1982) предложили оценивать первичную продукцию тропических лесов по отношению T/P , где T — среднегодовая температура воздуха, °С; P — годовые осадки, мм. Отношение T/P , представляющее собой климатический индекс, по существу близкий по смыслу обратной величине индекса А. М. Рябчикова (1968), авторы рассматривают в качестве характеристики потенциальной влагообеспеченности растений, предполагая, что потенциальная эвапотранспирация пропорциональна температуре воздуха. Однако тесная взаимосвязь упомянутого индекса была ими установлена только с годичной брутто-продуктивностью GPP ($R^2 = 0,91$). Умеренной связью ($R^2 = 0,54$) характеризуется с индексом T/P общая фитомасса (т/га), и полностью отсутствует взаимообусловленность T/P и годичной нетто-продуктивности NPP (терминологию по биологической продуктивности растительного покрова см.: Уткин, 1975).

Выше упомянутый коэффициент увлажнения (отношение осадков к испарению), примененный В. В. Докучаевым и Г. Н. Высоцким в конце XIX — на-

чале XX веков для характеристики выделяемых ими природных зон, В. М. Горбатенко (1975) использовал для оценки первичной продукции основных фитоценозов (включая нижние ярусы) по Енисейскому меридиану от северной тайги до степей Тувы. Отклонения рассчитанных по уравниению приростов фитомассы от фактических варьировали в пределах $\pm 10\%$. Поскольку испарение опосредует термический фактор, то коэффициент увлажнения по физической сущности близок к индексам А. М. Рябчикова (1968), С. Брауна и А. Луго (Brown, Lugo, 1982) и других, обсуждаемых ниже и им подобных.

А. А. Григорьев и М. И. Будыко (1956) при выводе периодического закона географической зональности исходили из того, что расположение географических зон нельзя рассматривать только в связи с сеткой координат, и в пределах одного широтного пояса (и соответственной градации радиационного баланса), продуктивность растительного покрова определяется условиями увлажнения, для идентификации которых они предложили показатель радиационного индекса сухости R/Lr , где R — годовой радиационный баланс, L — скрытая теплота испарения, r — годовые осадки. В пределах широтного пояса максимальная продуктивность растительного покрова имеет место при значении названного индекса 0,7—0,8. При возрастании радиационного баланса по широтному градиенту от 20 до 70 ккал/см² максимальная продуктивность растительного покрова увеличивается с 5 до 35 т/га в год, а при увеличении индекса сухости от 0,8 до 4—5 продуктивность снижается по всем широтным поясам до минимальной — 2—3 т/га в год (Будыко, Ефимова, 1968).

В. Л. Черепниным (1968, 1999) построена схема распределения основных типов растительности земного шара, вертикальная ось которой последовательно от полюса к экватору проградуирована условными индексами солнечной радиации, а горизонтальная — индексами влажности. В результате наложения на упомянутую схему растительности схемы изолиний фитомассы в зависимости от сочетания тех же двух гидротермических показателей получена схема размещения фитомассы растительного покрова в зависимости от двух определяющих климатических показателей. Климатический индекс В. Л. Черепнина представляет собой произведение индекса солнечной радиации и индекса влажности и напрямую связан им с годичным приростом фитомассы.

Аналогичный принцип лежит в основе оценки потенциальной продуктивности по биоклиматическому потенциалу П. И. Колоскова (1963), представляющему собой произведение суммы среднесуточных положительных температур в степени $3/2$ и коэффициента увлажнения. Предложения С. А. Сапожниковой (1965) и Д. И. Шашко (1967) отличаются от формулы П. И. Колоскова тем, что сумму активных температур они вводят в степени 1,0. Кроме того, у них существуют некоторые различия в расчете фактора влажности (Колосков, 1963; Сапожникова, 1965; Шашко, 1967). С использованием формулы биоклиматического потенциала и показателей региональных таблиц хода роста нормальных древостоев Т. А. Куликова (1981) рассчитала потенциальную продуктивность спелых древостоев пяти лесообразующих пород европейской части бывшего СССР по административным районам и областям.

Нетрудно заметить, что различия четырех климатических индексов — В. Л. Черепнина, П. И. Колоскова, Д. И. Шашко и С. А. Сапожниковой —

не принципиальные, а составляющие их климатические факторы введены в формулы индексов без какого-либо обоснования доли их вклада в результирующий признак. Более того, если в упомянутых четырех формулах предполагается положительная связь продуктивности с “энергетическим” (температурным, радиационным) фактором, то в формуле соответствующего индекса А. М. Рябчикова (1968) — отрицательная, при положительном вкладе в климатический индекс фактора увлажнения во всех пяти упомянутых формулах.

В отличие от последних, индекс П. В. Воропанова (1970) построен по аддитивному принципу в предположении его прямой связи как с энергетическим, так и с фактором влажности:

$$K = (t_a/100 + t_n) + P, \quad (1.6)$$

где t_a и t_n — среднемесячные температуры, соответственно, воздуха и почвы за вегетационный период, °С; a — относительная влажность воздуха в 13 ч; P — среднемесячное количество осадков, см.

По аддитивному же принципу построен показатель лесорастительной благоприятности климата Г. И. Горева (1968, 1974), в котором связь фактора влажности с результирующим показателем прямая, а энергетического фактора с последним — обратная. Усовершенствованная Г. И. Горевым (1974) формула имеет вид

$$K = 0,01[P_T - (0,1T - P_T)], \quad (1.7)$$

где P_T — сумма осадков за вегетационный период, испаряющихся в соответствии с притоком тепла в данной местности, мм; T — сумма активных температур воздуха >10 °С. Г. И. Горев для территории Европейской России на протяжении от северной тайги до степей рассчитал для четырех типов естественных сосняков зависимости класса бонитета от названного показателя, описываемые кубической параболой с теснотой связи 0,96—0,97.

Следует отметить, однако, что индексы, в основу которых положен аддитивный принцип (Воропанов, 1970; Горев, 1968, 1974), биологически менее обоснованы по сравнению с климатическими, сконструированными по мультипликативному принципу (Weck, 1955; Paterson, 1956; Pardé, 1961; и др.). Это было показано Н. И. Казимировым (1986) и будет обсуждаться далее на примере оценки продуктивности древостоев по комплексу эдафических факторов: если при использовании мультипликативного индекса какой-то один из факторов стремится к нулю, то соответственно приближается к нулевому значению и производительность древостоев; при использовании же аддитивного индекса производительность может прогнозироваться на достаточно высоком уровне, даже если один из факторов стремится к нулю.

Перечень разнообразных методов выявления корреляций между продуктивностью зональных типов растительности и климатическими индексами, представленными различными сочетаниями факторов: среднегодовой температуры воздуха, годового радиационного баланса, суммы эффективных температур, годовой нормы осадков, радиационного индекса сухости, индекса увлажнения, гидротермического коэффициента и других — дан в обзоре А. И. Уткина (1975).

Следует заметить, что проблема оценки климатических факторов и их влияния на потенциальную продуктивность растительности осложняется тем, что они не имеют однозначного объема понятия. Например, фактор света может быть выражен его интенсивностью, спектральным составом, продолжительностью дневного освещения, а фактор тепла — суммой годовых температур, суммами летних температур выше 0, 5, 10 °С, зимним минимумом, либо летним максимумом, либо их разностью (Ярошенко, 1950).

Кроме того, само понятие климата непрерывно эволюционирует со времен М. В. Ломоносова: А. А. Борисов (1952) приводит перечень из 54 его определений. Сложность с понятием климата находит выражение в достаточно высокой неопределенности его количественных характеристик, поскольку “в отличие от ряда других элементов географического ландшафта, климат не является материальным телом” (Хромов, 1952. С. 289), к тому же он естественным образом связан с состоянием атмосферы, а последняя “помнит свое прошлое не более двух недель” (Моисеев, 1988а. С. 108).

Упомянутая неопределенность, по-видимому, является одной из причин того, что о преимуществах того или иного климатического индекса по сравнению с индексами предшественников его автор зачастую пишет без какого-либо биоэкологического обоснования, без учета того, что все климатические показатели взаимосвязаны между собой, и подбор строго ортогональных факторов практически невозможен (а), что обычно имеет место практически не изученный эффект их взаимного замещения (б) (Rübel, 1935), что каждый регион характеризуется специфическим лимитирующим фактором (в) и что при оценке потенциальной продуктивности конкретного древесного вида необходимо учитывать его биологические особенности (г) и, по выражению К. А. Тимирязева (1948), специфические “нужды”. (Возможно, поэтому оценки потенциальной продуктивности, выполняемые по климатическим индексам для обезличенного лесного покрова, оказывались не всегда корректными.)

Так, А. М. Рябчиков (1968) критикует своих предшественников за то, что в их формулах фактор влажности введен без учета стока, Д. И. Шашко (1967) недостаток индекса П. И. Колоскова (1963) видит в том, что последний ориентируется на положительные, а не на активные температуры. В. Л. Черепнин (1968, 1999) показывает недостатки индекса сухости М. И. Будыко и вводит понятие равновесия фитомассы по радиационному режиму и по влажности, а К. Б. Лосицкий и В. С. Чуенков (1980) считают, что предположение В. Л. Черепнина о равноценности и взаимозамещаемости солнечной радиации и влажности в природе не реализуемо. Е. М. Лавренко (1959), К. Б. Лосицкий и В. С. Чуенков (1980) считают необходимым в климатических индексах учитывать сезонность климата. Т. А. Куликова (1981) отмечает общую природу всех климатических индексов и отдает предпочтение формулам Д. И. Шашко и П. И. Колоскова, исходя из большего удобства применения последних.

Из анализа многочисленных подходов и методов оценки потенциальной продуктивности по климатическим индексам следует, что одного “всемирного” комплексного климатического индекса быть не может. Кроме того, для оценки продуктивности конкретных местообитаний он также непригоден. Видимо, климатический индекс, во-первых, должен применяться лишь на уровне ограниченной совокупности экорегионов, к чему и пришел в кон-

це концов И. Век (Weck, 1970). Во-вторых, модель индекса должна быть достаточно пластичной и учитывать изменение доли вклада того или иного климатического фактора в пределах экорегиона, или коэффициентов передачи информации от климатических факторов (Карпачевский, 1981).

Факторы, входящие в формулу климатического индекса, должны быть, во-первых, ортогональными (не взаимосвязанными) и, во-вторых, связь каждого из них с продуктивностью должна быть биологически и экологически обоснована. В этой связи К. Б. Лосяцкий и В. С. Чуенков (1980) полагают, что ни одна из формул индекса “не раскрывает физической сущности связей между теплом, влагой и годичным приростом древесины. Отсюда значение индексов биологически не обусловлено” (С. 51).

Использование комплексного климатического индекса имело смысл на ранних этапах исследований потенциальной продуктивности, до периода “компьютерного бума”, когда техника многофакторного регрессионного анализа была еще не освоена и анализировались лишь простые парные взаимосвязи. Сегодня, при наличии множества различных стандартных программ и персональных компьютеров упомянутые недостатки комплексного климатического индекса могут быть в той или иной мере устранены путем построения адекватных эмпирических моделей и их систем, построенных с учетом дифференцированной по экорегионам доли влияния отдельных климатических факторов.

1.4.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

1.4.3.1. ПРИМЕРЫ ИНДУКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

Равнинные местообитания. В предыдущем разделе оценка потенциальной продуктивности лесного покрова по климатическим индексам предполагала установление парной взаимосвязи показателя продуктивности с некоторым комплексным показателем, включающим в себя совокупность произвольно выбранных климатических факторов, находящихся в априорно установленных соотношениях. В настоящем разделе под *моделированием* потенциальной продуктивности лесного покрова понимается установление достоверных зависимостей показателей продуктивности от одной или нескольких ортогональных (или условно ортогональных) территориально “привязанных” климатических переменных с учетом обоснованного вклада каждой из них в оценку искомого показателя.

По мнению Ю. М. Свирижева (1987), выбор адекватного математического описания в геоэкологии является пока практически не разрешаемой задачей. Упомянутые выше схемы распределения основных типов растительности в координатах климатических факторов (Волобуев, 1945; Holdridge, 1947; Рябчиков, 1968; Черепнин, 1968; Садовнича, Чебакова, 1978; Пузаченко, Скулкин, 1981, и др.) Ю. М. Свирижев (1987) характеризует скорее как “описательные и представительные”, нежели — “объяснительные”, поскольку полученная эмпирическая информация представляется здесь в различных формах, а механизмов, объясняющих возникновение этих структур, нет. Он по этому поводу пишет: “Есть много работ, в которых из климатических параметров конструируются пары различных индек-

сов и затем на соответствующих плоскостях строятся области, отвечающие тем или иным биотам. Конструкторы стремятся построить индексы так, чтобы на плоскости “расташить” эти множества, сделать их непересекающимися... Ответа же на вопрос, почему при непрерывном изменении индексов возникают границы между биотами (точнее, между соответствующими им множествами индексов), мы не получаем” (С. 361).

Ю. М. Свирижев (1987) задает вопрос, почему при непрерывном изменении абиотических факторов на переходе от одного сообщества к другому биологические характеристики последних (например, соотношение надземной и подземной фитомассы) меняются скачком? Сказанное становится очевидным при сопоставлении рис. 1.10 и 1.11. Первый из них иллюстрирует непрерывность изменения основных климатических характеристик — осадков, эвапотранспирации, солнечной радиации, среднегодовой температуры и т. д. — по зональному профилю от тундр Европейской России на юго-восток до степей и пустынь. На втором (см. рис. 1.11) по тому же профилю показано изменение продуктивности растительных сообществ: если в пределах тундр, лесной зоны и степей по отдельности фитомасса растительного покрова изменяется плавно, то на экотонах *тундра — лесная зона* и *лесная зона — степь* имеются характерные скачки: перепад фитомассы в первом из экотон — 12-кратный, во втором — 170-кратный.

Ю. М. Свирижев (1987) ответ на поставленный выше вопрос предполагает искать “в свойствах и особенностях принципиально нелинейных зависимостей биологических процессов от абиотических параметров среды” (С. 361) и формулирует следующий вопрос: существуют ли математические модели, “которые описывали бы скачки одних параметров при непрерывном гладком изменении других”? (Там же. С. 361). Оказывается, такому условию отвечают модели теории катастроф Р. Тома (Thom, 1972; Thom, Zeeman, 1975), описывающие “ситуации, когда система с непрерывными входными данными обнаруживает внезапные скачкообразные изменения на выходе” (Чиллингуорт, 1979. С. 251). Ю. М. Свирижев полагает, что из конкретных типов нелинейности в биологических процессах наиболее приемлемо представление кубической нелинейности, отвечающее модели теории катастроф типа сборки (рис. 1.12).

Здесь необходимо отметить один существенный момент. Растительный покров, по Е. М. Лавренко (1964), “представляет собой континуум, однако разделяющийся на более или менее однородные части, называемые растительными сообществами...” (С. 32). Область упомянутого раздела (экотон) и объем понятия последнего являются предметом интенсивного обсуждения специалистами в контексте проблемы непрерывности-дискретности. Детальный анализ проблемы, выполненный С. Г. Шиятовым (1985), дал возможность конкретизировать понятия *граница экотона* и *граница фитоценоза*, а также их соотношение.

По-видимому, представления непрерывности и дискретности находятся в диалектическом единстве в соответствии с двумя гипотезами распределения растительных сообществ в пространстве — “индивидуалистической” (что соответствует континууму) и гипотезой “сообществ-единиц” (что определяет их дискретность) (Александрова, 1966; Розенберг, 1980; Кузьмичев, 1994). По мнению Г. С. Розенберга (1980) и Б. М. Миркина (1986), выделение естественных границ между растительными сообществами — это все-

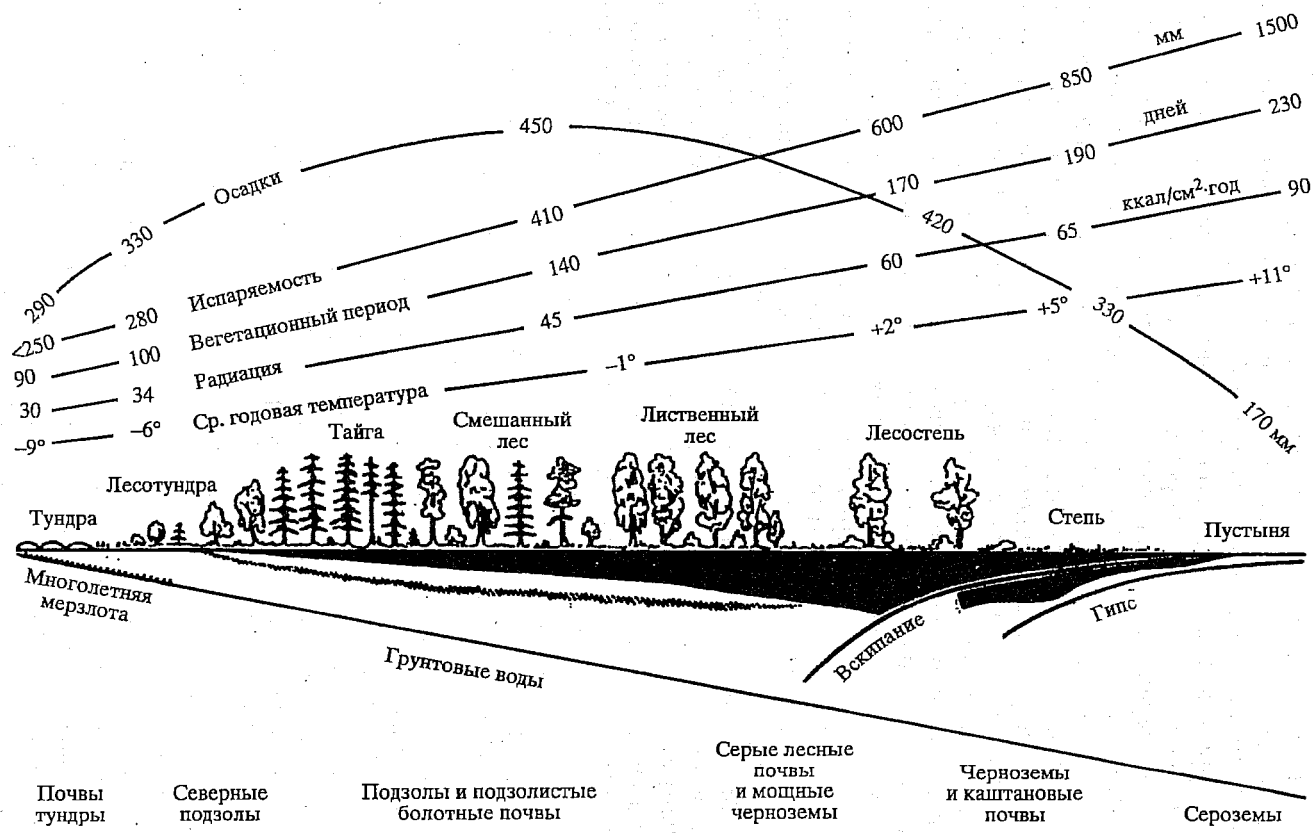


Рис. 1.10. Схема изменения климата, растительности и почв на профиле Восточной Европы в направлении с северо-запада на юго-восток, до Прикаспийской низменности (Вальтер, 1975)

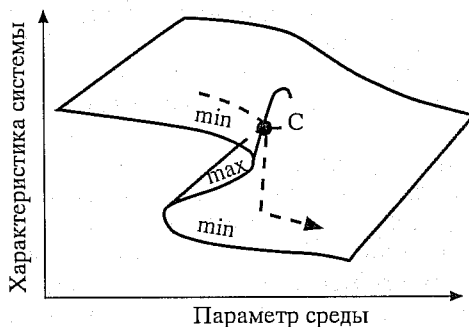


Рис. 1.11. Фитомасса плакорных зональных растительных сообществ Европейской России и Средней Азии, ц/га в воздушно-сухом состоянии (Лавренко и др., 1955).

Подзоны: I — арктическая пустыня, II — арктическая тундра, III — северная тундра, IV — южная тундра, V — редколесная тундра, VI — северная тайга, VII — средняя тайга, VIII — южная тайга, IX — широколиственные леса, X — луговая степь, XI — разнотравно-типчаково-ковыльная степь, XII — типчаково-ковыльная степь, XIII — полынно-типчаково-ковыльная степь, XIV — северная пустыня, XV — южная пустыня, Ч — черносаксаульники подзоны южных пустынь

Рис. 1.12. Графическая иллюстрация сборки — одной из семи моделей катастроф Р. Тома (Чиллингуорт, 1979).

Сплошная извилистая линия, описываемая многочленом, характеризует непрерывность изменения абиотических факторов, пунктирная — скачок в свойствах растительных сообществ. С — точка бифуркации



гда субъективная операция, обусловленная необходимостью редуцировать континуум до дискретных сообществ, являющихся результатом дифференциации ниш в ходе конкуренции. В. В. Кузьмичев (1994) полагает, что “нет противоречия между положением о том, что сообщества обычно не имеют четких границ, и попыткой их классифицировать. При этом исходят в первую очередь из соображений удобства при их хозяйственном использовании” (С. 19).

Сказанное расходится с исходной позицией Ю. М. Свирижева (1987), согласно которой “вся растительная оболочка Земли представляет собой мозаику дискретных форм” (С. 360), особенно наглядно проявляющуюся по высотному градиенту в горах. Однако свои примеры явлений, когда постепенный (линейный) характер изменения абиотических факторов влечет за собой дискретность характеристик системы, Ю. М. Свирижев ограничивает лишь сопряжениями биомов, или экотонами *тундра — лес* и *лес — степь*. Он отмечает, что линейный характер изменения параметра на входе (уровень мерзлоты в первом из экотонных и уровень грунтовых вод — во втором) дает кубическую размерность выходной характеристики — объема или массы растительного покрова. Уровни провинций в пределах природной зоны и биогеоценозов в пределах провинции Ю. М. Свирижев обходит молча.

Более убедительным выглядит объяснение дискретности свойств растительных сообществ в экотоне достижением последними некоторого порогового уровня непрерывно изменяющихся действующих факторов, которое было дано Г. Люндегордом (1937): “Если какой-либо вид выходит за пределы области своего оптимума, он по-видимому довольно неожиданно спускается в гораздо более низкую степень встречаемости. *Отсюда происходит более или менее резкий переход ассоциаций друг в друга, если судить о них по доминирующим видам.* ...В области минимума и торможения действия факторов убыль видов очень значительна, в результате у границ соответствующей области приспособления происходит крутое падение встречаемости, чем вызывается явление образования зон. Поэтому... растительность образует волнистую линию, хотя экологический комплекс факторов непрерывно падает или повышается...” (С. 330).

Важность этого замечания становится очевидной при рассмотрении концепции М. А. Ведюшкина (1989, 1992), который попытался объяснить дискретность двух соседних биомов наличием конкуренции соответственно двух доминирующих в них видов и описать их взаимоотношения с точки зрения явления гистерезиса (нелинейности в среде с памятью). На рис. 1.13 показаны два типа реакций экосистем (биомов) на изменение условий внешней среды: плавный характер изменения состояния среды от ее параметров (а), что имеет место в отсутствие явления гистерезиса, и скачкообразный переход системы из одного устойчивого состояния в другое (б). В последнем случае при возврате параметров на начальный уровень изменение характеристик системы идет по иной траектории, отличной от первой, что составляет характерное проявление феномена гистерезиса.

М. А. Ведюшкин характер взаимодействия двух соседних экосистем ставит в зависимости от того, какая конкуренция преобладает в зоне их соприкосновения — внутри- или межвидовая. На рис. 1.14 условно представлены виды А и Б двух соседних экосистем. Ось абсцисс соответствует изменению

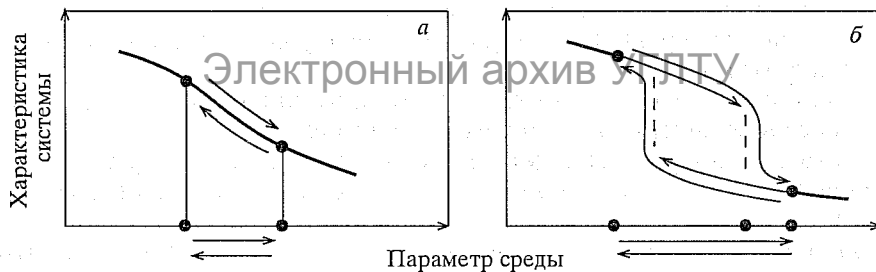


Рис. 1.13. Реакции растительных сообществ на изменение условий внешней среды: а — плавная обратимая зависимость состояния системы от параметра среды (отсутствие гистерезиса); б — скачкообразный переход системы из одного устойчивого состояния в другое и возврат ее в исходное состояние при прекращении внешнего воздействия, но по иной траектории (гистерезис) (Ведюшкин, 1989)

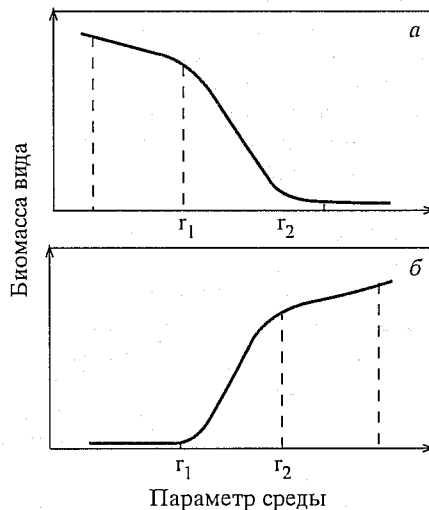


Рис. 1.14. Постепенное замещение вида А (а) видом Б (б) в полосе их сопряжения r_1 — r_2 (отсутствие гистерезиса) (Ведюшкин, 1989)

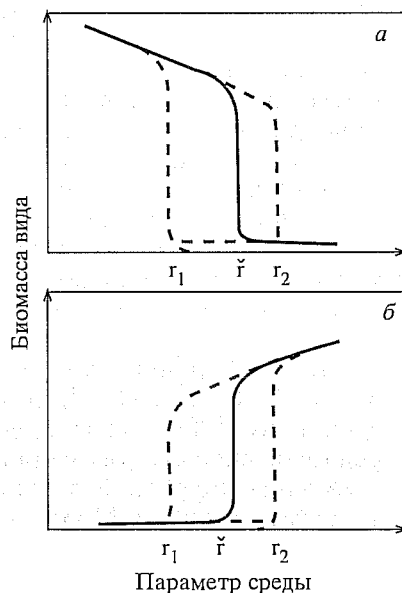


Рис. 1.15. Скачкообразное замещение вида А (а) видом Б (б) в полосе их сопряжения r_1 — r_2 , характеризующее резкой границей $\tilde{r}$ (наличие гистерезиса) (Ведюшкин, 1989)

пространственной координаты нахождения видов и соответственно — каких-то градиентов среды (влажности, температуры и др.), а по оси ординат отложена фитомасса видов.

Ход кривых на рис. 1.14 соответствует ситуации, когда межвидовая конкуренция слабее внутривидовой и имеется только одно устойчивое равновесие. Смена доминирующих видов в пространстве происходит плавно в переходной полосе γ_1 — γ_2 , представляющей собой область сосуществования обоих видов.

Если же межвидовая конкуренция сильнее внутривидовой, то существует переходная полоса на участке γ_1 — γ_2 (рис. 1.15), соответствующая вытеснению одного вида другим, сосуществование которых при этом всегда неустойчивое. Реальная граница в этом случае не постепенная, как на рис. 1.14, а либо резкая (см. рис. 1.15), либо несколько “размытая” (диффузная) (рис. 1.16), но всегда скачкообразная.

Резкая граница значений γ , в каждой точке которой имеется или вид А, или вид Б, может проходить в любом месте полосы γ_1 — γ_2 (см. рис. 1.15) в зависимости от локальных условий. Диффузная полоса, т. е. интервал γ'_1 — γ'_2 , (см. рис. 1.16) также может проходить в любом месте полосы γ_1 — γ_2 , и точное местоположение γ'_1 — γ'_2 трудно определимо в конкретных случаях. Эта ситуация неустойчивая, или бифуркационная.

Таким образом, если реальная граница между сообществами постепенная, что имеет место в пределах одной из зон (тундра, лес или степь) по широтному либо долготному градиентам (см. рис. 1.11), то она должна восстанавливаться в первоначальном виде после прекращения внешних воздействий, вызвавших ее изменение, что означает отсутствие гистерезиса (ситуации на рис. 1.13а и 1.14). Если же граница скачкообразная (резкая либо диффузная), что имеет место в экотонах *тундра* — *лес* или *лес* — *степь*, то это свидетельствует о существовании переходной полосы γ_1 — γ_2 , где каждый из видов может вытеснить конкурента (см. рис. 1.13б, 1.15 и 1.16). Такие границы по условию пространственного гистерезиса не должны восстанавливаться по прежней траектории после окончания внешнего воздействия, если оно превышает некоторую критическую величину (Ведюшкин, 1989, 1992).

Изложенная концепция М. А. Ведюшкина является гипотетической и может подтвердиться лишь в случае, если явление гистерезиса, свойственное сложным системам вообще, в принципе приложимо к описанию ситуаций в экотонах, но трудно сказать, может ли она быть вообще проверена на практике. Во всяком случае гипотеза, согласно которой граница между сообществами (биомами) может быть двоякого рода (скачкообразной либо постепенной) в зависимости от того, какая конкуренция преобладает на переходе между видами (межвидовая или внутривидовая) и соответственно имеет место гистерезис или отсутствует, представляется достаточно правдоподобной.

Возможно, что “принципиальная нелинейность” биологических процессов, по Ю. М. Свиричеву (1987), и проявление гистерезиса в экотонах, по М. А. Ведюшкину (1989), лежат в одной области явлений и их объяснений. Такое предположение следует из рис. 1.17, иллюстрирующего жесткий режим возбуждения колебаний в биологических системах с неизбежным в этом режиме гистерезисом (Молчанов, 1975): на рис. 1.17б представлена од-

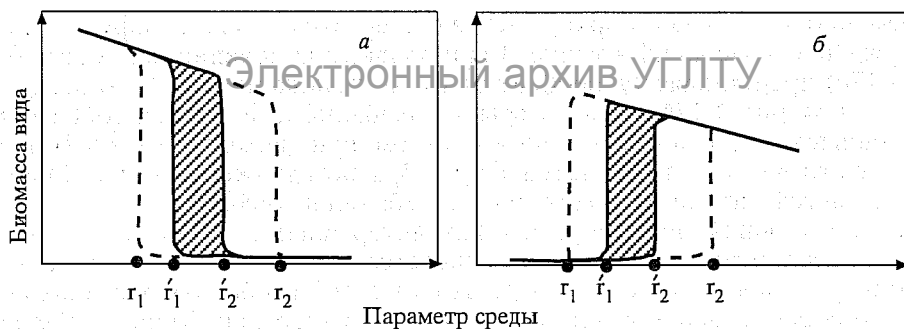


Рис. 1.16. Скачкообразное замещение вида А (а) видом Б (б) в полосе их сопряжения r_1 — r_2 , характеризующее диффузную полосу r_1 — r_2 (наличие гистерезиса) (Ведюшкин, 1989)

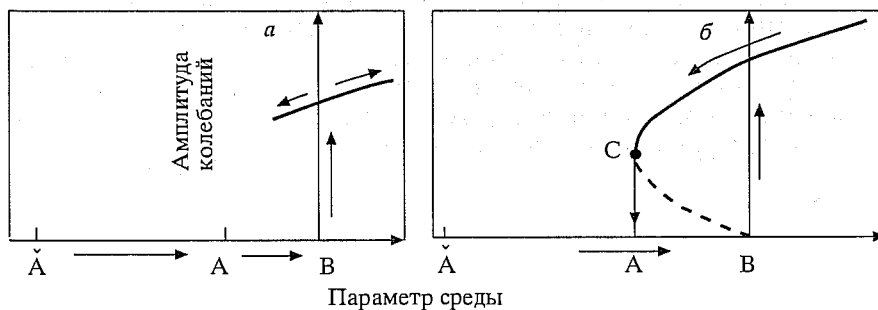


Рис. 1.17. Представление жесткого режима возбуждения колебаний в биологических системах при их необратимом характере (а) и при срыве колебаний в точке бифуркации С с восстановлением равновесия — полная петля гистерезиса (б) (Молчанов, 1975)

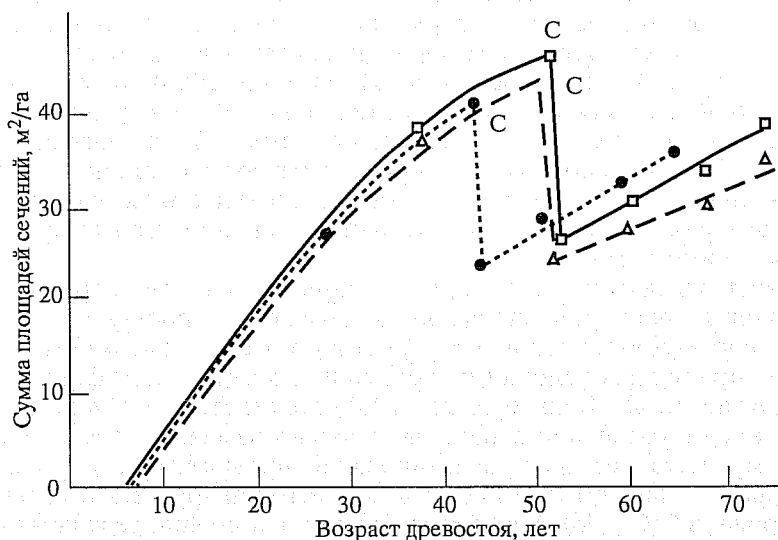


Рис. 1.18. Типичная сборка в терминах теории катастроф, характеризующая дискретность во времени. С — точка бифуркации (по материалам В. В. Кузьмичева, 1980)

новременно и типичная сборка, и петля гистерезиса с точкой бифуркации С. Возбуждение колебаний в точке В при плавном изменении параметра (см. рис. 1.17а) представляется необратимым, но “зашкаливание” его назад, за точку А (см. рис. 1.17б), ведет к срыву колебаний, т. е. к скачкообразному восстановлению равновесия. Таким образом, при движении от А к В переход через точку А был незаметен, а при обратном движении точка В ничем не выделяется, зато происходит срыв колебаний в точке А.

Колебательный (волнообразный) характер динамики экосистем с феноменом непрерывности-дискретности является их неотъемлемым свойством, поскольку “атмосфера Земли представляет собой глобальную автоколебательную систему, непрерывно подпитываемую энергией Солнца” (Голованов, 1986. С. 57). По мнению Ю. М. Свирижева (1987), для свойств биологических систем характерна дискретность не только в пространстве, но и во времени. В лесоводстве подобные феномены обычны.

Показателен в этом отношении график на рис. 1.18, представляющий собой возрастную динамику суммы площадей сечений в культурах сосны на обыкновенных и солонцеватых черноземах Подгородной лесной дачи в Омской области, по данным периодических пересчетов на трех постоянных пробных площадях (Кузьмичев, 1980). Непрерывный характер изменения погодных факторов по достижении предельной плотности сообщества в точке бифуркации повлек за собой скачок в продуктивности насаждений.

* * *

Обсуждаемая выше коллизия между непрерывностью климатических параметров и скачкообразным характером изменения продуктивности растительного покрова на экотонах не является бесспорной. И. П. Ведь (1969), например, полагает, что “границы между основными зонами и подзонами совпадают с изолиниями определенных показателей соотношений годового радиационного баланса земной поверхности и количества годовых осадков” (С. 149), объясняя это действием периодического закона географической зональности, по А. А. Григорьеву и М. И. Будыко (1956), когда характерные диспропорции между количествами тепла и влаги, опосредованные радиационным индексом сухости, имеют форму смен одних географических зон другими. Подобный подход предопределяет возможность подбора одного или нескольких климатических показателей, изменяющихся синхронно с тем или иным фактором продуктивности, и описания их взаимосвязи монотонными зависимостями.

Упомянутые в разделе 1.3.1 “скрытое” присутствие друг в друге и феномен “замещения” факторов, определяющих развитие и продуктивность растительного сообщества, позволяют упростить модели зависимости продуктивности от природных условий и строить их по отдельным факторам, не включая другие. Л. О. Карпачевский (1981) полагает, что “такая заменяемость факторов в уравнении отнюдь не означает заменяемость их в природе... Поэтому даже четкое прогнозирование продуктивности по одному фактору говорит лишь об удачной модели, в которой другие факторы хорошо закодированы” (С. 176). Характерен в этом отношении результат исследования М. Л. Розенцвейга (Rosenzweig, 1968).

Если в модели Л. Р. Холдриджа (Holdridge, 1947) показатель эвапотранспирации играет вспомогательную роль, то М. Л. Розенцвейг (Rosenzweig, 1968), предполагает вслед за Дж. Мэйджором (Major, 1963) ее тесную взаимобусловленность с васкулярной активностью растения. М. Л. Розенцвейг рассматривает эвапотранспирацию как фактор, опосредующий одновременно влагообеспечение и солнечную энергию, поскольку последняя определяет фазовый перенос доступной воды и лимитирует фотосинтез. Осадки и биотемпература, по Л. Р. Холдриджу, выполняют соответственно аналогичные функциональные роли. Это согласуется с утверждением Г. Ф. Хильми (1976): "Транспирация растительным покровом влаги практически полностью происходит за счет поглощаемой им физиологически активной радиации" (С. 10).

Взяв за основу подобную интерпретацию эвапотранспирации, М. Л. Розенцвейг (Rosenzweig, 1968) установил тесную связь последней с фактическими данными годичной нетто-продуктивности NPP климаксовых растительных сообществ в зональном диапазоне от пустыни и тундры до тропиков (рис. 1.19). Хотя М. Л. Розенцвейг аппроксимировал упомянутую зависимость прямой линией в логарифмических координатах (аллометрия), фактически эта зависимость даже при визуальном анализе остатков имеет нелинейный выпуклый вид. Примечательно, что какие-либо скачки в этой зависимости отсутствуют, несмотря на то, что она охватывает по меньшей мере три экотона.

Х. Лит (1974) подобную зависимость описал экспоненциальной функцией, назвав ее кривой насыщения (рис. 1.20). Он использовал данные по эвапотранспирации более 1000 метеостанций, равномерно распределенных по Земному шару, и фактические данные первичной нетто-продуктивности, полученные по МБП и усредненные для той или иной формации. Используя названную зависимость и карту фактической эвапотранспирации Гейгера, Х. Лит (1974) составил карту первичной продуктивности суши. Аналогичная карта была создана Х. Литом (1974) на основании парных зависимостей NPP от температуры и осадков (рис. 1.21), которая показала хорошее соответствие с первой.

Используя метод шагового регрессионного анализа, К. Маногаран (Manogaran, 1974) установил, что в прогностической модели потенциальной продуктивности насаждений юга США температура и осадки являются менее информативными показателями по сравнению с фактической эвапотранспирацией.

В отличие от Х. Литы (1974), который вначале установил парные зависимости NPP от температуры и осадков, а затем по ним (раздельно для каждой из двух зависимостей) составил карту первичной продуктивности суши, Н. И. Базилевич с соавторами (1968) шли обратным путем: по фактическим данным составили карту первичной продуктивности суши, на основе сопряженного анализа географических закономерностей продуктивности и климатических характеристик выявили определяющие факторы — тепло и влагу и затем рассчитали зависимость первичной продукции от радиационного баланса R и индекса сухости R/Lr (см. разд. 1.4.2) совместно (рис. 1.22).

Н. И. Базилевич с соавторами (1968) установили, что NPP увеличивается от северных широт к южным в соответствии с возрастанием тепловых ресурсов, но неравномерно: при $R/Lr = 1$ увеличение R от наименьших наблюдаемых значений до примерно 40 ккал/см² в год приводит вначале к резкому росту

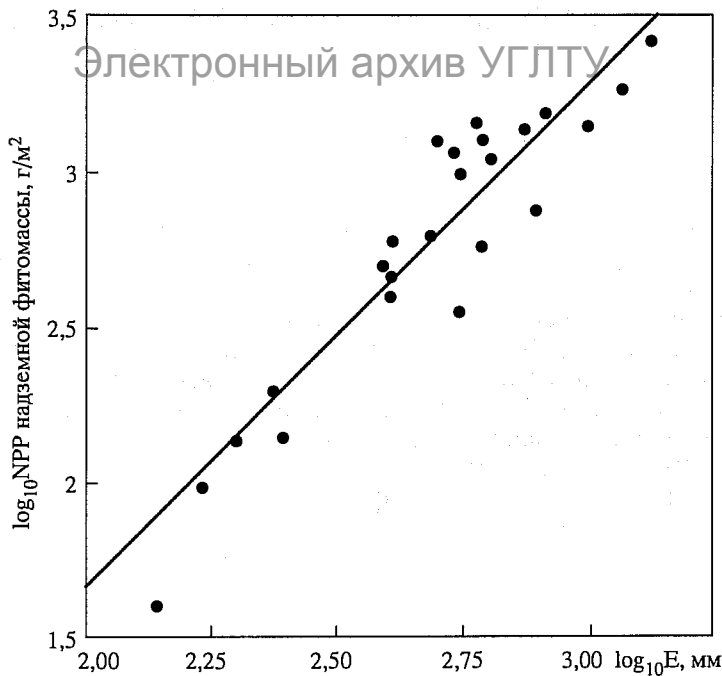


Рис. 1.19. Зависимость годичной нетто-продуктивности (NPP) надземной фитомассы в абсолютно сухом состоянии растительных сообществ (от тундры и пустыни до тропиков) от фактической эвапотранспирации (E) (Rosenzweig, 1968).

Прямая получена по уравнению $\log_{10} NPP = (1,66 \pm 0,27) \log_{10} E - (1,66 \pm 0,07)$

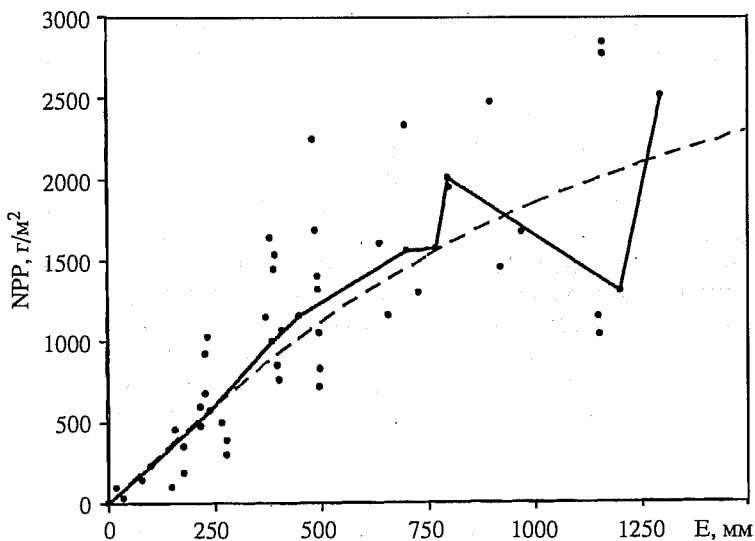


Рис. 1.20. Зависимость годичной нетто-продуктивности (NPP) фитомассы в абсолютно сухом состоянии для 20 растительных формаций Земного шара от фактической эвапотранспирации (E) (Лит, 1974).

Сплошная линия соединяет значения продуктивности, усредненные по грациям эвапотранспирации; пунктирная получена по уравнению $NPP = 3000 (1 - e^{-0,000995 (E-20)})$. Цифра 20 в показателе степени означает, что продуцирование начинается при эвапотранспирации

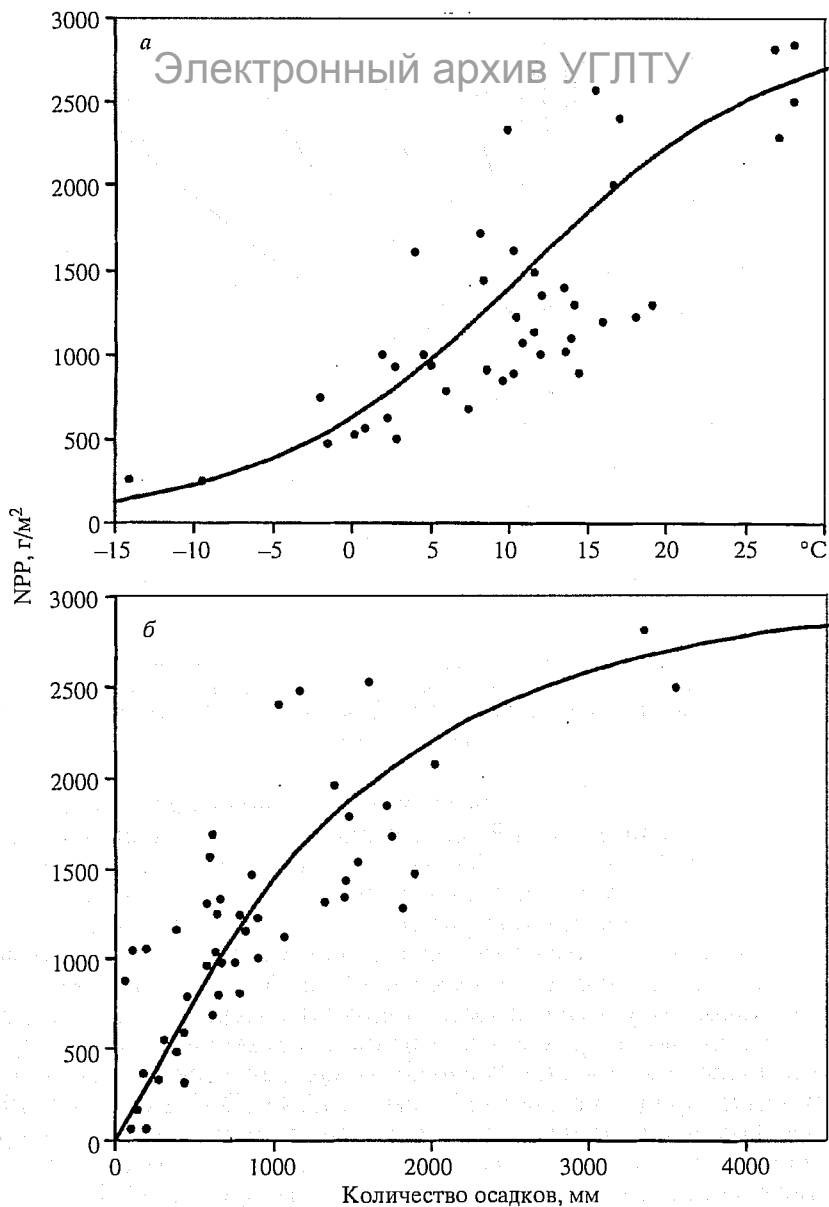


Рис. 1.21. Зависимость годичной нетто-продуктивности (NPP) фитомассы в абсолютно сухом состоянии для 20 растительных формаций Земного шара от среднегодовой температуры (а) и среднегодового количества осадков (б) (Лит, 1974).

$$a — Y = 3000 / (1 + e^{1,315 - 0,119X}); \quad б — Y = 3000 (1 - e^{-0,000664X})$$

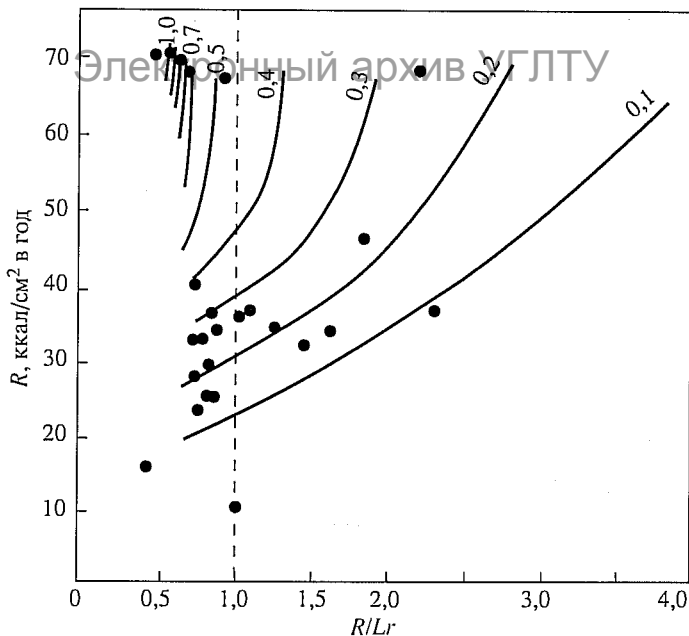


Рис. 1.22. Схема изменения относительных величин полного годичного прироста (в долях единицы максимального прироста, показаны цифрами) зональных растительных сообществ в зависимости от радиационного баланса R и индекса сухости R/Lr (Базилевич и др., 1968; Дроздов, 1969)

NPP, а затем стабилизируется. При значениях $R > 40$ ккал/см² в год преимущественная роль в увеличении NPP принадлежит влаге, и особенно заметно NPP повышается при $R/Lr < 1$. Эти данные численно подтверждают положение Г. Люндегорда (1937) о том, что в сообществах олиготрофов зависимость от условий среды наиболее резко выражена в области минимума факторов.

Приняв за основу упомянутую выше систему термо- и гидрорядов (см. рис. 1.4) и соответствующие им факторы (R и P), В. Р. Волобуев (1974) построил двухфакторную зависимость количества энергии, аккумулируемой в NPP, от радиационного режима и осадков. Рассматривая фитомассу растительного покрова в качестве “основного энергетического источника всех биологических процессов в почве” (Там же. С. 45), В. Р. Волобуев (1974) использовал полученную зависимость для оценки величины затрат энергии на почвообразование (энергетического эквивалента почвообразования), а также — для расчета возможной “нормы годичного прироста” (Там же. С. 47).

К. Б. Лосицкий и В. С. Чуенков (1980) в пределах бывшего СССР установили в большинстве своем близкие к функциональным парные зависимости среднего годичного прироста древесины на 1 га от радиационного баланса и от суммы активных температур с коэффициентами корреляции, варьирующими в зависимости от древесной породы в диапазонах: в первом случае 0,90—0,97 и во втором — 0,70—0,95. Они констатировали: “На единицу радиационного баланса или на 100 °С активных температур при общей обеспеченности влагой для насаждений отдельно взятой древесной породы в одинаковом возрасте приходится одинаковая величина годичного прироста древесины независи-

мо от географического района” (Там же. С. 51). Биологическую основу выявленного феномена авторы видят в том, что “процесс превращения солнечной энергии при помощи фотосинтеза в органическое вещество протекает везде одинаково и что состав фотосинтетически активной радиации на поверхности суши не изменяется по географическим районам” (Там же. С. 54).

На основе карты агроклиматического районирования Северо-Востока страны (к востоку от р. Лены) Н. И. Хлыновская (1988) составила карту фитоклиматического районирования по запасам надземной и подземной фитомассы растительного покрова. Для этого была выведена и последовательно использована рекурсивная система (Усольцев, 1998) двух зависимостей: первая характеризовала связь фитомассы с суммой температур выше 10°, а вторая — связь последней с совокупностью трех факторов — широты, долготы и высоты над уровнем моря. По существу, это была трехмерная ординация биопродуктивности обесличенного растительного покрова в первом приближении.

Уникальное комплексное исследование запасов, депонирования и круговорота углерода и азота в связи с климатическими факторами, атмосферными загрязнениями, биоразнообразием растительного мира и организмов ризосферы в еловых и буковых экосистемах, составляющих в Европе около 60 % лесопокрытой площади, выполнено по двум проектам Европейского сообщества — NIPHYS — “Азотная физиология лесных растений и почв” и CANIF — “Углеродо-азотный круговорот в лесных экосистемах” (Schulze, 2000с). По меридиональной трансекте от севера Швеции до юга Франции и Италии было заложено 13 пробных площадей в естественных и искусственных насаждениях упомянутых двух древесных пород в однородных лесорастительных и почвенных условиях (рис. 1.23). Связь NPP по общей (надземной и под-

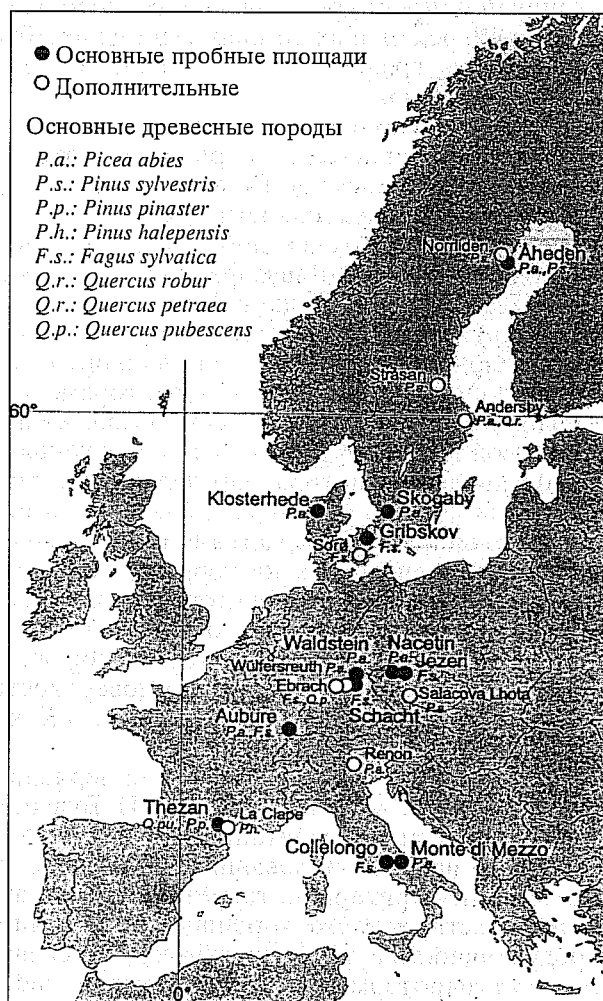


Рис. 1.23. Расположение по трансевропейскому профилю пробных площадей, заложенных в ходе выполнения проектов NIPHYS и CANIF (Persson et al., 2000)

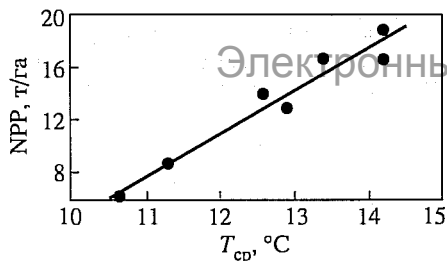


Рис. 1.24. Зависимость годичной нетто-продуктивности (NPP) от общей фитомассы в абсолютно сухом состоянии от средней температуры за период с мая по сентябрь в насаждениях *Picea abies* L. (Karst.) по трансевропейскому профилю, описываемая уравнением $Y = 3,2497X - 28,0$; $R^2 = 0,96$ (Scarascia-Mugnozza et al., 2000)

земной) фитомассе еловых и буковых насаждений со средней температурой вегетационного периода (май—сентябрь) в пределах упомянутой трансекты оказалась близкой к функциональной (рис. 1.24).

Однако одна только сумма эффективных температур не всегда достаточна для корректного моделирования продуктивности. Исследования, проведенные в условиях Средней Сибири (Черепнин и др., 1973), показали, что годичный прирост древесины (м³/га) довольно тесно (при $R^2 = 0,74$) связан с суммой эффективных температур (выше 10°) и годичной суммой осадков. Зависимость графически представлена колоколообразной поверхностью второго порядка.

В тех же условиях Средней Сибири для лиственничных и сосновых лесов в бассейне Енисея (на территории соответственно от Таймыра до степей Тувы и от Туруханска до Енисейска) Н. П. Гординой (1984, 1988) выведены зависимости продуктивности древостоев, выраженной классом бонитета (индексным показателем либо высотой древостоя в фиксированном возрасте), одновременно от двух факторов — продолжительности вегетационного периода и суммы осадков. Для лиственницы и сосны R^2 равны соответственно 0,93 и 0,88. Графически полученные зависимости имеют вид поверхностей, монотонно изменяющихся по ортогональным осям координат одновременно по двум упомянутым факторам.

Полагая, что продуктивность насаждений определяется не только среднегодовой температурой, но и континентальностью климата, В. Небе (Nebe, 1966) в качестве фактора, определяющего термический режим, принял произведение среднегодовой температуры на ее годовую амплитуду. Для 80-летних ельников, произрастающих в 28 местообитаниях средней трофности и влагообеспеченности на территории Германии (Саксония, Тюрингия и Гарц), он рассчитал двухфакторную зависимость верхней высоты ельников от упомянутого термического фактора (ТК) и суммы осадков с мая по август (Р) полным полиномом второго порядка. Графическую эту зависимость представляет колоколообразную поверхность с максимальным значением верхней высоты 35 м при значениях ТК и Р соответственно 126 и 5,4 (рис. 1.25).

Казалось бы, упомянутый выше периодический закон географической зональности А. А. Григорьева и М. И. Будыко (1956) с их радиационным индексом сухости как сочетанием двух определяющих гидротермических показателей при районировании продуктивности растительного покрова может служить критерием, теоретически достаточно обоснованным. Об этом свидетельствует также хорошая согласованность фактических данных биопродуктивности с теоретическими, вычисленными по названной совокупности двух гидротермических показателей (рис. 1.26). С использованием мате-

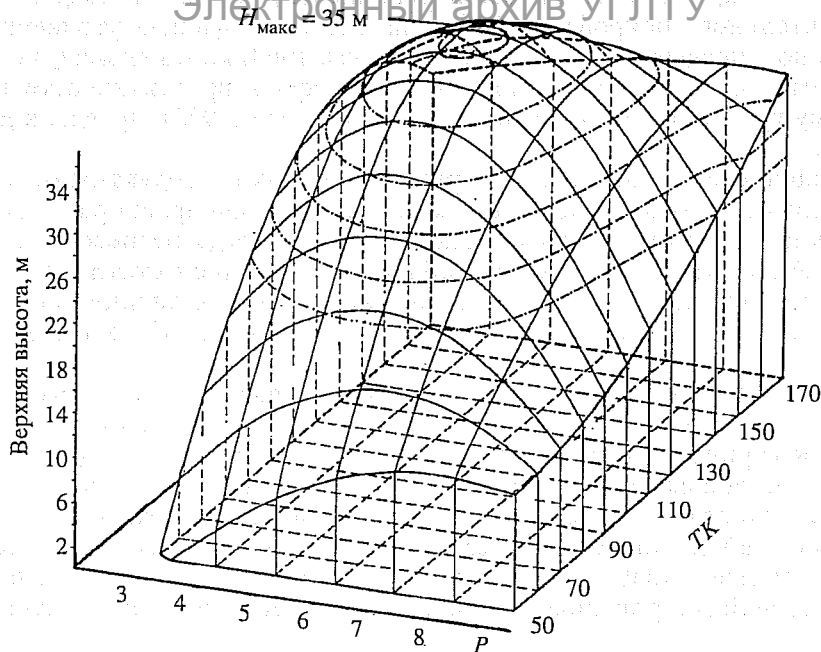


Рис. 1.25. Зависимость верхней высоты 80-летних ельников Германии, произрастающих на почвах средней трофности и влажности, от произведения среднегодовой температуры на ее годовичную амплитуду (TK) и суммы осадков с мая по август (P) (Nebe, 1966)

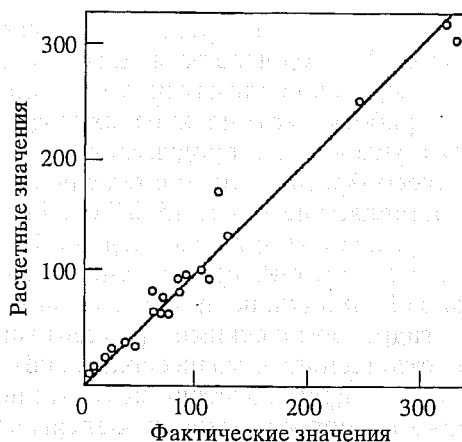


Рис. 1.26. Соотношение расчетных и фактических значений продуктивности растительного покрова, ц/га в год (Будыко, Ефимова, 1968)

риалов о радиационном балансе и режиме осадков на территории бывшего СССР Н. А. Ефимовой (1977) были выполнены расчеты биопродуктивности растительного покрова и составлена соответствующая уточненная по сравнению с предыдущей (Будыко, Ефимова, 1968) карта-схема (рис. 1.27). Ее данные подтвердили закономерность профиля продуктивности по зональному градиенту Е. М. Лавренко с соавторами (1955), правда, в других цифрах.

Большинство приведенных примеров оценки продуктивности растительного покрова по нескольким климатическим факторам построены на классическом пассивном эксперименте, когда регрессионная модель рассчитывается методом перебора с отсеиванием статистически не значимых признаков. Принципиально иной подход к оценке продуктивности по климатическим факторам предложен Н. И. Казимировым (1986).

Метод представляет собой реализацию не пассивного, а фактически активного эксперимента с подбором климатических рядов по различным географическим градиентам. Вначале подбирается ряд одновидовых растительных сообществ на местообитаниях одинаковой трофности и влажности с разными уровнями термического фактора на фоне примерно стабильного уровня осадков. Затем для каждого уровня термического фактора подбирается ряд сообществ с разными уровнями осадков на фоне фиксированных значений “термики”, трофности и влажности почв.

Для территории Европейской России, простирающейся в зональном направлении от Северной Карелии до Брянской области, получена зависимость для 50-летних сосняков наибольшей производительности

$$H_{50} = [33,1 - 28700/(\Sigma T + 400)](1 - 0,01\Sigma T/P), \quad (1.8)$$

где H_{50} — средняя высота древостоев в возрасте 50 лет; ΣT — сумма температур $>10^\circ\text{C}$; P — годовые осадки, мм (Казимиров и др., 1986а).

Однако выделение климатических районов по географическим градиентам при разработке математических моделей, учитывающих влияние климатических условий на продуктивность, по мнению Н. И. Казимирова (1986), “целесообразно только в тех случаях, когда расхождение в тепловом режиме составляет не менее 15 %” (С. 11). Этому условию удовлетворяет, по-видимому, выше упомянутая модель В. Небе (Nebe, 1966), где 28 районов распределены, хотя и на сравнительно небольшой площади, ограниченной территорией Германии, но приходится на три горные системы с резко выраженными гидротермическими градиентами. Сказанное тем более правомерно по отношению к трансевразийским и транссибирским трансектам, климатические характеристики которых положены в основу выше упомянутых одно- и многофакторных зависимостей (Базилевич и др., 1968; Черепнин и др., 1973; Ефимова, 1977; Лосицкий, Чуенков, 1980; Гордина, 1984, 1988; Хлыновская, 1988; и др.). Видимо нельзя считать оправданными попытки изучения продуктивности насаждений на основе климатических факторов в локальных условиях, например, в пределах одной Московской области (Баранов, 1980).

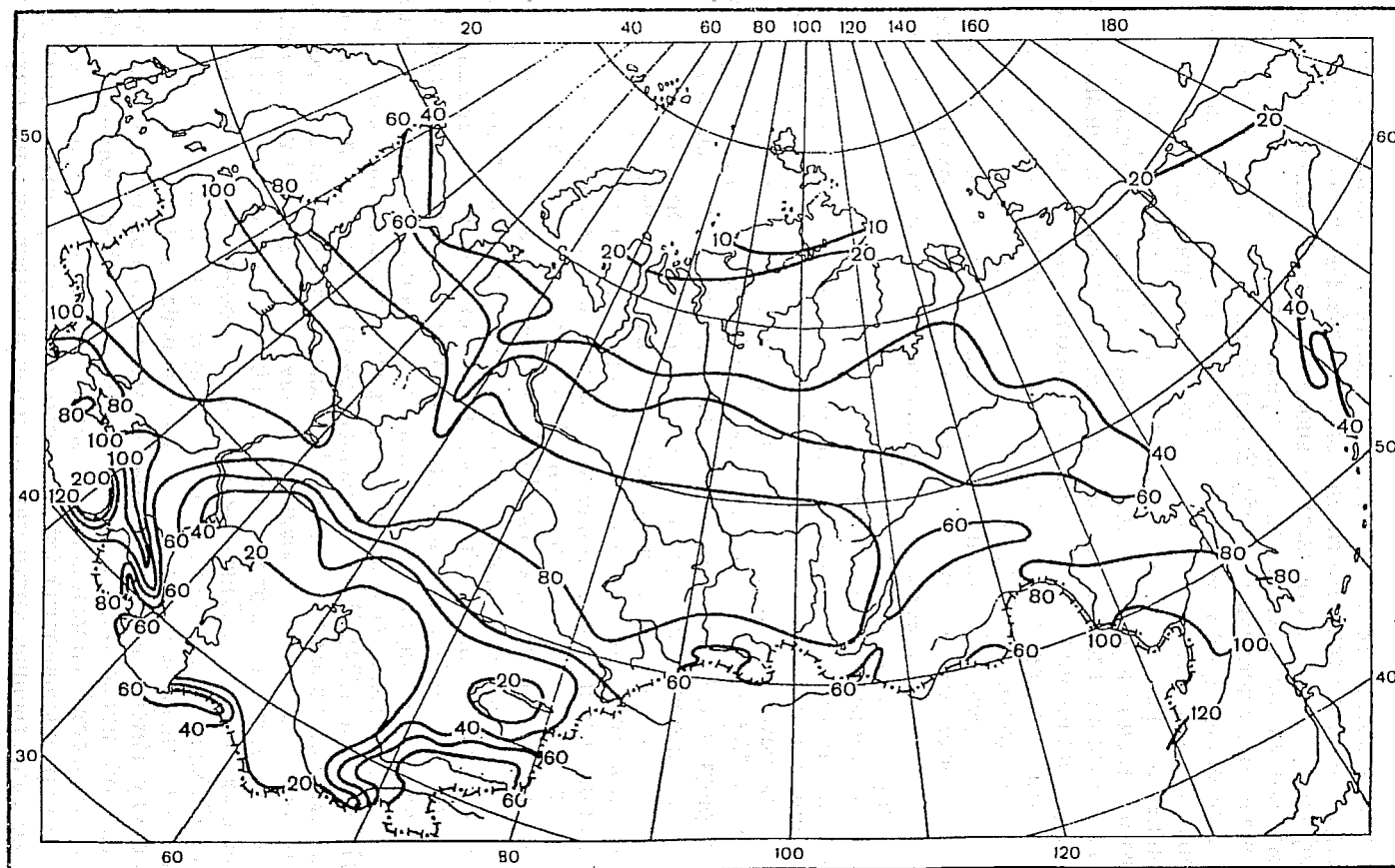


Рис. 1.27. Карта-схема годичной нетто-продуктивности надземной и подземной фитомассы естественного растительного покрова на территории бывшего СССР, уточненная Н. А. Ефимовой (1977).

Цифрами обозначены изолинии продуктивности, ц/га в год

Известно, что климатические факторы являются главнейшими и всеобщими в определении характера растительного покрова. Первая попытка построения профиля продуктивности растительного покрова по природным зонам и подзонам европейской части России была предпринята, как уже упоминалось, Е. М. Лавренко с соавторами (1955). Затем были составлены планетарные карты-схемы биопродуктивности растительного покрова, которые в общих чертах подтвердили упомянутую зональную закономерность.

В дальнейшем российскими климатологами и фитогеографами установлено, что изменения в растительном покрове происходят не только в широтном направлении (по зональному градиенту) в связи с интенсивностью солнечной радиации, но и в меридиональном (по провинциальному градиенту) — от морских побережий внутрь континента в связи с континентальностью климата (Докучаев, 1899; Высоцкий, 1905; Григорьев, Будыко, 1956; Курнаев, 1973; Горев, 1974; Назимова, 1995; Калашников, 2002). Однако согласно картам-схемам по меридиональному (провинциальному) градиенту, какой-либо четкой закономерности в изменении продуктивности растительного покрова не было показано.

Например, приведены (Базилевич, Родин, 1967) диапазоны запасов фитомассы на протяжении от Скандинавского полуострова до Притихоокеанского региона для подзоны северной тайги 50—150 т/га, для средней тайги — 150—300 т/га и от Западной Сибири до Дальнего Востока для южной тайги — 150—300 т/га, без какой-либо их дифференциации по меридиональному градиенту. М. И. Будыко и Н. А. Ефимова (1968), используя упомянутую выше зависимость продуктивности растительного покрова от радиационного баланса и индекса сухости, составили карту-схему для Евразии, согласно которой на пространстве от западной до восточной границ России годичный прирост органического вещества составляет в полярном поясе 2 — 4 т/га, а в пограничном с ним бореальном — 4 — 6 т/га.

Правда, позднее Н. А. Ефимова (1977) модифицировала карту-схему (см. рис. 1.27) и показала, что в меридиональном направлении биопродуктивность снижается в направлении от Европейской России (10 т/га) к Забайкалью (6 т/га), а затем в Приморье вновь возрастает до 10 т/га. Снижение показателя лесопригодности климата по меридиональному градиенту Европейской России от 20° до 60° в. д. в связи с возрастанием контрастности климата было установлено Г. И. Горевым (1974). Н. И. Базилевич (1993) в своей более поздней работе также отмечает изменение запасов фитомассы растительного покрова не только по зональному, но и по провинциальному (меридиональному) градиенту: наибольшие показатели имеют место в Европейской России, затем идет последовательное их снижение в Западной и Средней Сибири, достигая минимума в Восточной Сибири. Далее к Притихоокеанскому региону названные показатели возрастают, однако не достигают уровня Европейской России.

Поскольку изменение индекса континентальности климата происходит в аналогичной последовательности (Полозова, 1954; Борисов, 1967; Тухканен, 1984), есть основания предполагать наличие некоторой обратной зависимости продуктивности растительного покрова от упомянутого индекса. Однако единственная чисто таксационная попытка проанализировать производительность древостоев по провинциальному градиенту с использо-

ванием 500 ТХР сосняков дала парадоксальный, “контринтуитивный” результат: на трансекте Европа — Восточная Сибирь по мере возрастания континентальности климата площадь сечений сосняков увеличивалась на 10—12 % на каждую 1000 км (Тябера, 1988).

К сказанному остается добавить, что и карта-схема Н. А. Ефимовой (1977), и данные Г. И. Горева (1974), и карта биопродуктивности растительного покрова Н. И. Базилевич и Л. Е. Родина (1967) не согласованы с современными концепциями геоботанического (Сочава, 1953, Шумилова, 1962), лесорастительного (Крылов, 1959; Цепляев, 1961; Курнаев, 1973) либо лесохозяйственного (Смагин и др., 1978) районирований.

Таким образом, если по широтному градиенту наличие профиля продуктивности лесного покрова подтверждено с различных позиций исследователями разных научных отраслей (Лавренко и др., 1955; Григорьев, Будыко, 1956; Базилевич, Родин, 1967; Будыко, Ефимова, 1968; Львов, Ипатов, 1973; Загреев, 1978; Зеланд и др., 1979; Тябера, 1988; Палуметс, 1988; Габеев, 1990; Усольцев, 1998), то в изменении продуктивности лесного покрова по меридиональному градиенту существует пока некоторая неопределенность, а иногда предлагаются и взаимоисключающие закономерности.

Имея в виду скрытое присутствие друг в друге различных факторов продуктивности растительного покрова, когда влияние одних маскируется действием других (Карпачевский, 1981), а также мнение В. Л. Комарова о меридиональных зонах как зонах увлажнения (Волобуев, 1947), нельзя исключать того, что в упомянутой неопределенности в какой-то степени “повинна” рассмотренная в разделе 1.4.1 взаимная “маскировка” факторов увлажнения и континентальности климата, и в этом случае определяющая роль континентальности климата в изменении продуктивности растительности по меридиональному градиенту не является бесспорной.

По этому поводу Н. П. Поликарпов с соавторами (1986) пишут: “Континентальность климата, выраженная через годовую амплитуду температуры воздуха, по-видимому, не является фактором, прямо действующим на продуктивность древесной растительности. В большей степени это фактор, влияющий на распределение пород в пространстве” (С. 159). Косвенным подтверждением этого предположения служит отсутствие каких-либо схем лесотаксационного районирования, количественно подтверждающих закономерное снижение производительности лесов по провинциальному градиенту в связи с возрастанием континентальности климата. Известные таксационные схемы ограничены зонированием только по широтному градиенту (Тольский, 1937; Загреев, 1978). Некоторое исключение составляет лишь работа Г. И. Горева (1974).

В двух монографиях автора (Усольцев, 2001, 2002a) показатели надземной и общей фитомассы основных лесообразующих пород Северной Евразии с помощью специальных математических приемов приведены в сопоставимое состояние и установлена достоверная обратная зависимость названных показателей от индекса континентальности климата. Анализ выполнен в двух вариантах: по материалам пробных площадей базы данных (Усольцев, 2001) и по показателям таблиц биологической продуктивности (Усольцев, 2002a). В обоих случаях фитомасса каждой древесной породы закономерно снижается синхронно с повышением индекса континентальности в направлении от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в Якутии. Использован индекс континентальности

Ценкера, представляющий собой отношение годовой амплитуды температур к значению географической широты, учитывающей косвенно величину радиационного баланса.

Вопрос о природе выявленного феномена сопряженности континентальности климата и продуктивности древесной растительности остается открытым. Не исключено, что по мере продвижения от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности имеет место параллельный эффект либо совмещенное воздействие на продуктивность нескольких факторов: амплитуды температуры воздуха, увлажнения и других, еще неизвестных. Автор считает возможным ограничиться пока констатацией факта наличия такой закономерности, при этом имея в виду, вслед за Л. О. Карпачевским (1981), что заменяемость факторов в выявленной закономерности не означает заменяемости их в природе.

Горные местообитания. В горах действие абиотических факторов на продуктивность и структуру растительных сообществ по высотному градиенту сконцентрировано на значительно меньшей территории и поэтому более наглядно по сравнению с равнинными местообитаниями. Сказанное подтверждается результатами И. П. Ведя (1969) для условий горного Крыма: запасы древостоев как на северных (бук), так и на южных (сосна крымская) склонах, изменяются синхронно с радиационным индексом сухости. Обусловленность смены лесных зон и фенологических фаз в горах Миттельгебирге в Германии летними осадками и суммой дневных температур ($>8^{\circ}\text{C}$) подтверждена Ф. К. Хартманом (Hartmann, 1972). Д. И. Назимова с соавторами (1983) показали, что периодический закон географической зональности хорошо описывает общие географические закономерности природной зональности не только на равнине, но и в горах, с некоторыми уточнениями, обусловленными спецификой горных условий.

Р. Х. Уиттекер и В. А. Ниринг (Whittaker, Niering, 1975) исследовали закономерности распределения запаса фитомассы и ее нетто-продуктивности NPP по высотному градиенту в горах Санта Каталина, штат Аризона. Растительные сообщества в диапазоне поясов от верхнего лесного до нижнего пустынного представлены соответственно сомкнутыми хвойными и лиственными насаждениями, рединами, кустарниковыми зарослями и травянистым покровом. В соответствии с изменением климатических показателей по высотному градиенту (рис. 1.28) установле-

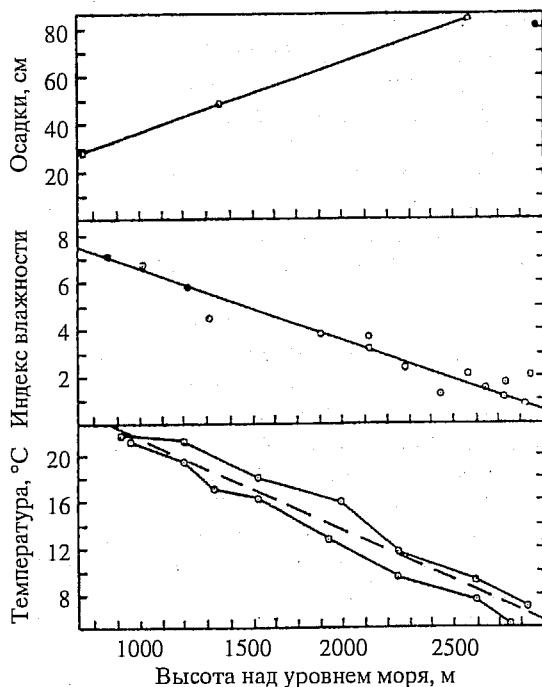


Рис. 1.28. Изменение климатических показателей по высотному градиенту в горах Санта Каталина, США (Whittaker, Niering, 1975)

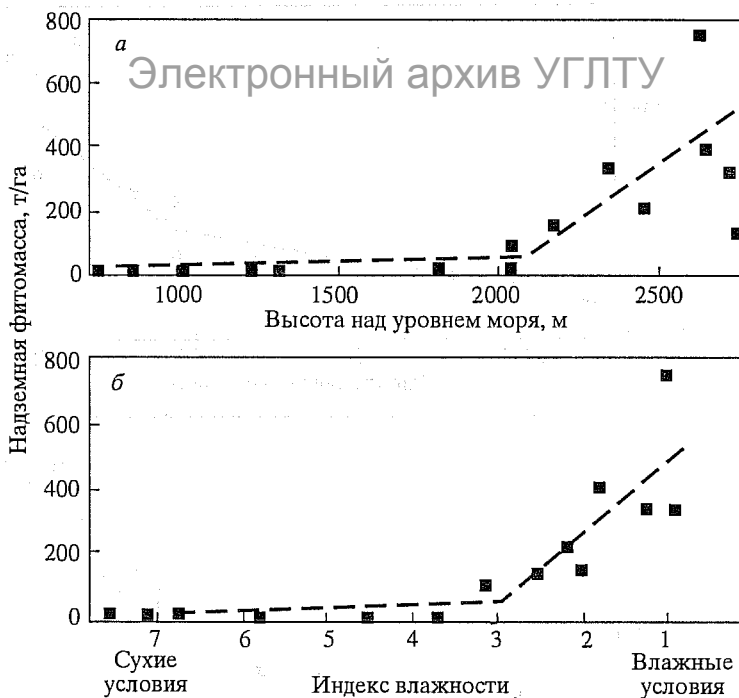


Рис. 1.29. Зависимость надземной фитомассы растительных сообществ от высоты над уровнем моря (а) и индекса влажности (б) в горах Санта Каталина, США (Whittaker, Niering, 1975)

но, что оба показателя продуктивности обусловлены как высотой местообитания над уровнем моря, так и индексом влажности. Оказалось, что как валовые показатели фитомассы (рис. 1.29), так и ее годовичная нетто-продукция (рис. 1.30), более тесно связаны с индексом влажности, а не с высотным градиентом.

Хотя в данном случае всего один климатический показатель — индекс влажности — оказался наиболее информативным для оценки биопродуктивности растительных сообществ, тем не менее Р. Х. Уиттекер и В. А. Ниринг (Whittaker, Niering, 1975) полагают, что с изменением высоты местообитания над уровнем моря изменяется комплекс многих климатических и эдафических факторов. Видимо, поэтому сочетания последних в разных географических регионах дают по высотно-поясным градиентам различные, иногда прямо противоположные лесорастительные эффекты.

Если в Аризонской пустыне по мере увеличения высоты над уровнем моря (горы Санта Каталина) с 750 до 2850 м биопродуктивность растительных сообществ монотонно возрастает (см. рис. 1.29—1.30), то в среднетаежной подзоне Северного Урала (район Денежкина Камня) при подъеме с 740 до 840 м н. у. м. высота ельников снижается с 8 до 1 м с коэффициентом корреляции $-0,8$ (Крылова, Лесков, 1959). Та же закономерность характерна для ельников хвойно-широколиственных лесов Приморья (южный Сихотэ-Алинь), где в диапазоне от 550 до 840 м н. у. м. высота древостоев снижается с 32 до 22 м, средний диаметр — с 26 до 16 см и запас — с 360 до 160 м³/га с коэффициентами корреляции $-0,96$ (Доев, 1973).

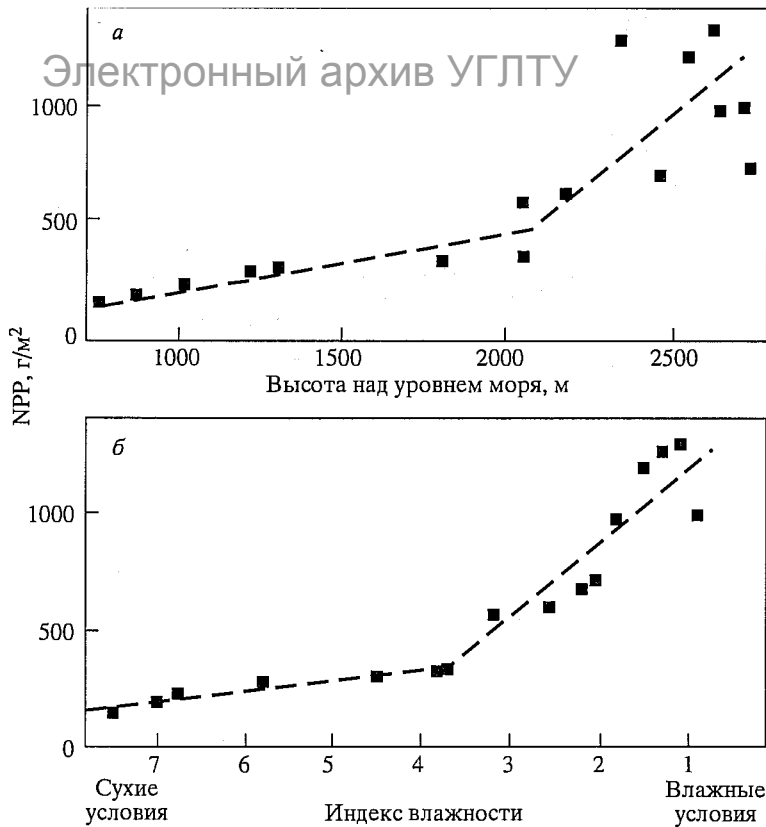


Рис. 1.30. Зависимость годичной нетто-продуктивности фитомассы растительных сообществ от высоты над уровнем моря (а) и индекса влажности (б) в горах Санта Каталина, США (Whittaker, Niering, 1975)

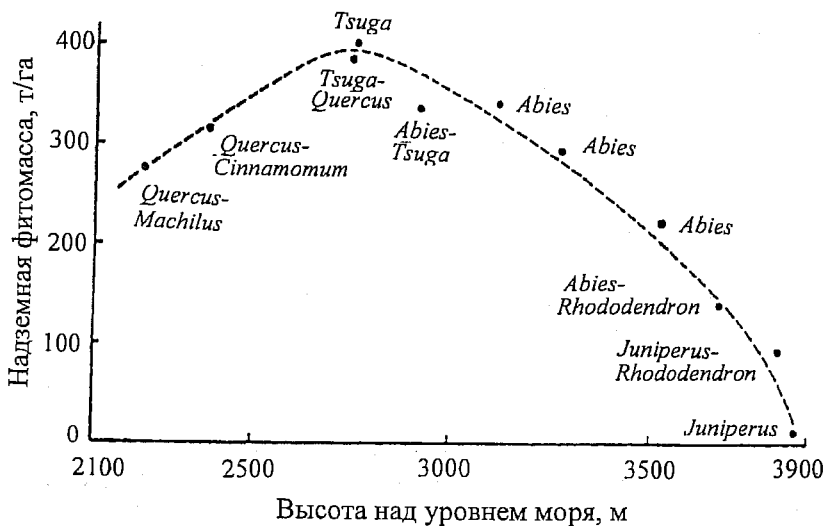


Рис. 1.31. Изменение надземной фитомассы климаксовых лесных и кустарниковых сообществ по высотному градиенту восточной части Гималаев в Непале (Kira, Shidei, 1967)

Есть и третий вид закономерности, характеризующийся колоколообразным характером связи биопродуктивности лесных сообществ с высотой над уровнем моря (рис. 131) и представляющий собой сочетание двух рассмотренных выше закономерностей. По мере подъема с 2100 до 2700 м надземная фитомасса возрастает с 270 т/га в дубовых до 400 т/га в тсуго-дубовых сообществах, где высота древостоев тсуги доходит до 40 м. С дальнейшим подъемом с 2700 до 3900 м тсуго-дубовые сообщества последовательно переходят в тсуго-пихтовые, они сменяются пихтовыми, затем — пихтово-рододендроновыми, можжевельново-рододендроновыми и, наконец, можжевельновыми сообществами с запасами надземной фитомассы в последних около 10 т/га (Kira, Shidei, 1967).

Климатические условия Западного Саяна характеризуются по высотному градиенту от 300 (степь) до 3000 м (горная тундра) диапазоном сумм температур выше 10° соответственно от 2000° до 0 и диапазоном индекса сухости М. И. Будыко соответственно от 2,5 до 0,1. В пределах отмеченных диапазонов в местообитаниях, ограниченных произрастанием четырех хвойных пород, было заложено 700 пробных площадей в древостоях, наиболее сомкнутых для того или иного типа леса (Чебакова, 1981; Поликарпов, Чебакова, 1982). Проанализированы парные зависимости продуктивности древостоев, выраженной классом бонитета и запасом, от годового количества осадков, годового радиационного баланса, радиационного индекса сухости и суммы температур выше 10°, а также двухфакторные — от двух последних показателей. Последний вид связи оказался наиболее информативным. Установлено, что в холодных поясах (суммы температур ниже 800°) продуктивность определяется термическим режимом, а в теплых поясах (суммы температур выше 800°) — условиями увлажнения. С использованием полученных моделей составлены карты-схемы потенциальной продуктивности горных лесов Саян. Поскольку пробные площади закладывались в наиболее продуктивных насаждениях, то в пределах одной климатической градации фактическая продуктивность оказалась существенно (до 400 м³/га) ниже потенциальной главным образом в результате действия эдафических факторов (Поликарпов и др., 1986).

Таким образом, проблема выбора адекватного математического описания в геоэкологии и, в частности, в оценке потенциальной продуктивности лесного покрова остается пока открытой. Фитогеографам предстоит проделать огромной сложности работу по выявлению условий, когда непрерывное изменение пространственных координат или абиотических факторов влечет за собой скачок в характеристиках растительных сообществ и когда подобные переходы имеют плавный характер. Имеют ли место упомянутые скачки только на экотонах или же при определенных условиях это может происходить и на переходах как между провинциями (подзонами), так и между биогеоценозами, и как это связано с действием лимитирующих факторов? Поскольку, как отмечалось, гистерезис — это нелинейность в среде с памятью, необходимо конкретизировать связь между “принципиальной нелинейностью” биологических процессов (Свирижев, 1987) и явлением гистерезиса в колебательных процессах биологических и экологических систем (Молчанов, 1975; Ведюшкин, 1989, 1992). Если даже соответствующая теория будет в конце концов разработана, то как ее можно проверить на конкретных переходах растительных сообществ, когда характерные време-

на колебаний их характеристик могут составлять сотни и тысячи лет? Наконец, каковы пределы и возможности применения в фитогеографии традиционных многофакторных эмпирических моделей, обеспечивающих описание адекватных монотонных зависимостей в многомерном пространстве действующих факторов?

В любом случае следует согласиться с мнением К. Б. Лосицкого (1968), что “при изучении климатических условий и определении оптимальных или пороговых показателей нельзя устанавливать строго определенных количественные выражения одного какого-либо фактора без учета влияния всех остальных. Эти выражения, как известно, меняются в зависимости от географических координат. Сочетание определенных факторов приводит к возникновению качественно нового явления, не отображающего действие отдельно взятого” (С. 15). Сказанное усугубляется при оценке потенциальной продуктивности преобладающих в природе смешанных насаждений, поскольку “биоэкология смешанного насаждения — не сумма биологических свойств составляющих его древесных пород. Это сложный комплекс взаимосвязанных компонентов, в котором биологические особенности пород проявляются иначе, чем в чистых насаждениях, по другому протекает и взаимодействие такого насаждения с внешней средой” (Там же. С. 15).

В настоящей работе, как и в двух предыдущих монографиях автора (Усольцев, 2001; 2002a), продуктивность фитомассы (в данном случае — предельная), приведенная к 10 единицам состава преобладающей породы, анализируется в качестве первого приближения в связи с индексом континентальности климата, а в качестве второго — с упомянутым индексом и с суммой эффективных температур.

1.4.3.2. ПРИМЕРЫ ДЕДУКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

Специфичный подход к разработке функциональных моделей потенциальной продуктивности лесов разработан Р. Й. Флоровым (1975), получившим очень тесную зависимость продуктивности естественных лесов от гидротермического режима местообитания, в частности, водного режима и продолжительности вегетационного периода. Он полагает, что “продуктивность естественных лесных местопроизрастаний представляет зеркальное отражение питательного режима (а не валового запаса химических элементов в почве), который в свою очередь является функцией гидротермического режима” (Там же. С. 22). Количественную связь между гидротермическим режимом и продуктивностью естественных насаждений Р. Й. Флоров определяет по усредненному ходу водных запасов почвы в течение вегетационного периода и по оценке возникающей энтропии в листовой системе насаждения.

Первый способ назван Р. Й. Флоровым полуэмпирическим, поскольку величина испаряемости оценивается по отношению радиационного баланса к скрытой теплоте испарения, но при этом не рассчитывается количество поглощенной хлорофиллом солнечной радиации. Последнее принято во внимание при втором способе, с учетом энтропии листовой системы растений. Он базируется на термодинамике необратимых процессов, когда возникающая энтропия в открытых системах является мерой диссипации сво-

бодной энергии, в частности, характеризует затраты энергии на ассимиляцию в единицах энтропии. Рассчитанную по предложенной формуле величину брутто-фотосинтеза Р. И. Флоров соотносит с первичной годичной продукцией фитомассы (включая опад и отпад), дополненной затратами на дыхание, и получает КПД брутто-фотосинтеза. С использованием последнего показателя им рассчитан годичный прирост на 58 пробных площадях и сопоставлен с приростом, измеренным таксационными методами. Среднее завышение по обоим способам составило около 9 %, но на отдельных пробных площадях доходило до 33—35 %.

Н. М. Чебакова (1982), используя энтропийный метод применительно к физиологии листовой системы (Флоров, 1975), установила, что он вполне подходит для оценки потенциальной продуктивности лесных насаждений, но требует предварительной дифференциации значений КПД брутто-фотосинтеза в зависимости от эдафических факторов (класса бонитета древостоя) и формы рельефа. Наибольшие значения названного КПД соответствовали высшим классам бонитета верхних и средних частей склонов, наименьшие — низшим классам в нижних частях склонов. Ошибка в расчете потенциальной продуктивности изменялась обратно пропорционально величине КПД брутто-фотосинтеза.

Возможности энтропийной оценки потенциальной продуктивности лесов в значительной степени зависят от точности определения затрат на дыхание, или от соотношения КПД нетто-фотосинтеза и КПД брутто-фотосинтеза. По данным Е. А. Садовничей (1985), для темнохвойных пород первый из названных КПД в 2,5 раза меньше, чем второй.

Г. Г. Суворова с соавторами (2002) особенности фотосинтетической продуктивности сосны, ели и лиственницы в условиях смешанных насаждений Прибайкалья исследуют и интерпретируют с позиций существования видов в сообществе и их эволюции, полагая, что отбор видов “шел одновременно через совершенствование и структуры, и особенности функционирования фотосинтетического аппарата”, и в результате вырабатывались “формы, у которых фотосинтез имел видоспецифичные преимущества в определенном спектре экологических условий” (С. 108).

Своеобразный метод оценки потенциальной продуктивности лесов предложен Г. Ф. Хильми (1976). Им на основе теории размерности и биофизических принципов разработана математическая модель, отображающая связь между количеством световой энергии, поглощаемой растительным покровом суши, и продуктивностью его фитомассы. Г. Ф. Хильми предложил метод оценки продуктивности фитомассы суши по актинометрическим данным — количеству ФАР, падающей на единицу площади. Значения продуктивности получены им путем умножения запаса стволовой древесины, взятого из таблиц хода роста нормальных древостоев, на единый для данной породы переводной коэффициент полной фитомассы, рассчитанный в свою очередь по данным Л. Е. Родина и Н. И. Базилович (1965). Эти данные были использованы для проверки адекватности разработанной математической модели. Смещения не превышали 6 %.

Следует отметить, что Г. Ф. Хильми проверял модель по фактическим данным фитомассы, рассчитанной очень грубо — по переводному коэффициенту, единому для породы, хотя известно, что с возрастом он изменяется

в несколько раз (Усольцев, 1998). Кроме того, из расчета энергетического баланса исключена отпадающая часть насаждения. Поэтому проверка модели выполнена не по показателям первичной NPP, а по текущему годовичному изменению полной фитомассы, которую Г. Ф. Хильми почему-то называет предельной.

Довольно распространен вид эколого-физиологических имитационных моделей, построенных на некоторой концепции распределения продуктов фотосинтеза (ассимилятов) между частями дерева. Самое широкое применение нашла концепция функционального равновесия, выражаемая формулой: масса корней, умноженная на интенсивность поглощения, пропорциональна массе листьев, умноженной на интенсивность фотосинтеза (Davidson, 1969). Однако опыт построения эколого-физиологических имитационных моделей роста растений показал, что одной формулы Дейвидсона недостаточно для адекватного описания реальности (Palumets, 1991).

Одна из современных упрощенных моделей распределения ассимилятов построена на ранжировании отдельных частей дерева по приоритетам в получении ассимилятов. В ее основе лежит физическая аналогия сообщающихся сосудов различной высоты (рис. 1.32). Модель состоит из трех блоков: хвои (1), ствола (2) и корней (3), причем для ствола выделено два подблока: ограниченного и неограниченного прироста. Блоки модели рассматриваются как емкости, соединенные трубопроводами, а ассимилянты — как жидкость, которая поступает снизу и наполняет систему сообщающихся сосудов (Палуметс, 1990; Palumets, 1991).

Поток ассимилятов к каждой фракции дерева разделяется на составляющие четыре уровня: минимальный (одинаковый для всех блоков) — затраты на дыхание поддержания (z); более высокий (минимальный прирост), включает дыхание поддержания плюс обновление отмирающих тканей дерева (тоже одинаковый для всех блоков) (v); предельный уровень развития хвои и корней — ограниченный прирост (b) (уровень насыщения), по достижении которого доступ ассимилятов к ним прекращается (одинаковый для блоков 1 и 3) и, наконец, уровень неограниченного прироста, свойственного только стволу — вместилищу избытка ассимилятов (a) (см. рис. 1.32).

Таким образом, масса ствола согласно изложенной концепции — это мера избытка ассимилятов, которые остаются после удовлетворения затрат, необходимых для роста корней, ветвей, хвои, плодов, на самозащиту и

дыхание (Waring, 1980). В зависимости от погоды текущего года уровень ассимилятов в емкостях-блоках (1—3) (см. рис. 1.32) может колебаться от минимального прироста всех фракций до неограни-

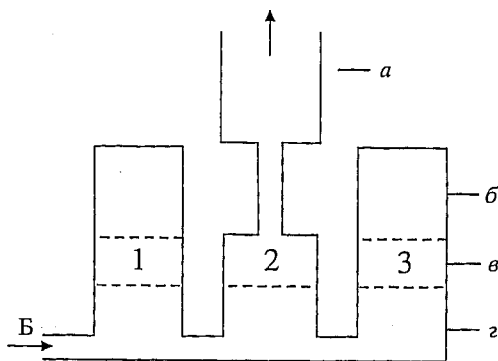


Рис. 1.32. Структура модели распределения ассимилятов в дереве (Палуметс, 1990).

Б — брутто-фотосинтез; а — неограниченный прирост; б — ограниченный; в — минимальный; z — дыхание поддержания

ченного прироста ствола. Размах этих колебаний, в том числе колебаний уровня ассимилятов в блоке 2, соответствующих изменчивости радиального прироста ствола, возрастает по мере ужесточения условий среды, особенно влагообеспеченности местообитания.

В имитационной модели роста дерева, разработанной в Вычислительном Центре АН СССР под руководством Ю. М. Свирежева, учтены не только физиологические процессы дерева, но и ряд климатических и эдафических факторов (Рачко, 1978, 1979). Для описания зависимости нетто-фотосинтеза от ФАР, концентрации CO_2 и количества доступной воды использована модель Х. Молдау (Moldau, 1971), а для учета самозатенения фотосинтезирующего аппарата взята модель Ю. К. Росса (1975). Проблему распределения ассимилятов между частями дерева П. Рачко (1979) решает вводом "принципа максимальной первичной продуктивности", суть которого в том, что "новая биомасса распределяется по листьям, стволу и корням дерева таким образом, чтобы обеспечить максимальную скорость прироста общей биомассы дерева в следующий момент времени при условии, что состояние среды не меняется" (С. 86).

В модель включены также круговороты элементов питания (рис. 1.33) и учтены как угнетение фотосинтеза недостатком этих элементов (принцип Либиха), так и разложение опада и возможный дефицит элементов питания в почве. В целом, модель представляет систему балансовых уравнений круговорота элементов питания, интенсивности фотосинтеза и взаимосвязи фитомасс фракций с их структурой. Численная идентификация модели, выполненная по фактическим данным Н. И. Казимирова (1971) для ельников Карелии, показала наличие отклонений в пределах 10 %.

Модели Я. Палуметса (1990), П. Рачко (1978, 1979) и им подобные, выполненные на уровне дерева, экстраполируются на ту или иную площадь лесных биогеоценозов в целях получения оценок продукционного потенциала этих площадей. Большинство разработанных функциональных моделей лесного покрова имеют биоценотический уровень, динамические процессы в них имитируются на ключевых участках площадью 100 м² и менее. Подробный анализ таких моделей дан в обзоре Т. Оя (1985), К. Кулля и О. Кулля (1989) и других.

В последние годы в связи с осознанием возрастающей биосферной роли лесного покрова в построении его функциональных моделей наметился переход с биоценотического на региональный уровень. Они по существу представляют собой симбиоз функциональных и эмпирико-климатических моделей. В них включаются описания фундаментальных процессов энергетического, углеродного, азотного и водного обменов растительного покрова и реакции последнего на изменения климата и загрязнение среды. Модели ориентированы на использование дистанционного зондирования и ГИС-технологий с целью совмещения данных о структуре растительного покрова и индексов листовой поверхности LAI с данными о климате, а также — о топографии и физических характеристиках местообитаний.

Полагают, что LAI представляет собой исключительно информативную характеристику структуры лесного полога, связанную с его энерго- и массообменом, и оценивается спутниковыми сенсорами с высоким разрешением на обширных территориях (Running et al., 1986; Running, Coughlan, 1988). Поэтому LAI вводится в модель в качестве основной не-

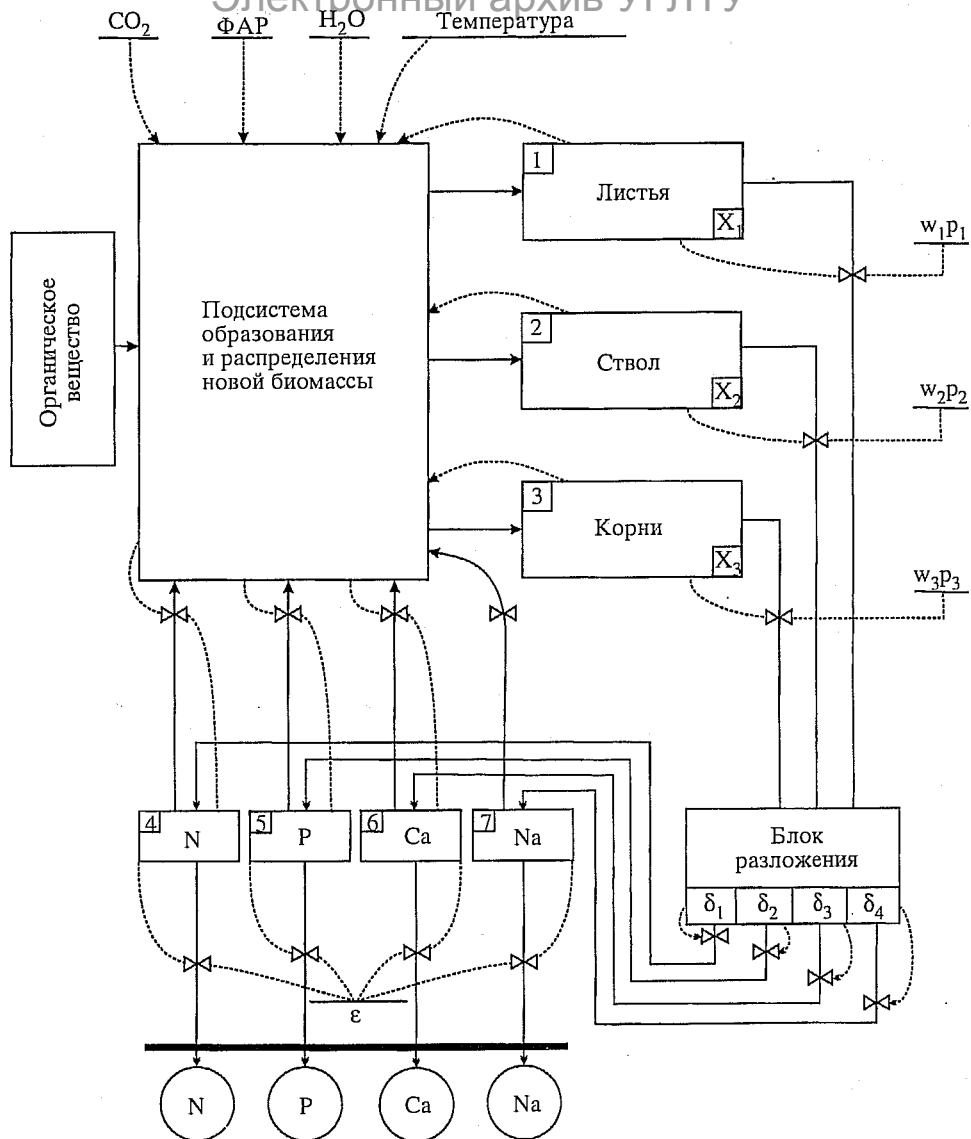


Рис. 1.33. Блок круговорота питательных веществ в имитационной модели роста дерева (Рачко, 1979).

w_1P_1 , w_2P_2 и w_3P_3 — доступные элементы питания соответственно в листьях, стволе и корнях

зависимой переменной для расчета процессов перехвата света пологом, эвапорации, транспирации, фотосинтеза, роста и дыхания поддержания, депонирования углерода в надземной и подземной сфере и его отчуждения в детрит.

Модель FOREST-BGC (Bio Geochemical Cycles) (рис. 1.34), дала возможность установить, в какой степени такие абиотические факторы, как продолжительность вегетационного периода, влагообеспеченность и приходящая солнечная радиация, объясняют региональную изменчивость первичной продуктивности лесного покрова в широком диапазоне внешних условий. Ее применение в хвойных естественных насаждениях семи различных климатических регионов США в максимальных диапазонах тепло- и влагообеспеченности показало, что в умеренно теплом климате с достаточной влагообеспеченностью годичный брутто-фотосинтез изменяется пропорционально LAI. Однако в районах недостаточного тепло- и влагообеспечения увеличение LAI или не сказывается на брутто-фотосинтезе, или даже приводит к некоторому снижению последнего.

Сопоставление недельных значений LAI, полученных спутниковыми сенсорами для упомянутых семи регионов в течение вегетационного периода 1984 г., с величинами брутто-фотосинтеза, транспирации и нетто-продукции, рассчитанными по модели FOREST-BGC, показало наличие тесной связи, характеризуемой коэффициентами детерминации R^2 , соответственно, 0,87; 0,77 и 0,72 (Running, Coughlan, 1988). Сочетание оптического и деструктивно-выборочного методов оценки LAI (Chen, 1996) дает возможность улучшить результаты модельных имитаций первичной продуктивности лесов.

Модель MAPSS (Mapped Atmosphere — Plant — Soil System), разработанная с целью имитации потенциальных биосферных эффектов и биосферно-атмосферных обратных связей вследствие климатических изменений, охватывает всю территорию США. Это, по определению ее автора (Neilson, 1995), — “биогеографическая” модель, основу которой составляют “механистические” расчеты как водного баланса, так и конкуренции древесной и травянистой жизненных форм за свет и влагу. Концептуальная схема гидрологического блока модели представлена на рис. 1.35.

Модель ориентирована на потенциальную климаксовую растительность и учитывает ограничения, влияющие скорее на ее “несущую способность”, нежели на скорость роста или продуктивность в ходе сукцессии. В основу модели заложено фундаментальное положение, что индекс листовой поверхности LAI будет стремиться к максимуму лишь при условии полного использования доступной почвенной влаги (Woodward, 1987). Увеличение LAI влечет за собой усиленную транспирацию и снижает запасы почвенной влаги, а снижение LAI обеспечивает прибавку во влагоснабжении, что постепенно увеличивает прирост растений и обуславливает возрастание листовой поверхности.

Рассчитывается полный водный баланс территории с учетом роли индекса LAI и устьичной проводимости в системе транспирации полога и почвенной гидрологии. Связь между фактическими и рассчитанными по модели значениями LAI характеризуется показателем $R^2 = 0,72$. По результатам имитации составлена карта растительности (леса, саванны, степи и пустыни), которая показала хорошее соответствие с картой по-

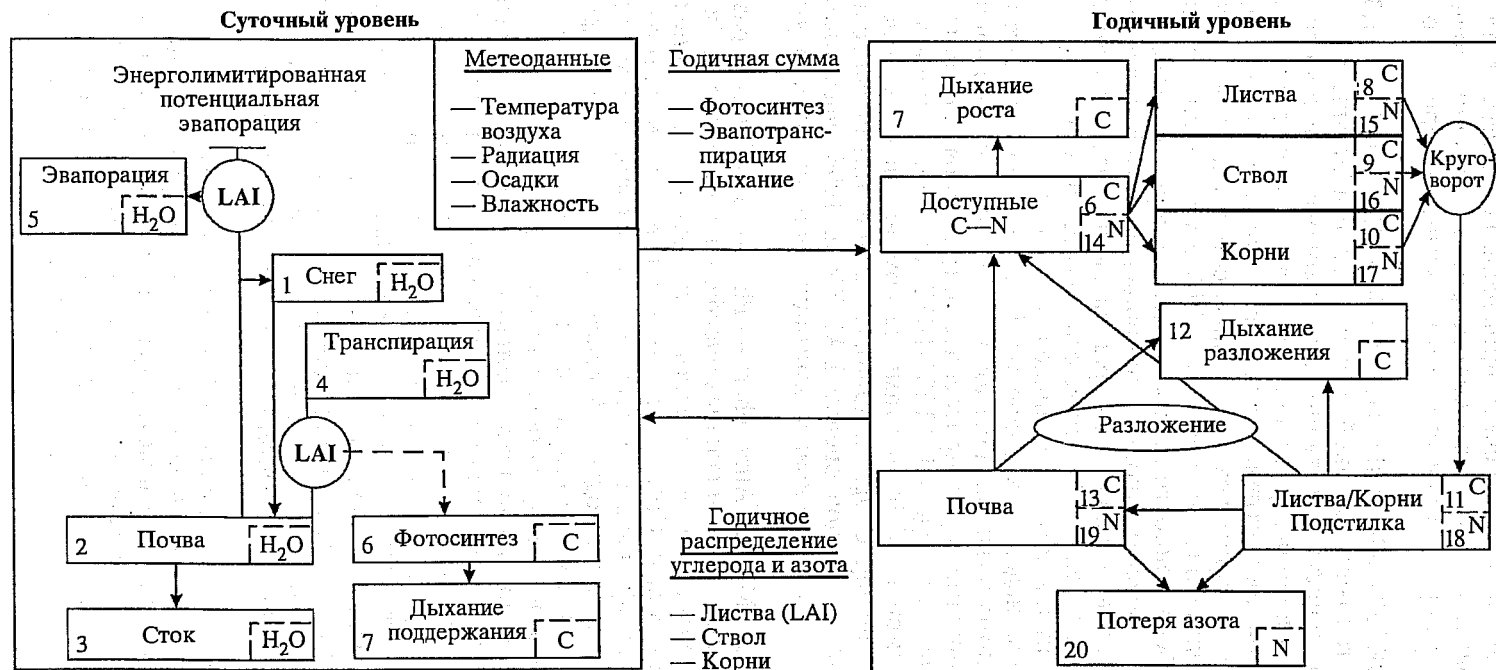


Рис. 1.34. Двухуровневая блок-схема модели FOREST-BGC. В блоках показаны номера переменных (Running, Coughlan, 1988; Running, Gower, 1991)

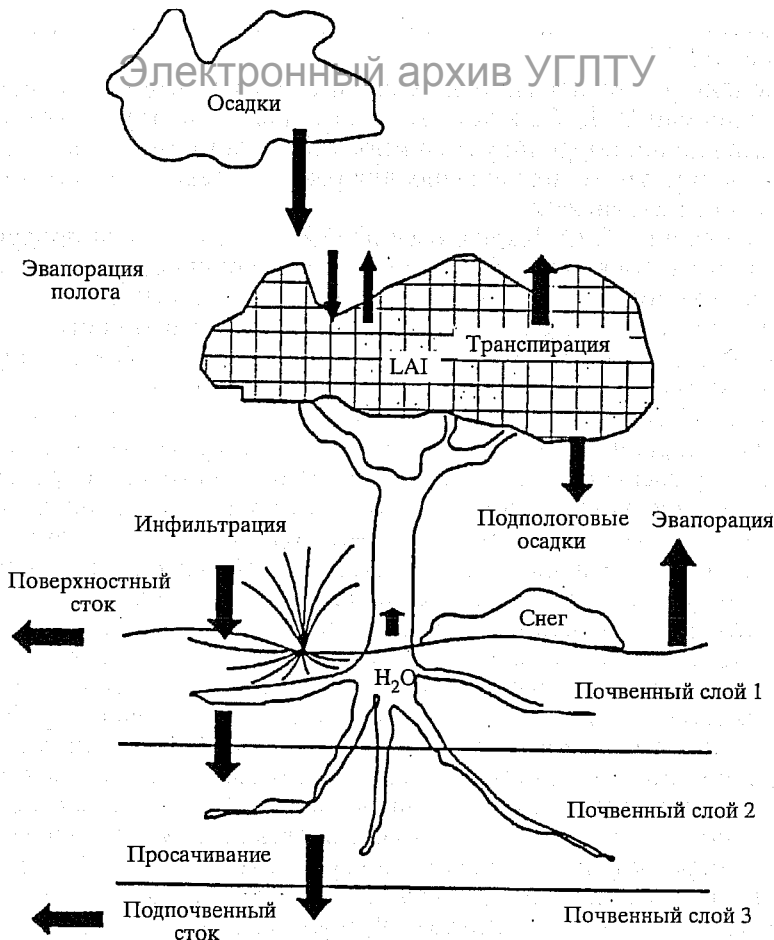


Рис. 1.35. Концептуальная схема водного баланса растительного покрова в модели MAPSS (Neilson, 1995)

тенциального растительного покрова, составленной А. Кюхлером (Küchler, 1964), за исключением некоторых аридных и семиаридных регионов на западе США.

1.5. ФАКТОРЫ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ НА ЭДАФИЧЕСКОМ УРОВНЕ В ПРЕДЕЛАХ ЭКОРЕГИОНА

1.5.1. ОБ ЭДАФИЧЕСКИХ ФАКТОРАХ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ

Как уже отмечалось, продуктивность растительного покрова определяется не только климатическими, но и эдафическими факторами. Эту зависимость растительности от совокупного влияния климатических и эдафических

ских факторов Г. Люндегорд (1937) определяет как “основное положение экологии” (С. 331).

Перечень работ, посвященных оценке лесорастительных свойств почв, представленный В. Д. Зеликовым (1971), свидетельствует, что продуктивность насаждений коррелирует со многими свойствами почв, и в различных почвенно-климатических условиях для разных древесных пород их наборы существенно отличаются.

Исследование Л. О. Карпачевским (1981) зависимости продуктивности насаждений от почвенных факторов в пределах европейской части СССР показало, что почти для всех пород наибольшее значение имеют содержание органического вещества в почве, степень насыщенности основаниями горизонта А и содержание в нем физической глины. “Каждая порода в силу своих экологических особенностей имеет отличный от других набор факторов, который в наибольшей степени влияет на продуктивность насаждения” (Карпачевский, 1981. С. 135). Например, средний годичный прирост запаса у сосны обыкновенной в наибольшей степени определяется содержанием подвижных форм калия, фосфора и обменных оснований; ели — мощностью горизонтов А и А+В, содержанием гумуса и величиной рН в горизонте А, содержанием фосфора; пихты и дуба черешчатого — содержанием гумуса и степенью насыщенности горизонта А основаниями.

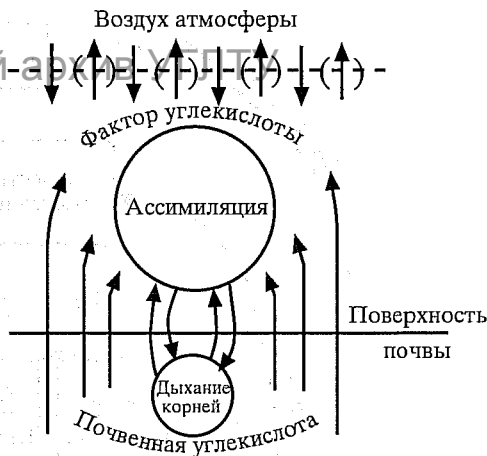
К числу эдафических факторов относится также почвенная углекислота. Исследуя особенности корневого питания растений, А. Л. Курсанов (1954) приходит к заключению, что “роль *листа* как органа, отвечающего за все важнейшие синтезы в растении, была преувеличена старой физиологией растений и что в действительности система обмена веществ в растении распределена по отдельным органам, из которых на долю корневой системы приходится весьма ответственная часть” (С. 30). В частности, было установлено “важное явление в жизни растений, а именно способность их усваивать через корни углекислоту и карбонаты, которые быстро передвигаются по тканям растений к листьям и могут быть использованы там для фотосинтеза наравне с углекислотой, поступающей из воздуха”. Это явление “оказалось связанным с такими важными сторонами деятельности растения, как азотистое и фосфорное питание. ...В свете этих данных приобретают особый смысл органические удобрения и известкование почв, а равно микробиологические процессы как факторы, способствующие образованию доступной для корней углекислоты” (Там же. С. 25—26).

Согласно результатам Чень Иня (1961), поглощение корнями CO_2 из внешней среды усиливает приток в них ассимилятов из листьев, образование акцепторов азота, улучшает азотное питание и через него — фотосинтез. Усвоение углекислоты корнями происходит как из карбонатов почвенных растворов (Курсанов и др., 1951), так и из воздуха почвы, содержание CO_2 в котором в 100 раз выше, чем в атмосфере (Курсанов, 1955). Соотношение углекислоты, усвоенной корнями из почвенных газов и карбонатов, и усвоенной листьями из воздуха, составляет примерно 1:4 (Курсанов и др., 1952).

Таким образом, к числу элементов почвенного питания растений относится также почвенная свободная и связанная угольная кислота, играющая серьезную роль в обмене веществ, усвоении азота, фосфора и других элементов питания, и “подчас ограничивающим моментом в урожае будет не азот, не калий, не фосфор, а углекислота” (Мишустин, 1954. С. 73).

Рис. 1.36. Схема движения углекислоты в ярусе растительности (Люндегорд, 1937).

Выдыхаемой почвой углекислоты при интенсивной ассимиляции недостаточно, и происходит приток углекислоты из атмосферы. В этом случае на уровне листьев наблюдается минимум концентрации углекислоты. При более слабой ассимиляции часть почвенной углекислоты улетучивается в атмосферу (стрелки в скобках)



Однако почвенная углекислота является не только элементом корневого питания, но и наряду с атмосферной углекислотой активно участвует в фотосинтезе, что впервые было установлено швейцарским ученым Теодором де Соссюром (Saussure, 1804). Спустя 130 лет Г. Люндегорд (1937) пишет: “Свободная атмосфера представляет резервуар углекислоты, который лишь в ограниченной степени находится непосредственно в распоряжении растительности. Растения прежде всего черпают углекислоту из слоя атмосферы, прилегающего к почве, поэтому между почвой и растением существует тесный круговорот углекислоты (рис. 1.36), интенсивность которого имеет большое влияние на развитие растений. Более обширный круговорот углекислоты между атмосферой и растением (рис. 1.37) является второстепенным источником углекислоты, откуда она черпается по мере того, как становится недостаточным ее количество в результате круговорота в более узких пределах” (С. 300). И далее: “Фактор углекислоты в значительной степени является эдафическим фактором. Но сила его на уровне ассимилирующих листьев зависит кроме того от воздушных токов местопроизрастания, густоты и высоты растительности. ... Абсолютное содержание гумуса в почве никоим образом не влияет на интенсивность продукции углекислоты” (Там же. С. 304, 306).

Данные Б. Н. Макарова (1953) показывают, что некоторые сельскохозяйственные культуры получают из почвы 38—72 % углекислоты, идущей на формирование урожая. Общее продуцирование углекислоты почвой обзано, наряду с жизнедеятельностью микроорганизмов, также дыханию корней растений и в меньшей степени — дыханию почвенной фауны и химическим реакциям (Смирнов, 1955). Из находящейся в почвенном воздухе углекислоты 2/3 дает деятельность бактерий и 1/3 — дыхание корней (Lundegårdh, 1927; Люндегорд, 1937).

Исследования, проведенные в Поволжье (окрестности г. Йошкар-Ола, сентябрь 1953 г.) в сосняках II класса возраста в диапазоне от брусничного до сфагнового типов леса, показали (Смирнов, 1955), что в данном экологическом ряду синхронно со снижением средней высоты древостоя с 8,5 до 3,5 м и запаса — с 98 до 20 м³/га уменьшилось и выделение CO₂ в приземный слой воздуха с 1,25 до 0,65 кг/га в час. В заключение В. Н. Смирнов (1955) пишет: “Что касается общей микробиологической активности почв, то в песчаной подзолистой почве биологически активна лишь лесная подстилка. В гумусовом горизонте обнаруживается резкое снижение продукции CO₂, не говоря уже о других, более глубоких горизонтах почвенного профиля...” (Там же. С. 30).

По аналогии с углекислотой, двойственную роль в физиологии растений

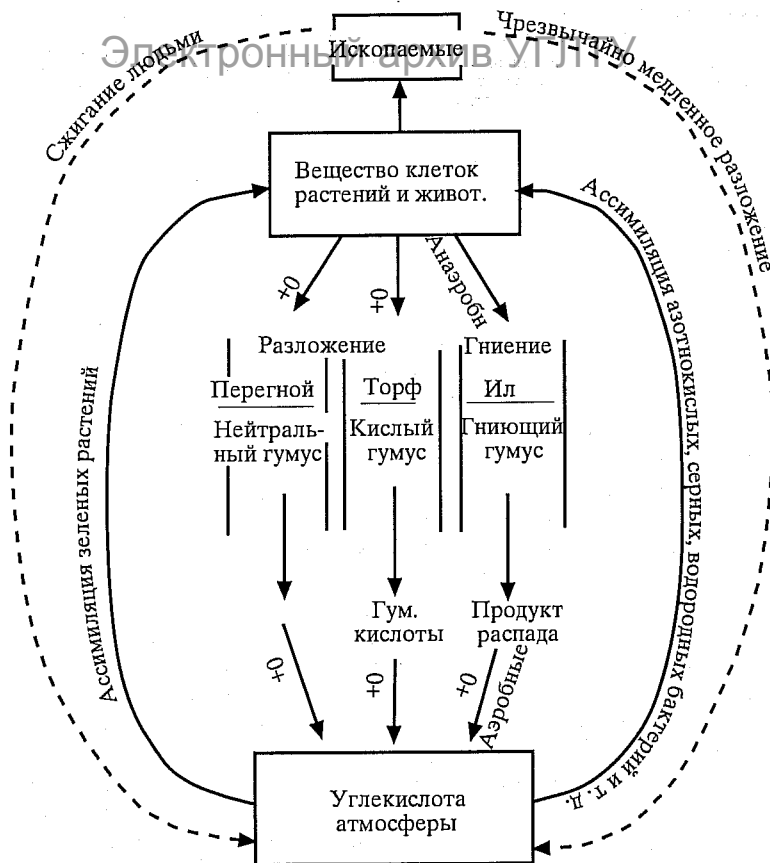


Рис. 1.37. Схема круговорота углекислоты в природе (Люддегорд, 1937)

играет и кислород: наряду с его известным участием в фотосинтезе, содержание растворенного кислорода в почвенно-грунтовых водах является важным показателем характера почвенных процессов. Кислород, растворенный в воде, играет большую роль в поглощении корнями растений как самой воды, так и элементов минерального питания. Однако связь продуктивности с содержанием кислорода в почвенно-грунтовых водах неоднозначна. Необходимы круглогодичные измерения баланса прихода и расхода кислорода с учетом его поступления с подземными и почвенно-грунтовыми водами с прилегающих территорий (Зеланд, 1986).

1.5.2. О СВЯЗИ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ ЭДАФИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

Завершая исследования адаптационных возможностей климатических индексов в оценке потенциальной продуктивности лесов различных районов Земного шара, И. Век (Weck, 1970) констатирует, что “полезная инфор-

мация о потенциальной продуктивности, выраженной в тоннах на 1 га, может быть получена лишь в виде средних величин для сравнительно крупных территорий, включающих в себя разнообразные почвы и местообитания, даже при условии однородности геологической формации и макроклимата" (С. 568). И далее: "Индекс — это едва ли более чем рабочая гипотеза и первое приближение, которое подлежит непрерывному усовершенствованию по мере получения новой информации" (Там же. С. 569).

Один из возможных путей уточнения оценки потенциальной продуктивности лесов И. Век (Weck, 1970) видит в ранжировании почвенных разностей по их потенциальному плодородию в некотором диапазоне, например, от 0 до 1,0, в пределах одного экорегиона. Для условий, отличающихся по продуктивности от базового уровня, характеризуемого 1,0, по почвенно-лесорастительному индексу могут быть рассчитаны редукционные коэффициенты, корректирующие климатический индекс в соответствии с почвенным плодородием.

В качестве одного из вариантов расчета подобного почвенно-лесорастительного индекса продуктивности, корректирующего климатический индекс, И. Век (Weck, 1970) полагает возможным использовать предложение Ж. Парде (Pardé, 1959). Последний на примере древостоев тика в Судане рассчитывал средний годичный прирост древесины ($\text{м}^3/\text{га}$) по произведению мощности почвенного слоя (дм) и содержанию обменных оснований в почвенной толще (мг-экв. на 100 г почвы), деленному на 3. Это же выражение П. Сарлин (Sarlin, 1963) применил для оценки продуктивности тиковых насаждений в Того.

Развивая положения Ж. Парде (Pardé, 1959), С. С. Соболев (1974) приходит к выводу, что каждая почва отличается многими разнообразными свойствами, но не каждое из них коррелирует с урожайностью. Поэтому необходимо отбирать те свойства, которые определяют урожай органической массы, т. е. коррелируют с продуктивностью. А. М. Бородиным (1983) для лесных культур Московской области установлено, что "связь между продуктивностью насаждений и каким-либо элементом питания хорошо прослеживается лишь в том случае, когда он находится в пределах минимума или близок к нему" (С. 94).

Сказанное, по-видимому, справедливо по отношению к любому экологическому фактору, находящемуся в минимуме. Так, доля сохранившихся после засух культур сосны в островных борах Тургайского прогиба (сухая степь, годовые осадки — 250 мм, испаряемость — 500—600 мм) при уровне грунтовых вод более 6; 4—5 и 2—4 м составила, соответственно, 0; 20—80 и 90 % при коэффициенте корреляции между уровнем грунтовых вод и глубиной проникновения корней, равном 0,96 (Прохоров и др., 1985; Усольцев, 1997).

Вследствие большого разнообразия эдафических факторов, выступающих в качестве лимитирующих, локальные зависимости продуктивности насаждений от одной или нескольких почвенных характеристик навряд ли смогут иметь универсальное значение (Уткин, 1975). Такие зависимости не могут быть универсальными также по причине упомянутого выше скрытого присутствия друг в друге факторов продуктивности, когда влияние одних факторов маскируется действием других. Поэтому наличие парной корреляции показателя продуктивности с действующим фактором отражает влия-

яние не только последнего, но и связанных с ним многих других (Васильев, 1967). Подобная многовариантность обусловленности продуктивности насаждений эдафическими факторами определила необходимость подбора интегрального почвенного фактора продуктивности, или почвенно-лесорастительного индекса, по И. Веку (Weck, 1970).

Так, К. Б. Лосицкий (1968) полагает, что о почвенном плодородии нельзя судить только по величине отдельно взятых элементов минерального питания, к тому же сопоставление требовательности к ним той или иной древесной породы с наличным запасом названных элементов в данной почве на современном уровне знаний пока практически невозможно. Поэтому он считает необходимым устанавливать для почвенного плодородия (как и для климата) комплексные, или интегральные, показатели и предлагает в качестве одного из таковых коэффициент экологического соответствия по запасу древесины.

Количественную основу для расчета названного коэффициента К. Б. Лосицкий (1968) видит в использовании методов, которые в соответствии с классификацией В. С. Чуенкова (1977) относятся к категории лесотипологических и приложимы к эдафическому уровню регулирования продуктивности лесов (Бузыкин, 1970, 1977). Названный подход показан на результатах, полученных Ю. Л. Кирюковым (1964) при подборе эталонных насаждений сосны в условиях Цнинского массива ЦЧР на почвах различного плодородия по убывающему экологическому ряду C_2 , C_3 , B_2 , B_3 и A_2 (соответственно боровой чернозем, супесь, серая супесь, светло-серая супесь и гумусированный песок с классами бонитета Ia; Ia₅; I; II; II₅). Общая продуктивность в относительных величинах в возрасте спелости по показателю среднего годовичного прироста запаса в данном ряду составила, соответственно, 100, 97, 86, 71 и 69 %. Установлено, что биологическим свойствам сосны наиболее подходят первые две почвенные разности, коэффициент экологического соответствия которых может быть принят за 1,0.

Коэффициент экологического соответствия может определяться также для разных пород в одинаковых эдафических условиях. В Цнинском лесном массиве упомянутый коэффициент по приросту запаса для спелых древостоев сосны, семенного дуба, семенной березы и осины в типе C_2 составил, соответственно, 100, 76, 76, 98 %, а в типе A_2 — 100, 58, 56, и 65 % (Кирюков, 1979). Аналогичные коэффициенты для березы и осины в сопоставлении с елью по трем группам типов леса были выведены Л. Кайрюкшисом (1969). Биологическая сущность названного коэффициента состоит в той или иной степени соответствия комплекса почвенных характеристик биологии данной древесной породы (Лосицкий, Чуенков, 1980). Однако, свойства самих почв, как и в предложениях Е. Я. Судачкова (1968) и других, при этом или игнорируются, или учитываются лишь косвенно.

Известно, что солнечная энергия, зафиксированная в NPP, в конце концов депонируется в детритах и постепенно высвобождается по мере их разложения, скорость которого обратно пропорциональна величине NPP (Olson, 1963). Исходя из обусловленности продукционного потенциала почв наличием их энергетически обогащенных компонентов (гумусом и другими продуктами преобразования депонированной в фитомассе энергии), В. Р. Волобуев (1974) в качестве интегрального показателя продуктивности предложил энергетический эквивалент почвообразования. Это — подход в рамках “эко-

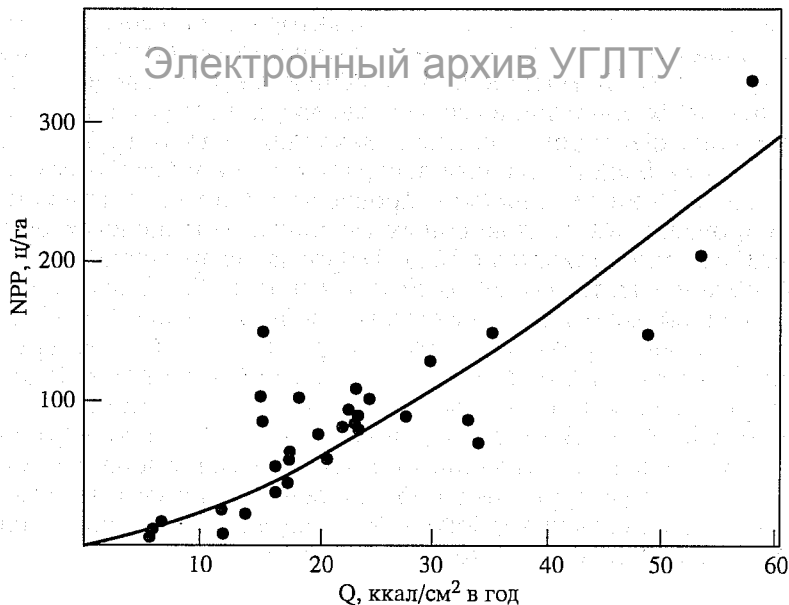


Рис. 1.38. Зависимость NPP от величины затрат энергии на почвообразование, вычисленной по формуле $\ln Q = -23,1(R^{0.67}/P) \ln R$, где R — радиационный баланс, ккал/см² в год; P — годовые осадки, мм. Показана линия регрессии $NPP = Q^{1.38}$ (Волобуев, 1974)

логической энергетики” (Виленкин, 1978). Особенность энергетического направления состоит в том, что конкретная система (почва) здесь строго оценивается в рамках закона сохранения энергии. В итоге из необъятного разнообразия взаимодействий можно выделить лишь один класс возможных и не рассматривать остальные, т. е. снизить размерность до минимума.

Взяв за основу систему термо- и гидрорядов (см. рис. 1.4), В. Р. Волобуев (1974) констатирует, что “каждый гидроряд гидротермической системы характеризуется определенной полнотой использования радиационной энергии в почвообразовании и что затраты энергии на почвообразование в пределах каждого гидроряда прямо пропорциональны радиационному балансу земной поверхности... В условиях одинакового радиационного баланса затраты энергии на почвообразование пропорциональны относительной увлажненности” (С. 39) и предлагает соответствующую формулу (рис. 1.38). По сопряженным данным первичной продукции NPP, радиационного баланса и увлажнения, взятым из работы Н. И. Базилевич с соавторами (1968), В. Р. Волобуев (1974) строит зависимость NPP от величины затрат энергии на почвообразование с коэффициентом корреляции 0,64 (см. рис. 1.38). Ввиду того, что исходная информация зависимости на рис. 1.38 обеспечивается двумя основными климатическими факторами, свойства самих почв опосредованы другими факторами, в данном случае — энергетическим эквивалентом почвообразования, а сам подход оценивает потенциальную продуктивность лесов скорее на климатическом, чем на эдафическом уровне.

Поскольку гумус результирует в себе практически все факторы почвообразования и отражает основные черты химизма и водно-химических

свойств почв, в качестве интегрального фактора и универсального критерия продуктивности предлагается также использовать гумусовый потенциал (Тюменцев, 1975). По мнению Ф. И. Плешикова (1977), подобный подход неправомерен, поскольку при высоком содержании гумуса, но при наличии ограничивающих факторов оглеения, засоления, уровня грунтовых вод и др., почвы могут обладать низкими лесорастительными свойствами.

Например, в 80-летних ельниках, произрастающих на подзолистых почвах, сформировавшихся на покровных суглинках (Московская область) с увеличением глубины оглеения с 50 до 180 см запас древостоя возрастает с 209 до 448 м³/га и высота — с 18 до 29 м (Куспиц, 1972). Связь высоты древостоев с глубиной оглеения практически функциональная ($R = 0,99$). Очень тесные или близкие к функциональным парные связи высоты древостоев сосны, ели и березы при одном и том же возрасте с глубиной оглеения, уровнем грунтовых вод и мощностью покровного суглинка показаны В. Д. Зеликовым (1971). В аридных условиях островных боров Тургайского прогиба, несмотря на наличие мощного гумусового слоя зональных (темно-каштановых) почв, культуры сосны обыкновенной гибнут вследствие близкого (менее 1 м) залегания карбонатного слоя либо глубокого (более 4—5 м) уровня грунтовых вод (Прохоров и др., 1985).

1.5.3. МНОГОФАКТОРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ ОТ ЭДАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В. Д. Зеликов (1986), вслед за С. С. Соболевым (1974), констатирует, что корреляция между какими-нибудь признаками или свойствами почв и урожайностью вовсе не означает, что один из них — причина, а другой — следствие, и цитирует А. Н. Колмогорова: “Корреляция измеряет лишь параллелизм в их изменчивости, могущей иметь своим источником действие на оба признака некоторого третьего фактора” (Зеликов, 1986. С. 7).

В. Д. Зеликов (1971) для условий Щелковского лесхоза Московской обл. рассчитал достоверные парные зависимости средней высоты приспевающих и спелых древостоев сосны, ели и березы от мощности покровного суглинка (с корреляционным отношением $\eta = 0,65 \div 0,96$), глубины залегания глеевых горизонтов ($\eta = 0,78 \div 0,94$) и уровня грунтовых вод ($\eta = 0,92 \div 0,95$). Он приводит мнение И. И. Смольянинова с соавторами (1966) о том, что почвенное плодородие нельзя охарактеризовать каким-то одним признаком, необходима их достаточно полная система. Тем не менее В. Д. Зеликов (1971) не предпринял попыток статистически оценить совместный эффект и долю влияния признаков, хотя в составленных им бонитировочных таблицах учтены все три упомянутые фактора.

Д. Албан (Alban, 1974), изучив зависимость продуктивности спелых древостоев сосны смолистой в штате Миннесота (США) от наличия элементов питания в почвенном слое 0—25 см, рассчитал многофакторную зависимость для индекса местообитания (класса бонитета древостоев), который определялся на 79 % ($R^2 = 0,79$) наличием в указанном слое элементов N, P и K, и вклад каждого в объяснение изменчивости продуктивности сосны был статистически значимым.

Ф. И. Плешиков (1977) для естественных сосняков Минусинских боров в широком диапазоне условий произрастания (от Ia до V классов бонитета)

установил прямые парные связи средней высоты древостоев в возрасте 85 лет с показателями пяти почвенных факторов в 0,5-метровом слое — запасами физической глины, гумуса, обменных оснований, общего азота и общего фосфора. На основе многомерного регрессионного анализа рассчитано уравнение связи высоты древостоев с двумя первыми факторами ($R^2 = 0,822$), а остальные три оказались статистически незначимыми вследствие их мультиколлинеарности.

К. Б. Лосицкий и В. С. Чуенков (1980) на основе работ венгерских и американских исследователей использовали в качестве показателя потенциального почвенного плодородия значение верхней высоты древостоев. Для автоморфных почв Загорского лесхоза Московской области они рассчитали многофакторное линейное уравнение зависимости среднего прироста по верхней высоте древостоя от семи почвенных характеристик, в число которых кроме двух упомянутых выше (Pardé, 1959; Sarlin, 1963) вошли также содержание гумуса, обменная кислотность, содержание физической глины, содержание ила и плотность почвы ($R^2 = 0,70$), правда, без указания доли вклада каждой из них в результирующий признак. С учетом того, что наборы почвенных факторов продуктивности в разных экорегионах, как уже отмечалось, существенно различаются, уравнения, подобные составленному К. Б. Лосицким и В. С. Чуенковым (1980), будут различаться по экорегионам и по числу действующих факторов, и по их перечню, и по структуре модели в целом. Правда, сами авторы считают, что в структуру их уравнения “по зонам и регионам необходимо включать еще и показатели климата” (Там же. С. 159).

Приведенные примеры многофакторной регрессионной оценки продуктивности древостоев по эдафическим характеристикам построены, как и обсуждаемые выше примеры с климатическими факторами, на классическом пассивном эксперименте, когда фиксируются априорно информативные наборы эдафических признаков, определяющих продуктивность древостоев, а затем методом перебора с отсеиванием статистически незначимых признаков рассчитывается многофакторная модель.

Если при сборе фактического материала признаки измерялись в искусственно суженных диапазонах варьирования каждого (вторая ситуация с некорректностью модели в разделе 1.3), то неизбежны их взаимная корреляция и нарушение условия ортогональности. Такая модель обычно не воспроизводится, т. е. не подтверждается на другом наборе тех же признаков, полученном на тех же объектах (на чем основан метод группового учета аргументов, по А. Г. Ивахненко (1982), в данном случае нами не рассматриваемый).

Принципиально иной подход к оценке продуктивности древостоев по эдафическим факторам (как и подход с использованием климатических факторов) предложен Н. И. Казимировым (1985), представляющий собой реализацию не пассивного, а фактически активного эксперимента: “Для выявления меры влияния каждого почвенного фактора в отдельности применяется метод составления экологических рядов насаждений с разной глубиной залегания грунтовых вод при прочих равных условиях, с разной степенью проточности почвенной влаги и с разным механическим составом почвогрунта... Общее количество наблюдений, необходимых для разработки почвенно-гидрологических моделей с помощью экологических рядов,

обычно не превышает 70—80, что на два порядка меньше, чем с помощью метода случайной выборки” (С. 6). Предложенный Н. И. Казимировым метод позволяет последовательно выявлять роль и значение каждого эдафического фактора “в чистом виде”.

Принцип активного эксперимента, когда все уровни некоторого фактора последовательно комбинируются со всеми уровнями остальных, несомненно обеспечивает требуемую устойчивость и воспроизводимость модели, однако прежде чем приступить к проведению такого эксперимента, необходимо, во-первых, на каком-то предварительно полученном материале выявить перечень фактически действующих в данном экорегионе факторов, отсеив несущественные, и, во-вторых, затратить массу времени на подбор упомянутых экологических рядов в условиях реальных лесных экосистем.

На территории Европейской России (Карелия, Ленинградская, Тверская и Брянская области) в качестве объектов исследования были выбраны чистые 50-летние, высокополнотные, одноярусные сосняки естественного происхождения на почвах легкого механического состава. На первом этапе на примере сосняков северной, средней и южной Карелии отработана методика моделирования их производительности, выраженной средней высотой в 50 лет, в зависимости от уровня грунтовых вод (УГВ, м) в середине вегетационного периода (Преснухин, Смелягина, 1986).

Полученные колоколообразные кривые, показанные (рис. 1.39) на фоне экспериментальных данных, характеризуются пиком продуктивности в каждом из трех районов Карелии, соответствующим УГВ, равном примерно 1,5 м. Учитывая сходство конфигураций кривых продуктивности в разных районах, в целях исключить различия в высоте насаждений по районам, вызванные неодинаковыми климатическими условиями (фон прочих эдафических факторов был выравнен), высоту наиболее производительных насаждений в каждом районе авторы приняли за 1,0, а высоту остальных насаждений — в ее долях ($H_{отн}$). Получена обобщенная для условий Карелии зависимость (Преснухин, Смелягина, 1986)

$$H_{отн} = 1,653УГВ - 0,862УГВ^2 + 0,159УГВ^3 - 0,0098УГВ^4 - 0,027. \quad (1.9)$$

Подобный подход, позволяющий значительно сократить количество закладываемых пробных площадей, был применен для всех упомянутых выше объектов от Карелии до Брянской обл., и в результате получено уравнение (Казимиров и др., 1986а)

$$H_{отн} = 1,611УГВ - 0,844УГВ^2 + 0,158УГВ^3 - 0,01УГВ^4. \quad (1.10)$$

На втором этапе для математического описания зависимости производительности насаждений от проточности почвенно-грунтовой влаги проведена группировка данных по пробным площадям с учетом величины угла наклона уровня грунтовых вод (α , %) и глубины их залегания с поправкой на объем скелета (C_k , отн. ед.). Получено уравнение (Казимиров и др., 1986а)

$$H_{отн} = 1 + (\alpha - 0,3)/[(\alpha + 2)(УГВ + 0,45)^3] - 0,08C_k^3(УГВ + 6). \quad (1.11)$$

На третьем этапе данные по пробным площадям сгруппированы с учетом содержания в почве физической глины (Гл, %) и глубины грунтовых

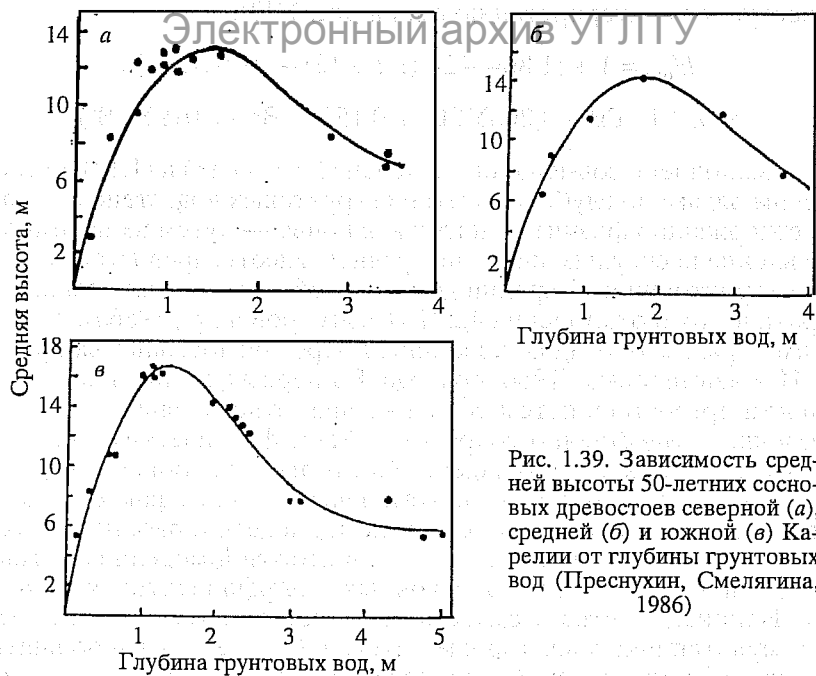


Рис. 1.39. Зависимость средней высоты 50-летних сосновых древостоев северной (*a*), средней (*б*) и южной (*в*) Карелии от глубины грунтовых вод (Преснухин, Смелягина, 1986)

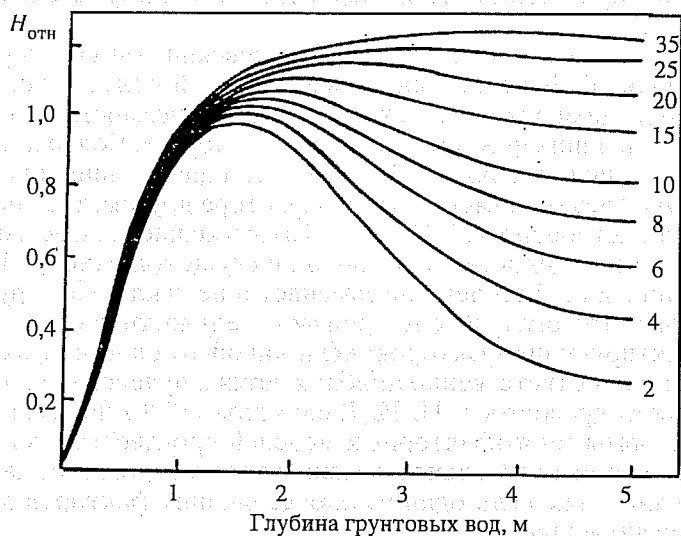


Рис. 1.40. Зависимость относительной высоты 50-летних сосновых древостоев ($H_{\text{отн}}$) от содержания в почве физической глины (показано цифрами, %) и глубины залегания грунтовых вод (Казимиров и др., 1986а)

вод. После соответствующего факторного анализа рассчитано уравнение (графическую его интерпретацию см. на рис. 1.40):

$$H_{\text{отн}} = 1 + [1,804 - 28/(\text{Гл} + 12) - 10^{-4}1,7\text{Гл}^2] \times \\ \times (0,181\text{УГВ} - 0,268\text{УГВ}^2 + 0,155\text{УГВ}^3 - 0,019\text{УГВ}^4). \quad (1.12)$$

Затем выполнено совмещение моделей (1.10), (1.11) и (1.12) по трем экологическим рядам: по глубине залегания грунтовых вод, степени их проточности и содержанию физической глины в почве — путем их перемножения. Сопоставление расчетных значений средней высоты древостоев с фактическими на территории от Карелии до Брянской обл. показало наличие среднеквадратического отклонения 4,2 % (Казимиров и др., 1986а).

Таким образом, очевидны по крайней мере три достоинства предложенного Н. И. Казимировым (1986) подхода. Во-первых, модификация производительности древостоев путем ее выражения относительным показателем $H_{\text{отн}}$ позволяет существенно сократить объем фактических данных — закладываемых пробных площадей. Во-вторых, подобная модификация функции позволяет компоновать комплексную многофакторную модель путем простого перемножения исходных подмоделей, рассчитанных по соответствующим экологическим рядам, и в итоговой модели ее сомножители-подмодели играют роль поправочных коэффициентов к некоторому эталону. Наконец, третье и самое важное достоинство подхода состоит в том, что мультипликативная форма итоговой модели в наибольшей мере соответствует биологической сущности исследуемого явления, в котором каждый из факторов может быть представлен в минимуме, а в крайнем случае равен нулю.

Выше уже отмечалось, что Л. О. Карпачевский (1981) воспринимал феномен “замещения” факторов как неизбежный, и более того, считал, что это “замещение” позволяет упростить модели зависимости продуктивности древостоев от внешних факторов, не включая другие. Более конструктивна реализованная в подмоделях (1.10)—(1.12) исходная концепция Н. И. Казиминова (1986) о “незаменимости одного фактора другим, т. е. автономности их влияния на биогеоценозы” (С. 11). Об этом же писал А. А. Ничипорович (1956): “Растение — целостный организм, и осуществление любой функции его питания ни в какой степени не заменяет и не исключает другой” (С. 9).

Кроме того, итоговая модель производительности сосняков учитывает принцип лимитирующих факторов: если какой-то один из факторов стремится к нулю, то соответственно приближается к нулевому значению и производительность древостоев. Н. И. Казимиров (1986) показал порочность аддитивной формы многофакторных моделей производительности древостоев, когда эта производительность может прогнозироваться на достаточно высоком уровне, даже если один из определяющих факторов приближается к нулевому значению.

В отношении принципов подбора объектов для подобного моделирования Н. И. Казимиров (1986) пишет: “Выбор насаждений для построения математических теорий и моделей, отражающих влияние эдафических факторов, производится по возможности в одном географическом районе с учетом минимального различия климатических условий по отдельным объектам. Так, по тепловому режиму территории допустимы расхождения между

пунктами исследований до 7 %, по количеству годовых осадков в северных районах европейской части страны — до 25, в южных — до 15 %. Такие различия сопровождаются отклонениями изучаемых параметров биогеоценозов от средних значений не более чем на 5 %, что лежит в пределах точности методов исследований (измерений)” (С. 9).

Разработку моделей производительности биогеоценозов Н. И. Казимиров (1986) считает необходимым осуществлять в два этапа в соответствии с двумя уровнями организации растительных сообществ. Первый уровень включает в себя описание закономерностей процессов в связи с почвенно-гидрологическими условиями, а второй — в связи с климатическими факторами.

Соответственно на заключительном этапе исследований Н. И. Казимировым с соавторами (1986а) построена общая модель производительности сосновых насаждений, отражающая комплекс как климатических, так и эдафических факторов. В ней в качестве исходного принято двухфакторное регрессионное уравнение, описывающее зависимость средней высоты нормальных сосновых древостоев (H , м) от возраста и базовой высоты в возрасте 50 лет (H_{50} , м), которое разработано Н. И. Казимировым с соавторами (1986б) на основе всеобщих таблиц хода роста В. В. Загребеева (1974). Общая модель получена подстановкой в это уравнение зависимости (1.8) из раздела 1.4.3.1 для H_{50} с последующим умножением правой его части на уравнения (1.10)—(1.12) для относительной высоты $H_{\text{отн}}$. Таким образом, в результате последней операции исходное уравнение корректируется с учетом действия эдафических факторов.

1.5.4. О БОНИТИРОВКЕ ПОЧВ

Все изложенное выше о связи продуктивности насаждений с эдафическими факторами имеет непосредственное отношение к бонитировке почв, трактуемой неоднозначно. Н. Ф. Тюменцев (1975) формулирует ее как *“специализированную инвентаризацию почвенного покрова с учетом количества типов почв в гектарах, оценки и стоимости их в баллах бонитета”* (С. 33) и определяет как *“бонитировку на генетико-производственной основе”* (С. 34). Полагая, что *“урожай производится не только почвами, но и трудом человека”* (Там же. С. 29), он игнорирует данные об урожайности при выведении оценочных баллов и ограничивается оценкой свойств самих почв (рис. 1.41). Этот подход был ориентирован на земли сельскохозяйственного пользования.

В лесном хозяйстве, где роль антропогенного фактора в том или ином уровне продуктивности лесов относительно невелика, подходы к бонитировке почв иные. В. В. Антанайтис с соавторами (1985) отрицают возможность бонитировки на основе лесной типологии, поскольку *“в пределах одной почвенно-типологической группы производительность древостоев одной породы характеризуется двумя-тремя бонитетными классами”* (С. 47). Они также отрицают и возможность бонитировки только по свойствам самих почв: *“Бонитирование по признакам условий местопроизрастания еще сложнее, чем бонитирование на основе типов леса. Производительность древостоев зависит от целого ряда природных факторов: плодородия почв (которое, в свою очередь, зависит от многих факторов), рельефа, уровня*

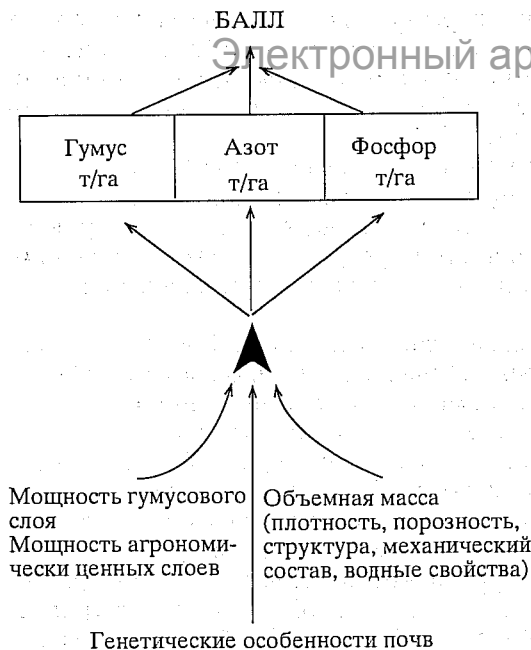


Рис. 1.41. Схема определения оценочного балла при бонитировке почв (Тюменцев, 1975)

грунтовых вод, температурного режима почвы и воздуха, количества и характера осадков и т. д. Производительность древостоев также зависит от сочетания упомянутых факторов. Этих сочетаний в природе настолько много, что до сих пор не удалось четко выразить взаимосвязи признаков условий местопроизрастания с бонитетными классами. Исследования в этом направлении продолжают, а на практике бонитирование по признакам условий местопроизрастания не осуществляется” (Там же. С. 47).

Е. Я. Судачков (1968), полагая, что получение столь детальной характеристики для лесных площадей пока невозможно, предлагает оценивать плодородие местообитаний по росту древесных пород в данных условиях: “Показателем потенциальной продуктивности лесных местообитаний является величина максимального среднего объемного прироста насаждений, равного текущему, которая достигается в возрасте количественной спелости одновозрастных насаждений” (С. 385). Объемный прирост Е. Я. Судачковым (1968) был скорректирован на величину базисной плотности с выделением шести групп по величине относительного переводного коэффициента массы от 1,0 (пихта сибирская) до 2,43 (береза Шмидта). Используя в качестве основы всеобщую бонитетную шкалу и сгруппировав древесные породы по относительной плотности, Е. Я. Судачков (1968) составил шкалу равной продуктивности местообитаний, выраженную как в классах продуктивности (от Ia до XII), так и в баллах (от 0 до 100).

В. П. Корнев с соавторами (1974) почвы с близкими лесорастительными свойствами объединили в хозяйственные группы и для каждой путем совмещения почвенных карт и лесоустроительных планшетов устанавливали возрастную динамику состава насаждений. Составлена шкала балльности почвенных выделов, в которой за 100 баллов приняты запасы стволовой древесины в I классе бонитета согласно таблицам хода роста. По остальным классам бонитета баллы варьировали по породам от 30—35 в V классе до 119—133 — в Ia классе. Балл почвенного выдела устанавливался по соотношению фактического и табличного запасов стволовой древесины с учетом состава пород.

И тот, и другой подходы С. С. Соболев (1972) считает недостаточными и определяет бонитировку как “специализированную классификацию почв по их продуктивности, построенную на объективных признаках и свойствах

самых почв, но не всех, а только тех, которые коррелируют с их средней многолетней урожайностью" (С. 6). Таким образом, определения С. С. Соболева (1972) и Н. Ф. Тюменцева (1975) различаются не только по объему понятий, но и по их сути, поскольку термины *классификация* и *инвентаризация* не являются синонимами.

С. С. Соболев (1972), учитывая историю бонитировки почв в России, "когда бонитировка, проведенная по урожайности, привязанной к неустойчивым названиям почв без учета свойств этих почв, заканчивалась неудачей" (С. 8), полагает, что нельзя оценивать почвы как по одной только урожайности без учета свойств почв, так и только по почвенным свойствам в отрыве от выращиваемых на них растений. Бонитет каждой почвы он выражает в баллах, вычисленных по свойствам самих почв и коррелирующих с баллами по средней многолетней урожайности на этих почвах главных культур. При этом наборы определяющих свойств почв различаются по регионам и выявляются по их корреляционным связям с урожайностью с помощью методов математической статистики. Однако предложения С. С. Соболева (1972), как и Н. Ф. Тюменцева (1975), касались в основном земель сельскохозяйственного пользования, а не лесных.

Многочисленность показателей производительности почв затрудняет разработку схем бонитировки, приемлемых для практического использования. Поэтому совмещение характеристик почв с продуктивностью насаждений часто выполняется путем составления бонитировочных таблиц для отдельных пород в пределах некоторого лесорастительного района или лесного массива (лесхоза) (Ильинский, 1968; Зеликов, 1971; Лукьянов, 1972). Как уже упоминалось, В. Д. Зеликов (1971) включает в таблицу три эдафических фактора. Он подчеркивает важность нахождения компромисса между наиболее полным учетом факторов и возможностью практического использования таблицы, для чего необходимо "упростить до максимума составляемую таблицу, не нарушая основных биологических законов и законов взаимодействия факторов" (С. 82).

Наиболее детально принципы бонитировки лесных земель были разработаны в условиях Литвы, где учтен комплекс как непосредственно почвенных характеристик, так и показателей продуктивности насаждений. Составлена довольно громоздкая таблица (рис. 1.42), которая тем не менее была успешно использована при устройстве лесов Литвы по участковому методу на почвенно-типологической основе (Антанайтис и др., 1985).

1.5.5. КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

Сложность и неопределенность оценки производительности лесных почв по их внутренним свойствам побуждает исследователей искать альтернативные косвенные методы. Наряду с рассмотренными парными и множественными зависимостями продукционного потенциала лесных почв от отдельных почвенных признаков, а также — от интегральных почвенных характеристик, имеются предложения оценивать названный потенциал методами анализа морфологического состояния и химического состава ассимиляционного аппарата древесных пород.

Между химическим составом хвои и продуктивностью насаждений многими исследователями установлены прямые корреляционные взаимосвязи.

Глубина карбонатов			Глубже 60 см						До 60 см				Глубина грунтовых вод, м	Характер иллювиального горизонта	Толщина горизонта А ₀ (Г)	Толщина торфяного слоя		
Наличие горизонта	A ₁	Отсутствует				Имеется		Резкий										
	A ₁ , A ₂	Отсутствует		Имеется		Встречается		Встречается		Встречается								
	A ₂	Имеется		Встречается		Встречается		Встречается		Встречается								
Опознленность		Толщина горизонта А ₂ , см						А ₁ : А ₂		Глубина CaCO ₃								
		0-10 11-20 >20		0-10 11-20 >20		А ₁ : А ₂ А ₁ = А ₂ А ₁ < А ₂		0-20 21-40 41-60										
Минеральные	Обычные (нормальные)	N-2	v, cL		1		vm, v		4		ox, hox		7		hox, ox		10	
					2				5		mox		8		staeq, aeg		11	
	К-2-3		L IV		3		L, p, s III		6		p, s II		9		p, s I		12	
	Глееватые	L-3	polm, m psph		20		m, mox, vm		22		mox, oxn		24		oxn, aeg cmh, ur		13	
			L, p, s III				L, p, s II				L, p, s II				L, p, s I		14	
																	15	
	Глеевые	U-4	psph, polm vm		21		msph psph		23		ccal, cmh mox		25		fil, cmh ccal, ur		16	
																	17	
			L, p IV		26		L, p, s III		26		L, p, s III		26		L, p II		19	
			27				28				29				-			
				Подзолы		Подзолистые		Дерново-подзолистые		30		Дерновые						
Органогенные	Болотные	P-5	L, sph		37		c sph		34		c		34		urir		31	
					38				35				35				32	
			t v		39		t IV		36		t III		36		t II		33	
		P _n -4	L, sph, Lm		37		c sph, mox		34		c, ox, cmh		34		urir, ur		31	
					38				35				35				32	
			t IV		39		t III		36		t II		36		t II		33	
Прискожные	Характер почв	Трофотоп	Верховые		Переходные бедные		Переходные богатые		Низинные		Тип болот							
			a ab		b bc c		c cd		d f		Гидротоп							

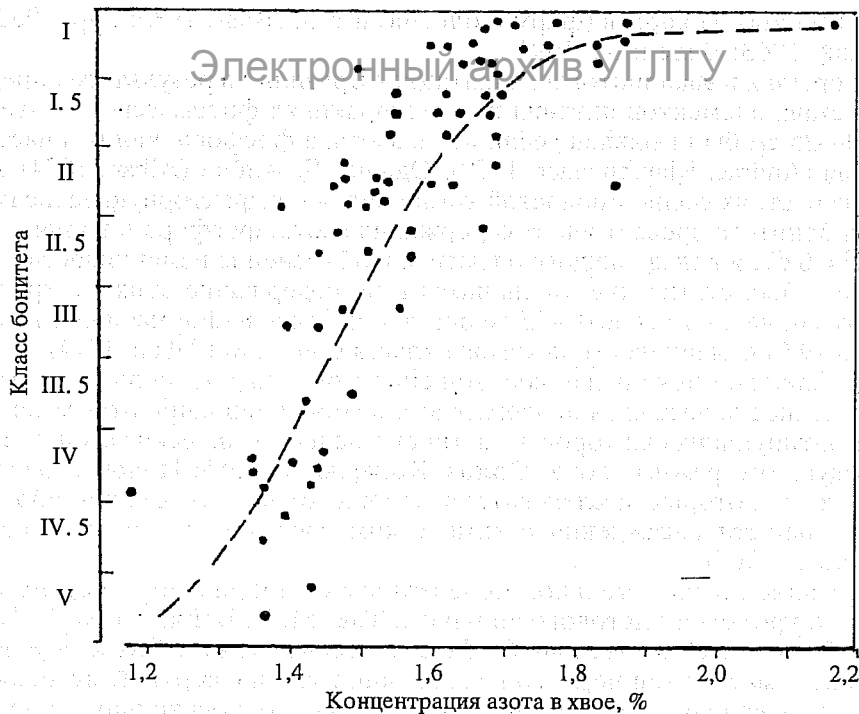


Рис. 1.43. Зависимость класса бонитета сосняков от концентрации азота в хвое (Wehrmann, 1963)

Состав физиологически важных элементов в листе позволяет выявить среди них недостающие и тем самым определяющие снижение продуктивности насаждений. Для некоторых древесных пород установлены минимальные (предельные) и оптимальные содержания азота и микроэлементов (Wehrmann, 1963; Nebe, 1963), а также оптимальное соотношение N: P: K (Иванова, Лавриченко, 1975).

Наиболее часто продуктивность насаждений оказывается связанной с содержанием азота в листе (Щербаков, 1964; Nebe, 1966; Костылева, 1969; Попова, 1975). И. Верман (Wehrmann, 1963) установил положительную линейную связь между содержанием хлорофилла и азота в хвое ели с коэффициентом корреляции 0,86. По данным 68 древостоев сосны им выявлена положительная S-образная зависимость текущего прироста от концентрации азота в хвое с корреляционным отношением 0,85. Подобным образом связан с концентрацией азота в хвое и класс бонитета (рис. 1.43). В полном соответствии с законом предельной урожайности К. Пратта (1965; цит. по: Реймерс, 1994) при дальнейшем росте концентрации азота продуктивность фитоценоза снижается вследствие эффекта интоксикации (Ågren, Bosatta, 1996). Упомянутая S-образная зависимость характерна для широкого круга различных приложений на основе пробит-анализа в координатах *доза — эффект* с применением гербицидов (растениеводство), инсектицидов (защита растений), антисептиков (защи-

та древесины), лекарств (фармакология) и т. д. (Bliss, 1935; Гар, 1963; Бельский, 1963; Белецкий, 1991).

Напротив, в эвкалиптовых плантациях Бразилии в результате определения состава элементов питания во всех фракциях фитомассы и почвенном слое 0—25 см был выявлен дефицит не азота, а фосфора, калия и частично кальция (Andrae, Klappenbauer, 1979). Однако Д. Албан (Alban, 1974) в спелых древостоях сосны смолистой установил многофакторную зависимость класса бонитета древостоев от содержания азота, фосфора и калия в листе с $R^2 = 0,67$, и вклад каждого элемента в объяснение изменчивости класса бонитета был статистически значимым, но содержание этих же трех элементов в почвенном слое 0—25 см оказалось более информативным и определило 79 % изменчивости искомого класса бонитета (Alban, 1974).

Выявленные локальные соотношения могут играть роль индикаторов обеспеченности насаждений элементами питания лишь при отсутствии других лимитирующих факторов, в частности, водно-химических свойств и водно-воздушного режима почв (Орлов, Кошельков, 1965; Попова, 1975). Более того, некоторые исследователи вообще отрицают какую-либо связь продуктивности насаждений с химическим составом листового аппарата (Тимакова, 1965).

Сказанное в значительной мере относится и к диагностическим свойствам морфологии листового аппарата. Так, М. В. Вайчис и А. Ю. Руткаускас (1969) лесорастительный эффект лесных почв в Литве оценивали по длине и массе хвои первого года жизни, взятой с верхней мутовки, поскольку названные показатели тесно связаны с относительными величинами высоты и запаса древостоев в сосняках и ельниках. Напротив, в приспевающих и спелых сомкнутых ельниках Iа—IV классов бонитета в условиях Московской области какая-либо связь названных морфологических показателей хвои с продуктивностью насаждений отсутствовала (Попова, 1975).

1.6. ФАКТОРЫ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ И ПРЕДЕЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ НА ЦЕНОТИЧЕСКОМ УРОВНЕ В ПРЕДЕЛАХ ЭКОТОПА

В разделах 1.4 и 1.5 обсуждались условия максимизации продукционного потенциала лесных экосистем по совокупности соответственно климатических (в пределах ареала — для одновидовых лесных сообществ и в пределах континента — для обезличенного лесного покрова) и эдафических (в пределах экорегиона) факторов. Рассмотрим некоторые условия максимизации биологической продуктивности лесных экосистем на следующем иерархическом уровне — ценотическом в пределах экотопа.

1.6.1. ИНДЕКС ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ И МАКСИМАЛЬНАЯ ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ

Ранее упоминалось, что с учетом чрезвычайно большого разброса глобальных оценок фитомассы лесов для получения более или менее реальных представлений об углерододепонирующей роли лесного покрова необходи-

мо знание предельно возможной биологической продуктивности лесных экосистем.

Если верхний предел биологической продуктивности лесов, как отмечалось в разделе 1.4, в целом определяется количеством приходящей солнечной радиации, то продукционный потенциал насаждения в данном местобитании прямо пропорционален количеству радиации, перехватываемой пологом в течение активного периода роста, с коррекцией на продуктивность фотосинтеза, или эффективность превращения перехваченной радиации в фитомассу (Ничипорович, 1956; Синягин, 1975; Monteith, 1977; Jarvis, Leverenz, 1983; Linder, 1985; Wang et al., 1991; Runyon et al., 1994; Jarvis et al., 2001).

В результате изучения обширной литературы, накопленной в мире по проблеме биопродуктивности лесов, М. Кэннел (Cannell, 1988, 1989) приходит к выводу, что при выявлении различий в продукционном потенциале лесов нужно применять не столько статистические методы, традиционный анализ роста либо сложные имитационные модели, сколько такой анализ использования световой энергии, при котором первичная продукция определяется на функциональном уровне одновременно четырьмя факторами: количеством перехваченной пологом радиации, эффективностью ее использования, долей ассимилятов, депонируемой в фитомассе, и потерями на отпад и опад.

Анализируя факторы продуктивности лесов, А. И. Бузыкин (1975) пишет: "Одним из важных факторов фотосинтеза является количество и состав солнечной радиации. Для биогеоценоза она представляет независимую величину, поскольку определяется космическими и метеорологическими факторами. Поглощение же света кронами, отражение его от кроны и пропускание через них представляет собой биологический процесс, регулируемый древостоем так, чтобы на каждом этапе своего роста и развития получать и усваивать максимальное количество необходимой ему энергии. Механизм перестройки и реакции древостоя на свет не ясен, хотя известно, что солнечная радиация в значительной степени определяет морфогенез кроны, пуская в ход те гормональные механизмы, которые ответственны за деятельность образовательных тканей, формирующих листву, ветви и ствол. Пока этот процесс еще нельзя точно описать и управлять им, однако можно полагать, что процесс поглощения и пропускания света пологом древостоя регулируется чуткой системой обратных связей до тех пор, пока лесной биогеоценоз остается еще системой" (С. 75).

Таким образом, на ценотическом уровне в пределах экотопа продукционный потенциал лесного фитоценоза определяется пространственной структурой последнего, а именно — количеством, качеством и характером размещения в пространстве фотосинтезирующего аппарата растений (Кузьмичев, 1975), что в продукционном плане находит интегральное выражение в индексе листовой поверхности LAI.

Индекс односторонней, или проективной (projected area) листовой поверхности LAI в умеренной лесной зоне варьирует примерно от 1 (Carbon et al., 1979) до 21 (Waring et al., 1978). Его величина зависит от древесной породы, возраста древостоя, локального климата и других факторов. По мере роста древостоя LAI увеличивается до максимума, а затем в большинстве случаев снижается (Ovington, 1957; Kira, Shidei, 1967; Rauner, 1976; Ford,

1982). Например, в густых плантациях ели ситхинской в Шотландии максимум LAI наступает в возрасте 16 лет (Ford, 1982), в насаждениях дуба черешчатого в Европе — в 30 лет (рис. 1.44), в насаждениях сосны обыкновенной различных климатических зон Евразии — в интервале от 10 до 30 лет (рис. 1.45). Однако в других случаях, например в древостоях пихты Вича, сосен густоветной и ладанной в определенном возрасте наступает равновесное состояние, и LAI выходит “на плато” (Tadaki, 1966; Switzer et al., 1966; Kira, Shidei, 1967).

Последний феномен дает основание некоторым исследователям полагать, что LAI не пригоден для оценки продуктивности древостоев вследствие его стабильности в течение большей части периода роста — от смыкания полога до периода разрушения. В. В. Кузьмичев (1975) пишет: “Эта стабильность связана как с ограниченностью количества света, поступающего на единицу площади в единицу времени, так и с ограниченными запасами питательных веществ и влаги в используемом растениями объеме почвы. В связи с этим возникает возможность выявления других более или менее постоянных характеристик древостоев, которые могут оказать помощь при изучении их динамики” (С. 126).

Более редки случаи монотонного нарастания LAI с первых лет в течение длительного периода. Например, в буковых древостоях Дании в возрастном диапазоне от 20 до 120 лет масса листвы на единице площади непрерывно нарастает, и это увеличение составляет 10—20 %, хотя размер листа при этом несколько снижается (Möller, 1947). На тихоокеанском северо-западе США LAI некоторых хвойных увеличивается до возраста более 40 лет, достигая значений 15 и выше (Long, Turner, 1975; Gholz et al., 1976). Однако последнее не означает, что упомянутые траектории в конце концов не выйдут на какой-то один из первых двух вариантов.

В отличие от хвойных, в широколиственных листопадных древостоях LAI редко бывает выше 6 (Satoo, 1970; Anderson, 1981). Полагают (Jarvis, Leverenz, 1983), что этот уровень обусловлен не столько высоким коэффициентом поглощения света у широколиственных, сколько необходимостью ежегодной полной замены всей листвы. Наименьшие значения LAI (1—3) наблюдаются в склерофильных эвкалиптовых древостоях Австралии (Carbon et al., 1979; Anderson, 1981).

Влияние локального климата на LAI лесных насаждений одного и того же возраста было исследовано Р. Уорингом с соавторами (Waring et al., 1978). Проведя сравнительные исследования LAI спелых насаждений (пихта, дугласия, тсуга западная) в двух регионах штата Орегон, различающихся по степени континентальности климата, упомянутые авторы установили, что в одних и тех же координатах температуры и влажности LAI в условиях морского климата вдвое выше, чем в континентальных условиях главным образом вследствие меньшей летней эвапотранспирации (и соответственно — потерь на дыхание) в первом случае. Однако в том и другом регионах максимальные значения LAI соответствовали умеренным температурам воздуха и почвы и адекватной влажности почв. В любых более экстремальных гидротермических условиях LAI резко снижался в обоих регионах. Дефицит некоторых элементов питания также обуславливал снижение LAI, но в существенно меньшей степени по сравнению с “локальными климатическими условиями” (Waring et al., 1978).

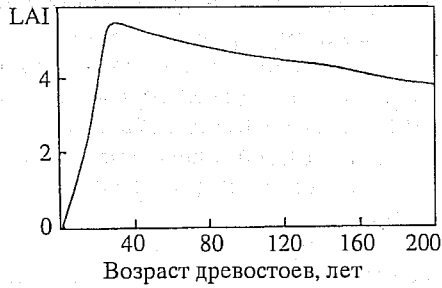


Рис. 1.44. Изменение индекса листовой поверхности с возрастом древостоев дуба черешчатого в Западной Европе (Rauner, 1976)

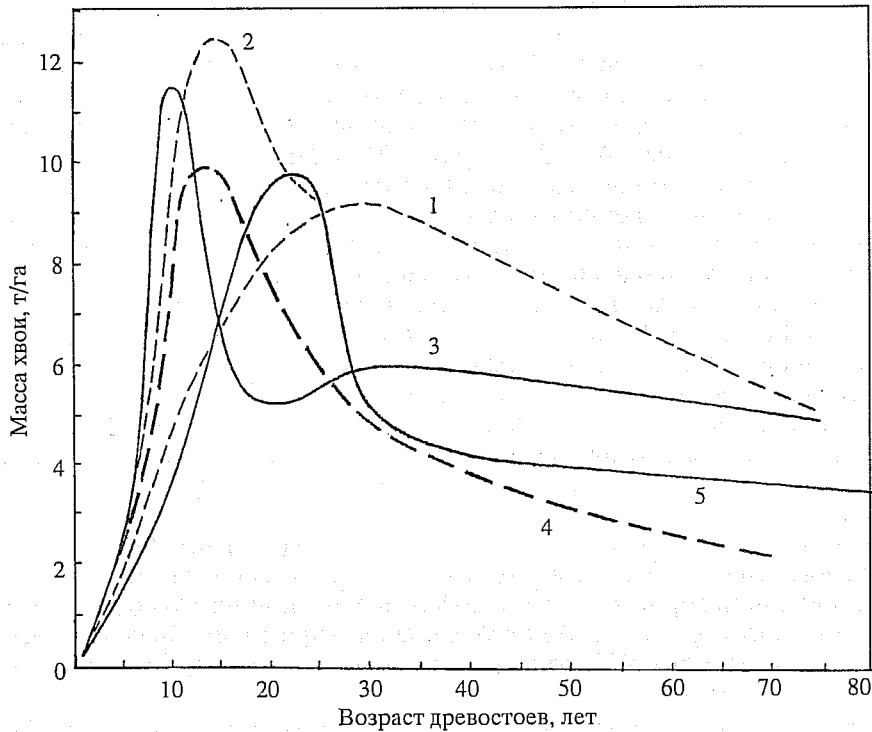


Рис. 1.45. Изменение массы хвои в абсолютно сухом состоянии в связи с возрастом древостоев сосны обыкновенной в разных климатических зонах: естественные сосняки европейской России (1) (Молчанов, 1952); культуры сосны в Казахском мелкосопочнике (2) (Макаренко, 1978), в Арчединско-Донских песках (3) (Воронков, 1970), в Тургайском прогибе (4) (Усольцев и др., 1994) и в Центральной Швеции (5) (Albrektson, 1980)

Для оценки роли лимитирующих факторов продуктивности оценивалась способность растительных сообществ аккумулировать сухое вещество по степени использования солнечного света на квантовой основе. Было установлено, что даже рекордные по урожайности сельскохозяйственные культуры, максимально приближенные к верхнему пределу продуктивности, недостаточно эффективны (20—49 % от потенциальной продуктивности) в использовании солнечной радиации. Основные лимитирующие факторы, обуславливающие значительно меньшую эффективность использования света по сравнению с теоретически возможной на квантовой основе, — это листовая поверхность (и характер ее распределения в пространстве) и обеспеченность CO_2 (Loomis, Williams, 1963).

Р. Лумис и В. Уильямс (Loomis, Williams, 1963) показали три характерных зависимости прироста сухой массы культур от индекса листовой поверхности (рис. 1.46). Первая характеризуется интенсивным приростом по мере увеличения LAI, но лишь до некоторого предела (*критического* значения LAI), после которого прирост выходит на плато. Для клевера эта критическая величина LAI равна 5, что соответствовало 95 % перехвата полученного солнечного света (см. рис. 1.46a). Вторая зависимость имеет колоколообразный характер с максимальной продукцией, соответствующей *оптимальному* значению LAI = 3 (см. рис. 1.46б). Наконец, третья характеризуется отсутствием точки компенсации фотосинтеза в исследованном диапазоне LAI и соответственно — отсутствием и критического, и оптимального значений (см. рис. 1.46в). Но при дальнейшем увеличении LAI за пределы исследованного диапазона траектория продуктивности неизбежно должна пойти по одному из двух предыдущих вариантов. Р. Лумис и В. Уильямс (Loomis, Williams, 1963) приходят к выводу, что хотя критическое и оптимальное значения LAI характеризуют соответственно два разных тренда, но в основе их лежит один общий (экстремальный) принцип: достижение *максимальной* продуктивности при некотором *минимуме* LAI. Впрочем, понятие критического LAI они считают теоретически более приемлемым, поскольку в основу его заложено рассмотрение степени перехвата солнечной энергии.

По высотному градиенту в Каскадных горах (штат Орегон, США) Х. Гольцом (Gholz, 1982) для разных типов древесной растительности от можжевельников горных пустынь до тсуги западной на тихоокеанском побережье в возрасте 120—200 лет установлена прямолинейная зависимость нетто-продуктивности NPP по надземной фитомассе от двустороннего LAI (рис. 1.47) с $R^2 = 0,96$.

Аналогичные линейные зависимости от проективного LAI характерны для NPP по углероду в надземной фитомассе хвойных насаждений бореальной зоны Канады с $R^2 = 0,70$ (Gower et al., 1997) и хвойных насаждений умеренной зоны США, штат Висконсин (Fassnacht, Gower, 1997) (рис. 1.48). Линейная зависимость NPP по надземной фитомассе от LAI выявлена также для 1—2-летних плантаций эвкалипта с разными вариантами удобрения и ирригации в Португалии (Pereira et al., 1989) (рис. 1.49) с $R^2 = 0,88$. Линейно связана NPP по общей фитомассе с массой хвои на 1 га в возрастном ряду (от 16 до 142 лет) сомкнутых, подвергнутых разнообразным хозяйственным воздействиям плантаций ели европейской в северо-восточной Баварии (ФРГ) с $R^2 = 0,89$ (Mund et al., 2002).

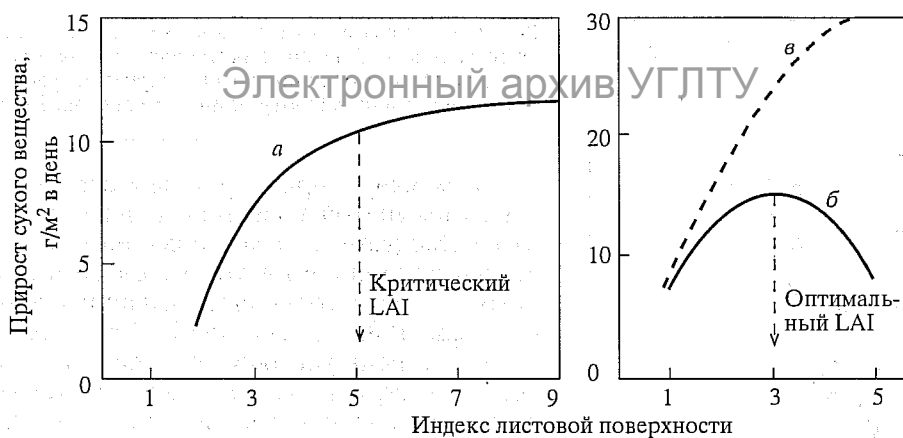


Рис. 1.46. Зависимость скорости накопления сухого вещества (г/м^2 в день) от индекса LAI: а — для клевера, когда критическая величина LAI достигается при 95 % перехвата полного света (Brougham, 1956); б — для капусты, когда имеется максимум прироста при некоторой оптимальной величине LAI (Watson, 1958) и в — для сахарной свеклы, когда в исследованном диапазоне не достигается ни критическая, ни оптимальная величины LAI (Watson, 1958)

Рис. 1.47. Зависимость NPP по надземной фитомассе от двустороннего LAI для разных типов древесной растительности по высотному градиенту в Каскадных горах США (Gholz, 1982)

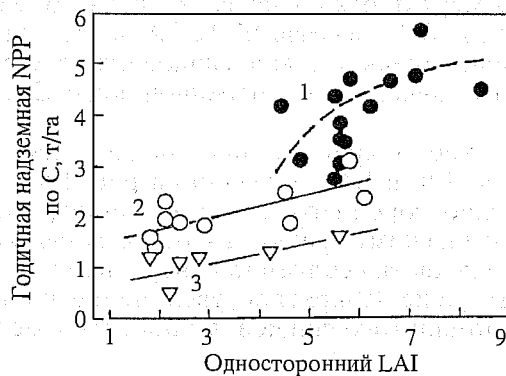
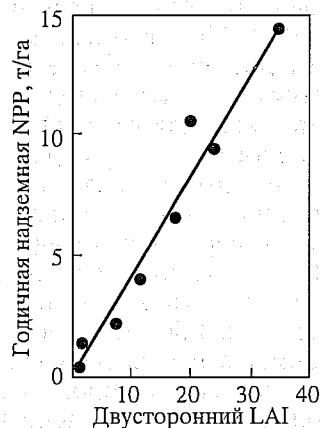


Рис. 1.48. Зависимость NPP по углероду в надземной фитомассе листопадных (1), хвойных (2) древостоев умеренной зоны США (Fassnacht, Gower, 1997) и хвойных (3) бореальной зоны Канады (Gower et al., 1997) от одностороннего LAI, $R^2 = 0,70$. Продуктивность листопадных существенно выше, чем хвойных, при одних и тех же значениях LAI

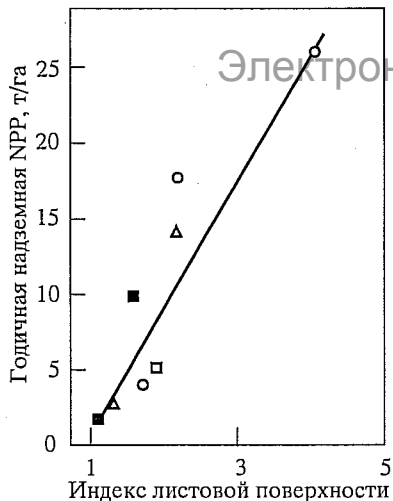


Рис. 1.49. Зависимость годичной NPP по надземной фитомассе в 1—2-летних плантациях *Eucalyptus globulus* от LAI ($R^2 = 0,88$) при разных вариантах удобрения и ирригации в Португалии (Pereira et al., 1989)

Возможную причину линейного характера упомянутой зависимости видят в том, что исследуемые насаждения еще не достигли полной сомкнутости полога и полного перехвата солнечной радиации (Jarvis, Leverenz, 1983; Linder, 1985; Pereira et al., 1989). Степень упомянутого перехвата зависит от структуры полога и для темнохвойных Западной Европы была определена на уровне 90—100 % (Wiesner, 1907). Позднее М. И. Сахаров (1940) в брянских лесах подтвердил этот уровень (95 %) для ельника чернично-кисличного и устан-

вил названный показатель для сосняков от 60 % в липайниковом типе до 93 % — в зеленомошнике. Л. А. Иванов (1936, 1946) дифференцирует степень перехвата радиации в связи с теневыносливостью древесных пород и приводит для бука, ели и лиственницы значения, соответственно, 98, 97 и 83 %. Л. К. Поздняковым (1953) для ели и лиственницы сибирского Севера даются еще более низкие значения — 78 и 47 % соответственно.

Можно сделать вывод, что линейное приближение связи NPP и LAI приемлемо лишь для условий неполного перехвата солнечной энергии древесным пологом, и по мере приближения уровня названного перехвата к 100 %-му характер названной зависимости меняется с линейного на асимптотический либо колоколообразный. Это подтверждается по крайней мере тремя примерами, показанными на рис. 1.48(1), 1.50(2) и 1.51.

По совокупности всех имеющихся данных для древостоев умеренной зоны Европы и Японии взаимосвязь NPP и LAI также имеет линейный характер (см. рис. 1.50(1)), хотя в этом случае связь по сравнению с предыдущими примерами менее тесная ($R^2 = 0,59$), поскольку объединены древостои разных древесных пород, возрастов и лесорастительных условий (Bolstad et al., 2001). Однако отмеченные треугольниками данные NPP для широколиственных пород востока Северной Америки отклоняются от среднего глобального тренда при LAI > 8 (см. рис. 1.50(2)), и связь NPP с LAI в этом случае скорее колоколообразная, нежели линейная. Аналогичное отклонение прослеживается при LAI > 7 у листопадных видов умеренной зоны США (см. рис. 1.48(1)).

Экспериментально подтвержденное и сравнительно редкое свидетельство колоколообразности связи NPP и LAI показано на рис. 1.51 — случай, когда в хвойных переход одностороннего LAI за величину, равную 5, приводит даже не к асимптотическому тренду, а к резкому снижению продуктивности. В этом случае нехватка солнечной энергии лимитирует прирост в такой степени, что даже 10-кратное увеличение числа стволов на 1 га не компенсирует упомянутого снижения продуктивности (Waring, 1980).

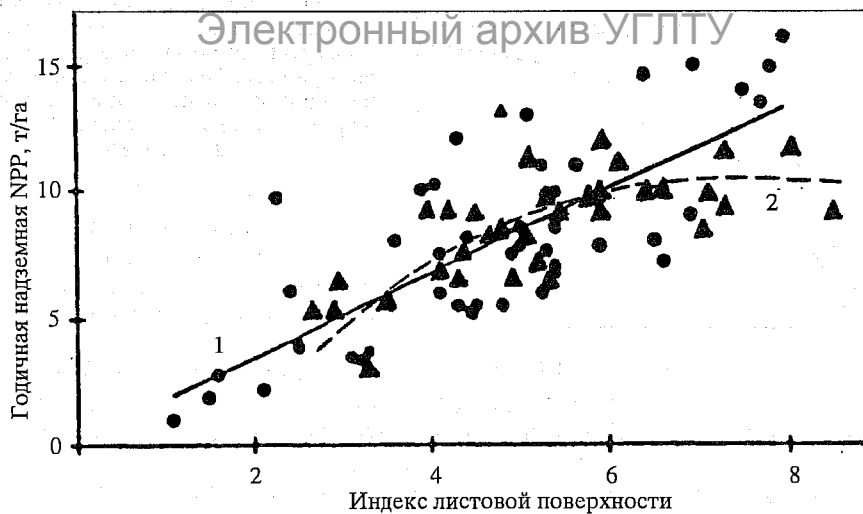


Рис. 1.50. Линейная зависимость годичной NPP по надземной фитомассе от LAI, полученная по совокупности всех имеющихся данных для Европы и Японии (кружки) с $R^2 = 0,59$ (1) (Bolstad et al., 2001).



Рис. 1.51. Колоколообразная зависимость годичного прироста площади сечения от одностороннего индекса LAI в перегущенных хвойных насаждениях (Newman, 1979; цит. по: Waring, 1980)

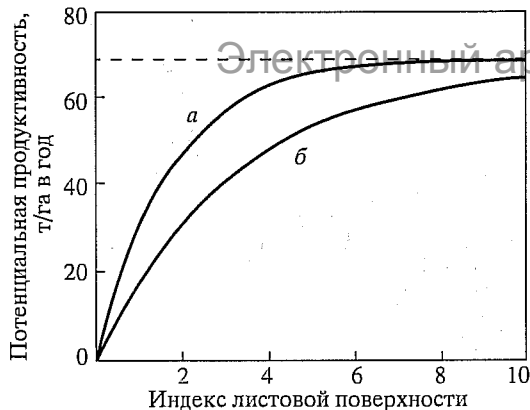


Рис. 1.52. Теоретическая зависимость годичной потенциальной продуктивности насаждений от LAI при случайном (а) и групповом (б) распределении листьев в пологе. Пунктиром показана линия продуктивности, соответствующая полному перехвату солнечной энергии (Jarvis, 1985)

переменных, вывел теоретические зависимости потенциальной продуктивности насаждений от LAI для двух вариантов характера распределения листьев в пологе (рис. 1.52). Если величина LAI достаточна для перехвата 95 % доступной радиации, то дальнейшее увеличение LAI уже не оказывает заметного влияния на продуктивность, и любой прирост листьев в верхней части полога повлечет за собой неизбежное отмирание листьев в нижней части вследствие отсутствия там солнечной радиации. При случайном распределении листьев в пологе 95 %-ный перехват солнечной радиации обеспечивается при LAI = 6, а при групповом — при LAI > 10 (см. рис. 1.52).

Физиологическая интерпретация изложенного материала позволила сделать вывод (Jarvis, Leverenz, 1983), что первичная продукция и фитомасса листьев пропорционально приближаются к некоторым пределам. Эту пропорциональность можно выразить в терминах ежегодно поглощаемой листвой ФАР, эффективности фотосинтеза и количества ассимилятов, депонируемых в надземной фитомассе. По М. Кэннелу (Cannell, 1988, 1989), эта “энергетическая цепочка”, как уже упоминалось, завершается блоком опада и отпада.

1.6.2. МАКСИМАЛЬНАЯ И ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ДРЕВОСТОЕВ В СВЯЗИ С ИХ САМОИЗРЕЖИВАНИЕМ

Уже в ранних работах, посвященных исследованию продуктивности ассимиляционного аппарата насаждений, отмечалось, что не может быть простого стабильного соотношения между продуктивностью и количеством листьев, и что названное соотношение во многом определяется густотой и возрастом древостоя, интенсивностью самоизреживания, лесорастительными условиями, потерями на дыхание и т. д. (Möller, 1946, 1947). Анализ продуктивности лесных экосистем в пределах экотопа возможен наряду с LAI по одному или нескольким массообразующим показателям: средней высоте согласно закону Эйхгорна (Eichhorn, 1904), среднему диаметру согласно “руководящей кривой” Рейнеке (Reineke, 1933), густоте древостоев.

Дилемма, связанная с характером кривой зависимости продуктивности фитоценоза от степени перехвата пологом солнечной энергии, применительно к лесным насаждениям возникла и начала обсуждаться примерно в тот же период, что и для сельскохозяйственных культур, но это была зави-

симость не от LAI, а от более просто определяемого в древостоях показателя — числа стволов на 1 га, или густоты.

До сих пор мы обсуждали условия *максимизации* продукционного потенциала лесных экосистем на трех иерархических уровнях: в пределах ареала — по совокупности климатических факторов, в пределах экорегиона — по совокупности эдафических факторов и в пределах экотопа — по совокупности параметров фотосинтетического аппарата растительного покрова, из которых определяющим является LAI.

Переход к анализу биопродуктивности лесной экосистемы на ценоотическом уровне по параметрам пространственной структуры фитоценозов, из которых определяющим является их густота, или плотность, дает возможность рассмотреть понятие *не только максимальной, но и предельной* продуктивности.

Наибольшее распространение получили две концепции зависимости продуктивности от густоты, инициированные соответственно К.-М. Меллером (Möller, 1946, 1947) и Е. Ассманом (Assmann, 1961). Согласно К.-М. Меллеру, продуктивность нарастает по мере увеличения густоты с выходом на плато после полного смыкания полога, хотя и допускалось, что чрезмерное перегущение может повлечь за собой некоторое снижение продуктивности.

Е. Ассман (Assmann, 1961) различает три характерных плотности древостоя (рис. 1.53):

а) *максимальную* — наивысшую для данного местообитания площадь сечений, достигаемую древостоями данной породы *без разреживаний* [на рис. 1.53 соответствует в относительном выражении полноте 1,0 (или 100 %), которой в свою очередь соответствует относительный прирост 1,0 (или 100 %)];

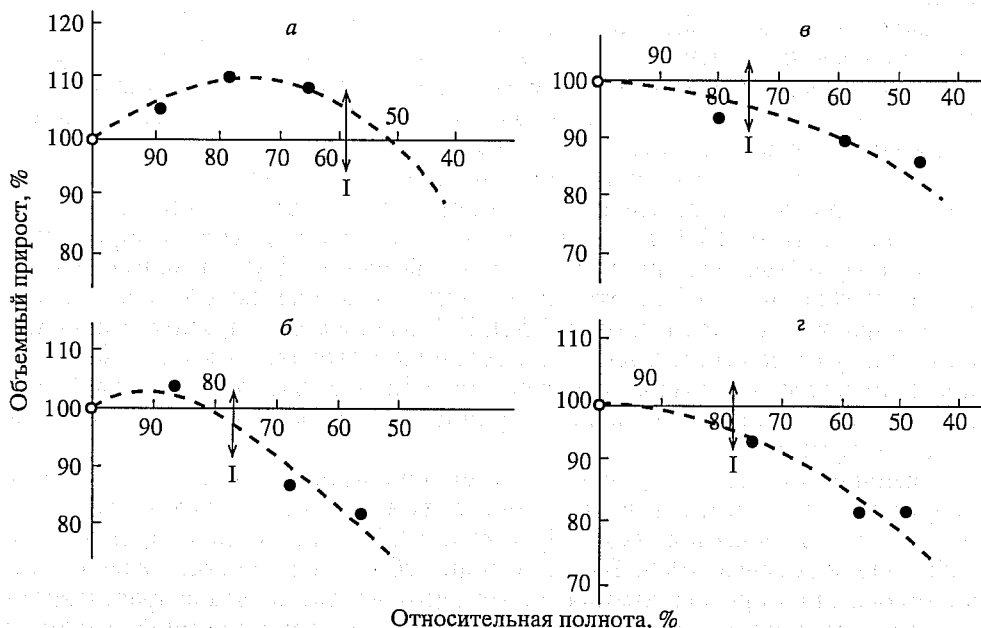


Рис. 1.53. Соотношение максимальной, оптимальной и критической полнот в ельниках различного возраста:

а — от 42 до 51; б — с 51 до 61; в — с 61 до 71 и г — с 71 до 81 гг. I — критическая полнота (Assmann, 1961)

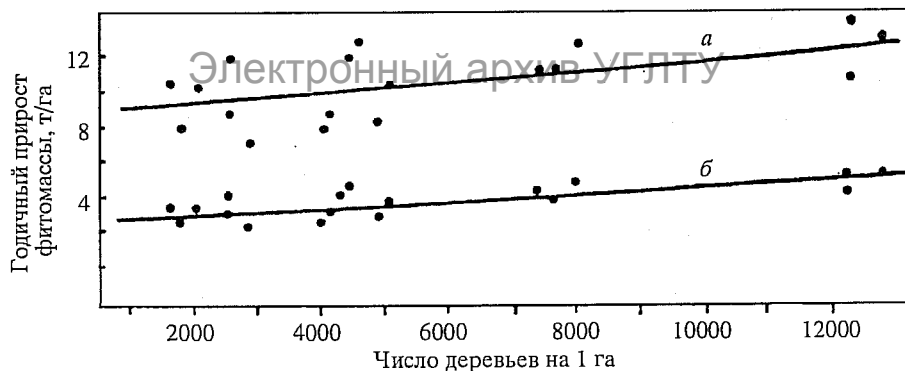


Рис. 1.54. Зависимость годичного прироста надземной фитомассы (а) и массы стволов (б) в абсолютно сухом состоянии от густоты 40-летних древостоев пихты бальзамической, по данным временных пробных площадей (Baskerville, 1965)

б) *оптимальную*, соблюдение которой обеспечивает максимально возможный прирост *при соответствующих разреживаниях*; эта величина у ели даже в относительном выражении изменяется с возрастом: в период с 42 до 51 года прирост составляет 110 % при оптимальной полноте 0,75; в период с 51 до 61 года — 103 % при оптимальной полноте 0,90, а в более старших возрастах совпадает с максимальной (100 %);

в) *критическую*, соблюдение которой обеспечивает не менее 95 % максимально возможного прироста для данного местообитания; она также изменяется с возрастом (см. рис. 1.53).

Таким образом, по Е. Ассману, продуктивность связана с полнотой колоколообразной зависимостью, пик которой соответствует максимально возможной продуктивности в узком диапазоне оптимальной полноты. Концепция Е. Ассмана имеет многочисленных последователей (Кайрюкштитс, Юодвалкис, 1976; Thomasius, 1978; Исаева, 1993; и др.).

Специальное исследование соотношения продуктивности и густоты в 40-летних древостоях теневыносливой породы — пихты бальзамической в диапазоне густот от 1500 до 13000 деревьев на 1 га не привело к определенному выводу о большей приемлемости какой-либо из двух упомянутых концепций (Baskerville, 1965). Хотя общий прирост по надземной массе непрерывно нарастает с густотой (рис. 1.54), Г. Баскервиль не пришел к какому-либо выводу о характере тренда при больших густотах, поскольку встречаемость древостоев пихты с густотой более 12—13 тыс. деревьев на 1 га в этом возрасте крайне ничтожна по причине самоизреживания, и они практически отсутствуют.

Совершенно иной результат получен при исследовании соотношения продуктивности и густоты в 34- и 70-летних древостоях светолюбивой породы — сосны обыкновенной (Бузыкин, 1982; Пшеничникова, Бузыкин, 1985; Пшеничникова, 1989; Бузыкин и др., 2002). В 34-летнем сосняке липшайниковом по мере увеличения густоты до 4—5 тыс. экз/га возрастают запасы всех фракций фитомассы — хвои, ветвей, стволов и корней, которые при данной густоте достигают максимальных значений, соответственно, 19, 14, 55 и 17 т/га. При дальнейшем увеличении густоты вплоть до 1 млн экз/га



Рис. 1.55. Зависимость запаса стволовой древесины (1) и средней высоты (2) от текущей густоты в сосняках лишайниковых (а) в возрасте 34 года (Пшеничникова, Бузыкин, 1985; Пшеничникова, 1989) и сосняках брусничных (б) в возрасте 70 лет, по данным временных пробных площадей (Бузыкин, 1982)

происходит монотонное постепенное снижение запасов (а следовательно, и прироста) всех фракций фитомассы (рис. 1.55а).

Аналогичная колоколообразная закономерность выявлена в 70-летних сосняках брусничных (Бузыкин, 1982): запасы стволовой древесины повышаются по мере увеличения густоты до 1,5 тыс. экз/га, а затем снижаются (рис. 1.55б). При этом средние высоты монотонно снижаются в обеих возрастных группах на всем густотном диапазоне. Густоты 4—5 тыс. экз/га в возрасте сосняков 34 года и 1,5 тыс. экз/га в возрасте 70 лет, обеспечивающие максимальную биопродуктивность древостоев, авторы считают оптимальными. Именно при такой густоте наиболее полно используются потенциальные продукционные возможности данного экотопа (Бузыкин и др., 2002).

Здесь следует отметить, что подбор густотных рядов в статике древостоев как для пихты бальзамической, так и для сосны обыкновенной, был проведен без учета начальной густоты, которая в естественных древостоях неизвестна. Покажем, что в подобных случаях можно получить в принципе любую из упомянутых альтернатив. Данные перерасчетов на постоянных пробных площадях, заложенных в сосновых культурах разной начальной густоты Боярской ЛОС (Савич и др., 1978; результаты последних перерасчетов в возрасте 40, 45 и 50 лет любезно предоставлены профессором А. А. Строчинским), изображены в виде четырех подковообразных кривых, полученных путем соединения точек, соответствующих запасам в последовательности нарастающих (или убывающих) начальных густот (рис. 1.56, сплошные — линии для четырех возрастов, каждая из которых в координатах *запас — текущая густота* маркирована значениями начальных густот).

Очевидно, что при данном возрасте одной и той же текущей густоте в зависимости от начальной густоты может соответствовать несколько уровней продуктивности, различие между крайними значениями которых в нашем примере довольно стабильно и в каждом из перерасчетов в возрастном диапазоне от 35 до 50 лет составляет около 50 %. Поэтому мы получим зависимость *запас — густота, выходящую на плато* (см. рис. 1.56, линия I), если, например, в 35-летних древостоях в густотном диапазоне от 1700 до



Рис. 1.56. Зависимость запаса стволовой древесины от текущей плотности сосновых культур различной начальной плотности посадки (обозначена цифрами, тыс. экз/га) в Боярской ЛОС при периодических перечетах в возрасте 35 (А), 40 (Б), 45 (В) и 50 (Г) лет. В зависимости от выбора древостоев с той или иной начальной плотностью зависимость запас — текущая плотность может быть либо асимптотической (I), либо колоколообразной (II) (Усольцев, 1994)

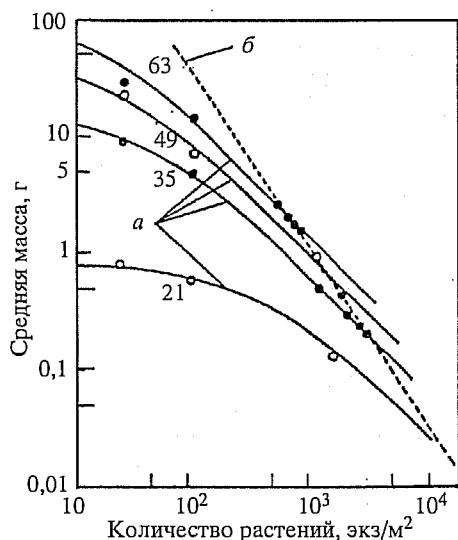


Рис. 1.57. Соотношение семейства кривых зависимости средней массы растения гречихи (*Fagopyrum sagittatum*) в абсолютно сухом состоянии от числа растений на 1 м^2 (сплошные линии, описываемые уравнениями обратной дроби) (а) с линией предельных состояний сообществ (пунктирная линия с угловым наклоном $-3/2$) (б). Цифры — число дней после посева при начальных плотностях в диапазоне от 30 до 50 000 растений на 1 м^2 (Yoda et al., 1963)

3000 экз/га выберем участки с начальными густотами 2,5; 5,0 и 7,5 тыс. экз/га, и *колоколообразную зависимость запас — густота* (см. рис. 1.56, линия II), если участки с начальными густотами 2,5; 30,0 и 24,5 тыс. экз/га. Поскольку в естественных древостоях начальная густота неизвестна, то исследователь может в зависимости от своего желания получить любой результат.

Независимо от характера кривой продуктивности в реальном диапазоне густот, в общем случае всегда на каждом этапе онтоценогенеза древостоя имеется некоторый биологический предел густоты, выше которого древостой как лесной биоценоз существовать уже не может (Лосицкий, Чуенков, 1980). Количественная характеристика этого предела определяется условиями роста, а время достижения предела — ходом самоизреживания древостоев, которое Н. С. Нестеров (1933) определяет как “убыль в числе живых растений на единице площади в борьбе за существование... — общий закон, управляющий жизнью лесорастительных сообществ на всем земном шаре” (С. 173).

Однако до сих пор нет четкого разграничения понятий потенциальной, максимальной и предельной продуктивности. Например, согласно ТХР фитомассы естественных максимально сомкнутых насаждений тополя осинообразного (*Populus tremuloides*) двух провинций Канады, надземная фитомасса для возрастов 3, 4 и 5 лет составила, соответственно, 8,2; 9,3 и 11,0 т/га (Bella, Franceschi, 1980), а специальным исследованием верхних пределов надземной фитомассы аналогичных насаждений в тех же условиях для тех же возрастов установлены существенно большие значения, соответственно, 11,3; 12,5 и 29,6 т/га (Peterson et al., 1982). В данном случае не указаны критерии выделения максимальной и предельной продуктивности.

В других случаях отождествляются потенциальная и максимальная продуктивности: “Понятие потенциальной продуктивности не имеет определения. Ее значение зависит от выбора определяющих факторов, которые у разных авторов существенно различаются. Самая малая модификация определяющих факторов может обусловить значительное смещение оценок потенциальной продуктивности. Окончательным арбитром служит максимальная продуктивность, которую можно точно измерить и воспроизвести в реальных условиях. Она может быть названа рабочим максимумом” (Cannell, 1989. С. 464).

Обычно при оценке верхних пределов продуктивности фитомассы насаждений не уточняется, являются ли названные показатели максимальными для данного возраста при соответствующей (оптимальной) густоте или для данной (предельной) густоты при соответствующем возрасте. Как будет показано ниже, это далеко не одно и то же.

В. В. Кузьмичев (1975) при обсуждении максимальной продуктивности фитоценозов на ценолитическом уровне выделил по существу два ее варианта: “находить этот максимум в природе или получать расчетным путем” (С. 125). Это соображение можно интерпретировать в качестве ключевого при определении и разграничении понятий максимальной и предельной продуктивности лесных фитоценозов, связав нахождение максимумов в реальных насаждениях с максимальной, а получение их расчетным путем по условию самоизреживания — с предельной продуктивностью.

Конечно, и максимум, и предел можно пытаться искать либо экспериментально (т. е. по фактическим измерениям в реальных насаждениях), либо расчетом (например, путем получения соответствующих аналитических выражений). Но само определение предела, или предельного состояния насаждения, предполагает ситуацию, к которой при некоторых дополнительных условиях стремится насаждение согласно принципу экстремальности. И эти ситуации совсем не обязательно подкрепляются фактическими замерами в реальных насаждениях, о чем уже упоминалось в связи с попыткой нахождения предельной продуктивности пихты бальзамической (Baskerville, 1965). Рассмотрим упомянутые различия в определении максимальной и предельной продуктивностей на конкретных примерах.

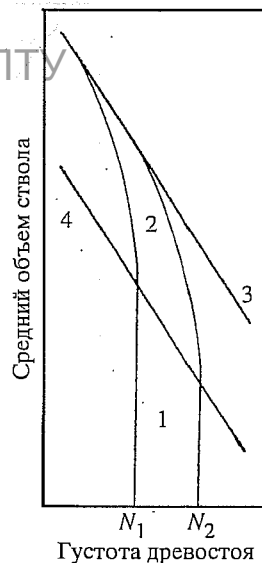
Около 40 лет назад японскими учеными при исследовании одного из кардинальных вопросов экологии растительных сообществ — связи продуктивности с густотой фитоценоза — были выведены две основополагающие альтернативные зависимости. Первая — “правило $3/2$ ” (Tadaki, Shidei, 1959) описывает массу растения как функцию текущей густоты в растительных сообществах разных возрастов, условий местопроизрастания, начальной густоты и т. д. посредством унифицированной зависимости. В логарифмических координатах это прямая самоизреживания с угловым коэффициентом, равным $-3/2$. Г. Б. Кофман (1986) показал, что упомянутое правило в несколько иных терминах по существу было выведено еще в работах Г. Ф. Хильми (1955) и М. Чарновского (Czarnowski, 1947 ; цит. по: Кофман, 1986). Вторая зависимость — уравнение обратной дроби (Kira, Shinozaki, 1956), описывающее массу растения в статическом густотном эксперименте (т. е. в сообществах одного возраста с разной начальной густотой) как функцию текущей густоты. Обе зависимости получили многократное эмпирическое подтверждение и интерпретировались как законы самоизреживания.

К. Йода с соавторами (Yoda et al., 1963) показали, что эти зависимости описывают с разных позиций один и тот же процесс самоизреживания растительных сообществ, а правило $3/2$ является предельным случаем семейства альтернативных кривых густотного статического эксперимента, описываемых уравнениями обратной дроби (рис. 1.57). Они постулировали по крайней мере два условия существования правила $3/2$: а) соблюдение геометрического подобия растений, независимо от возрастного этапа и условий среды, б) 100 %-ная степень перекрытия полога. Иными словами, куб диаметра кроны должен быть пропорционален массе дерева, а квадрат того же диаметра — площади роста дерева.

Авторы установили, что угол наклона линии регрессии (см. рис. 1.57) является общим для всех растительных сообществ, как травянистых, так и древесных, а видоспецифичен лишь сдвиг упомянутой линии вдоль оси ординат. Они утверждали, что эта линия соответствует “максимальной асимптотической густоте на каждой стадии роста, и, как бы ни была высока начальная плотность сообщества, густоты за пределами этой линии не могут быть реализованы вследствие самоизреживания” (с. 128). Поскольку К. Йо-да с соавторами (Yoda et al., 1963) понимали, что выдвинутые два условия в сомкнутых фитоценозах в полной мере невыполнимы, они рассматривали правило $3/2$ в качестве первого приближения.

Т. Андо (Ando, 1962) показал, что при различных начальных густотах траектории самоизреживания разные, но все они асимптотически приближаются

Рис. 1.58. Схема хода роста сосны густоцветной до начала (1) и в полосе (2) самоизреживания и характерные линии: предельной продуктивности (3) и начала самоизреживания (4) (Ando, 1962)



к предельной линии самоизреживания, с угловым наклоном $-3/2$. Геометрическое место точек перехода линейной траектории в нелинейную он интерпретировал как линию начала самоизреживания. Если по соотношению среднего объема ствола и густоты насаждение сосны густоцветной находилось в полосе самоизреживания, т. е. между упомянутыми двумя линиями, то угловой коэффициент его траектории самоизреживания превышал $3/2$ и, следовательно, насаждение еще не достигало предельной плотности (рис. 1.58).

Позднее К. Хозуми (Hozumi, 1977, 1980) выведенную им унифицированную модель, совмещающую логистическую функцию роста (закон обратной дроби) и правило $3/2$ для процесса самоизреживания, графически интерпретировал в виде системы двух взаимопересекающихся “вееров” кривых в координатах *объем среднего дерева — густота*, ограниченной сверху линией предельной продуктивности (и предельной густоты) (рис. 1.59).

Первый веер представлен кривыми *объем — густота*, соответствующими различным уровням начальной густоты, и описывает тот же процесс, который был показан В. В. Кузьмичевым и Ю. Н. Савичем (1979) (рис. 1.60) с той лишь разницей, что в теоретической модели (см. рис. 1.58 и 1.59) траектории самоизреживания “прилипали” к предельной линии (наличие асимптотики), а в реальных условиях (см. рис. 1.60), коснувшись последней, “отскакивали” от нее (наличие огибающей кривой). Второй веер включает в себя соотношение *объем — густота* для фиксированных значений возраста, трансформированного К. Хозуми в понятие *биологическое время*. Верификация модели, выполненная К. Хозуми по фактическим данным хода роста и изреживания культур сосны веймутовой за период с 1904 по 1955 гг. показала ее полную адекватность, по крайней мере, в исследованном возрастном диапазоне (см. рис. 1.59).

По-видимому, первым, кто показал наличие предельной линии самоизреживания, был Л. Рейнеке (Reineke, 1933). Им предложено простое соотношение среднего диаметра D и густоты N для полностью сомкнутых древостоев нескольких древесных пород (рис. 1.61)

$$N = a(D)^b. \quad (1.13)$$

Константа a интерпретировалась при этом как выражение “несущей способности” местообитания, а b — экспонента, определяющая угол наклона регрессии. В результате проведенных экспериментов выявлено среднее значение b около $-1,67$ (Weller, 1987a).

Дж. Блэйк с соавторами (Blake et al., 1991) связали уравнение Л. Рейнеке (1.13) с правилом $3/2$, используя для этого следующее уравнение (Ogawa et al., 1961):

$$p = c(D)^k, \quad (1.14)$$

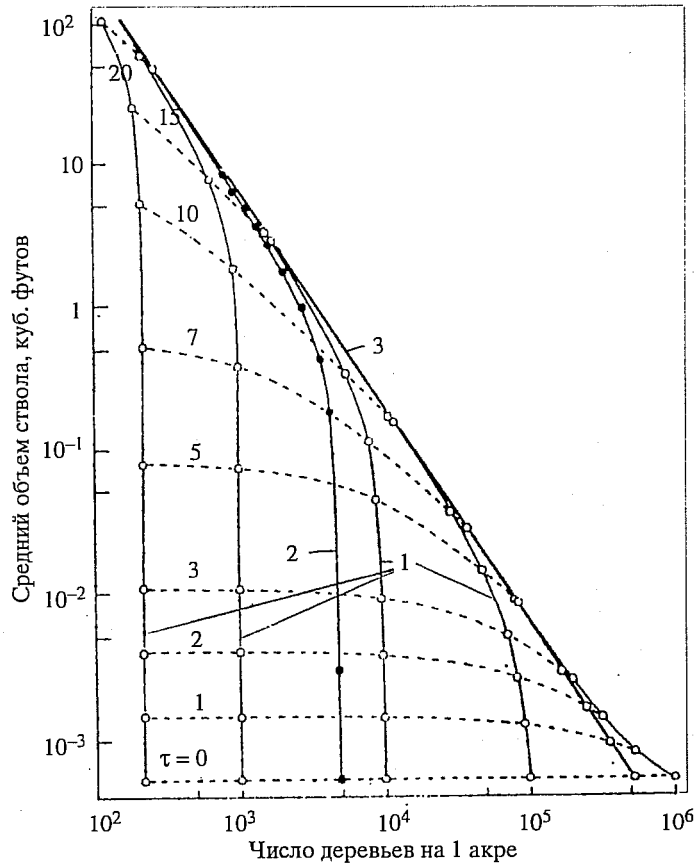


Рис. 1.59. Траектории самоизреживания (1), описываемые моделью К. Хозуми (Hozumi, 1977); 2 — фактическая траектория самоизреживания древостоя сосны веймутовой; 3 — предельная линия с угловым коэффициентом $-3/2$. Цифры — биологическое время роста древостоя $\tau = \int \lambda(A) dA$, где A — возраст; $\lambda(A)$ — функция кривой логистического роста

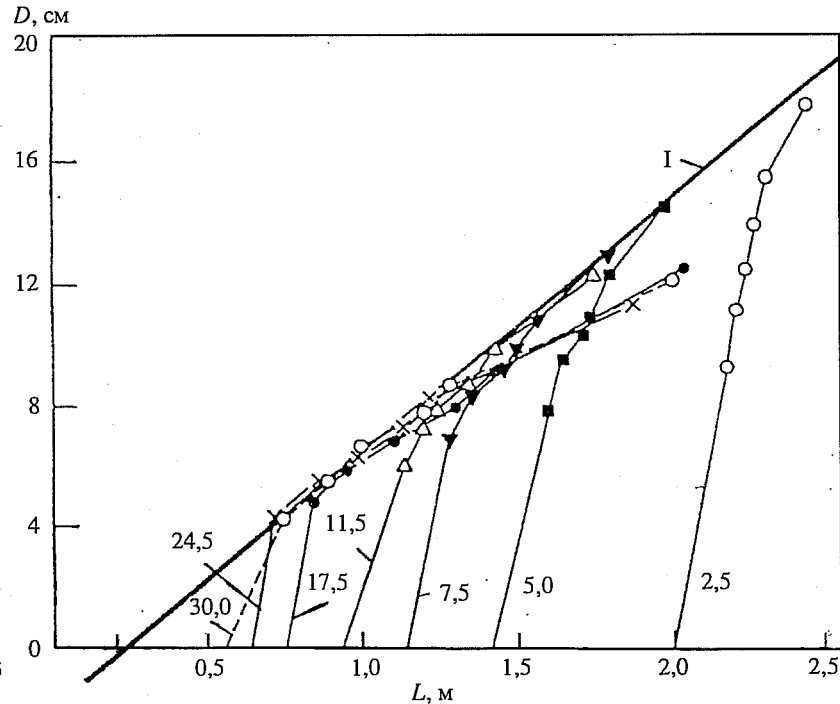
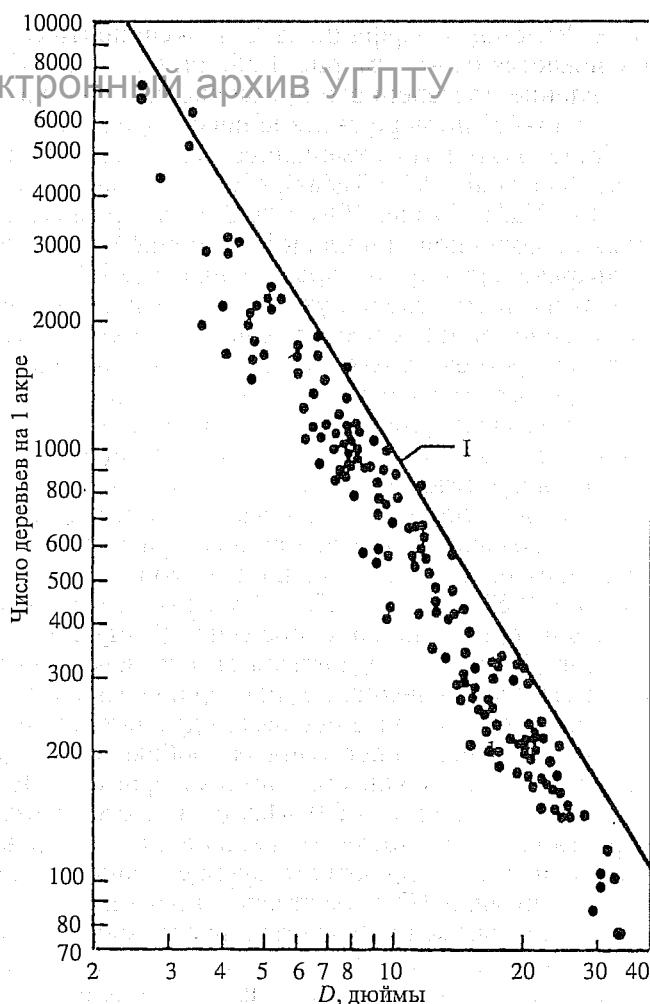


Рис. 1.60. Зависимость среднего диаметра (D) древостоя от среднего расстояния между деревьями (L) в культурах сосны разной начальной плотности в Боярской ЛОС с предельной линией (1), описываемой уравнением $D = 8,2L - 1,45$. Цифры — начальная плотность, тыс. экз/га (Кузьмичев, Савич, 1979)

Рис. 1.61. Зависимость числа деревьев на 1 акре в древостоях пихты великоленной (*Abies magnifica* A. Millau) от среднего диаметра; I — эталонная кривая, соответствующая густоте 1000 экз/акр при $D = 10$ дюймов (Reineke, 1933)

где p — средняя масса одного растения. Используя результаты опытов более чем 50 авторов, исследовавших листовые и хвойные древесные виды, Дж. Уайт (White, 1981) показал, что значение константы k обычно находится вблизи некоторой средней величины, равной 2,5. Если уравнение (1.13) переписать относительно D и подставить полученное выражение в (1.14) вместо D , то результирующее уравнение представит классическое правило 3/2 (Yoda et al., 1963)



$$p = c/a^{1/b} (N)^{k/b}, \quad (1.15)$$

где $k/b = -3/2$. Тогда (1.15) можно записать как

$$p = \beta (N)^{-3/2}. \quad (1.16)$$

Аналог правила 3/2 на уровне древостоя получается простым умножением обеих частей уравнения (1.16) на число деревьев N :

$$P = \beta (N)^{-1/2}, \quad (1.17)$$

которое по аналогии с (1.16) можно определить как “правило 1/2”.

Как упоминалось выше (Ando, 1962), если угловой наклон густотной траектории превышает по модулю величину 3/2 (для древостоя соответственно 1/2), то это означает, что фитоценоз еще не достиг предельной плот-

ности. Угловой коэффициент, или экспонента самоизреживания, постепенно снижается от $-\infty$ (см. рис. 1.58, линия 1) до $-3/2$ (предельная линия 3).

Явление постепенного приближения угла наклона к асимптотическому значению $-3/2$ по мере увеличения отпада в ходе самоизреживания японскими исследователями отмечалось уже в их первых работах (Tadaki, Shidei, 1959; Yoda et al., 1963; Tadaki, 1964). Это же положение подчеркивает позднее Дж. Уайт (White, 1981): “Область применения правила $3/2$ относится только к конечной стабильной временной траектории и не включает в себя предварительную фазу изреживания” (С. 478).

Однако в стремлении уточнить и “улучшить” правило $3/2$ (или $1/2$) в более поздних работах это исходное положение игнорируется, и траектории роста древостоев, находящихся в полосе самоизреживания 2 (см. рис. 1.58), интерпретируются как предельные. Так, Дж. Сковсгард (Skovsgaard, 1987) показал три траектории самоизреживания в искусственных непроореженных насаждениях ели ситхинской, произрастающей на северо-западе Ютландии в Дании, в возрастном диапазоне от 28 до 56 лет (рис. 1.62). Во всех трех случаях очевидно наличие точек начала самоизреживания с последующим постепенным уменьшением угла наклона траектории и соответственно — с приближением ее к предельной линии самоизреживания, что и показывал Т. Андо (Ando, 1962) (см. рис. 1.58). Тем не менее траектории роста древостоев, не достигших предельной плотности и поэтому находящихся в полосе самоизреживания, Дж. Сковсгард интерпретирует как траектории предельной плотности, имеющие нелинейный характер и не удовлетворяющие правилу $1/2$.

Используя данные перечетов древостоев, не подвергнутых какому-либо разреживанию, на постоянных пробных площадях для нескольких древесных видов, выполненных разными авторами, Б. Зейде (Zeide, 1987) построил серию графиков (рис. 1.63). Исходя из того, что все древостои охватывали возрастной период после смыкания полога и характеризовались максимальной плотностью при соответствующем максимальном отпаде, он делает вывод, что правила $1/2$ в действительности не существует, и древостои могут лишь кратковременно достигать предельной линии самоизреживания с экспонентой $-1/2$. Траектории изреживания до этой кульминационной точки имеют угловой коэффициент, превышающий по модулю $1/2$, а после нее — менее $1/2$. Причем занижение экспоненты во втором случае он считает неизбежным вследствие возрастного естественного разреживания полога. В целом же траектория самоизреживания, по Б. Зейде, всегда нелинейна.

Свою концепцию Б. Зейде (Zeide, 1985, 1987) стремится подтвердить и с привлечением таблиц хода роста нормальных (сомкнутых) древостоев (рис. 1.64): все траектории самоизреживания проходят ниже предельной и имеют нелинейный характер. С возрастом древостоев модуль экспоненты стремится к нулю (см. рис. 1.64б), после чего она может даже сменить знак. Видимо, в данном случае, как и в густотном эксперименте с елью ситхинской (Skovsgaard, 1987), происходит подмена понятия *траектория* понятием *предельная линия*.

Имея в виду упомянутое выше соображение о двух способах определения продукционного потенциала насаждений на ценоотическом уровне, можно предположить, что в приведенных примерах имеет место также *смешение двух разных представлений* — *максимальной и предельной продуктивности*. Если же рассматривать выводы Б. Зейде с учетом упомянутой разницы, то оказывается, что никакого противоречия их с правилом $1/2$ нет, а

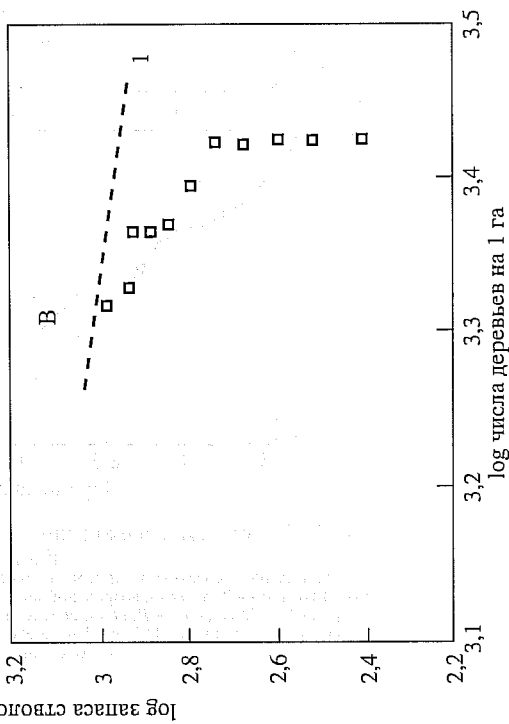
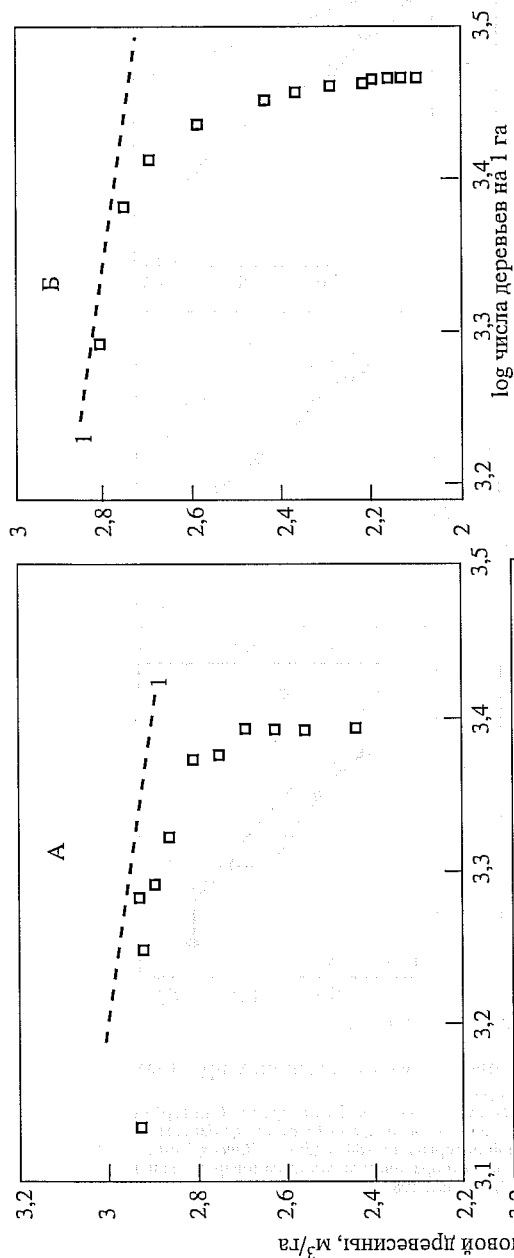


Рис. 1.62. Ход самоизреживания трех (А, Б и В) искусственных неперезеженных древостоев или СИТХИНСКОЙ.
1 — предельная теоретическая линия самоизреживания с экспонентой $-1/2$ (Skovsgaard, 1987)

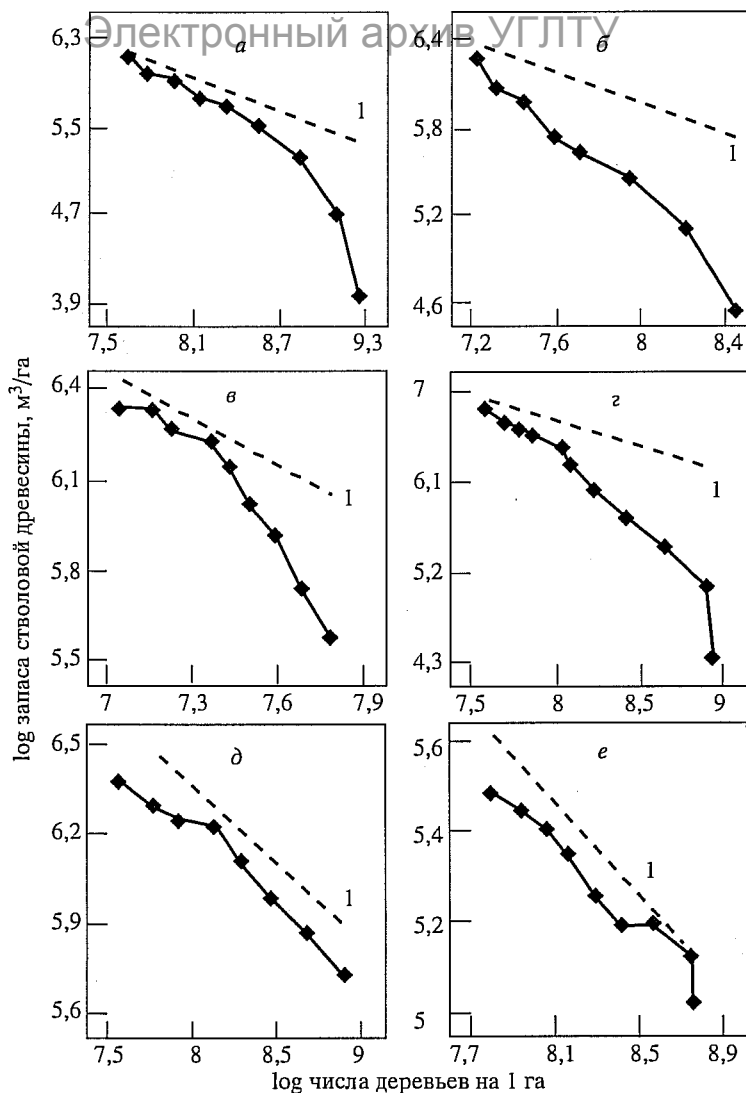


Рис. 1.63. Ход самоизреживания древостоев на постоянных пробных площадях:

а — *Pinus strobus*, возрастной интервал 15—54 года; б — *P. strobus*, возрастной интервал 19—54 года; в — *P. resinosa*, возрастной интервал 15—54 года; г — *Picea abies*, возрастной интервал 19—72 года; д — *P. abies*, возрастной интервал 45—84 года; е — *Pinus sylvestris*, возрастной интервал 70—112 лет; 1 — предельная теоретическая линия самоизреживания с экспонентой $-1/2$ (Zeide, 1987)

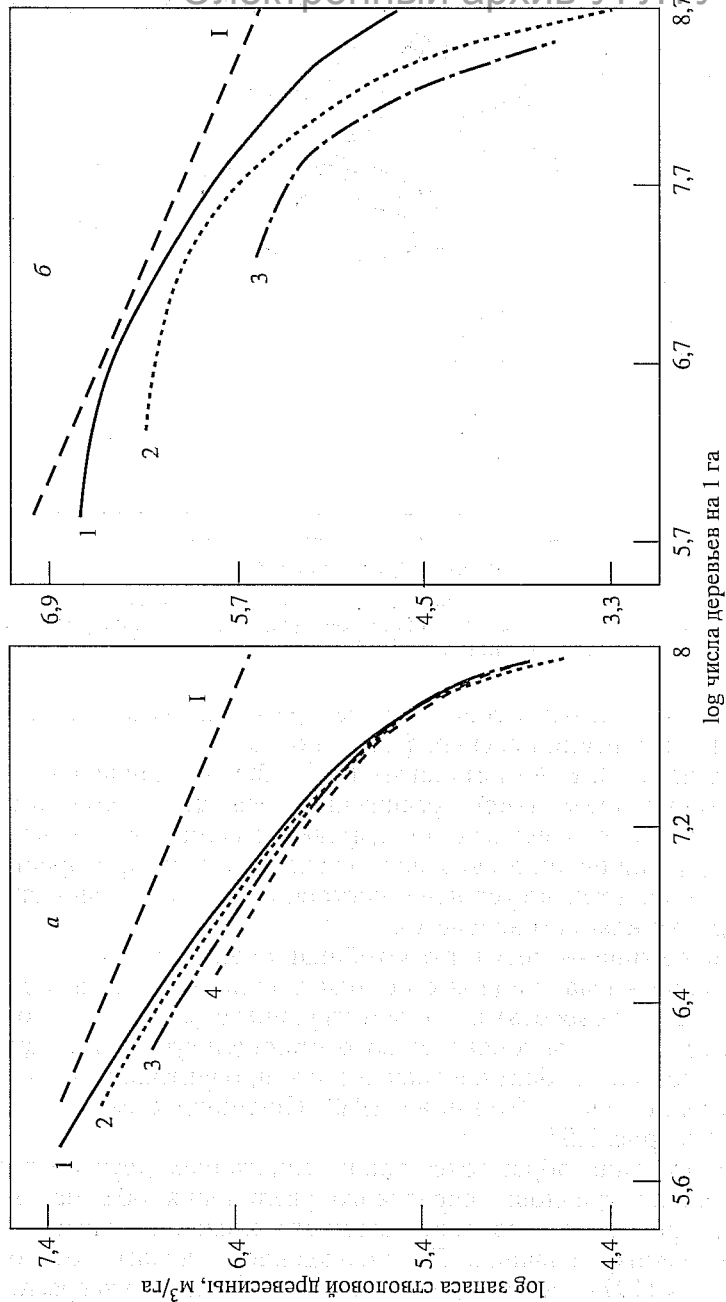


Рис. 1.64. Ход самоизреживания древостоев пихты дугласовой (а) (Curtis et al., 1982) и ели европейской (б) (Schober, 1975) согласно таблицам хода роста; для (а) — 1, 2, 3, 4 — классы бонитета, соответственно, 145, 125, 105, 85; для (б) — 1, 2, 3 — классы бонитета соответственно 1, 3, 5; I — предельная теоретическая линия самоизреживания с экспонентой $-1/2$ (Zeide, 1987)

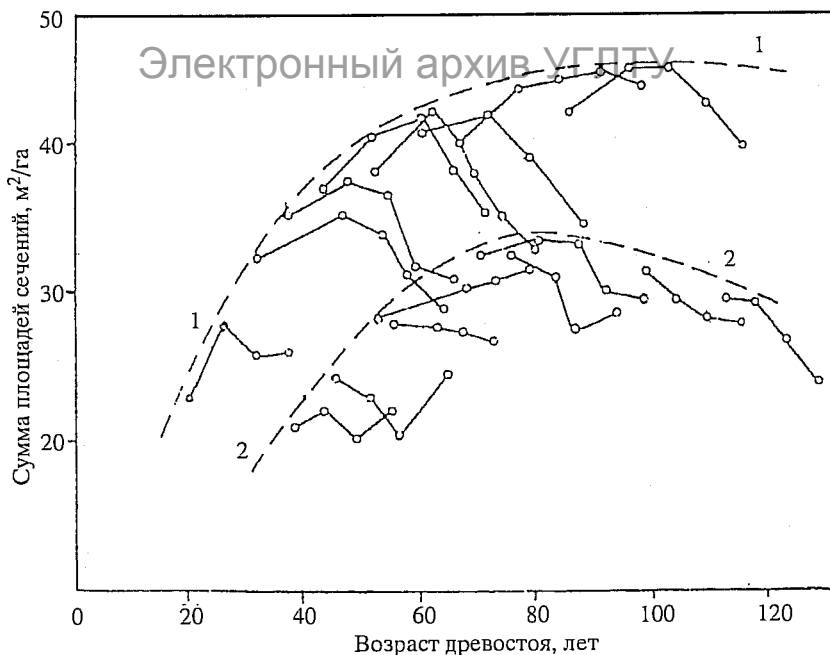


Рис. 1.65. Изменение с возрастом сумм площадей сечений сомкнутых сосновых насаждений по результатам обмеров на постоянных пробных площадях, по А. Шваппаху (Schwappach, 1908); показаны линии максимумов для I (1) и IV (2) классов бонитета (Кузьмичев, 1977)

обе концепции вписываются в современные представления о структурно-функциональной организации лесных фитоценозов.

Около 20 лет назад В. В. Кузьмичевым (1985) был сделан вывод о наличии в структурно-функциональной организации насаждений трех типов колоколообразных кривых, описывающих изменение наличного запаса в связи: а) с густотой (при одинаковом возрасте и условиях местопроизрастания), б) возрастом (в одних и тех же условиях местообитания) и в) условиями местообитания (при одинаковом возрасте).

Кривые первого типа — результат комбинации двух противоположных трендов: увеличения числа стволов с ростом плотности ценоза в статике (т. е. при постоянстве возраста) и соответствующего уменьшения объема (массы) среднего дерева в фитоценозах возрастающей густоты. Подтверждением является колоколообразная зависимость продуктивности от густоты, полученная для сосняков (Бузыкин, 1982; Пшеничникова, 1989; Бузыкин и др., 2002) (см. рис. 1.55).

Кривые второго типа образуются также сочетанием двух противоположных монотонных трендов: возрастного увеличения объема (массы) среднего дерева древостоя и соответствующего снижения числа стволов вследствие его самоизреживания. Подтверждением служит построенная В. В. Кузьмичевым (1977) по материалам А. Шваппаха (Schwappach, 1908) колоколообразная зависимость линии максимумов продуктивности от возраста древостоев (рис. 1.65): из 150 сомкнутых древостоев ни одно при последующих перечетах не сохранило свою полноту на том же уровне. Пока-

занная В. В. Кузьмичевым линия максимумов представляет собой тот предел, которого сомкнутые насаждения достигают лишь кратковременно, но расти в этом экстремальном состоянии они не могут. По существу этот же процесс, лишь в других координатах, показан Б. Зейде на рис. 1.63.

Кривые третьего типа формируются такими же двумя трендами: возрастающей монотонной кривой объема (массы) среднего дерева с улучшением условий роста в статике и соответственно убывающей (или выпуклой) кривой изменения числа стволов. Подтверждением в данном случае является эдафическая сетка П. С. Погребняка (1968).

После первых публикаций Б. Зейде (Zeide, 1985, 1987), в которых общий характер правила $1/2$ был подвергнут сомнению и критике, развернулась дискуссия по поводу того, какие данные наблюдений можно включать в расчет предельной траектории с экспонентой $-1/2$, а какие — нельзя, и имеет ли правило $1/2$ общий или всего лишь частный характер (Weller, 1987b, 1990, 1991; Osawa, Sugita, 1989; Lonsdale, 1990). Д. Веллер одну из своих критических статей завершил следующими словами: “Идея однозначно идеальной экспоненты самоизреживания по-видимому отклоняется, не будучи ни подтвержденной, ни поддержанной. Поэтому предстоящие эксперименты должны быть сфокусированы не на проверке этой гипотезы, а скорее — на изменчивости экспонент самоизреживания под влиянием изменения других факторов, таких как геометрия растений (Weller, 1987b) или фитомасса, приходящаяся на единицу занимаемого пространства (Lonsdale, 1990). Результативность подобных экспериментов не очевидна, поскольку экспонента самоизреживания варьирует даже в условиях контролируемого эксперимента (Westoby, Howell, 1986), и для выявления слабых зависимостей необходимы большие массивы данных” (Weller, 1991. С. 750).

В этой связи показательна диаграмма самоизреживания (рис. 1.66), построенная по данным периодических перечетов в сосновых культурах различной начальной густоты Боярской ЛОС в возрасте 13, 17, 20, 28, 35, 40, 45 и 50 лет и соотнесенная с предельной теоретической линией самоизреживания согласно правилу $1/2$. Данные первых пяти перечетов взяты из работы Ю. Н. Савича с соавторами (1978), а последних трех любезно предоставлены проф. А. А. Строчинским.

Упомянутой предельной линии, описываемой уравнением $\ln M = 10 - 0,5 \ln N$, где M — запас, $\text{м}^3/\text{га}$, N — число деревьев на 1 га, достигают лишь два древостоя с начальными густотами 5,0 и 7,5 тыс. экз/га по наступлении возраста 45 лет с последующим “отскакиванием” траекторий. Перегущенные древостои с начальными густотами 17,5; 24,5 и 30,0 тыс. экз/га сразу после перечета в возрасте 28 лет подверглись катастрофическому снеговалу, и их траектории сместились влево от предельной линии, не успев ее достичь. При этом фактическая предельная линия имеет экспоненту $-0,6$ (а не $-0,5$, как у теоретической линии), т. е. более крутой наклон в сравнении с правилом $1/2$. Достигли бы траектории самоизреживания упомянутых перегущенных древостоев при отсутствии экстремального снегопада предельной линии с экспонентой $-1/2$ или нет, а также — будут ли касаться этой линии траектории всех или какой-то части упомянутых древостоев при последующих перечетах — неизвестно.

Нами приводились данные Л. К. Позднякова (1953) о существенно более низкой степени перехвата листовенничным древесным пологом солнечной

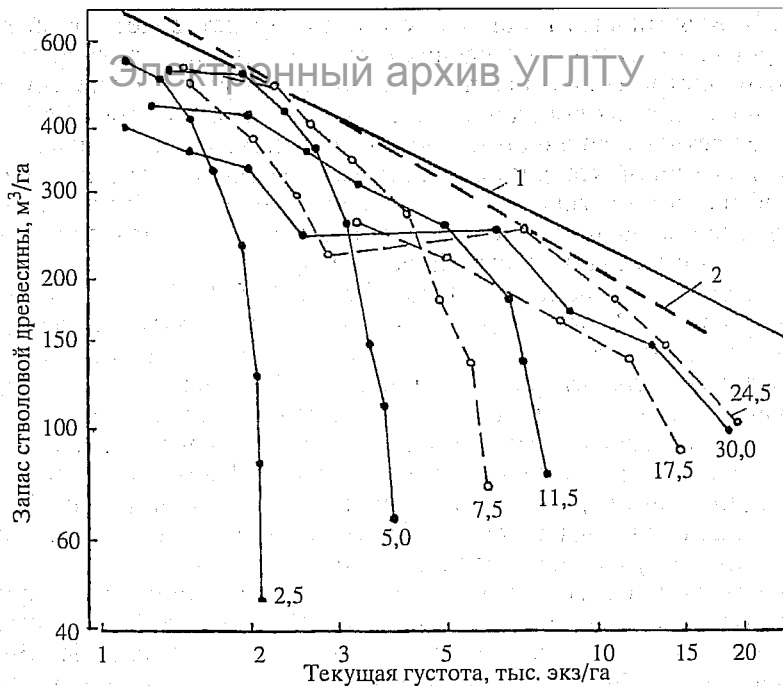


Рис. 1.66. Диаграмма запас — текущая плотность для непрореженных культур сосны разной начальной плотности (обозначена цифрами) по данным периодических перечетов. 1 — предельная теоретическая линия самоизреживания с экспонентой $-0,5$; 2 — предельная фактическая линия самоизреживания с экспонентой $-0,6$. Пояснения см. в тексте

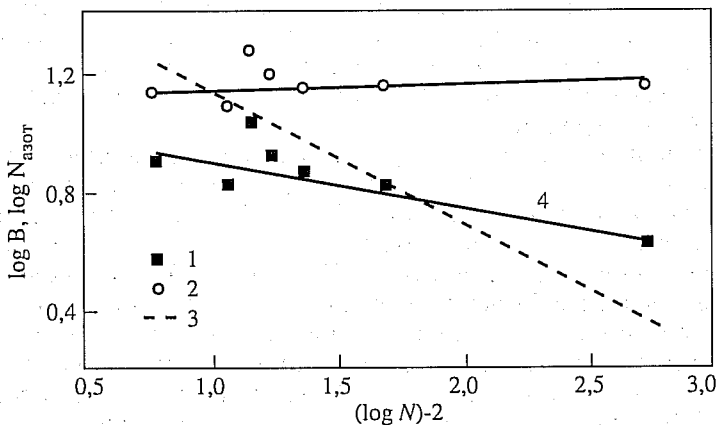


Рис. 1.67. Фактические значения надземной фитомассы (B , $\text{кг}/\text{м}^2$) лиственничников Алданского плато в связи с текущей плотностью (1) и соответствующая линейная в логарифмических координатах регрессия (4) в сравнении с теоретической предельной линией самоизреживания, построенной по условию конкуренции кроны за свет (3); содержание азота $N_{\text{азот}}$ ($\text{г}/\text{м}^2$) в надземной фитомассе (2) фактически не связано с плотностью и возрастом древостоев и является лимитирующим фактором; N — число деревьев, экз/га (Schulze et al., 1995)

Электронный архив УГНУ

радиации в суровых условиях сибирского Севера (47 %) в сравнении с сомкнутыми лиственничниками европейской России (83 %). Низкая степень перехвата солнечной энергии положено в условиях многолетней мерзлоты согласуется с его известной разреженностью, обусловленной ведущей ролью корневой конкуренции (Софронов, Волокитина, 1998). Поэтому правило $1/2$ ($3/2$), выведенное по условию световой конкуренции растений (Yoda et al., 1963; Westoby, 1984), в жестких условиях мерзлоты может не соблюдаться вследствие действия иных, чем свет, лимитирующих факторов.

Сказанное убедительно и наглядно подтверждено исследованиями, проведенными в девственных лиственничниках разного возраста (от 49 до 380 лет) Алданского плато к югу от Якутска (Schulze et al., 1995). Показано (рис. 1.67), что фактические данные надземной фитомассы связаны с текущей густотой в логарифмических координатах прямой линией, пересекающей теоретическую: в спелых и перестойных древостоях, соответственно, при низких густотах фактические значения значительно ниже теоретических, а в густых молодняках — наоборот. Поскольку содержание азота в надземной фитомассе оказалось не связанным с густотой и возрастом (см. рис. 1.67), авторы делают вывод, что в данных условиях азот является лимитирующим фактором. Поэтому спелые древостои, накопившие значительную фитомассу, реагируют на недостаток азота тем, что не достигают предельного по условию самоизреживания уровня, а молодняки, в которых при той же обеспеченности азотом фитомасса существенно меньше, не испытывают нехватки азота и “выскакивают” за предельную линию самоизреживания.

С. Виртом с соавторами (Wirth et al., 1999) очень убедительно показано соотношение фактической траектории накопления фитомассы с предельной линией самоизреживания девственных сосняков на восточной окраине Западно-Сибирской низменности, в 40 км от Енисея, в связи с периодическими низовыми пожарами (рис. 1.68). Они констатируют, что обычное объяснение низкой продуктивности сибирских бореальных лесов жестким климатом, нехваткой элементов питания и влаги, исходя из известной физиологической обусловленности продуктивности лесов абиотическими ограничениями, имеет слишком общий характер. Необходимы конкретные представления о том, каким образом климатические и эдафические ограничения и флуктуации находят выражение в таких явлениях экосистемного уровня, как структура и фитомасса существующих бореальных лесов.

После успешного лесовозобновления на той или иной площади динамика густоты фитоценоза является функцией отпада деревьев. Последний определяется либо непрерывной конкуренцией деревьев в перегущенных древостоях (самоизреживанием), либо спорадическими внешними воздействиями, такими как лесные пожары, поражение насекомыми-вредителями, ураганы. Приводя многочисленные примеры, когда угловой наклон траекторий меньше $1/2$ (Schulze et al., 1995; Kenkel et al., 1997) и когда он больше $1/2$ (Wannamaker, Carleton, 1983; Westoby, 1984; Zeide, 1985; Weller, 1987a), С. Вирт с соавторами (Wirth et al., 1999) отмечают полную неопределенность по поводу причин такого явления: или это описание действительных процессов самоизреживания, или — отражение специфичных режимов внешних воздействий.

К несколько иному, но более определенному выводу пришли Н. Н. Выгодская с соавторами (Vygodskaya et al., 1995, 2002). Самоизре-

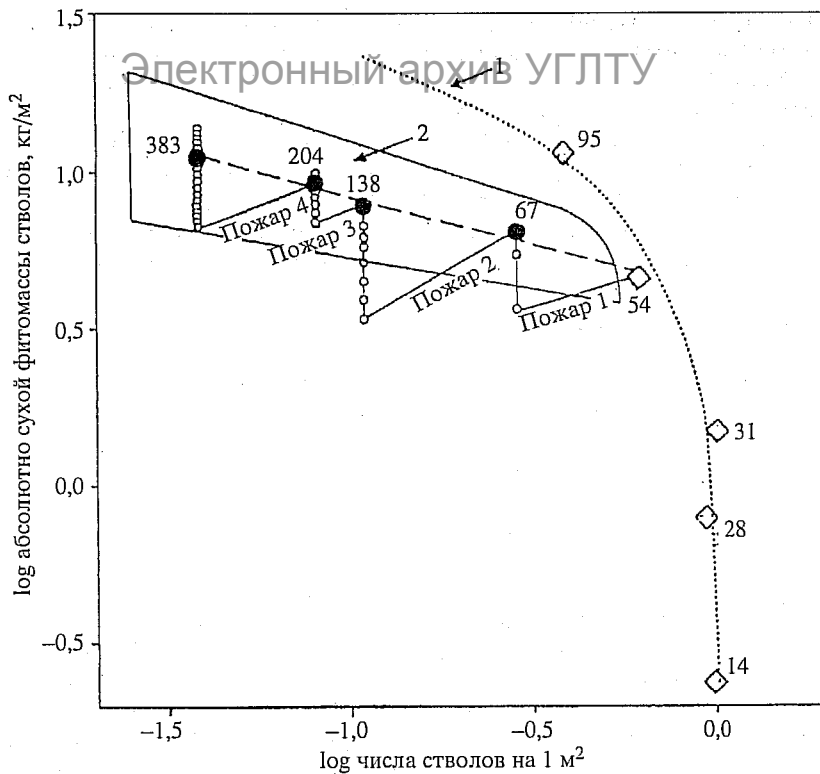


Рис. 1.68. Соотношение зоны периодических “пожарных” изреживаний (2), установленной по абсолютно сухой фитомассе стволовой древесины, и траектории самоизреживания древостоев, не пройденных пожарами, выходящей на предельную линию самоизреживания (1), в девственных сосняках Сибири. Цифры — возраст древостоев, установленный на временных пробных площадях (Wirth et al., 1999)

живание в девственных лесных экосистемах определяется сочетанием внутренних конкурентных взаимодействий и внешних климатических воздействий. Но действие названных двух факторов на ход изреживания древостоев имеет характер не альтернативы, а взаимозависимости: перегущенные древостои более восприимчивы к климатическим экстремумам, а изреживание под воздействием таких экстремумов снимает конкурентные взаимовлияния деревьев до такой степени, что процесс самоизреживания прекращается. В этом разреженном состоянии древостой выдерживает такие климатические аномалии, которые во всех иных случаях имели бы для него катастрофические последствия. Правда, сказанное находится в противоречии с принципом агрегации особей В. Олли (Allee, 1931): скопление особей усиливает конкуренцию между индивидами, но способствует выживанию группы в целом. Возможно, здесь имеет место диалектическое единство двух видов взаимодействий — в индивидуальном и групповом пространствах (Реймерс, 1994).

С. Вирт с соавторами (Wirth et al., 1999), полагая, что для объяснения низкой продуктивности фитомассы бореальных лесов необходимо оценивать совместно продуктивность, конкуренцию и режимы внешних воздейст-

вий, провели на временных пробных площадях в упомянутых выше сосняках тщательный учет последствий низовых пожаров путем регистрации ширины годичных колец и пожарных подсушин на уровне древостоев. Они установили, что древостои, не пройденные пожарами (возрасты 14, 28, 31, 54 и 95 лет), в конце концов выходят на предельную линию самоизреживания (см. рис. 1.68), а древостои, пройденные низовыми пожарами, формируют своеобразную полосу (зону) периодических “пожарных” изреживаний, расположенную существенно ниже предельной линии самоизреживания. Тем самым авторы показали, что отклонения фактической траектории древостоев вниз от предельной линии самоизреживания нельзя более рассматривать как непредсказуемый результат хаотических и случайных воздействий и что при определенных условиях эти отклонения формируют вполне предсказуемый режим, или хронологическую последовательность специфических влияний внешних факторов (Wirth et al., 1999).

Таким образом, рассмотренная дискуссия по поводу правила $1/2 (3/2)$ касается только величины и стабильности экспоненты самоизреживания, которые и изначально не абсолютизировались авторами правила $3/2$ (Yoda et al., 1963). Факт же наличия самой предельной линии самоизреживания никем и никогда не отвергался. И это — основополагающий момент в логике наших рассуждений: *есть область фактических измерений густотных траекторий (в статике) либо траекторий самоизреживания (в возрастной динамике), в которой ищут и находят ту или иную линию максимальной продуктивности* (Поляков, 1973; Рябоконь, 1979; Разин, 1979; Саликов, 1983; Zeide, 1985, 1987; Skovsgaard, 1987, и др.), *и есть теоретическая линия предельной продуктивности, к которой стремится (но не обязательно достигает!)* фитоценоз, и которая поэтому может быть надежно установлена только расчетным путем.

В свете всего изложенного выше представляется логичным задать вопрос: не продуктивнее ли было бы наряду с поисками условий существования или несуществования правила $1/2 (3/2)$ попытаться найти способ расчета действительной предельной линии самоизреживания фитоценозов по результатам фактических измерений, и почему подобные попытки никем не были предприняты, а все усилия сконцентрировались лишь вокруг правила $1/2 (3/2)$? При этом использовали только материалы периодической таксации искусственных древостоев известной начальной густоты, т. е. строили динамические траектории *продуктивность — густота* для каждого из них с выходом траектории на некоторый предел самоизреживания.

Чтобы количественные характеристики предельных состояний древостоев можно было экстраполировать на ту или иную лесопокрытую площадь, необходимо разработать метод расчета линий предельной продуктивности (по условию самоизреживания) на основе данных массовой таксации древостоев на временных пробных площадях, начальная густота которых обычно неизвестна.

Одна из немногих попыток определиться с нахождением линии самоизреживания древостоев без учета их начальной густоты принадлежит, по-видимому, П. Уэсту (West, 1985). Он исходил из того, что в статике древостоев кривая *фитомасса — густота* на каждом возрастном этапе делится на три характерных и два переходных участка (рис. 1.69), соответствующих разным ценотическим состояниям древостоев. Участок 1 характеризует со-

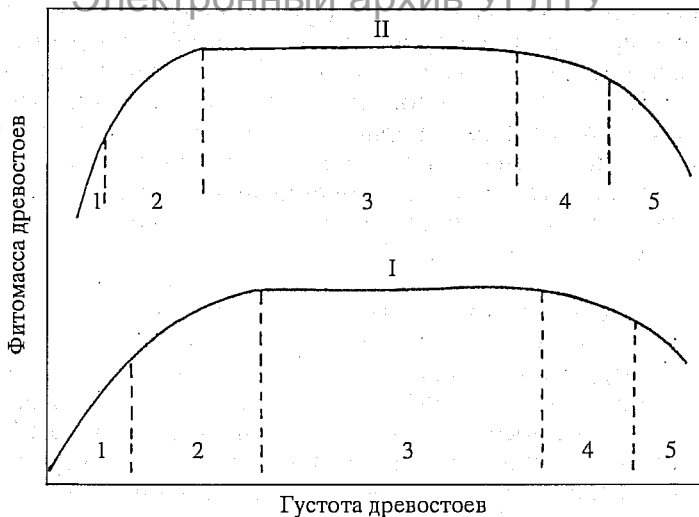


Рис. 1.69. Принципиальная схема зависимости фитомассы, отнесенной к единице площади древостоя, от густоты для исходного (I) и последующего (II) возрастных этапов (West, 1985). Пояснения см. в тексте

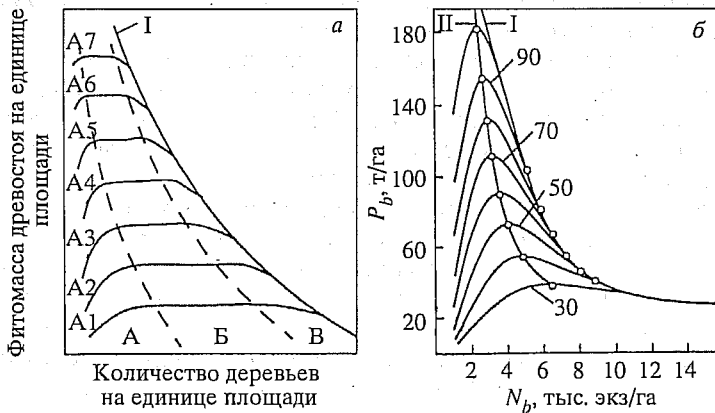
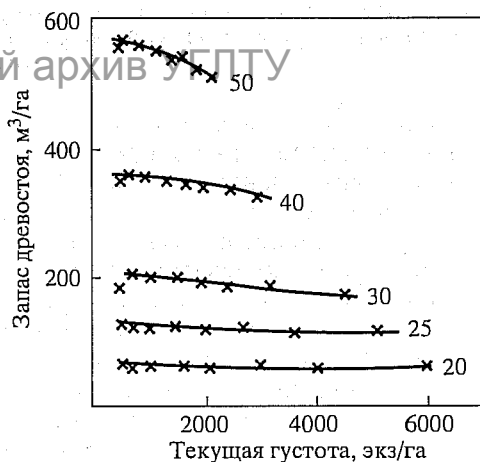


Рис. 1.70. Соотношение семейства кривых статической зависимости фитомассы древостоя от густоты и линии самоизреживания I как геометрического места точек пересечения их правых ветвей.
а — принципиальная схема для возрастов $A_1, \dots, A_7$ с выделением зон неполного использования площади роста (А), полного ее использования (Б) и самоизреживания (Б') (West, 1985); б — зависимость фитомассы стволов биогрупп сосны Казахского мелкосопочника от числа деревьев на единице площади биогруппы; II — линия оптимальной густоты (Усольцев, 1985 б, в). Цифры — возраст древостоев, лет

Рис. 1.71. Зависимость запаса стволовой древесины от текущей густоты в эксперименте на плантациях сосны смолистой разной начальной густоты. Цифры — возраст древостоев, лет (Stiell, Berry, 1973)



стояние неполного использования ресурсов местообитания, в результате чего фитомасса на единице площади древостоя увеличивается линейно по мере роста густоты; 3 — соответствует состоянию стагнации древостоя вследствие полного использования ресурсов среды и участок 5 характеризуется снижением фитомассы на единице площади из-

за интенсивного конкурентного отпада деревьев. Участки 2 и 4 выделены П. Уэстом как переходные, 2 — из состояния неполного использования ресурсов в состояние стагнации, а 4 — из состояния стагнации в область интенсивного самоизреживания вследствие перегущения.

П. Уэст показал, что с возрастом описанная кривая должна смещаться вверх в связи с ростом древостоев и влево — вследствие возрастного снижения густоты. В итоге неизбежно пересечение правых ветвей кривых. Он гипотетически представил динамику процесса в виде принципиальной теоретической диаграммы (рис. 1.70а), показывающей формирование предельной линии самоизреживания как геометрического места точек пересечения правых ветвей упомянутых статических кривых *фитомасса — густота* на каждом возрастном этапе.

П. Уэст констатировал, что его теоретическая схема не может быть пока описана аналитическим путем и подтверждена эмпирическими данными, поскольку последние обычно фрагментарны и представлены либо отдельным возрастом, либо каким-то одним участком статической колоколообразной кривой. Он иллюстрировал сказанное данными У. Стилла и А. Берри (Stiell, Berry, 1973) (рис. 1.71) для сосны смолистой, согласно которым молодняки в возрасте 20, 25 и 30 лет представляют одну только зону Б (см. рис. 1.70а), а древостой старшего возраста (40 и 50 лет) — только зону В.

Примечательно, что конфигурация гипотетической диаграммы на рис. 1.70а (West, 1985) практически совпадает с диаграммой автора (Усольцев, 1985б, в), построенной независимо от П. Уэста. Последняя представляет графическую интерпретацию двухфакторной регрессионной зависимости массы стволов сосны обыкновенной от возраста и густоты, рассчитанной по фактическим данным на уровне биогрупп (рис. 1.70б) и отличается лишь тем, что вместо *зоны Б* (рис. 1.70а) получена *линия оптимальной густоты*, соединяющая точки максимальной для каждого возраста продуктивности фитоценозов (рис. 1.70б).

Обоснованию и описанию метода расчета предельной (по условию самоизреживания) продуктивности древостоев, разработанного автором по материалам временных (т. е. с однократной таксацией) пробных площадей, посвящен следующий раздел.

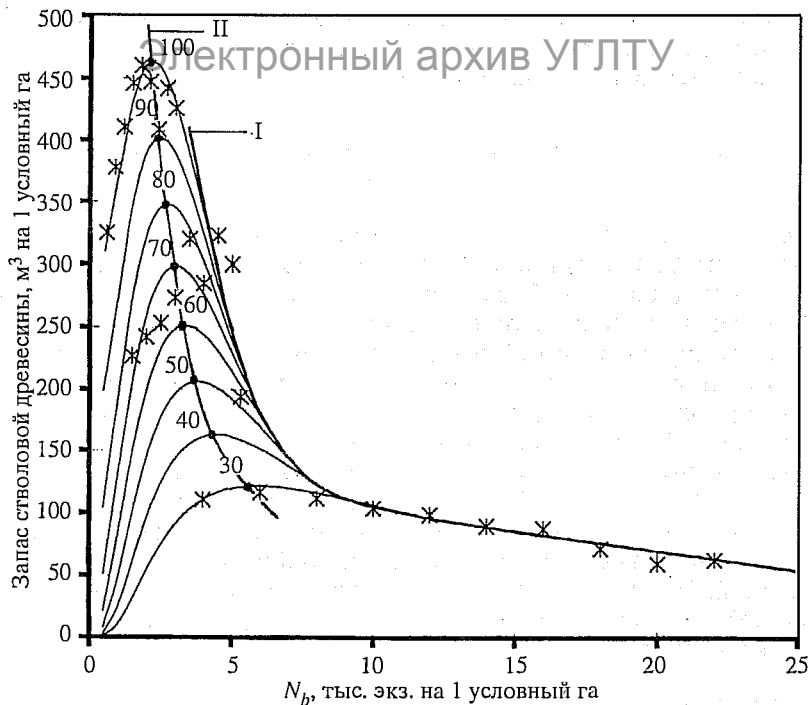


Рис. 1.72. Графическая интерпретация уравнения (1.18) в сопоставлении с фактическими данными (отмечены звездочками) В. Т. Внучкова (1976); I и II — соответственно предельная линия самоизреживания и линия максимумов. Цифры — возраст биогрупп сосны, лет

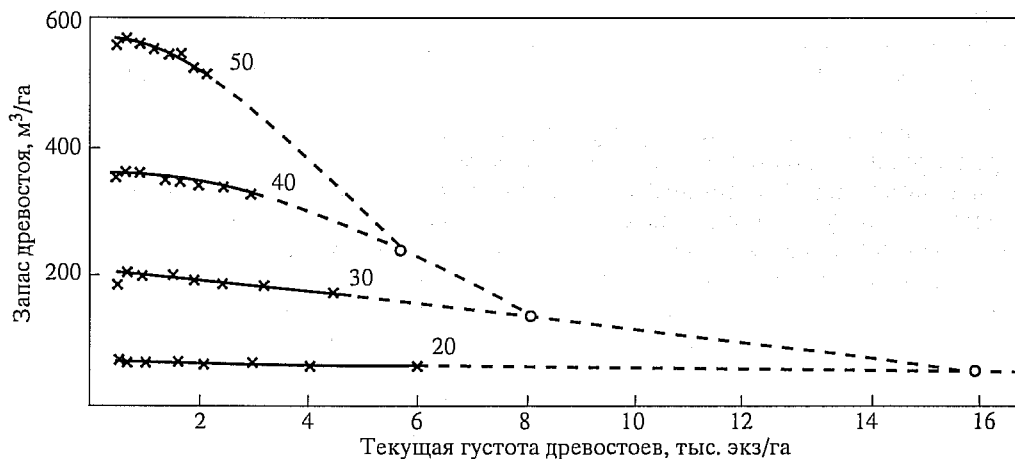


Рис. 1.73. Иллюстрация результатов экстраполяции (пунктирные линии) густотных кривых в статике за пределы экспериментальных значений запасов (Stiell, Berry, 1973) в плантациях сосны смолистой разной начальной густоты с получением линии самоизреживания как геометрического места точек пересечения правых ветвей густотных кривых. Цифры — возраст плантаций, лет

меньших относительных затратах (в основном, на картирование и обмеры деревьев) за короткое время набрать количество объектов, достаточное для получения достоверных закономерностей.

1.6.3.1. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ САМОИЗРЕЖИВАНИЯ БИОГРУПП ПО ЗАПАСУ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Одна из первых попыток связать продуктивность биогрупп с их густотой принадлежит В. Т. Внучкову (1976), получившему фактические данные запаса стволовой древесины биогрупп в сухих каменисто-лишайниковых сосняках Боровского массива Кокчетавской обл. трех возрастов — 30, 70 и 100 лет. Путем крупномасштабного картирования, визуального выделения биогрупп как совокупностей территориально сближенных деревьев и обмера последних рассчитаны запасы стволовой древесины и число деревьев на 1 условном га биогруппы. Для каждого возраста в отдельности В. Т. Внучков установил колоколообразный характер упомянутой выше зависимости.

Фактические данные В. Т. Внучкова были нанесены автором на диаграмму зависимости запасов стволов от густоты для каждого возраста (рис. 1.72). Полученная совокупность колоколообразных кривых, аналогичных таковым на рис. 1.55 и 1.69 (а не отдельные густотные тренды для каждого возраста), аппроксимирована двухфакторным регрессионным уравнением (Усольцев, 1985б, в)

$$\begin{aligned} \ln M_b = & -7,8392 + 6,5616 \ln N_b - 5,1669(\ln N_b)^2 + 2,9873 \ln A + \\ & + 1,1612 \ln A (\ln N_b)^2 - 0,2928 \ln N_b (\ln A)^2 + 1,4472 (\ln N_b)^3 - 0,3895 \ln A (\ln N_b)^3; \\ SE = & 0,120; R^2 = 0,976, \end{aligned} \quad (1.18)$$

где M_b и N_b — соответственно, запасы стволовой древесины (м^3) и число деревьев (тыс. экз.) на 1 условном га биогруппы; A — возраст древостоя, лет. Все константы уравнения здесь и далее статистически значимы на уровне 0,05.

Уравнение (1.18) протабулировано по значениям A и N_b . Построена двухфакторная поверхность продуктивности биогрупп сосны (см. рис. 1.72), которая показывает наличие линий густоты, предельной (I) (т. е. густоты, превысить которую в данном возрасте фитоценоз не может вследствие самоизреживания) и оптимальной (II) в отношении продуктивности биогрупп, а также — их соотношение. Из построенной диаграммы очевидно, что оптимальная и предельная густоты, а также соответственно максимальная и предельная продуктивности биогрупп, — это совсем не одно и то же: если густота 6,5 тыс. экз/га в возрасте 30 лет обеспечивает максимальный запас 120 $\text{м}^3/\text{га}$, то предельное значение продуктивности 200 $\text{м}^3/\text{га}$ при той же густоте оказывается далеко не оптимальным для возраста 70 лет, в котором оптимальным является уже другой, значительно более низкий уровень густоты — 3,2 тыс. экз/га с соответственно более высокой продуктивностью — 300 $\text{м}^3/\text{га}$. С увеличением густоты от оптимальной до некоторой предельной в данном возрасте запас на единице площади биогрупп снижается и стремится к соответствующему пределу, определяемому точкой пересечения с аналогичной кривой для предшествующего возраста. При

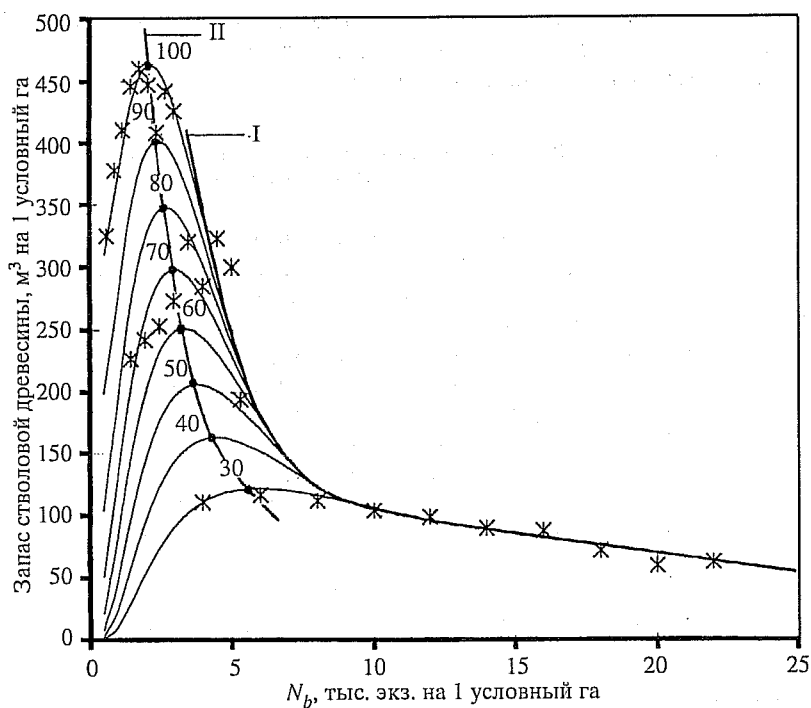


Рис. 1.72. Графическая интерпретация уравнения (1.18) в сопоставлении с фактическими данными (отмечены звездочками) В. Т. Внучкова (1976); I и II — соответственно предельная линия самоизреживания и линия максимумов. Цифры — возраст биогрупп сосны, лет

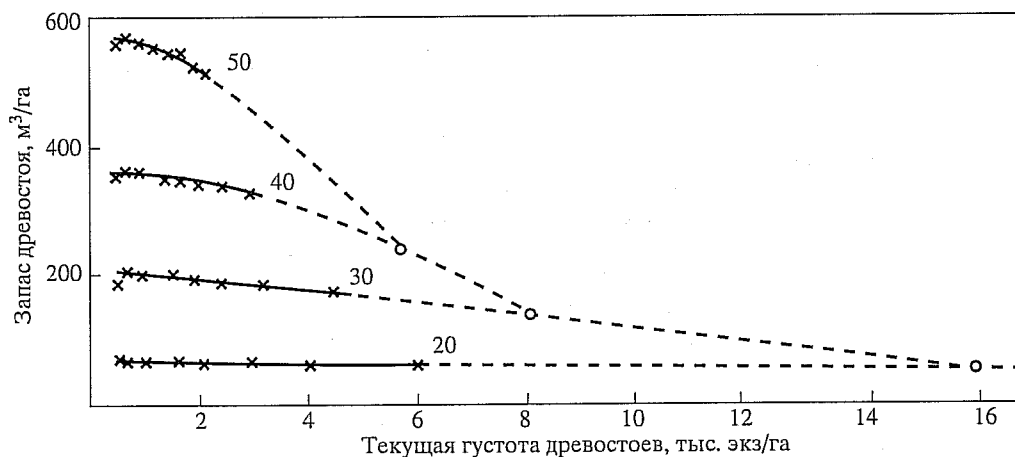


Рис. 1.73. Иллюстрация результатов экстраполяции (пунктирные линии) густотных кривых в статике за пределы экспериментальных значений запасов (Stiell, Berry, 1973) в плантациях сосны смолистой разной начальной густоты с получением линии самоизреживания как геометрического места точек пересечения правых ветвей густотных кривых. Цифры — возраст плантаций, лет

этом фактические значения запаса не всегда (например, в возрасте 100 лет на рис. 1.72) достигают упомянутого предела вследствие самоизреживания (вернее, отсутствия реальных фитоценозов на предельной линии вследствие самоизреживания).

Могут быть ситуации (рис. 1.73), когда без экстраполяции густотных кривых в статике за пределы фактических значений запаса (или одного из массообразующих показателей) древостоя в принципе невозможно получить предельную линию самоизреживания. Если бы П. Уэст (West, 1985) частично отошел от своей концепции трех характерных зон в статическом густотном эксперименте (см. рис. 1.69, 1.70а), вернее, от утверждения, что для аналитического описания его гипотетической трехзональной схемы обязательно заполнение фактическими данными всего диапазона густот (от зоны А до зоны В) во всех классах возраста, и просто экстраполировал густотные траектории У. Стилла и А. Берри (Stiell, Berry, 1973) (см. рис. 1.71) за пределы экспериментальных значений запасов (как это выполнено автором на рис. 1.73), то успешно получил бы предельную линию самоизреживания.

Описанная ситуация типична для случаев, когда при переходе от однофакторного эксперимента к многофакторному не используют одно характерное достоинство последнего, которое Г. Б. Кофман (устное сообщение) определил как “замена экстраполяции интерполяцией”. Поясним сказанное на двух идеализированных схемах (рис. 1.74 и 1.75), идеализированных в том смысле, что предполагается четкое вписывание экспериментальных значений (заполненные кружки) в линейные тренды без каких-либо отклонений, чего, строго говоря, не бывает ни в активном, ни в пассивном экспериментах.

На рис. 1.74 показано заполнение фактическими данными трех линий регрессии вида $Y = a_0 + a_1 X_1$, соответственно, для трех уровней фактора X_2 . Первая и третья линии заполнены фактическими данными на всем исследуемом диапазоне фактора X_1 (соответственно, линии 1—7 и 15—21), а средняя линия 8—14 заполнена фактическими данными лишь в центральной части, представленной отрезком 10—12. Если мы планируем однофакторный эксперимент в диапазоне фактора X_1 для упомянутого среднего уровня фактора X_2 и хотим аналитически описать его в диапазоне 8—14, а располагаем фактическими данными лишь в пределах отрезка 10—12, то подобная процедура расчета значений в точках 8, 9, 13 и 14 (пустые кружки) представляет собой экстраполяцию линии регрессии за пределы фактических данных, т. е. за пределы области применимости регрессии.

Но ситуация кардинально меняется, когда мы переходим от однофакторного к двухфакторному эксперименту. В этом случае помимо упомянутых трех линий регрессии вида $Y = a_0 + a_1 X_1$ в плоскости $Y-X_1$ имеем еще семь линий регрессии $Y = a_0 + a_1 X_2$ в плоскости $Y-X_2$, из которых три центральных (3 — 17, 4 — 18 и 5 — 19) полностью представлены фактическими данными, а четыре крайних (1 — 15, 2 — 16, 6 — 20 и 7 — 21) — лишь в начале и конце. Здесь средние точки 8, 9, 13 и 14, не подкрепленные фактическими значениями, получаем расчетом по регрессиям $Y = a_0 + a_1 X_2$, но уже путем не экстраполяции, а интерполяции, поскольку они находятся в пределах области применимости соответствующей регрессии. Итоговый результат такого двухфакторного эксперимента описывается уравнением вида $Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2$.

Несколько сложнее картина двухфакторного эксперимента (см. рис. 1.75), когда наблюдается эффект совместного действия (синергизма)

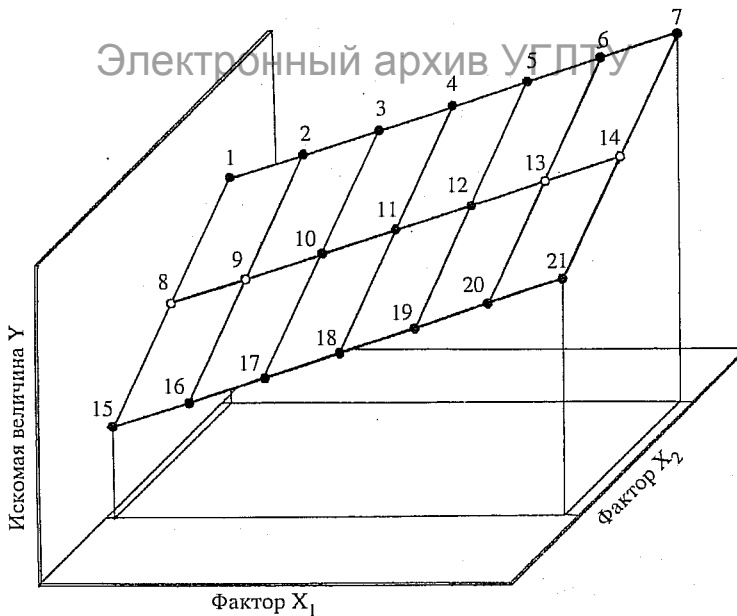


Рис. 1.74. Схема восстановления недостающих данных (пустые кружки) в двухфакторном эксперименте путем замены экстраполяцией интерполяцией при ортогональных факторах. Структура модели $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$

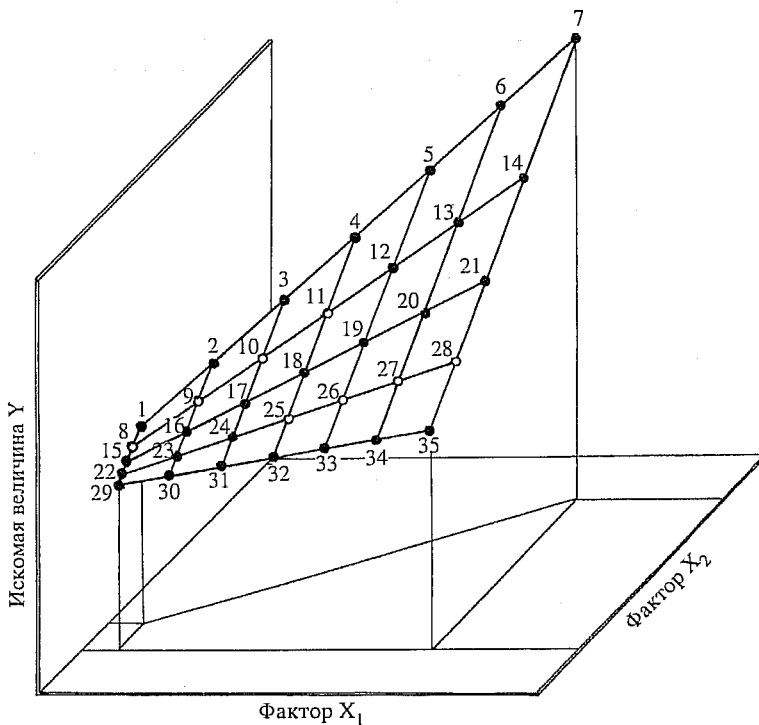


Рис. 1.75. Схема восстановления недостающих данных (пустые кружки) в двухфакторном эксперименте путем замены экстраполяцией интерполяцией при совместном действии факторов. Структура модели $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1X_2$

факторов X_1 и X_2 . Общая структура модели имеет вид $Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1X_2$. Но и в этом случае описание линий 8—14 и 22—28 однофакторными регрессиями $Y = a_0 + a_1X_1$ представляет собой экстраполяцию за пределы области их применимости (отрезки соответственно 8—11 и 25—28), а при переходе к двухфакторному эксперименту с получением регрессий вида $Y = a_0 + a_1X_2$ мы опять во всех семи трендах в плоскостях $Y-X_2$ заменяем экстраполяцию интерполяцией.

Еще сложнее ситуация при более распространенных и обычных нелинейных зависимостях (одна из которых показана на рис. 1.73), поскольку экстраполяция нелинейного тренда за пределы фактических значений более рискованна по сравнению с линейным. В данном случае на рис. 1.73 представлена зависимость продуктивности лишь от двух действующих факторов в трехмерном пространстве, которое всегда наглядно, чего нельзя сказать о четырех-пятимерном пространстве соответственно для трех-четырёх определяющих факторов. Поэтому построение многофакторных моделей в пассивном эксперименте, обычно трудно формализуемое и сопровождаемое нехваткой эмпирической информации, должно предваряться этапом качественного, или содержательного анализа (Лиёпа, 1980).

1.6.3.2. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ САМОИЗРЕЖИВАНИЯ ПО ДИАМЕТРУ И ВЫСОТЕ СРЕДНЕГО ДЕРЕВА

Для проверки и уточнения характера густотных кривых био групп и построения линии самоизреживания на более обширном экспериментальном материале, и не только по запасу, но и по легко измеряемым массообразующим показателям, автором было проведено соответствующее исследование в березняках семенного и порослевого происхождений в возрасте от 5 до 50 лет (Усольцев, 1985б, в).

Данные по порослевым березнякам получены на 21 и по семенным — на 13 пробных площадях, на которых закартировано и обмерено соответственно 5300 деревьев (360 био групп) и 3050 деревьев (280 био групп). Принцип выделения био групп показан на небольших участках березняков в возрасте 10 и 17 лет (рис. 1.76). Характеристика древостоев пробных площадей и их соответствие естественным рядам развития были показаны автором ранее (Усольцев, 1979).

Запас стволовой древесины на единице площади био группы известной густоты в данном возрасте на однородном эдафическом фоне определяется средним диаметром ствола. Последний, как и запас древесины, может быть охарактеризован некоторым рядом предельных (по условию самоизреживания) значений. Построение линии самоизреживания по этому показателю, т. е. среднему диаметру ствола, предваряется формированием матрицы его максимальных значений. Весь массив данных разбивается на блоки по классам возраста или некоторым возрастным группам, в данном случае соответственно 10, 17, 30 и 50 лет. В пределах каждой возрастной группы данные разбиваются на подблоки по грациям текущей густоты био групп, и из каждой грации густоты отбираются максимальные значения среднего диаметра ствола. На рис. 1.77А отобранные таким образом значения отмечены литерой a ; исходный массив данных, из которого они отобраны, приведен на диаграмме рис. 1.77Б.

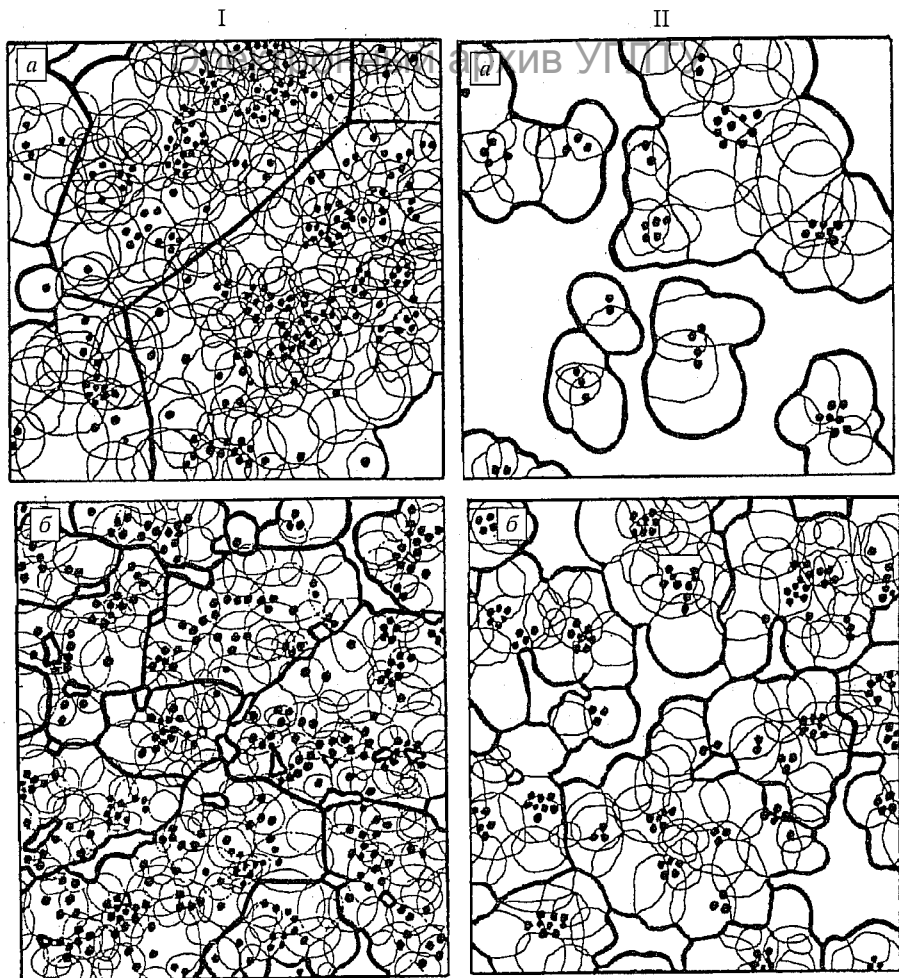


Рис. 1.76. Результаты картирования деревьев (тонкие линии) и выделения биогрупп (жирные линии) в древостоях семенного (I) и порослевого (II) происхождений в возрасте 10 лет (a) и спустя 7 лет на тех же участках (б). Масштаб участков (б) уменьшен по сравнению с участками (a) (Усольцев, 1998).

Значения максимальных диаметров нанесены на логарифмическую сетку координат. Полученная диаграмма показала (см. рис. 1.77А), что в логарифмических координатах зависимость *диаметр — густота* в данном возрасте не линейная, а представлена выпуклой нисходящей кривой. Эти кривые в возрастном ряду сдвинуты относительно друг друга таким образом, что их правые ветви при некоторой экстраполяции за пределы фактических значений пересекаются, образуя предельную линию самоизреживания (см. рис. 1.77А,Б). Эта предельная линия, огибающая “веер” возрастного ряда густотных кривых (в отличие от прямой линии с экспонентой $-3/2$ согласно правилу $3/2$), не является прямой и проходит по верхней границе поля распределения экспериментальных данных. После касания с предельной линией густотная кривая данного возраста по мере

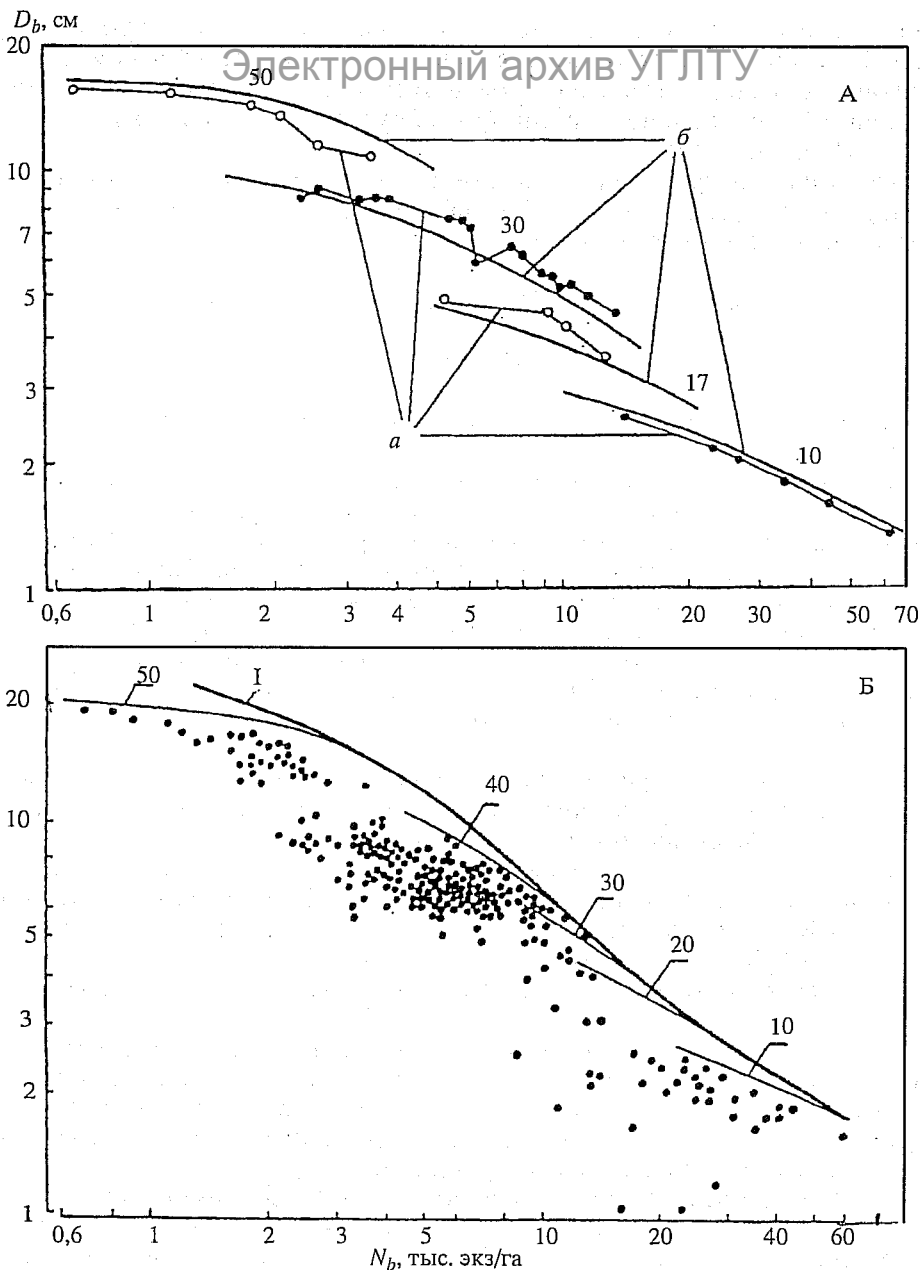


Рис. 1.77. Иллюстрация нелинейного характера траекторий $D_b^{\max} \sim N_b$ в биогруппах семенных березняков разного возраста (цифры), их возрастного сдвига в координатах D_b-N_b и, как следствие, пересечения их правых ветвей и формирования предельной линии (I). А — соотношение траекторий фактических (а) и теоретических (б) согласно модели $D_b^{\max} f(A, N_b)$; Б — положение теоретических кривых $D_b^{\max} \sim N_b$ для разных возрастов, формирующих предельную линию I, относительно поля распределения всех экспериментальных данных в координатах D_b-N_b (Усольцев, 1985б, 1998). Предельная линия $D_b^{\max} \sim N_b$ не является прямой в логарифмических координатах

дальнейшего увеличения густоты “отскакивает” согласно аппроксимирующему ее уравнению, поэтому предельная линия является *огibaющей*. В противном случае, когда весь сходящийся веер густотных траекторий “прилипает” к предельной линии, формируется не *огibaющая*, а *асимптотика* (Гуревич, 1998).

Рассчитана двухфакторная зависимость максимального диаметра среднего дерева биогрупп семенных березняков ($D_b^{\max}$, см) от текущей густоты (N_b , тыс. экз/га) и возраста (A , лет)

$$\ln D_b^{\max} = 0,6194 A^{0,403} - 0,0304 A^{0,1225 \ln A} (\ln N_b)^2;$$

$$SE = 0,047; R^2 = 0,988, \quad (1.19)$$

которая на рис. 1.77Б представлена поверхностью, или серией выпуклых кривых.

Аналогичная картина густотных кривых и их соотношения с предельной линией самоизреживания позднее была установлена при переводе нашего анализа с уровня биогрупп на уровень всего древостоя (рис. 1.78А,Б). Диаграммы построены по фактическим данным 63 и 32 пробных площадей, заложенных соответственно в березняках и осинниках Урало-Казахстанского региона (Усольцев, 1998). Видно, что густотные траектории $D^{\max} \sim N$ в березняках и осинниках существенно различаются по степени кривизны, а предельные линии $D^{\max} \sim N$ в данном случае близки к прямым в логарифмических координатах, но строго прямыми фактически не являются.

Общая схема и конфигурация густотных кривых и их соотношение с предельной линией сохраняются при переходе от построения в координатах $D^{\max} \sim N$ к подобному построению в координатах $H^{\max} \sim N$. В этом случае мы можем наблюдать такую же совокупность густотных кривых и близкий к линейному (но не линейный) характер предельной линии самоизреживания (рис. 1.79А,Б). Графическая интерпретация полученной двухфакторной модели $H^{\max} = f(A, N)$, ее результирующая *огibaющая* (I) и положение относительно поля распределения всего массива фактических данных показаны на рис. 1.79Б.

Упомянутая идентичность диаграмм в координатах $D^{\max} \sim N$ и $H^{\max} \sim N$ по существу была предопределена наличием онтогенетической аллометрии (в первом приближении) во взаимосвязях *объем ствола* $\sim$ *диаметр* и *объем ствола* $\sim$ *высота дерева*, описываемых уравнениями, аллометрические константы которых близки между собой (рис. 1.80).

Вернемся к представлению о *полосе самоизреживания*, получаемой как в ходе периодических замеров на постоянных пробных площадях разной начальной густоты (см. рис. 1.58), так и по данным одноразовых замеров на временных пробных площадях (см. рис. 1.70а), и обсудим ее соотношение с понятиями *траектория самоизреживания* (см. рис. 1.59, 1.60, 1.62—1.64, 1.66), *густотная траектория* (см. рис. 1.55, 1.56, 1.57а), пунктирные линии на рис. 1.59, а также линии, формирующие *огibaющую* на рис. 1.72, 1.73, 1.77, 1.78, 1.79) и *предельная линия самоизреживания* (см. рис. 1.72, 1.77Б, 1.79Б). Известная путаница в перечисленные понятия и интерпретацию правила 3/2 была привнесена исследователями в

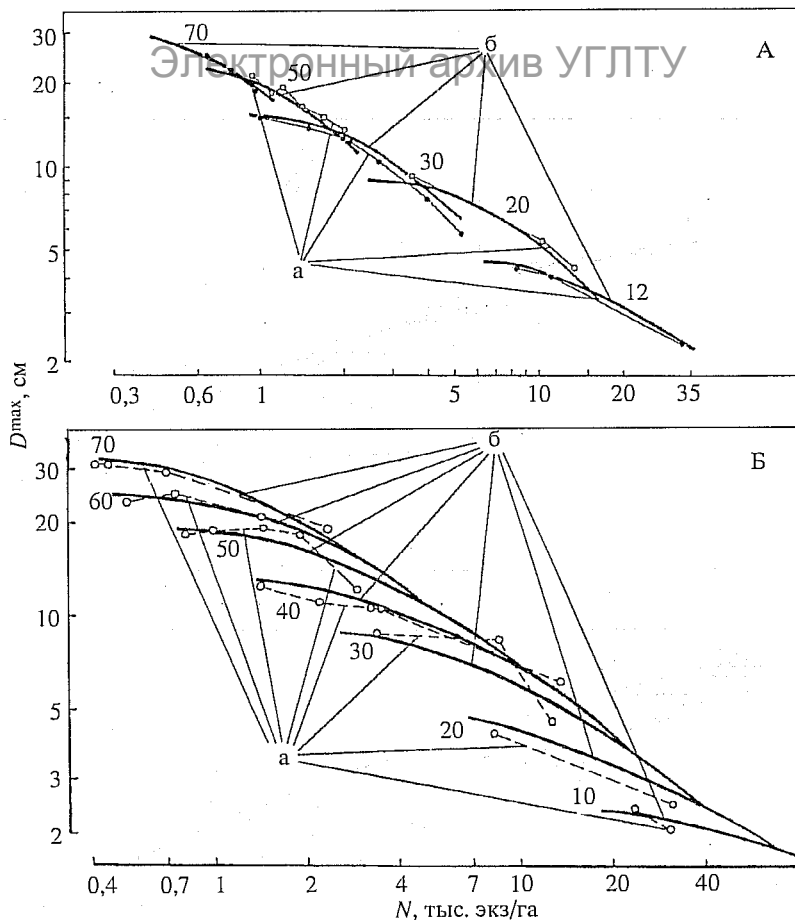


Рис. 1.78. Иллюстрация нелинейного характера траекторий $D^{\max} \sim N$ в древостоях разного возраста (цифры) Урало-Казахстанского региона, их возрастного сдвига в координатах $D^{\max} \sim N$ и, как следствие, пересечения их правых ветвей.
 А — соотношение траекторий — фактических (а) и теоретических (б) согласно модели $D^{\max} = f(A, N)$ в березовых древостоях; Б — то же, в осиновых древостоях (Усольцев, 1998)

связи с тем, что одни, например Дж. Уайт (White, 1981), идентифицировали это правило с траекторией, а другие — с предельной линией.

Условимся включать в понятие *траектория самоизреживания* только линию возрастного изменения линейного или объемного показателя продуктивности фитоценоза в координатах *продуктивность ~ текущая густота*, полученную в результате периодических пересчетов на постоянной пробной площади. В понятие *густотная траектория* включим линию изменения продуктивности в координатах *продуктивность ~ текущая густота*, полученную в результате “густотного” эксперимента на временных или постоянных пробных площадях при фиксированном возрасте. Очевидно, что предельные состояния фитоценозов как по траектории самоизреживания, так и по густотной траектории, описываются некоторой предельной линией самоизреживания (см., например, рис. 1.59). Но

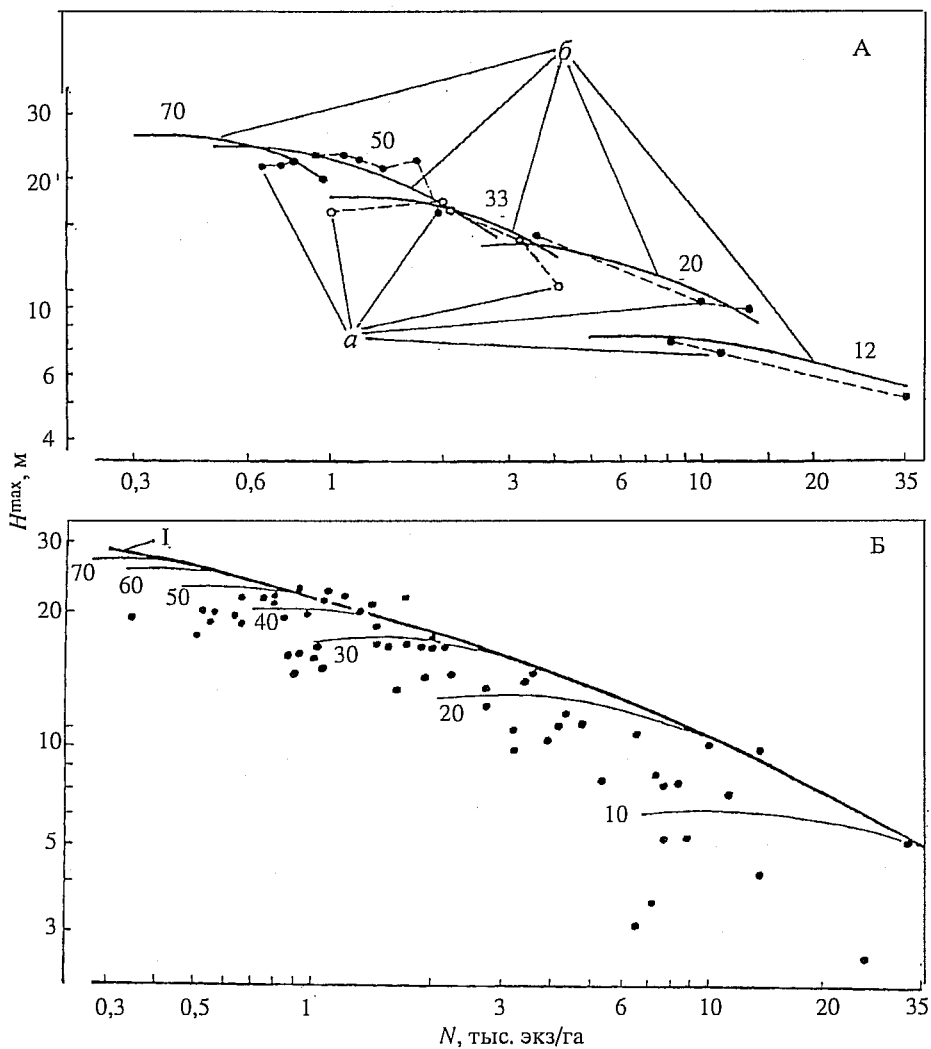
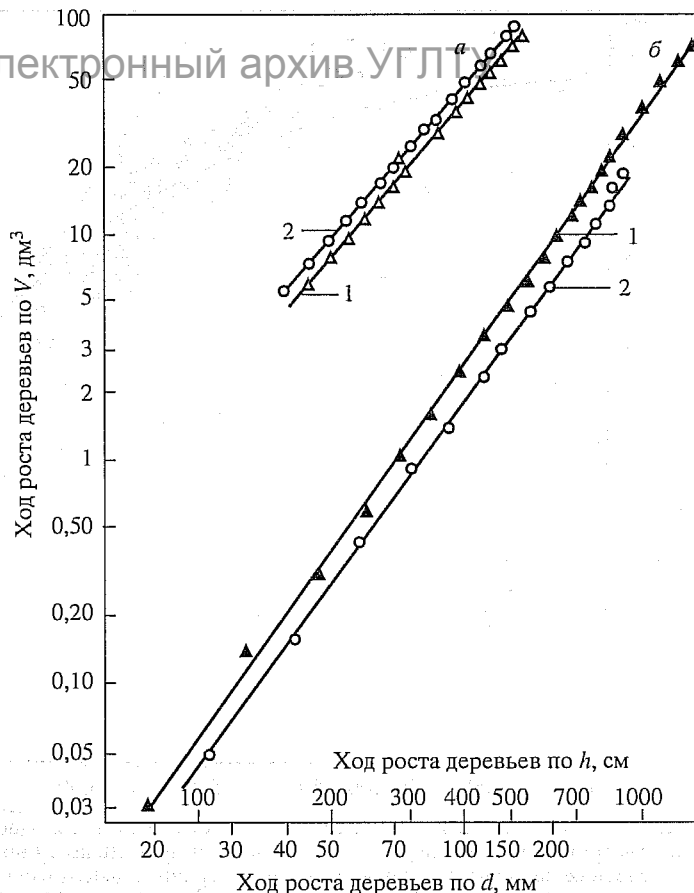


Рис. 1.79. Иллюстрация нелинейного характера траекторий $H^{\max} \sim N$ в березовых древостоях Урало-Казахстанского региона разного возраста (цифры), их возрастного сдвига в координатах $H^{\max} \sim N$ и, как следствие, пересечения их правых ветвей. А — соотношение траекторий фактических (а) и теоретических (б) согласно модели $H^{\max} = f(A, N)$; Б — положение теоретических кривых $H^{\max} = f(N)$ для разных возрастов, формирующих предельную линию I, относительно поля распределения всех экспериментальных данных в координатах $H^{\max} \sim N$ (Усольцев, 1998)

Рис. 1.80. Усредненные зависимости объема ствола (V) березы порослевого (1) и семенного (2) происхождения от диаметра на высоте груди d (а) и высоты дерева h (б) по результатам анализа хода роста 22 (в порослевых березняках) и 10 (в семенных) модельных деревьев соответственно на 10 и 3 временных пробных площадях в возрастном диапазоне от 5 до 30 лет. Зависимости описаны уравнениями онтогенетической аллометрии: для порослевых деревьев $V = 7,923 \times 10^{-4} d^{2,37}$ и $V = 1,127 \times 10^{-7} h^{2,85}$; для семенных $V = 6,251 \times 10^{-4} d^{2,45}$ и $V = 1,983 \times 10^{-7} h^{2,68}$ (Усольцев, 1978)



имеем ли мы в данном случае действительно *линию* или вследствие стохастической природы самоизреживания это будет некий диапазон, или *полоса*?

Судя по рис. 1.77, имеет место действительно линия: даже если при аппроксимации густотных кривых некоторой теоретической линией $D_b^{\max} \sim N_b$ часть экспериментальных точек “выскакивает” за нее (как следствие применения метода наименьших квадратов) (см. рис. 1.77А), то за предельную линию самоизреживания I на рис. 1.77Б эти точки не выходят. Судя же по рис. 1.79, имеет место предельная полоса, поскольку некоторые экспериментальные точки “выскакивают” как за аппроксимирующую густотную траекторию (см. рис. 1.79А), так и за предельную линию самоизреживания I (см. рис. 1.79Б). В общем случае выход экспериментальных точек за теоретическую густотную траекторию может сопровождаться “выскакиванием” также за предельную линию самоизреживания (рис. 1.81А), а может и не сопровождаться (рис. 1.81Б) (Sterba, 1987).

В предельном ценотическом состоянии из-за чрезмерного перегущения фитоценозы не могут находиться в устойчивом состоянии. При благоприятных условиях роста их траектории могут выскакивать за линию самоизреживания, как это показано на рис. 1.72 и 1.79. Но рано или поздно срабатывает механизм саморегуляции, спровоцированный любым экстремальным внешним воздействием (засухой, обильным снегопадом, ураганом, низовым

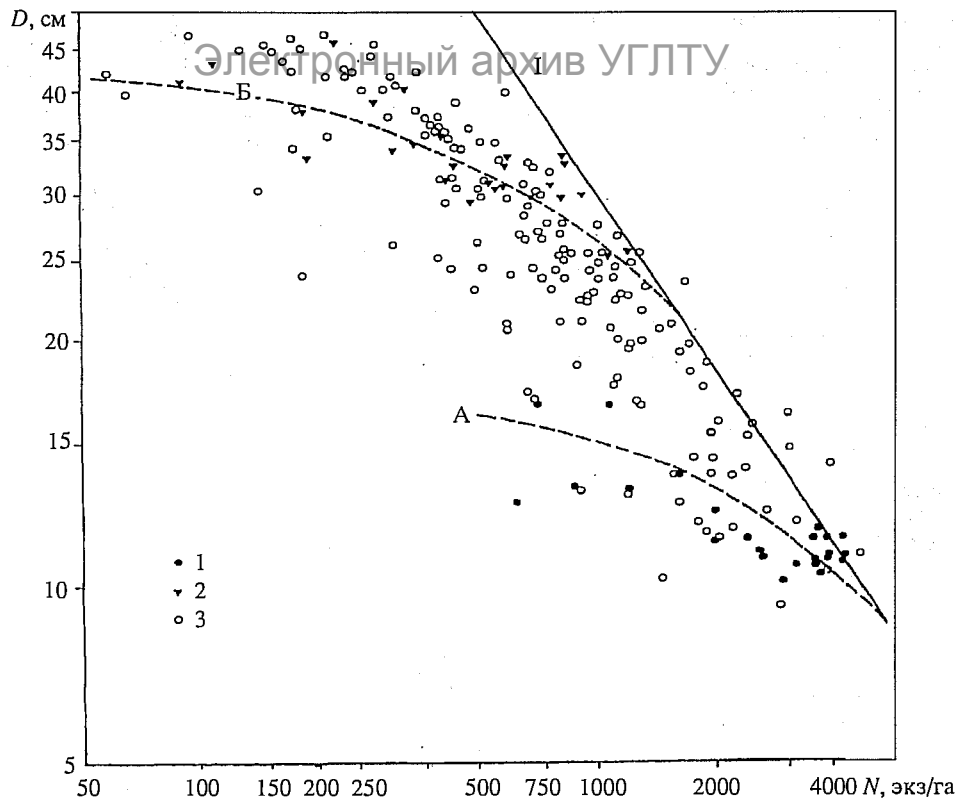


Рис. 1.81. Зависимость диаметра среднего дерева от густоты одновозрастных чистых ельников Австрийской Богемии. I — теоретическая предельная линия самоизреживания; A и Б — расчетные зависимости для древостоев с верхними высотами соответственно 15 и 30 м. 1 — пробные площади с верхними высотами от 14 до 16 м; 2 — то же, от 29 до 31 м; 3 — остальные пробные площади (Sterba, 1987)

пожаром, насекомыми-вредителями и т. п.). В результате резко сокращается густота фитоценоза, и “выскакивающие” точки смещаются влево, обратно за предельную линию самоизреживания.

Подтверждением изложенных соображений служат данные периодических переучетов на постоянных пробных площадях (см. рис. 1.18 и 1.66). Наличие гипотетической предельной полосы (а не линии) самоизреживания определяется случайным характером экстремальных воздействий на фитоценоз в состоянии перегущения: при раннем воздействии траектория “отскакивает”, не достигнув предельной линии (см. рис. 1.66), а при позднем — “выскакивает” за нее (см. рис. 1.72), находясь в то же время в рамках предельной полосы самоизреживания. Подобные “выскакивания” за предельную линию самоизреживания, описываемую уравнением

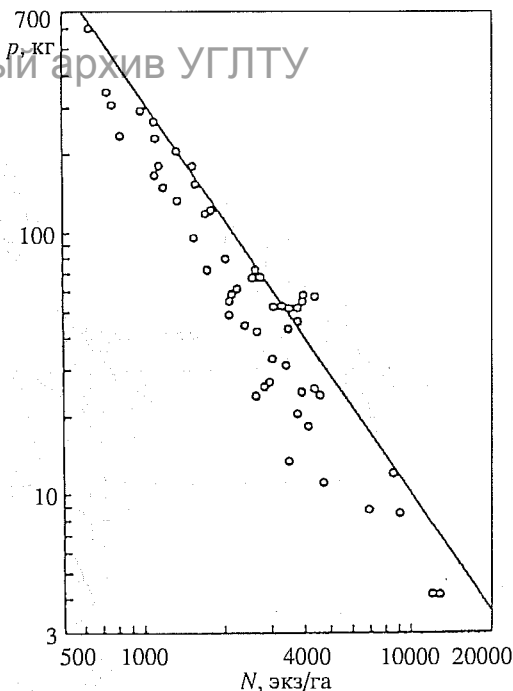
$$p = 10510 N^{-3/2}, \quad (1.20)$$

где p — сухая масса среднего дерева, кг; N — текущая густота деревьев, тыс. экз/га, демонстрируют и японские исследователи (Yamakura, 1985) на

Рис. 1.82. Положение линии самоизреживания относительно всей совокупности фактических данных (Yamakura, 1985)

примере совокупности древостоев криптомерии японской разного возраста и густоты (рис. 1.82).

Поэтому в отличие от *полосы, или зоны самоизреживания*, включающей в себя диапазон от смыкания крон и начала конкурентных отношений до некоторого предельного состояния, интервал варьирования предельной линии самоизреживания, обусловленный случайным характером влияния внешних (климатических, эдафических) факторов на фитоценоз, можно определить как *предельную полосу самоизреживания*. Рассмотрим один из примеров формирования последней.



1.6.3.3. ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ И ПРЕДЕЛЬНОЙ ПОЛОС САМОИЗРЕЖИВАНИЯ ПО ЗАПАСУ ДРЕВЕСИНЫ НА ОСНОВЕ РЕКУРСИВНОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛЕЙ

Итак, продуктивность биогрупп в статике описывается колоколообразной кривой. Выше упоминалась ее интерпретация В. В. Кузьмичевым (1985), согласно которой увеличение числа стволов в статике (первый тренд) сопровождается уменьшением объема среднего дерева (второй тренд). С учетом специфики последующего изложения автором дается иная схема разложения колоколообразной кривой продуктивности биогрупп (Усольцев, 1985б, в) на составляющие монотонные. Это не самостоятельные противоположные тренды, а зависимости, связанные рекурсивным соотношением: 1) снижение среднего диаметра при увеличении густоты и 2) увеличение продуктивности на единице площади с ростом густоты биогрупп при фиксированном среднем диаметре. На рис. 1.72 для каждого возраста представлен результирующий эффект названных двух рекурсивных взаимосвязей, а характер каждой из них в отдельности остался скрытым.

Уравнение (1.19) совмещено по рекурсивному принципу с трехфакторным уравнением, описывающим изменение массы стволов в биогруппах (P_b) в зависимости от возраста (A), густоты (N_b , тыс. экз/га) и диаметра среднего дерева биогруппы (D_b , см) и рассчитанным по всему массиву из 280 фактических данных (Усольцев, 1985 б, в):

$$P_b = f(A, N_b, D_b); SE = 0,076; R^2 = 0,970. \quad (1.21)$$

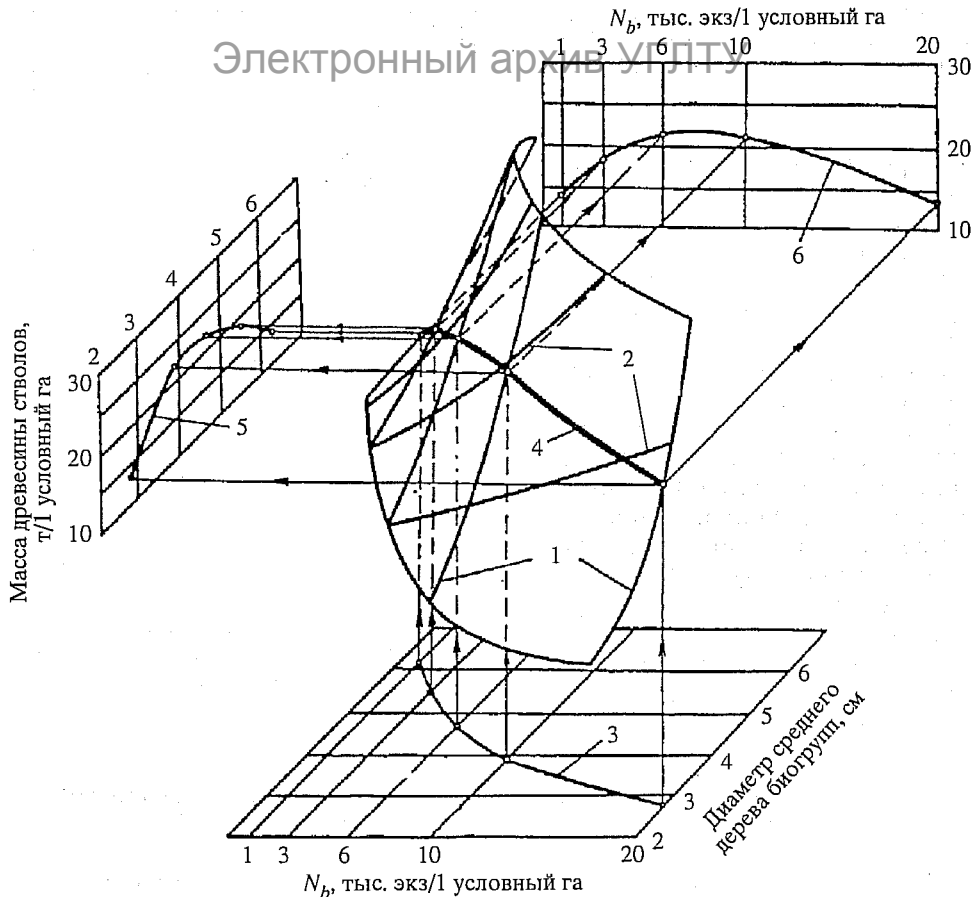


Рис. 1.83. Геометрическая интерпретация рекурсивной системы уравнений (1.19) и (1.21) для семенных березняков в возрасте 20 лет.

Линии равной густоты (1) и равного диаметра среднего дерева (2); 3 — кривая, описываемая уравнением (1.19); 4 — проекция линии 3 на поверхность, описываемую уравнением (1.21) при заданном $A = 20$ лет; 5 и 6 — проекции линии 4 соответственно на боковую (зависимость $P_b \sim D_b$) и фронтальную (зависимость $P_b \sim N_b$) плоскости (Усольцев, 1985б, в)

Обращает на себя внимание довольно высокая детерминированность зависимостей (1.19) и (1.21), близких к функциональным, что можно объяснить относительно равномерной пространственной структурой биогрупп. Геометрическая интерпретация рекурсивной системы уравнений (1.19) и (1.21) (рис. 1.83) показывает, каким образом монотонная зависимость (1.19) для возраста $A = 20$ лет (представленная на горизонтальной плоскости в обычных координатах не выпуклой, как на рис. 1.77, а вогнутой кривой) и монотонная поверхность, построенная по уравнению (1.21), будучи рекурсивно совмещенными при заданном возрасте, дают в итоге колоколообразные зависимости $P_b \sim N_b$ (фронтальная плоскость) и $P_b \sim D_b$ (боковая плоскость).

Разложение колоколообразной густотной кривой продуктивности в статике на составляющие рекурсивные монотонные зависимости

оправдано по крайней мере по двум соображениям: а) упомянутая частичная экстраполяция правых ветвей монотонных кривых за пределы фактических значений менее рискованна по сравнению с кривыми более сложной конфигурации; б) рекурсивная система регрессий с ее “рабочим принципом”: “Что будет, если...?” позволяет устанавливать не линии оптимальных и предельных густот (см. рис. 1.70б), а полосы, или зоны, как будет показано ниже.

Несмотря на подбор березняков одного естественного ряда, эдафические ценотические локальные условия биогрупп далеко не однородны, что отражено в изменчивости среднего диаметра стволов в биогруппах данного возраста и данной густоты. Поэтому выделены минимальный, средний и максимальный диаметры среднего дерева (соответственно $D_b^{\min}$, D_b^m и $D_b^{\max}$), и каждый аппроксимирован по фактическим значениям возраста и густоты. Полученная в итоге рекурсивная система уравнений

$$I \begin{cases} D_b^{\min} = f(A, N_b) \\ D_b^m = f(A, N_b) \\ D_b^{\max} = f(A, N_b) \end{cases} \quad (1.22)$$

$$\downarrow \\ II \quad P_b = f(A, N_b, D_b)$$

и результаты ее табулирования в последовательности, показанной стрелкой, дали возможность установить не *линию*, а *полосу (зону) оптимума* (рис. 1.84), которая соответствует зоне полного использования площади роста на рис. 1.70а. Аналогичным образом выявляется *предельная полоса самоизреживания*, определяемая варьированием диаметра ствола среднего дерева биогрупп при фиксированных возрасте и густоте (рис. 1.85).

Как уже отмечалось, продуктивность единицы площади биогруппы известной густоты в данном возрасте на стабильном эдафическом фоне определяется лишь диаметром ствола среднего дерева. Но поскольку абсолютная однородность эдафических условий даже в пределах таксационного выдела обычно не обеспечивается, то был предложен более детальный вариант расчета линии продуктивности, предельной по условию самоизреживания. В этом случае учитывается варьирование высоты среднего дерева при фиксированных возрасте, густоте и диаметре среднего дерева.

Для получения исходных данных к подобному расчету все фактические данные высот среднего дерева биогрупп распределены в трехходовую (по возрасту A , густоте N_b и диаметру среднего дерева D_b) матрицу. Из каждой ее ячейки отобраны максимальные значения средней высоты $H_b^{\max}$ (м), аппроксимированные уравнением (Усольцев В., Усольцев А., 1996; Усольцев, 1998):

$$H_b^{\max} = f(A, N_b, D_b); R^2 = 0,974. \quad (1.23)$$

Предельные траектории изменения $H_b^{\max}$ по возрасту и густоте биогрупп рассчитаны подстановкой уравнения (1.19) в уравнение (1.23), а геометрическая интерпретация системы (1.19)→(1.23) представлена на рис. 1.86.

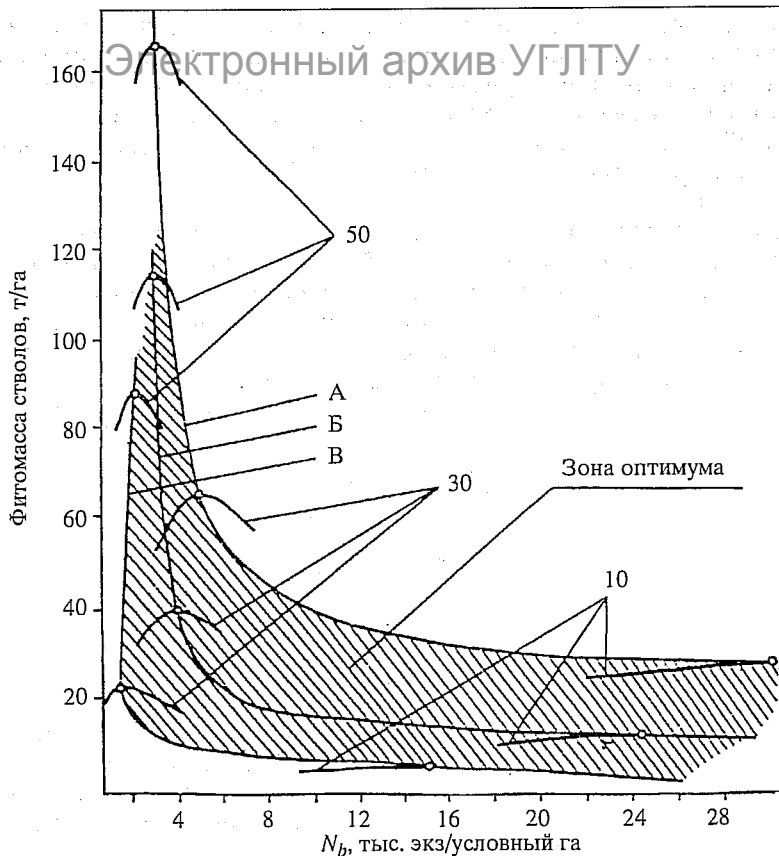


Рис. 1.84. Формирование полосы (зоны) оптимума по фитомассе стволов, определяемой варьированием диаметра ствола среднего дерева биогрупп в березняках семенного происхождения I класса бонитета различного возраста (цифры) в зависимости от плотности биогрупп; А, Б и В — линии оптимальной плотности, соответственно, при максимальном, среднем и минимальном диаметрах среднего дерева в биогруппах (Усольцев, 1988)

Запас стволовой древесины биогрупп M_b (м³/га) рассчитан по всей совокупности фактических данных согласно уравнению (Усольцев В., Усольцев А., 1996; Усольцев, 1998)

$$M_b = f(A, N_b, D_b, H_b); R^2 = 0,972. \quad (1.24)$$

Положение густотных траекторий для M_b и их предельной линии относительно всех фактических данных запаса показано на рис. 1.87. Эти траектории получены путем последовательного табулирования уравнений (1.19), (1.23) и (1.24), представленных рекурсивной системой

$$\begin{aligned} D_b^{\max} &= f(A, N_b) \\ &\downarrow \\ H_b^{\max} &= f(A, N_b, D_b) \\ &\downarrow \\ M_b &= f(A, N_b, D_b, H_b). \end{aligned} \quad (1.25)$$

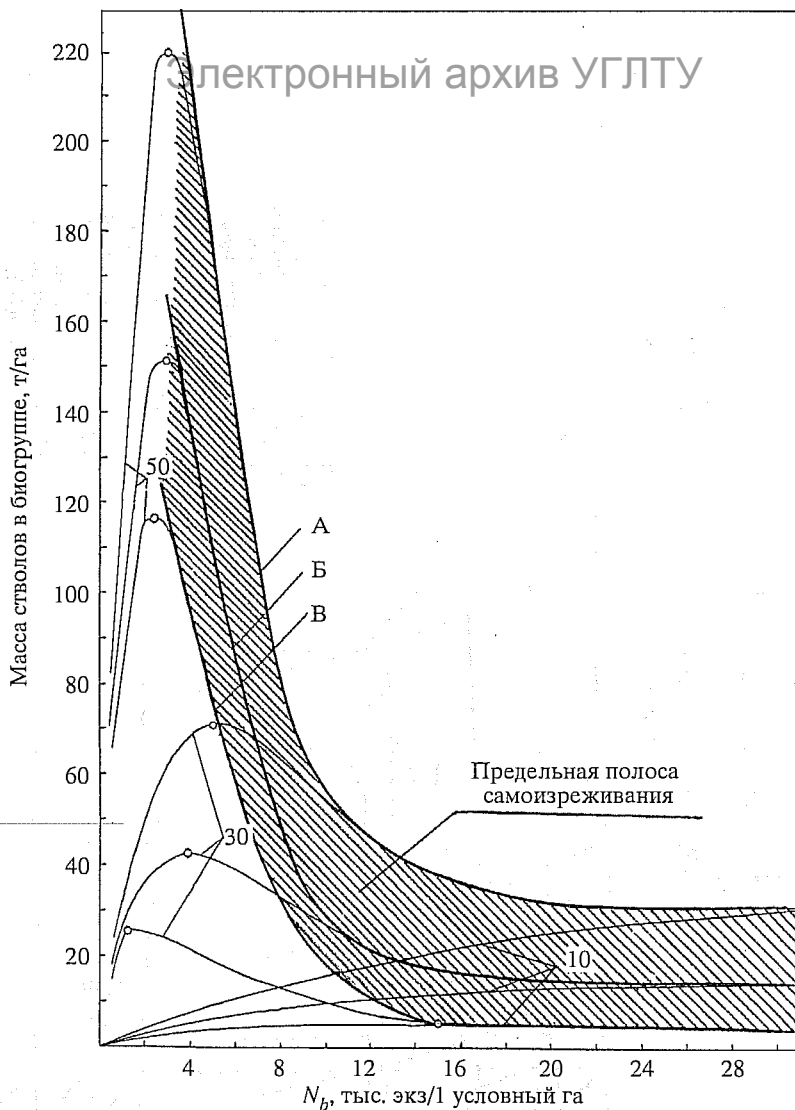


Рис. 1.85. Формирование предельной полосы (зоны) самоизреживания по фитомассе стволов, определяемой варьированием диаметра ствола среднего дерева биогрупп в березняках I класса бонитета различного возраста (цифры) в зависимости от плотности биогрупп; А, Б и В — предельные линии самоизреживания соответственно при максимальном, среднем и минимальном диаметрах среднего дерева в биогруппах (Усольцев, 1985в)

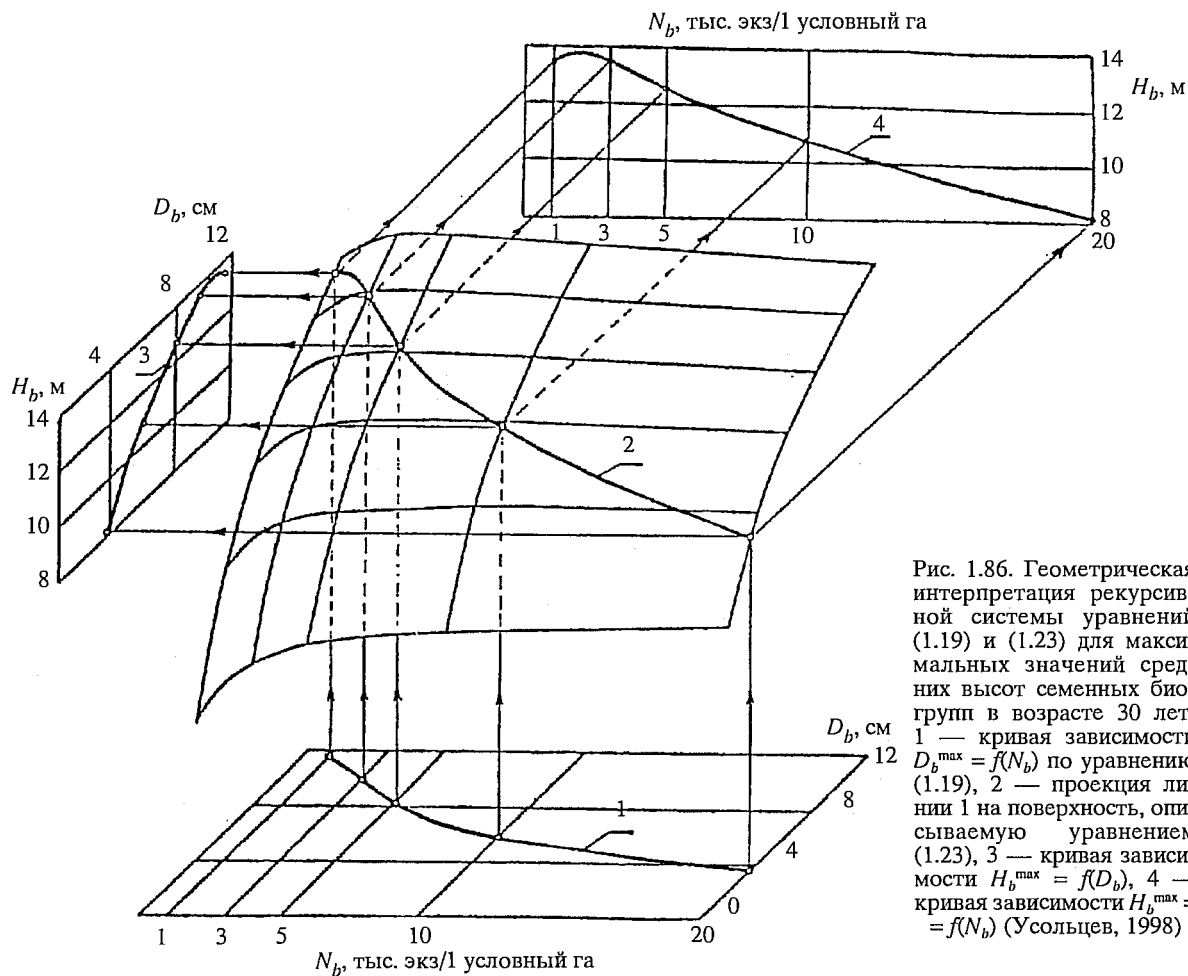


Рис. 1.86. Геометрическая интерпретация рекурсивной системы уравнений (1.19) и (1.23) для максимальных значений средних высот семенных биогрупп в возрасте 30 лет; 1 — кривая зависимости $D_b^{\max} = f(N_b)$ по уравнению (1.19), 2 — проекция линии 1 на поверхность, описываемую уравнением (1.23), 3 — кривая зависимости $H_b^{\max} = f(D_b)$, 4 — кривая зависимости $H_b^{\max} = f(N_b)$ (Усольцев, 1998)

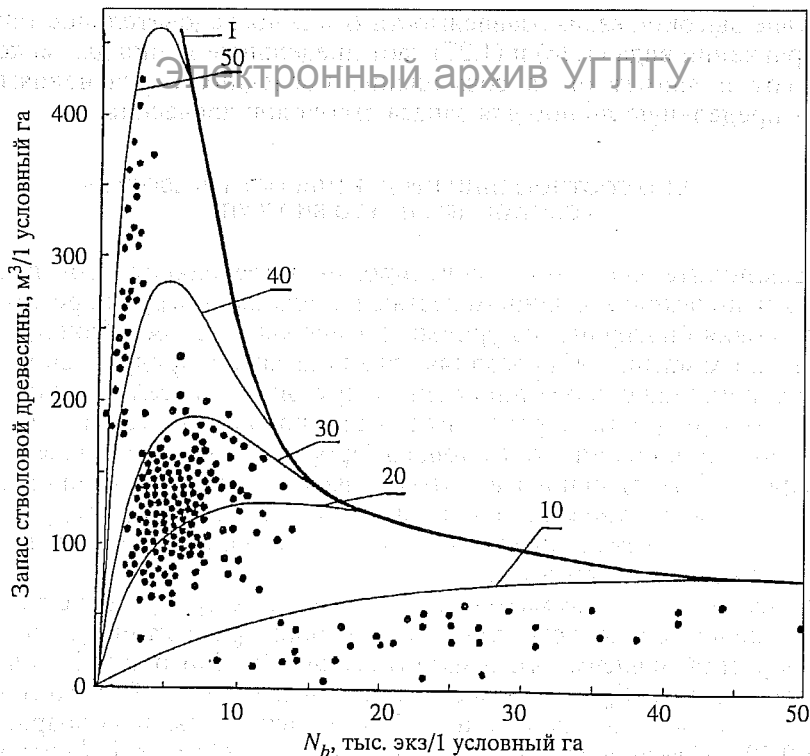


Рис. 1.87. Колоколообразные густотные кривые запасов стволовой древесины в семенных биогруппах для разных возрастов (цифры), полученные последовательным табулированием рекурсивной системы уравнений (1.25) по задаваемым значениям возраста и густоты; I — предельная линия самоизреживания

В действительности оказалось, что дополнительная процедура отбора максимальных значений высоты биогрупп из упомянутых трехходовых матриц в целях расчета промежуточного уравнения (1.23) практически не привела к какому-либо существенному сдвигу результирующей предельной линии, что свидетельствует о достаточно тесном характере взаимосвязей как $H_b \sim D_b$ в целом, так и $H_b^{\max} \sim D_b^{\max}$ в частности. Поэтому при больших массивах фактических данных и неформализованной достаточно трудоемкой процедуре отбора максимальных значений средних диаметров и высот, процесс расчета и построения предельной линии продуктивности, как на уровне биогрупп, так и на уровне древостоев, можно упростить. Поскольку высота среднего дерева, а не его диаметр, определяет в первую очередь продуктивность местообитания, можно ограничиться расчетом уравнения только для максимальных высот (см. рис. 1.79)

$$H^{\max} = f(A, N), \quad (1.26)$$

а промежуточное уравнение в системе вида (1.25) (в этом случае для D , а не для $H^{\max}$) рассчитывается по всему массиву фактических данных:

$$D = f(A, N, H). \quad (1.27)$$

Вследствие высокой взаимозависимости H и D последовательное табулирование уравнений вида (1.26) и (1.27) дает предельные линии для максимальных высот и диаметров, а совмещение последних с уравнениями вида (1.24) — предельную линию для запаса стволовой древесины.

1.6.3.4. О СООТНОШЕНИИ ПРОДУКТИВНОСТИ ДРЕВОСТОЯ И СОСТАВЛЯЮЩИХ ЕГО БИОГРУПП

На заключительном этапе моделирования предельной продуктивности березняков по исходным данным составляющих их биогрупп предложен переход с уровня биогруппы на уровень древостоя в целом (Усольцев, 1987). Е. Ассманн (Assmann, 1961) различал два показателя продуктивности: один относится к площади проекции кроны, а другой — ко всей площади под деревом (площадь роста дерева), включая площадь прогалин. Последний меньше по величине, так как площадь проекции кроны меньше площади роста дерева. Е. Ассман показал, что при известном значении продуктивности всех деревьев, отнесенной к площади проекции крон, продуктивность древостоя может быть найдена умножением названной величины на показатель сомкнутости полога $C_{\text{пл}}$.

В нашем примере рассматриваются два уровня продуктивности — биогруппы и древостоя, поэтому для каждого уровня рассчитано уравнение колоколообразной зависимости сомкнутости полога биогрупп ($C_{\text{пб}}$) и полога древостоя в целом ($C_{\text{пл}}$) от возраста (Усольцев, 1985а,б). В порослевых березняках с увеличением возраста от 5 до 50 лет $C_{\text{пл}}$ сначала возрастает от 0,38 до 0,79 (30 лет), а затем снижается до 0,71, а $C_{\text{пб}}$ в том же возрастном диапазоне снижается непрерывно с 1,00 до 0,98. Площадь просветов полога в биогруппе при этом учитывается дважды, при нахождении и $C_{\text{пл}}$, и $C_{\text{пб}}$.

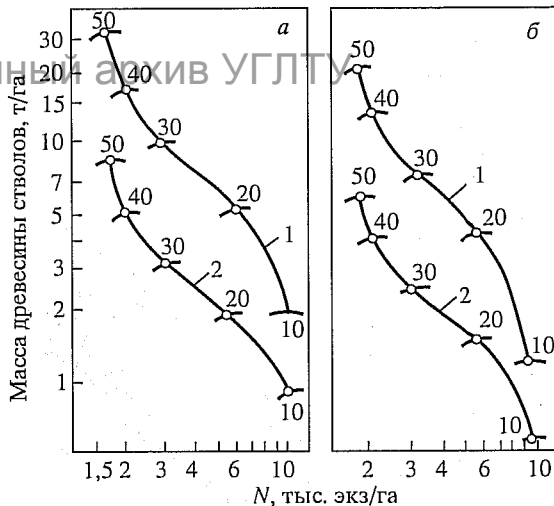
Поскольку при расчете продуктивности биогруппы ее площадь определялась по периметру, то показатель продуктивности $P_{\text{б}}$ был занижен, поскольку относился к площади, включающей просветы в биогруппе. Это занижение корректируется с помощью показателя сомкнутости биогрупп, т. е. продуктивность представляется отношением $P_{\text{б}}/C_{\text{пб}}$. Заменяя у Е. Ассмана площадь роста дерева площадью роста биогруппы, выводим показатель продуктивности древостоя в целом (P) как произведение скорректированной продуктивности биогруппы ($P_{\text{б}}/C_{\text{пб}}$) на сомкнутость полога древостоя ($C_{\text{пл}}$) согласно формуле (Усольцев, 1987)

$$P = P_{\text{б}} (C_{\text{пл}}/C_{\text{пб}}). \quad (1.28)$$

На рис. 1.88 показано соотношение максимальных продуктивностей порослевых березняков на уровнях биогруппы и древостоя, в последнем случае рассчитанных по (1.28), при минимальном и максимальном диаметрах среднего дерева. Ширина диапазонов максимальной продуктивности на двух названных уровнях одинаковая, но показатель продуктивности на уровне древостоя по абсолютной величине смещен относительно аналогичного показателя на уровне биогруппы вниз на величину корректировочного коэффициента $C_{\text{пл}}/C_{\text{пб}}$.

Учет сомкнутости полога биогруппы при установлении ее границы позволяет нейтрализовать отрицательный эффект визуального подхода к вы-

Рис. 1.88. Максимальная продуктивность порослевого березняка по массе древесины стволов в абсолютно сухом состоянии на уровне биогруппы (а) и древостоя (б) при максимальном (1) и минимальном (2) диаметрах среднего дерева в зависимости от оптимальной густоты. Цифры — возраст, лет (Усольцев, 1987)



делению биогрупп: при субъективном завышении (или занижении) площади биогруппы возрастает (или снижается) как доля просветов в биогруппе, так и доля просветов в пологе. Вследствие синхронного увеличения (или снижения)

числителя и знаменателя в коэффициенте $C_{пл}/C_{пб}$ продуктивность древостоя не зависит от упомянутого субъективизма.

1.6.3.5. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ПРЕДЕЛЬНОЙ ФРАКЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ

Возможность построения линии предельной продуктивности для ареала *Populus tremula* показана (Усольцев, 1998) по данным 75 временных пробных площадей, из которых 31 заложена автором в осинниках Северного Казахстана. По методу, описанному выше применительно к биогруппам березняков, была рассчитана система рекурсивных уравнений (1.29), аналогичная (1.25), но на уровне древостоя в целом, а не биогруппы:

$$\begin{aligned}
 D^{\max} &= f(A, N) \\
 &\downarrow \\
 H^{\max} &= f(A, N, D) \\
 &\downarrow \\
 M &= f(A, N, D, H) \\
 &\downarrow \\
 P_i/M \text{ или } P_i &= f(A, D, H, N, M),
 \end{aligned}
 \tag{1.29}$$

где последнее звено цепочки представляет собой уравнение (1.1).

Положение кривых для каждого звена упомянутой рекурсивной системы относительно полей распределения данных всех пробных площадей показано на рис. 1.89 и 1.90. Табулирование рекурсивной системы (1.29) для средних диаметров, высот, запасов древесины и фитомассы (по фракционному составу) осинников по значениям траекторий самоизреживания нормальных древостоев, взятых из ТХР, после нанесения на диаграммы (см. рис. 1.89 и 1.90) показало, что все они проходят существенно ниже

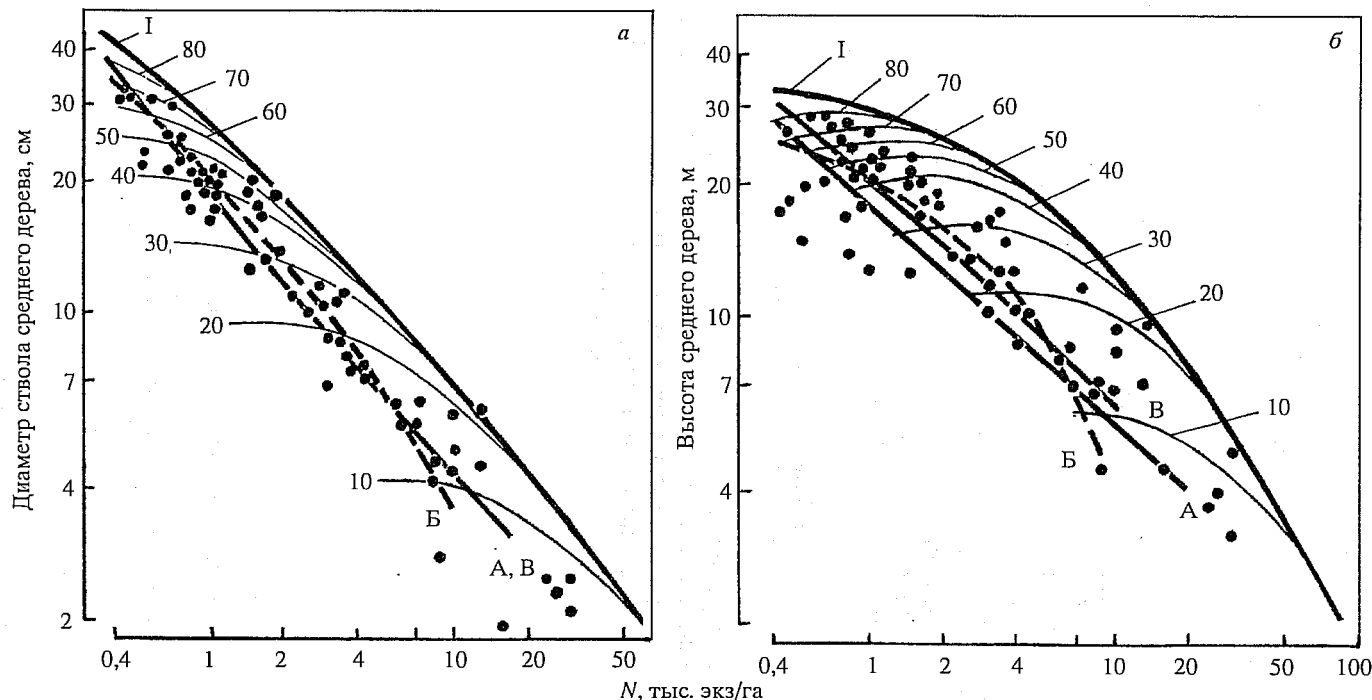


Рис. 1.89. Положение кривых $D^{\max} = f(A, N)$ (а) и $H^{\max} = f(A, N, D)$ (б), полученных табулированием соответственно первого и второго уравнений рекурсивной системы (1.29) по задаваемым значениям возраста A и густоты N осиновых древостоев, относительно полей распределения всех фактических данных (Усольцев, 1998).

I — линия самозреживания; А — траектории D и H нормальных осиновых древостоев, взятые из ТХР осинников Горного Урала (Лесотаксационный..., 1991); Б — то же, Северного Казахстана (Усольцев, 1988); В — то же, из всеобщей ТХР В. С. Чернявского (1993). Цифры — возраст древостоев, лет

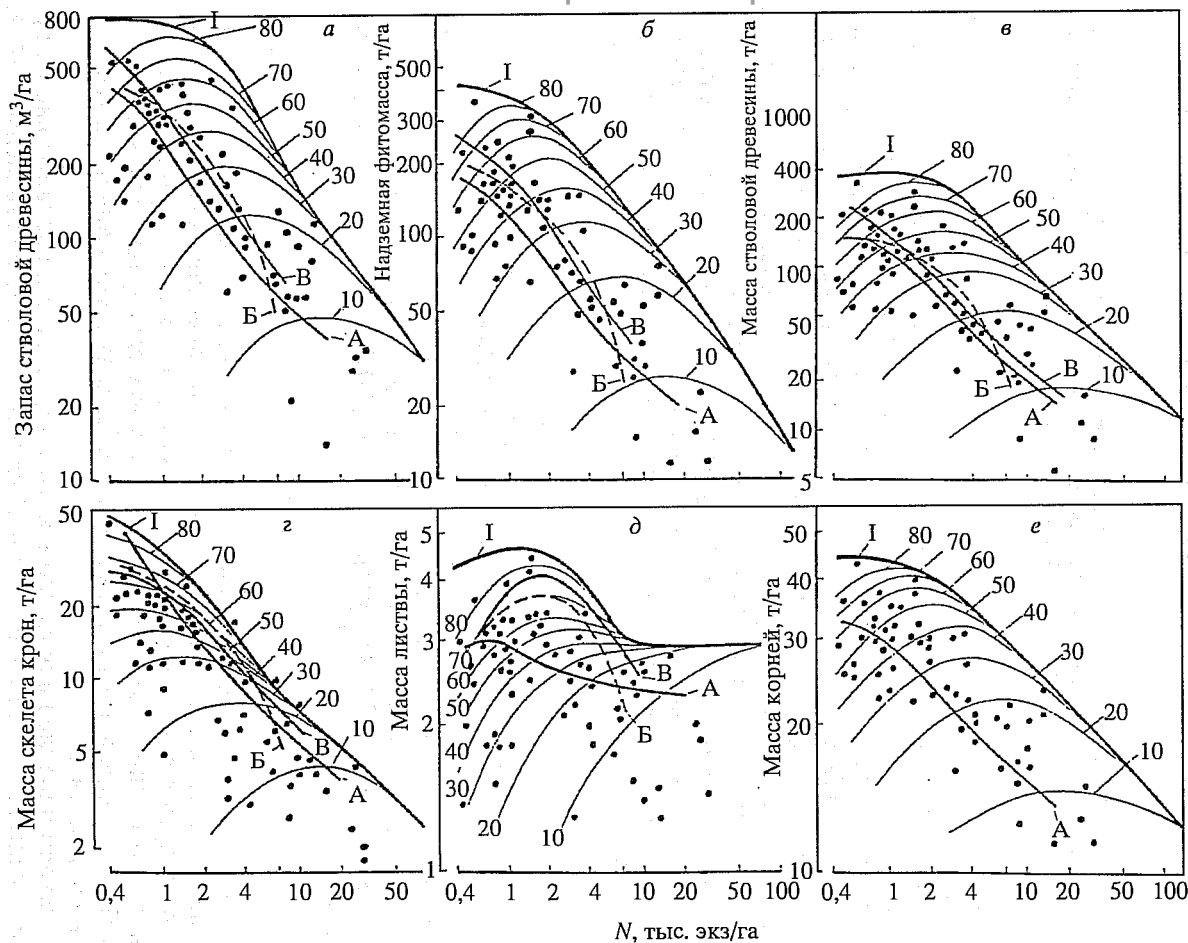


Рис. 1.90. Колоколообразные густотные кривые запаса стволовой древесины (*a*), надземной фитомассы (*б*), массы стволов в коре (*в*), ветвей в коре (*г*), листьев (*д*) и корней (*е*) осинников в абсолютно сухом состоянии на территории бывшего СССР для различных возрастов (цифры, лет), полученные последовательным табулированием рекурсивной системы уравнений (1.29), и их положение относительно всех фактических данных. Обозначения см. на рис. 1.89 (Усольцев, 1998)

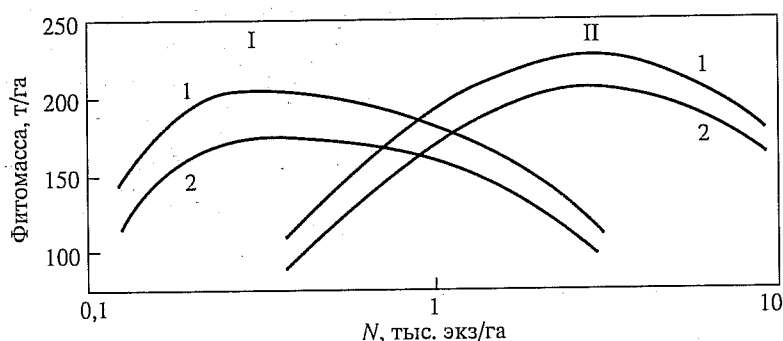


Рис. 1.91. Сопоставление предельных линий самоизреживания березовых (I) и сосновых (II) древостоев Урало-Казахстанского региона в полулогарифмических координатах для общей надземной фитомассы (1) и массы стволов (2) (Усольцев, 1998)

предельных линий и находятся в зоне полного использования ресурсов среды.

Аналогичным образом по рекурсивным системам вида (1.29) были построены предельные линии фитомассы сосны и березы Урало-Казахстанского региона с использованием данных соответственно 99 и 63 временных пробных площадей (Усольцев, 1998). Сопоставление огибающих предельных линий для показателей фитомассы сосны и березы в пределах Урало-Казахстанского региона (рис. 1.91) показывает, что названные две породы по форме кривых существенно не различаются. Но по величине предельных показателей при заданной густоте они совершенно разные: при $N < 1000$ деревьев на 1 га общая надземная фитомасса больше у березы, а при $N > 1000$ — наоборот. Однако максимальные значения предельных кривых примерно одинаковы — около 200 т/га, но приходятся на разные густоты.

1.6.3.6. О “ПЕРЕМЕНЕ РОЛЕЙ” ЛИНИЙ МАКСИМАЛЬНОЙ И ПРЕДЕЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ

Математическому доказательству наличия двух разных характерных линий — предельной огибающей и линии максимумов — посвящены работы Г. Б. Кофмана и М. Ю. Гуревича (1998, 2001). На основе анализа зависимостей

$$G = f(N, H), \quad (1.30)$$

где G — сумма площадей сечений, $\text{м}^2/\text{га}$; N — число деревьев на 1 га и H — средняя высота древостоев, они вывели аналитические выражения для обеих упомянутых линий (рис. 1.92) и показали, что в логарифмических координатах эти линии имеют одинаковый наклон, сдвинуты относительно друг друга, и для определенного типа моделей огибающую и линию максимумов легко перепутать.

Однако параллельность упомянутых двух линий и соответствие их правилу $3/2$ представляет собой частный случай более общих зависимостей. На

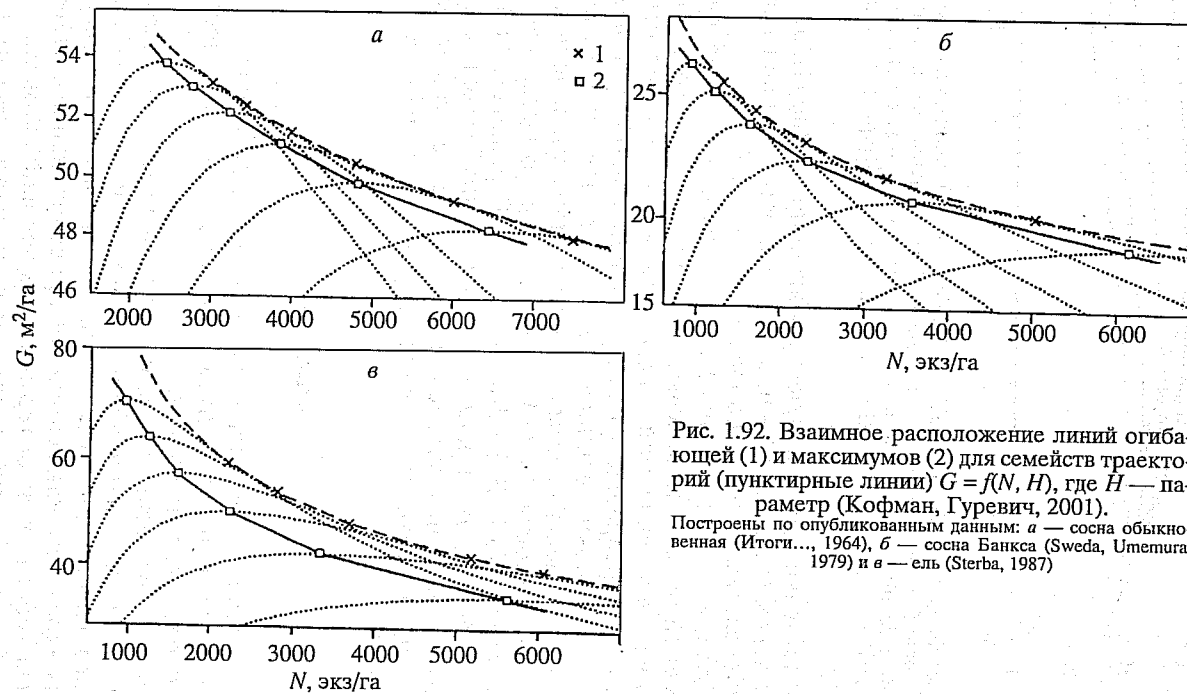


Рис. 1.92. Взаимное расположение линий огибающей (1) и максимумов (2) для семейств траекторий (пунктирные линии) $G = f(N, H)$, где H — параметр (Кофман, Гуревич, 2001).

Построены по опубликованным данным: *a* — сосна обыкновенная (Итоги..., 1964), *б* — сосна Банкса (Sweda, Umemura, 1979) и *в* — ель (Sterba, 1987)

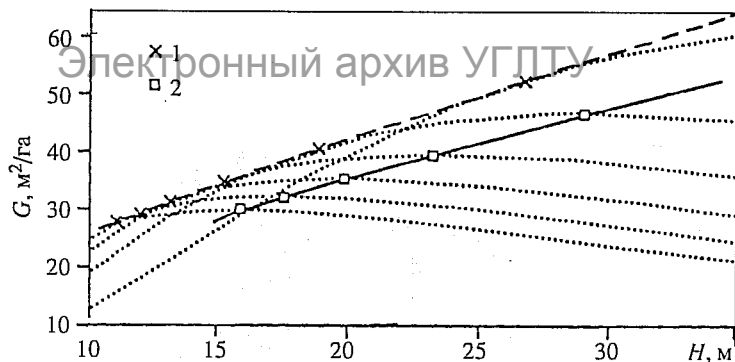


Рис. 1.93. Иллюстрация “перемены ролей” огибающей (1) и линии максимумов (2), построенных по уравнению $G = f(N, H)$, где N — параметр. В этом случае огибающая (верхняя линия) соответствует линии максимумов в плоскости $(G; N)$, а линия максимумов (нижняя линия) — огибающей в плоскости $G = f(N, H)$ на рис. 1.92 (Кофман, Гуревич, 2001)

рис. 1.92, представляющем графическую интерпретацию (1.30), N является независимой переменной, а H — параметром, определяющим относительное положение системы колоколообразных кривых $G \sim N$.

Г. Б. Кофман и М. Ю. Гуревич (2001) показали, что существует симметрия с “переменной ролей” независимой переменной и параметра. В случае, когда H становится независимой переменной, а N — параметром (рис. 1.93), линия максимумов превращается в огибающую и, наоборот, огибающая — в линию максимумов. Аналогичная “перемена ролей” линий максимумов и огибающей после замены местами параметра и переменной показана авторами также в зависимости $P = f(A, N)$, где P — фитомасса, т/га, и A — возраст древостоя, лет. По Г. Б. Кофману и М. Ю. Гуревичу (2001), эта “перемена ролей” означает, что проблемы “различения” максимальной и предельной продуктивности в определенном смысле не существует, так как максимальная продуктивность в одних координатах становится предельной в других и наоборот.

ВЫВОДЫ

1. В соответствии с принципом экстремальности Л. Эйлера обсуждены условия, обеспечивающие максимальную продуктивность лесных экосистем на трех иерархических уровнях.

2. Первый иерархический уровень — климатический, представлен в пределах ареала вида (для одновидового лесного покрова) и континента (для обезличенного лесного покрова), и рассмотрена потенциальная продуктивность лесных экосистем, или возможное продуцирование органического вещества в зависимости от гидротермических условий климата.

3. Картирование потенциальной продуктивности лесных экосистем на региональном или планетарном уровнях на основе климатических показателей или их индексов обычно выполнялось путем экстраполяции на ту или иную территорию базовых зависимостей продуктивности лесных насаждений от названных показателей. При этом в качестве исходных по-

казателей продуктивности принимались либо статистические данные лесоустройства в рамках действующей схемы лесопользования, либо таблицы хода роста древостоев, либо фактические данные фитомассы лесных экосистем и их первичной продуктивности, полученные на пробных площадях.

4. Если по широтному градиенту наличие профиля продуктивности лесного покрова подтверждено с различных позиций исследователями из разных научных отраслей, то в изменении продуктивности лесного покрова в меридиональном направлении имеется пока некоторая неопределенность, а иногда предлагаются и взаимоисключающие закономерности.

5. Методы математического описания и моделирования в глобальной фитоценологии и экологии пока еще недостаточно разработаны, особенно с учетом проблемы непрерывности-дискретности растительного покрова. Развитие методов идет сегодня как по пути совершенствования индуктивных моделей распределения его продуктивности с выявлением комплекса определяющих факторов и доли вклада каждого в описание закономерностей, так и по пути наработки все большего количества дедуктивных моделей, отражающих представление “модельера” о характере взаимодействий факторов в исследуемом глобальном продукционном процессе. Последние имеют тенденцию все большего усложнения создаваемых компьютерных имитаций в направлениях как более глубокого понимания локальных процессов (детализация), так и включения в изучаемый процесс все более обширных территорий (глобализация).

6. Второй иерархический уровень продуктивности — эдафический, рассмотрен в пределах экорегиона по совокупности эдафических факторов. Методы и результаты оценки максимальной продуктивности насаждений на эдафическом уровне, т. е. по экологическим профилям в пределах экорегиона, характеризуются столь же выраженной неопределенностью, как и методы и результаты оценки потенциальной продуктивности лесов по зонально-провинциальным профилям на климатическом уровне.

7. Большинство предложенных на эдафическом уровне методов и их реализаций имеют локальное значение, т. е. действуют только в узком диапазоне условий данной местности, и дают смещения либо вовсе непригодны для другой древесной породы, либо в аналогичных условиях другой части экорегиона. Особенно актуальна и менее всего разработана система почвенных показателей, лимитирующих продуктивность насаждений разных пород в различных климатических условиях, равно как и система оптимальных для той или иной породы почвенных показателей. Практически не исследована также роль почвенной углекислоты и кислорода в корневом питании разных древесных пород, а также их место в комплексе эдафических факторов.

8. Третий иерархический уровень продуктивности — ценотический, рассмотрен в пределах экотопа. Хотя теоретически продукционный потенциал лесного фитоценоза на ценотическом уровне находит интегральное выражение в LAI, связь названных показателей далеко не однозначна. Они оба синхронно нарастают до некоторого предела, после чего вместо выхода на теоретическое плато (Jarvis, 1985), их взаимосвязь в зависимости от видовых и структурных особенностей полога варьирует в ши-

роком диапазоне от асимптоты до колоколообразных трендов различной конфигурации. При оценке продукционного потенциала лесного покрова LAI можно использовать лишь в первом приближении. Для детального анализа необходимо изучение всей “энергетической цепочки” продукционного процесса, по М. Кэннелу (Cannell, 1988, 1989): перехваченная радиация → потери на дыхание → депонирование ассимилятов в фитомассе → отпад и опад.

9. Анализ продуктивности лесной экосистемы в пределах экотопа возможен по одному или нескольким массообразующим показателям — средней высоте (закон Эйхгорна), диаметру ствола (руководящая кривая Рейнеке), густоте древостоя. Поскольку предельная продуктивность в принятом определении оценивается в связи с самоизреживанием древостоев, а ход самоизреживания — в связи с густотой, то последняя является наиболее информативной переменной при расчете предельной продуктивности. В качестве одного из фундаментальных положений современной теоретической биологии правило $3/2$ ($1/2$), предложенное, исходя из некоторых идеализированных предпосылок, с теоретически инвариантной экспонентой самоизреживания, подверглось широчайшему обсуждению в специальной литературе.

10. Дискуссия затрагивала в основном степень соответствия или несоответствия фактической линии самоизреживания и теоретической — правила $3/2(1/2)$ и касалась только величины и стабильности экспоненты самоизреживания, причем использовались главным образом материалы периодической таксации искусственных древостоев разной (известной) начальной густоты.

11. Исследование продуктивности обычно проводили в области фактических измерений на постоянных пробных площадях либо в статике при фиксированном возрасте с установлением *густотных траекторий*, либо в возрастной динамике древостоев с установлением *их траекторий самоизреживания*. Уже в первых работах японских исследователей показано, что сочетание фактических “вееров” двух упомянутых траекторий дает в итоге *предельную линию самоизреживания*, которая по определению не лежит в области фактических измерений, а характеризует некоторое гипотетическое состояние предельной загущенности, которого древостой может не достигать вследствие самоизреживания. Тем не менее предельную линию самоизреживания некоторые исследователи стали искать именно в области фактических измерений, подменяя понятие *предельной линии самоизреживания* понятием *траектории самоизреживания* и наоборот и тем самым внося путаницу в отношении применимости правила $3/2$.

12. Для установления уровня продуктивности, предельного по условию самоизреживания, данных перечетов на постоянных пробных площадях с разной начальной густотой древостоев явно недостаточно для последующей экстраполяции материалов на тот или иной регион, поскольку такие перечеты выполнены на единичных объектах. Поэтому было необходимо найти метод расчета *действительной* предельной линии самоизреживания на основе данных массовой таксации древостоев на временных пробных площадях, начальная густота которых неизвестна.

13. Поскольку статистика экстремальных значений (Gaines, Denny, 1993) не адаптирована к изложенной проблеме, исследования автора по

разработке метода численного нахождения предельной линии самоизреживания на временных пробных площадях были направлены по пути снижения варьирования продуктивности фитоценозов на предельных густотах, чтобы получить показатели продуктивности фитоценозов в максимальном диапазоне густот для каждого возраста и чтобы характер линии самоизреживания при этом не зависел от типа пространственной структуры древостоев.

14. В качестве такого объекта с равномерной пространственной структурой была принята биограмма как однородная совокупность территориально сближенных деревьев, и на совокупностях таких биограмм разработан метод численного нахождения предельной линии самоизреживания расчетным путем с построением эмпирических моделей соответствующей структуры. Было показано, что предельная линия самоизреживания при нахождении ее по материалам временных пробных площадей расположена обычно за пределами фактических измерений. Древостой стремится к этой линии, но не обязательно ее достигает.

15. Путем расчета регрессионной модели запасов древесины в биограммах по двум факторам — текущей густоте и возрасту A получена возрастная серия колоколообразных густотных кривых. В результате возрастного сдвига последних в координатах *запас* — *густота* правые ветви густотных траекторий пересекаются, и точки пересечения при $\Delta A \rightarrow 0$ образуют характерную линию, которая является *предельной* для данного диапазона густот.

16. В статике древостоев одного возраста, но разной густоты существует оптимальное значение последней, при котором древостой характеризуется *максимальной* продуктивностью, отражаемой обычно в таблицах хода роста нормальных древостоев. По мере повышения густоты от оптимальной до некоторой предельной в данном возрасте продуктивность древостоев снижается и стремится к соответствующему пределу. Максимальная фитомасса древостоя не тождественна предельной: первая соответствует оптимальной густоте в статической совокупности древостоев, а вторая при той же густоте сдвинута в сторону больших запасов и больших классов возраста, характеризуя тем самым верхний предел продуктивности. Наличие симметрии с “переменной ролей” независимой переменной и параметра в двух характерных линиях — предельной и линии максимумов означает, что проблемы “различения” максимальной и предельной продуктивности в определенном смысле не существует, так как максимальная продуктивность в одних координатах становится предельной в других и наоборот (Кофман, Гуревич, 2001).

17. Разработанная методика позволяет по данным оценки фракционного состава фитомассы древостоев лесообразующих пород на временных пробных площадях рассчитать специальную систему рекурсивных регрессионных моделей, построить на ее основе предельные линии продуктивности по условию самоизреживания древостоев и полученные количественные характеристики предельных состояний древостоев экстраполировать на ту или иную лесопокрытую площадь с выявлением соответствующих географических закономерностей.

18. Поскольку сетку географических координат нельзя применять для адекватного математического описания географических закономерностей

электронный архив УГНУ

тей продуктивности лесного покрова (Герасимов, 1945; Григорьев, Будыко, 1956; Герасимов, Зими́на, 1986), в этих целях используются косвенные географические характеристики, определяющие структуру и продуктивность растительного покрова, а именно — гидротермические показатели климата. При этом уровень потенциальной продуктивности, связанный с гидротермическими характеристиками климата, будет определяться не статистическими данными лесоустройства, не таблицами хода роста нормальных древостоев и не данными единичных пробных площадей, прямо экстраполированными на территорию того или иного эко-региона, а продуктивностью древостоев, предельной по условию самоизреживания.

Решению подобных задач посвящены следующие три главы.

МОДЕЛИ ФИТОМАССЫ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ
СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ2.1. ГЕОГРАФИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
О ФИТОМАССЕ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ

2.1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для территории от Великобритании и Франции до Китая и Японии автором сформирована наиболее полная на сегодняшний день база данных о фитомассе (стволы, ветви, листва, корни, нижние ярусы растительности, т/га) лесобразующих древесных пород в количестве 5085 определений, в том числе для родов: *Larix* — 391, *Picea* — 583, *Abies* — 221, *Pinus* (включая кедр) — 2273, *Betula* — 476, *Populus* — 216, *Quercus* — 398, *Alnus* — 66, *Fagus* — 181, *Tilia* — 232, *Fraxinus* — 40 и *Carpinus* — 8. Эти данные опубликованы в предыдущей монографии (Усольцев, 2001). Наличие достаточно большого массива экспериментальных данных о фитомассе сосняков (2138 пробных площадей) позволило разделить соответствующую сводку на две части — для естественных сосняков и культур сосны в количестве 1223 и 915 определений. Соответственно, география экспериментальных данных (раздел 2.1), кодирование региональных массивов (раздел 2.2) и модели фитомассы (раздел 2.3) для естественных сосняков и культур сосны здесь, в отличие от предыдущей работы (Усольцев, 2001), представлены раздельно. По причине малого числа наблюдений для граба (8 пробных площадей) не удалось построить предельную линию самоизреживания, и он был исключен из нашего анализа. После нанесения экспериментальных данных о фитомассе лесных экосистем на схему зонально-провинциального деления Северной Евразии (Базилевич, Родин, 1967; Курнаев, 1973) они распределились по 50 регионам (рис. 2.1—2.13).

Обозначения на рис. 2.1—2.13:

I — южная граница тундры; II — южная граница подзоны северной тайги; III — южная граница подзоны средней тайги; IV — южная граница подзоны южной тайги; V — южная граница хвойно-широколиственных лесов; VI — юго-восточная граница широколиственных лесов; VII — южная граница лесостепи; VIII — южная граница степи (Базилевич, Родин, 1967). IX — границы лесохозяйственных провинций Сибири. Выделены провинции (Курнаев, 1973; Смагин и др., 1978; Коротков, 1978): А — Средне-Европейская; В — Скандинавско-Русская (включая юг Русской равнины); С — Восток Русской равнины (включая Западно-Казахстанскую провинцию на юге); D — Уральская; Е — Западно-Сибирская (включая Восточно-Казахстанскую провинцию на юге); F — Средне-Сибирская; G — Восточно-Сибирская; H — Дальний Восток; I — Забайкальская горная; J — Алтае-Саянская горная; K — Центрально-Хангайская; L — Японские острова; M — Причерноморская; N — Кавказско-Малоазиатская; O — Памиро-Тяньшаньская. Каждая точка на схеме соответствует одной или нескольким территориально сближенным пробным площадям. Номера возле точек соответствуют положению пробных площадей в базе данных о фитомассе лесов (Усольцев, 2001).

2.1.2. ЛИСТВЕННИЦА (*LARIX*)

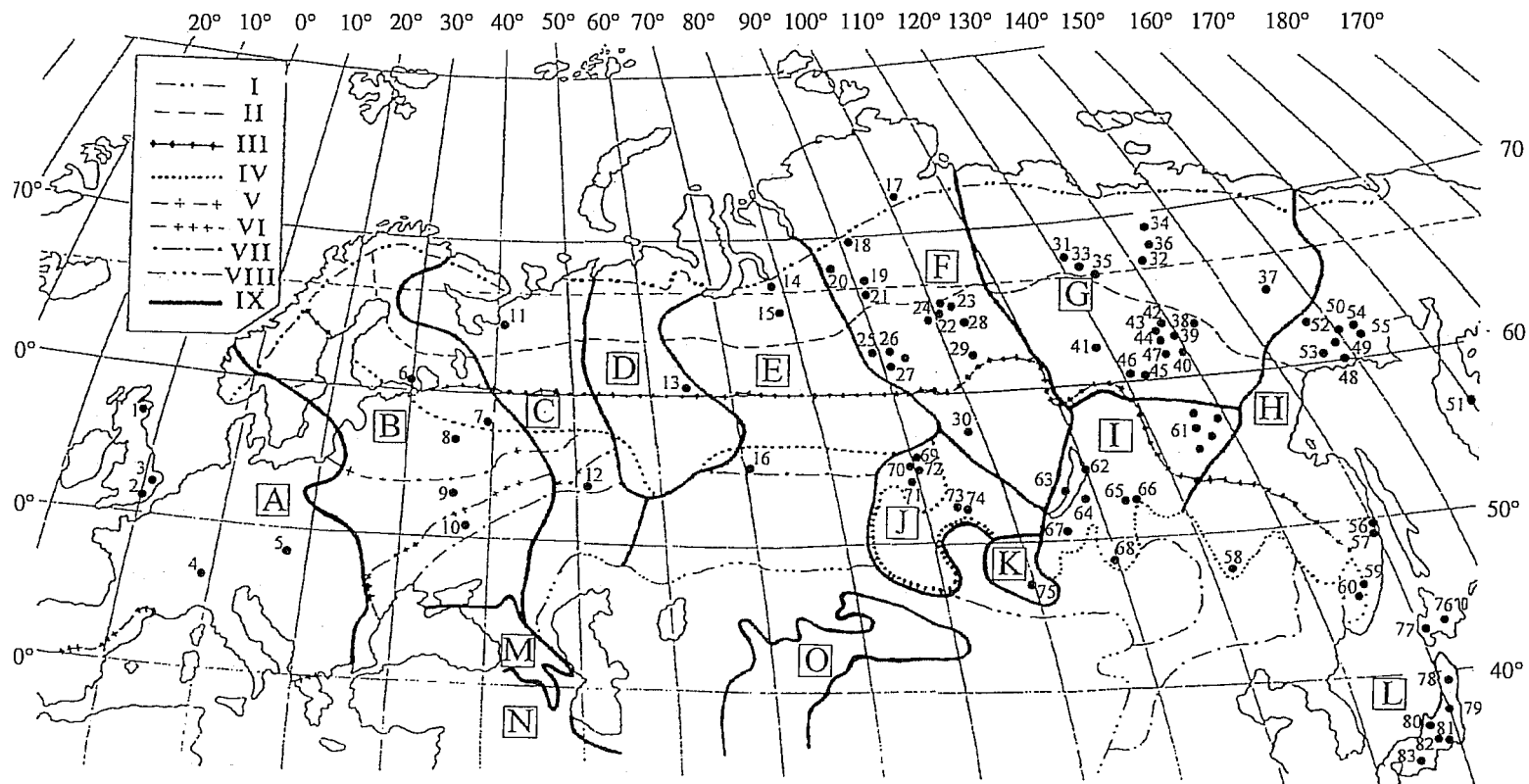


Рис. 2.1. География экспериментальных данных о фитомассе лиственничных насаждений

2.1.3. ЕЛЬ (PICEA)

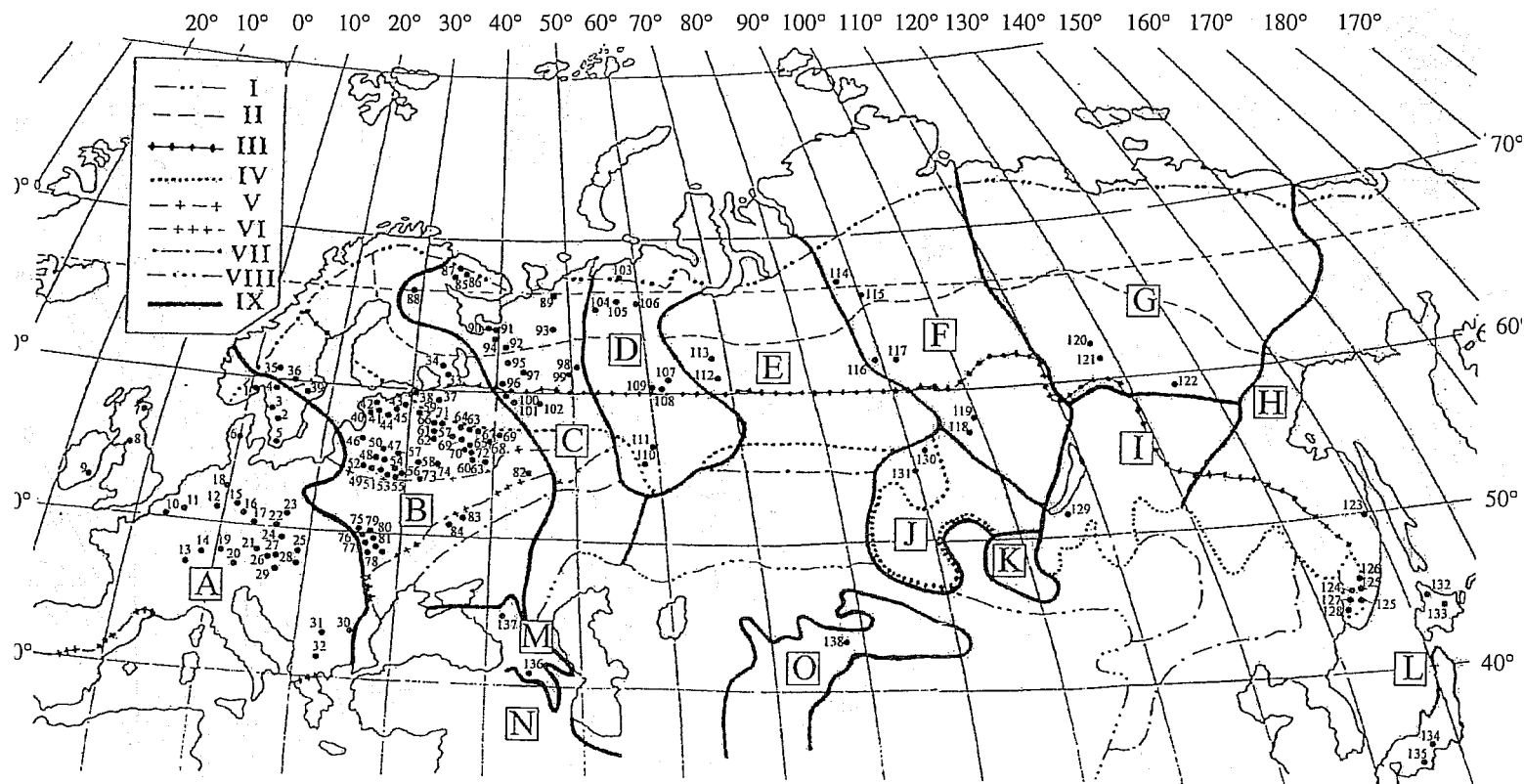


Рис. 2.2. География экспериментальных данных о фитомассе еловых насаждений

2.1.4. ПИХТА (*ABIES*)

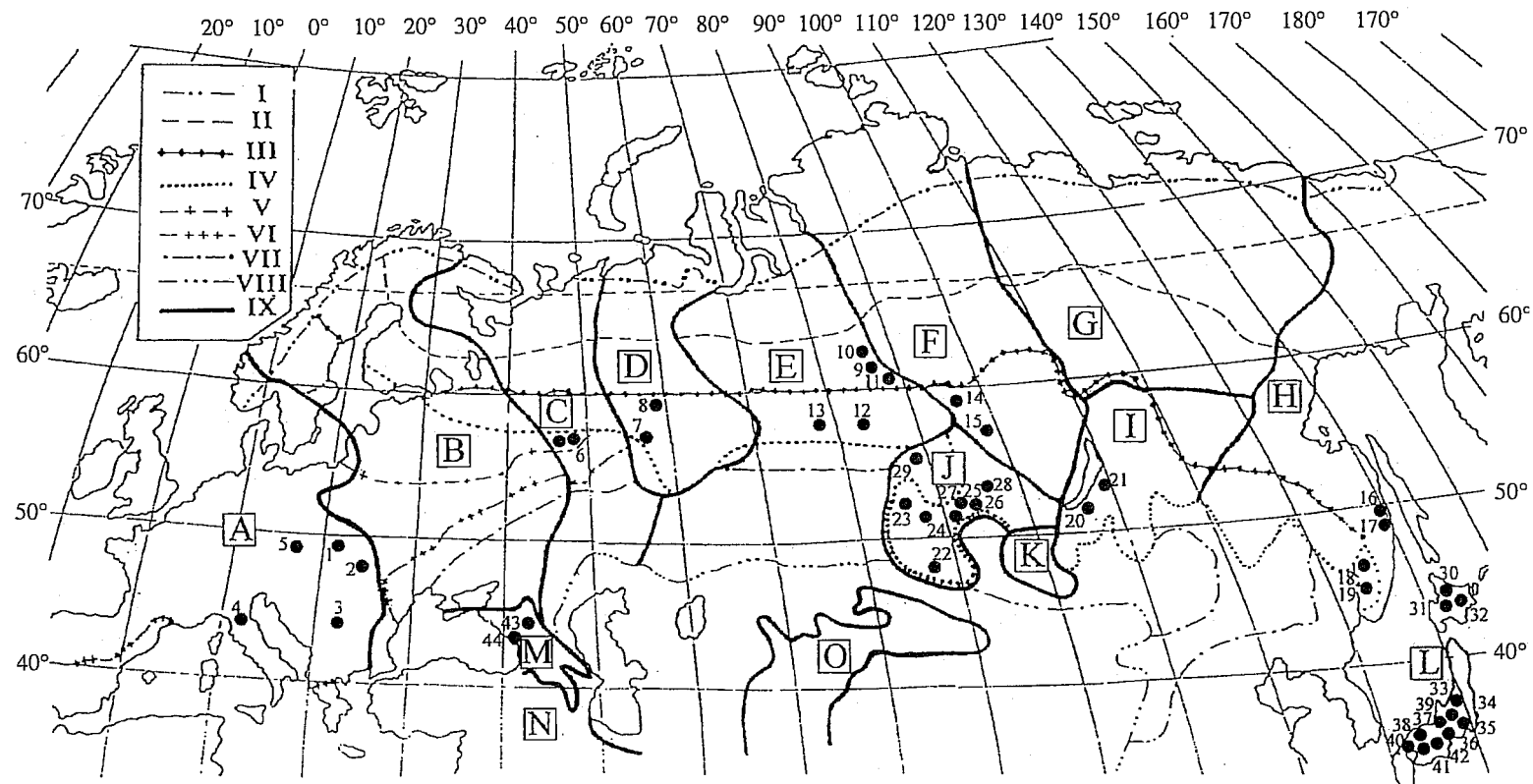


Рис. 2.3. География экспериментальных данных о фитомассе пихтовых насаждений

2.1.5. COCHA (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. PINASTER*, *P. NIGRA*, *P. DENSIFLORA*, *P. SOSNOVSKII*), ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ

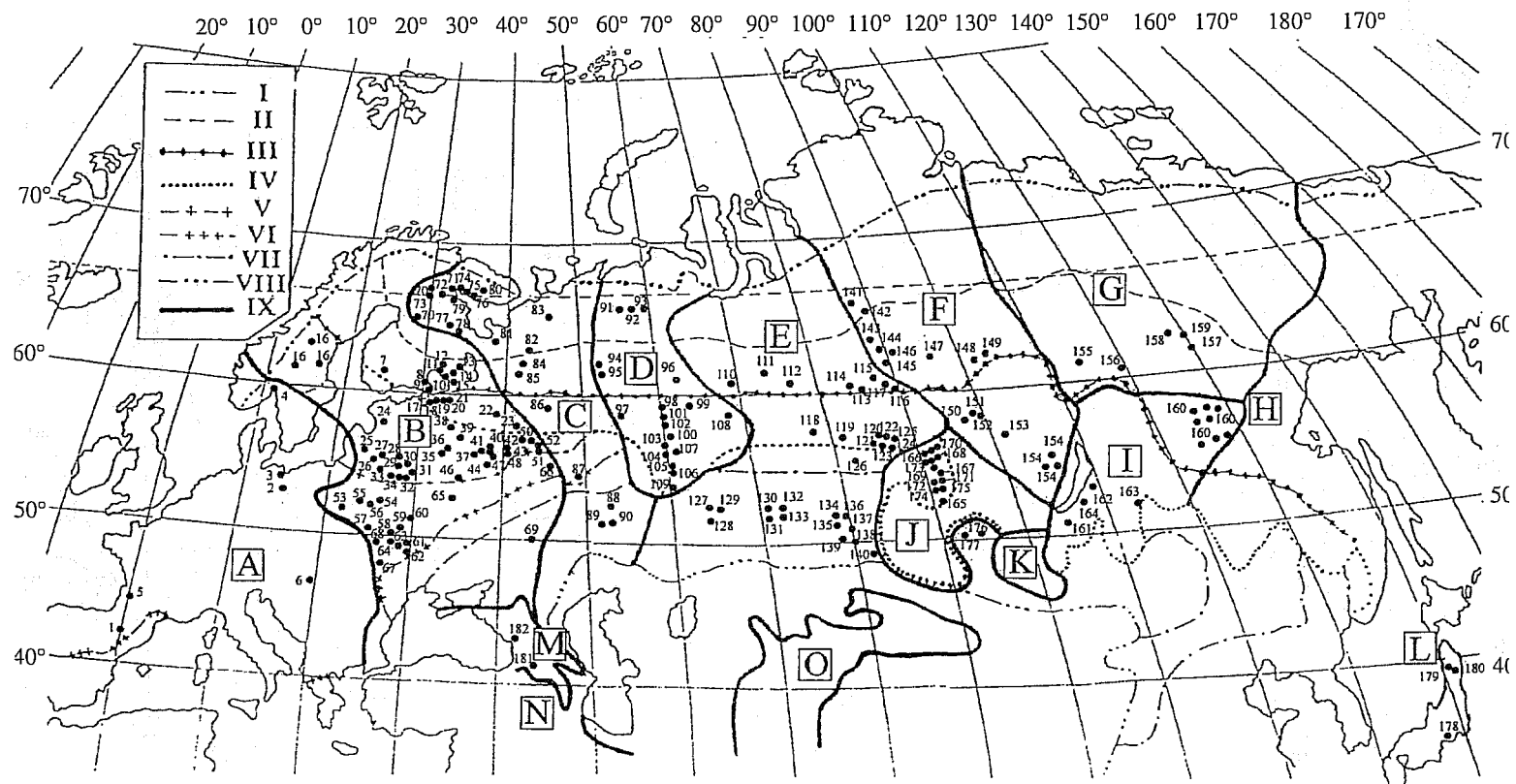


Рис. 2.4. География экспериментальных данных о фитомассе естественных сосновых насаждений

2.1.6. COCHA (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. NIGRA*, *P. THUNBERGII*, *P. DENSIFLORA*, *P. TAEDA*, *P. ELLIOTTII*, *P. PALLASIANA*, *P. PITYUSA*, *P. PINASTER*, *P. HALEPENSIS*), КУЛЬТУРЫ

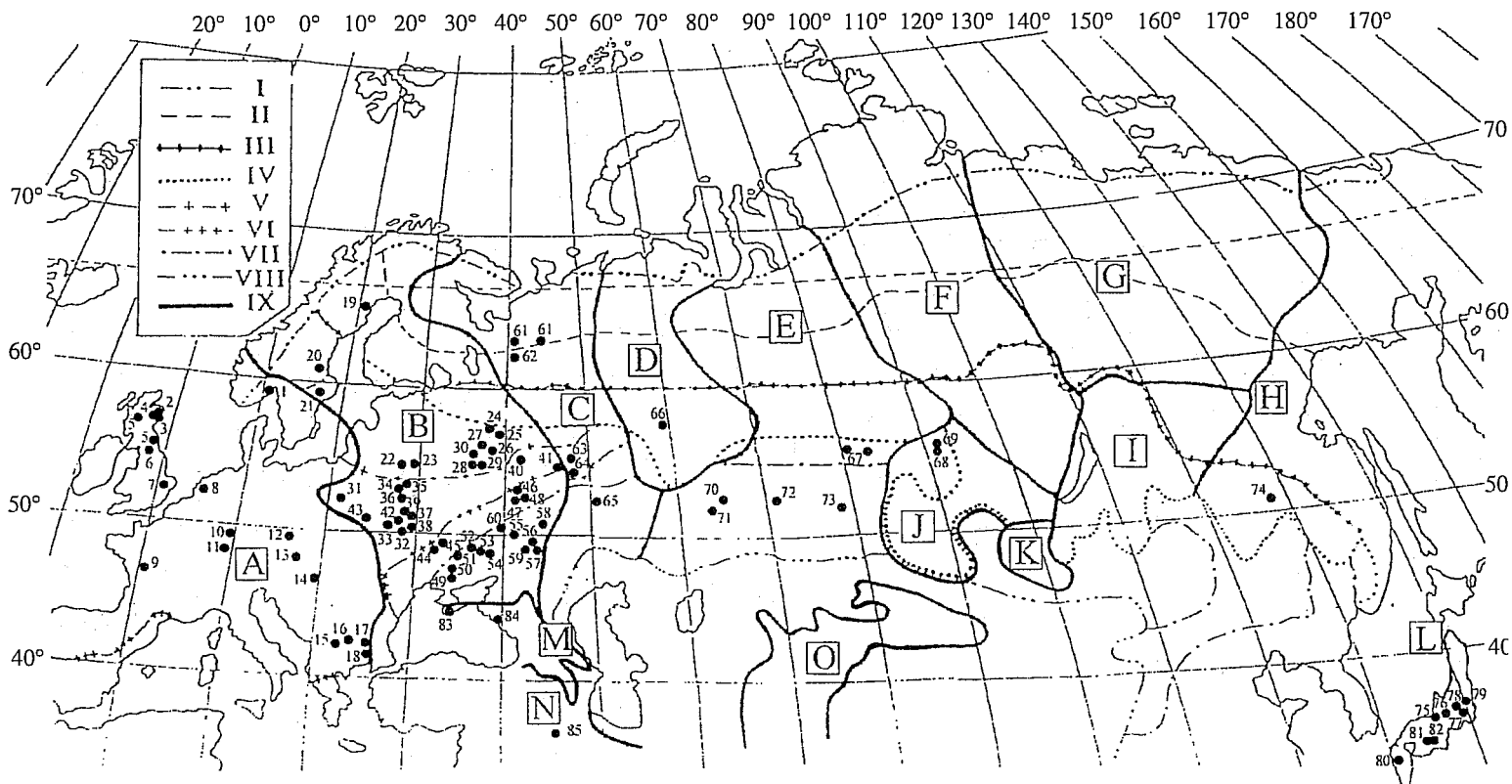


Рис. 2.5. География экспериментальных данных о фитомассе культур сосны

2.1.7. КЕДР (*PINUS SIBIRICA*, *P. KORAIENSIS*)

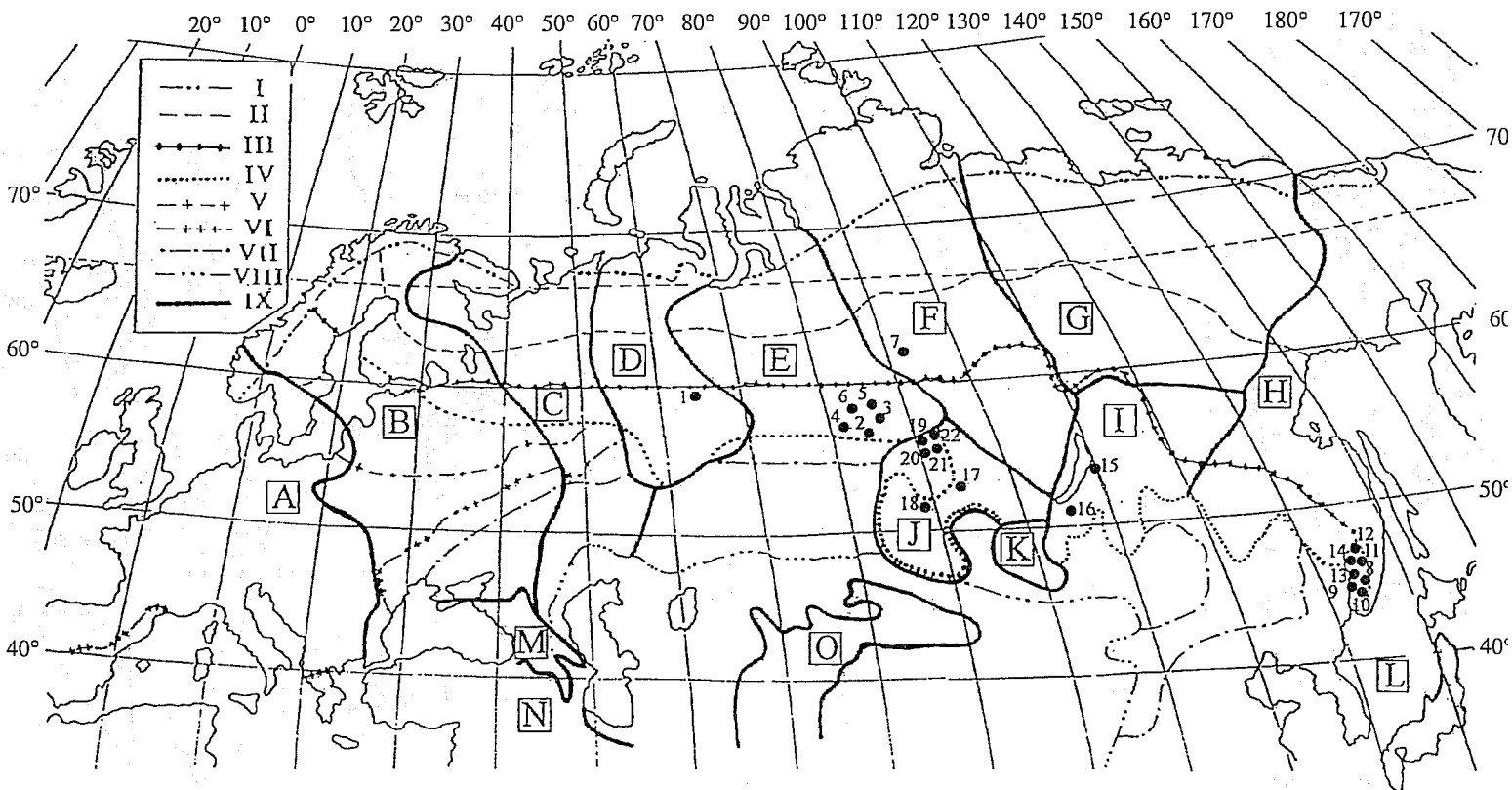


Рис. 2.6. География экспериментальных данных о фитомассе кедровых насаждений

2.1.8. БЕРЕЗА (*BETULA*)

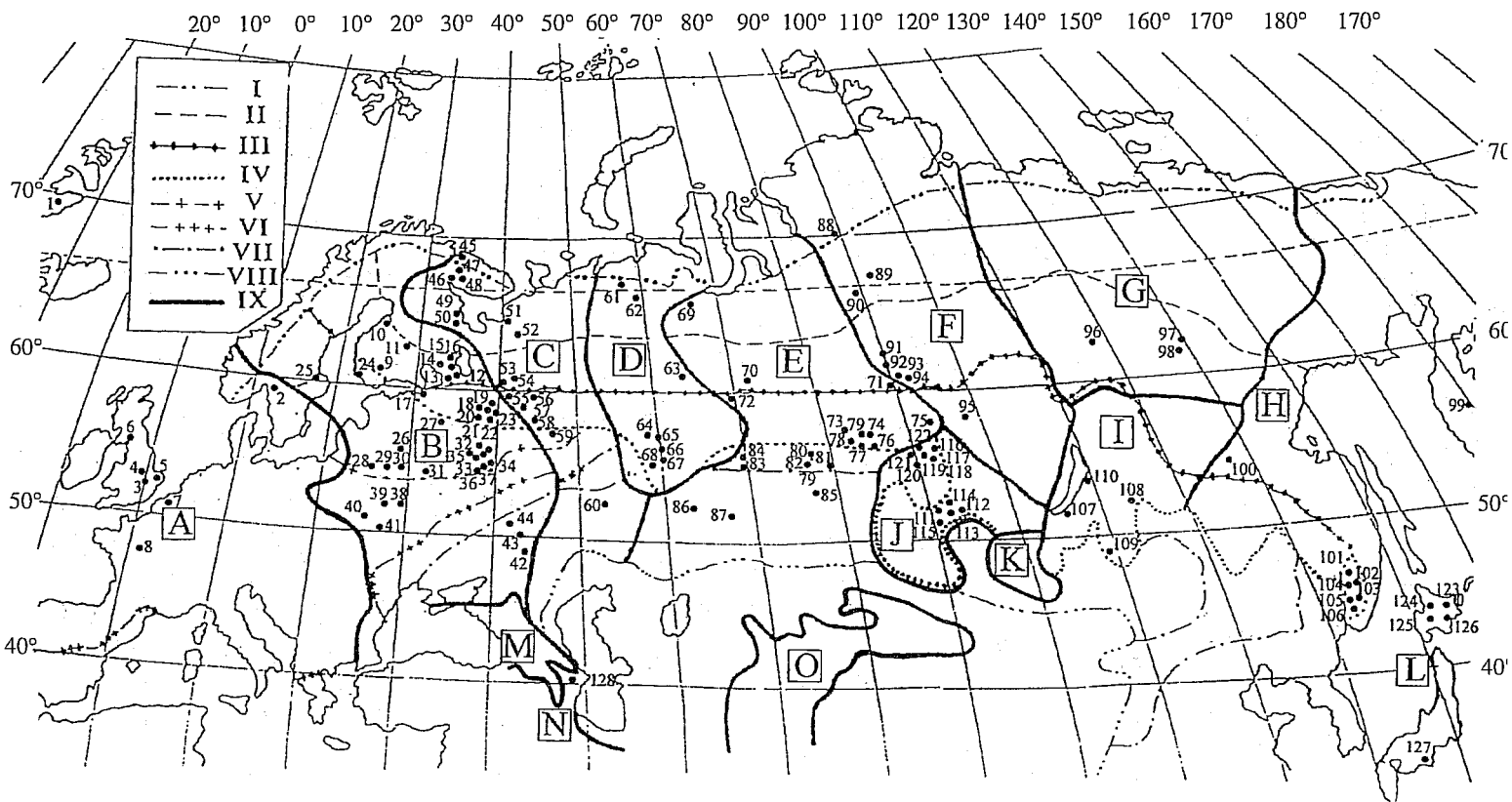


Рис. 2.7. География экспериментальных данных о фитомассе березовых насаждений

2.1.9. ОСИНА И ТОПОЛИ (*POPULUS*)

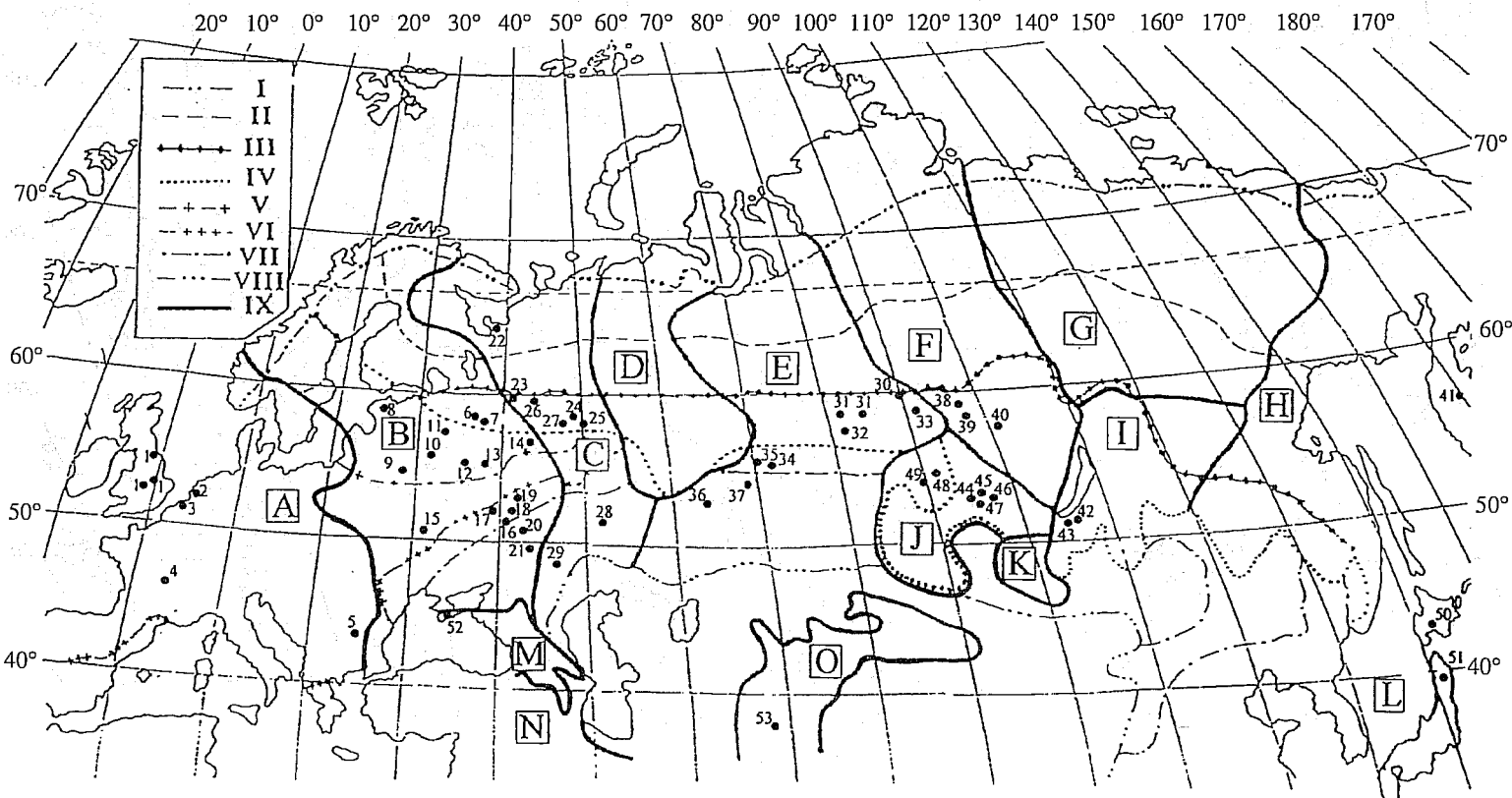


Рис. 2.8. География экспериментальных данных о фитомассе осиновых и тополевых насаждений

2.1.10. ОЛЬХА (ALNUS)

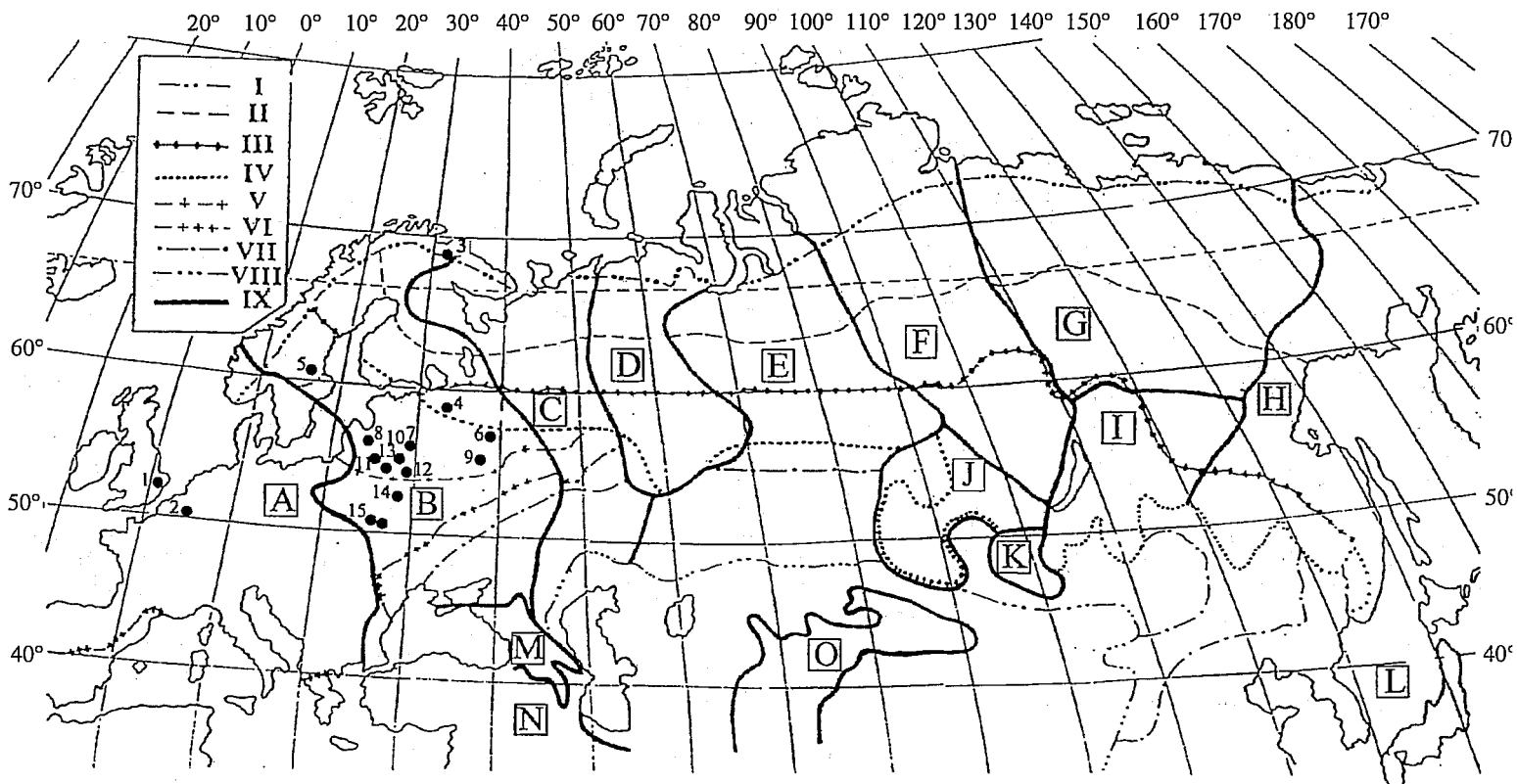


Рис. 2.9. География экспериментальных данных о фитомассе ольховых насаждений

2.1.11. ДУБ (*QUERCUS*)

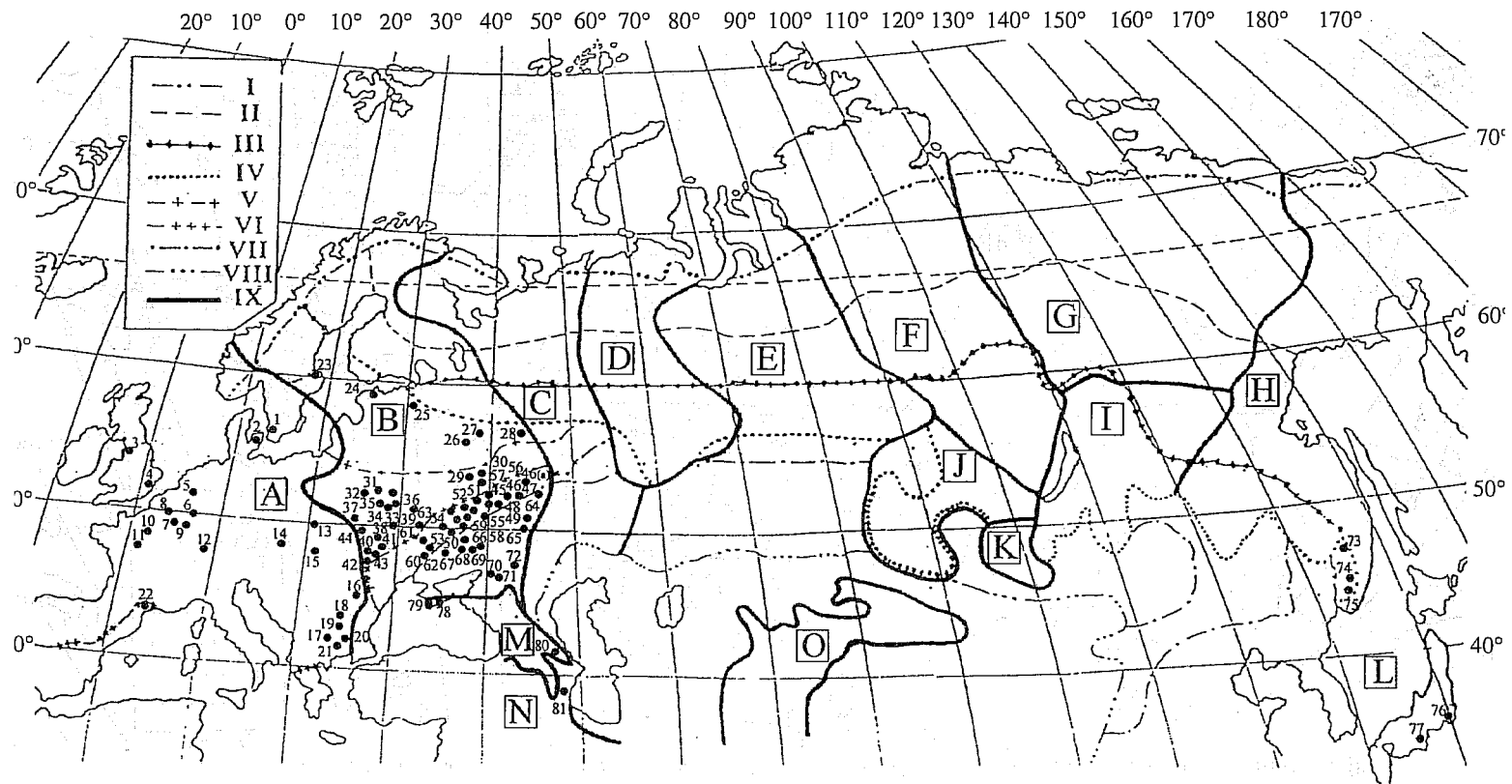


Рис. 2.10. География экспериментальных данных о фитомассе дубовых насаждений

2.1.12. БУК (*FAGUS*)

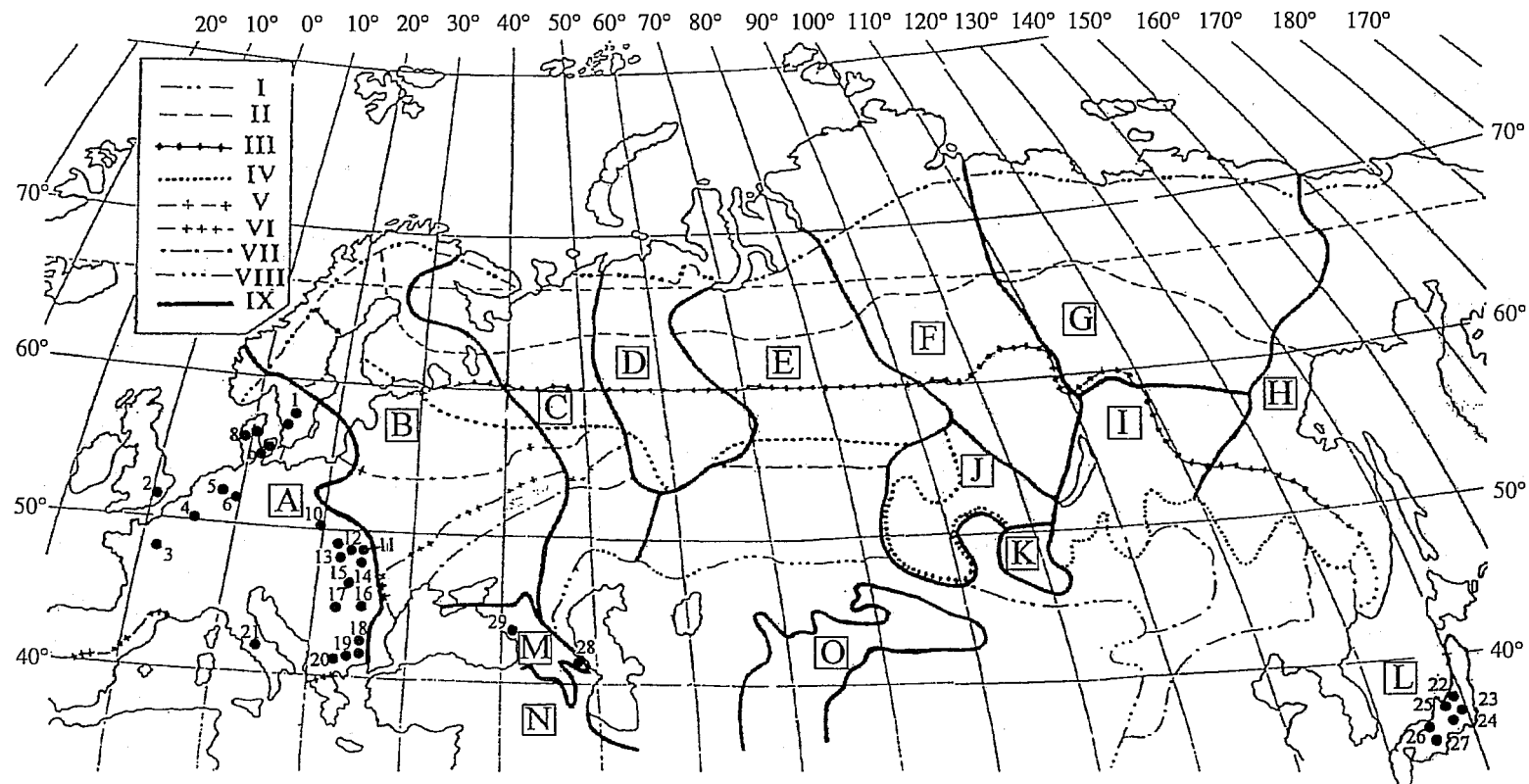


Рис. 2.11. География экспериментальных данных о фитомассе буковых насаждений

2.1.13. ЛИПА (*TILIA*)

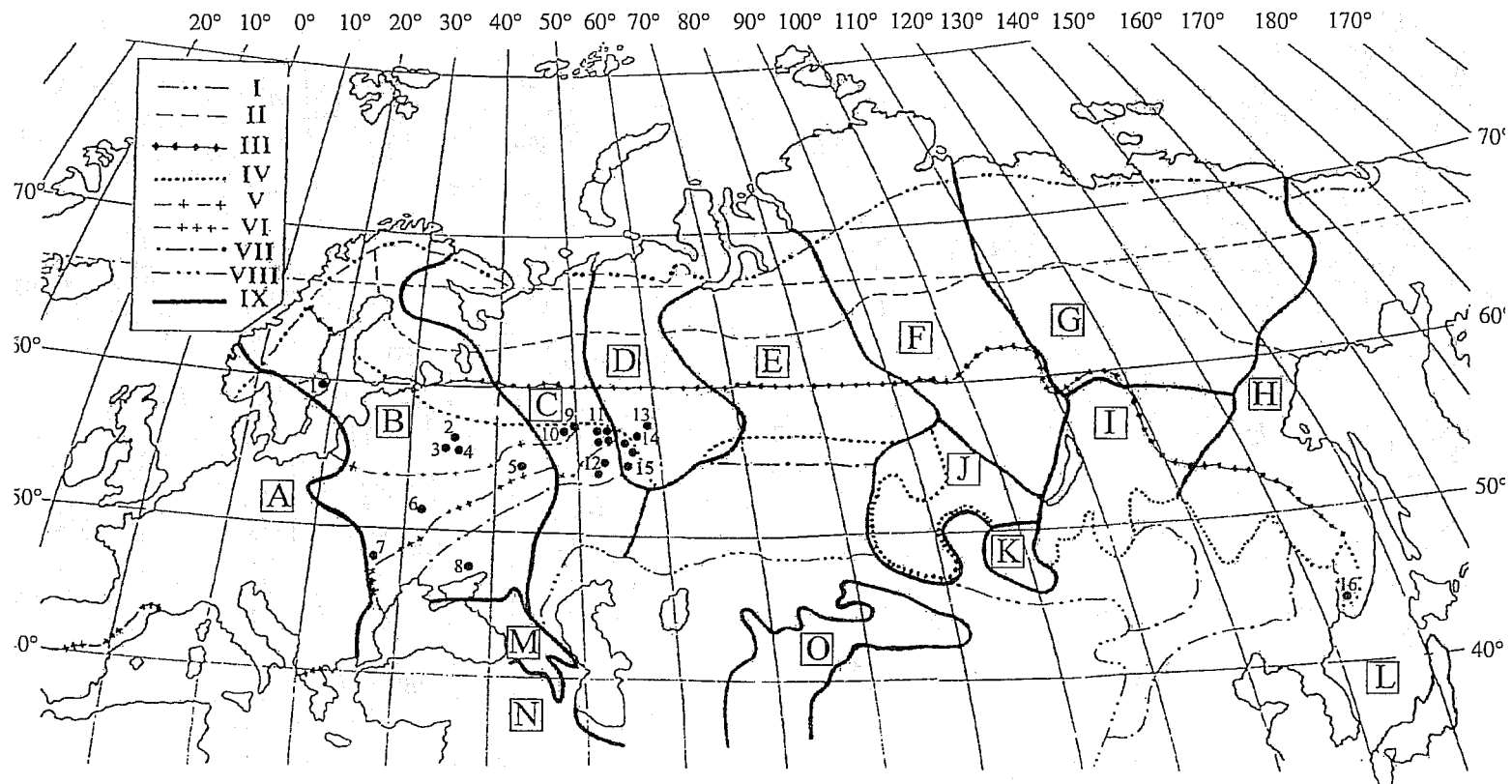


Рис. 2.12. География экспериментальных данных о фитомассе липовых насаждений

2.1.14. ЯСЕНЬ (*FRAXINUS*)

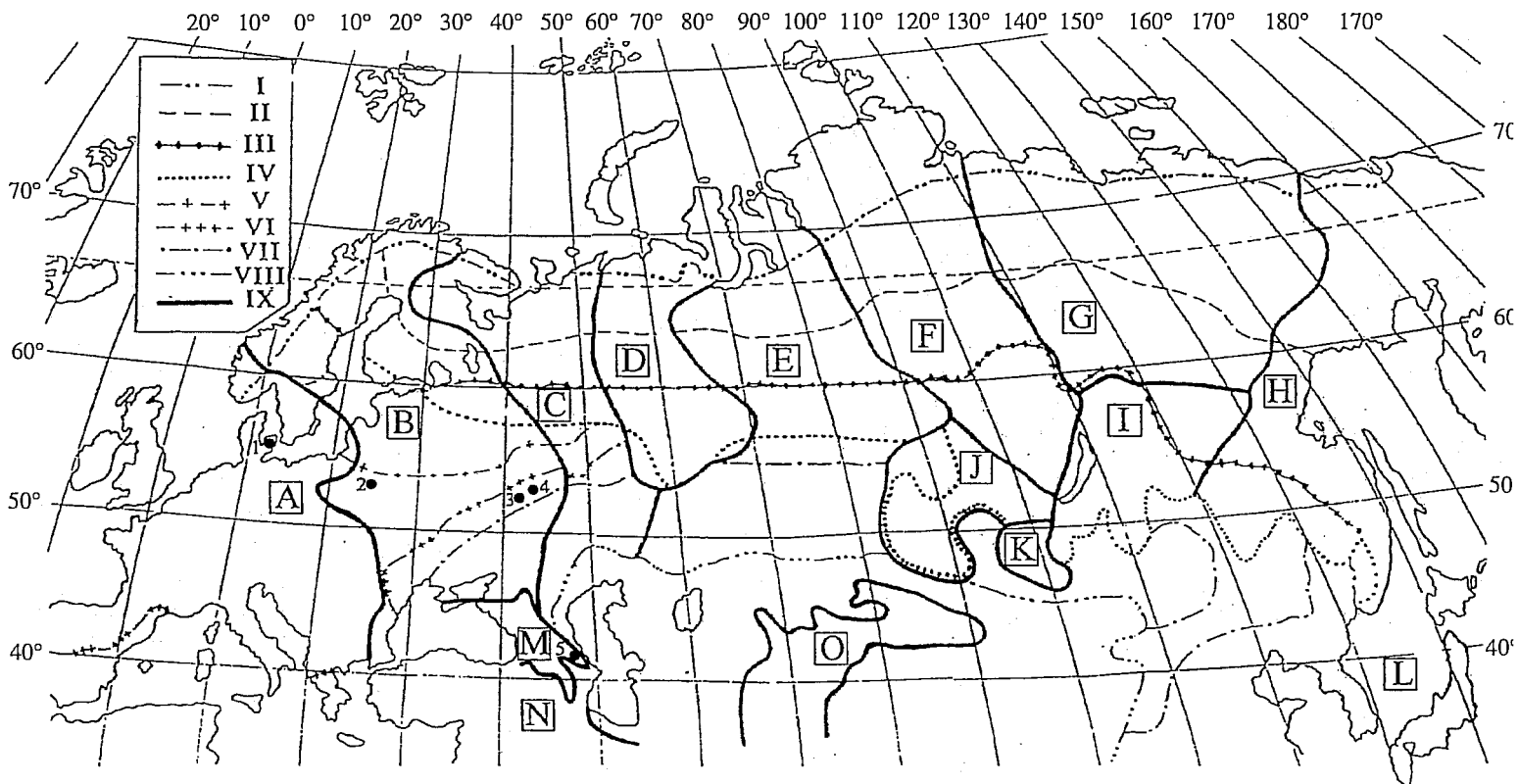


Рис. 2.13. География экспериментальных данных о фитомассе ясеневых насаждений

2.2. СХЕМЫ КОДИРОВАНИЯ БЛОКОВЫМИ ФИКТИВНЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ РЕГИОНАЛЬНЫХ МАССИВОВ ДАННЫХ О ФИТОМАССЕ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ

2.2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Лес представляет собой сложную биологическую динамичную систему, и исследование его структуры и динамики осуществляется на основе системного подхода, в том числе его простейшей математической реализации — многофакторного регрессионного моделирования. Применительно к лесной экосистеме регрессионная модель представляет собой результат статистического оценивания параметров системы математических выражений, которые характеризуют некоторую биологическую концепцию о взаимосвязи явлений. Многофакторная регрессионная модель предполагает вычленение основных определяющих факторов воздействия и количественную оценку их совокупного эффекта в виде результирующих показателей или характеристик.

Однако в лесной экологии многие явления и признаки характеризуются лишь на описательном уровне, их нельзя пока выразить числом и мерой, а одно из ограничений математического моделирования заключается в степени формализуемости исследуемых признаков. Обычно факторы, используемые в регрессионных задачах, принимают цифровые значения из некоторого непрерывного интервала (возраст древостоя, его густота, диаметр ствола и т.д.). В том случае, если это условие не соблюдается, используют так называемые фиктивные переменные (Дрейпер, Смит, 1973; 1986; 1987), к одной из разновидностей которых можно отнести и качественные переменные, оцифрованные числами натурального ряда. “Например, цвет или даже оттенок может быть выражен в числах только потому, что нам известна радуга” (Ивахненко, 1969. С. 152).

Ю. П. Адлер с соавторами (1976) полагают, что “граница между понятием качественного и количественного фактора весьма условна” (С. 48). Например, цвет можно квантифицировать не путем кодирования числами натурального ряда, а через длину волны, но насколько это будет оправдано? Набор типов леса от лишайниковой до сфагновой группы представляет экологический ряд (своеобразную радугу), элементы которого нельзя произвольным образом поменять местами, а можно лишь сменить порядок на обратный. В этих случаях мы имеем дело с типичными порядковыми переменными, которые широко применяются в лесоводстве (класс Крафта, разряд высот, класс бонитета) и в том числе — в процедуре многофакторного регрессионного анализа (Тябера, 1980; Онучин, Борисов, 1984; Усольцев, 1985б; Яновский, Моисеев, 1985).

Когда требуется количественно описать принадлежность той или иной совокупности пробных площадей к тому или иному региону и ранжировать упомянутые совокупности по ряду регионов, то эти совокупности проб можно закодировать числами натурального ряда, но нельзя их упорядочить. Такие переменные относятся к особому типу, С. А. Айвазян с соавторами (1985) называют их номинальными. Чтобы “гармонизировать”, или согласовать между собой регрессионные модели фитомассы насаждений для каждого экорегиона, их необходимо объединить в какую-то систему. Подобная система, в которой описание признаков (переменных) можно закодировать, но нельзя упорядочить, получила распространение в эконометрии под названием блоковых фиктивных переменных (Дрейпер, Смит, 1973, 1986, 1987). В работах автора

(Усольцев, 1998, 2001) подобная методология впервые применена для оценки степени “дистанцирования” показателей фитомассы лесных экосистем по зональному и провинциальному градиентам.

Лиственница является единственной древесной породой, для которой в базе данных о фитомассе оказались в наличии материалы подзоны лесотундры для двух геоморфологических комплексов — плакоров и пойма. При анализе географии фитомассы лиственничников на северном пределе их распространения было установлено резкое различие морфоструктуры древостоев (и соответственно — структуры их фитомассы) в названных двух комплексах. Если первые представлены исключительно низкостелыми разреженными сообществами с выраженной корневой конкуренцией на мерзлотных грунтах с маломощным почвенным горизонтом, то вторые вследствие прибрежного дренажа (Сочава, 1927), а также — теплового и твердого речных стоков (Миронов, Агафонов, 1992) практически не отличаются от аналогичных древостоев северной тайги. Поэтому подзоны лесотундры и северной тайги были объединены (см. раздел 2.2.2) в один полярный пояс с выделением в нем двух формаций лиственничников — плакорной (горной) и пойменной (долинной).

Схемы кодирования блоковыми фиктивными переменными региональных массивов данных о фитомассе лесообразующих видов приведены в разделах 2.2.2—2.2.14.

Обозначения регионов на схемах разделов 2.2.2—2.2.14:

СЕшш — Средне-Европейская провинция, хвойно-широколиственные леса; **СЕш** — Средне-Европейская провинция, широколиственные леса; **СЕсуб** — Средне-Европейская провинция, средиземноморские субтропики; **СРлт** — Скандинавско-Русская провинция, лесотундра; **СРср** — Скандинавско-Русская провинция, средняя тайга; **СРюж** — Скандинавско-Русская провинция, южная тайга; **СРхш** — Скандинавско-Русская провинция, хвойно-широколиственные леса; **СРш** — Скандинавско-Русская провинция, широколиственные леса; **СРлс** — то же, лесостепь; **СРст** — Скандинавско-Русская провинция, степь; **ВРлт** — Восток Русской равнины, лесотундра; **ВРсев** — Восток Русской равнины, северная тайга; **ВРср** — Восток Русской равнины, средняя тайга; **ВРюж** — Восток Русской равнины, южная тайга; **ВРхш** — Восток Русской равнины, хвойно-широколиственные леса; **ВРш** — Восток Русской равнины, широколиственные леса; **ВРлс** — то же, лесостепь; **ВРст** — Восток Русской равнины, степь; **УРлт** — Уральская провинция, лесотундра; **УРсев** — Уральская провинция, северная тайга; **УРср** — Уральская провинция, средняя тайга; **УРюж** — Уральская провинция, южная тайга; **УРлс** — Уральская провинция, лесостепь; **ЗСлт(1)** — Западно-Сибирская равнинная провинция, лесотундра, плакоры; **ЗСлт(2)** — то же, поймы и надпойменные террасы; **ЗСср** — Западно-Сибирская равнинная провинция, средняя тайга; **ЗСюж** — Западно-Сибирская равнинная провинция, южная тайга; **ЗСлс** — Западно-Сибирская равнинная провинция, лесостепь; **ЗСст** — Западно-Сибирская равнинная провинция, степь; **ССг** — Средне-Сибирская плоскогорная провинция, тундра; **ССлт(1)** — то же, лесотундра, горные формации; **ССсев(2)** — то же, северная тайга, долинные формации; **ССср** — то же, средняя тайга; **ССюж** — то же, южная тайга; **ВССев(2)** — Восточно-Сибирская горноравнинная провинция, северная тайга, долинные формации; **ВССев(1)** — то же, горные формации; **ВССр** — то же, средняя тайга; **ДВсев(2)** — дальневосточный Север, долинные формации; **ДВсев(1)** — то же, горные формации; **ДВср** — Дальний Восток, средняя тайга; **ДВюж** — Дальний Восток (Китай), Большой Хинган, южная тайга; **ДВхш** — дальневосточное Приморье, хвойно-широколиственные леса; **ЗБср** — Забайкальская горная провинция, средняя тайга; **ЗБюж** — то же, южная тайга; **АСюж** — Алтае-Саянская горная провинция, южная тайга; **АСлс** — Алтае-Саянская горная провинция, лесостепь; **Хан** — Центрально-Хангайская провинция, горная лесостепь; **ЯПср** — Япония, Хоккайдо, средняя тайга; **ЯПхш** — Япония, Хонсю, хвойно-широколиственные леса; **ЯПш** — Япония, Хонсю, широколиственные леса; **ЯПсуб** — Япония, Хонсю, субтропики; **ПЧ** — Причерноморская провинция; **КМ** — Кавказско-Малоазиатская провинция; **ПТ** — Памиро-Тяньшаньская провинция.

Индексы (1) и (2) означают соответственно плакорные (горные) и пойменные (долинные) формации.

Регион	Блочные фиктивные переменные																								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅
СЕШ (<i>L. decidua</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРюж (<i>L. sukaczewii</i>)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРст (<i>L. sukaczewii</i>)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВРсев (<i>L. sukaczewii</i>)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВРст (<i>L. sukaczewii</i>)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
УРср (<i>L. sukaczewii</i>)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСлт(2) (<i>L. sibirica</i>)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСлт(1) (<i>L. sibirica</i>)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ССт (<i>L. gmelinii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ССлт(1) (<i>L. gmelinii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ССсев(2) (<i>L. gmelinii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ССср (<i>L. gmelinii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ССюж (<i>L. gmelinii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВСсев(2) (<i>L. cajanderi</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВСсев(1) (<i>L. cajanderi</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВСср (<i>L. cajanderi</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ДВСев(2) (<i>L. cajanderi</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ДВСев(1) (<i>L. cajanderi</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ДВюж (<i>L. gmelinii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
ДВхш (<i>L. komarovii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ЗБср (<i>L. gmelinii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ЗБюж (<i>L. czekanowskii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
АСлс (<i>L. sibirica</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
АСюж (<i>L. sibirica</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Хан (<i>L. gmelinii</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
ЯПхш (<i>L. leptolepis</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Электронный архив УГЛТУ

2.2.3. ЕЛЬ (*PICEA*)

[illegible]

Электронный архив УГЛТУ

2.2.4. ПИХТА (*ABIES*)

[illegible]

Электронный архив УГЛТУ

2.2.5. СОХА (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. PINASTER*, *P. NIGRA*, *P. DENSIFLORA*, *P. SOSNOWSKII*), ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ

[illegible]

2.2.7. КЕДР (*PINUS SIBIRICA*, *P. KORAIENSIS*)

Регион	Блочные фиктивные переменные				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
УРюж (<i>P. sibirica</i>)	0	0	0	0	0
ЗСюж (<i>P. sibirica</i>)	1	0	0	0	0
ССер (<i>P. sibirica</i>)	0	1	0	0	0
ДВхш (<i>P. koraiensis</i>)	0	0	1	0	0
ЗБюж (<i>P. sibirica</i>)	0	0	0	1	0
АСюж (<i>P. sibirica</i>)	0	0	0	0	1

2.2.8. БЕРЕЗА (*BETULA*)

Регион	Блочные фиктивные переменные																												
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆	X ₂₇	X ₂₈	
СЕш (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРср (<i>B. alba</i>)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРюж (<i>B. alba</i>)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРхш (<i>B. alba</i>)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРш (<i>B. alba</i>)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРст (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВРлт (<i>B. tortuosa</i>)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВРсев (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВРср (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВРюж (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
УРсев (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
УРср (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
УРюж (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСлт (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСср (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСюж (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСлс (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ЗСст (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ССлт (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ССсев (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ССср (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ВСср (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ДВср (<i>B. platyphylla</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
ДВхш (<i>B. costata</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ЗБюж (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
АСюж (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
АСлс (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
ЯП (<i>B. maximowicziana</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
КМ (<i>B. alba</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Электронный архив УГЛТУ

2.2.9. ОСИНА И ТОПОЛИ (*POPULUS*)

[illegible]

2.2.10. ОЛЬХА (*ALNUS*)

Электронный архив УГЛТУ

Регион	Блочные фиктивные переменные				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
СЕш (<i>A. glutinosa</i>)	0	0	0	0	0
СРлт (<i>A. incana</i>)	1	0	0	0	0
СРюж (<i>A. incana</i>)	0	1	0	0	0
СРхш (<i>A. incana</i>)	0	0	1	0	0
СРхш (<i>A. glutinosa</i>)	0	0	0	1	0
СРш (<i>A. glutinosa</i>)	0	0	0	0	1

2.2.11. ДУБ (*QUERCUS*)

Регион	Блочные фиктивные переменные												
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃
СЕхш (<i>Q. robur</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СЕш (<i>Q. robur</i>)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СЕш (<i>Q. petraea</i>)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СЕш (<i>Q. rubra</i>)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СЕсуб (<i>Q. ilex</i>)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРхш (<i>Q. robur</i>)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
СРш (<i>Q. robur</i>)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
СРлс (<i>Q. robur</i>)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
СРст (<i>Q. robur</i>)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ДВхш (<i>Q. mongolica</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
ЯП (<i>Q. glauca</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
ЯП (<i>Q. phillyraeoides</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
ПЧ (<i>Q. robur</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
КМ (<i>Q. castaneifolia</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

2.2.12. БУК (*FAGUS*)

Регион	Блочные фиктивные переменные		
	X ₁	X ₂	X ₃
СЕхш (<i>F. silvatica</i>)	0	0	0
СЕш (<i>F. silvatica</i>)	1	0	0
ЯПш (<i>F. crenata</i>)	0	1	0
ПЧ (<i>F. orientalis</i>)	0	0	1

Регион	Блочные фиктивные переменные								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
СРхш (<i>T. cordata</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СРхш (<i>T. platyphyllos</i>)	1	0	0	0	0	0	0	0	0
СРш (<i>T. cordata</i>)	0	1	0	0	0	0	0	0	0
СРст (<i>T. cordata</i>)	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ВРхш (<i>T. cordata</i>)	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ВРш (<i>T. cordata</i>)	0	0	0	0	1	0	0	0	0
ВРлс (<i>T. cordata</i>)	0	0	0	0	0	1	0	0	0
УРюж (<i>T. cordata</i>)	0	0	0	0	0	0	1	0	0
УРлс (<i>T. cordata</i>)	0	0	0	0	0	0	0	1	0
ДВхш (<i>T. amurensis</i>)	0	0	0	0	0	0	0	0	1

2.2.14. ЯСЕНЬ (*FRAXINUS*)

Регион	Блочные фиктивные переменные		
	X ₁	X ₂	X ₃
СЕш (<i>F. excelsior</i>)	0	0	0
СРш (<i>F. excelsior</i>)	1	0	0
СРлс (<i>F. excelsior</i>)	0	1	0
ПЧ (<i>F. excelsior</i>)	0	0	1

2.3. ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКУРСИВНОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛЕЙ ПРЕДЕЛЬНЫХ МАССООБРАЗУЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ФИТОМАССЫ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

2.3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При географическом анализе фитомассы применен метод расчета рекурсивных систем уравнений с блоковыми фиктивными переменными. Поскольку фактические данные характеризуют насаждения разного возраста и различной морфоструктуры, для приведения их к сопоставимому виду использован многомерный регрессионный анализ. При этом запас фитомассы описывался как функция возраста, средних высоты и диаметра стволов, густоты древостоя, а также запаса стволовой древесины.

Из общей структуры фитомассы насаждений исключена и далее не анализируется фракция нижних ярусов (суммарный показатель фитомассы подроста, подлеска и напочвенного покрова), которая фигурировала ранее

при географическом анализе фракционной структуры фитомассы, оцененной как по данным пробных площадей, приведенным к сопоставимому виду (Усольцев, 2001), так и по нормативным данным в виде таблиц биологической продуктивности, совмещенным с традиционными таблицами хода роста древостоев (Усольцев, 2002а). Причина исключения состояла в чрезвычайно высокой изменчивости фитомассы нижних ярусов, которая в отличие от основного яруса зачастую не объясняется морфологическими особенностями полога и соответствующими независимыми переменными в оценочных уравнениях фитомассы. В результате уравнения, рассчитанные для фитомассы нижних ярусов, корректно не совмещаются с цепочкой рекурсивных уравнений массообразующих показателей древостоев. Кроме того, в предельном ценотическом (перегущенном) состоянии насаждений доля нижних ярусов в общей фитомассе фитоценоза обычно ничтожно мала и ею можно пренебречь.

Уравнение (1.1) из раздела 1.3 с использованием кодировки регионов (раздел 2.2) модифицировано к виду

$$\ln(P_i/M) \text{ или } \ln P_i = f(X_0, \dots, X_n, \ln A, \ln H, \ln D, \ln N, \ln M), \quad (2.1)$$

где P_i — фитомасса i -й фракции (P_S, P_{SB}, P_F, P_B , и P_R — соответственно ствол с корой, коры стволов, хвои, ветвей и корней) в абсолютно сухом состоянии, т/га; A — возраст древостоя, лет; D и H — соответственно, средние диаметр (см) и высота древостоя (м); N — число стволов, тыс. экз/га; M — запас, м³/га.

При исследовании сложных систем изолированные оценки редко дают адекватные результаты. Обычно взаимосвязи в лесной экосистеме эффективнее описываются с помощью не одной, а нескольких характеристик, которые частично или полностью взаимозависимы. Раздельное описание подобных зависимостей регрессионными уравнениями приводит к тому, что полученные оценки характеристик не будут сбалансированными.

Математические зависимости, объединенные в единую логически непротиворечивую концепцию, образуют систему связанных уравнений, основное достоинство которой — внутренняя согласованность описываемых закономерностей. Различают три разновидности связанных уравнений: псевдонесвязанные, одновременные и рекурсивные (Усольцев, 1998). Последние получили наибольшее распространение в зарубежном лесоводстве при моделировании роста и прироста древостоев на основе совместимых уравнений, т. е. уравнений, связанных между собой по рекурсивному принципу. В этом случае в цепочке регрессионных уравнений, рассчитываемых по одному в логически последовательном порядке, зависимая переменная предыдущего уравнения входит в последующее в качестве одной из независимых переменных.

Уравнения (2.1), как и другие подобные им эмпирические выражения, не могут быть использованы как оценочные непосредственно, поскольку мы можем задать в них только возраст A , а соответствующие этому возрасту характеристики морфоструктуры (D, H, N) и запаса M древостоев остаются неизвестными. Уравнения (2.1), работают по принципу “Что будет, если...?”, и для получения запасов фитомассы в том или ином регионе необходимо иметь набор массоопределяющих показателей и запасов стволовой

древесины, характерный для региона или его части, чтобы совместить этот набор с исходными (базовыми) уравнениями (2.1). В зависимости от задачи исследования и соответствующего способа “подачи” упомянутых неизвестных, названное совмещение выполняется в разных вариантах.

Вариант 1. Сложившиеся в России и большинстве западных стран технологии лесоинвентаризации не учитывают современные потребности и не ориентированы на решение актуальных экологических проблем разных уровней — от локального до глобального. В имеющихся и вновь создаваемых банках лесоустроительных данных заложена информация только о запасах стволовой древесины. Лесоустройством накоплена обширнейшая информация о лесах в виде упомянутых банков данных. Последние в силу чрезвычайной трудоемкости получения данных весовой таксации по полному фракционному составу фитомассы (ствол, кора ствола, хвоя, листья, ветви, корни) сегодня невозможно продублировать данными о фитомассе лесов и ее продуктивности. Единственно возможный путь — использовать банки данных лесоустройства, сопрягая их с многофакторными регрессионными моделями вида (1.1) или (2.1). В монографии автора (Усольцев, 1998) разработана специальная программа сортировки повидельных банков данных лесоустройства с приведением их к виду, позволяющему экстраполировать модели (1.1) или (2.1) на лесопокрытую площадь того или иного региона. Тем самым, создана предпосылка для создания автоматизированных банков данных о фитомассе лесов и для разработки картосхем их биопродуктивности с иерархией от уровня лесничества до общенационального.

Вариант 2. Имеющиеся сегодня данные о фитомассе лесов не могут быть непосредственно использованы для выявления региональных закономерностей распределения фитомассы, поскольку не сопоставимы в силу варьирования возраста, уровня продуктивности и полноты. Для обеспечения такой сопоставимости уравнения (2.1) дополняются рекурсивной цепочкой возрастных трендов средних массообразующих показателей насаждений. Известно, что продуктивность древесного ценоза определяется по соотношению его возраста и высоты. Поэтому в качестве базовой в упомянутой цепочке была принята зависимость $H \sim A$, дифференцированная по регионам блоковыми фиктивными переменными $X_0, \dots, X_n$. Далее следует цепочка рекурсивных зависимостей, обеспечивающая последовательное накопление региональных различий в возрастной динамике массообразующих показателей среднего диаметра D , затем густоты древостоя N и наконец — запасов стволовой древесины M :

$$\begin{aligned} \ln H &= f(X_0, \dots, X_n, \ln A) \rightarrow \ln D = f(X_0, \dots, X_n, \ln A, \ln H) \rightarrow \\ &\rightarrow \ln N = f(X_0, \dots, X_n, \ln A, \ln H, \ln D) \rightarrow \\ &\rightarrow \ln M = f(X_0, \dots, X_n, \ln A, \ln H, \ln D, \ln N). \end{aligned} \quad (2.2)$$

В последовательности упомянутой цепочки протабулированы уравнения (2.2) и затем (2.1). В результате для каждого региона получены возрастные тренды фитомассы по наиболее репрезентативным условиям произрастания регионов, которые сопоставляются по регионам и используются для географического анализа распределения фитомассы насаждений дан-

ной древесной породы для любого заданного возраста в пределах Северной Евразии (Усольцев, 2001).

Вариант 3. Учет всех компонентов (фракций) фитомассы лесных экосистем, как и углерода в ее составе, может быть осуществлен несколькими методами, в том числе с помощью таблиц их биологической продуктивности (ТБП). За 150-летнюю историю лесотаксационной науки составлено большое количество региональных таблиц хода роста (ТХР) древостоев разных пород. Данные же о запасах и продуктивности фитомассы по сравнению с традиционными данными таксации лесов отрывочны и малочисленны. Поэтому создание приемлемой нормативной базы для оценки фитомассы традиционными таксационными методами, причем в кратчайшие сроки, практически невозможно. Единственно приемлемый путь для заполнения информационных “белых пятен” по фитомассе — сопряжение ТХР с данными о фитомассе лесов на основе многофакторных регрессионных моделей (2.1).

При совмещении моделей фитомассы (2.1) с традиционными ТХР уравнения табулировали по массообразующим показателям ТХР как регрессорам. В результате получен набор около 600 ТБП насаждений для 13 лесообразующих пород Северной Евразии (Усольцев, 2002a).

В настоящей работе предпринята попытка реализовать **вариант 4.** Суть его состоит в сопряжении (совмещении) уравнений (2.1) с рекурсивной цепочкой моделей предельных массообразующих показателей древостоев, формирующих линию самоизреживания по тому или иному показателю. Принцип построения таких предельных линий самоизреживания был показан в разделе 1.6.3.2.

Исследование региональных закономерностей распределения предельных показателей фитомассы проведено с использованием методических разработок, изложенных в разделе 1.6.3: рассчитывается возрастная серия густотных траекторий сначала для массообразующих показателей, а затем — для показателей фитомассы. Все системы упомянутых траекторий обладают одним общим свойством — их правые ветви пересекаются между собой, формируя предельную линию самоизреживания, выше которой древостой существовать не могут.

Таким образом, при расчете предельных показателей фитомассы применен рекурсивно-регрессионный принцип, т.е. последовательная цепочка взаимосвязанных многофакторных уравнений. В нашем случае цепочка состояла из четырех звеньев, каждое из которых представляло отдельный этап статистико-регрессионного анализа региональных различий: сначала верхних пределов высоты среднего дерева, затем — верхних пределов диаметра среднего дерева, далее — предельного запаса стволовой древесины и, наконец, — предельных показателей фитомассы в зависимости от возраста и густоты.

На первом этапе рассчитаны траектории изменения высоты среднего дерева ($H_{\max}$, м), максимальной для каждого класса возраста, и в пределах последнего — максимальной для каждой градации густоты. Для получения исходных данных к расчету таких траекторий все значения H были распределены по каждому региону в двухходовые (по возрасту и густоте) матрицы, из каждой ячейки которых в формате программы EXCEL отобраны максимальные значения $H_{\max}$.

В нашем случае отбирались 2—4 максимальных значения $H_{\max}$ в древостоях разной густоты, но одного возраста. Их графический анализ показал, что как и при моделировании предельной продуктивности биогрупп (см. раздел 1.6.3.2.), зависимость $\ln H_{\max} = f(\ln N)$ отклоняется от “правила 3/2”, являясь специфической для каждой возрастной группы, и описывается уравнением скорее параболы, нежели прямой линии. Поскольку общий возрастной тренд также отклоняется от прямой, в аппроксимирующее уравнение общего вида $\ln H_{\max} = f(\ln A, \ln N)$ включены переменные второго порядка не только для $(\ln N)$, но и для $(\ln A)$:

$$\ln H_{\max} = f[X_0, \dots, X_n, \ln A, (\ln A)^2, \ln N, (\ln N)^2, (\ln A)(\ln N)]. \quad (2.3)$$

Далее по всему массиву экспериментальных данных рассчитываются многофакторные уравнения вида

$$\ln D = f(X_0, \dots, X_n, \ln A, \ln H, \ln N) \quad (2.4)$$

и

$$\ln M = f(X_0, \dots, X_n, \ln A, \ln H, \ln N, \ln D). \quad (2.5)$$

Уравнения (2.3)—(2.5) образуют рекурсивную цепочку

$$\begin{aligned} \ln H_{\max} = f(X_0, \dots, X_n, \ln A, \ln N) \rightarrow \ln D = f(X_0, \dots, X_n, \ln A, \ln H, \ln N) \rightarrow \\ \rightarrow \ln M = f(X_0, \dots, X_n, \ln A, \ln H, \ln N, \ln D). \end{aligned} \quad (2.6)$$

Ниже в разделах 2.3.2—2.3.14 приведена характеристика рекурсивной системы уравнений (2.6) и (2.1).

В последовательности упомянутой цепочки протабулированы уравнения (2.6) и затем (2.1), и для каждого региона получены линии предельной (по условию самоизреживания) фитомассы, методы и результаты построения которых даны в главе 3.

2.3.2. ЛИСТВЕННИЦА (*LARIX*)*

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)					
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$	$a_5 X_5$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	−3,7154	0,2833	0,0172	−0,0812	−0,1490	−0,3150
$\ln(D, \text{см})$	0,6027	0,1133	−0,1222	−0,3145	−0,0698	−0,2660
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	−1,3480	0,0811	0,1657	0,0456	0,1441	−0,2166
$\ln(P_s, \text{т/га})$	−0,8029	0,1442	0,1381	0,3235	0,1460	0,2211
$\ln(P_{sb}, \text{т/га})$	−1,2863	0,0951	0,0951	−0,2508	−0,1241	0,2421
$\ln[(P_f/M), \text{т/м}^3]$	−0,3909	0,2683	−0,6180	−0,1790	0,0858	0,2112
$\ln[(P_b/M), \text{т/м}^3]$	2,7099	−0,3802	−0,3460	0,2825	−0,2964	−0,4136
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	−0,0904	0,4498	0,8937	0,6271	−0,3859	0,4498

Зависимые переменные	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,4605	-1,1807	-1,9823	-0,6244	-0,5607	-0,3861
$\ln(D, \text{ см})$	-0,4114	-0,5193	-0,2767	-0,7208	-0,3917	-0,4045
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	0,1029	-0,2546	-0,4091	-0,7477	-0,6294	-0,0253
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,0764	0,0188	0,2300	0,1884	0,2057	0,1939
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	0,3028	0,4416	0,4416	0,4416	0,1757	0,3617
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	-0,8024	-0,3797	-0,1506	-0,2848	0,3070	-0,4157
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,3308	-0,0886	0,8791	1,0858	-0,1402	0,1694
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	0,1657	0,1657	0,9230	0,1657	-0,5837	-0,5837
Зависимые переменные	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$	$a_{17} X_{17}$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,7165	-0,6284	-1,1182	-0,5425	-0,3620	-0,9868
$\ln(D, \text{ см})$	-0,0724	-0,6333	-0,4979	-0,5076	-0,3991	-0,3982
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	0,1765	0,0157	-0,0845	0,1643	-0,5178	-0,8174
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,1418	0,1004	0,1953	0,1763	0,2050	0,2022
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	0,0384	0,3034	0,2492	0,3233	-0,2247	-0,0972
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	0,4974	-0,3899	-0,6143	-0,4723	0,4054	0,6695
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,1186	-0,7087	-0,5221	-0,3945	0,3693	0,4112
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,5837	-0,8138	-0,8138	-0,4666	0,9303	0,3648
Зависимые переменные	$a_{18} X_{18}$	$a_{19} X_{19}$	$a_{20} X_{20}$	$a_{21} X_{21}$	$a_{22} X_{22}$	$a_{23} X_{23}$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,3118	-0,1306	-0,5710	-0,2912	-0,2805	-0,4825
$\ln(D, \text{ см})$	-0,4749	-0,1537	-0,5190	-0,3676	-0,2898	-0,4113
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	0,1434	-0,1492	-0,1033	-0,1552	0,2445	-0,0008
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,0445	0,0716	0,5480	0,1861	0,0996	0,3034
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	0,4464	-0,0187	0,2975	0,4249	0,2920	0,1059
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	-1,0355	-0,2624	0,1290	-0,0741	-0,0589	-0,0349
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,3295	0,0579	-0,3588	0,1313	-0,2345	-0,3422
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	0,6448	0,6448	0,7726	0,7726	0,2191	0,2599
Зависимые переменные	$a_{24} X_{24}$	$a_{25} X_{25}$	$a_{26}(\ln A)$	$a_{27}(\ln A)^2$	$a_{28}(\ln D)$	
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,3640	0,1374	2,8191	-0,2762	—	
$\ln(D, \text{ см})$	-0,4730	-0,1374	—	-0,0218	—	
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	0,0871	0,1271	—	—	1,2791	
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,4269	-0,0529	—	—	—	
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	0,1059	0,1059	—	—	—	
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	-0,2377	-0,3619	-0,1982	—	-0,9551	
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	0,1358	-0,4223	-1,4962	0,1526	0,5155	
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	0,2599	0,5168	0,4565	—	-1,4515	

Зависимые переменные	$a_{29}(\ln H)$	$a_{30}(\ln H)^2$	$a_{31}(\ln N)$	$a_{32}(\ln N)^2$	$a_{33}(\ln M)$	$a_{34}(\ln A)(\ln H)$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	—	—	0,5992	-0,0527	—	—
$\ln(D, \text{см})$	1,0012	-0,1765	-0,0649	-0,0313	—	0,1307
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	1,0194	—	0,6971	—	—	—
$\ln(P_S, \text{т/га})$	—	—	-0,0133	—	0,9963	—
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,2561	—	—	—	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	—	—	-0,1245	—	—	—
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,7234	—	-0,0638	—	—	—
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	—	—	-0,4608	—	—	—
Зависимые переменные	$a_{35}(\ln A)(\ln N)$	$a_{36}(\ln H)(\ln N)$	$a_{37}\ln(P_F/M)$	$a_{38}(\ln P_S)$	R^2	SE^{**}
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,1408	—	—	—	0,925	0,127
$\ln(D, \text{см})$	—	-0,0486	—	—	0,952	0,140
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	—	—	—	—	0,947	0,284
$\ln(P_S, \text{т/га})$	—	—	—	—	0,995	0,089
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	—	—	—	0,9816	0,944	0,199
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	0,716	0,484
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	—	—	0,3001	—	0,810	0,286
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	0,865	0,340

* Обозначения переменных в моделях см. в разделе 2.3.1.

** SE — здесь и далее стандартная ошибка уравнения.

2.3.3. ЕЛЬ (PICEA)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)				
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-4,2081	-0,1161	-0,2465	-0,0554	-0,1074
$\ln(D, \text{см})$	0,3806	0,0989	-0,0164	-0,0731	-0,0659
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-1,2995	0,0127	-0,1992	-0,2117	-0,0759
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,9644	0,0051	0,0731	0,0246	0,0906
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-1,2744	-0,1510	-0,1163	-0,2759	-0,1761
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	2,4871	-0,2348	-0,3686	-0,2113	-0,1467
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,6922	0,0879	0,0913	-0,0503	0,1670
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-1,4639	0,4903	0,1778	0,1025	0,5688

Зависимые переменные	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$	$a_{10} X_{10}$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	0,0196	-0,0932	-0,5774	-0,3037	-0,2464	-1,1301
$\ln(D, \text{см})$	0,0519	0,1472	0,0337	-0,0444	-0,0676	0,1042
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-0,0271	-0,0250	-0,0141	-0,1767	-0,2774	-0,2955
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,0669	0,1232	-0,0477	0,1481	0,1049	0,0851
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,0999	-0,0999	-0,3036	0,1198	0,2588	0,3237
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,4622	-2,4533	-0,6267	-0,0204	-0,1336	-1,2983
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,0973	0,0880	0,1741	0,1573	0,0569	0,5402
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0,3458	0,7953	0,1227	0,7345	0,4751	1,5203
Зависимые переменные	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	-0,8842	-0,3178	-0,1150	-0,3543	-0,8107	-0,2941
$\ln(D, \text{см})$	-0,0434	-0,0756	0,0214	-0,1500	-0,0846	-0,3615
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-0,3163	-0,0483	-0,0815	-0,0044	-0,3659	-0,4598
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,0665	0,1523	0,0344	-0,0190	0,0368	-0,0544
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	0,3237	0,2273	-0,1173	0,2273	0,3598	0,1852
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,2326	-0,0705	-0,1352	0,0012	-0,3128	-0,2715
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	0,1470	-0,1191	-0,1011	0,0838	0,1800	0,1306
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	1,0912	0,7345	0,4751	0,7345	1,0912	0,7345
Зависимые переменные	$a_{17} X_{17}$	$a_{18} X_{18}$	$a_{19} X_{19}$	$a_{20} X_{20}$	$a_{21} X_{21}$	$a_{22} X_{22}$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	-0,3829	-0,9144	-0,2331	0,2083	-0,4756	-0,5131
$\ln(D, \text{см})$	0,0674	-0,3837	0,1605	0,2162	-0,1675	0,0856
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,0816	-0,2988	-0,5364	-0,3087	-0,5076	0,1139
$\ln(P_S, \text{т/га})$	0,0914	0,0266	-0,0593	0,0650	-0,0475	-0,0783
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,3711	0,3328	0,1273	0,2136	-0,3711	-0,1849
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-1,0858	-0,1819	-0,2849	-0,5340	0,0086	-2,1212
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	0,2652	-0,1283	0,1841	0,3288	0,3281	1,5514
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0,6835	0,7345	0,1120	0,2178	0,6835	-0,0073
Зависимые переменные	$a_{23} X_{23}$	$a_{24} X_{24}$	$a_{25} X_{25}$	$a_{26} X_{26}$	$a_{27}(\ln A)$	$a_{28}(\ln A)^2$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	0,0821	-0,0872	-0,1804	-0,3462	3,1481	-0,3247
$\ln(D, \text{см})$	0,1039	0,2577	0,2242	0,0295	0,1064	—
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,0036	-0,0655	-0,3877	-0,1353	—	—
$\ln(P_S, \text{т/га})$	0,1892	0,2492	0,4653	-0,1789	0,0859	—
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	0	0	0,0524	0,0524	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,0318	0,0531	-0,0081	-0,5801	-1,3243	0,1268
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,2838	-0,1673	0,1960	-0,1074	—	—
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0	0	-0,9299	-0,9299	0,1921	—

Зависимые переменные	$a_{29}(\ln N)$	$a_{30}(\ln N)^2$	$a_{31}(\ln H)$	$a_{32}(\ln A)(\ln N)$	$a_{33}(\ln A)^2(\ln N)$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	0,2277	-0,0682	—	—	-0,0195
$\ln(D, \text{ см})$	—	—	0,7316	-0,0388	—
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	0,6789	—	1,2501	—	—
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	—	—	—	—
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	—	—	—	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	-0,7266	—	—
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	-0,5357	—	—
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,0941	—	-0,6019	—	—

Зависимые переменные	$a_{34}(\ln D)$	$a_{35}(\ln M)$	$a_{36}(\ln P_S)$	$a_{37} \ln(P_F/M)$	R^2	SE
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	—	—	—	—	0,969	0,091
$\ln(D, \text{ см})$	—	—	—	—	0,959	0,143
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	1,1299	—	—	—	0,954	0,242
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	0,9434	—	—	0,986	0,134
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	-0,2952	—	0,9765	—	0,962	0,196
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	—	0,792	0,383
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	0,4019	—	—	0,5551	0,800	0,264
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	—	0,611	0,265

2.3.4. ПИХТА (ABIES)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)				
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-1,6852	-0,0630	-0,1609	-0,3536	-0,2658
$\ln(D, \text{см})$	1,0451	-0,2542	-0,1497	-0,3435	-0,3617
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-0,4798	-0,0387	-0,4722	-0,2186	-0,2752
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-1,0236	-0,1715	-0,0369	-0,1652	0,1507
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-1,1138	0	0	0	0
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,166	0,1798	0,6889	0,2810	1,1529
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,1951	-0,2520	0,0567	-0,1680	0,2625
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-1,2218	-0,1020	-0,1020	-0,1020	-0,1020
Зависимые переменные	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,2250	-0,2749	-0,0626	-0,4209	-0,2972
$\ln(D, \text{см})$	-0,1661	-0,1109	-0,0149	-0,1986	-0,2195
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-0,2286	-0,4656	-0,3728	-0,7347	-0,3163
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,2800	-0,0716	0,0748	0,0399	-0,1754
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	0	0	0	0	0
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	0,2693	0,7425	0,6291	1,0617	0,2921
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,1997	0,2484	0,2517	0,0928	-0,1328
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-0,1601	0,5932	0,7036	1,3432	-0,1105

Зависимые переменные	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,4257	-0,2424	-0,0253	0,2224	0,1211
$\ln(D, \text{ см})$	-0,1404	0,0488	-0,0203	-0,2418	0,1588
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	-0,2684	-0,3965	-0,1363	-0,2442	-0,7052
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	-0,2194	-0,0027	-0,1021	0,0252	0,0877
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	0	0	0	0	0
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	-0,8826	0,7991	0,5614	0,2682	0,5919
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	1,2042	-0,1872	-0,2077	0,5626	0,3660
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,1105	-0,1105	0,2992	0,6940	0,5843

Зависимые переменные	$a_{15}(\ln A)$	$a_{16}(\ln A)^2$	$a_{17}(\ln D)$	$a_{18}(\ln V)$	$a_{19}(\ln V)^2$	$a_{20}(\ln A)(\ln V)$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	1,8805	-0,1763	—	—	-0,0585	-0,0565
$\ln(D, \text{ см})$	—	0,0130	—	-0,1956	—	—
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	—	—	0,9036	0,7317	—	—
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,0944	—	-0,0866	—	—	—
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	—	—	-0,1106	—	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	-0,4355	—	-0,2633	-0,1659	—	—
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	-0,1707	—	—
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,2775	—	—	—	—	—

Зависимые переменные	$a_{21}(\ln H)$	$a_{22}(\ln M)$	$a_{23}(\ln P_S)$	$a_{24}\ln(P_F/M)$	R^2	SE
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	—	—	—	—	0,912	0,170
$\ln(D, \text{ см})$	0,6576	—	—	—	0,971	0,108
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	1,2922	—	—	—	0,939	0,197
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	0,9952	—	—	0,991	0,083
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	—	—	0,8522	—	0,882	0,147
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	-0,3184	—	—	—	0,838	0,274
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,3758	—	—	0,4607	0,842	0,192
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	—	0,827	0,191

2.3.5. COCHA (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. PINASTER*, *P. NIGRA*, *P. DENSIFLORA*, *P. SOSNOWSKII*), ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)					
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$	$a_5 X_5$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,7548	0,0929	-0,5508	-0,0963	-0,1656	0,0277
$\ln(D, \text{см})$	0,3444	0,2483	0,1353	-0,1317	-0,0785	-0,0621
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-1,3720	-0,4264	-1,0496	-0,0579	-0,1646	-0,1027
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,8119	0,3291	-0,0506	0,0142	-0,0022	-0,0518
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,7497	0,3148	0,0828	0,0828	-0,1526	-0,1254
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	1,3109	0,5541	0,0364	0,0067	0,2957	-0,0763
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,3046	-0,1840	-0,0694	-0,2801	-0,3154	-0,2110
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-2,3055	-0,1403	-0,7799	-0,7799	-0,6415	-0,4210

Зависимые переменные	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	0,0202	-0,3528	-0,5392	-0,3198	-0,0319	-0,3871
$\ln(D, \text{ см})$	-0,0658	0,0004	-0,1269	-0,2018	-0,1319	-0,0128
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	-0,0450	0,2556	-0,0850	-0,0040	-0,0689	0,1712
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	-0,0084	-0,1056	-0,0363	0,0847	-0,0993	-0,0993
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	-0,1196	-0,1196	-0,1642	-0,2234	-0,2234	0,1054
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	0,0268	-0,0470	-0,0450	0,0961	0,1465	-0,1042
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,2984	-1,1255	-0,2659	-0,3788	-0,2141	-0,2141
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,4825	-0,8948	-0,7977	-1,2645	-0,6258	-1,6397
Зависимые переменные	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$	$a_{17} X_{17}$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,4124	-0,3936	-0,4306	-0,1087	-0,4956	-0,1058
$\ln(D, \text{ см})$	0,1400	-0,1247	-0,0829	-0,0783	-0,0908	-0,0767
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	-0,1550	-0,3474	-0,0798	-0,0225	-0,0742	0,0118
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	-0,0741	-0,0741	-0,1210	-0,1199	-0,1836	-0,0046
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	0,1054	0,1054	-0,0254	-0,3789	0,1116	-0,5086
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	0,3168	0,5780	0,2928	0,0095	0,2969	-0,0157
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,3288	-0,3288	-0,4249	-0,2078	-0,7722	-0,1842
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,9639	-0,3001	-0,5093	-0,4706	-1,0779	-0,5201
Зависимые переменные	$a_{18} X_{18}$	$a_{19} X_{19}$	$a_{20} X_{20}$	$a_{21} X_{21}$	$a_{22} X_{22}$	
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,0224	-0,0615	-0,6185	-0,2674	-0,1662	
$\ln(D, \text{ см})$	-0,1109	-0,0215	-0,1121	-0,1658	-0,1478	
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	0,1897	-0,0507	-0,0303	-0,0809	-0,0775	
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	-0,1537	-0,0459	-0,0669	-0,0275	-0,1806	
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	0,0547	0,0150	0,0585	0,2806	-0,0208	
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	0,1129	0,0257	-0,0100	-0,1292	-0,2578	
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,4768	-0,4080	-0,3471	-0,3295	-0,3371	
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,6466	-0,7168	-0,6789	-0,9238	-0,3890	
Зависимые переменные	$a_{23} X_{23}$	$a_{24} X_{24}$	$a_{25} X_{25}$	$a_{26} X_{26}$	$a_{27} X_{27}$	
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,7425	-0,5348	-0,1918	-0,3460	-0,0314	
$\ln(D, \text{ см})$	-0,0403	-0,2634	0,0402	0,0443	-0,0474	
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	-0,0183	-0,2312	-0,5087	0,0877	-0,0101	
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	-0,1126	0,1392	-0,1516	-0,1428	-0,1080	
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	0,0136	0,2080	0,2080	0,0966	-0,0088	
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	0,0247	0,0645	0,1014	-0,5108	0,0873	
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,5936	-0,4724	-0,0633	-0,4346	-0,3479	
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,9381	-0,9381	-0,4900	-0,7826	-0,8271	

Зависимые переменные	$a_{28} X_{28}$	$a_{29} X_{29}$	$a_{30} X_{30}$	$a_{31}(\ln A)$	$a_{32}(\ln A)^2$	
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,0671	-0,4071	-0,1001	1,5806	-0,1541	
$\ln(D, \text{ см})$	0,0969	0,1638	0,2259	0,0955	—	
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	-0,0275	-0,0671	0,2330	0,0658	—	
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,0334	0,3536	-0,0033	0,0569	—	
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	-0,0088	-0,0933	-0,0933	—	—	
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	-0,1288	0,1588	0,3881	-0,3335	—	
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	0,0916	0,4368	0,0015	—	—	
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,2096	-0,2096	-0,3236	0,8088	-0,0772	
Зависимые переменные	$a_{33}(\ln D)$	$a_{34}(\ln H)$	$a_{35}(\ln H)^2$	$a_{36}(\ln N)$	$a_{37}(\ln N)^2$	$a_{38}(\ln A)(\ln N)$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	—	—	—	—	-0,0384	-0,0377
$\ln(D, \text{ см})$	—	0,9439	-0,0517	—	-0,0315	—
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	1,0241	1,2462	—	0,7041	—	—
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	—	—	—	—	—
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	-0,1383	-0,2682	—	—	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	—	-1,3133	—	-0,2467	—	—
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	0,5636	-0,5424	—	-0,0815	—	—
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	0,2987	-0,7484	—	—	—	—
Зависимые переменные	$a_{39}(\ln H)(\ln N)$	$a_{40}(\ln M)$	$a_{41}(\ln P_S)$	$a_{42}\ln(P_F/M)$	R^2	SE
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	—	—	—	—	0,953	0,112
$\ln(D, \text{ см})$	-0,0850	—	—	—	0,973	0,117
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	—	—	—	—	0,952	0,217
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	0,9657	—	—	0,981	0,139
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	—	—	0,8968	—	0,840	0,248
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	—	0,866	0,324
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	0,6493	0,767	0,274
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	—	0,625	0,233

2.3.6. COCHA (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. NIGRA*, *P. THUNBERGII*, *P. STROBUS*, *P. DENSIFLORA*, *P. TAEDA*, *P. ELLIOTTII*, *P. PALLASIANA*, *P. PITYUSA*, *P. PINASTER*, *P. HALEPENSIS*), КУЛЬТУРЫ

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)				
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-2,4295	0,1228	0,3151	-0,0201	0,4686
$\ln(D, \text{ см})$	0,5221	0,1507	-0,0021	0,1737	-0,0598
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	-1,2574	0,4137	0,0905	0,1328	0,3349
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	-0,9425	0,2381	0,0124	0,1382	0,1483
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	-1,5012	0,2834	-0,1994	0,0356	-0,2962
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	1,3386	-0,0317	-0,2700	-0,1699	-0,1832
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,3282	0,0103	0,1440	-0,1042	-0,0492
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-1,5239	0,2556	0,7699	0,0341	0,0341

Зависимые переменные	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$	$a_{10} X_{10}$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	0,4829	0,5037	0,4097	0,1822	0,3051	0,3863
$\ln(D, \text{см})$	-0,0731	-0,1119	-0,0538	-0,2847	-0,1825	-0,0987
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,2619	0,2032	0,2080	0,1797	0,1567	0,3720
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,0534	-0,0571	0,0395	0,2045	0,2146	-0,1469
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,4336	-0,2389	-0,2389	-0,2298	-0,1953	-0,2574
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,2021	-0,2238	-0,2141	-0,0603	-0,2214	-0,5194
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,1905	-0,3213	-0,1748	-0,0526	0,0709	-0,0164
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-0,2084	-0,1195	-0,1625	-0,1625	-0,1625	-0,1625
Зависимые переменные	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	0,3604	0,3510	0,4525	0,3342	-0,0136	0,3002
$\ln(D, \text{см})$	-0,0857	-0,0656	0,0066	-0,0237	0,0046	-0,0415
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,2491	0,3113	0,2115	0,2712	0,1981	0,3255
$\ln(P_S, \text{т/га})$	0,0185	0,0294	0,0133	-0,0943	-0,0334	0,2813
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,3317	-0,3276	-0,3936	0,0812	-0,1358	-0,1358
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,2692	-0,3967	-0,0334	-0,0740	-0,2406	-0,1504
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,2524	-0,1255	-0,2700	-0,5667	-0,1287	-0,1904
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-0,3205	-0,3205	-0,3205	0,9085	-0,1113	0,4312
Зависимые переменные	$a_{17} X_{17}$	$a_{18} X_{18}$	$a_{19} X_{19}$	$a_{20} X_{20}$	$a_{21} X_{21}$	$a_{22} X_{22}$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	0,1420	-0,2849	0,7897	0,7955	-0,1284	0,2688
$\ln(D, \text{см})$	0,0346	-0,0257	0,1889	0,3089	0,1366	0,1744
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,2378	0,4216	0,3583	0,5362	0,4524	0,2040
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,1413	0,1572	0,1842	0,1051	0,1955	0,3602
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,1358	-0,1358	-0,1358	-0,1358	-0,1358	-0,1358
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-1,0100	-0,1835	-0,3126	-0,4071	0,4214	-0,3975
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	0,3278	-0,0991	-0,3643	-1,0615	0,0500	-0,4943
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0,4312	0,4312	0,4312	0,4312	1,0315	0,0695
Зависимые переменные	$a_{23} X_{23}$	$a_{24} X_{24}$	$a_{25}(\ln A)$	$a_{26}(\ln A)^2$	$a_{27}(\ln N)$	$a_{28}(\ln N)^2$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	0,5135	-0,3669	2,3667	-0,2712	0,1305	-0,0409
$\ln(D, \text{см})$	0,0368	0,2707	0,3750	-0,0409	—	-0,0138
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,1958	-0,0967	0,0888	—	0,6594	—
$\ln(P_S, \text{т/га})$	0,4893	0,0394	0,1246	—	—	—
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,1358	-0,1358	0,1145	—	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,4188	0,4190	-0,3669	—	-0,2368	—
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,2603	-0,3388	—	—	-0,0607	—
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0,0695	0,0695	0,6669	-0,0823	-0,3167	—

Зависимые переменные	$a_{29}(\ln H)$	$a_{30}(\ln A)(\ln N)$	$a_{31}(\ln D)$	$a_{32}(\ln M)$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	—	-0,0923	—	—
$\ln(D, \text{ см})$	0,5833	-0,0701	—	—
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	1,1501	—	0,9800	—
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,1474	—	-0,0986	0,9002
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	-0,4847	—	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	-1,1869	—	—	—
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,4995	—	0,4509	—
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	-0,6927	—
Зависимые переменные	$a_{33}(\ln P_S)$	$a_{34} \ln(P_F/M)$	R^2	SE
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	—	—	0,971	0,134
$\ln(D, \text{ см})$	—	—	0,974	0,105
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	—	—	0,938	0,266
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	—	0,979	0,151
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	1,0536	—	0,950	0,199
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	0,875	0,339
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	—	0,6431	0,873	0,236
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	0,706	0,242

2.3.7. КЕДР (*PINUS SIBIRICA*, *P. KORAIENSIS*)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)						
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$	$a_5 X_5$	$a_6(\ln A)$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-10,4936	0,3151	0,2487	0,2885	0,2466	0,2924	5,2362
$\ln(D, \text{ см})$	2,7969	-0,3290	-0,3491	-0,0608	-0,0133	-0,1548	-1,0039
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	-0,8092	0,3060	0,2705	0,2724	-0,1330	0,4929	—
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	-0,7837	-0,0416	-0,0993	-0,0350	-0,1382	-0,3044	—
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	-0,6794	0	0	0	0	0	—
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	3,0154	0,3779	0,7951	0,0583	-0,1428	-1,1195	-0,8060
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	0,3056	-0,2389	-0,2877	0,2478	0,0559	-0,9165	—
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-1,2145	-0,2761	-0,4672	-0,4002	-0,0018	-0,6095	—
Зависимые переменные	$a_7(\ln A)^2$	$a_8(\ln H)$	$a_9(\ln N)$	$a_{10}(\ln D)$	$a_{11}(\ln N)^2$		
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,5157	—	1,1162	—	-0,0418		
$\ln(D, \text{ см})$	0,1294	0,7941	-0,1348	—	—		
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	—	2,1421	0,4549	—	—		
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	—	-0,0302	—	—		
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	—	—	—	-0,2475	—		
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	—	-0,9323	-0,3439	—	—		
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	-0,2156	-0,2109	—		
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	—	—		

Зависимые переменные	$a_{12}(\ln A)(\ln N)$	$a_{13}(\ln M)$	$a_{14}(\ln P_S)$	$a_{15} \ln(P_F/M)$	R^2	SE
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,2594	—	—	—	0,972	0,160
$\ln(D, \text{см})$	—	—	—	—	0,962	0,164
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	—	—	—	—	0,891	0,251
$\ln(P_S, \text{т/га})$	—	1,0140	—	—	0,994	0,128
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	—	—	0,8695	—	0,977	0,188
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	0,909	0,358
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	0,6152	0,965	0,166
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	—	0,9074	—	—	0,970	0,169

2.3.8. БЕРЕЗА (BETULA)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)				
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	1,1552	0,1671	0,3725	0,1382	0,0146
$\ln(D, \text{см})$	-0,7151	-0,0837	-0,1255	-0,0904	0,0124
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-1,0828	-0,2992	-0,2795	-0,2865	-0,2472
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,6852	0,0436	0,0668	-0,0015	0,1293
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-1,1036	-0,1788	-0,1142	-0,0461	0,2705
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,5701	1,1759	0,9632	0,8273	0,6578
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	0,9469	-0,6993	-0,7959	-0,5410	-0,4625
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-3,8864	-0,2550	-0,1392	-0,2772	0,3995
Зависимые переменные	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	0,1950	-1,2102	0,0995	0,0440	0,2943
$\ln(D, \text{см})$	0,0074	-0,0436	-0,1095	-0,1101	-0,0954
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-0,1245	-0,2792	-0,2457	-0,0357	-0,2170
$\ln(P_S, \text{т/га})$	0,2436	-0,0061	-0,0377	-0,0134	0,0154
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	0,2705	0,0527	0,0527	0,3360	0,3360
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	0,9180	-0,2017	1,3048	1,2878	1,0699
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,1453	-0,0098	-0,5165	-0,5536	-0,4458
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-0,2275	0,1549	0,0433	0,1505	-0,2706
Зависимые переменные	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,4848	0,2964	0,2269	-1,5767	0,1377
$\ln(D, \text{см})$	-0,0439	0,0773	-0,1206	-0,1467	-0,1743
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-0,2475	-0,3291	-0,1416	0,8503	-0,3083
$\ln(P_S, \text{т/га})$	0,1170	0,2079	0,0470	-0,0633	0,0521
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	0,1951	-0,0522	0,1634	0,0527	-0,0616
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	1,1162	1,1116	0,9144	0,7170	1,2650
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,7433	-1,1402	-0,5551	-0,4757	-0,5923
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0,7185	0,1505	0,1505	1,1061	0,1505

Зависимые переменные	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$	$a_{17} X_{17}$	$a_{18} X_{18}$	$a_{19} X_{19}$	
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	0,1495	0,0315	-0,1414	-1,0781	-0,3063	
$\ln(D, \text{ см})$	-0,0310	-0,0735	-0,0500	-0,5713	-0,4186	
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	-0,2421	-0,1448	-0,1895	-0,9478	0,2791	
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,0550	0,0315	0,0294	0,1806	0,1340	
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	-0,0616	0,3798	0,3847	0,0527	-0,1339	
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	1,1715	0,9468	0,8333	0,8985	0,2513	
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,4179	-0,3324	-0,2061	-0,1236	-0,6931	
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	0,2610	-0,0790	0,5379	2,6402	0,1505	
Зависимые переменные	$a_{20} X_{20}$	$a_{21} X_{21}$	$a_{22} X_{22}$	$a_{23} X_{23}$	$a_{24} X_{24}$	
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	0,0018	-0,2084	-0,2256	0,1420	-0,2178	
$\ln(D, \text{ см})$	-0,1308	-0,2152	-0,0647	0,2979	-0,0717	
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	0,4518	-0,0959	-0,4259	-0,0839	-0,3478	
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,2214	0,1991	-0,0293	-0,0393	0,0106	
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	-0,0314	-0,4677	-0,0616	0,1299	0,0973	
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	0,4226	0,6826	0,4391	0,6296	-0,3585	
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,4860	-0,2408	-0,6288	-0,3456	0,4192	
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	0,2610	0,1505	0,6222	0,0249	-0,3607	
Зависимые переменные	$a_{25} X_{25}$	$a_{26} X_{26}$	$a_{27} X_{27}$	$a_{28} X_{28}$	$a_{29}(\ln A)$	
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,1325	0,0721	-0,0040	-0,6368	0,7705	
$\ln(D, \text{ см})$	-0,0968	-0,0827	-0,1271	-0,0004	0,9322	
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	-0,0490	-0,1943	-0,2663	-0,2269	—	
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,0804	0,0878	0,1079	0,0053	—	
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	-0,0592	0,4085	0,0973	0,2705	—	
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	0,5381	0,6241	0,6882	0,8651	-0,9632	
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,3966	-0,2315	-0,3818	-0,1216	-0,6730	
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,3607	-0,7901	0	-0,2275	1,9379	
Зависимые переменные	$a_{30}(\ln A)^2$	$a_{31}(\ln M)$	$a_{32}(\ln D)$	$a_{33}(\ln N)$	$a_{34}(\ln N)^2$	$a_{35}(\ln H)$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,0844	—	—	—	-0,0559	—
$\ln(D, \text{ см})$	-0,1010	—	—	—	-0,0132	0,3074
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	—	—	1,0265	0,6178	—	1,2478
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	0,9764	0,0401	—	—	—
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	—	—	—	—	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	0,1155	—	0,2490	—	—	-1,0763
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	0,0817	—	—	-0,1531	—	—
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,2549	—	—	—	—	-0,5734

Зависимые переменные	$a_{36}(\ln H)^2$	$a_{37}(\ln A)(\ln N)$	$a_{38}(\ln P_S)$	$a_{39}\ln(P_R/M)$	R^2	SE
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	—	-0,0465	—	—	0,958	0,101
$\ln(D, \text{см})$	0,0736	-0,0521	—	—	0,970	0,130
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	—	—	—	—	0,931	0,246
$\ln(P_S, \text{т/га})$	—	—	—	—	0,983	0,128
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	—	—	0,7913	—	0,959	0,183
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	0,792	0,325
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	0,4170	0,711	0,212
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	0,835	0,263

2.3.9. ОСИНА И ТОПОЛИ (*POPULUS*)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)				
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	1,2905	-0,6717	-0,6768	-0,6002	-0,7371
$\ln(D, \text{см})$	0,6444	-0,1502	0,0161	-0,2067	0,0267
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-1,3113	-0,0808	0,0566	0,0271	0,0285
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-1,1685	-0,0100	0,2197	0,0475	0,0483
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-1,1327	0,0563	0,2497	0,1990	0,1990
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-0,1184	-0,6451	-0,5464	-0,5359	-0,3813
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,2685	0,2067	-0,1367	0,2776	0,4672
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-0,0632	-0,4533	-0,1906	-0,1906	-0,6202
Зависимые переменные	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,8677	-0,7938	-0,6145	-0,7467	-0,7077
$\ln(D, \text{см})$	-0,3137	-0,1071	-0,1384	-0,1020	-0,1234
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,1383	0,0940	0,0502	-0,0638	-0,1169
$\ln(P_S, \text{т/га})$	0,0487	0,1064	0,1799	0,1444	0,0047
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,1131	0,3220	0,3220	0,0070	0,0070
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-0,9533	-0,5813	-0,7226	-0,4798	-0,5132
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	0,2433	0,1816	0,4922	0,3065	0,5016
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-0,6577	-0,5455	-0,5610	-0,3373	-0,0649
Зависимые переменные	$a_{10} X_{10}$	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} X_{14}$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,8509	-0,8512	-0,8524	-0,7474	-0,6328
$\ln(D, \text{см})$	-0,0379	-0,1737	-0,3787	-0,1978	0,0933
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,0078	-0,4502	-0,0492	-0,1104	0,0958
$\ln(P_S, \text{т/га})$	0,0615	-0,0403	-0,0213	0,1187	-0,0501
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,0537	-0,2179	-0,1131	-0,5405	-0,1235
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-0,6020	-0,1990	-1,0917	-0,4939	-0,2704
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	0,5746	-0,5535	0,3930	-0,0984	-0,1055
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0,2870	-0,7218	-0,9467	-0,7206	-1,2593

Зависимые переменные	$a_{15} X_{15}$	$a_{16} X_{16}$	$a_{17} X_{17}$	$a_{18} X_{18}$	$a_{19} X_{19}$	$a_{20}(\ln A)$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-1,0136	-0,8700	-0,3269	-1,1359	-1,8657	1,1805
$\ln(D, \text{ см})$	-0,1098	-0,1166	0,1130	-0,3546	0,5702	0,1653
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	0,0153	0,0381	0,1924	0,7672	0,4528	—
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	-0,1574	-0,0444	-0,1101	0,0154	-0,0124	0,1715
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	0,3338	0,1426	0,2497	0,2497	0,2497	—
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	-0,5214	-0,7036	-0,4240	-0,4924	-0,8455	-0,2337
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	-0,3469	0,5829	0,8518	0,2904	-0,4461	0,3958
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	-0,8568	-1,3731	-1,5834	-1,5834	-1,9597	—
Зависимые переменные	$a_{21}(\ln A)^2$	$a_{22}(\ln N)$	$a_{23}(\ln N)^2$	$a_{24}(\ln H)$	$a_{25}(\ln D)$	$a_{26}(\ln A)(\ln N)$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	-0,1314	—	-0,0498	—	—	-0,0665
$\ln(D, \text{ см})$	—	-0,2276	—	0,6051	—	-0,0232
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	—	0,6051	—	1,3059	1,0078	—
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	0,0448	—	—	—	—
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	—	—	—	—	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	-0,9939	—	—
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	—	-0,1565	—	-0,5132	0,2625	—
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	—	0,2707	—	-1,6867	1,1855	—
Зависимые переменные	$a_{27}(\ln M)$	$a_{28}(\ln P_S)$	$a_{29} \ln(P_F/M)$	R^2	SE	
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	—	—	—	0,976	0,069	
$\ln(D, \text{ см})$	—	—	—	0,975	0,129	
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	—	—	—	0,959	0,208	
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	0,9389	—	—	0,989	0,124	
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	—	0,8281	—	0,978	0,153	
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	0,904	0,271	
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	0,8042	0,829	0,275	
$\ln[(P_R/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	0,868	0,242	

2.3.10. ОЛЬХА (ALNUS)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)					
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$	$a_5 X_5$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	2,1844	-0,2601	0,2015	0,2943	0,2256	0,2561
$\ln(D, \text{см})$	1,0928	-0,2836	-0,3347	-0,3249	-0,3012	-0,2238
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-1,2281	-0,8052	0,1804	-0,0812	-0,0402	0,0494
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,6874	0,0936	0,0092	-0,0686	0,0776	0,3257
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,0263	0	0	0	0	0
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-1,7252	0,9054	-0,0254	0,2704	0,5164	0,4362
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-1,3775	2,0128	0,2852	0,2403	0,1406	0,0701
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-0,8675	1,6071	-0,3831	0,6559	0,6559	0,6422

Зависимые переменные	$a_6(\ln A)$	$a_7(\ln A)^2$	$a_8(\ln A)^3(\ln V)$	$a_9(\ln V)$	$a_{10}(\ln V)^2$	$a_{11}(\ln H)$
$\ln(H_{\max}, M)$	—	0,0430	-0,0098	—	-0,0613	—
$\ln(D, \text{см})$	0,1732	—	—	-0,2279	—	0,4848
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	—	—	—	0,6218	—	1,3232
$\ln(P_S, \text{т/га})$	—	—	—	—	—	—
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	—	—	—	-0,3511	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	—	-1,1109
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	—	-1,2149
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0,5508	—	—	-0,5717	—	—
Зависимые переменные	$a_{12}(\ln D)$	$a_{13}(\ln M)$	$a_{14}(\ln P_S)$	$a_{15} \ln(P_F/M)$	R^2	SE
$\ln(H_{\max}, M)$	—	—	—	—	0,983	0,107
$\ln(D, \text{см})$	—	—	—	—	0,970	0,152
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,9624	—	—	—	0,943	0,209
$\ln(P_S, \text{т/га})$	—	0,9688	—	—	0,977	0,156
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-0,8230	—	1,0739	—	0,952	0,165
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	0,798	0,391
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	0,9199	—	—	0,2105	0,830	0,219
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-1,3550	—	—	—	0,892	0,194

2.3.11. ДУБ (*QUERCUS*)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)				
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-2,0738	0,1775	0,2043	0,3029	-0,3987
$\ln(D, \text{см})$	0,0631	0,0473	0,0706	-0,0380	0,3116
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-0,0668	0,1308	0,1999	0,2819	1,0748
$\ln(P_s, \text{т/га})$	-0,7137	0,1393	0,0686	0,1542	0,2187
$\ln(P_{sb}, \text{т/га})$	-2,1234	0,3997	0,2433	0,4489	0,4489
$\ln[(P_f/M), \text{т/м}^3]$	1,6053	0,1156	0,3079	0,2166	-0,0065
$\ln[(P_b/M), \text{т/м}^3]$	1,2758	0,1731	0,1285	-0,2169	-0,9650
$\ln[(P_r/M), \text{т/м}^3]$	0,6307	0,1739	0,1462	0,1462	-0,3713

Зависимые переменные	$a_5 X_5$	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$	$a_{10} X_{10}$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,0231	0,1816	0,3514	-0,0201	0,2355	-0,1654
$\ln(D, \text{см})$	0,2129	0,1049	0,0637	0,1288	0,1888	0,1907
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-0,0315	0,2915	0,0899	0,1517	0,2766	0,4581
$\ln(P_s, \text{т/га})$	0,0489	0,0872	0,2353	0,2243	0,0616	0,1854
$\ln(P_{sb}, \text{т/га})$	0,2846	0,5818	0,4044	0,1138	0,5543	0,3773
$\ln[(P_f/M), \text{т/м}^3]$	0,2542	0,2198	0,3095	0,2731	-0,0267	0,0276
$\ln[(P_b/M), \text{т/м}^3]$	0,0129	-0,2878	-0,0947	-0,3910	-0,3989	0,1687
$\ln[(P_r/M), \text{т/м}^3]$	-0,9653	0,2959	0,5332	0,3969	0,3998	0,2273

Зависимые переменные	$a_{11} X_{11}$	$a_{12} X_{12}$	$a_{13} X_{13}$	$a_{14} (\ln A)$	$a_{15} (\ln A)^2$	$a_{16} (\ln H)$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,2564	-0,0744	0,2467	2,2131	-0,2435	—
$\ln(D, \text{см})$	0,1380	0,3211	0,0923	0,1999	—	0,6888
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,5439	0,2945	0,5918	0,2072	—	1,1262
$\ln(P_S, \text{т/га})$	0,5569	0,2379	0,1165	—	—	0,0608
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	0,3773	0,3773	-0,6398	0,1729	—	-0,2904
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	0,5203	0,0929	0,3526	-0,1060	—	-0,9374
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,0043	-0,3217	-1,0382	—	—	-0,5961
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0,2273	0,2273	0,2273	-0,1859	—	-0,9011
Зависимые переменные	$a_{17} (\ln N)$	$a_{18} (\ln N)^2$	$a_{19} (\ln A) (\ln N)$	$a_{20} (\ln H) (\ln N)$	$a_{21} (\ln D)$	$a_{22} (\ln D)^2$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	—	-0,0357	-0,0554	—	—	—
$\ln(D, \text{см})$	-0,0864	—	-0,0344	—	—	—
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,6203	—	-0,0836	—	0,3642	—
$\ln(P_S, \text{т/га})$	—	—	—	—	—	—
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	0,1163	—	—	—	0,2994	—
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,1741	-0,0454	—	—	-1,5118	0,2024
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,5295	—	—	0,1338	0,5264	—
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	0,2917	—
Зависимые переменные	$a_{23} (\ln M)$	$a_{24} (\ln P_S)$	$a_{25} \ln(P_F/M)$	R^2	SE	
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	—	—	—	0,927	0,179	
$\ln(D, \text{см})$	—	—	—	0,961	0,170	
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	—	—	—	0,908	0,274	
$\ln(P_S, \text{т/га})$	0,9864	—	—	0,982	0,133	
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	—	0,7784	—	0,938	0,234	
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	0,777	0,340	
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	—	—	0,7463	0,606	0,335	
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	0,725	0,300	

2.3.12. БУК (FAGUS)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)					
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 (\ln A)$	$a_5 (\ln A)^2$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	1,6280	0,1308	-0,0976	-0,0620	0,4530	-0,0288
$\ln(D, \text{см})$	0,5703	-0,0761	0,0632	0,0228	0,5300	-0,0581
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-0,4066	0	0,2860	-0,1675	—	—
$\ln(P_s, \text{т/га})$	-0,6020	0,3907	0,1775	0,3176	-0,1053	—
$\ln(P_{sb}, \text{т/га})$	-5,2687	0	0	0	0,5346	—
$\ln[(P_f/M), \text{т/м}^3]$	-0,3529	-0,3361	-0,4455	0,4161	—	—
$\ln[(P_b/M), \text{т/м}^3]$	0,0666	-0,5293	-0,1551	-0,1101	0,3858	—
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0,5129	-0,0696	0,5707	0,3189	0,4061	-0,0519

Зависимые переменные	$a_6(\ln N)$	$a_7(\ln N)^2$	$a_8(\ln A)(\ln N)$	$a_9(\ln H)$	$a_{10}(\ln D)$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	0,2355	-0,0853	-0,1097	—	—
$\ln(D, \text{см})$	-0,1793	—	-0,0472	0,4179	—
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,5261	—	—	0,8466	1,2168
$\ln(P_S, \text{т/га})$	—	—	—	-0,2221	0,2683
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	0,0413	—	—	-0,7613	—
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,3150	—	—	—	-1,3341
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	-0,3744	0,6148
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	0,1191	-0,0226	—	0,8392	—

Зависимые переменные	$a_{11}(\ln M)$	$a_{12}(\ln P_S)$	$a_{13}\ln(P_F/M)$	R^2	SE
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	—	—	—	0,981	0,084
$\ln(D, \text{см})$	—	—	—	0,969	0,115
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	—	—	—	0,942	0,135
$\ln(P_S, \text{т/га})$	1,0160	—	—	0,969	0,106
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	—	1,4483	—	0,978	0,113
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	0,813	0,201
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	—	—	0,9343	0,817	0,193
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	0,516	0,377

2.3.13. ЛИПА (TILIA)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)					
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4 X_4$	$a_5 X_5$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	-1,8168	-0,0265	0,1167	0,1811	0,0974	0,0197
$\ln(D, \text{см})$	0,0991	0,5532	0,1586	0,2074	0,1521	0,1631
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	-3,3626	-0,6175	0,0355	0,6923	0,0228	0,1031
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-1,0465	0,5778	0,0557	-0,0283	-0,0276	-0,0007
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-1,2189	0	0	0	0	0
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,6992	2,0593	0,1815	-0,4900	-0,3275	-0,2903
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	1,5601	0,0125	-0,3412	0,1721	-0,4229	0,0532
$\ln(P_R, \text{т/га})$	5,9761	0	-0,1343	-0,8705	-0,1343	-0,1343

Зависимые переменные	$a_6 X_6$	$a_7 X_7$	$a_8 X_8$	$a_9 X_9$	$a_{10}(\ln A)$	$a_{11}(\ln A)^2$
$\ln(H_{\max}, \text{М})$	-0,0466	-0,0198	-0,1658	-0,4019	2,0757	-0,2229
$\ln(D, \text{см})$	0,1691	0,1976	0,1354	0,1350	0,3670	—
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,0356	-0,0624	0,0136	-0,1974	0,2322	—
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,0320	-0,0923	-0,0322	0,2864	0,0639	—
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	0	0	0	0	-0,3947	—
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,3355	0,6571	-0,2659	0,6517	1,5199	-0,2629
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-0,4391	-0,3142	-0,4312	-0,2416	-1,0944	0,1223
$\ln(P_R, \text{т/га})$	-0,1343	-0,1343	-0,1343	0,2741	-2,4598	—

Зависимые переменные	$a_{12}(\ln H)$	$a_{13}(\ln N)$	$a_{14}(\ln N)^2$	$a_{15}(\ln A)(\ln M)$	$a_{16}(\ln A)(\ln N)$
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	—	0,4597	-0,0476	—	-0,1715
$\ln(D, \text{ см})$	0,4292	—	-0,0280	—	-0,0386
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	0,9979	1,0605	—	—	—
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	—	—	—	—
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	0,6343	—	—	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	-1,8999	-0,7041	—	—	—
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	0,7978	-0,1084	—	—	—
$\ln(P_R, \text{ т/га})$	—	—	—	0,3500	—

Зависимые переменные	$a_{17}(\ln D)$	$a_{18}(\ln M)$	$a_{19}(\ln P_S)$	$a_{20} \ln(P_F/M)$	R^2	SE
$\ln(H_{\max}, \text{ м})$	—	—	—	—	0,992	0,066
$\ln(D, \text{ см})$	—	—	—	—	0,995	0,041
$\ln(M, \text{ м}^3/\text{га})$	1,6934	—	—	—	0,998	0,033
$\ln(P_S, \text{ т/га})$	—	0,9988	—	—	0,997	0,039
$\ln(P_{SB}, \text{ т/га})$	—	—	0,8794	—	0,940	0,147
$\ln[(P_F/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	—	0,972	0,131
$\ln[(P_B/M), \text{ т/м}^3]$	—	—	—	0,8685	0,973	0,080
$\ln(P_R, \text{ т/га})$	—	—	—	—	0,956	0,213

2.3.14. ЯСЕНЬ (*FRAXINUS*)

Зависимые переменные	Константы и независимые переменные уравнений (2.6) и (2.1)				
	a_0	$a_1 X_1$	$a_2 X_2$	$a_3 X_3$	$a_4(\ln A)$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,3259	-0,2168	-0,4143	-0,5696	1,5558
$\ln(D, \text{см})$	-0,7376	0,2158	0,1829	0,2646	0,0918
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	0,3131	0,1939	-0,1390	0,0604	0,1915
$\ln(P_S, \text{т/га})$	-0,5180	0,2385	0,2492	0,2327	—
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	-3,8852	0	0	0	—
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-2,0645	0,9122	0,8588	1,0057	-0,8800
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	-2,7088	0,8852	1,2231	2,4266	-0,2353
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	-1,0055	0	0	0	—
Зависимые переменные	$a_5(\ln A)^2$	$a_6(\ln D)$	$a_7(\ln N)$	$a_8(\ln N)^2$	$a_9(\ln A)^2(\ln N)$
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	-0,1640	—	—	-0,0326	-0,0153
$\ln(D, \text{см})$	—	—	-0,2424	—	—
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	—	0,7256	0,4070	—	—
$\ln(P_S, \text{т/га})$	—	—	—	—	—
$\ln(P_{SB}, \text{т/га})$	—	2,2266	1,1215	—	—
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	0,1243	—	-0,2142	0,0848	—
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	—
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	—	-0,0698	—	—	—

Зависимые переменные	$a_{10}(\ln D)^2$	$a_{11}(\ln H)$	$a_{12}(\ln H)^2$	$a_{13}(\ln M)$	$a_{14} \ln(P_F/M)$	R^2	SE
$\ln(H_{\max}, \text{м})$	—	—	—	—	—	0,992	0,093
$\ln(D, \text{см})$	—	1,5510	-0,1685	—	—	0,997	0,068
$\ln(M, \text{м}^3/\text{га})$	—	0,7323	—	—	—	0,984	0,150
$\ln(P_S, \text{т/га})$	—	—	—	0,9375	—	0,991	0,064
$\ln(P_{SD}, \text{т/га})$	—	—	—	—	—	0,800	0,155
$\ln[(P_F/M), \text{т/м}^3]$	-0,1809	—	—	—	—	0,983	0,105
$\ln[(P_B/M), \text{т/м}^3]$	—	0,8388	—	—	0,5402	0,977	0,066
$\ln[(P_R/M), \text{т/м}^3]$	—	—	—	—	—	0,777	0,026

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ПРЕДЕЛЬНОЙ ФРАКЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ФИТОМАССЫ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В результате последовательного табулирования рекурсивной системы уравнений (2.6), приведенной в разделе 2.3.1, различия регионов по запасам стволовой древесины M (при условии равенства массообразующих показателей) наложились на различия $H_{\max}$ и $D_{\max}$ по регионам и получены соответствующие иерархии результирующих предельных траекторий для $H_{\max}$, $D_{\max}$ и для запаса стволов $M_{\max}$.

Далее рекурсивная система (2.6) совмещается с уравнениями (2.1) для фракций фитомассы древостоев (см. раздел 2.3.1). В результате получили рекурсивную регрессионную систему, описывающую предельные густотные траектории для массообразующих показателей и фракционной структуры фитомассы древостоев:

$$\begin{aligned} H_{\max} = f(X_0, \dots, X_n, A, N) &\rightarrow D_{\max} = f(X_0, \dots, X_n, A, N, H_{\max}) \rightarrow \\ &\rightarrow M_{\max} = f(X_0, \dots, X_n, A, N, H_{\max}, D_{\max}) \rightarrow \\ \rightarrow P_{(i) \max} / M_{\max} \text{ или } P_{(i) \max} &= f(X_0, \dots, X_n, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max}). \end{aligned} \quad (3.1)$$

В результате последовательного табулирования рекурсивной системы уравнений (3.1) различия регионов по запасам фитомассы (при условии равенства массообразующих показателей) наложились на различия по запасам стволовой древесины $M_{\max}$, последние наложились на различия $H_{\max}$ и $D_{\max}$ по регионам и в итоге получена соответствующая иерархия результирующих кривых запасов фитомассы $P_{(i) \max}$.

Правые ветви колоколообразных густотных кривых по каждому из массообразующих показателей и показателей фракционной структуры фитомассы пересекаются, и точки пересечения формируют предельные линии самоизреживания по каждому из упомянутых показателей в последовательности рекурсивной системы (3.1).

Характеристики предельных линий самоизреживания в координатах *предельная характеристика древостоя — густота* как по массообразующим показателям, так и по фракционной структуре древостоев каждой древесной породы, рассчитаны в формате программы EXCEL, и результаты сведены в приложение 1.

Ниже выборочно на примере одного из регионов каждой древесной породы показано положение предельных линий самоизреживания относительно всех экспериментальных данных упомянутых показателей, полученных на временных пробных площадях, которое установлено графическим способом в формате программы EXCEL (рис. 3.1—3.39).

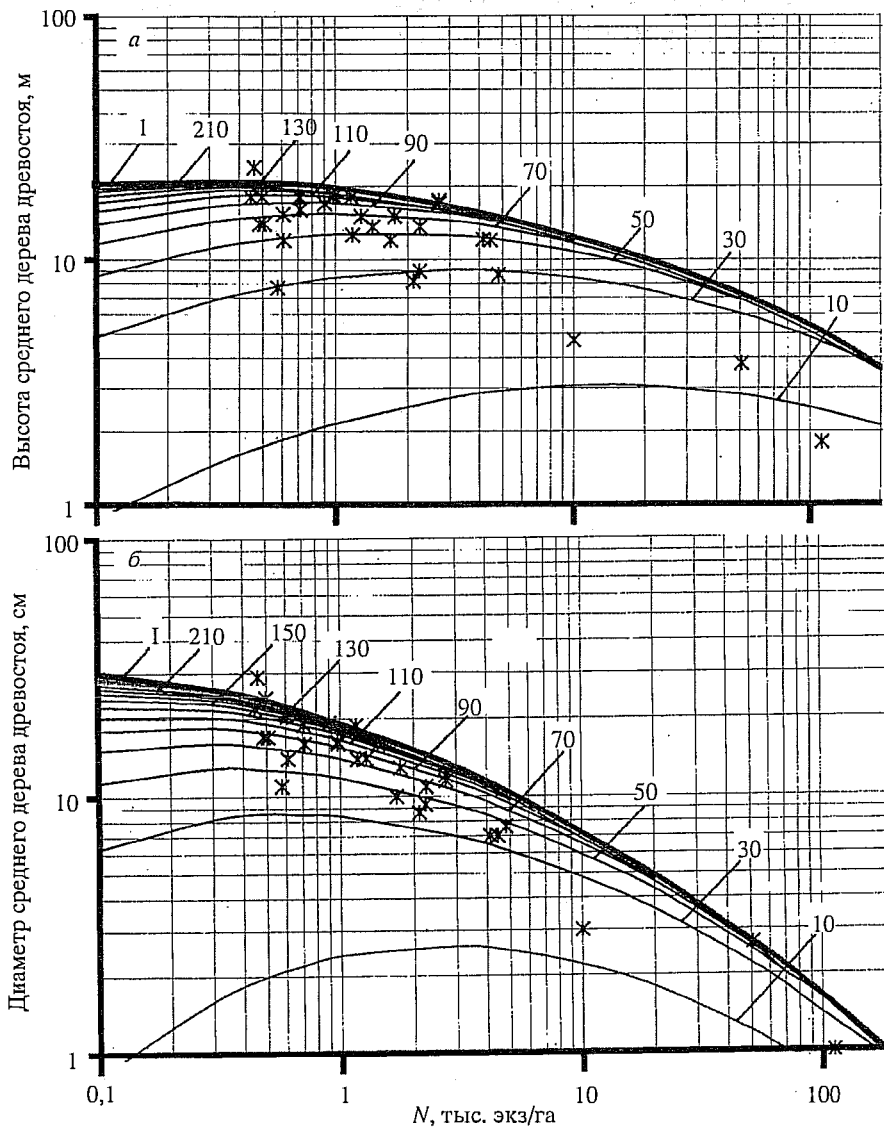
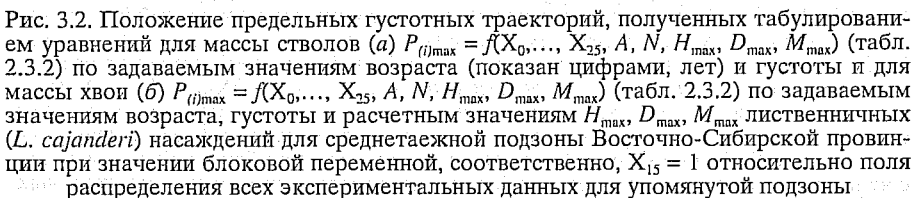
3.2.1. ЛИСТВЕННИЦА (*LARIX*)

Рис. 3.1. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_{25}, A, N)$ (табл. 2.3.2) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра среднего дерева (б) $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_{25}, A, N, H_{\max})$ (табл. 2.3.2) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$ лиственничных (*L. cajanderi*) насаждений для среднетаежной подзоны Восточно-Сибирской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_{15} = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны. Здесь и далее I — предельная линия самоизреживания



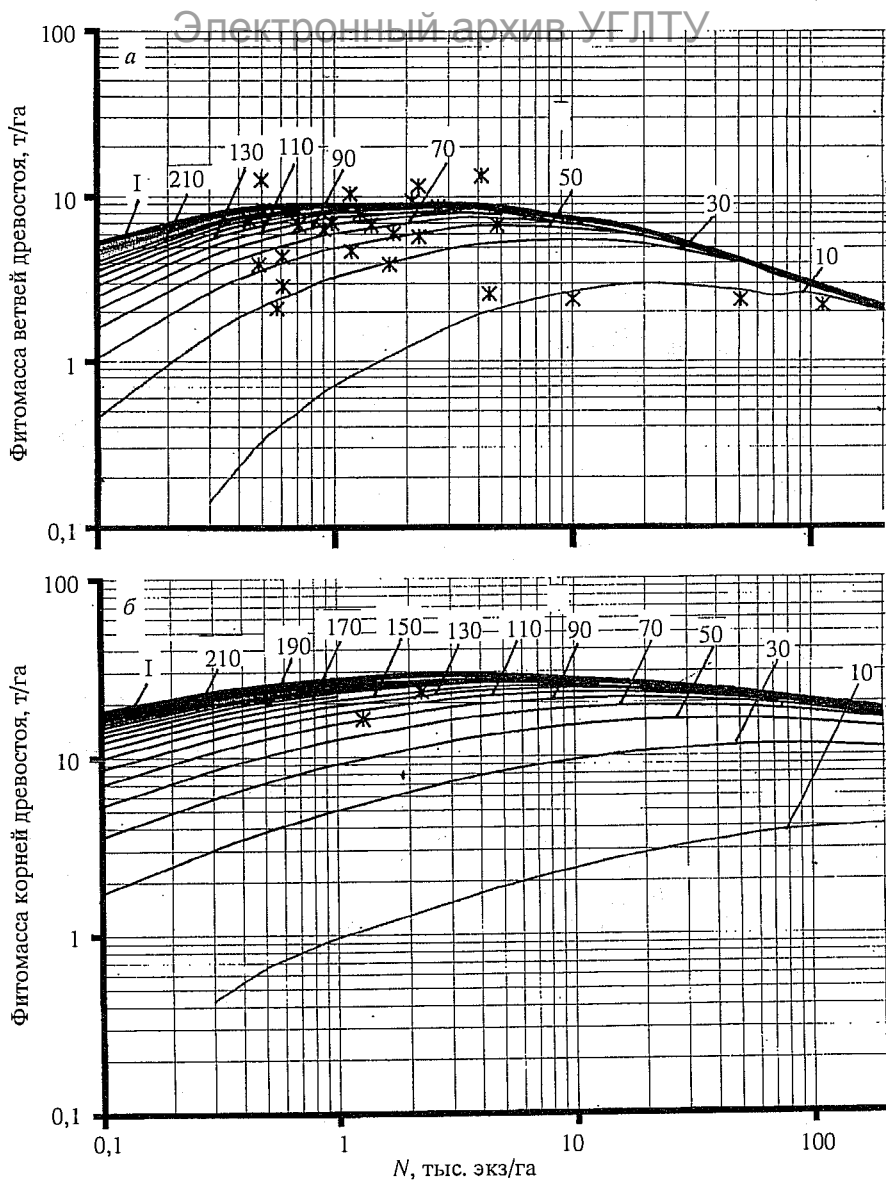


Рис. 3.3. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{25}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.2) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям $H_{max}, D_{max}, M_{max}$ и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{25}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.2) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{max}, D_{max}, M_{max}$ лиственничных (*L. cajanderi*) насаждений для среднетаежной подзоны Восточно-Сибирской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_{15} = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

Электронный архив УГЛТУ

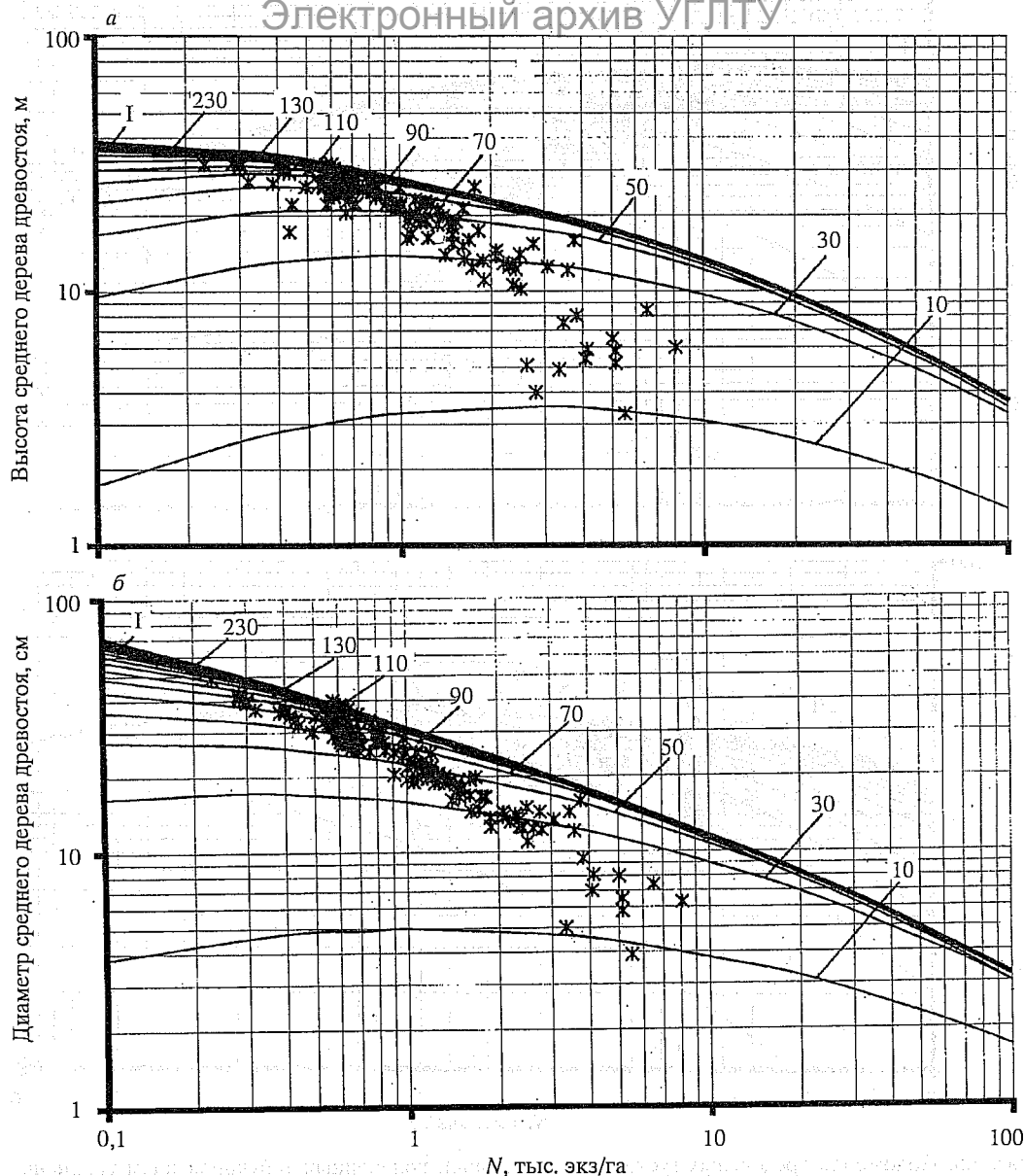


Рис. 3.4. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_{26}, A, N)$ (табл. 2.3.3) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_{26}, A, N, H_{\max})$ (табл. 2.3.3) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$ еловых (*P. abies*) насаждений для подзоны широколиственных лесов Средне-Европейской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_1 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

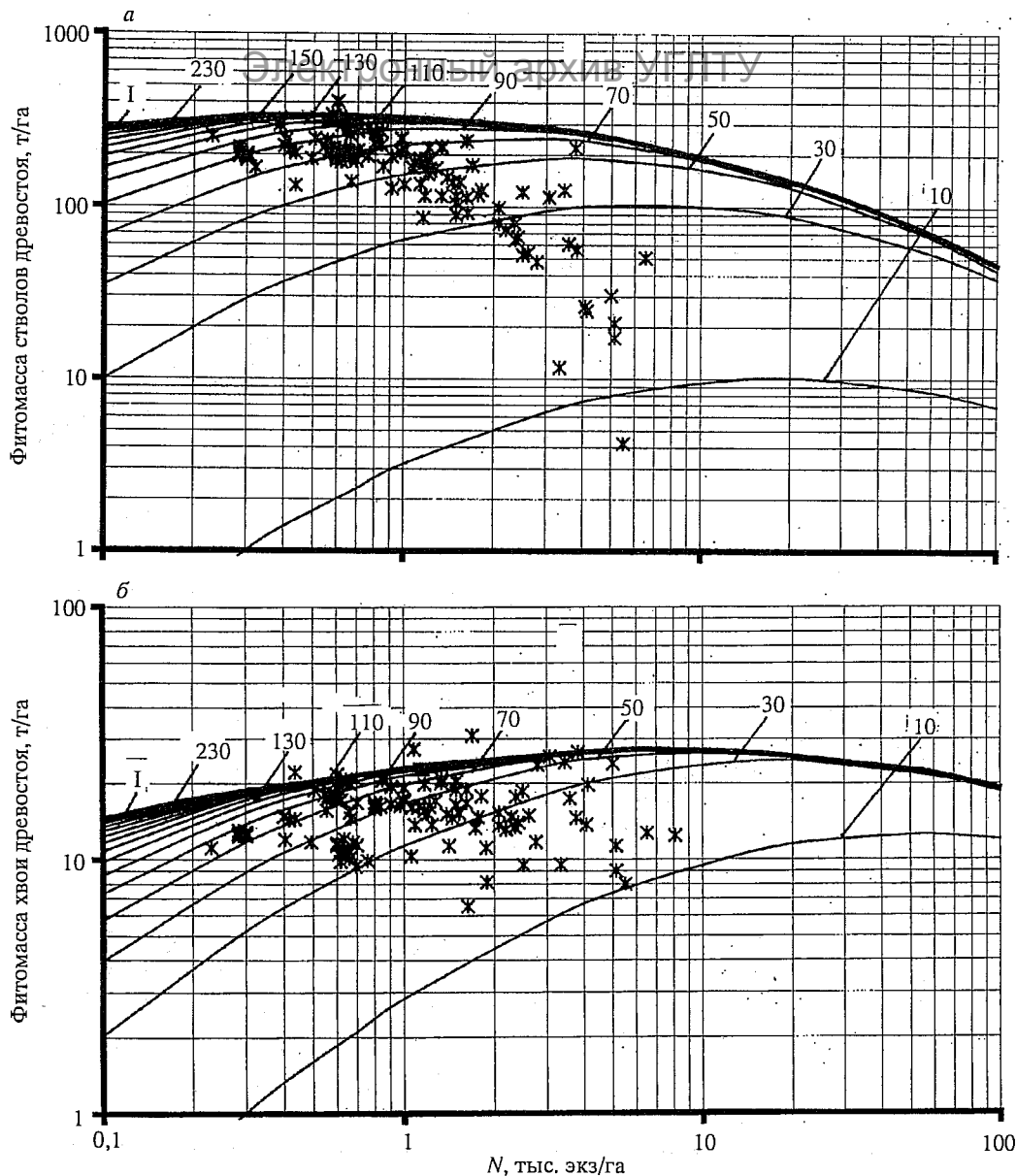


Рис. 3.5. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{26}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.3) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы хвои (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{26}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.3) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} еловых (*P. abies*) насаждений для подзоны широколиственных лесов Средне-Европейской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_1 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

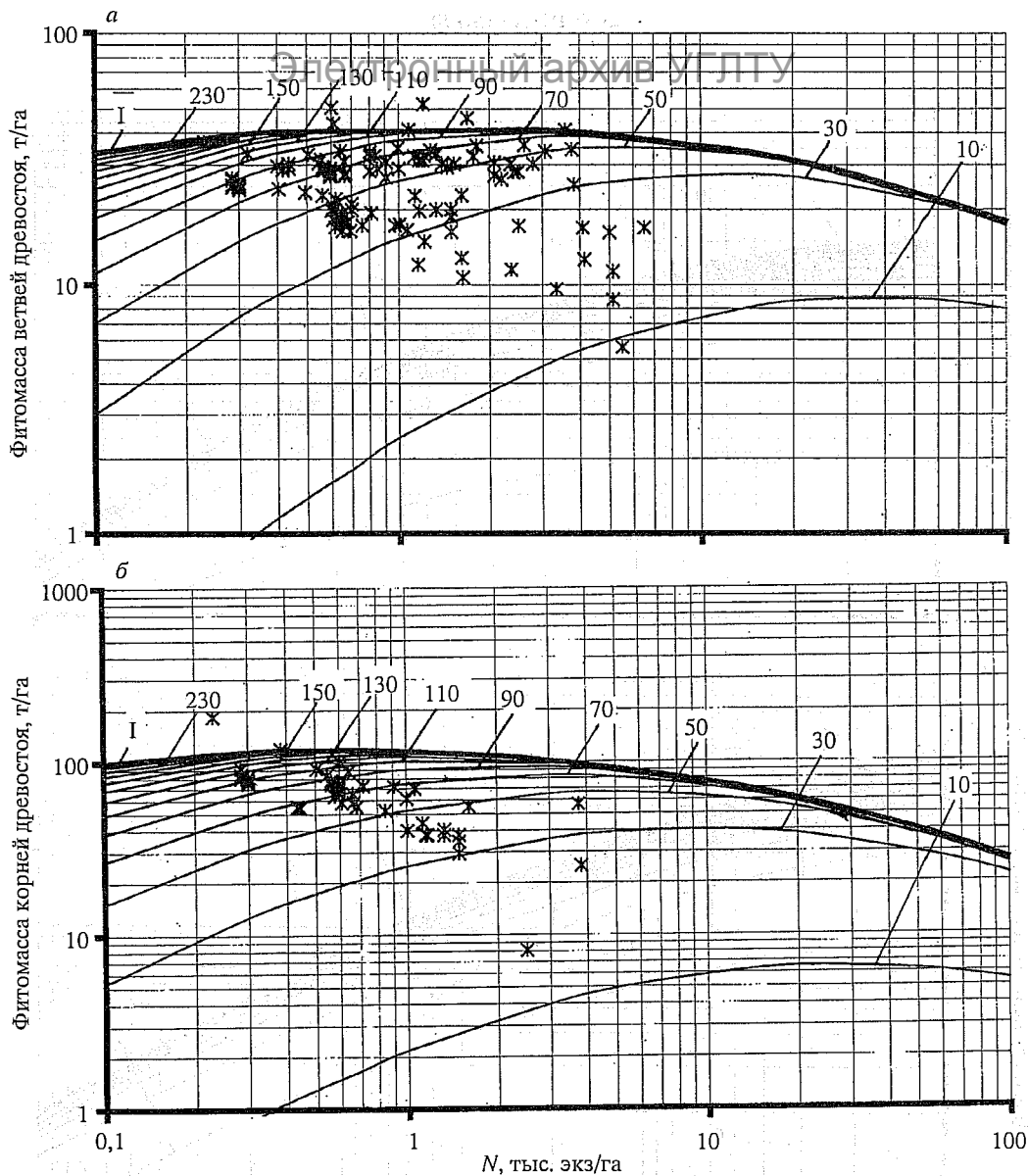


Рис. 3.6. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{26}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.3) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{26}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.3) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} еловых (*P. abies*) насаждений для подзоны широколиственных лесов Средне-Европейской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_1 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

Электронный архив УГЛТУ

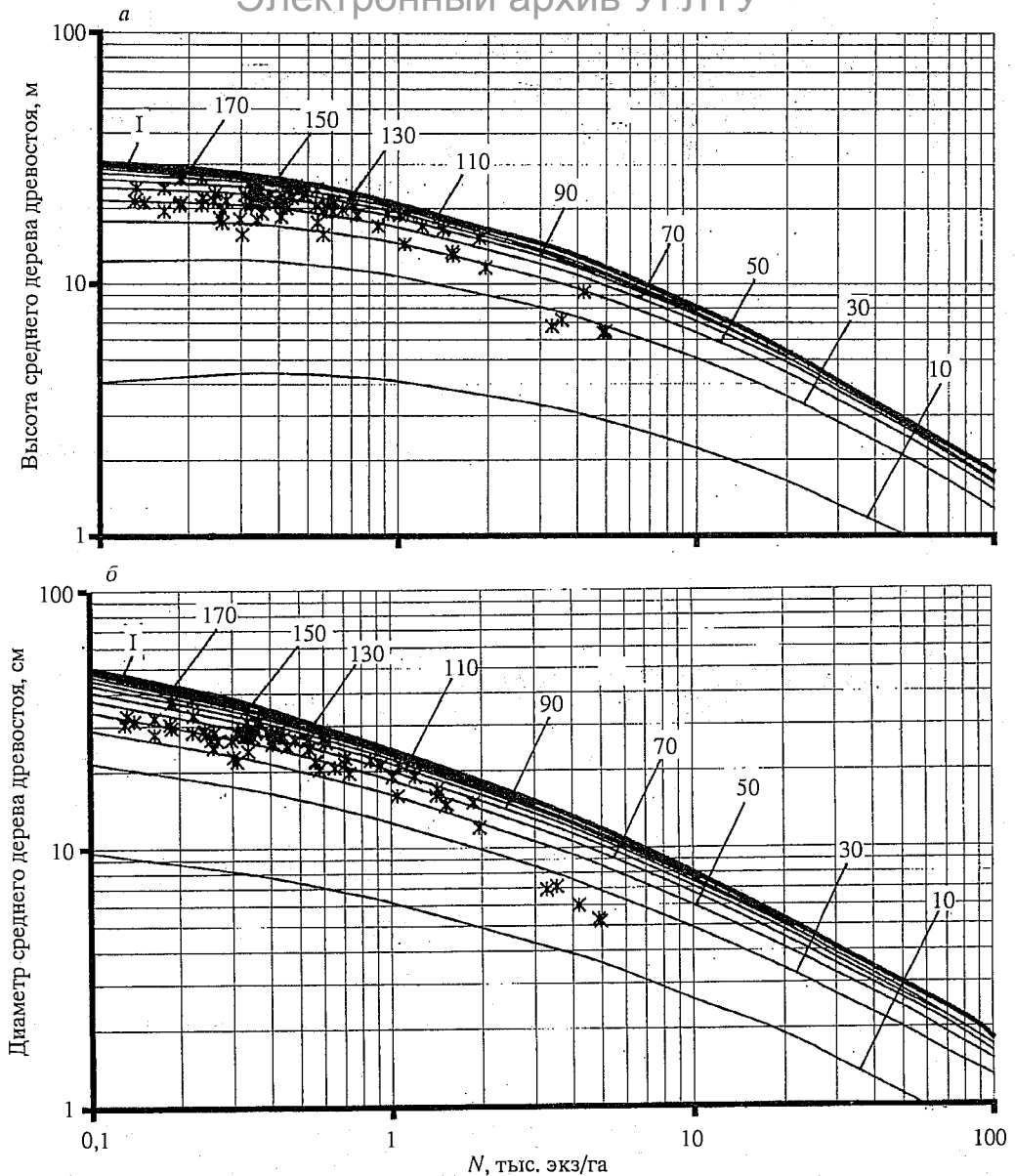


Рис. 3.7. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_{14}, A, N)$ (табл. 2.3.4) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_{14}, A, N, H_{\max})$ (табл. 2.3.4) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$ пихтовых (*A. sibirica*) насаждений для южнотаежной подзоны Алтае-Саянской горной провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_5 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

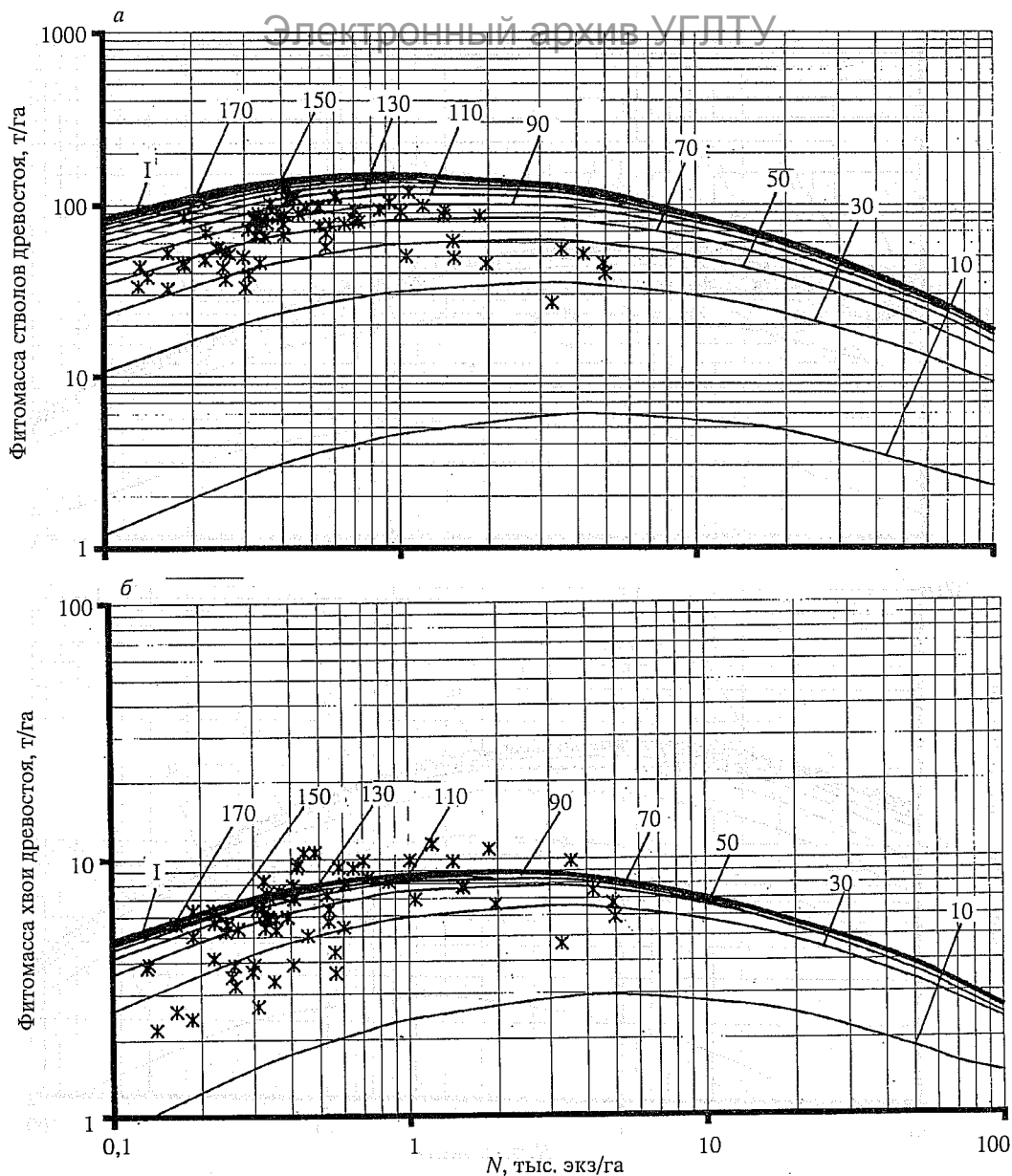


Рис. 3.8. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{(i)\max} = f(X_0, \dots, X_{14}, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max})$ (табл. 2.3.4) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы хвои (б) $P_{(i)\max} = f(X_0, \dots, X_{14}, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max})$ (табл. 2.3.4) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$, $D_{\max}$, $M_{\max}$ пихтовых (*A. sibirica*) насаждений для южнотаежной подзоны Алтае-Саянской горной провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_9 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

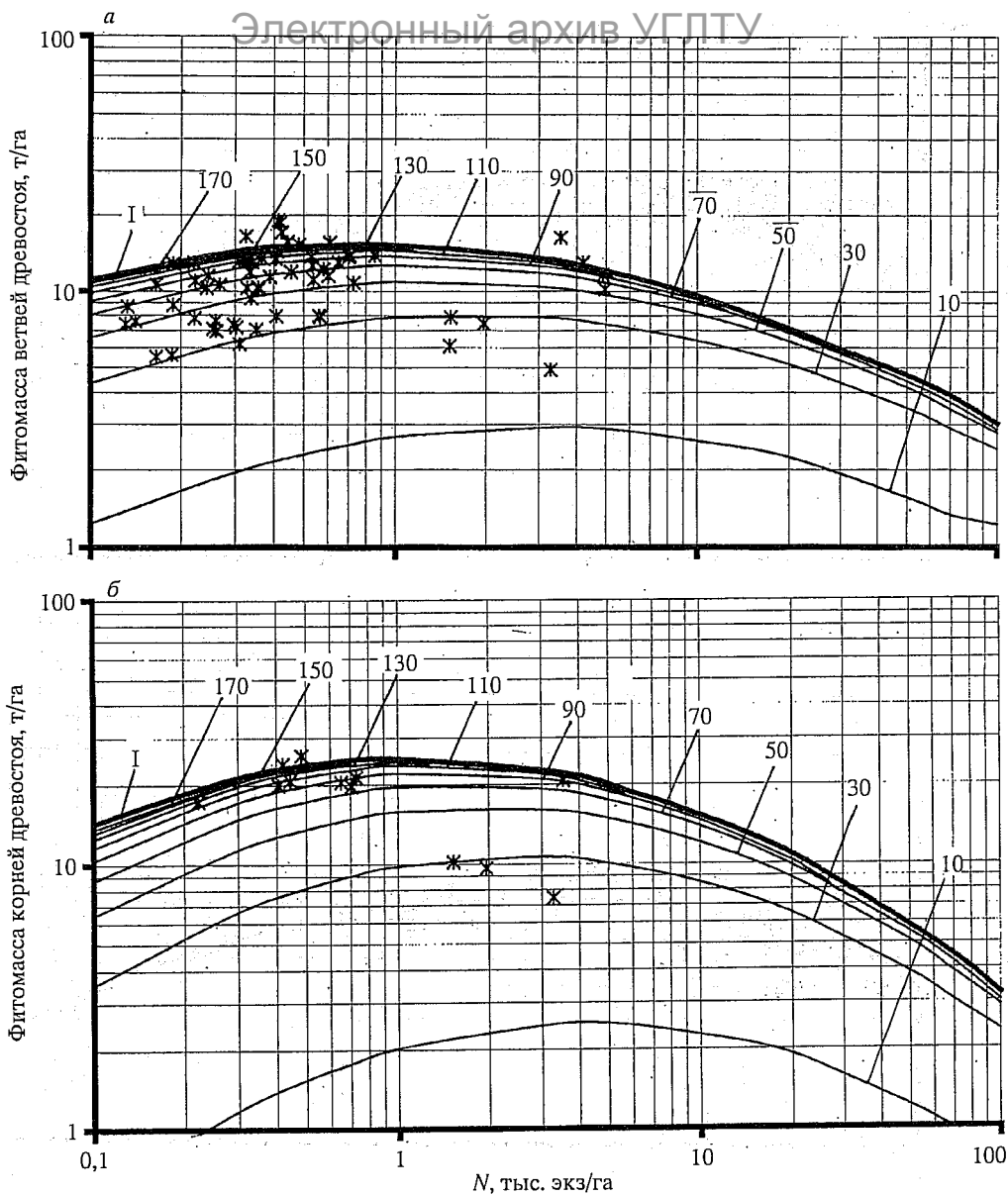


Рис. 3.9. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{14}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.4) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{14}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.4) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} пихтовых (*A. sibirica*) насаждений для южнотаежной подзоны Алтае-Саянской горной провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_9 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

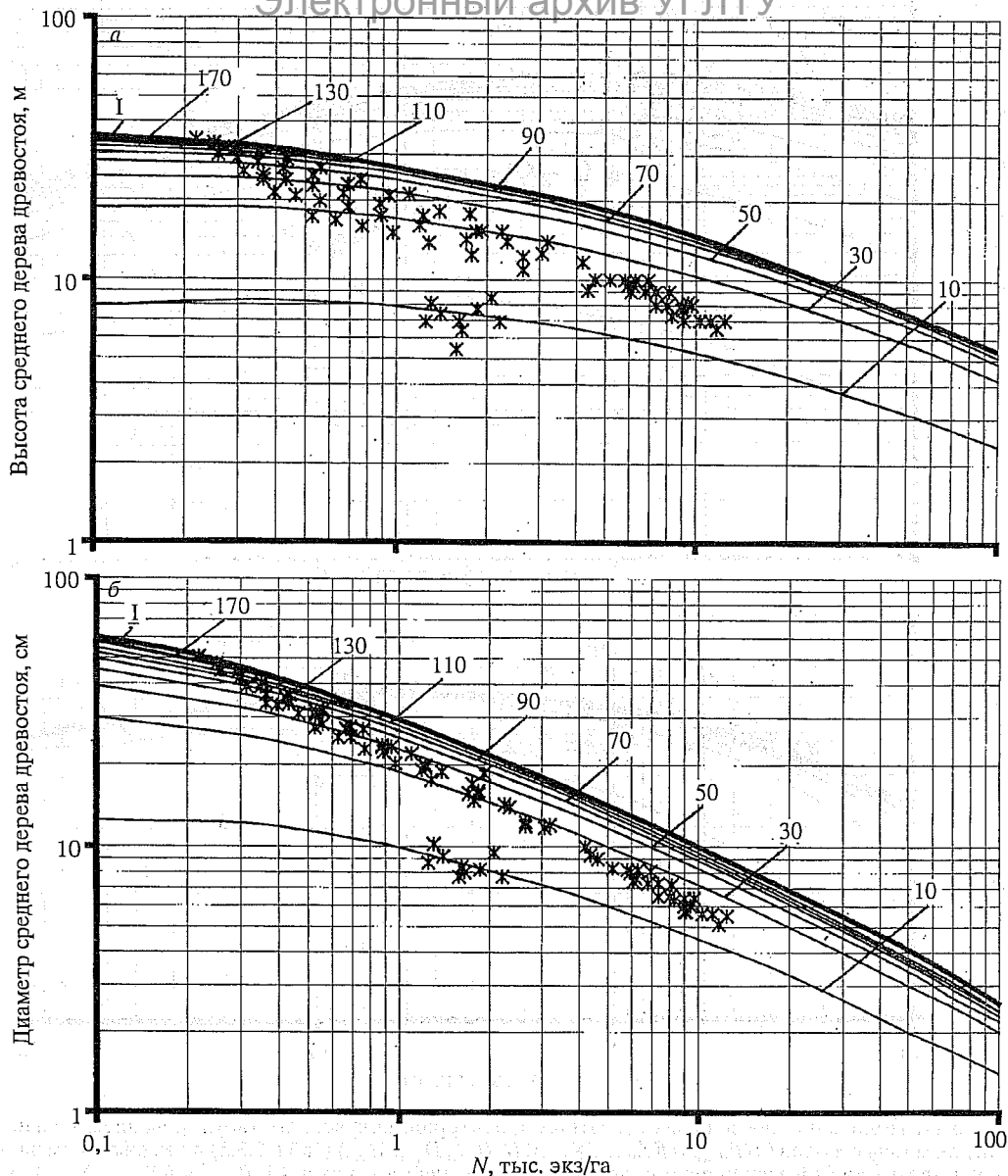


Рис. 3.10. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_{30}, A, N)$ (табл. 2.3.5) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_{30}, A, N, H_{\max})$ (табл. 2.3.5) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$ естественных сосняков (*P. sylvestris*) для подзоны широколиственных лесов Средне-Европейской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_0 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

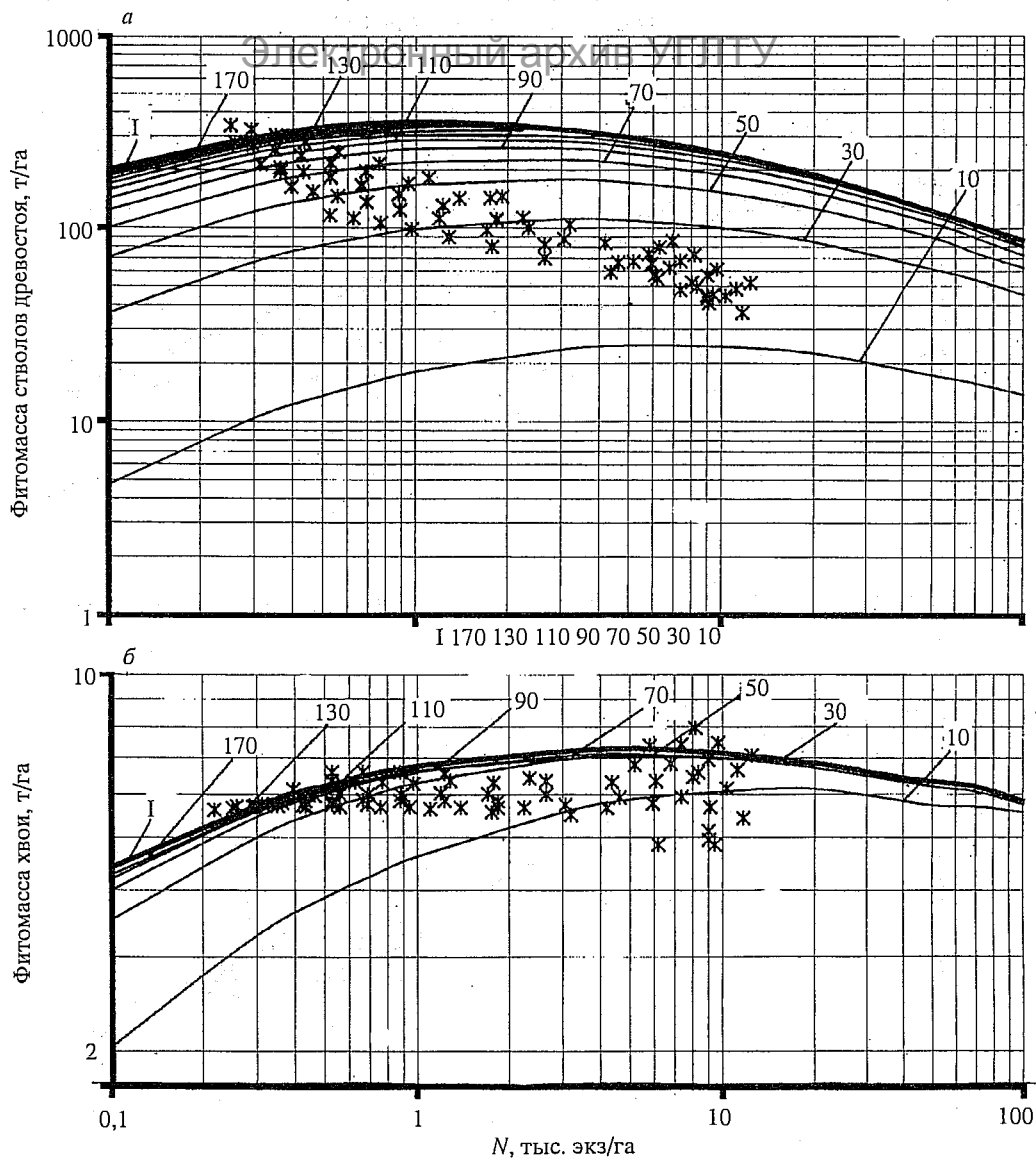


Рис. 3.11. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{(t)\max} = f(X_0, \dots, X_{30}, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max})$ (табл. 2.3.5) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы хвои (б) $P_{(t)\max} = f(X_0, \dots, X_{30}, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max})$ (табл. 2.3.5) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}, D_{\max}, M_{\max}$ естественных сосняков (*P. sylvestris*) для подзоны широколиственных лесов Средне-Европейской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_0 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

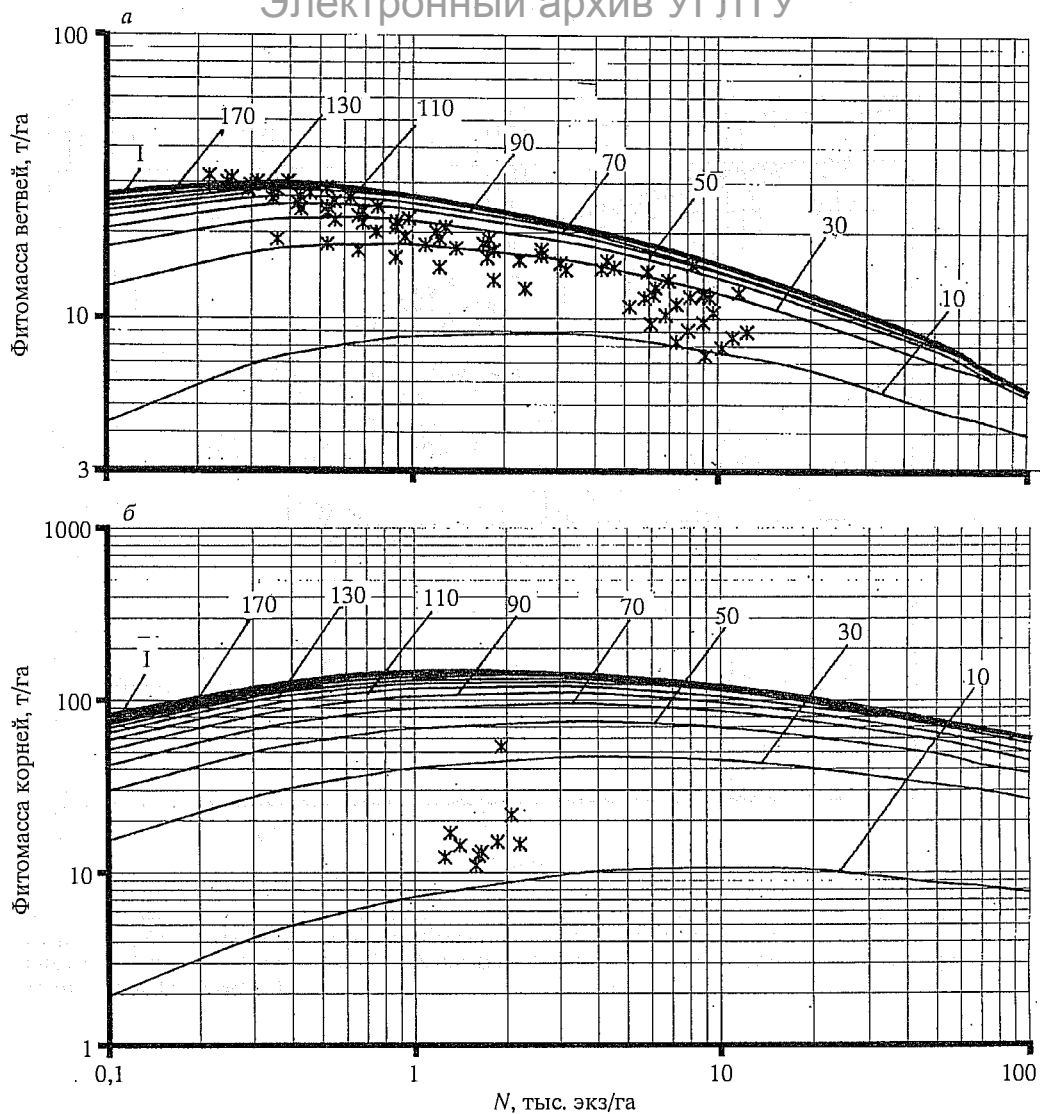


Рис. 3.12. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(ij)\max} = f(X_0, \dots, X_{30}, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max})$ (табл. 2.3.5) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям $H_{\max}$, $D_{\max}$, $M_{\max}$ и для массы корней (б) $P_{(ij)\max} = f(X_0, \dots, X_{30}, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max})$ (табл. 2.3.5) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$, $D_{\max}$, $M_{\max}$ естественных сосняков (*P. sylvestris*) для подзоны широколиственных лесов Средне-Европейской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_0 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

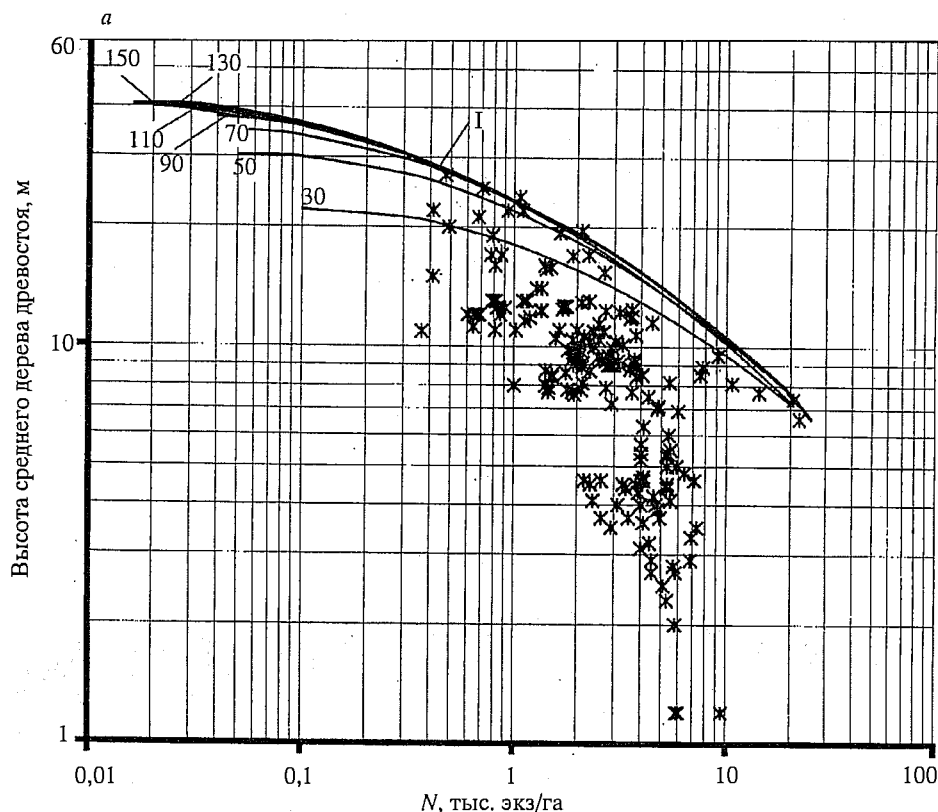
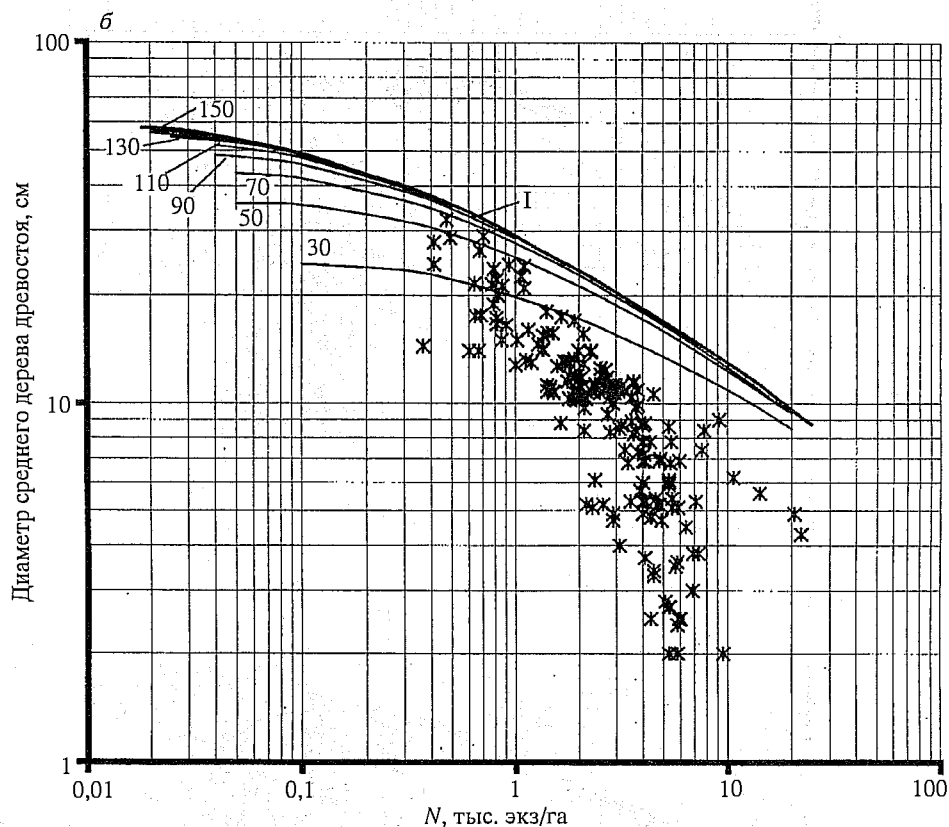


Рис. 3.13. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнения (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_{24}, A)$, культур сосны (*P. sylvestris*) для зоны степей Скандинавско-Русской провинции при значении экспериментальных данных



нений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_{24}, A, N)$ (табл. 2.3.6) по задаваемым значениям возраст-
 $N, H_{\max}$) (табл. 2.3.6) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$
 блоковой переменной, соответственно, $X_7 = 1$ относительно поля распределения всех
 для упомянутой зоны

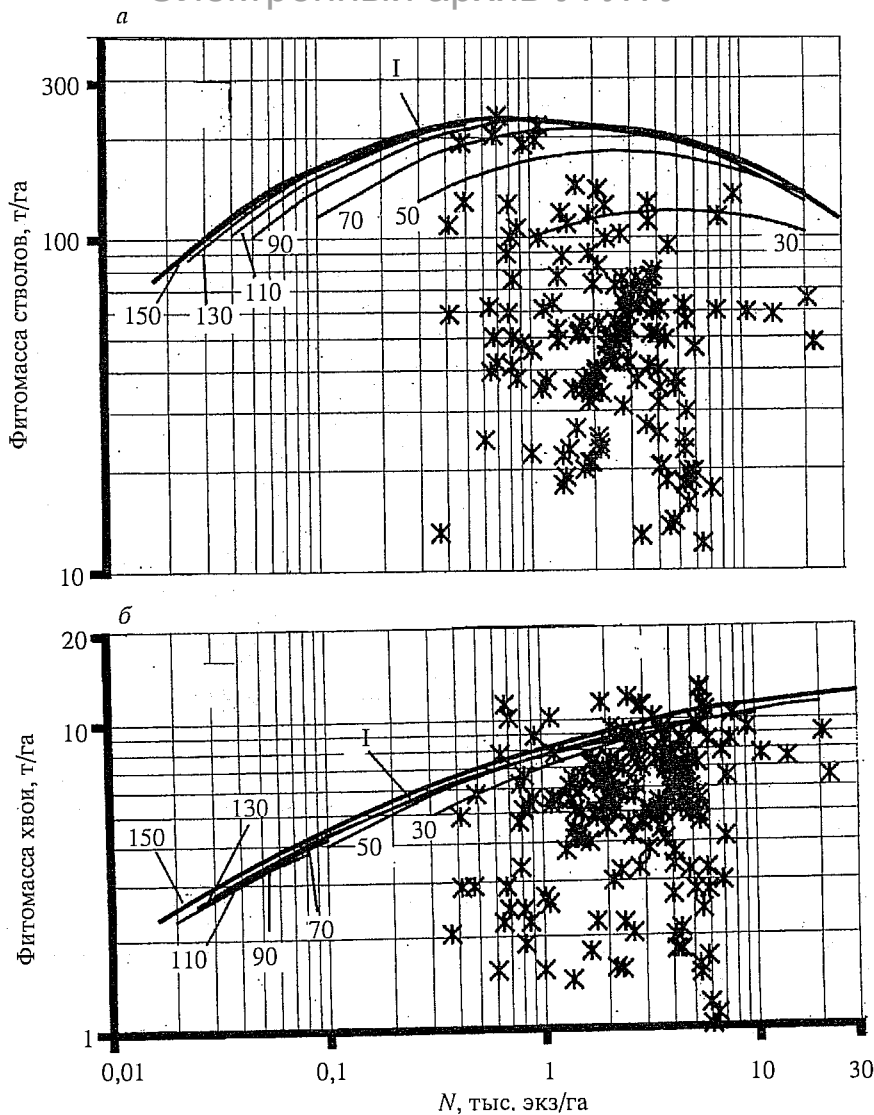


Рис. 3.14. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{24}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.6) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы хвои (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{24}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.6) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{max}, D_{max}, M_{max}$ культур сосны (*P. sylvestris*) для зоны степей Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_7 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой зоны

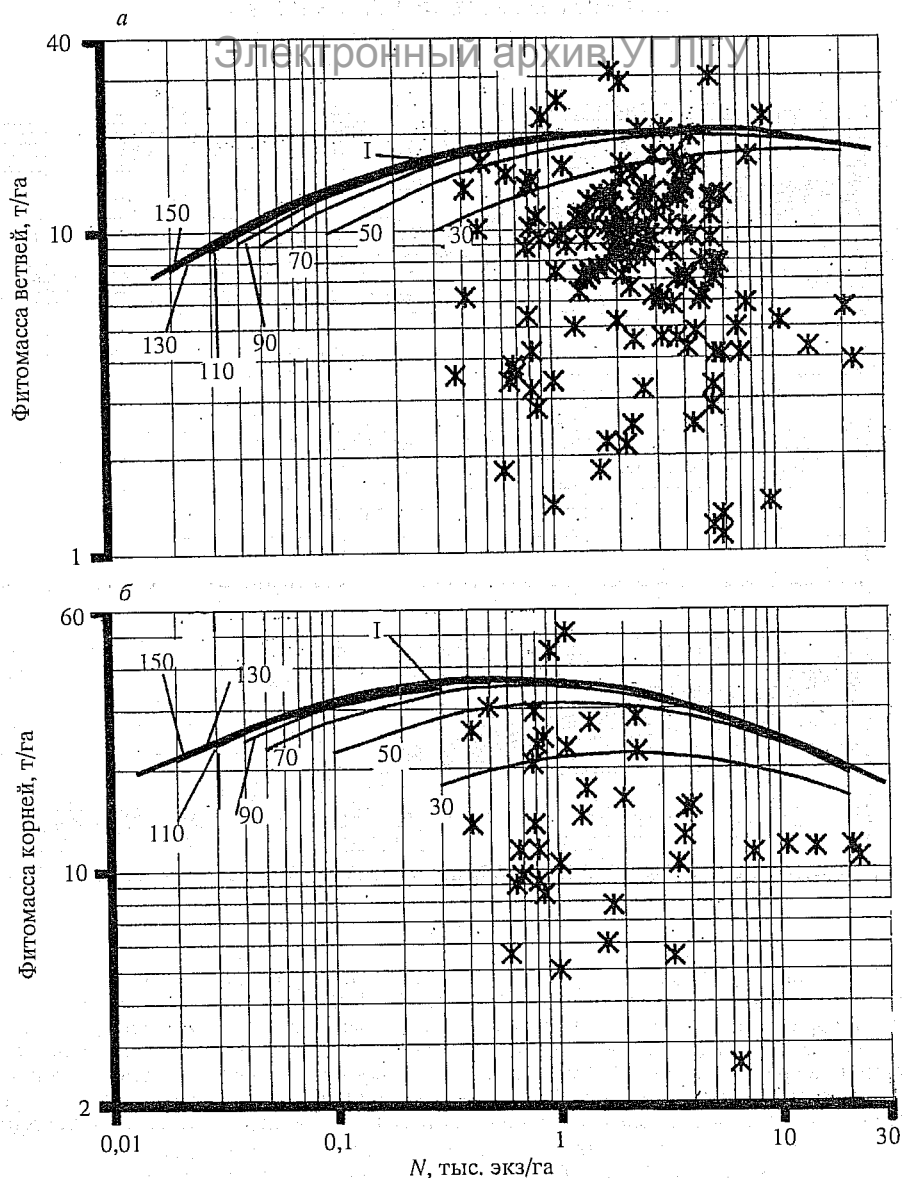


Рис. 3.15. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{24}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.6) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{24}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.6) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} культур сосны (*P. sylvestris*) для зоны степей Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_7 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой зоны

3.2.6. КЕДР (*PINUS SIBIRICA*, *P. KORAIENSIS*)

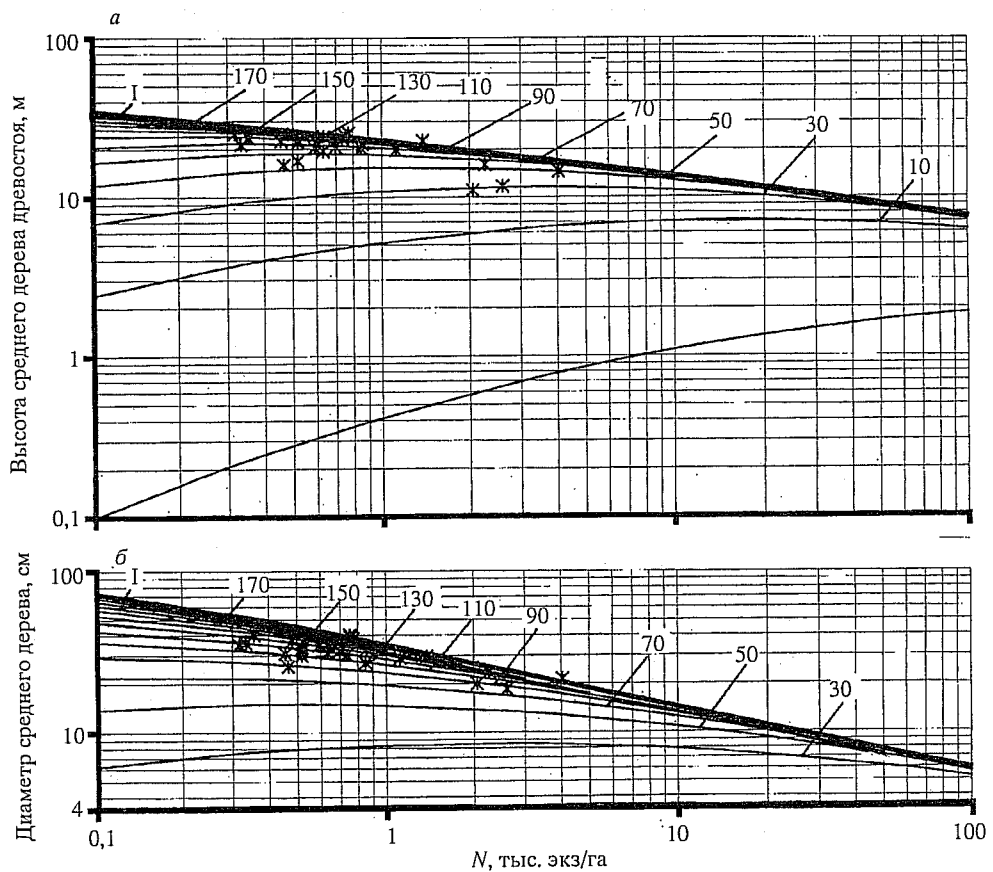


Рис. 3.16. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_5, A, N)$ (табл. 2.3.7) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_5, A, N, H_{\max})$ (табл. 2.3.7) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$ насаждений кедр корейского (*P. koraiensis*) для хвойно-широколиственных лесов дальневосточного Приморья при значении блоковой переменной, соответственно, $X_3 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

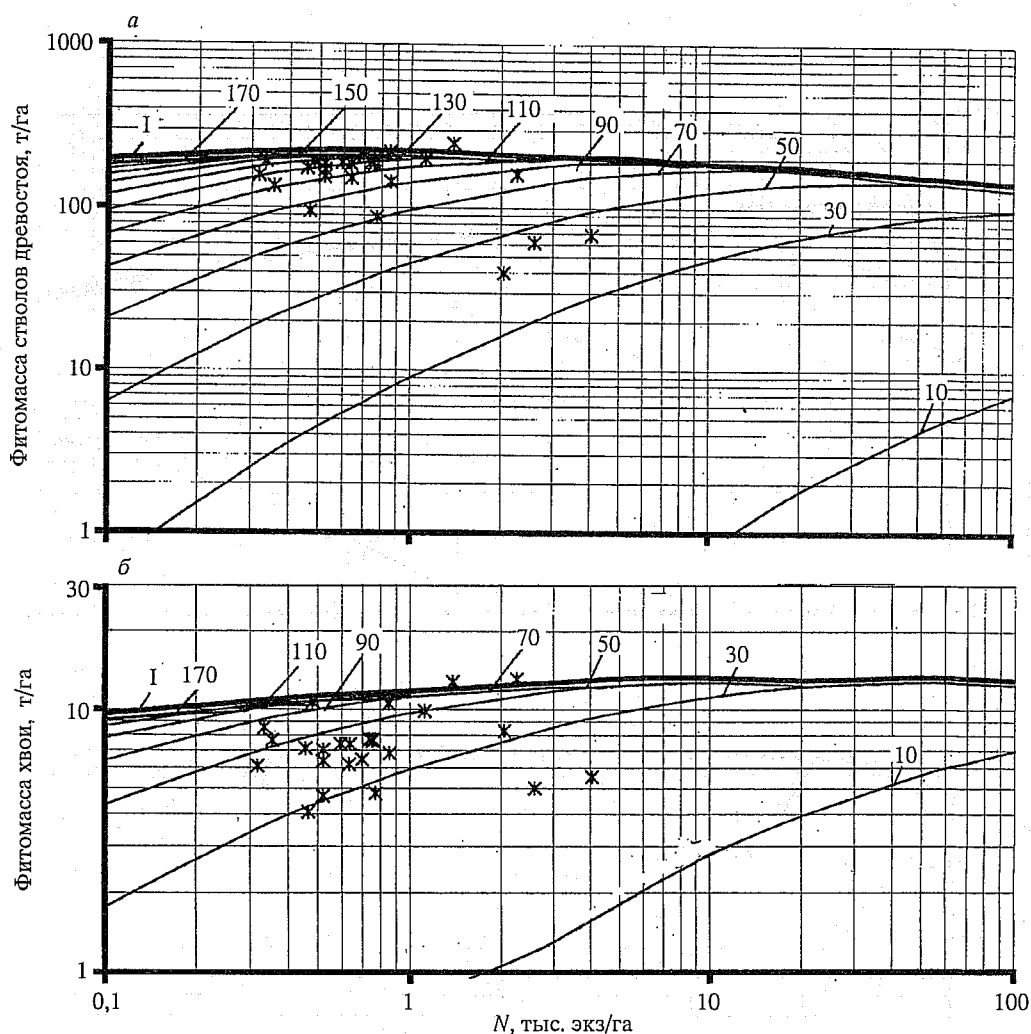


Рис. 3.17. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_5, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.7) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы хвои (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_5, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.7) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} насаждений кедр корейского (*P. koraiensis*) для хвойно-широколиственных лесов дальневосточного Приморья при значении блоковой переменной, соответственно, $X_3 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

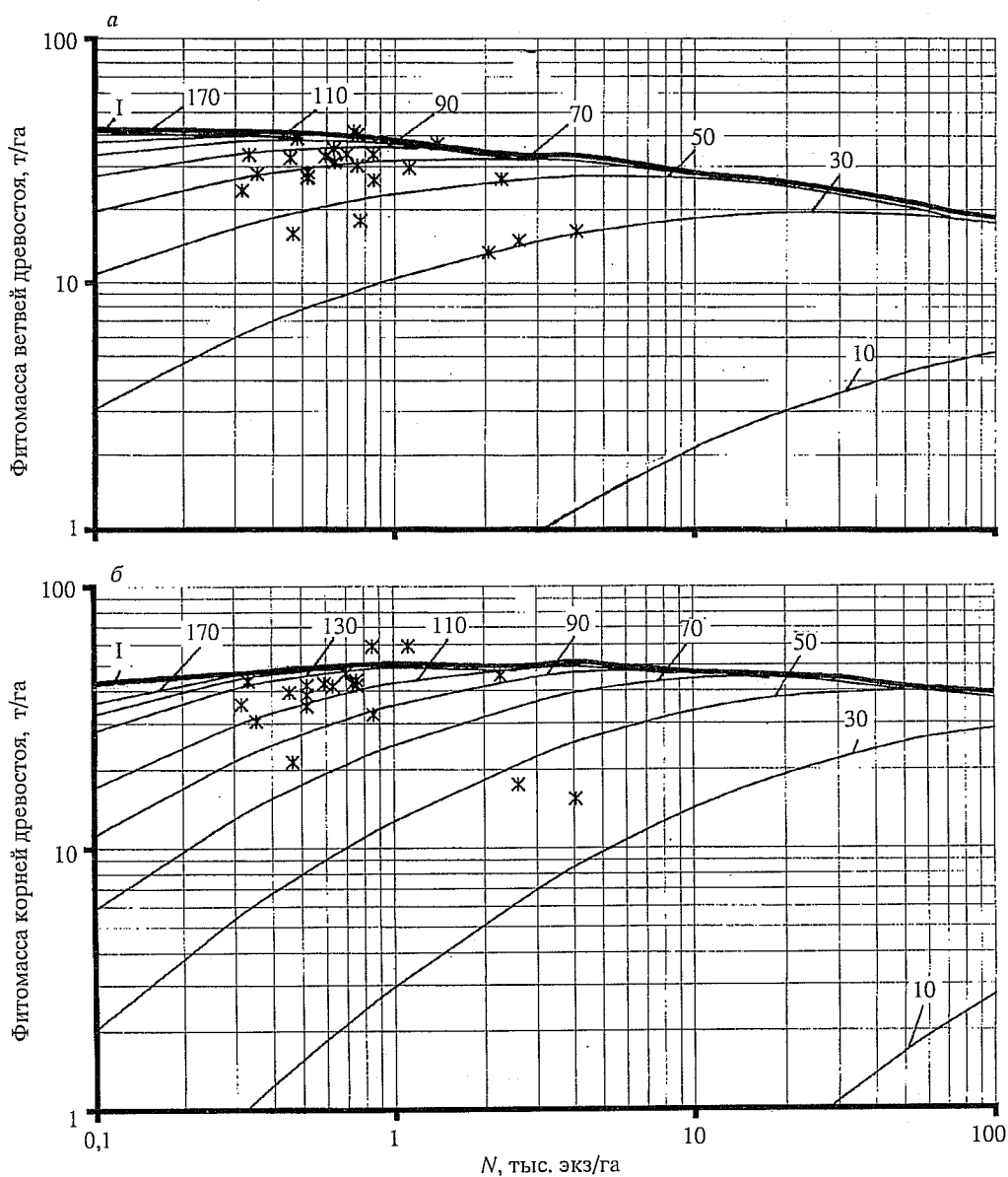


Рис. 3.18. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_5, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.7) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_5, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.7) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} насаждений кедр корейского (*P. koraiensis*) для хвойно-широколиственных лесов дальневосточного Приморья при значении блоковой переменной, соответственно, $X_3 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

3.3. МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ

3.3.1. БЕРЕЗА (BETULA)

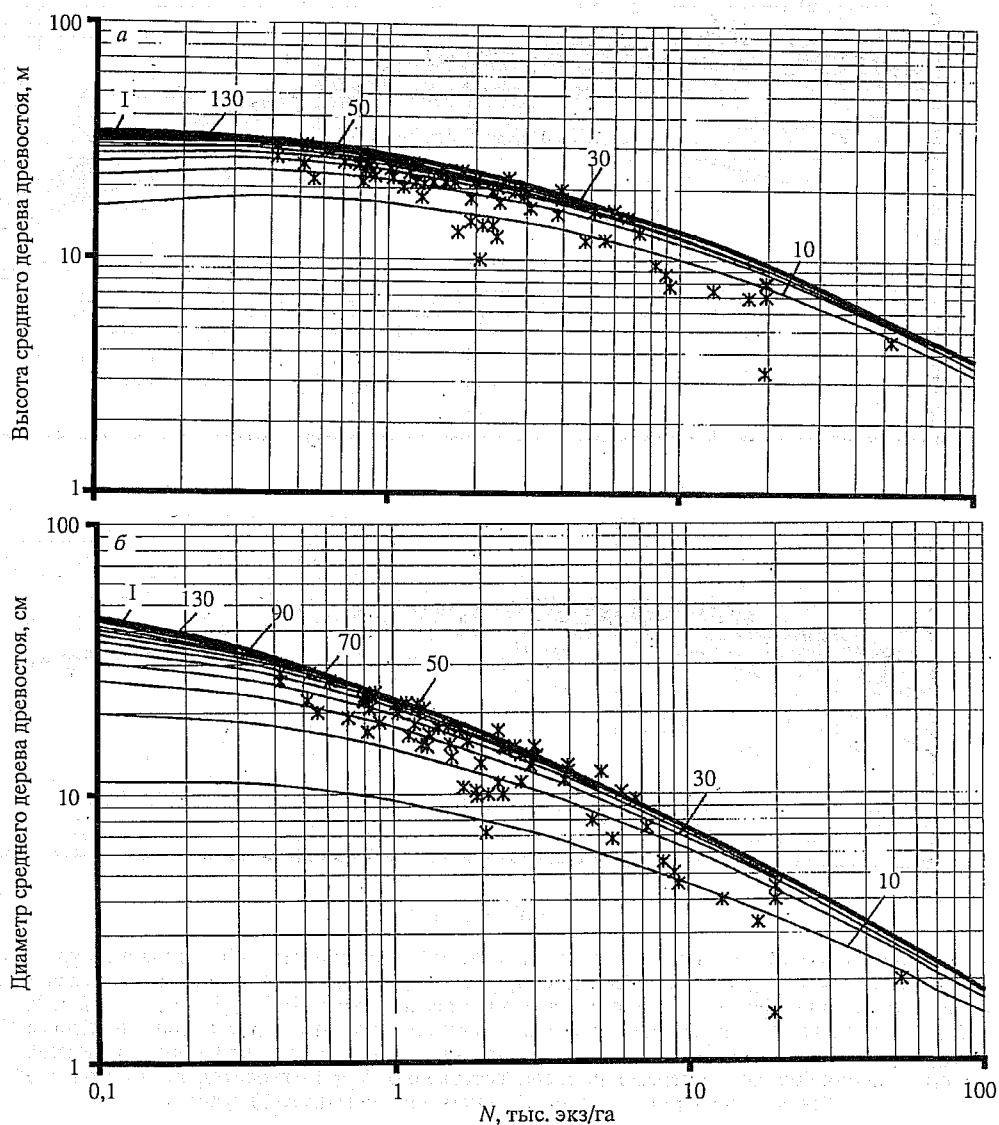


Рис. 3.19. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\text{max}} = f(X_0, \dots, X_{28}, A, N)$ (табл. 2.3.8) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\text{max}} = f(X_0, \dots, X_{28}, A, N, H_{\text{max}})$ (табл. 2.3.8) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} березовых (*B. alba*) насаждений для подзоны южной тайги Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_2 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

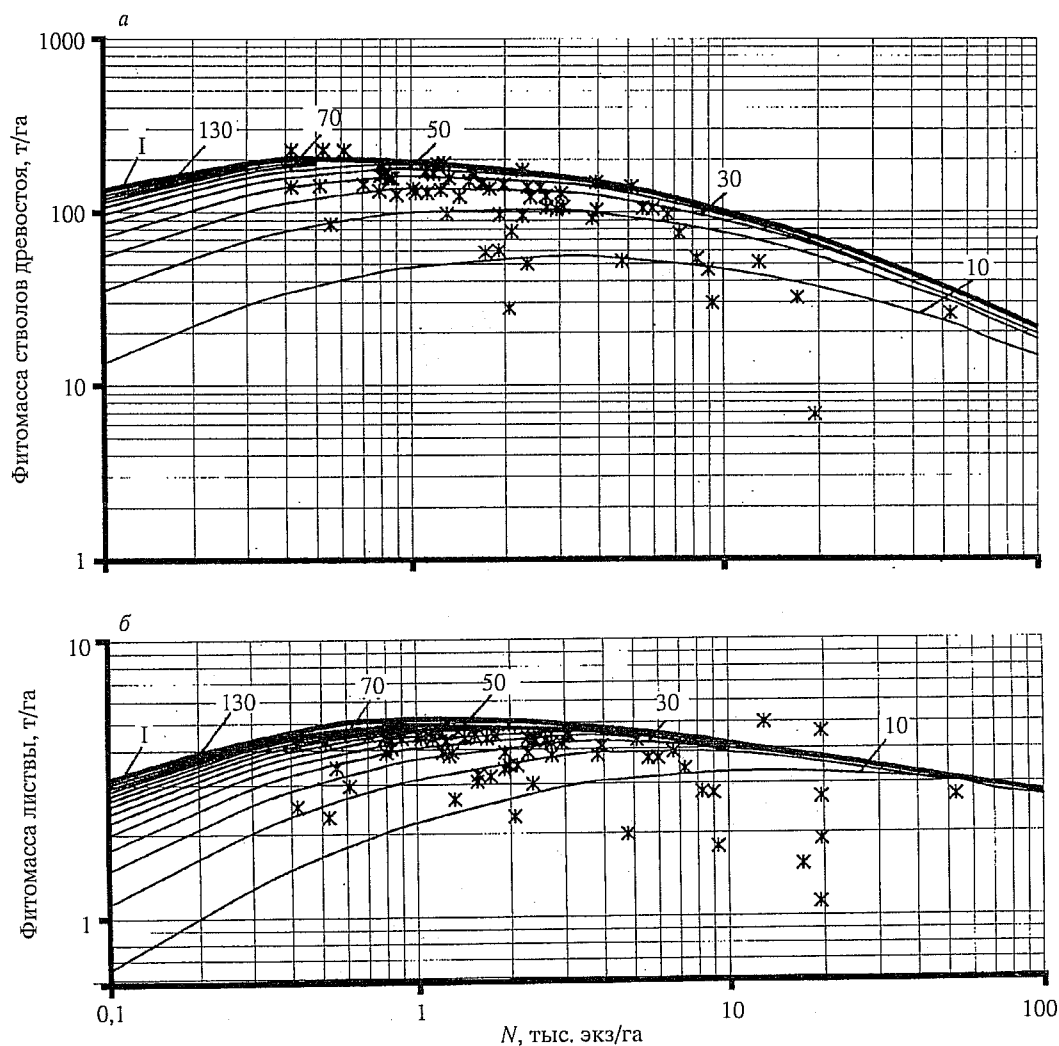


Рис. 3.20. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{28}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.8) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы листьев (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{28}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.8) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} березовых (*B. alba*) насаждений для подзоны южной тайги Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_2 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

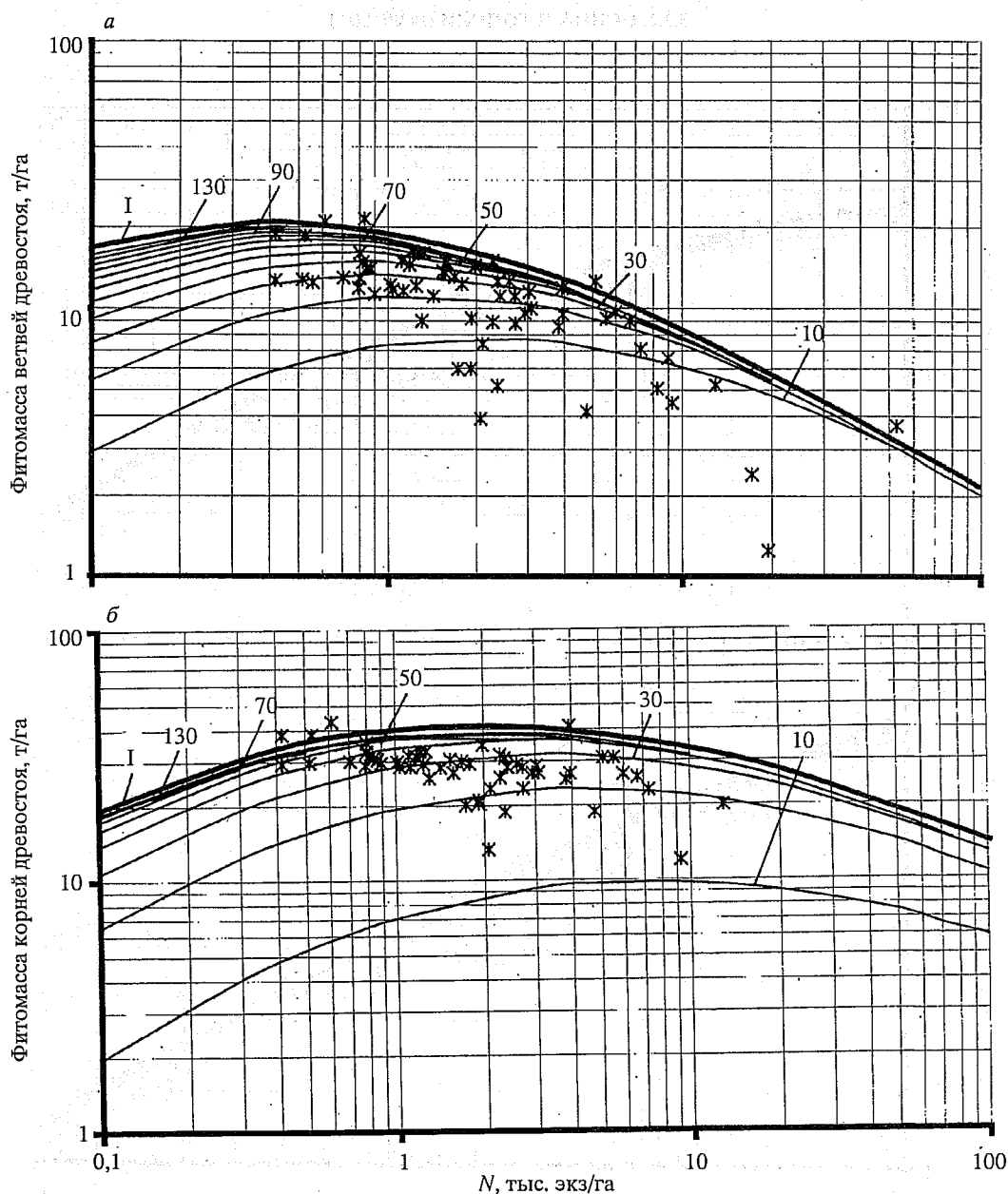


Рис. 3.21. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{28}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.8) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{28}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.8) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} березовых (*B. alba*) насаждений для подзоны южной тайги Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_2 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

Электронный архив УГЛТУ

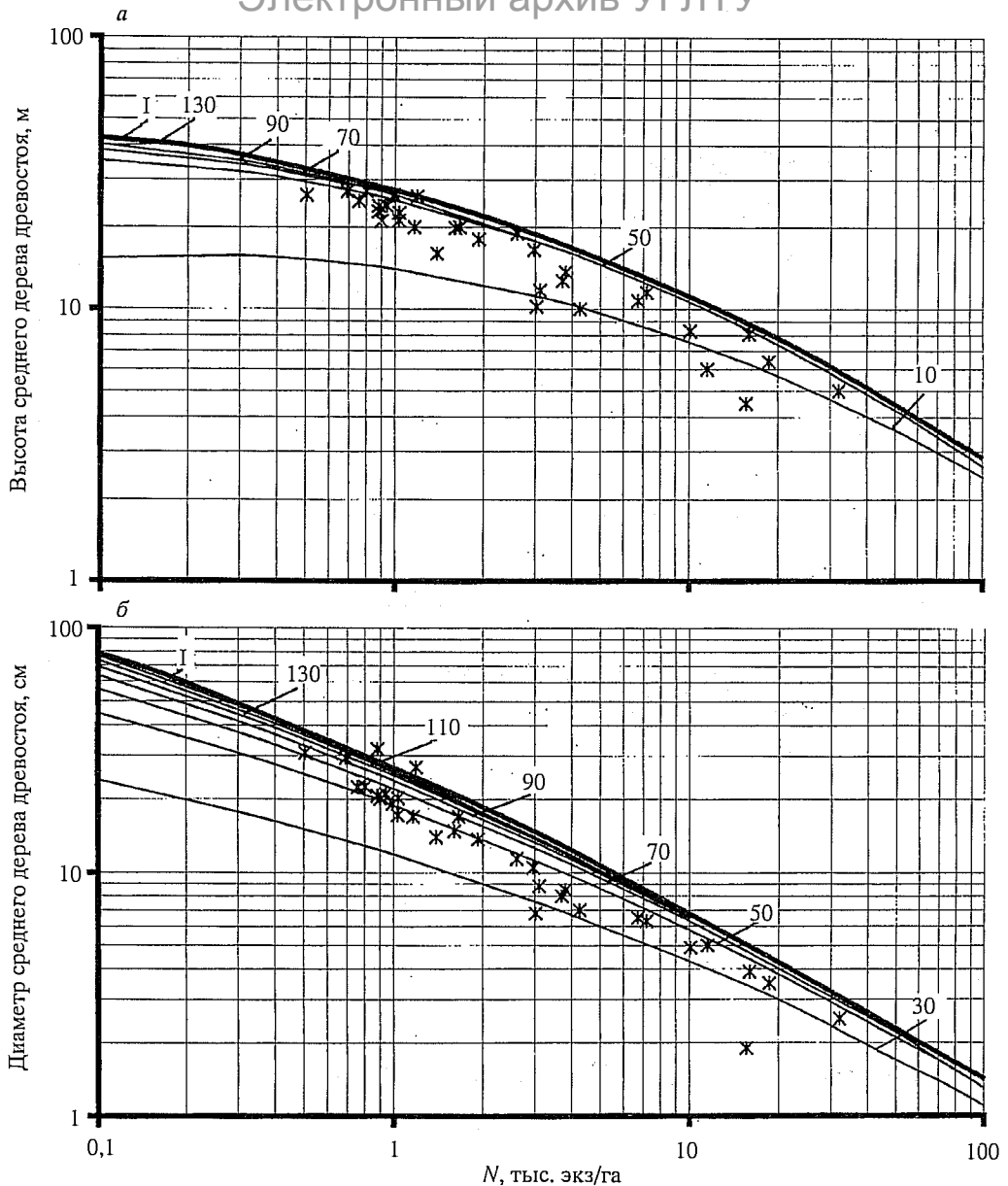


Рис. 3.22. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_{19}, A, N)$ (табл. 2.3.9) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_{19}, A, N, H_{\max})$ (табл. 2.3.9) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$ осиновых (*P. tremula*) насаждений для подзоны хвойно-широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_1 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

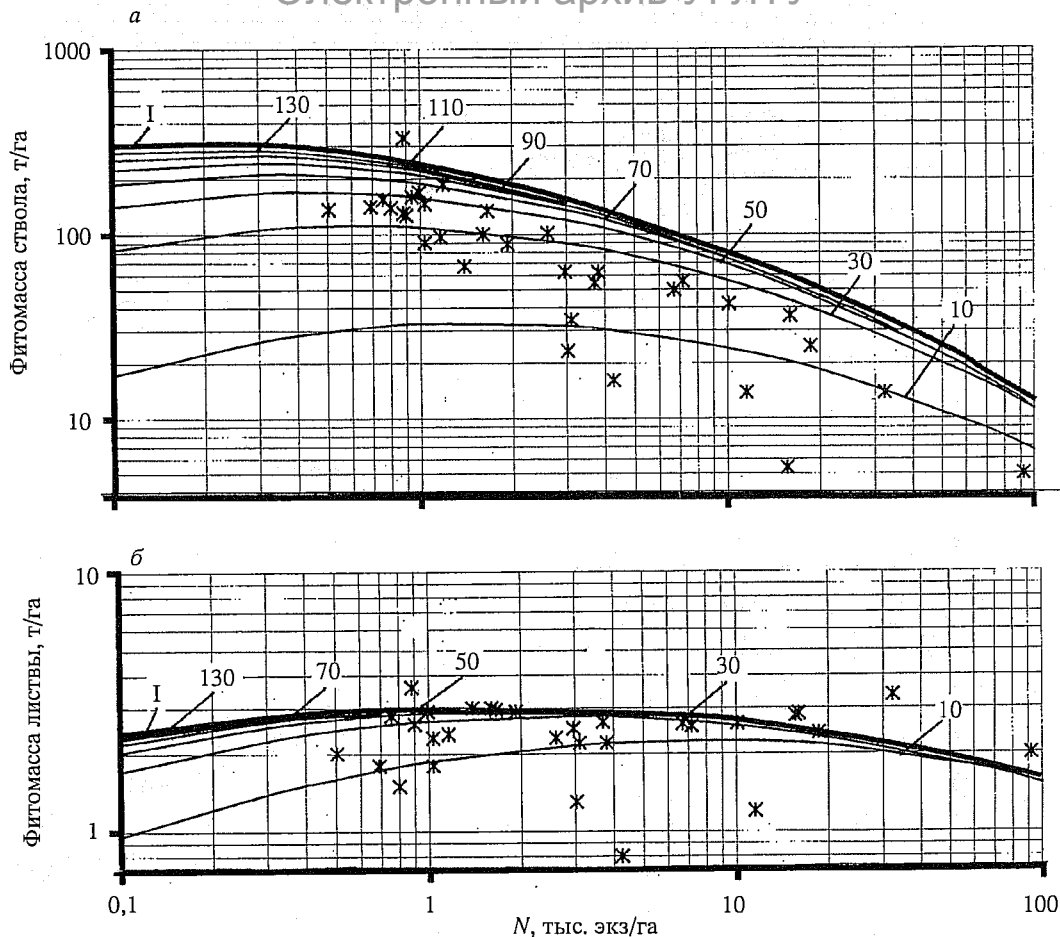


Рис. 3.23. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $\bar{P}_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{19}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.9) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы листьев (б) $\bar{P}_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{19}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.9) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{max}, D_{max}, M_{max}$ осиновых (*P. tremula*) насаждений для подзоны хвойно-широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_1 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

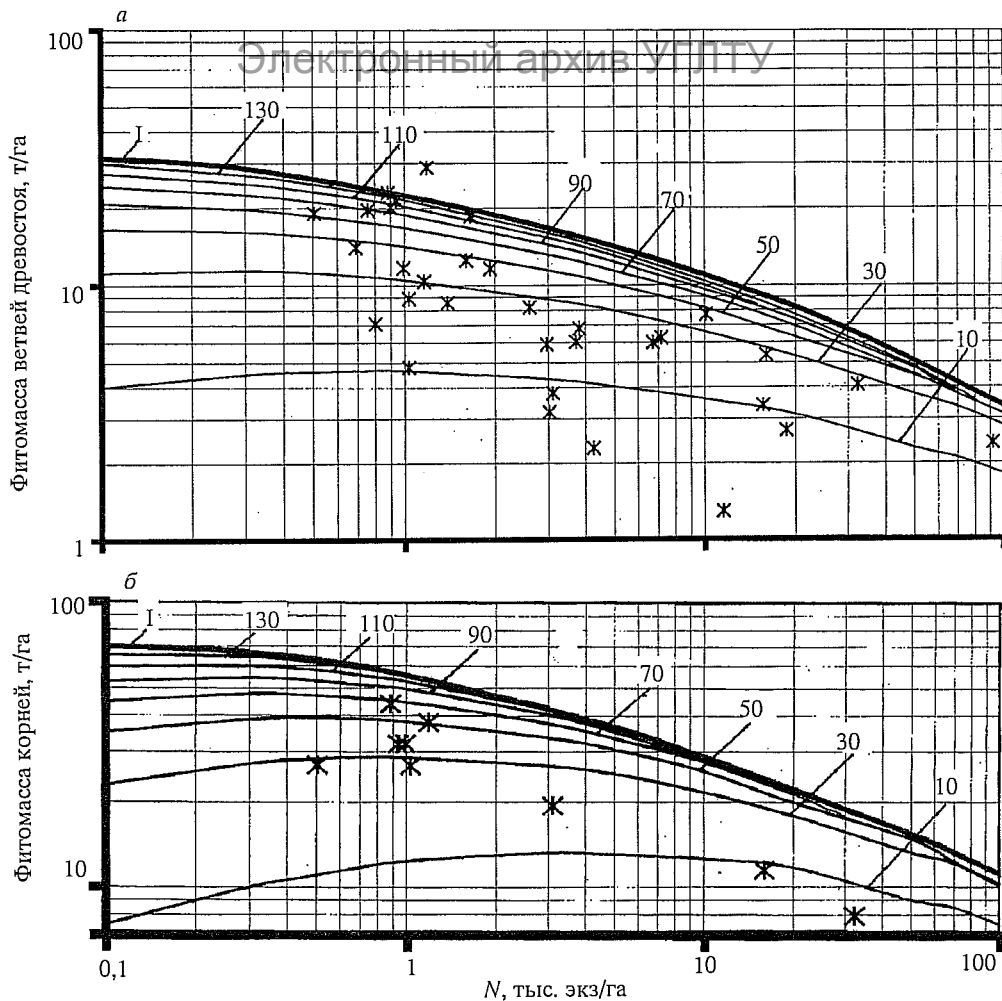


Рис. 3.24. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{19}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.9) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{19}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.9) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} осинового (*P. tremula*) насаждений для подзоны хвойно-широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_1 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

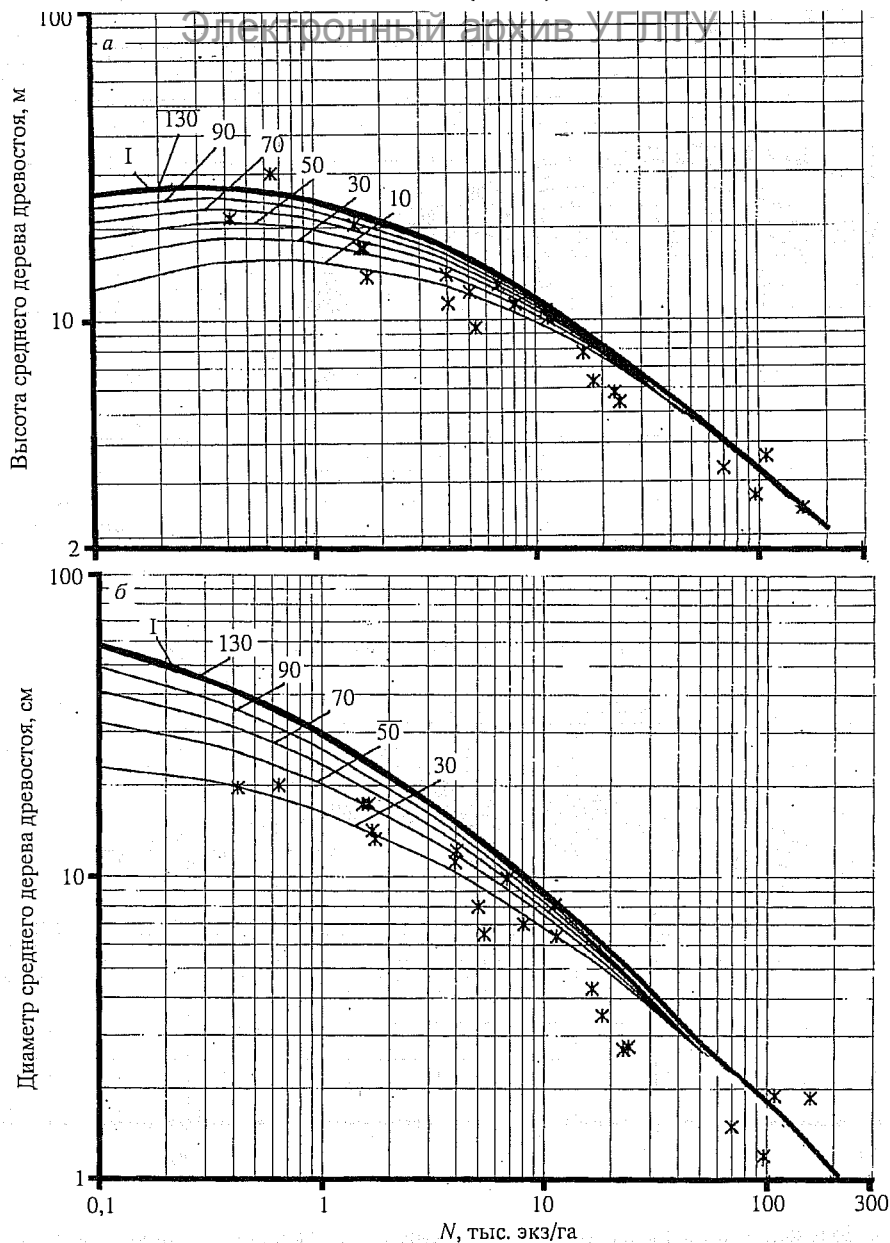


Рис. 3.25. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\text{max}} = f(X_0, \dots, X_5, A, N)$ (табл. 2.3.10) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\text{max}} = f(X_0, \dots, X_5, A, N, H_{\text{max}})$ (табл. 2.3.10) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} ольховых (*A. incana*) насаждений для подзоны хвойно-широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_3 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

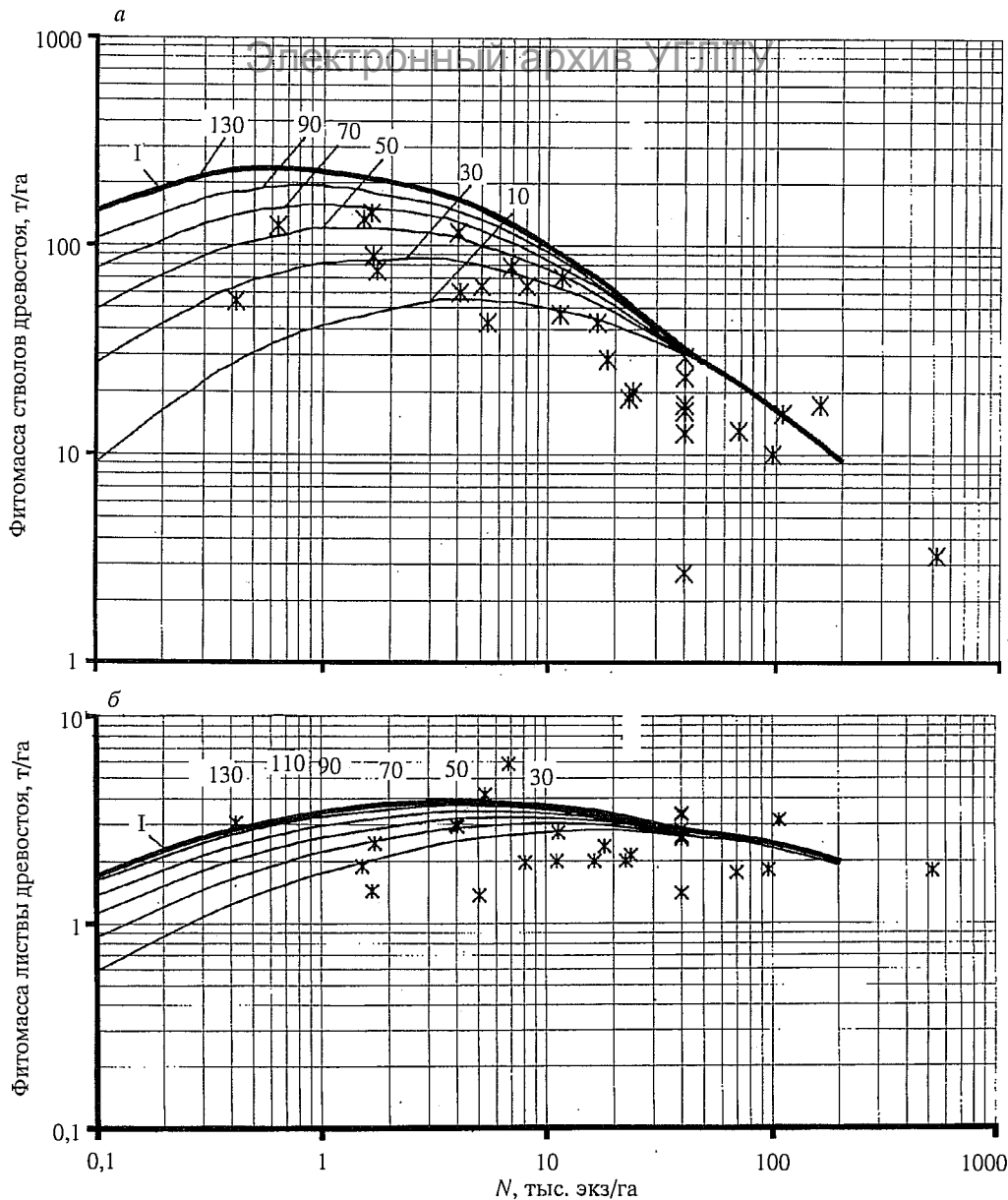


Рис. 3.26. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_5, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.10) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы листвы (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_5, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.10) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{max}, D_{max}, M_{max}$ ольховых (*A. incana*) насаждений для подзоны хвойно-широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_3 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

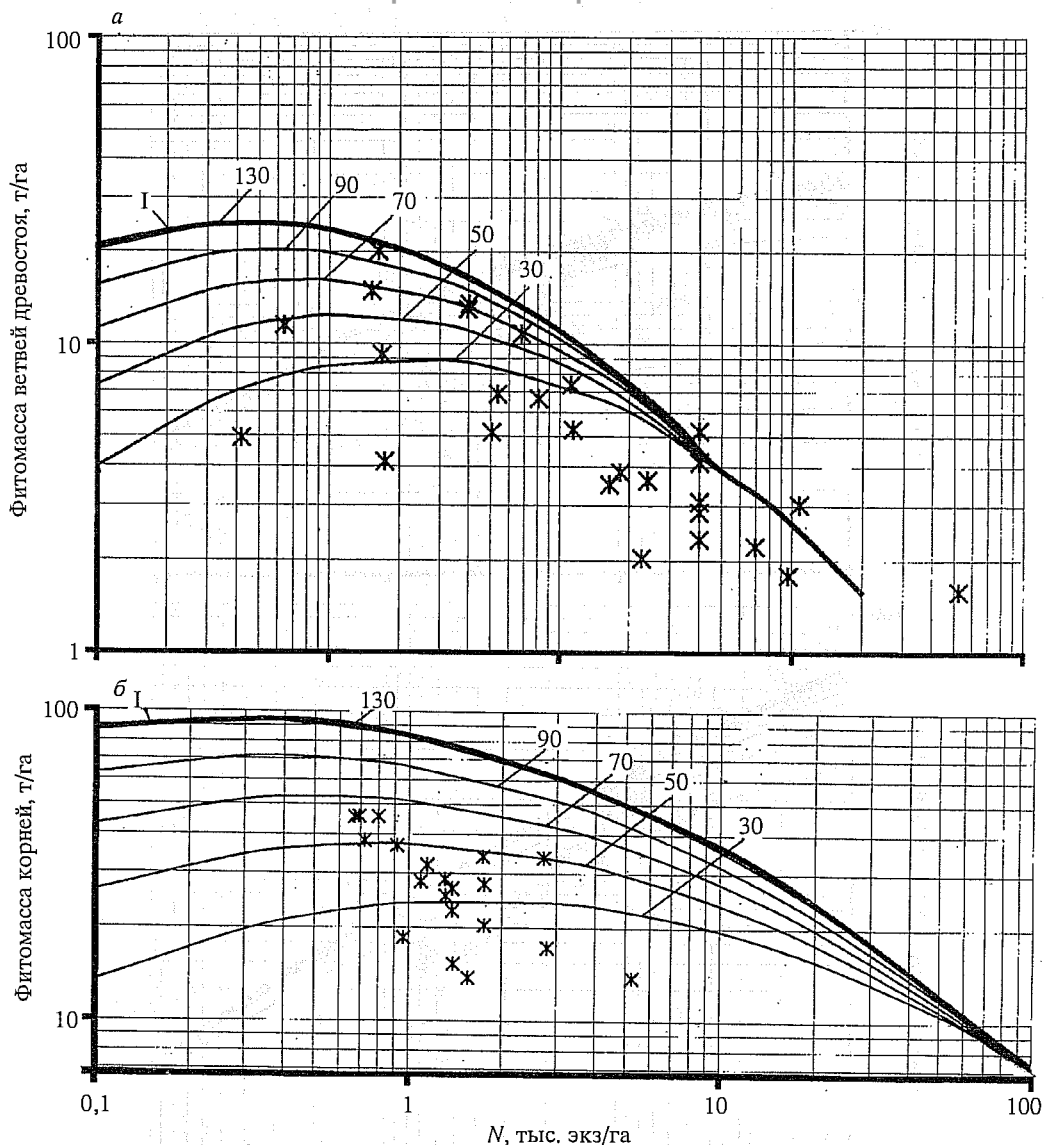


Рис. 3.27. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_5, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.10) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_5, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.10) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} ольховых (*A. incana*) насаждений для подзоны хвойно-широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_3 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

3.4. ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ

3.4.1. ДУБ (*QUERCUS*)

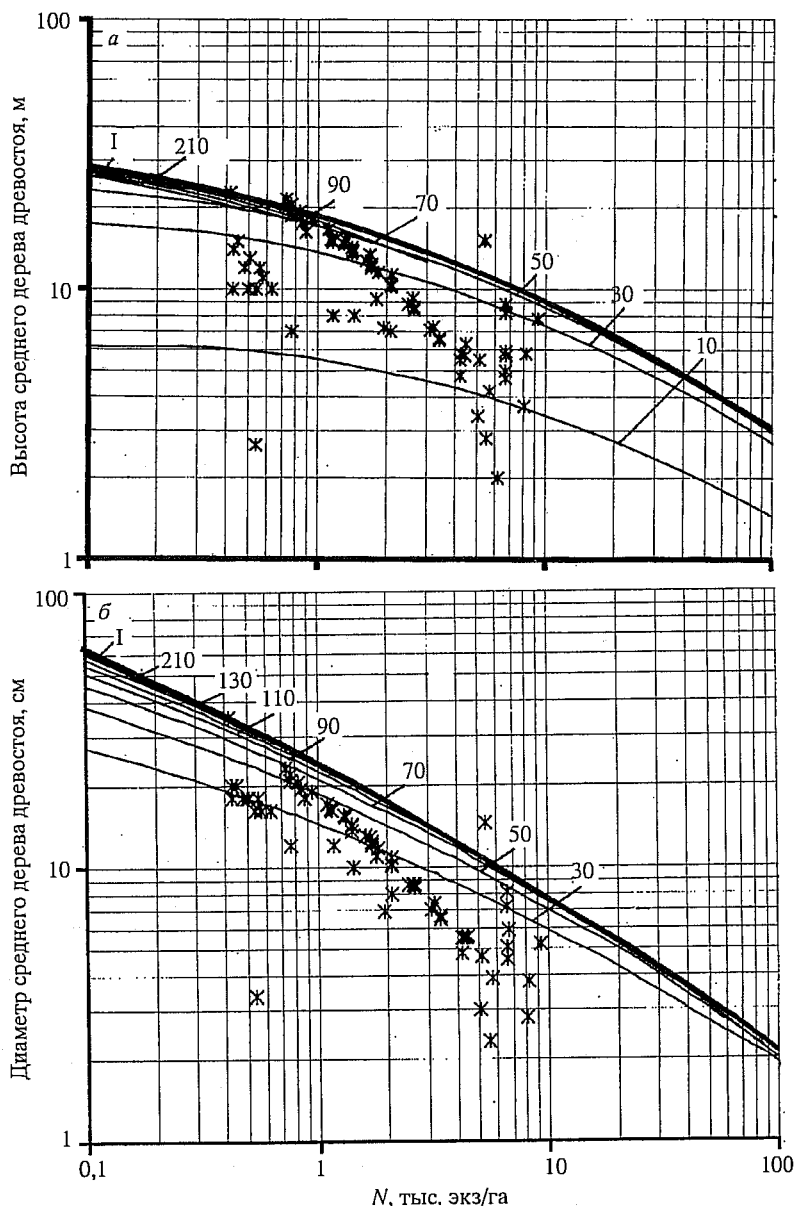


Рис. 3.28. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_{13}, A, N)$ (табл. 2.3.11) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_{13}, A, N, H_{\max})$ (табл. 2.3.11) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$ дубовых (*Q. robur*) насаждений для зоны степей Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_8 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой зоны

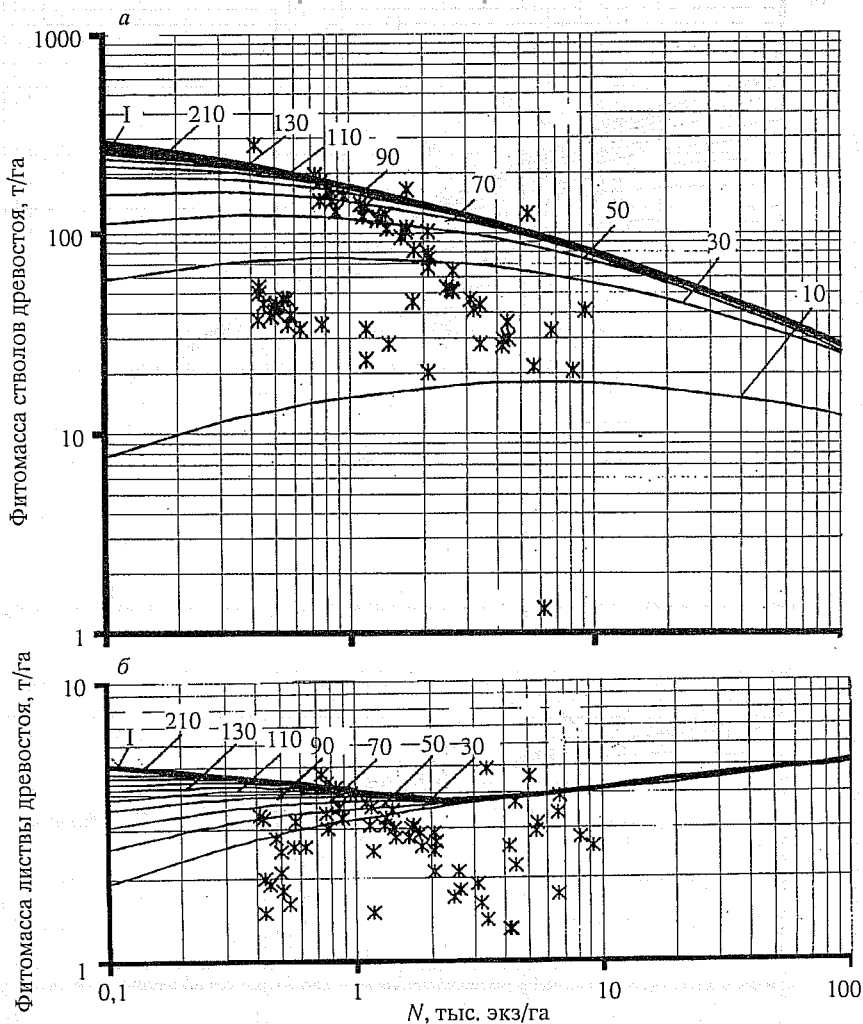


Рис. 3.29. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{ij\max} = f(X_0, \dots, X_{13}, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max})$ (табл. 2.3.11) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы листвы (б) $P_{ij\max} = f(X_0, \dots, X_{13}, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max})$ (табл. 2.3.11) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$, $D_{\max}$, $M_{\max}$ дубовых (*Q. robur*) насаждений для зоны степей Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_8 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой зоны

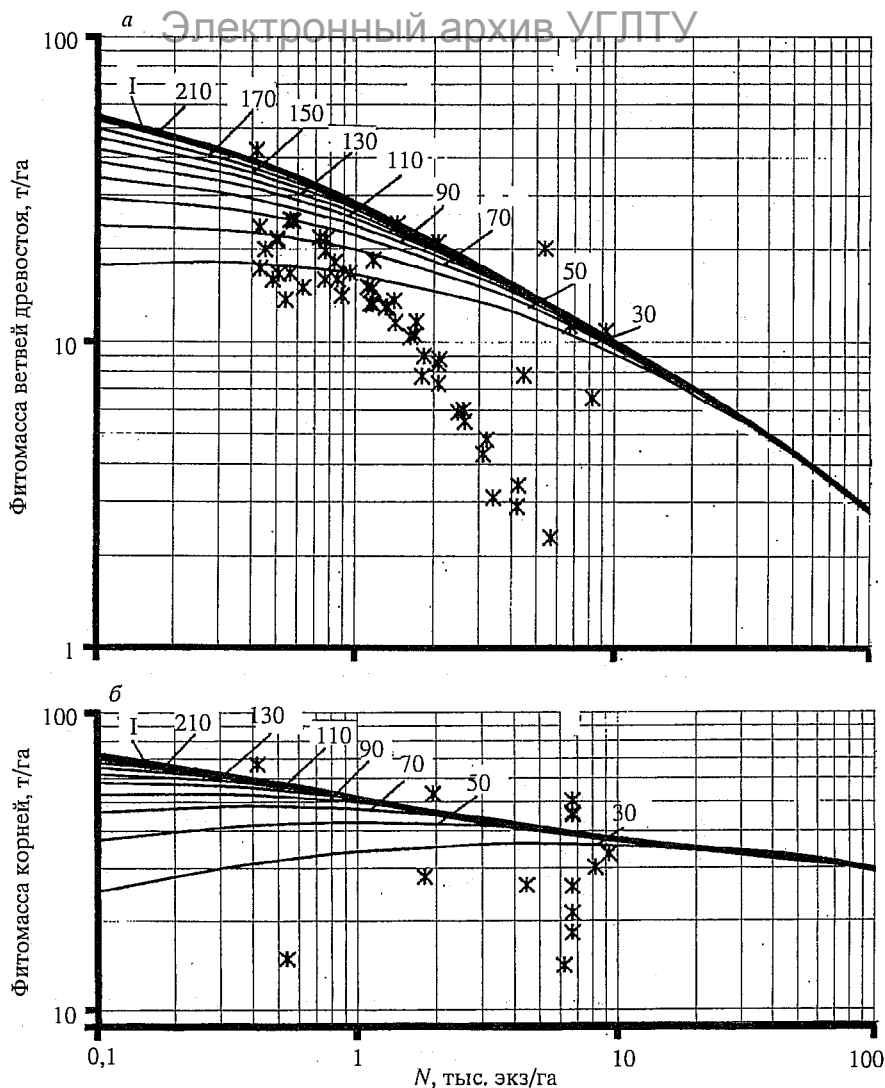


Рис. 3.30. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{13}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.11) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_{13}, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.11) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} дубовых (*Q. robur*) насаждений для зоны степей Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_8 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой зоны

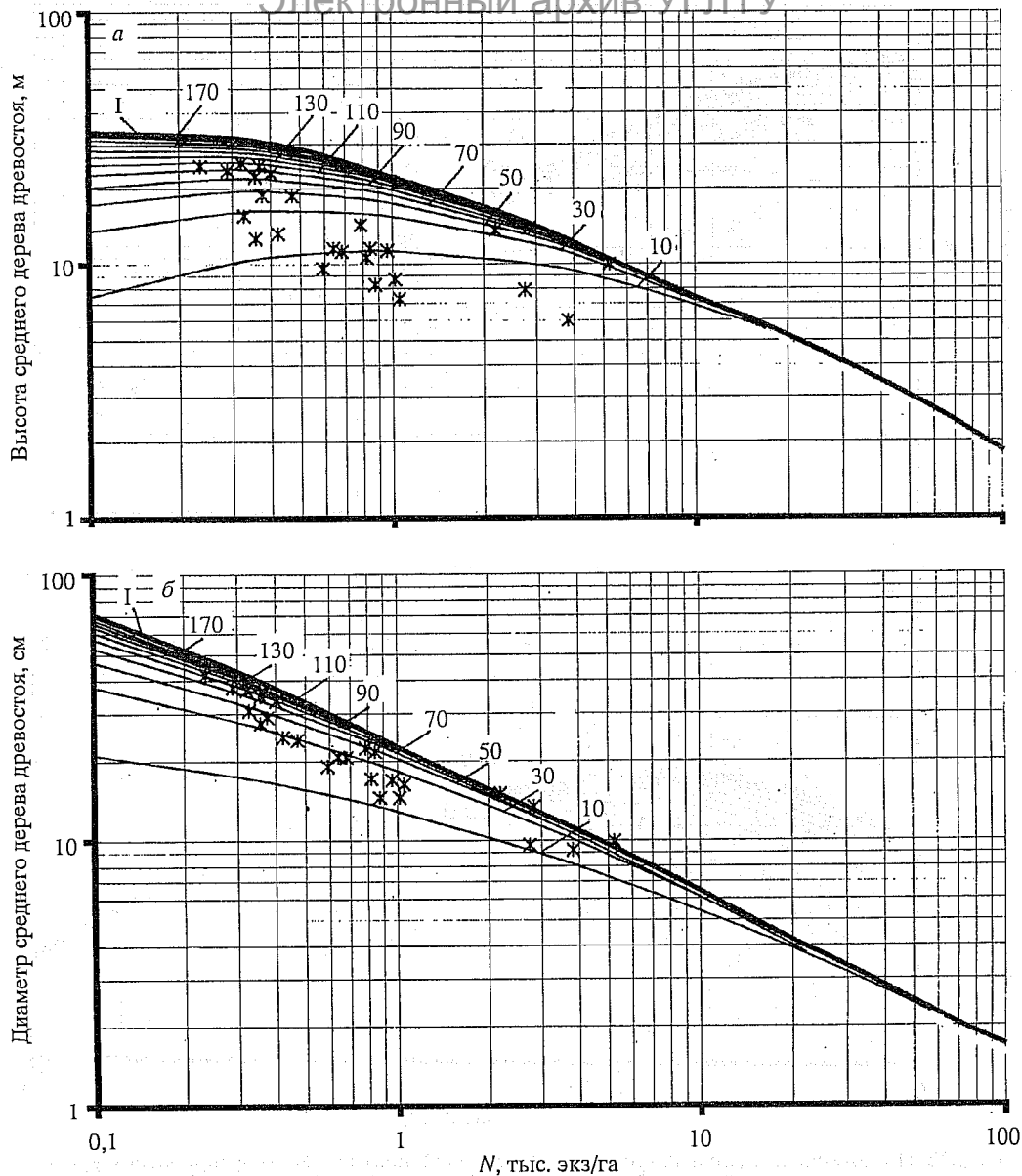


Рис. 3.31. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N)$ (табл. 2.3.12) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N, H_{\max})$ (табл. 2.3.12) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$ буковых (*F. crenata*) насаждений для Японских островов при значении блоковой переменной, соответственно, $X_2 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой зоны

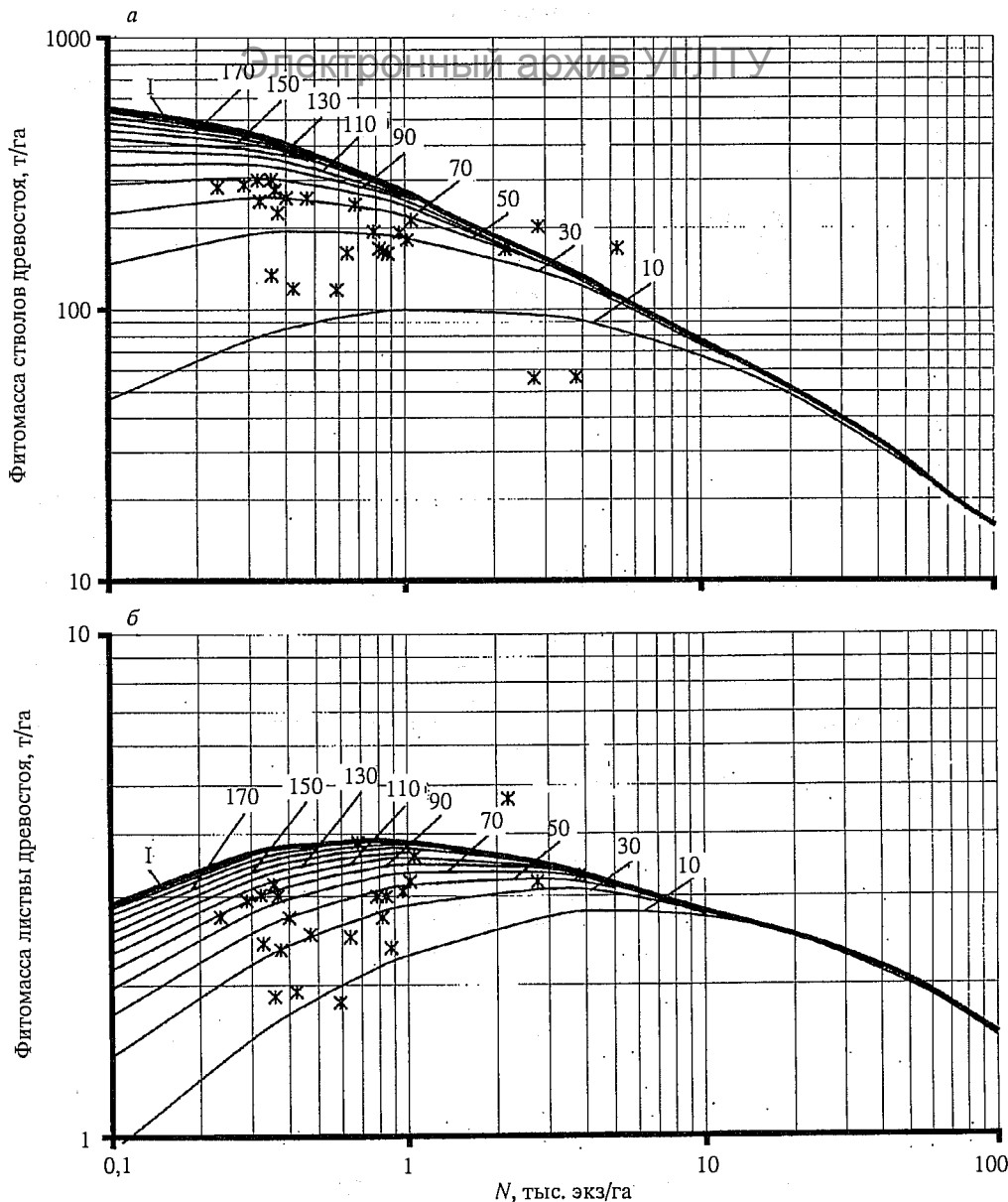


Рис. 3.32. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.12) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы листьев (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.12) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} буковых (*F. crenata*) насаждений для Японских островов при значениях блоковой переменной, соответственно, $X_2 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой зоны

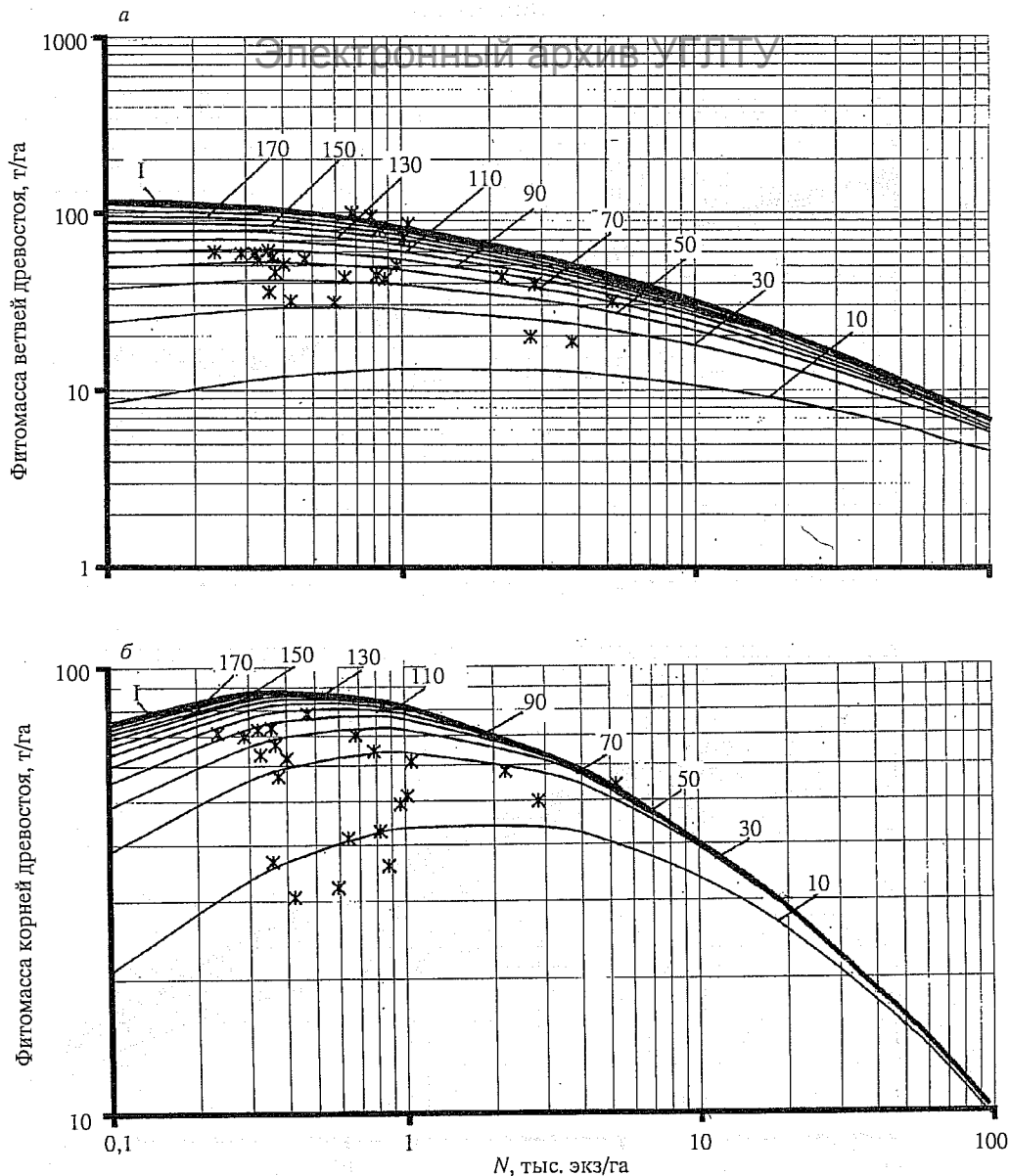


Рис. 3.33. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.12) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.12) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} буковых (*F. crenata*) насаждений для Японских островов при значении блоковой переменной, соответственно, $X_2 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой зоны

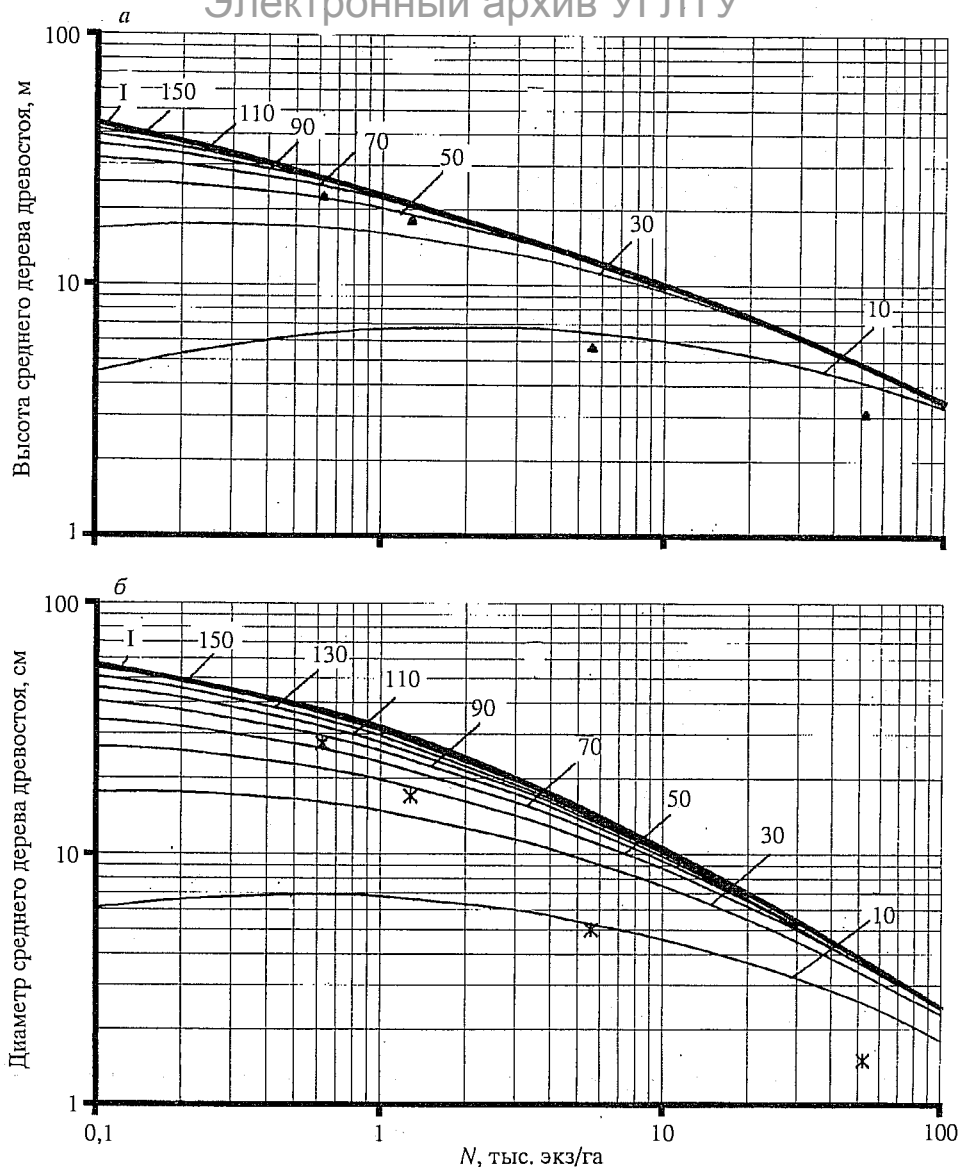


Рис. 3.34. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_9, A, N)$ (табл. 2.3.13) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_9, A, N, H_{\max})$ (табл. 2.3.13) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$ липовых (*T. cordata*) насаждений для подзоны широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_2 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

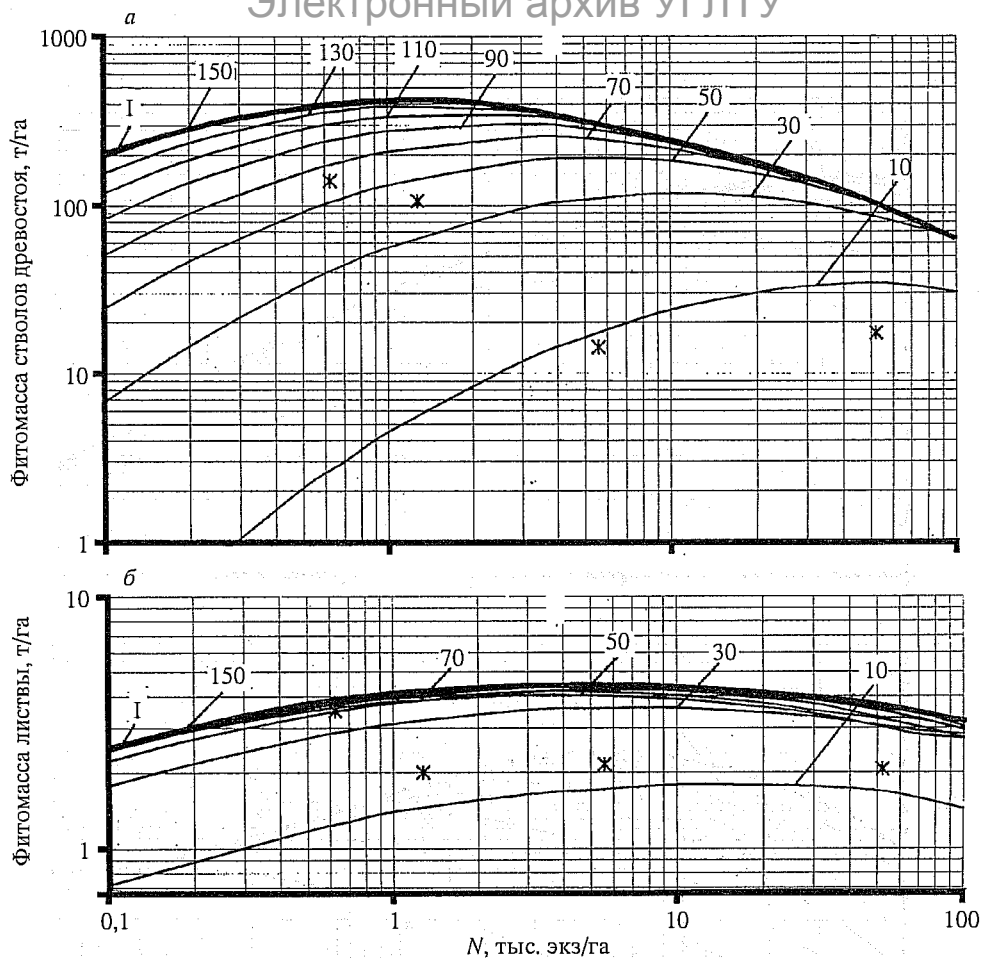


Рис. 3.35. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{(i)\max} = f(X_0, \dots, X_9, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max})$ (табл. 2.3.13) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы листьев (б) $P_{(i)\max} = f(X_0, \dots, X_9, A, N, H_{\max}, D_{\max}, M_{\max})$ (табл. 2.3.13) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}, D_{\max}, M_{\max}$ липовых (*T. cordata*) насаждений для подзоны широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_2 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

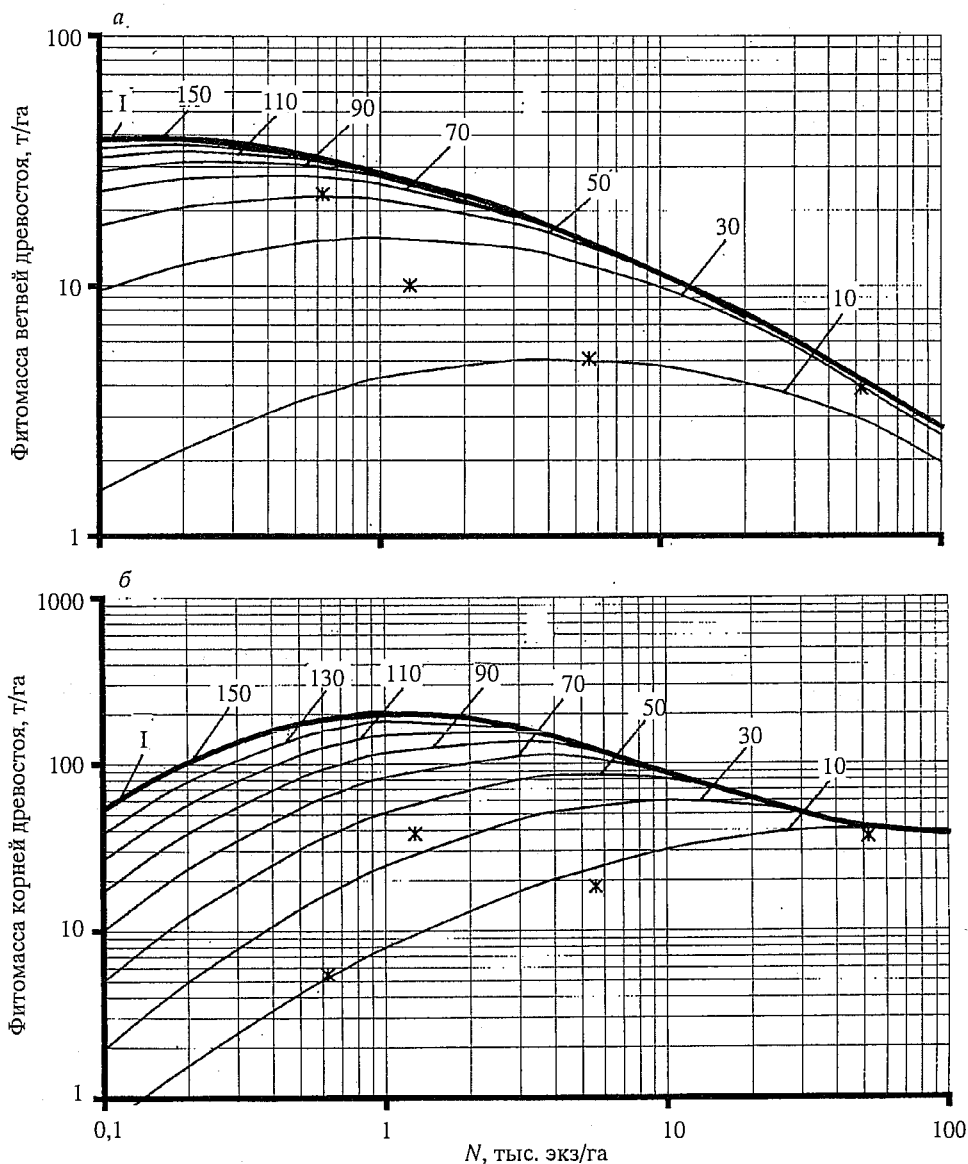


Рис. 3.36. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_9, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.13) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_9, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.13) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} липовых (*T. cordata*) насаждений для подзоны широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_2 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

Электронный архив УГЛТУ

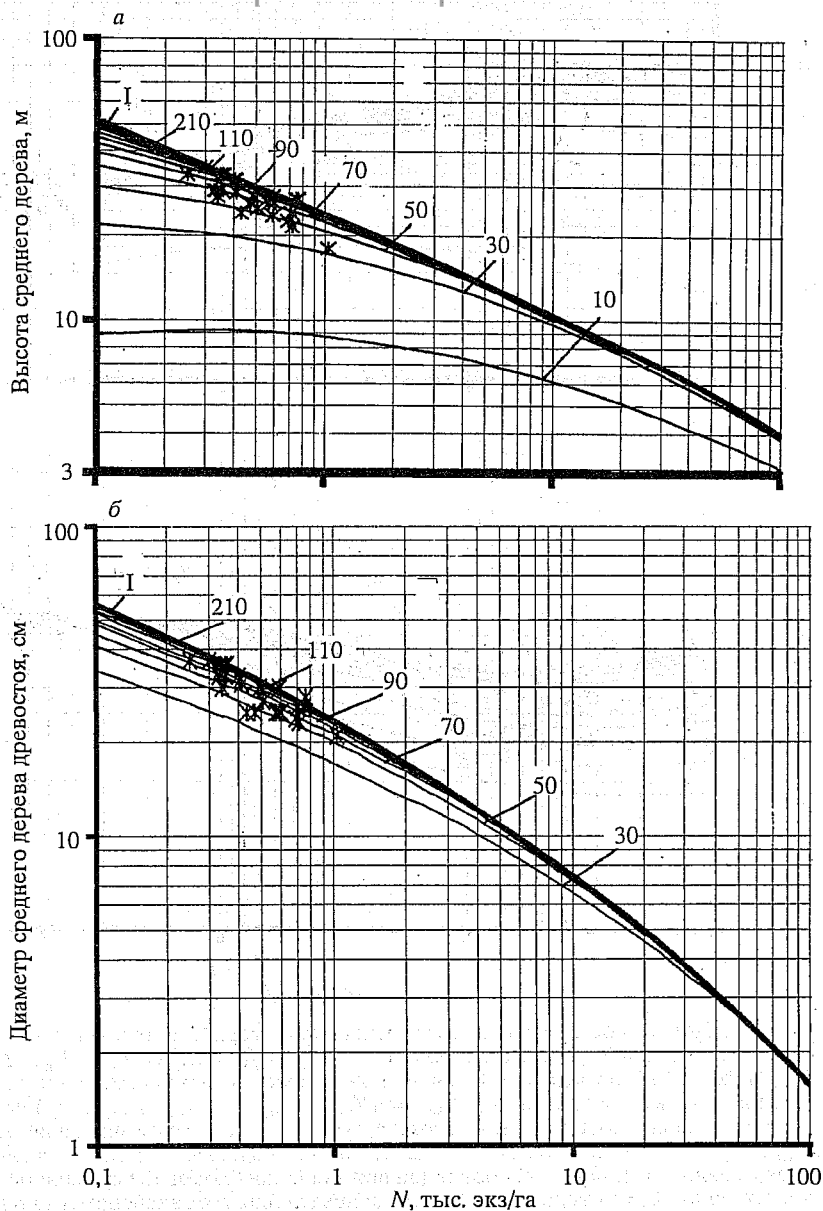


Рис. 3.37. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для высоты (а) $H_{\max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N)$ (табл. 2.3.14) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для диаметра (б) среднего дерева $D_{\max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N, H_{\max})$ (табл. 2.3.14) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям $H_{\max}$ ясеневых (*F. excelsior*) насаждений для подзоны широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_1 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

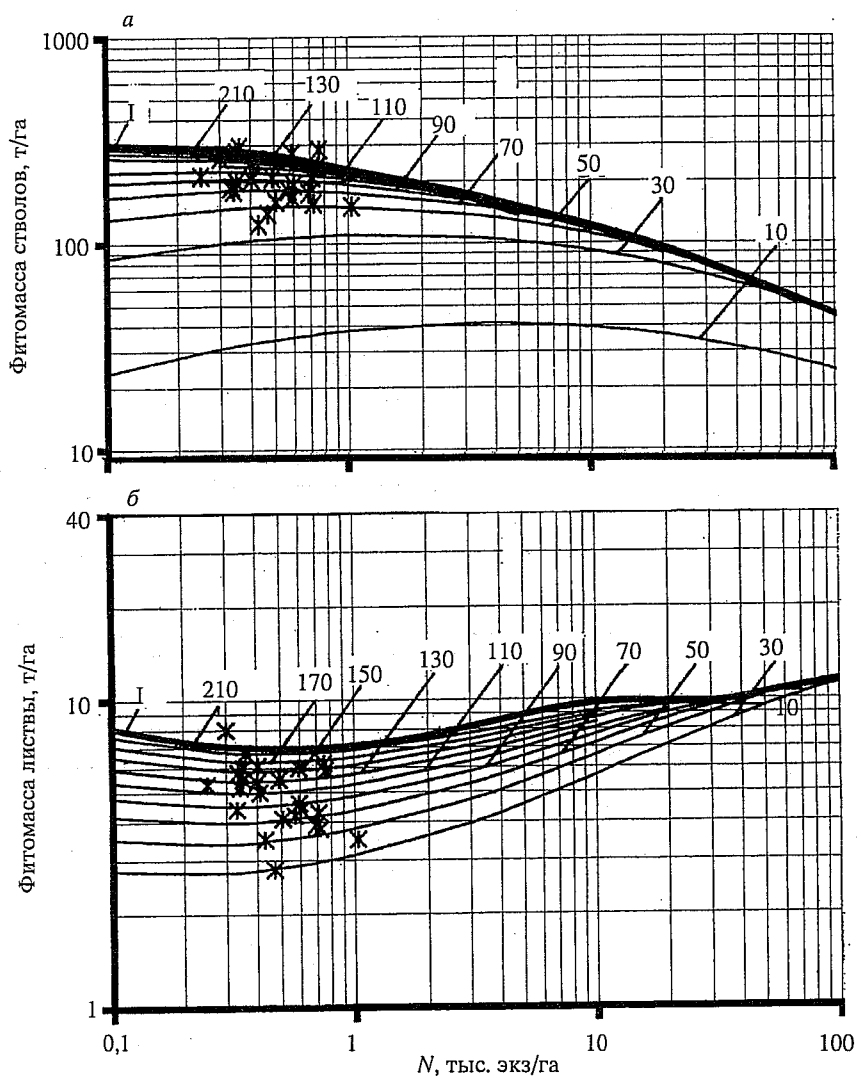


Рис. 3.38. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы стволов (а) $P_{(t)max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.14) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет) и густоты и для массы листьев (б) $P_{(l)max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.14) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} ясеневых (*F. excelsior*) насаждений для подзоны широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_1 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

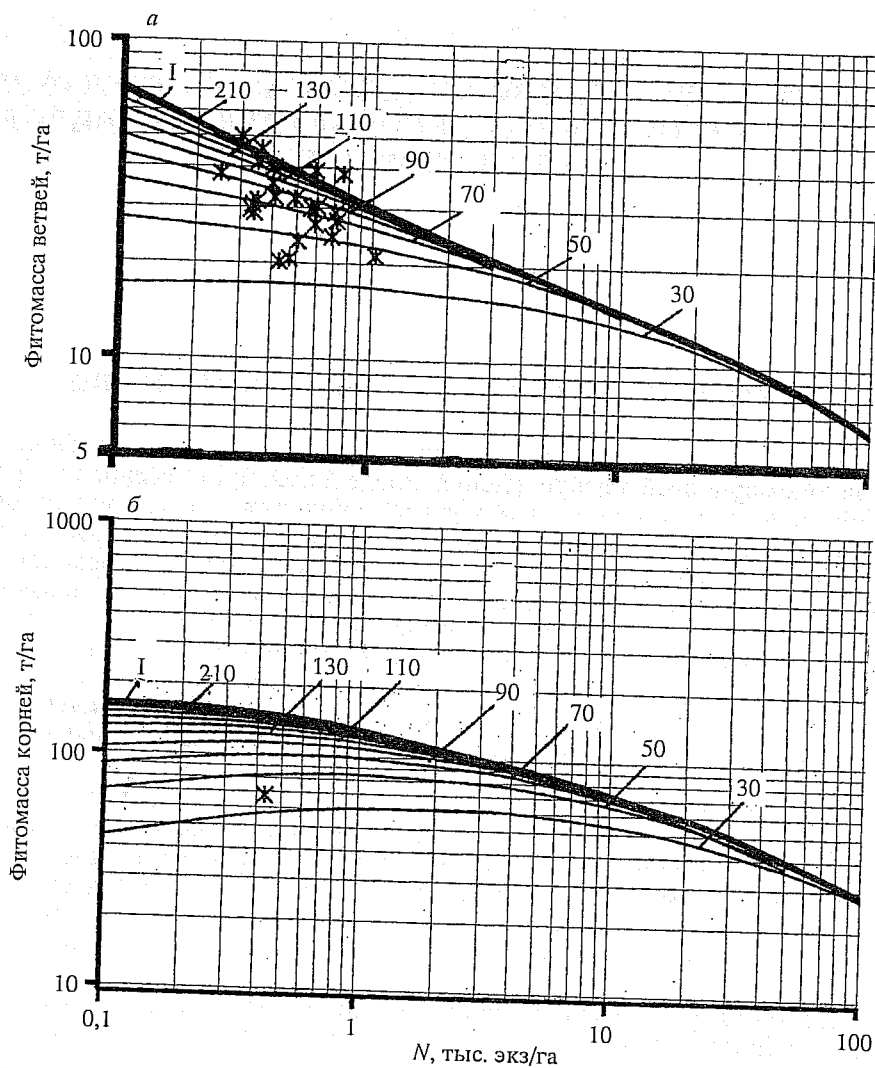


Рис. 3.39. Положение предельных густотных траекторий, полученных табулированием уравнений для массы ветвей (а) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.14) по задаваемым значениям возраста (показан цифрами, лет), густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} и для массы корней (б) $P_{(i)max} = f(X_0, \dots, X_3, A, N, H_{max}, D_{max}, M_{max})$ (табл. 2.3.14) по задаваемым значениям возраста, густоты и расчетным значениям H_{max} , D_{max} , M_{max} ясеневых (*F. excelsior*) насаждений для подзоны широколиственных лесов Скандинавско-Русской провинции при значении блоковой переменной, соответственно, $X_1 = 1$ относительно поля распределения всех экспериментальных данных для упомянутой подзоны

ГЕОГРАФИЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ ФРАКЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ФИТОМАССЫ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ВИДОВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Прежде чем приступить к аналитическому описанию географических закономерностей распределения предельной продуктивности фитомассы лесного покрова, необходимо определиться с выбором географических характеристик территории Северной Евразии, которые можно было бы выразить числом и мерой. Как показано в главе 1, определяющее влияние на характер и продуктивность лесной растительности оказывает одна из основных характеристик географического ландшафта — климат. Основные изменения растительного покрова происходят не только в широтном направлении вследствие изменения интенсивности солнечной радиации, но и в меридиональном (от морских побережий внутрь континента) в результате изменения континентальности климата и условий увлажнения (Волобуев, 1947; Курнаев, 1973; Назимова, 1995).

Формирование климата в значительной мере связано с характером и интенсивностью теплового взаимодействия материков и океанов и соответствующей трансформацией воздушных масс над поверхностями моря и суши с их различным термическим режимом. Эти отличия обуславливают взаимодействие воздушных потоков, вследствие чего формируются климаты с разной степенью континентальности, переходные между морским и континентальным (Полозова, 1954).

Известно более 20 способов количественной оценки степени континентальности (Knoch, Schulze, 1952). Перечислим лишь наиболее приемлемые для севера Евразийского материка:

- формула Ценкера (цит. по: Борисов, 1967), в % от 8 до 100 (рис. 4.1)

$$K = (A/\varphi)100; \quad (4.1)$$

- то же, Горчинского (Gorzynski, 1920), в % от 0 до 100

$$K = (1,7 A/\sin\varphi) - 20,4; \quad (4.2)$$

- то же, Конрада (Conrad, 1946), в % от 0 до 100

$$K = [1,7 A/\sin(\varphi + 10^\circ)] - 14; \quad (4.3)$$

- то же, Хромова (Хромов, 1957), в % от 0 до 92

$$K = [(A - 5,4\sin\varphi)/A]100, \quad (4.4)$$

где A — годовая амплитуда температуры, °С; φ — географическая широта, град.

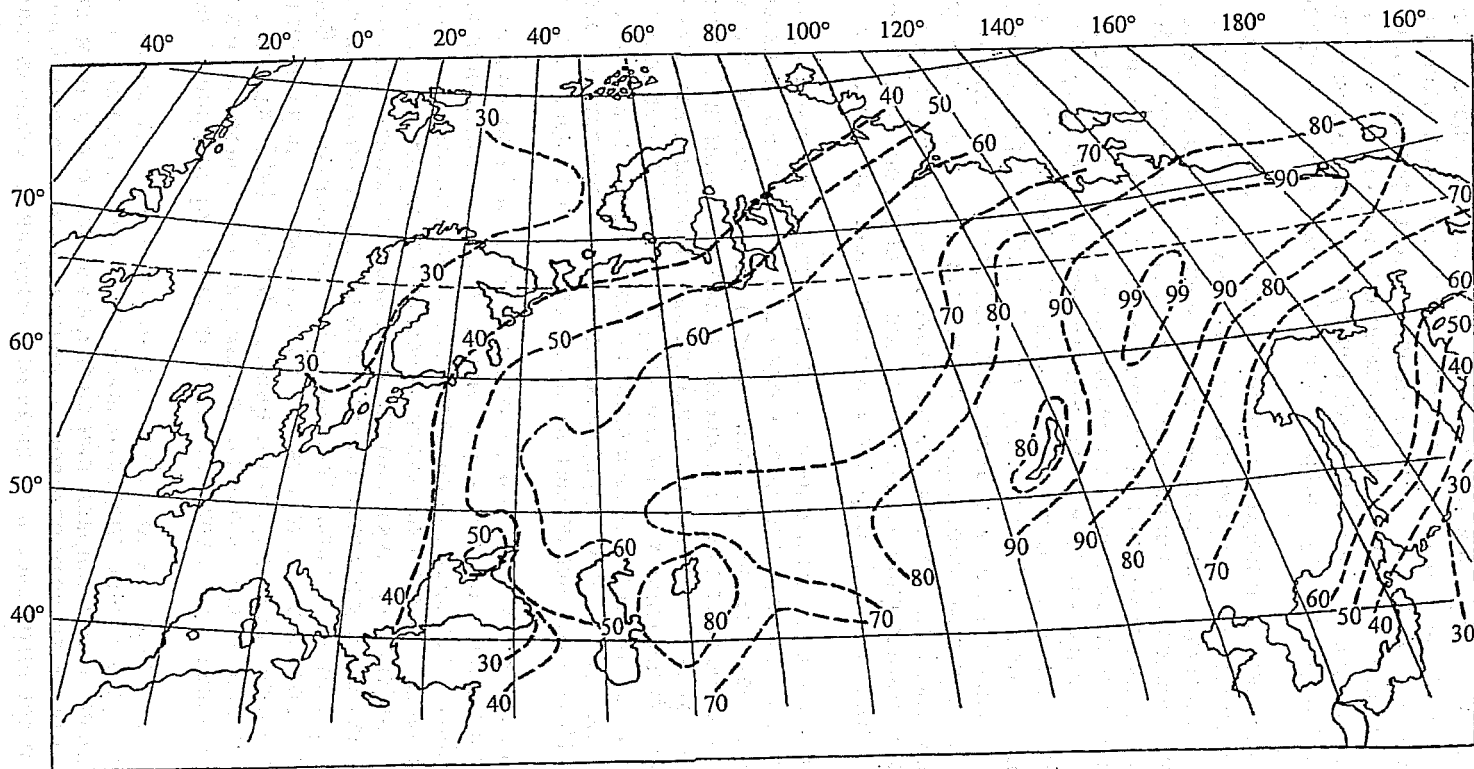


Рис. 4.1. Схема изолиний континентальности климата Евразии, рассчитанных А. А. Борисовым (1967) по упрощенной формуле Ценкера.
Изоконты указаны в %

Большинство формул, предназначенных для расчета индекса континентальности климата, отличаются главным образом разными вкладами и соотношениями основных двух составляющих — географической широты и амплитуды температур самого теплого и самого холодного месяцев. Иными словами, эти формулы включают в себя годовую амплитуду температуры с поправкой на географическую широту, т. е. с косвенным учетом природной зональности.

Принципиально иной подход к оценке континентальности предложен Л.Г. Полозовой (1954), которая полагает, что оценка континентальности по годовой амплитуде температуры воздуха довольно ориентировочная и неприемлема, поскольку одинаковая ее величина, например, на Ямале и на юге Казахстана приходится на совершенно разные типы климата. Неприемлемой она считает и оценку континентальности в целом за год, а не по сезонам, что приводит “к необходимости опровергать явно неоспоримые суждения, например, о том, что климат Японии менее континентален, чем климат Москвы” (Полозова, 1954. С. 414). Л.Г. Полозова характеризует континентальность в относительной мере по отдельности для зимы и для лета путем сопоставления аномалии температуры в данном пункте с наибольшими аномалиями для данной широты. В результате ею составлены соответствующие карты изоконт для территории Северной Евразии (Полозова, 1954). Карта для зимнего периода представлена на рис. 4.2.

Практически все схемы изолиний континентальности климата, построенные для Северной Евразии, имеют одно общее свойство: показывают максимальное значение (полюс) континентальности в районе Якутска и верховий Яны с постепенным ее снижением как в западном (к Атлантике), так и в восточном (к Тихоокеанскому побережью) направлениях. При сопоставлении двух приведенных карт-схем (см. рис. 4.1 и 4.2) очевидно, что во втором случае изоконты в большей степени ориентированы вдоль меридианов (по крайней мере, для Сибири), нежели в первом, вследствие того, что подход Л.Г. Полозовой исключает влияние широты на индекс континентальности.

В предыдущих работах автора (Усольцев, 2001, 2002а) выполнен региональный анализ распределения фитомассы лесов, рассчитанной как по данным пробных площадей с приведением ее к сопоставимому виду на основе специального математико-статистического аппарата, так и по таблицам биологической продуктивности. Фитомасса каждого региона проанализирована в связи с индексом континентальности климата, снятым со схемы ее изолиний — изоконт (см. рис. 4.1), построенной А.А. Борисовым (1967) по формуле Ценкера (4.1). Данная схема выбрана нами в связи с тем, что в отличие от других (например, Иванов, 1953; Хромов, 1957) шаг изолиний на ней был сопоставим с размерами регионов, выделенных в результате зонально-провинциального деления территории Северной Евразии.

В итоге, во-первых, было подтверждено установленное многими исследователями увеличение продуктивности лесных насаждений по запасу стволовой древесины в направлении с севера на юг, но в данном случае вывод сделан не по запасам стволовой древесины или классам бонитета, как это было принято ранее, а по средним приведенным к сопоставимому

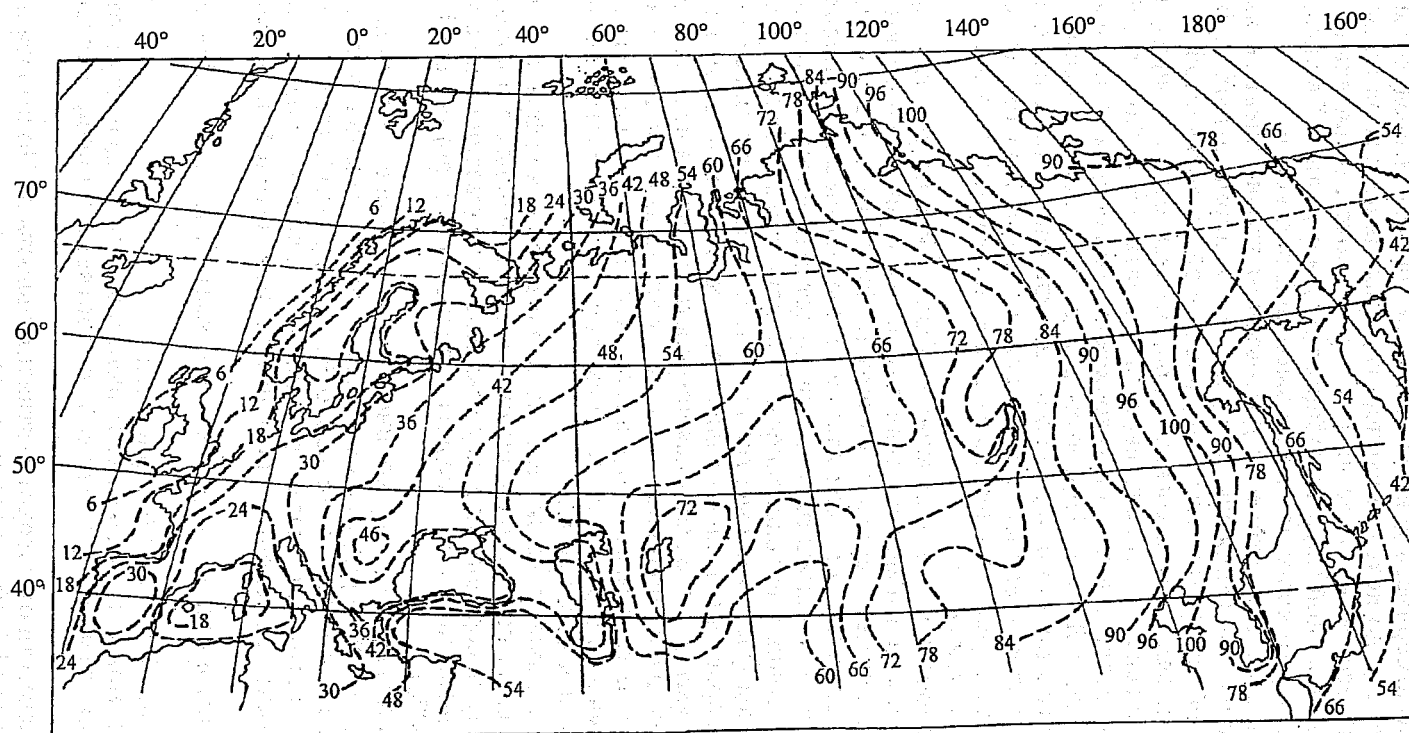


Рис. 4.2. Схема изолиний континентальности климата Евразии для января (Полозова, 1954). Изоконты указаны в %

виду показателям фракционной структуры фитомассы насаждений. Упомянутая закономерность действительно не на всем исследуемом широтном диапазоне, а до некоторого порога, приходящегося на подзоны южной тайги и лесостепи, после чего в горном поясе, окаймляющем с юга территорию Северной Евразии, общий тренд нарушался. Видимо, это было связано с неучтенным влиянием высотной поясности.

Во-вторых, на статистически достоверном уровне впервые выявлены закономерности снижения как средних, так и нормативных показателей надземной и общей фитомассы у видов широкой экологической амплитуды (лиственницы, ели, пихты, сосны, кедра, березы, осины и липы) по мере увеличения индекса континентальности климата (R^2 от 0,65 до 0,98) в направлении от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности в Якутии. При этом регионы полярного пояса с экстремально низкими запасами фитомассы насаждений исключены из анализа. Установлено также увеличение отношения подземной фитомассы к надземной в упомянутых направлениях, обусловленное нарастанием жесткости условий произрастания.

Вполне вероятно, что полученные общие закономерности в принципе повторялись бы при использовании любой из перечисленных выше схем изоконт. Упомянутые парные зависимости фитомассы насаждений от индекса континентальности, несмотря на их статистически подтвержденную достоверность, в большинстве случаев характеризовались довольно значительным остаточным варьированием. Причина этого явления кроется, по-видимому, в недоучете как высотной поясности, так и второй основной климатической характеристики — радиационного баланса или суммы эффективных температур. Если высотная поясность на сегодня не может быть учтена по объективной причине — из-за отсутствия высотной привязки фактических данных фитомассы, то для географического анализа фитомассы в связи с термическим фактором (например, суммой эффективных температур) никаких ограничений нет.

Предварительный содержательный анализ изменения фракционного состава предельных показателей фитомассы, приведенных в приложении 1, по широтному и меридиональному градиентам подтвердил ранее установленные закономерности для средних и нормативных показателей (Усольцев, 2001; 2002а).

Для аналитического (на количественном уровне) описания географии распределения предельных показателей надземной и общей фитомассы древостоев (соответственно P_{alim} и P_{ilim} , т/га), взятых из приложения 1, в настоящей главе предпринята попытка проанализировать закономерности изменения упомянутых показателей в четырех вариантах:

- в зависимости от индекса континентальности по Ценкеру (см. рис. 4.1);

- то же, по Полозовой (см. рис. 4.2);

- в зависимости от индекса континентальности по Ценкеру и от суммы эффективных температур, снятой с соответствующей карты-схемы (рис. 4.3);

- в зависимости от индекса континентальности по Полозовой и от упомянутой суммы эффективных температур.

Исходя из результатов предварительного графического анализа предельных показателей фитомассы, примем структуру регрессионных уравнений:

$$\ln P_{alim} \text{ или } \ln P_{ilim} = a_0 + a_1(\ln IC) - a_2(\ln IC)^2, \quad (4.5)$$

$$\ln P_{alim} \text{ или } \ln P_{ilim} = a_0 + a_1(\ln IC) - a_2(\ln IC)^2 + a_3(\ln T) - a_4(\ln T)^2, \quad (4.6)$$

где P_{alim} и P_{ilim} — соответственно, предельные показатели надземной и общей фитомассы в абсолютно сухом состоянии, т/га; IC — индекс континентальности климата, по Ценкеру или Полозовой, %, значения которого взяты из рис. 4.1 и 4.2; T — среднемесячная сумма эффективных температур выше +5 °С за вегетационный период в Северной Евразии, значения которой взяты из рис. 4.3.

Расчеты уравнений (4.5), объясняющих изменчивость предельных показателей фитомассы насаждений только по индексу IC , и уравнений (4.6), объясняющих эту изменчивость совокупным эффектом IC и T , выполнены, соответственно, по вариантам 1 и 2 (табл. 4.1).

Для древесных видов с относительно небольшим ареалом в пределах Европы (бука, ясеня, граба) географический анализ их предельной фитомассы по определяющим климатическим характеристикам выполнен лишь частично по причине малого диапазона последних и неучтенного влияния высотной поясности в горах европейского Юга.

У остальных древесных видов с широким ареалом и экологической амплитудой связь предельной фитомассы с индексом континентальности оказалась или слабой, или недостоверной. Но совокупный эффект индекса континентальности и суммы эффективных температур в объяснении изменчивости предельной фитомассы большинства древесных пород практически во всех случаях оказался достоверным. Здесь имеется в виду достоверность влияния фактора (IC или T), а не переменной: когда влияние фактора “рассредоточено” по двум переменным в полиноме второго порядка, то каждая из них в отдельности иногда статистически незначима, но это еще не говорит о недостоверности самого фактора.

Как следует из анализа табл. 4.1, адекватность двухфакторных уравнений (4.6), учитывающих влияние обоих климатических факторов, для древесных пород широкой экологической амплитуды во всех случаях существенно выше по сравнению с однофакторными уравнениями (4.5). Исключения составляют лишь кедр сибирский и корейский, для которых влияние суммы эффективных температур на предельные показатели фитомассы оказалось статистически не значимым вследствие сравнительно узкого диапазона T для фактических данных фитомассы.

Несмотря на то, что в индексе континентальности Л.Г. Полозовой исключено влияние широты, коррелирующей с суммой эффективных температур, названный индекс практически у всех древесных видов оказался менее информативным в объяснении изменчивости фитомассы по сравнению с индексом Ценкера (см. табл. 4.1).

Выводы по информативности некоторых климатических показателей в объяснении изменчивости предельных показателей фитомассы насаждений были далее проверены на средних показателях надземной и общей фитомассы (соответственно P_{abo} и P_{tot} , т/га). Эти показатели получены ранее (Усольцев, 2001) в составе возрастных трендов усредненных и приведенных

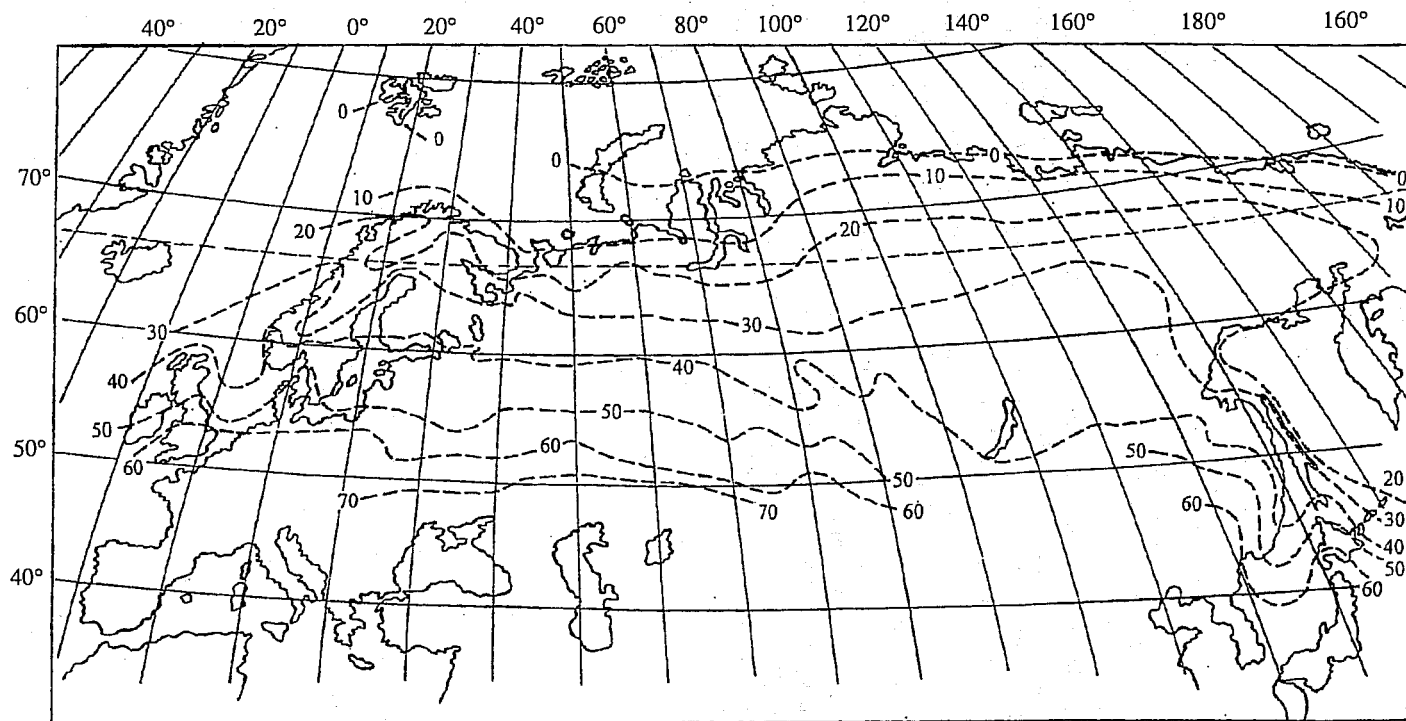


Рис. 4.3. Карта-схема распределения среднемесячных значений суммы эффективных температур выше +5 °С (показаны цифрами) за вегетационный период в Северной Евразии (Tuhkanen, 1984)

**Сравнение пригодности некоторых климатических характеристик и их сочетаний
для объяснения изменчивости предельных показателей фитомассы насаждений
на территории Северной Евразии**

Показатель	Вариант 1 (4.5)*				Вариант 2 (4.6)*					
	a_0	$\ln/C$	$(\ln/C)^2$	R^{2**}	a_0	$\ln/C$	$(\ln/C)^2$	$\ln T$	$(\ln T)^2$	R^2
<i>Лиственница (Larix)</i>										
<i>IC по Ценкеру</i>										
$\ln(P_{alim})$	10,4	-1,22/1,9	—	0,15	-11,1	-1,38/3,9	—	11,9/4,8	-1,56/4,2	0,87
$\ln(P_{ilim})$	10,3	-1,13/2,2	—	0,19	-5,19	-1,17/3,6	—	8,19/3,6	-1,05/3,1	0,77
<i>IC по Полозовой</i>										
$\ln(P_{alim})$	11,8	-1,56/3,2	—	0,34	-6,19	-1,12/4,0	—	8,32/3,7	-1,04/3,2	0,82
$\ln(P_{ilim})$	11,2	-1,35/3,4	—	0,37	-0,91	-0,98/3,9	—	5,20/2,6	-0,61/2,0	0,79
<i>Ель (Picea)</i>										
<i>IC по Ценкеру</i>										
$\ln(P_{alim})$	1,57	3,40/0,6	-0,61/0,8	0,32	-22,1	8,90/2,7	-1,29/3,0	5,80/3,0	-0,64/2,4	0,82
$\ln(P_{ilim})$	-0,86	4,64/0,9	-0,75/1,1	0,35	-19,1	8,95/2,8	-1,28/3,1	4,36/2,4	-0,48/1,8	0,77
<i>IC по Полозовой</i>										
$\ln(P_{alim})$	6,15	-0,20/0,5	—	0,01	-2,10	-0,46/1,7	—	3,74/1,5	-0,33/1,0	0,65
$\ln(P_{ilim})$	6,51	-0,22/0,6	—	0,02	0,70	-0,42/1,7	—	2,54/1,1	-0,20/0,6	0,57
<i>Пихта (Abies)</i>										
<i>IC по Ценкеру</i>										
$\ln(P_{alim})$	10,3	-1,17/5,5	—	0,70	5,23	-0,69/2,4	—	0,78/2,4	—	0,91
$\ln(P_{ilim})$	10,4	-1,15/5,2	—	0,68	4,18	-0,55/2,0	—	0,95/2,9	—	0,91
<i>IC по Полозовой</i>										
$\ln(P_{alim})$	9,95	-1,05/1,7	—	0,18	2,11	-0,46/1,3	—	1,36/6,6	—	0,87
$\ln(P_{ilim})$	9,70	-0,95/1,5	—	0,15	1,54	-0,33/1,0	—	1,41/7,3	—	0,89
<i>Сосна (Pinus sylvestris, P. pinaster, P. nigra, P. densiflora, P. sosnowskii), естественные насаждения</i>										
<i>IC по Ценкеру</i>										
$\ln(P_{alim})$	2,75	2,25/0,6	-0,40/0,9	0,33	-11,5	4,02/1,7	-0,58/1,9	4,57/1,7	-0,49/1,3	0,72
$\ln(P_{ilim})$	3,59	1,97/0,5	-0,37/0,8	0,35	-9,24	3,7/1,5	-0,55/1,7	3,8/1,3	-0,39/1,0	0,71
<i>IC по Полозовой</i>										
$\ln(P_{alim})$	-2,76	4,86/1,1	-0,70/1,2	0,21	-11,1	4,65/1,6	-0,65/1,7	3,57/1,3	-0,35/1,0	0,70
$\ln(P_{ilim})$	-2,54	4,87/1,1	-0,71/1,2	0,21	-9,15	4,53/1,5	-0,64/1,6	2,71/1,0	-0,23/0,6	0,69
<i>Сосна (Pinus sylvestris, P. nigra, P. thunbergii, P. strobus, P. densiflora, P. taeda, P. elliotii, P. pallasiana, P. pityusa, P. pinaster, P. halepensis), культуры</i>										
<i>IC по Ценкеру</i>										
$\ln(P_{alim})$	Влияние IC на P_{alim} не значимо				0,50	-0,56/1,7	—	3,21/0,7	-0,36/0,6	0,20
$\ln(P_{ilim})$	Влияние IC на P_{ilim} не значимо				1,08	-0,53/1,7	—	2,94/0,6	-0,33/0,6	0,21

Показатель	Вариант 1 (4.5)				Вариант 2 (4.6)					
	a_0	$\ln/C$	$(\ln/C)^2$	R^2	a_0	$\ln/C$	$(\ln/C)^2$	$\ln T$	$(\ln T)^2$	R^2
IC по Полозовой										
$\ln(P_{ulim})$	Влияние IC на P_{ulim} не значимо				-2,83	-0,02/0,1	—	3,77/0,7	-0,42/0,6	0,10
$\ln(P_{lim})$	Влияние IC на P_{lim} не значимо				-2,12	-0,03/0,1	—	3,50/0,7	-0,39/0,6	0,10
Кедр (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>)										
IC по Ценкеру										
$\ln(P_{ulim})$	16,6	-2,67/5,8	—	0,92	Влияние T на P_{ulim} статистически не значимо					
$\ln(P_{lim})$	14,8	-2,18/4,6	—	0,88	Влияние T на P_{lim} статистически не значимо					
IC по Полозовой										
$\ln(P_{ulim})$	11,0	-1,34/0,8	—	0,18	Влияние T на P_{ulim} статистически не значимо					
$\ln(P_{lim})$	10,3	-1,11/0,8	—	0,18	Влияние T на P_{lim} статистически не значимо					
Береза (<i>Betula</i>)										
IC по Ценкеру										
$\ln(P_{ulim})$	7,97	-0,79/1,4	—	0,07	-17,6	-1,08/3,3	—	14,3/5,9	-1,89/5,4	0,72
$\ln(P_{lim})$	7,85	-0,69/1,8	—	0,11	-9,10	-0,88/3,2	—	9,56/4,9	-1,27/4,6	0,67
IC по Полозовой										
$\ln(P_{ulim})$	7,18	-0,61/1,8	—	0,11	-19,8	-0,91/4,8	—	15,2/6,7	-2,03/6,3	0,77
$\ln(P_{lim})$	6,82	-0,45/1,8	—	0,11	-10,2	-0,64/3,7	—	9,66/4,6	-1,30/4,4	0,61
Осина и тополи (<i>Populus</i>)										
IC по Ценкеру										
$\ln(P_{ulim})$	10,7	-1,23/3,7	—	0,44	3,15	-1,16/3,5	—	3,76/1,3	-0,48/1,2	0,52
$\ln(P_{lim})$	10,6	-1,15/3,4	—	0,39	2,15	-1,07/3,1	—	4,15/1,4	-0,52/1,3	0,50
IC по Полозовой										
$\ln(P_{ulim})$	8,26	-0,62/1,9	—	0,17	-1,16	-0,70/2,3	—	4,85/1,4	-0,60/1,3	0,36
$\ln(P_{lim})$	8,40	-0,61/1,9	—	0,17	-1,81	-0,70/2,4	—	5,25/1,6	-0,65/1,5	0,39
Ольха (<i>Alnus</i>)										
$\ln(P_{ulim})$	Влияние IC на P_{ulim} не значимо				3,17	—	—	0,64/2,1	—	0,52
$\ln(P_{lim})$	Влияние IC на P_{lim} не значимо				3,66	—	—	0,57/2,0	—	0,51
Дуб (<i>Quercus</i>)										
$\ln(P_{ulim})$	Влияние IC на P_{ulim} не значимо				1,44	—	—	1,08/2,9	—	0,48
$\ln(P_{lim})$	Влияние IC на P_{lim} не значимо				1,46	—	—	1,11/3,5	—	0,57
Липа (<i>Tilia</i>)										
$\ln(P_{ulim})$	Влияние IC на P_{ulim} не значимо				-0,17	—	—	1,54/2,4	—	0,45
$\ln(P_{lim})$	Влияние IC на P_{lim} не значимо				-0,06	—	—	1,60/2,1	—	0,39

Примечание. Здесь и далее в числителе — коэффициент уравнения, в знаменателе — его значимость, по Стьюденту.

Существенно более низкие показатели детерминации уравнений (4.5) по сравнению с аналогичными показателями подобных уравнений, приведенных ранее (Усольцев, 2001; приложение 2), объясняются тем, что в расчет (4.5) включены все регионы, а в предыдущем случае регионы полярного пояса были исключены при расчете уравнений $P_i \sim IC$.

к сопоставимому виду данных фитомассы пробных площадей. Для сравнительного анализа последних принят возраст 100 лет у хвойных естественных и 55—60 лет — у лиственных пород и культур сосны.

Взятые из возрастных трендов средние показатели фитомассы включены в расчет следующих уравнений:

$$\ln P_{abo} \text{ или } \ln P_{tot} = a_0 + a_1(\ln C) - a_2(\ln C)^2, \quad (4.7)$$

$$\ln P_{abo} \text{ или } \ln P_{tot} = a_0 + a_1(\ln C) - a_2(\ln C)^2 + a_3(\ln T) - a_4(\ln T)^2. \quad (4.8)$$

Результаты расчета уравнений (4.7) и (4.8) сведены в табл. 4.2.

Сопоставление характеристик уравнений, приведенных в табл. 4.1 и 4.2, позволяет заключить, что закономерности, установленные по первой из них, фактически повторяются во второй.

Результаты табулирования уравнений (4.5) и (4.6) табл. 4.1 приведены в приложении 2, а уравнений (4.7) и (4.8) табл. 4.2 — в приложении 3.

Таблица 4.2

Сравнение пригодности некоторых климатических характеристик и их сочетаний для объяснения изменчивости средних показателей фитомассы насаждений пробных площадей, взятых по материалам базы данных (Усольцев, 2001)

Показатель	Вариант 1 (4.7)				Вариант 2 (4.8)					
	a_0	$\ln C$	$(\ln C)^2$	R^2	a_0	$\ln C$	$(\ln C)^2$	$\ln T$	$(\ln T)^2$	R^2
<i>Лиственница (Larix)</i>										
<i>IC по Ценкеру</i>										
$\ln(P_{abo})$	8,48	-0,98/1,2	—	0,07	-17,5	-1,05/2,7	—	13,8/5,1	-1,76/4,4	0,85
$\ln(P_{tot})$	8,85	-0,97/1,8	—	0,15	-1,44	-1,10/3,0	—	5,64/2,2	-0,71/1,9	0,67
<i>IC по Полозовой</i>										
$\ln(P_{abo})$	11,2	-1,63/2,6	—	0,25	-13,0	-1,03/3,7	—	11,1/5,0	-1,39/4,2	0,88
$\ln(P_{tot})$	10,0	-1,24/3,1	—	0,32	2,65	-0,91/3,3	—	2,71/1,2	-0,28/0,9	0,69
<i>Ель (Picea)</i>										
<i>IC по Ценкеру</i>										
$\ln(P_{abo})$	7,92	-0,30/0,1	-0,11/0,2	0,30	-12,4	4,44/1,4	-0,69/1,7	5,0/2,7	-0,55/2,1	0,79
$\ln(P_{tot})$	6,06	0,70/0,2	-0,22/0,4	0,35	-7,63	4,08/1,2	-0,64/1,5	3,08/1,6	-0,33/1,2	0,68
<i>IC по Полозовой</i>										
$\ln(P_{abo})$	2,00	1,66/0,2	-0,23/0,2	0,00	-7,59	2,85/0,7	-0,42/0,7	3,13/1,4	-0,27/0,9	0,65
$\ln(P_{tot})$	-0,64	3,29/0,6	-0,45/0,6	0,02	-5,72	3,90/0,9	-0,55/1,0	1,43/0,6	-0,08/0,2	0,51
<i>Пихта (Abies)</i>										
<i>IC по Ценкеру</i>										
$\ln(P_{abo})$	9,08	-1,02/3,0	—	0,41	6,42	-1,07/2,6	—	0,76/1,8	—	0,89
$\ln(P_{tot})$	9,22	-1,00/2,9	—	0,39	5,10	-0,88/2,1	—	0,96/2,2	—	0,89
<i>IC по Полозовой</i>										
$\ln(P_{abo})$	10,7	-1,38/2,0	—	0,24	0,69	-0,46/1,1	—	1,60/5,7	—	0,84
$\ln(P_{tot})$	10,4	-1,26/1,8	—	0,20	-0,21	-0,26/0,6	—	1,68/6,1	—	0,84

Показатель	Вариант 1 (4.7)				Вариант 2 (4.8)					
	a_0	$\ln/C$	$(\ln/C)^2$	R^2	a_0	$\ln/C$	$(\ln/C)^2$	$\ln T$	$(\ln T)^2$	R^2
Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>), естественные насаждения										
IC по Ценкеру										
$\ln(P_{abo})$	7,69	-0,71/3,0	—	0,25	-8,89	0,66/0,2	-0,14/0,4	6,4/2,1	-0,76/1,9	0,64
$\ln(P_{tot})$	8,06	-0,75/3,3	—	0,28	-6,45	0,59/0,2	-0,14/0,4	5,4/1,8	-0,62/1,5	0,63
IC по Полозовой										
$\ln(P_{abo})$	-3,82	4,89/1,1	-0,68/1,1	0,10	-15,6	4,94/1,6	-0,67/1,6	5,20/1,7	-0,57/1,4	0,61
$\ln(P_{tot})$	-3,16	4,70/1,1	-0,66/1,1	0,11	-12,5	4,61/1,5	-0,62/1,5	4,06/1,3	-0,43/1,1	0,59
Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>), культуры										
IC по Ценкеру										
$\ln(P_{abo})$	6,71	-0,42/1,6	—	0,10	-6,64	-0,34/1,3	—	6,20/1,6	-0,73/1,6	0,27
$\ln(P_{tot})$	6,88	-0,42/1,6	—	0,09	-8,22	-0,32/1,3	—	7,05/1,9	-0,84/1,8	0,30
IC по Полозовой										
$\ln(P_{abo})$	4,55	0,14/0,6	—	0,01	-8,61	0,00/—	—	6,49/1,6	-0,76/1,5	0,21
$\ln(P_{tot})$	4,81	0,12/0,5	—	0,01	-10,2	-0,02/0,1	—	7,42/1,9	-0,88/1,8	0,25
Кедр (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>)										
IC по Ценкеру										
$\ln(P_{abo})$	13,6	-2,13/3,6	—	0,81	Влияние T на P_{abo} статистически не значимо					
$\ln(P_{tot})$	11,3	-1,53/2,3	—	0,64	Влияние T на P_{tot} статистически не значимо					
IC по Полозовой										
$\ln(P_{abo})$	6,28	-0,40/0,3	—	0,02	Влияние T на P_{abo} статистически не значимо					
$\ln(P_{tot})$	5,73	-0,21/0,2	—	0,01	Влияние T на P_{tot} статистически не значимо					
Береза (<i>Betula</i>)										
IC по Ценкеру										
$\ln(P_{abo})$	Влияние IC на P_{abo} не значимо				-20,0	-0,56/2,2	—	13,7/6,9	-1,75/6,2	0,85
$\ln(P_{tot})$	Влияние IC на P_{tot} не значимо				-4,82	-0,57/2,0	—	6,04/2,7	-0,75/2,4	0,51
IC по Полозовой										
$\ln(P_{abo})$	Влияние IC на P_{abo} не значимо				-21,4	-0,24/1,2	—	13,8/5,9	-1,76/5,2	0,78
$\ln(P_{tot})$	Влияние IC на P_{tot} не значимо				-10,5	-0,04/0,2	—	7,96/3,8	-1,01/3,4	0,61
Осина и тополи (<i>Populus</i>)										
IC по Ценкеру										
$\ln(P_{abo})$	10,3	-1,31/4,8	—	0,56	6,00	-1,23/4,4	—	1,92/0,8	-0,23/0,7	0,61
$\ln(P_{tot})$	10,7	-1,35/4,4	—	0,52	5,30	-1,24/4,0	—	2,37/0,9	-0,28/0,8	0,59
IC по Полозовой										
$\ln(P_{abo})$	8,09	-0,78/2,8	—	0,30	1,44	-0,83/3,2	—	3,24/1,1	-0,38/1,0	0,48
$\ln(P_{tot})$	8,23	-0,75/2,4	—	0,25	0,69	-0,81/2,8	—	3,65/1,2	-0,42/1,0	0,45

Показатель	Вариант 1 (4.7)				Вариант 2 (4.8)					
	a_0	$\ln/C$	$(\ln/C)^2$	R^{2**}	a_0	$\ln/C$	$(\ln/C)^2$	$\ln T$	$(\ln T)^2$	R^2
Ольха (Alnus)										
$\ln(P_{abo})$	Влияние IC на P_{abo} не значимо				-0,23	—	—	1,29/4,7	—	0,84
$\ln(P_{toi})$	Влияние IC на P_{toi} не значимо				0,99	—	—	1,04/4,2	—	0,88
Дуб (Quercus)										
$\ln(P_{abo})$	Влияние IC на P_{abo} не значимо				1,38	—	—	0,87/2,6	—	0,42
$\ln(P_{toi})$	Влияние IC на P_{toi} не значимо				0,56	—	—	1,13/4,4	—	0,68
Липа (Tilia)										
$\ln(P_{abo})$	Влияние IC на P_{abo} не значимо				-2,14	—	—	1,83/3,5	—	0,64
$\ln(P_{toi})$	Влияние IC на P_{toi} не значимо				-1,21	—	—	1,66/3,5	—	0,64

Далее география предельных показателей фитомассы насаждений представлена графически (рис. 4.4—4.51) отдельно по каждой древесной породе в виде трех последовательных схем:

- регионального распределения предельного фракционного состава фитомассы в цифровых показателях;
- регионального распределения предельных показателей общей (надземной и подземной) фитомассы по грациям последней;
- зависимостей предельных показателей надземной и общей фитомассы насаждений в двух вариантах: I — только от индекса континентальности, по Ценкеру и II — от упомянутого индекса и суммы эффективных температур.

Четвертая схема повторяет последнюю из трех перечисленных, но не для предельных, а для средних показателей надземной и общей фитомассы.

4.2. ХВОЙНЫЕ

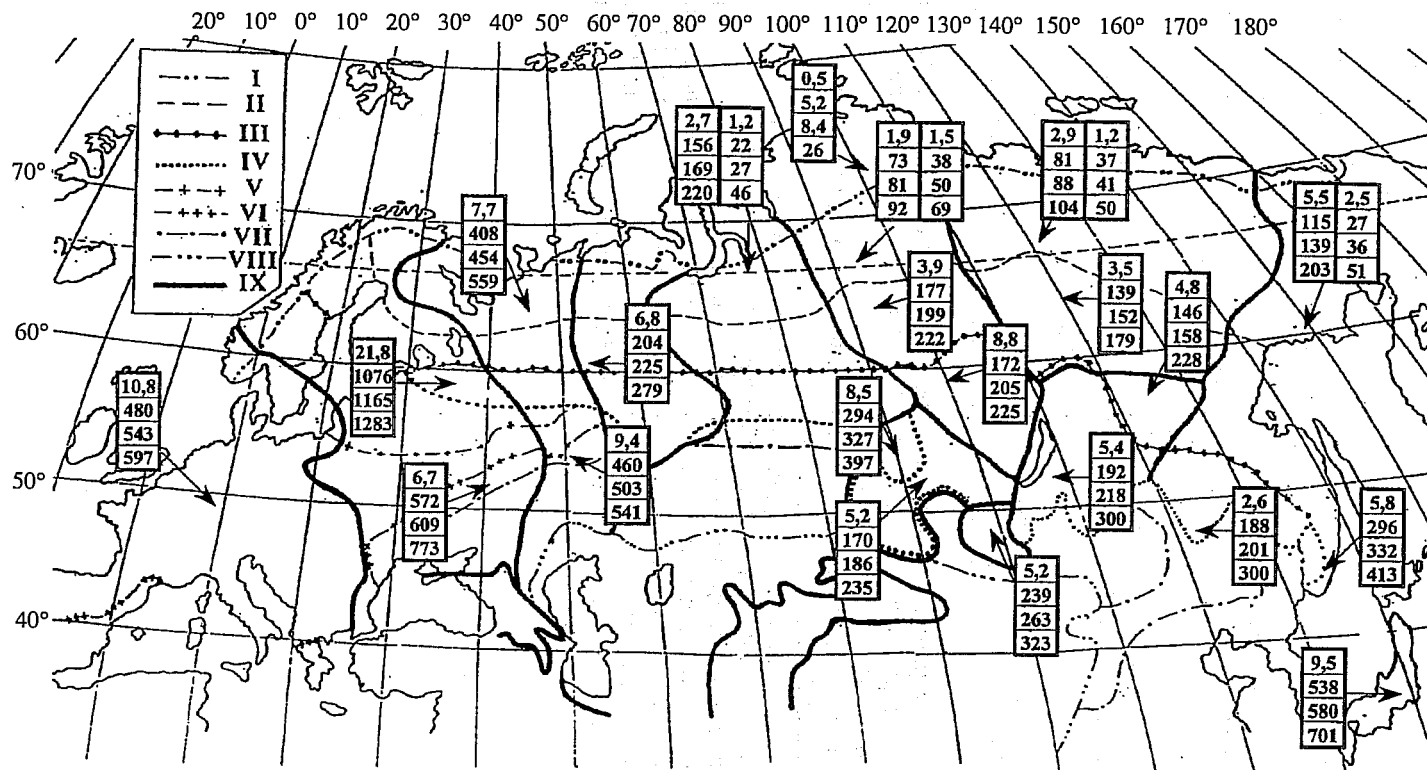
4.2.1. ЛИСТВЕННИЦА (*LARIX*)

Рис. 4.4. Предельный фракционный состав фитомассы лиственничников в 22 регионах Северной Евразии. Цифры в колонках здесь и далее означают запасы фитомассы в абсолютно сухом состоянии (т/га) сверху вниз, соответственно: хвои, стволов, надземной и общей фитомассы. В сведенных колонках цифр для приполярных лиственничников правая соответствует плакорным (горным), а левая — пойменным (долинным) формациям. Выделенные регионы здесь и далее соответствуют таковым на рис. 2.1—2.13

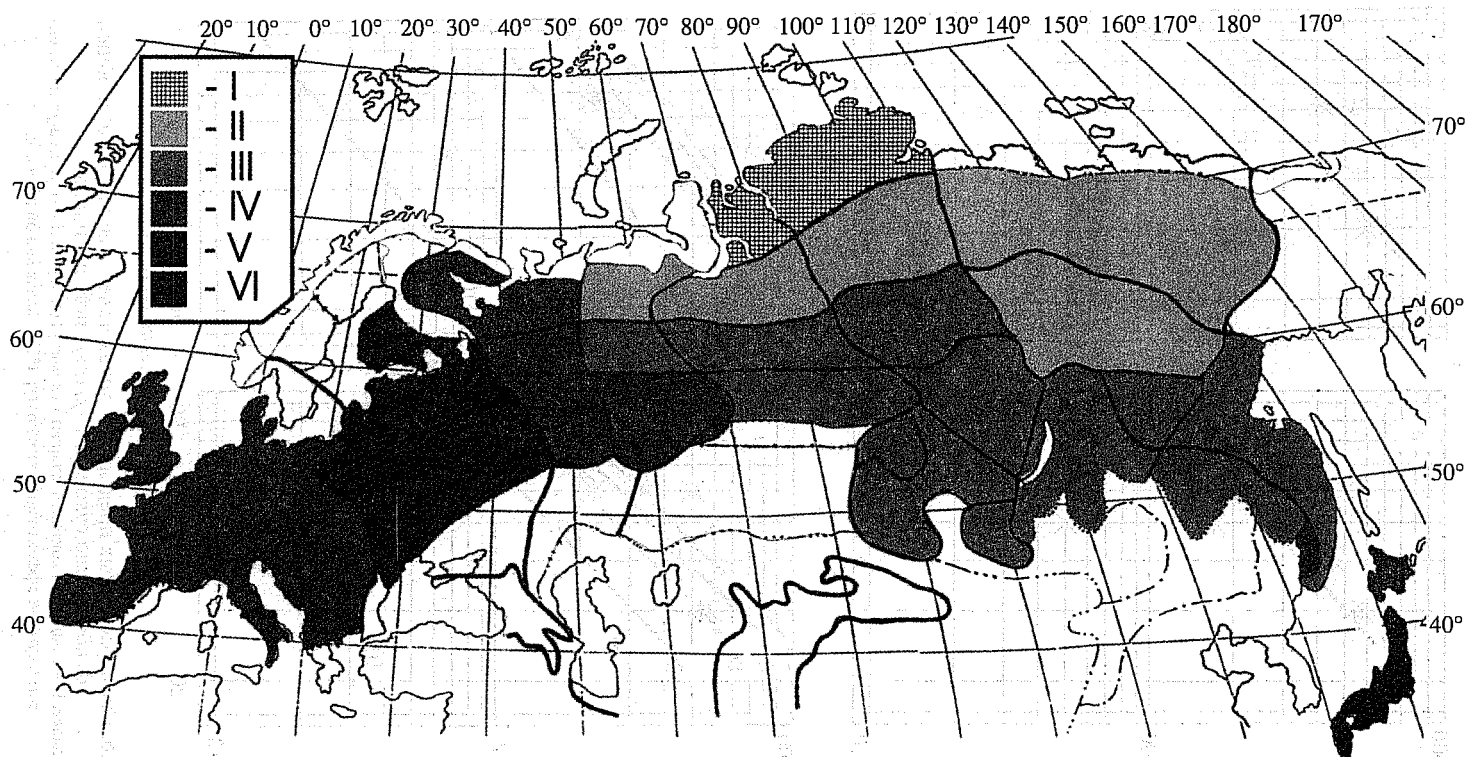
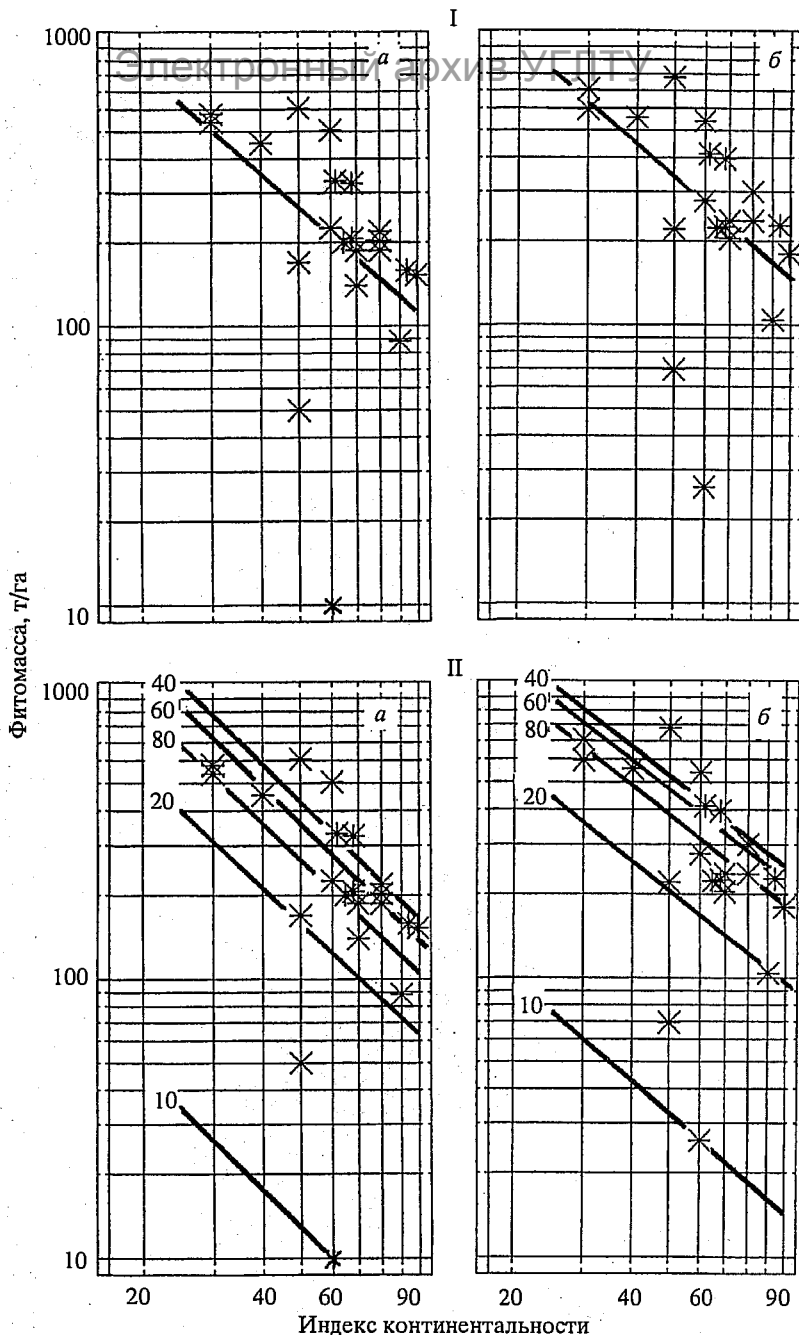


Рис. 4.5. Карта-схема распределения предельных показателей абсолютно сухой общей (надземной и подземной) фитомассы лиственничников в 22 регионах Северной Евразии. Диапазоны запасов фитомассы здесь и далее, т/га: I — < 50; II — 51-200; III — 201-400; IV — 401-700; V — 701-1000; VI — > 1000



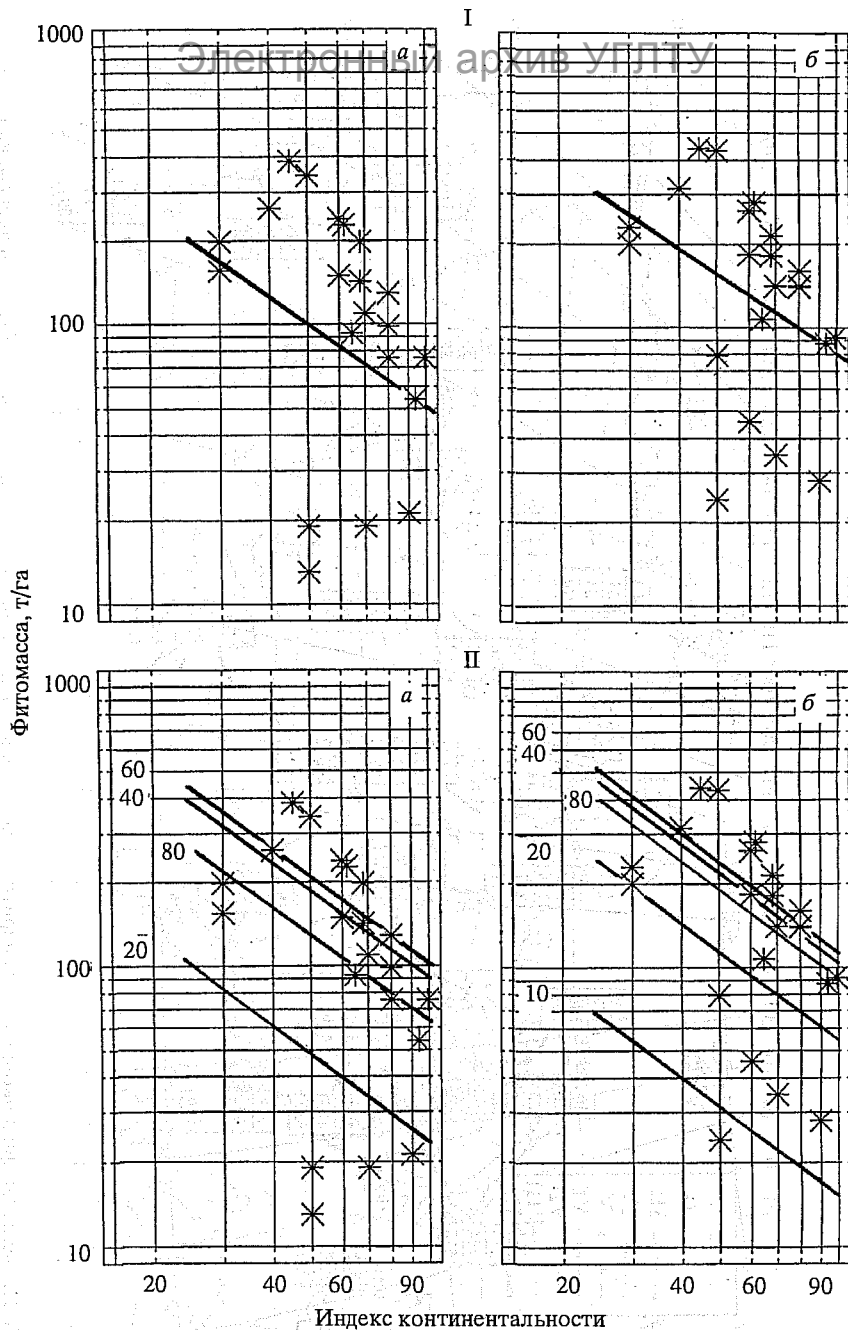


Рис. 4.7. Связь расчетных средних показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы лиственных деревьев. Остальные обозначения см. на рис. 4.6

4.2.2. ЕЛЬ (*PICEA*)

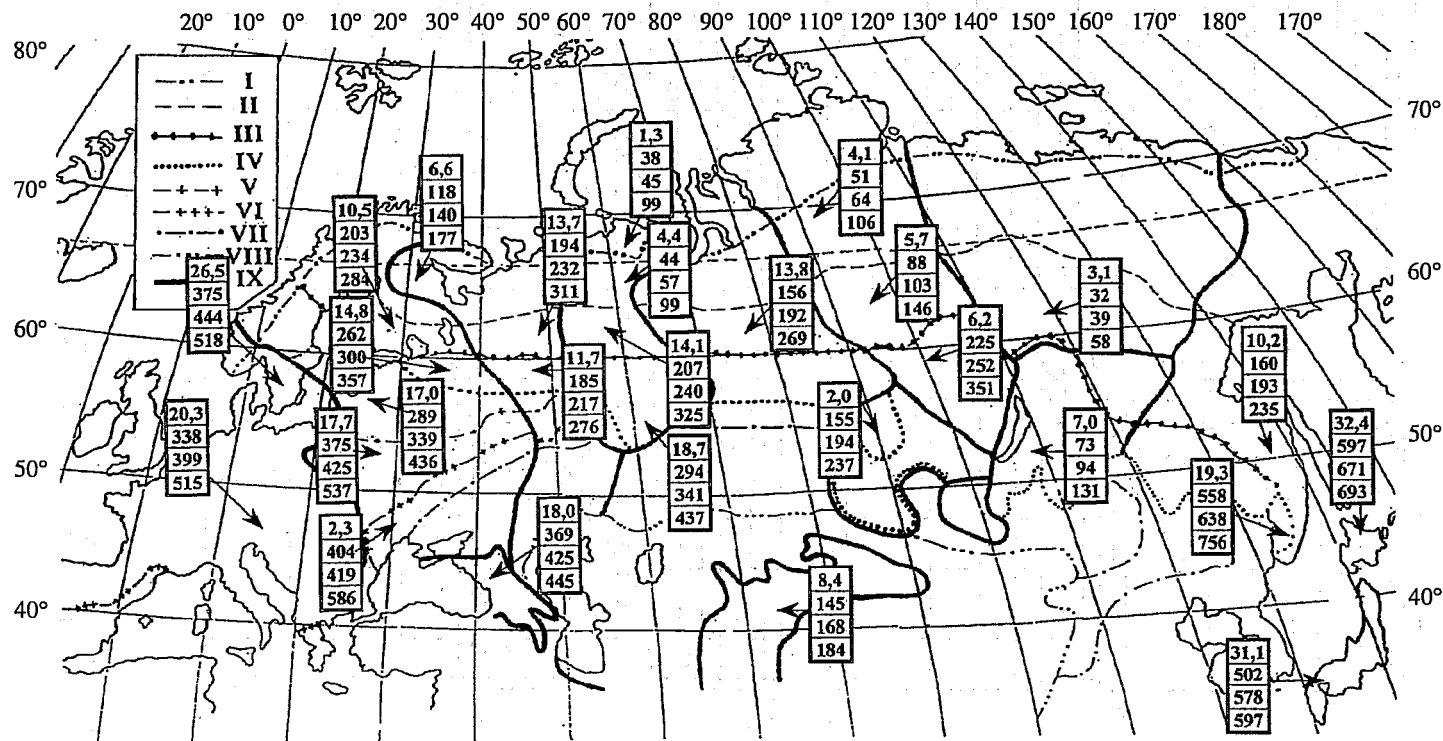


Рис. 4.8. Предельный фракционный состав фитомассы ельников в 27 регионах Северной Евразии. Обозначения см. на рис. 4.4

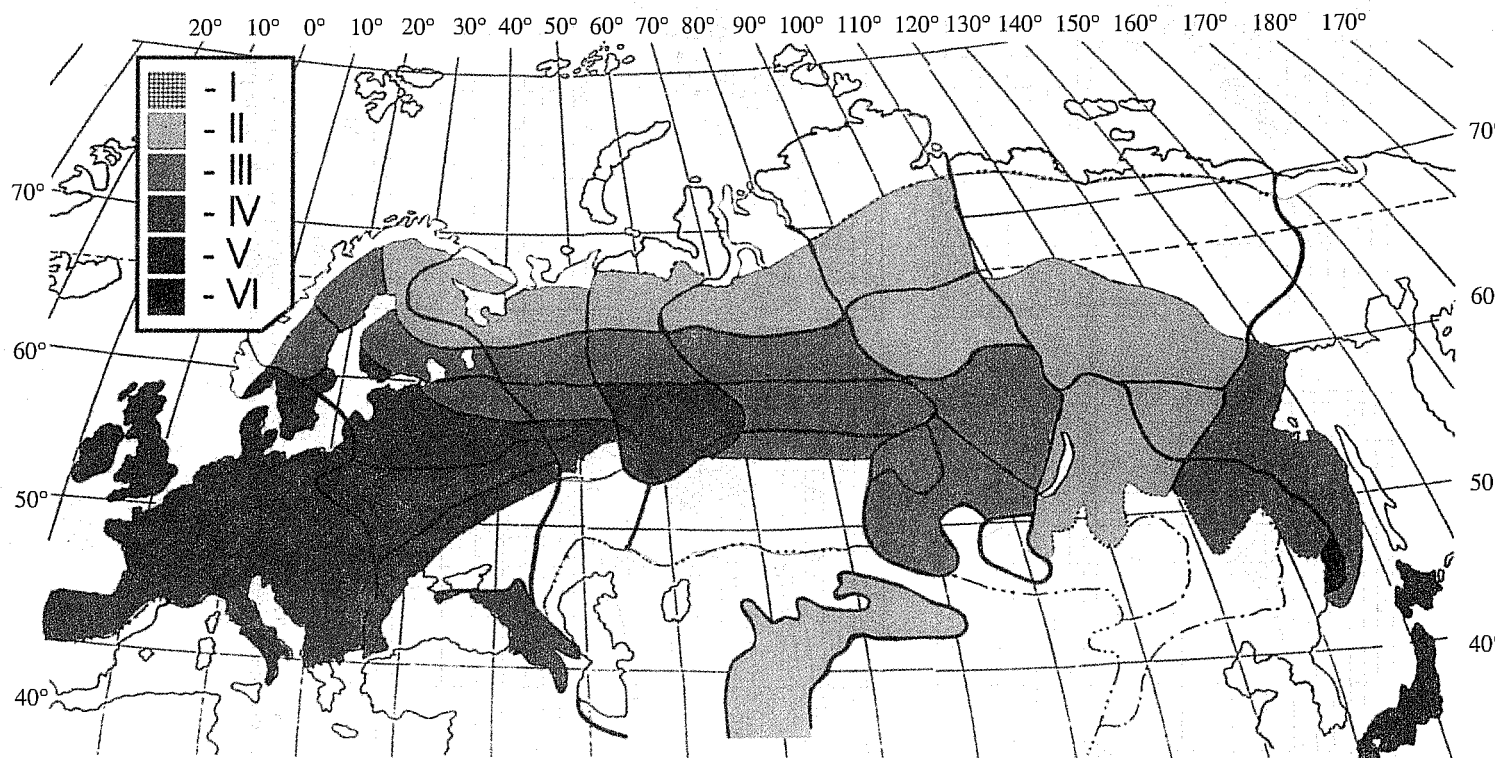


Рис. 4.9. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы ельников в 27 регионах Северной Евразии. Обозначения см. на рис. 4.5

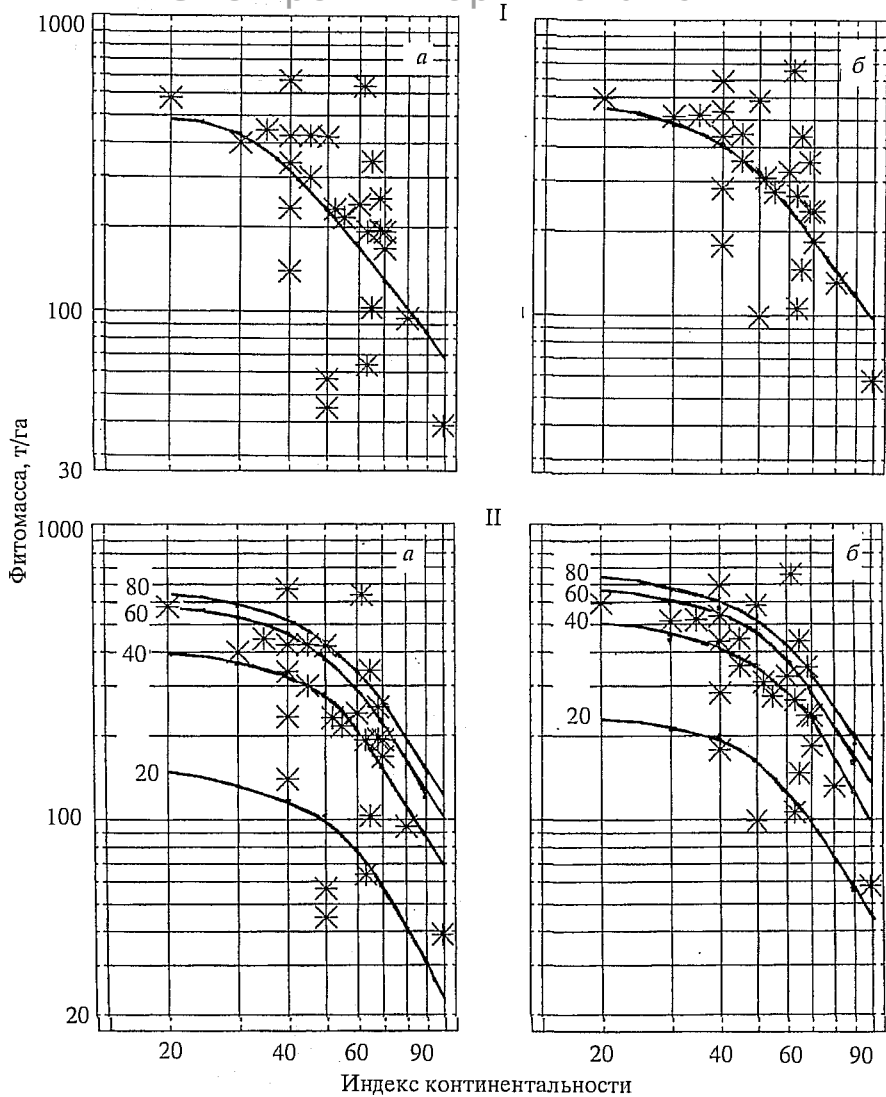
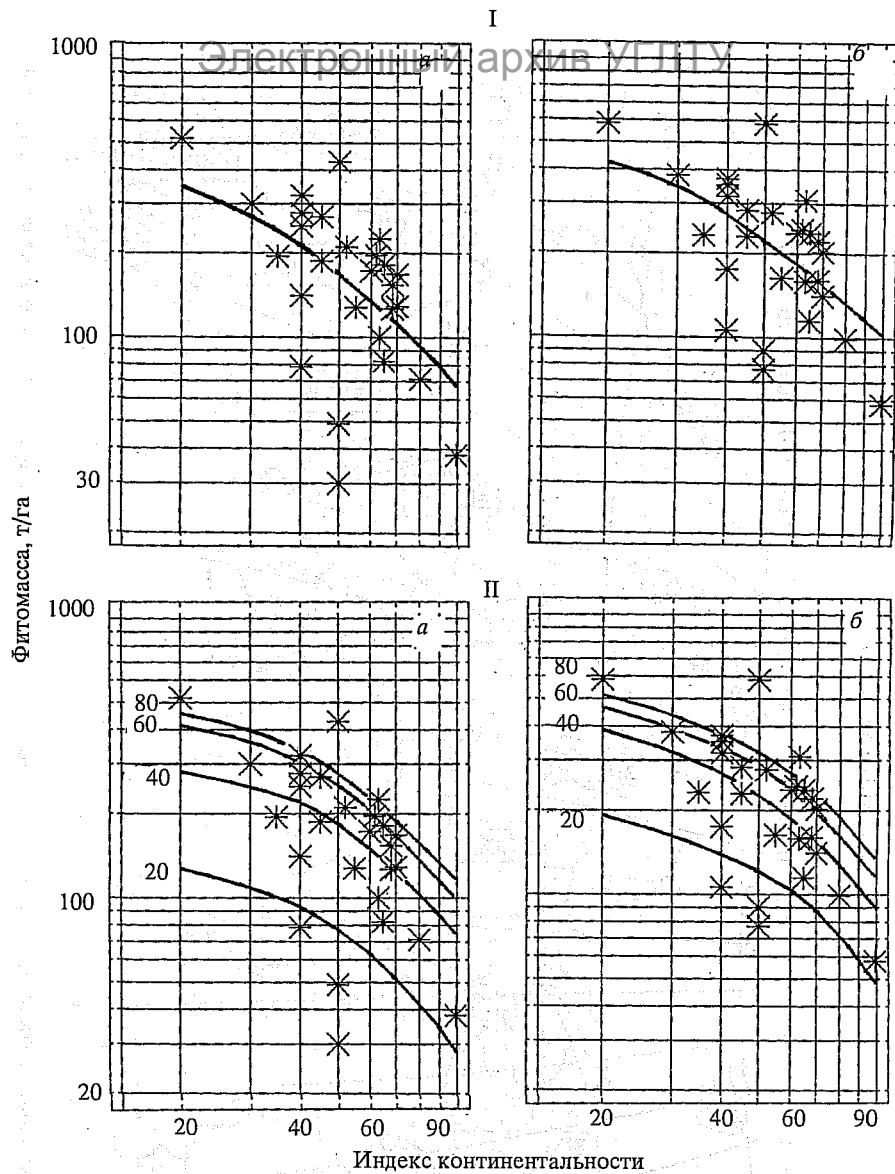


Рис. 4.10. Связь расчетных предельных показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы ельников. Остальные обозначения см. на рис. 4.6



4.2.3. ПИХТА (*ABIES*)

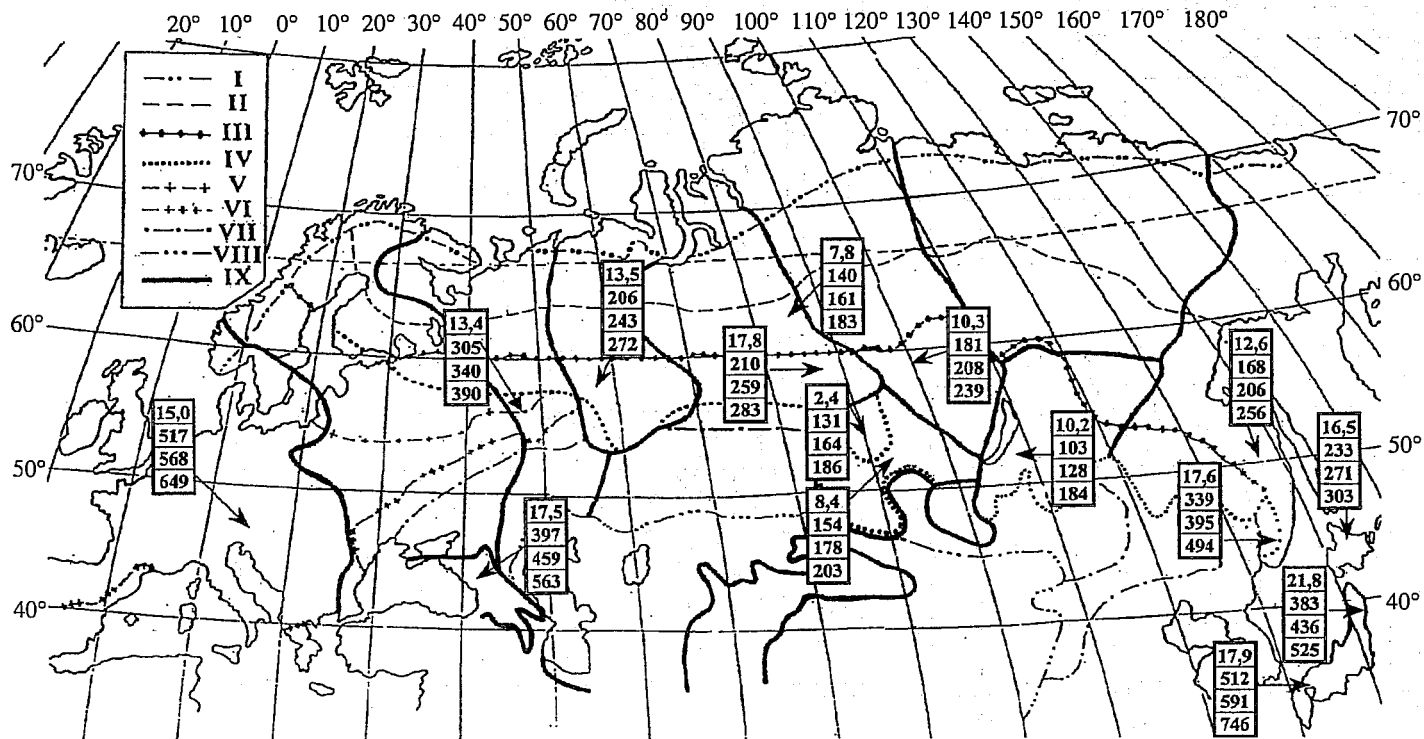


Рис. 4.12. Предельный фракционный состав фитомассы пихтарников в 15 регионах Северной Евразии. Обозначения см. на рис. 4.4

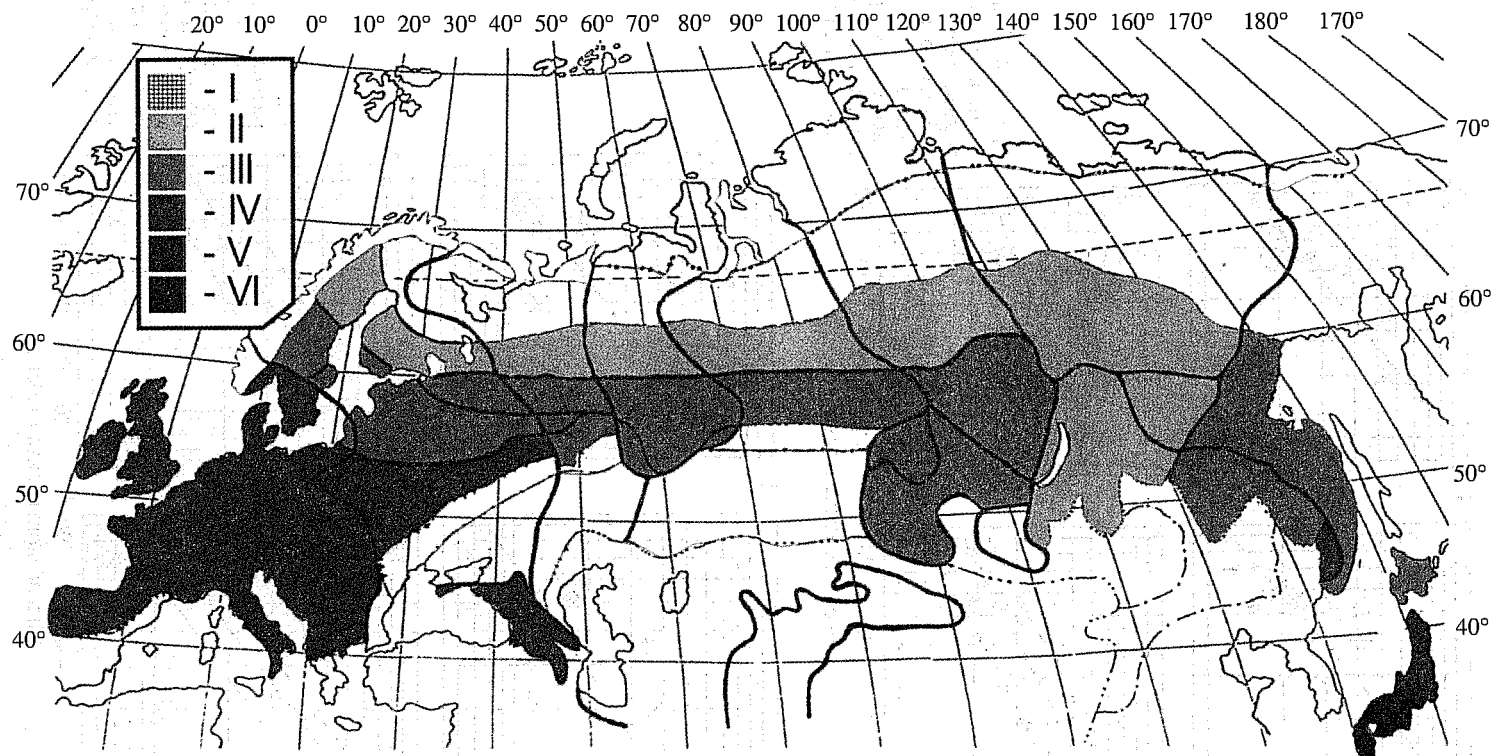
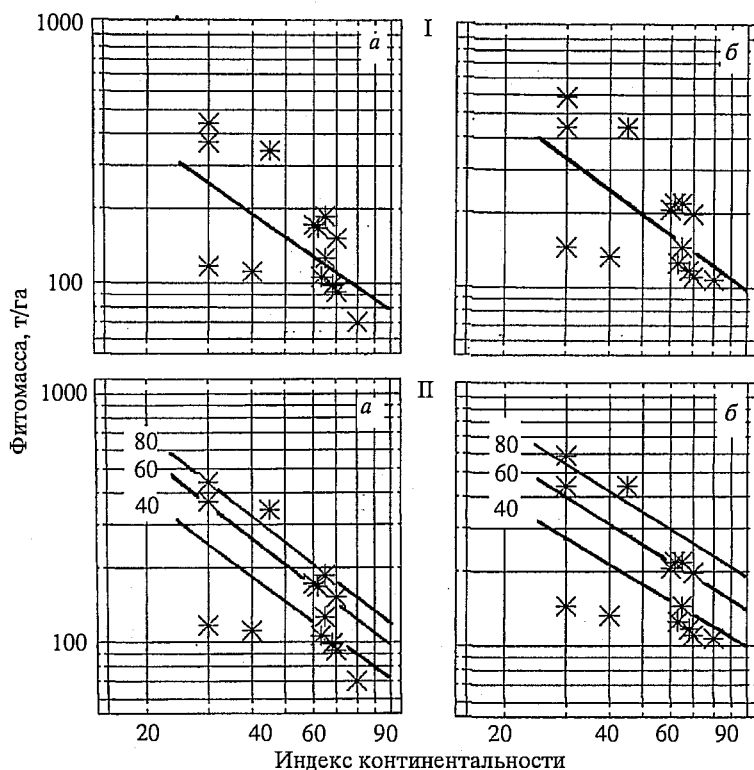
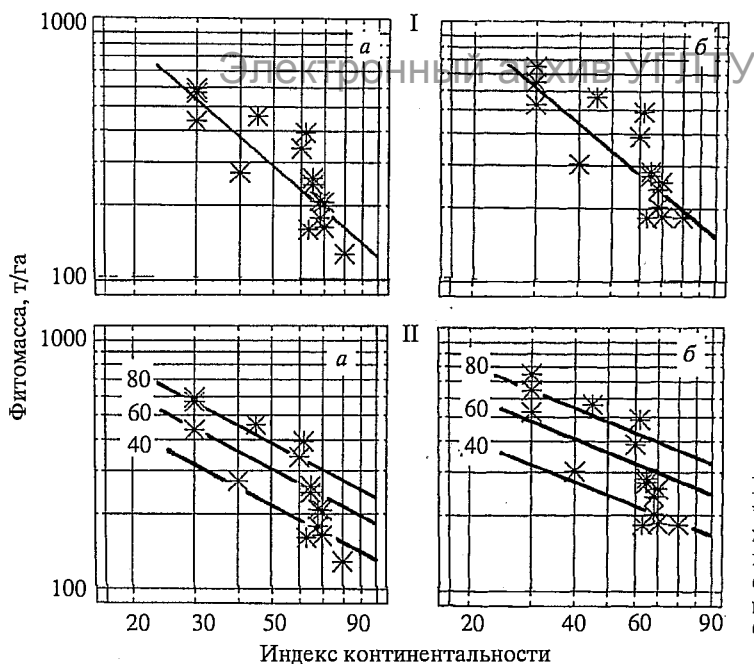


Рис. 4.13. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы пихтарников в 15 регионах Северной Евразии. Обозначения см. рис. 4.5



4.2.4. СОСНА (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. PINASTER*, *P. NIGRA*, *P. DENSIFLORA*, *P. SOSNOWSKII*), ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ

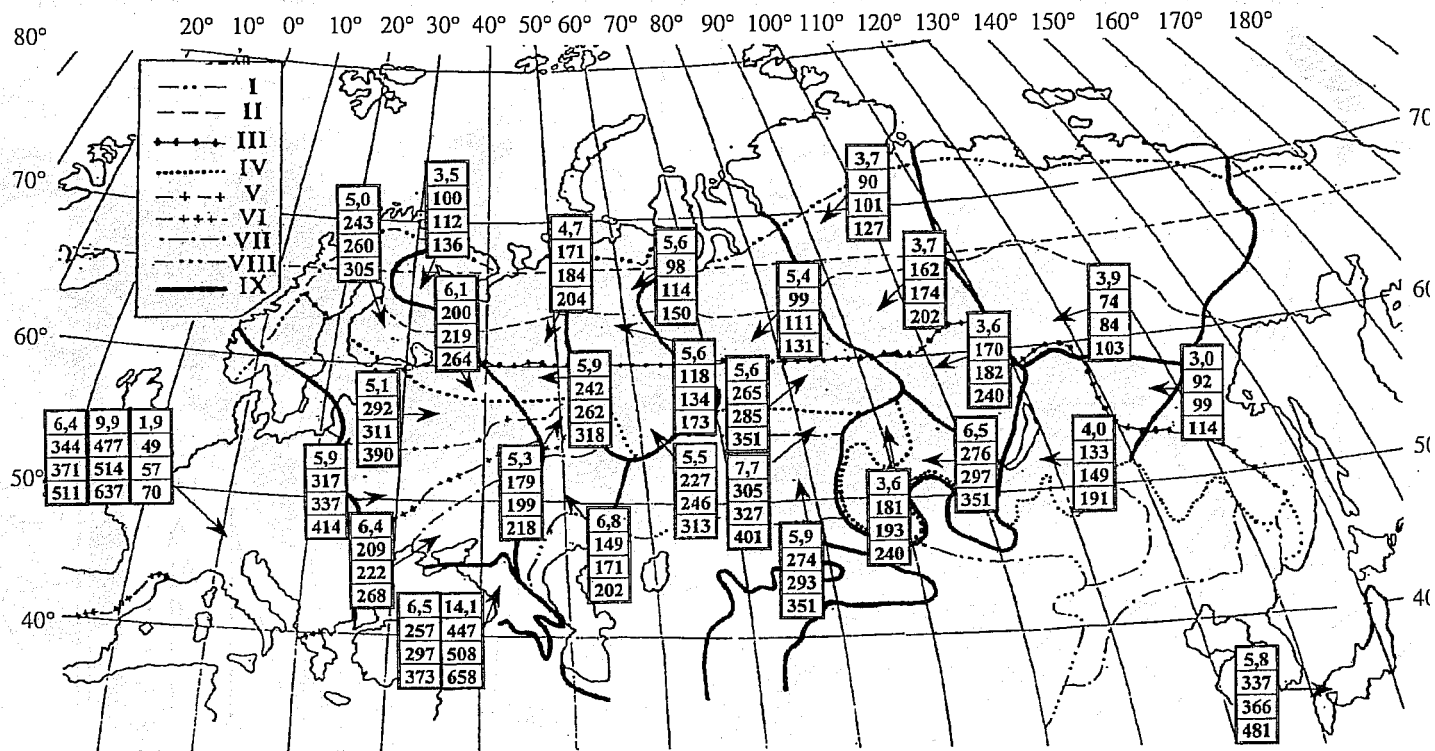


Рис. 4.16. Предельный фракционный состав фитомассы естественных сосняков в 28 регионах Северной Евразии.

В совмещенных колонках по регионам слева направо: СЕ — *P. sylvestris*, *P. pinaster*, *P. nigra*; ПЧ — *P. sosnowskii*, *P. sylvestris*. Остальные обозначения см. на рис. 4.4

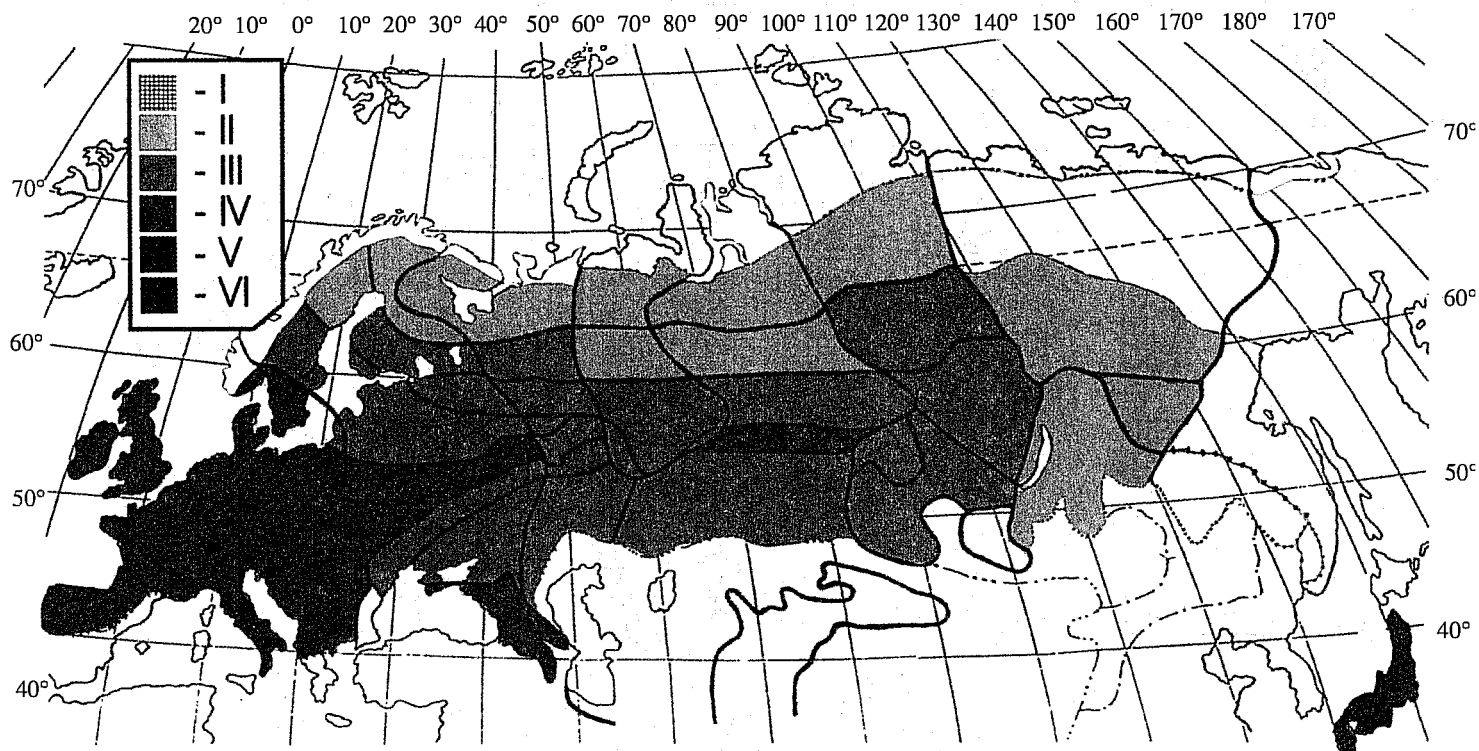
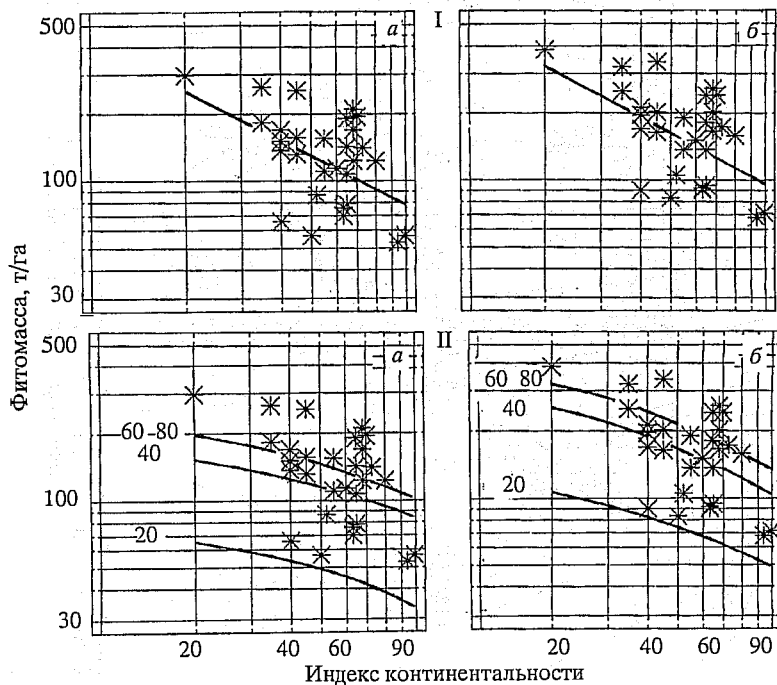
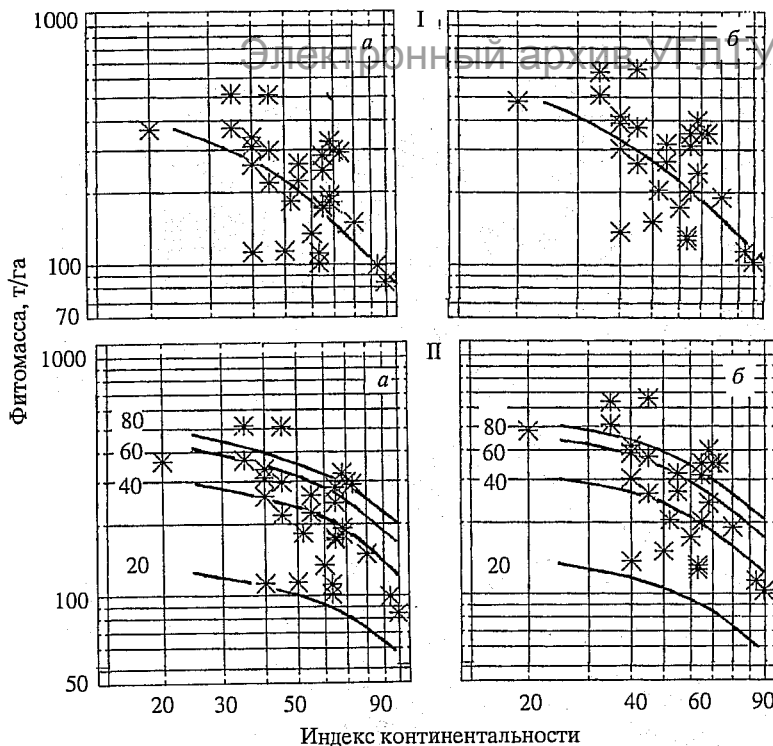


Рис. 4.17. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы естественных сосняков в 28 регионах Северной Евразии. Обозначения см. рис. 4.5



4.2.5. COCHA (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. NIGRA*, *P. THUNBERGII*, *P. STROBUS*, *P. DENSIFLORA*,
P. TAEDA, *P. ELLIOTTII*, *P. PALLASIANA*, *P. PITYUSA*, *P. PINASTER*, *P. HALEPENSIS*), КУЛЬТУРЫ

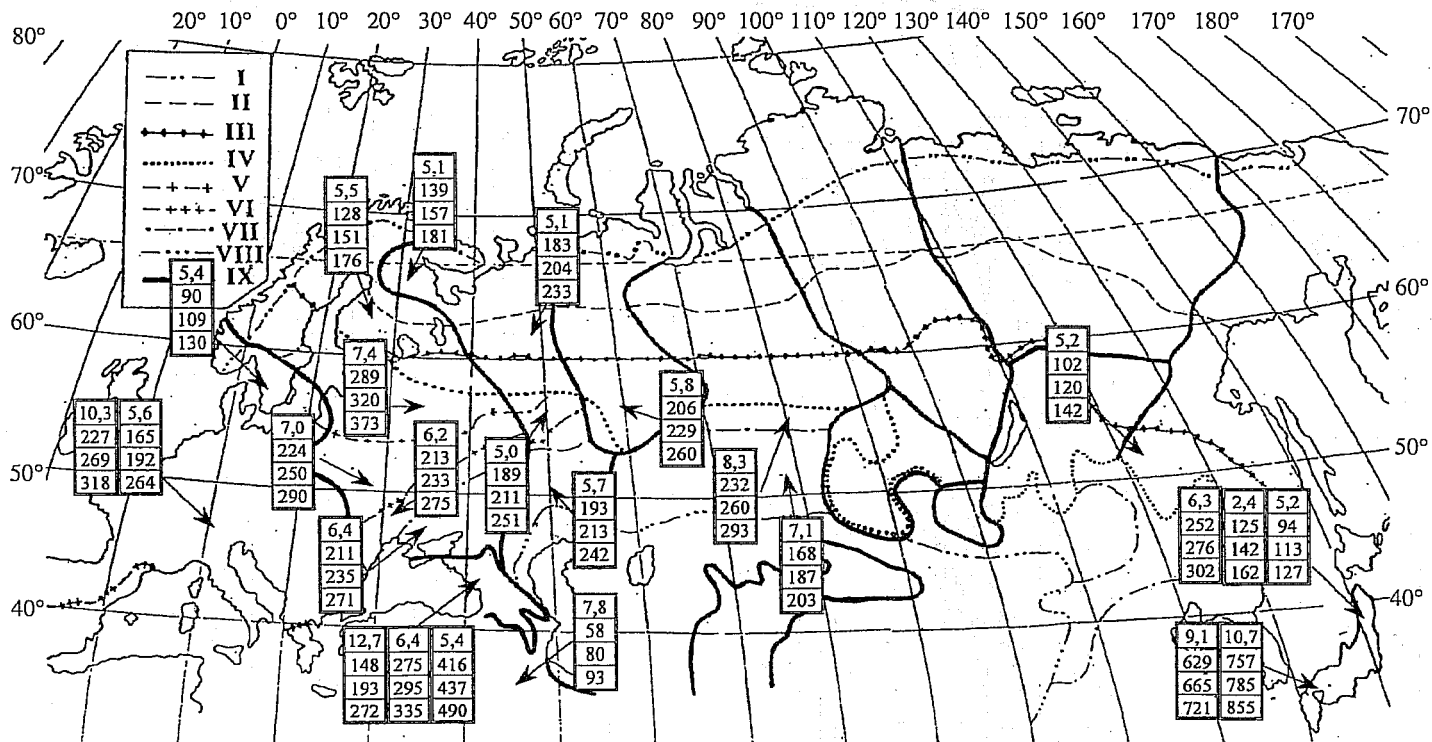


Рис. 4.20. Предельный фракционный состав фитомассы культур сосны в 19 регионах Северной Евразии.
 В совмещенных колонках по регионам слева направо: СЕ — *P. nigra*, *P. sylvestris*; ПЧ — *P. pallasiana*, *P. pithyusa*, *P. pinaster*; ЯПхх — *P. thunbergii*, *P. strobus*, *P. densiflora*; ЯПсуб — *P. taeda*, *P. elliotii*. Остальные обозначения см. на рис. 4.4

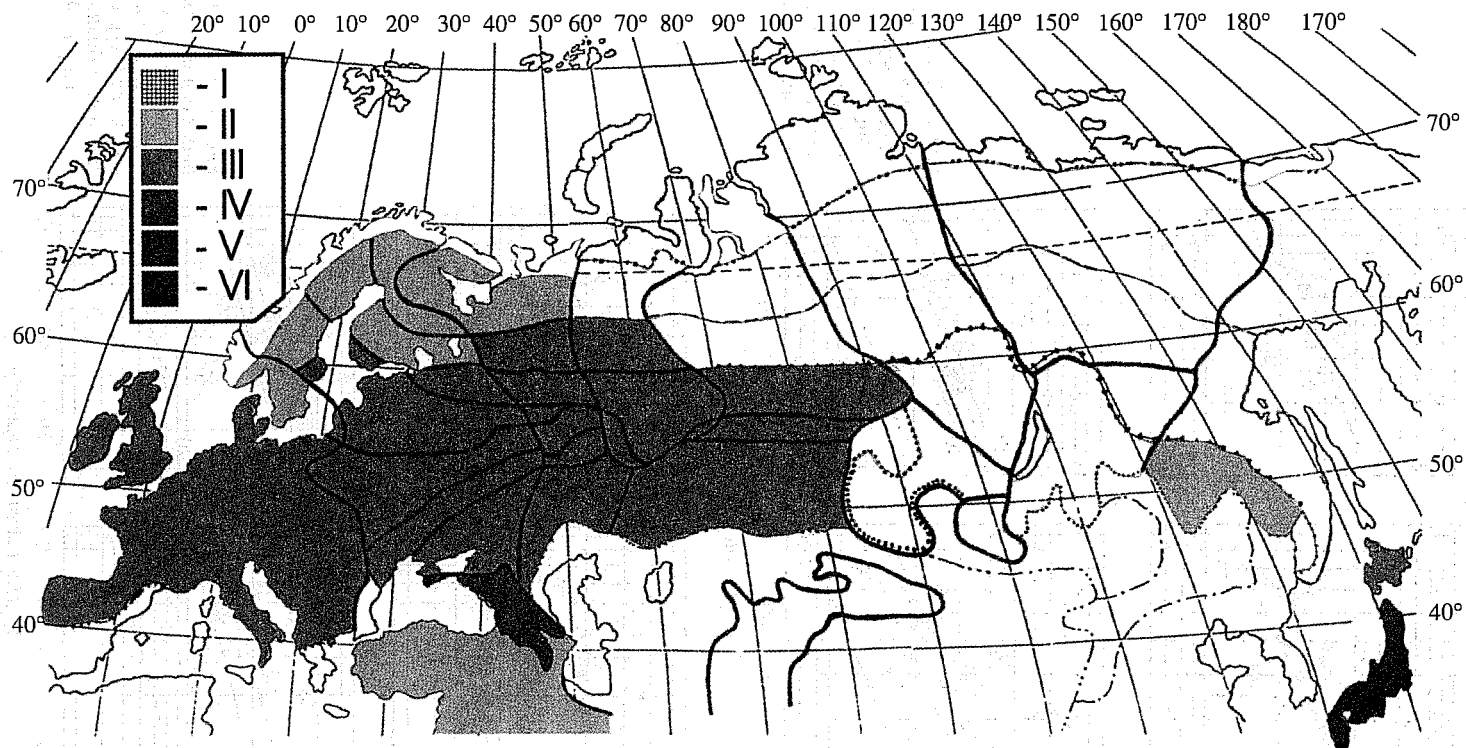


Рис. 4.21. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы культур сосны в 19 регионах Северной Евразии. Обозначения см. рис. 4.5

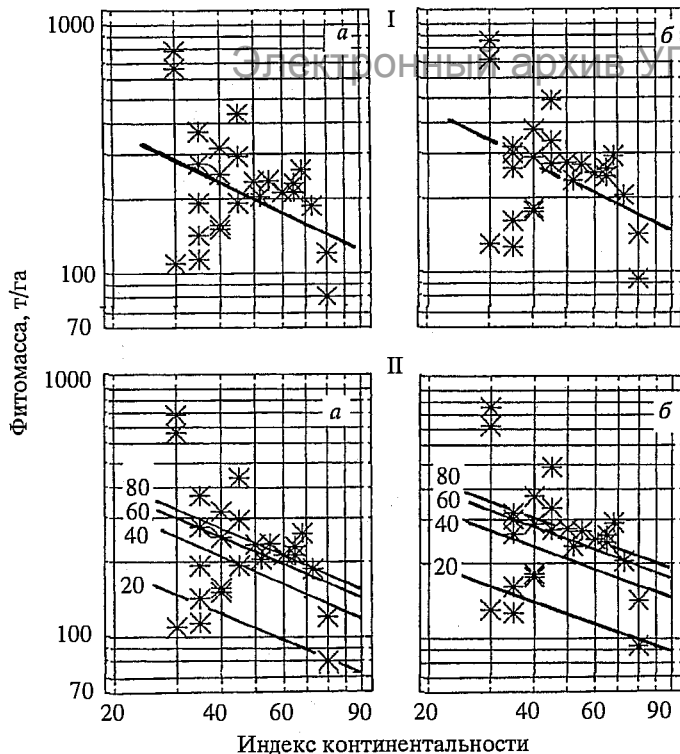


Рис. 4.22. Связь расчетных предельных показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы культур сосны. Остальные обозначения см. на рис. 4.6

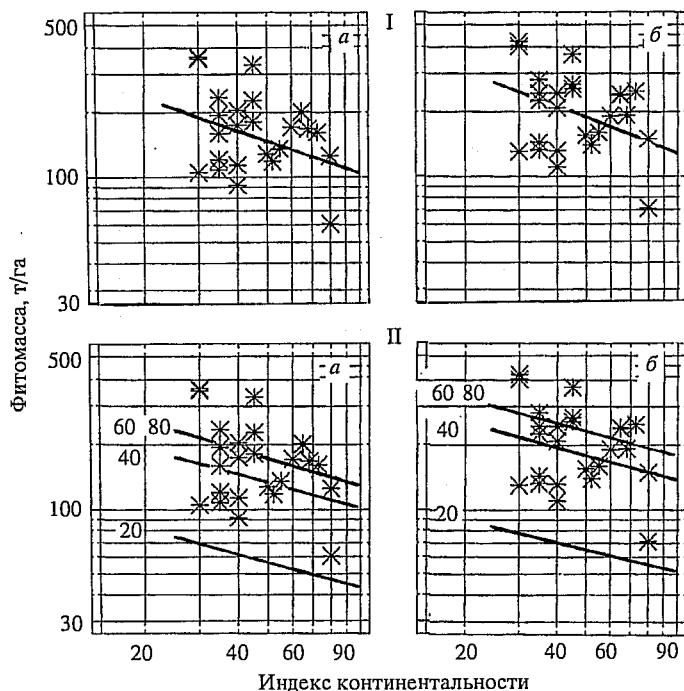


Рис. 4.23. Связь расчетных средних показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы культур сосны. Остальные обозначения см. на рис. 4.6

4.2.6. КЕДР (*PINUS SIBIRICA*, *P. KORAIENSIS*)

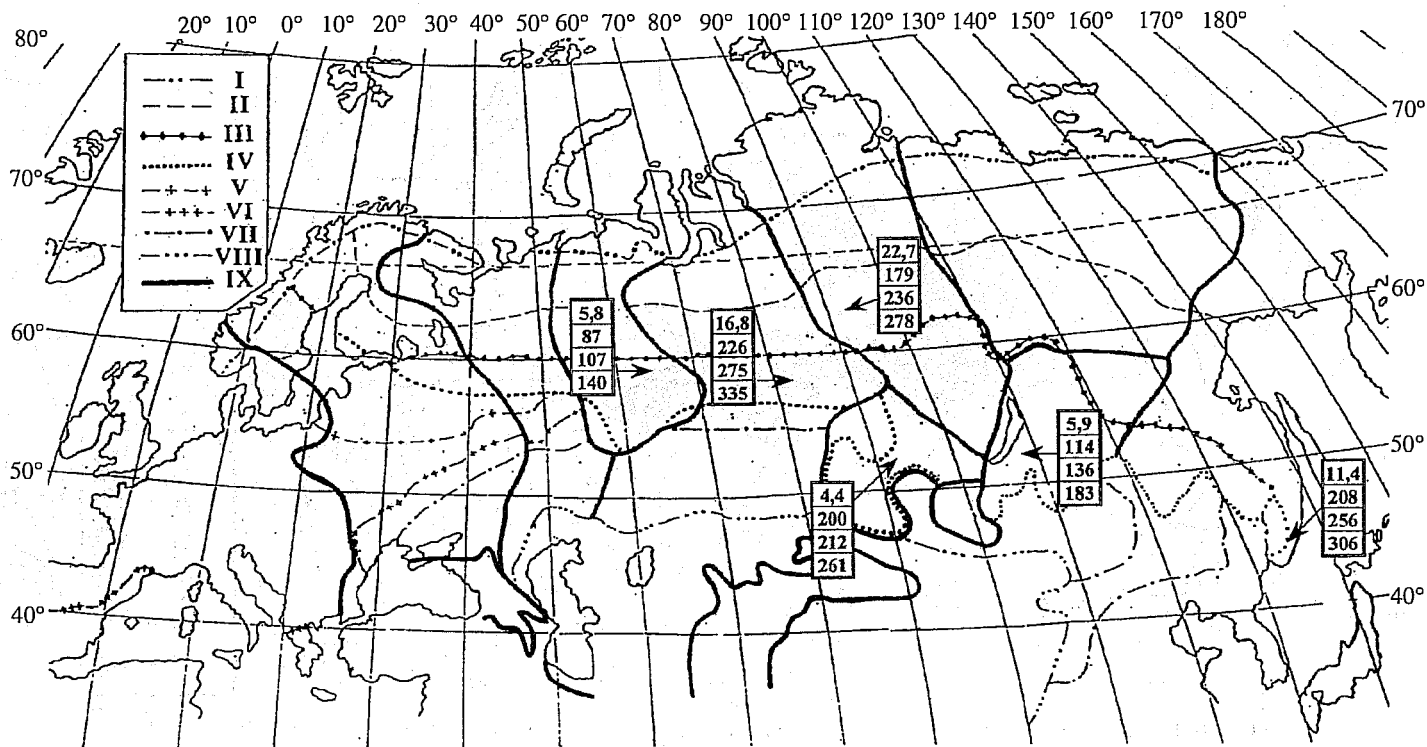


Рис. 4.24. Предельный фракционный состав фитомассы кедровников в 6 регионах Северной Евразии. Обозначения см. рис. 4.4

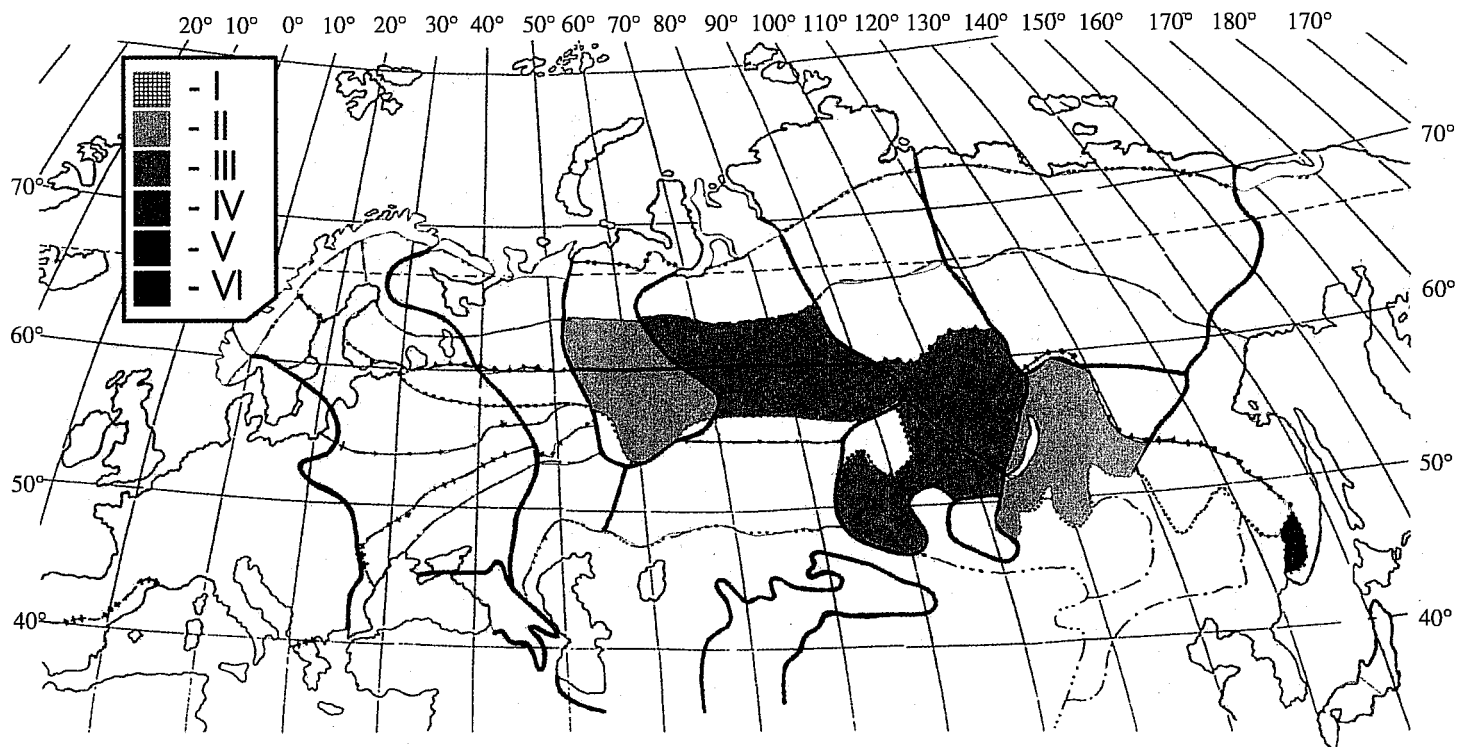


Рис. 4.25. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы кедровников в 6 регионах Северной Евразии.
Обозначения см. рис. 4.5

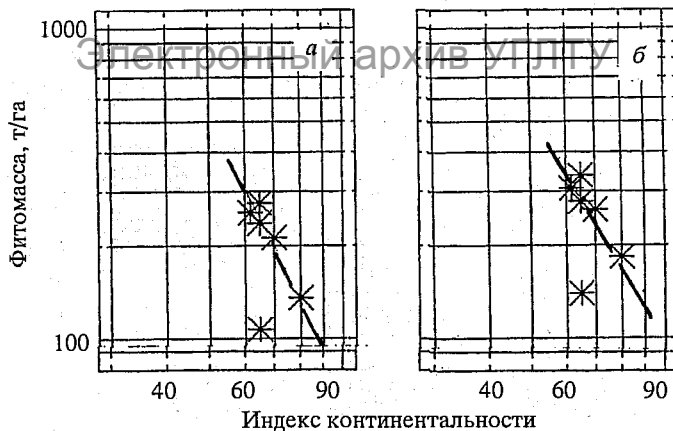


Рис. 4.26. Связь расчетных предельных показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы кедровников с индексом континентальности климата, по Ценкеру

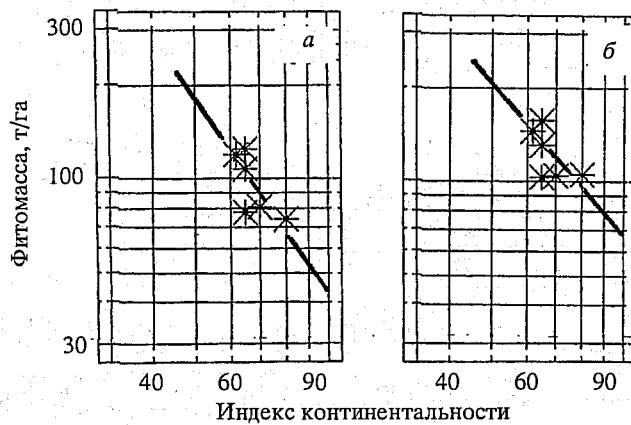


Рис. 4.27. Связь расчетных средних показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы кедровников с индексом континентальности климата, по Ценкеру

4.3. МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ

4.3.1. БЕРЕЗА (*BETULA*)

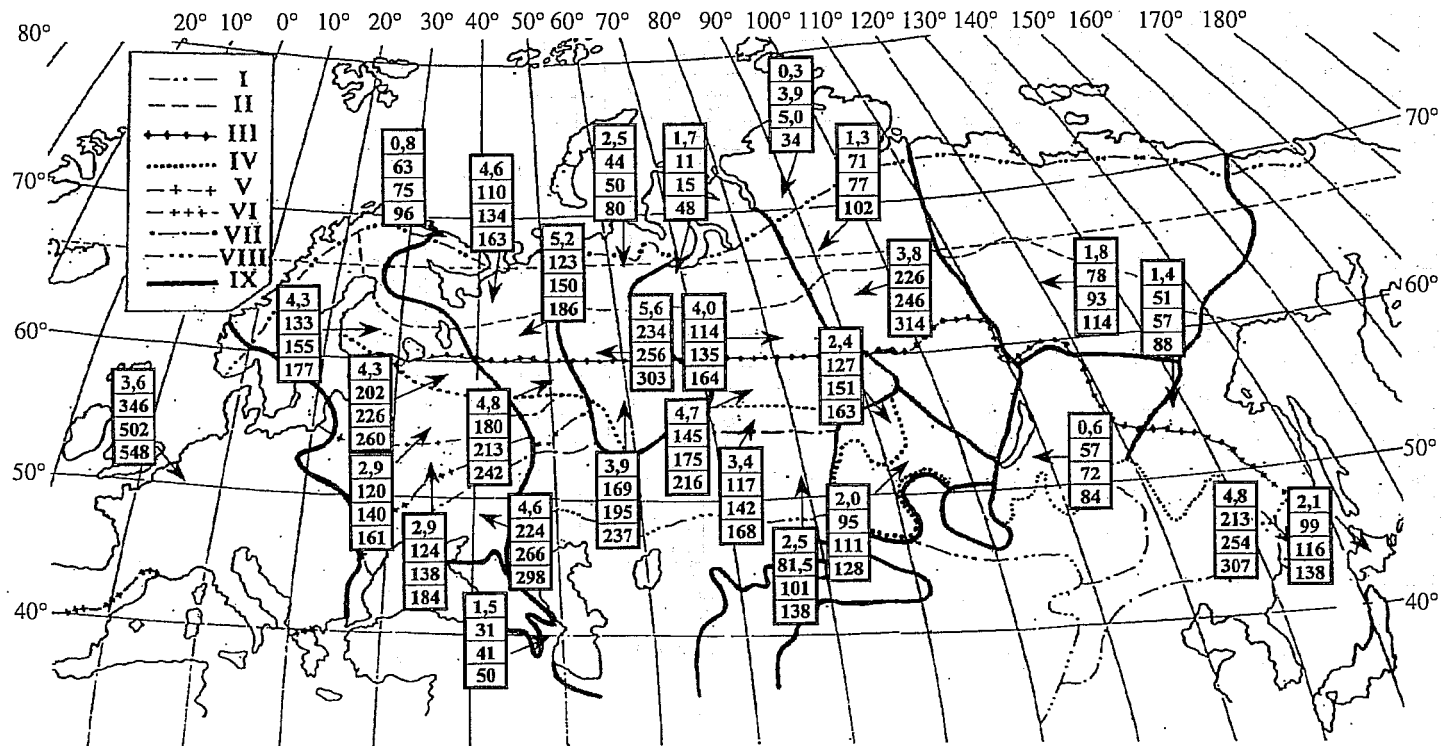


Рис. 4.28. Предельный фракционный состав фитомассы березняков в 29 регионах Северной Евразии. Обозначения см. рис. 4.4

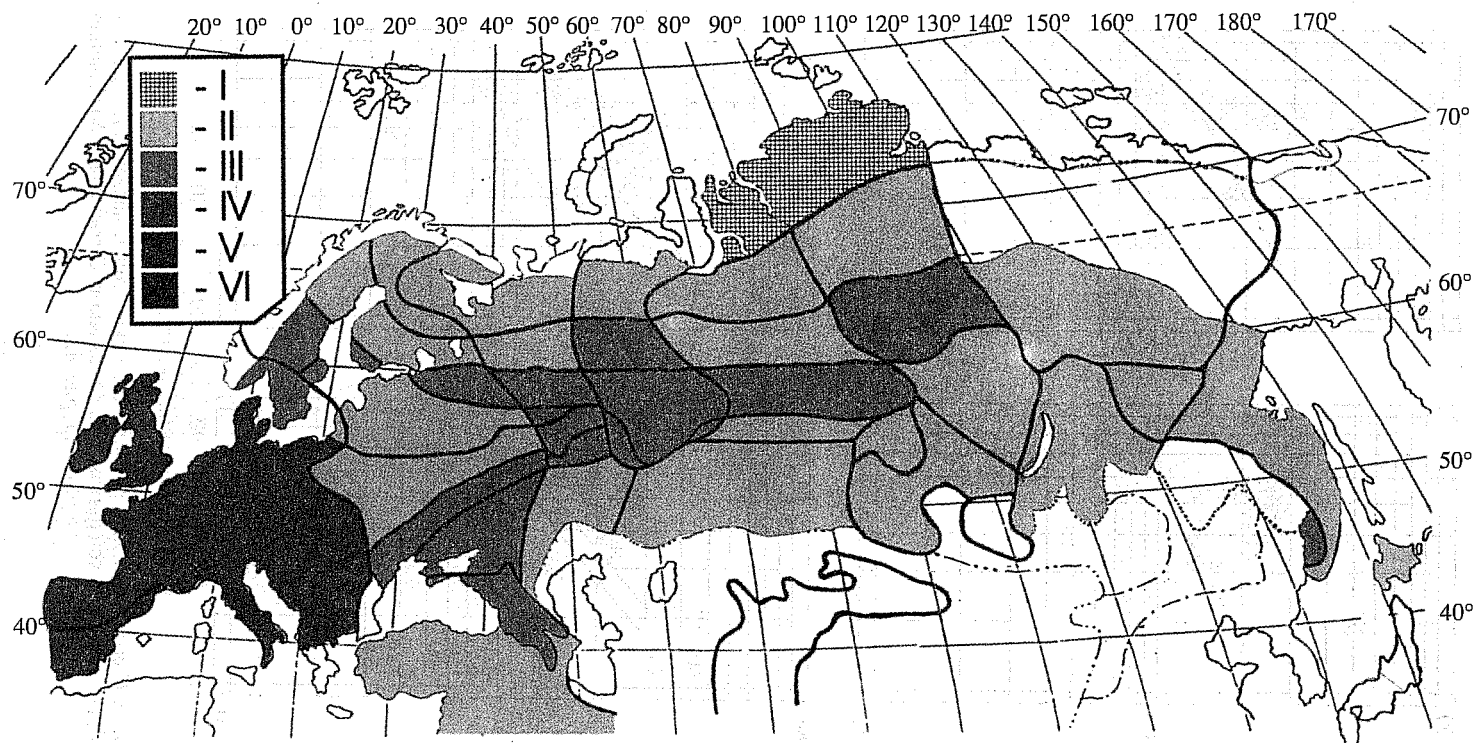


Рис. 4.29. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы березняков в 29 регионах Северной Евразии. Обозначения см. рис. 4.5

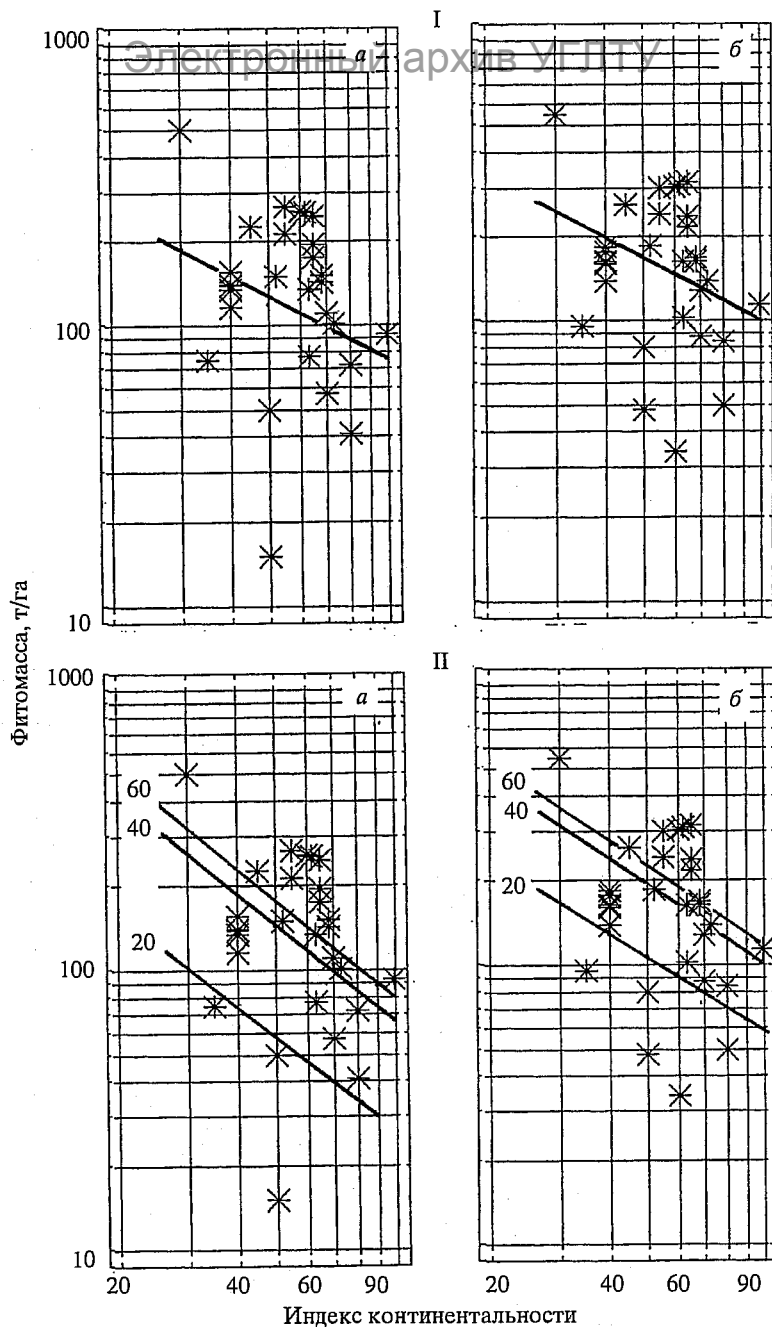


Рис. 4.30. Связь расчетных предельных показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы березняков. Остальные обозначения см. на рис. 4.6

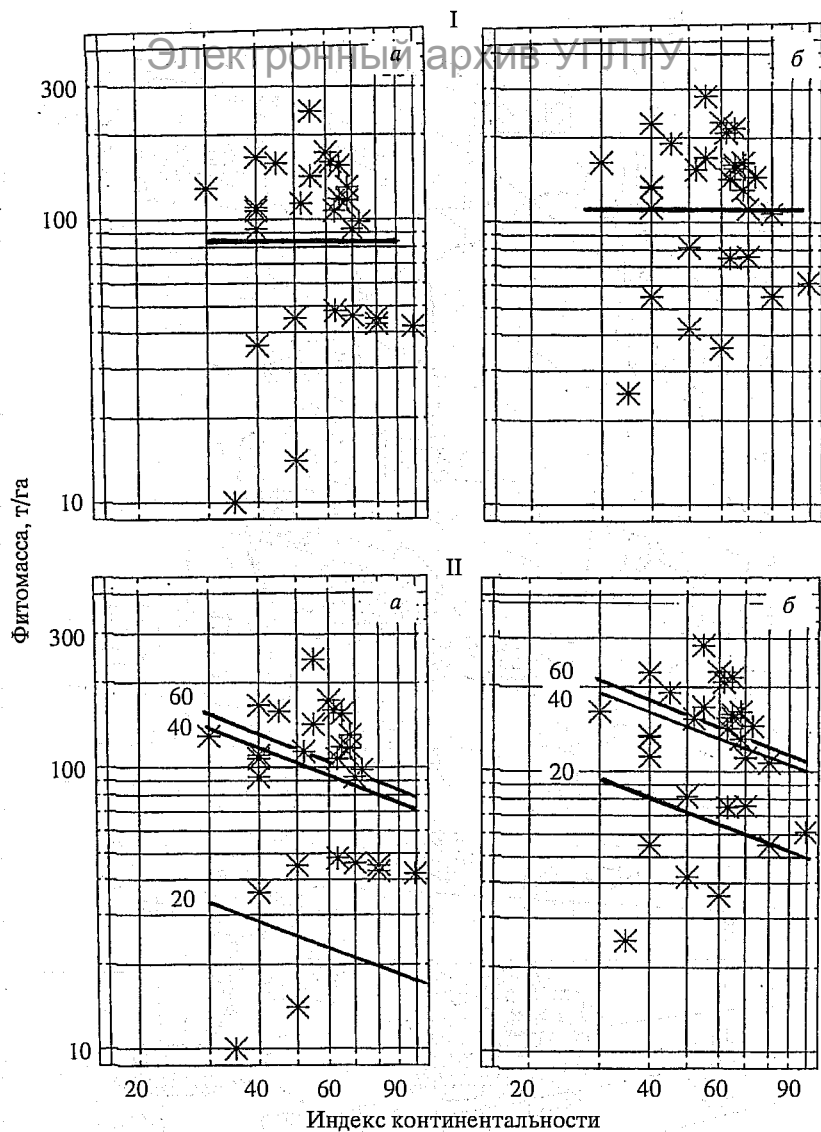


Рис. 4.31. Связь расчетных средних показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы березняков. Остальные обозначения см. на рис. 4.6

4.3.2. ОСИНА И ТОПОЛИ (*POPULUS*)

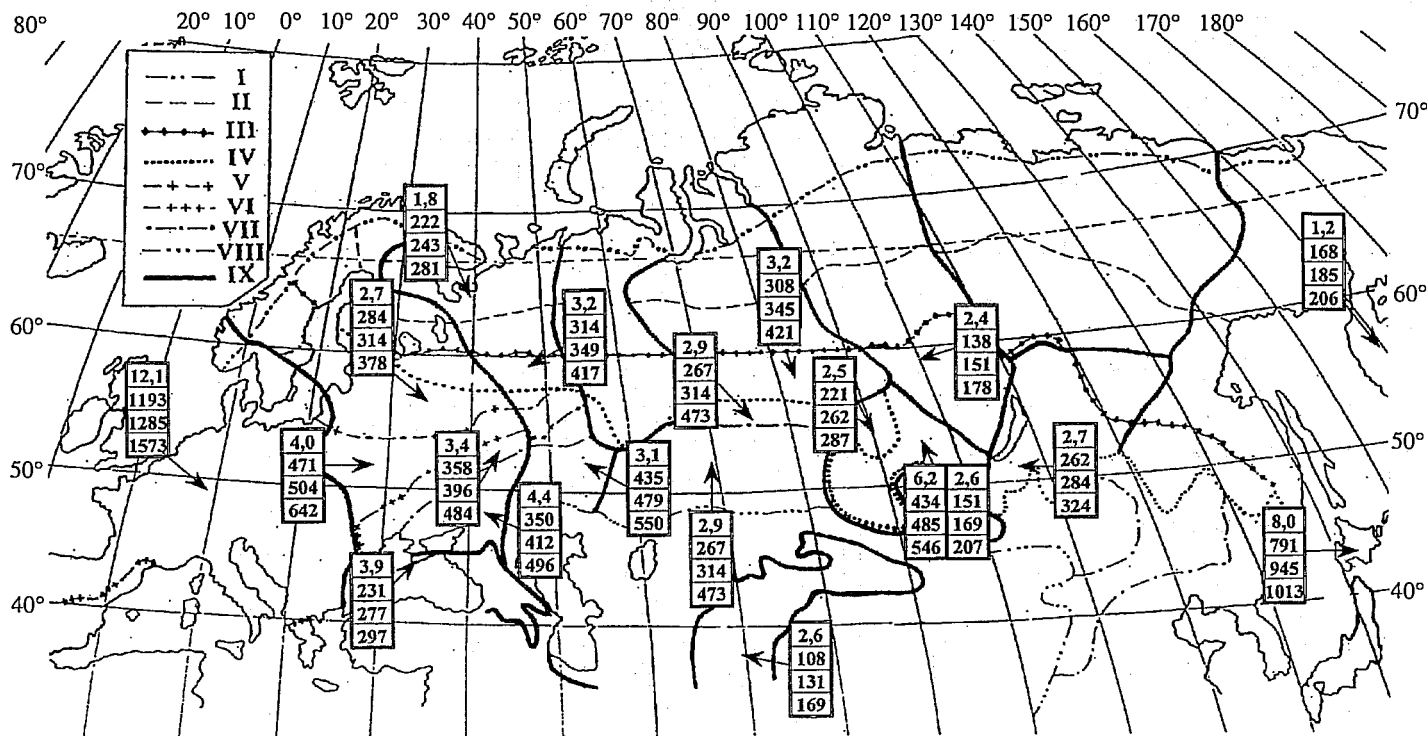


Рис. 4.32. Пределный фракционный состав фитомассы осинников и тополевок в 19 регионах Северной Евразии. В двойной колонке цифр для Алтае-Саянской провинции левая соответствует *P. tremula*, правая — *P. laurifolia*. Остальные обозначения см. на рис. 4.4

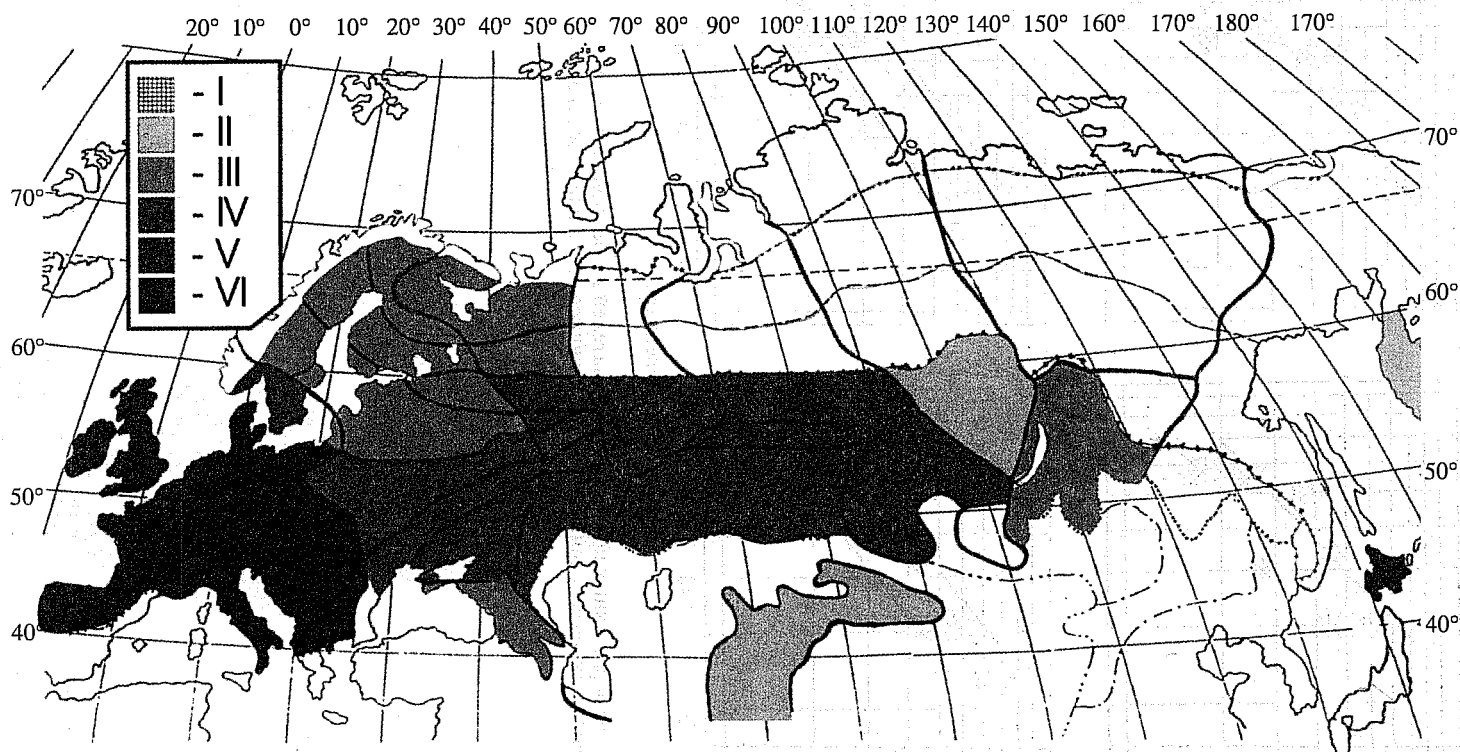


Рис. 4.33. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы осинников и тополельников в 19 регионах Северной Евразии. Обозначения см. рис. 4.5

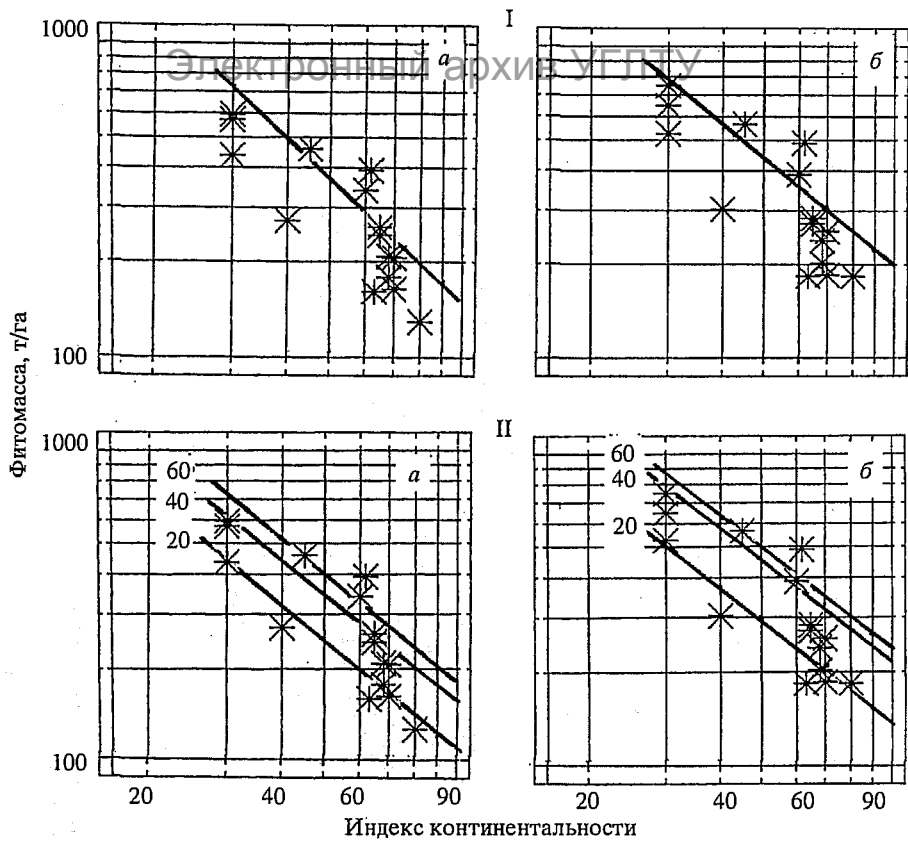


Рис. 4.34. Связь расчетных предельных показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы осинников и тополельников. Остальные обозначения см. на рис. 4.6

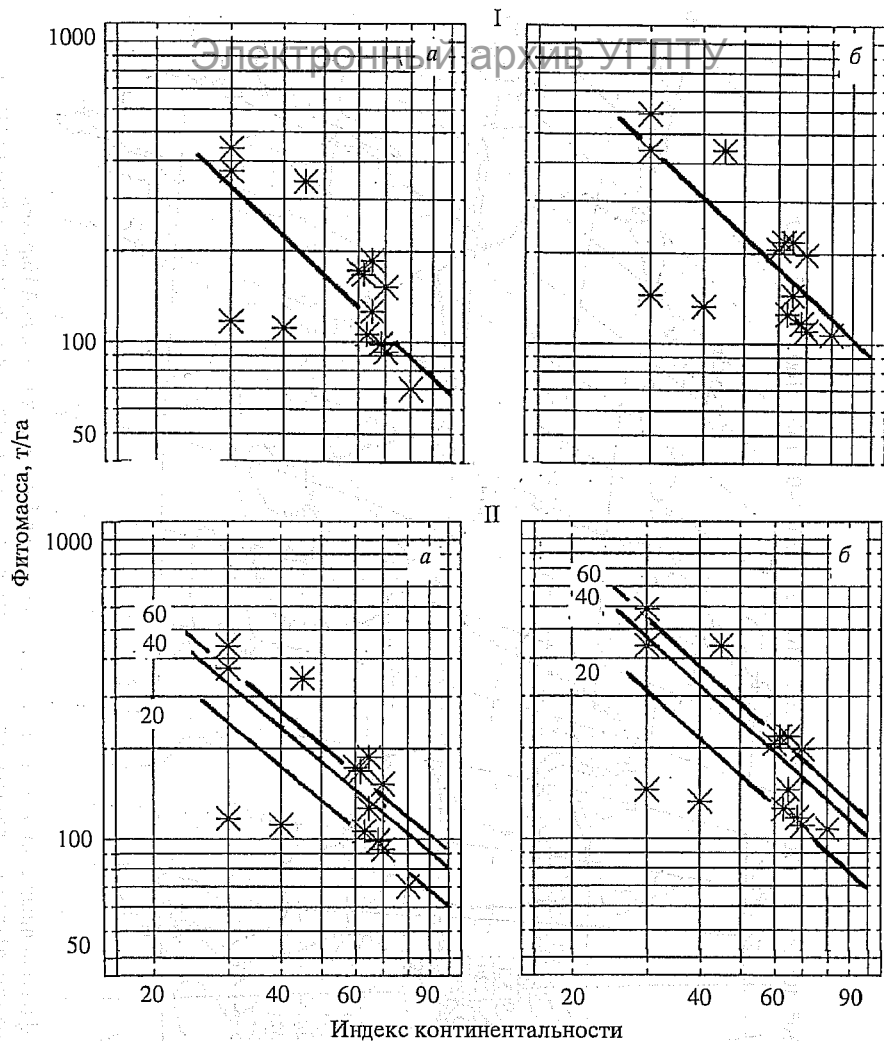


Рис. 4.35. Связь расчетных средних показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы осинников и тополельников. Остальные обозначения см. на рис. 4.6

4.3.3. ОЛЬХА (*ALNUS*)

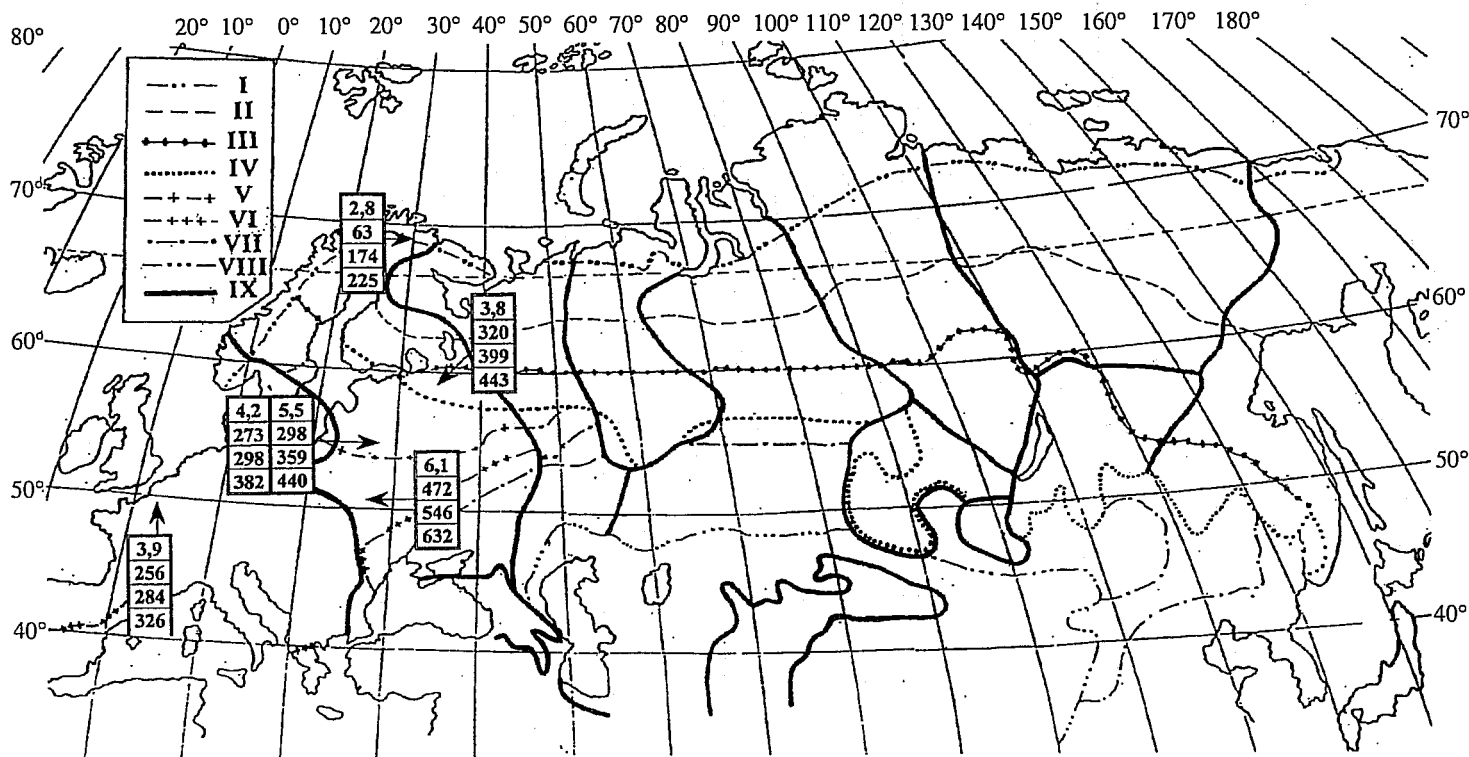


Рис. 4.36. Предельный фракционный состав фитомассы ольховников в 5 регионах Северной Евразии.

В двойной колонке цифр для Скандинавско-Русской провинции левая соответствует *A. incana*, правая — *A. glutinosa*. Остальные обозначения см. на рис. 4.4

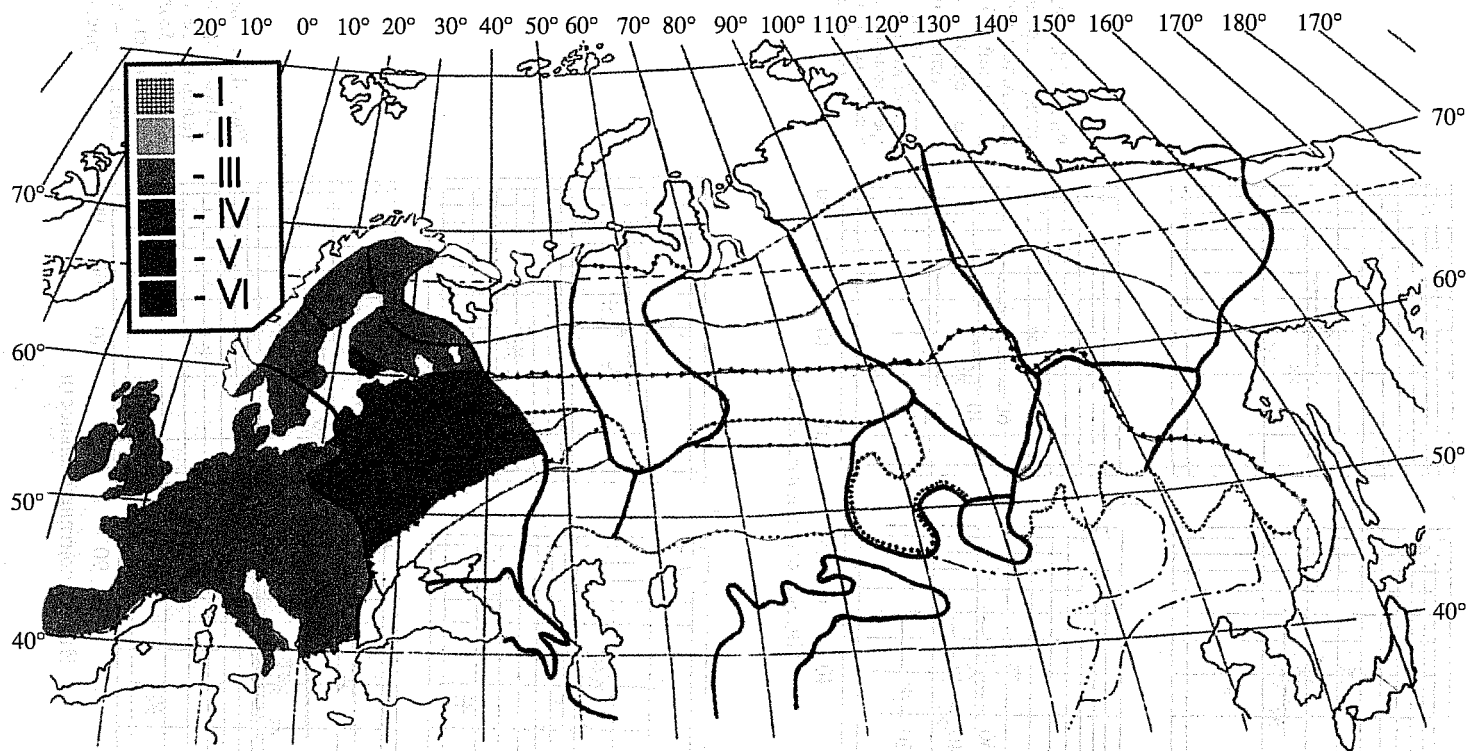
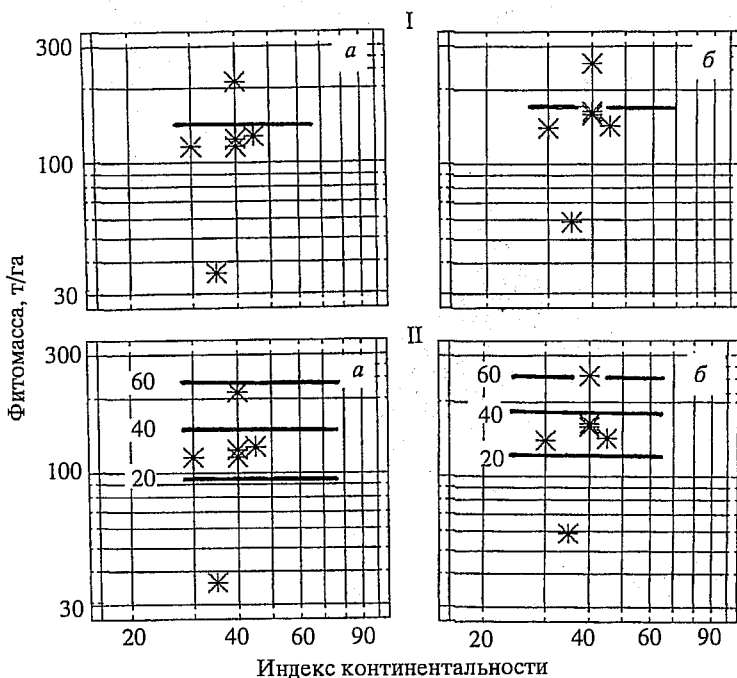
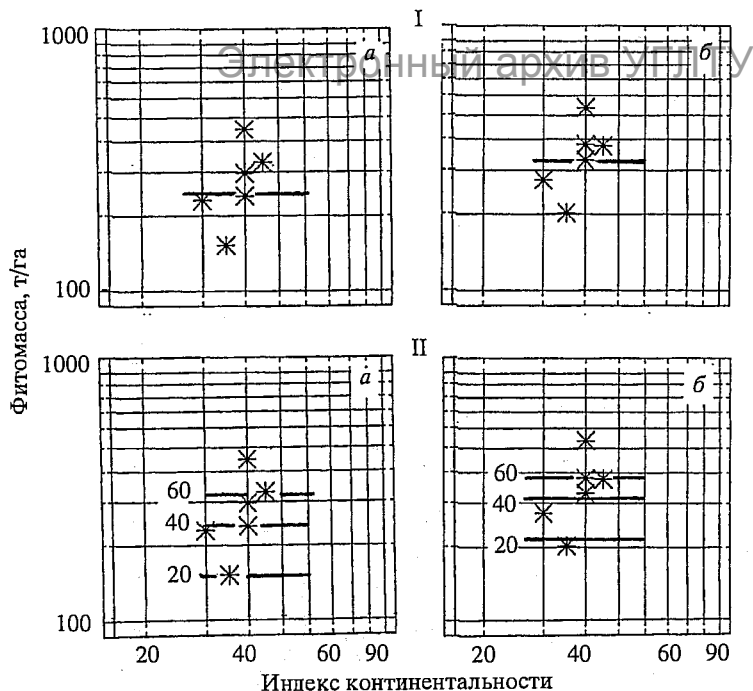


Рис. 4.37. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы ольховников в 5 регионах Северной Евразии. Обозначения см. рис. 4.5



4.4. ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ

4.4.1. ДУБ (*QUERCUS*)

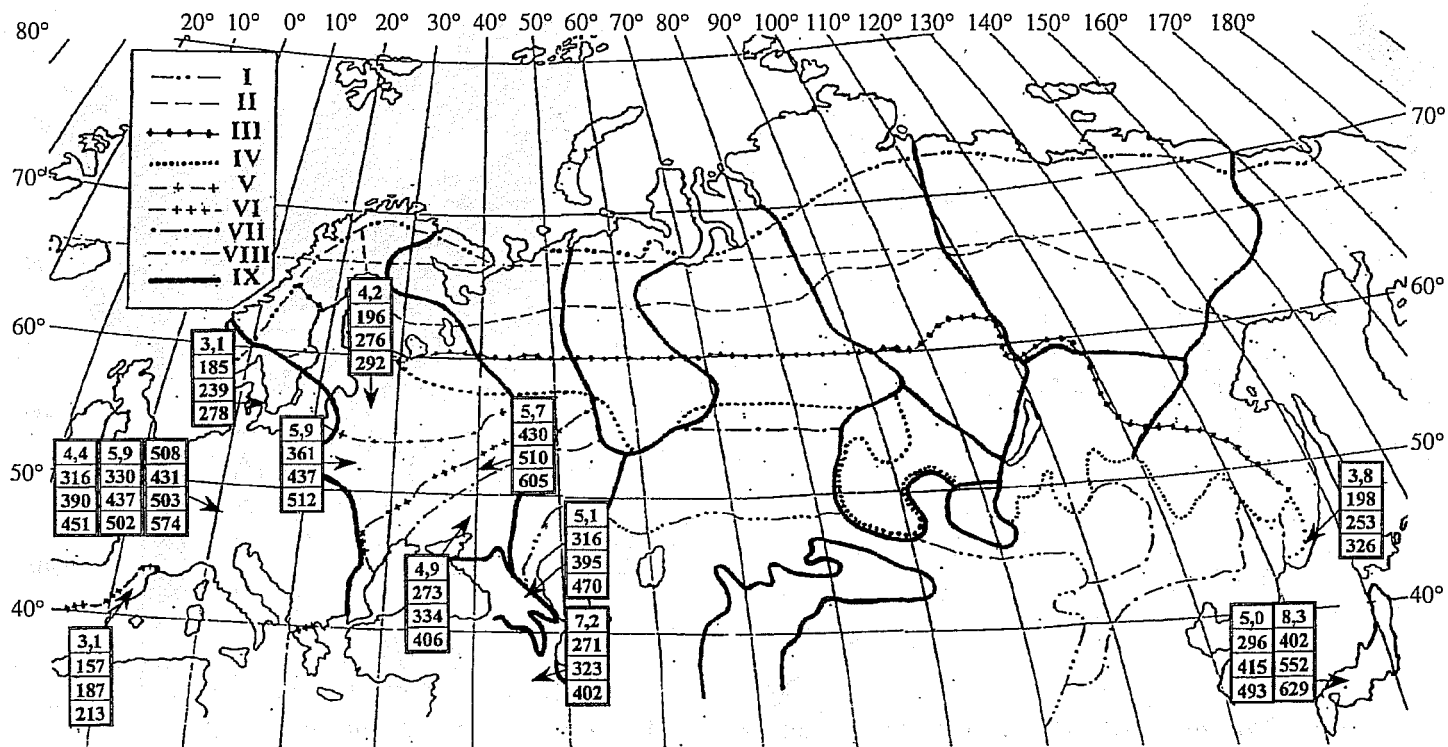


Рис. 4.40. Предельный фракционный состав фитомассы дубняков в 11 регионах Северной Евразии. В строенной колонке цифр для Средне-Европейской провинции слева направо: *Q. robur*, *Q. petraea*, *Q. rubra*; в двойной колонке для Японии слева направо: *Q. glauca* и *Q. phylliragoides*. Остальные обозначения см. на рис. 4.4

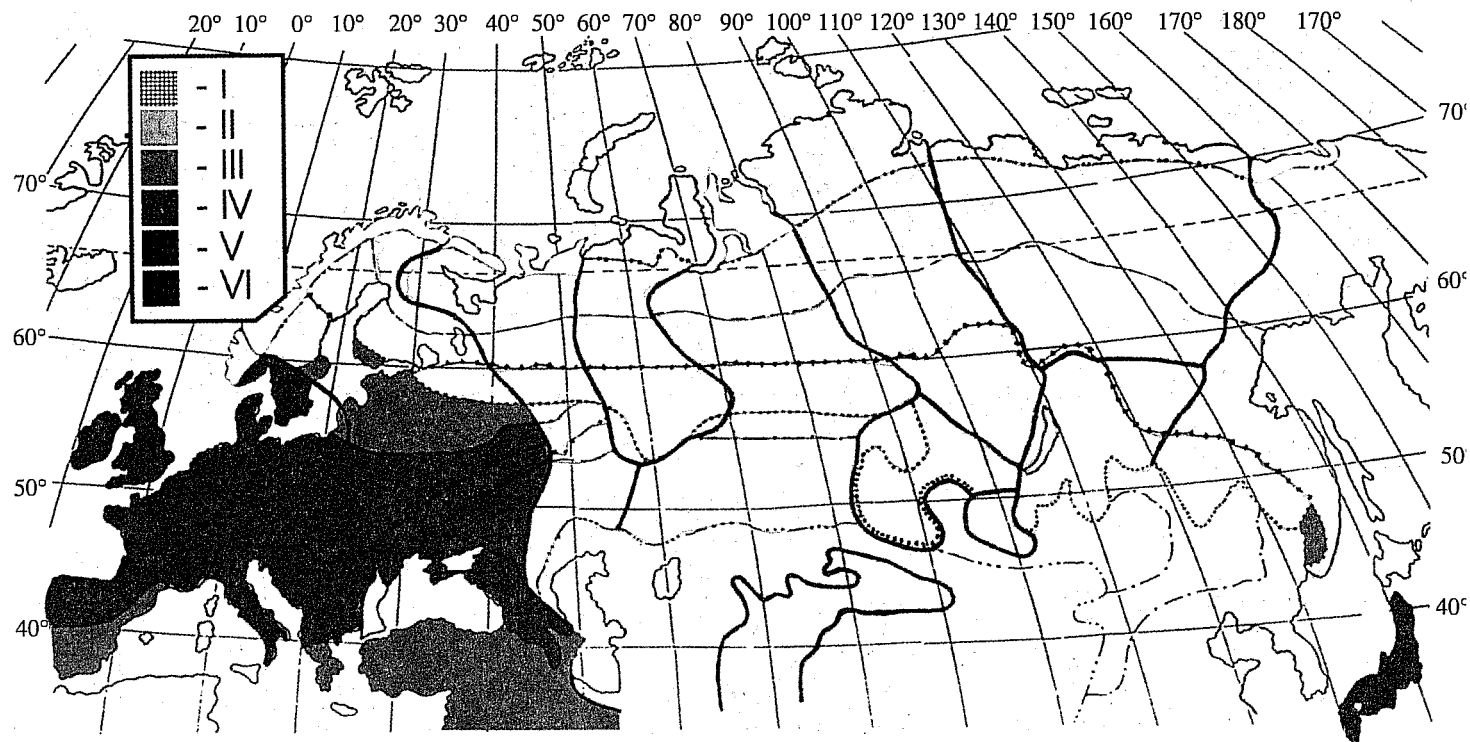


Рис. 4.41. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы дубняков в 11 регионах Северной Евразии. Обозначения см. рис. 4.5

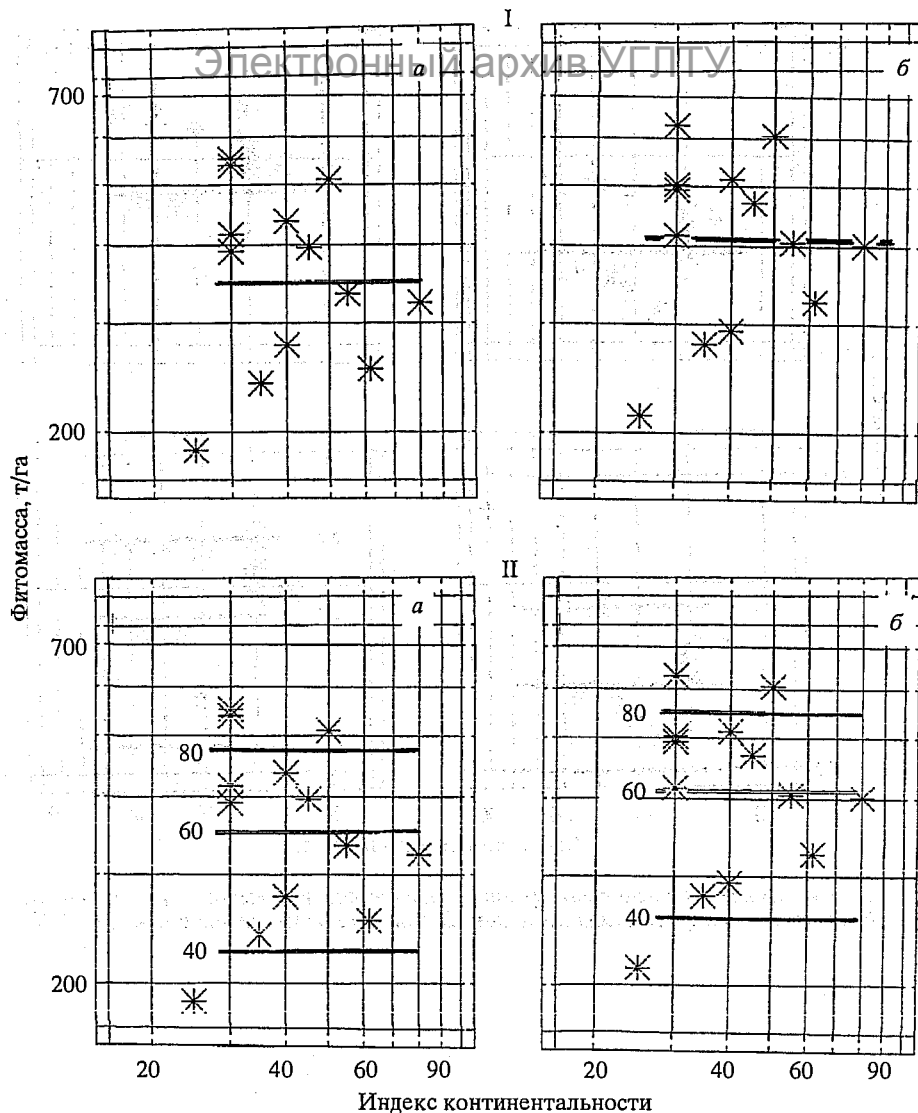


Рис. 4.42. Значения расчетных предельных показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы дубняков. Остальные обозначения см. на рис. 4.38

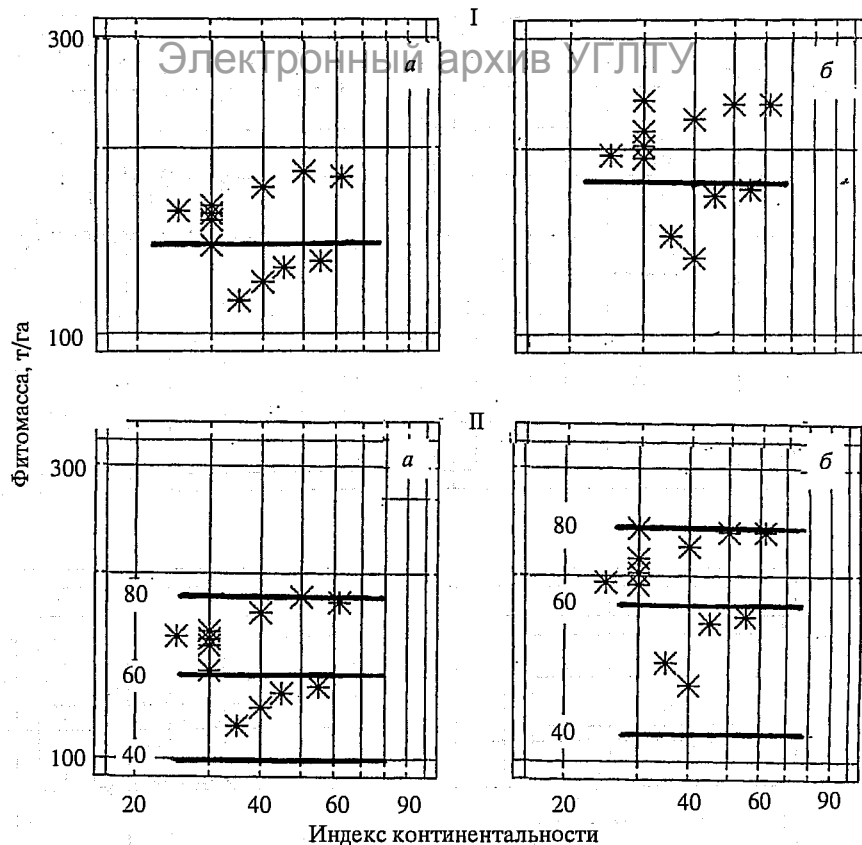


Рис. 4.43. Значения расчетных средних показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы дубняков. Остальные обозначения см. на рис. 4.38

4.4.2. БУК (*FAGUS*)

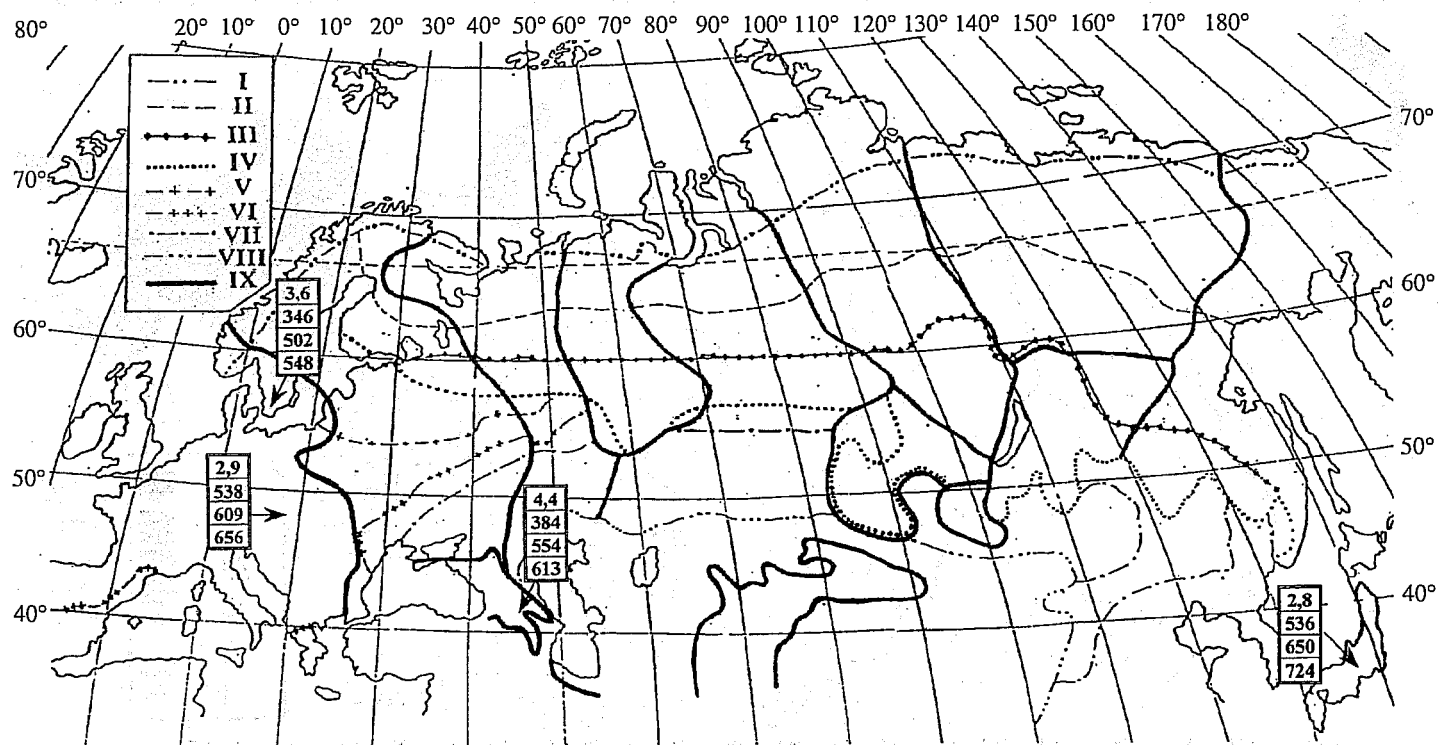


Рис. 4.44. Предельный фракционный состав фитомассы буковых насаждений в 4 регионах Северной Евразии. Обозначения см. на рис. 4.4

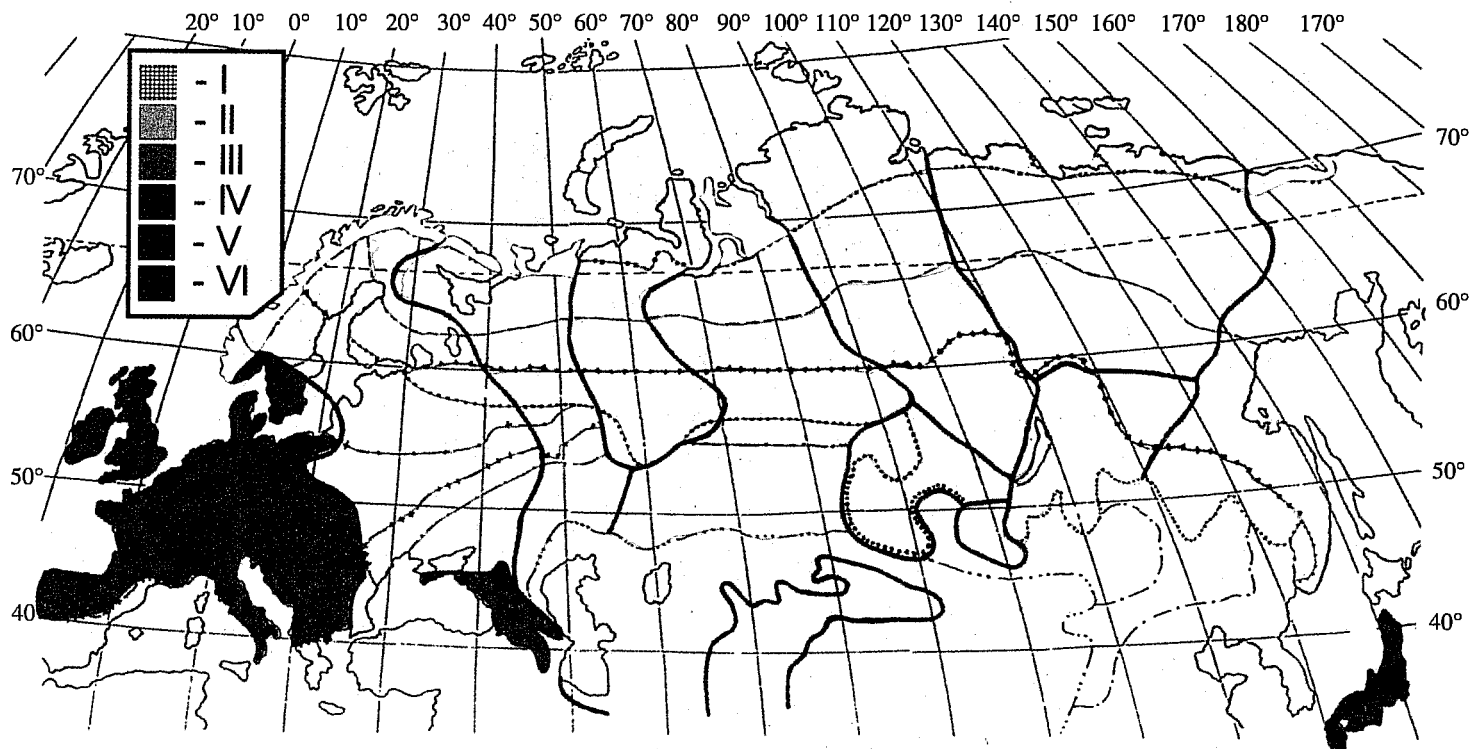


Рис. 4.45. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы буковых насаждений в 4 регионах Северной Евразии.
Обозначения см. рис. 4.5

4.4.3. ЛИПА (*TILIA*)

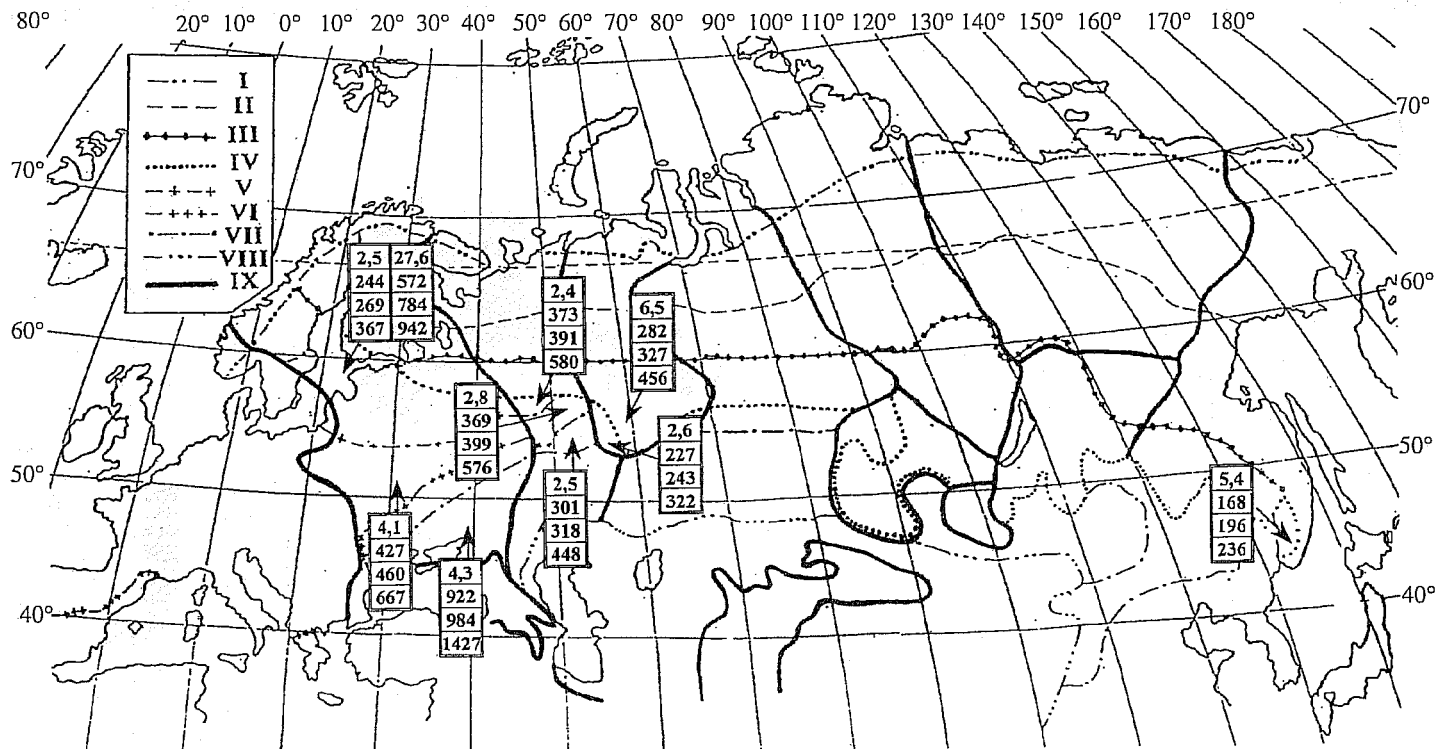


Рис. 4.46. Предельный фракционный состав фитомассы липовых насаждений в 9 регионах Северной Евразии.

В двоянной колонке цифр для хвойно-широколиственных лесов Скандинаво-русской провинции левая соответствует *T. cordata*, правая — *T. platyphyllos*. Остальные обозначения см. на рис. 4.4

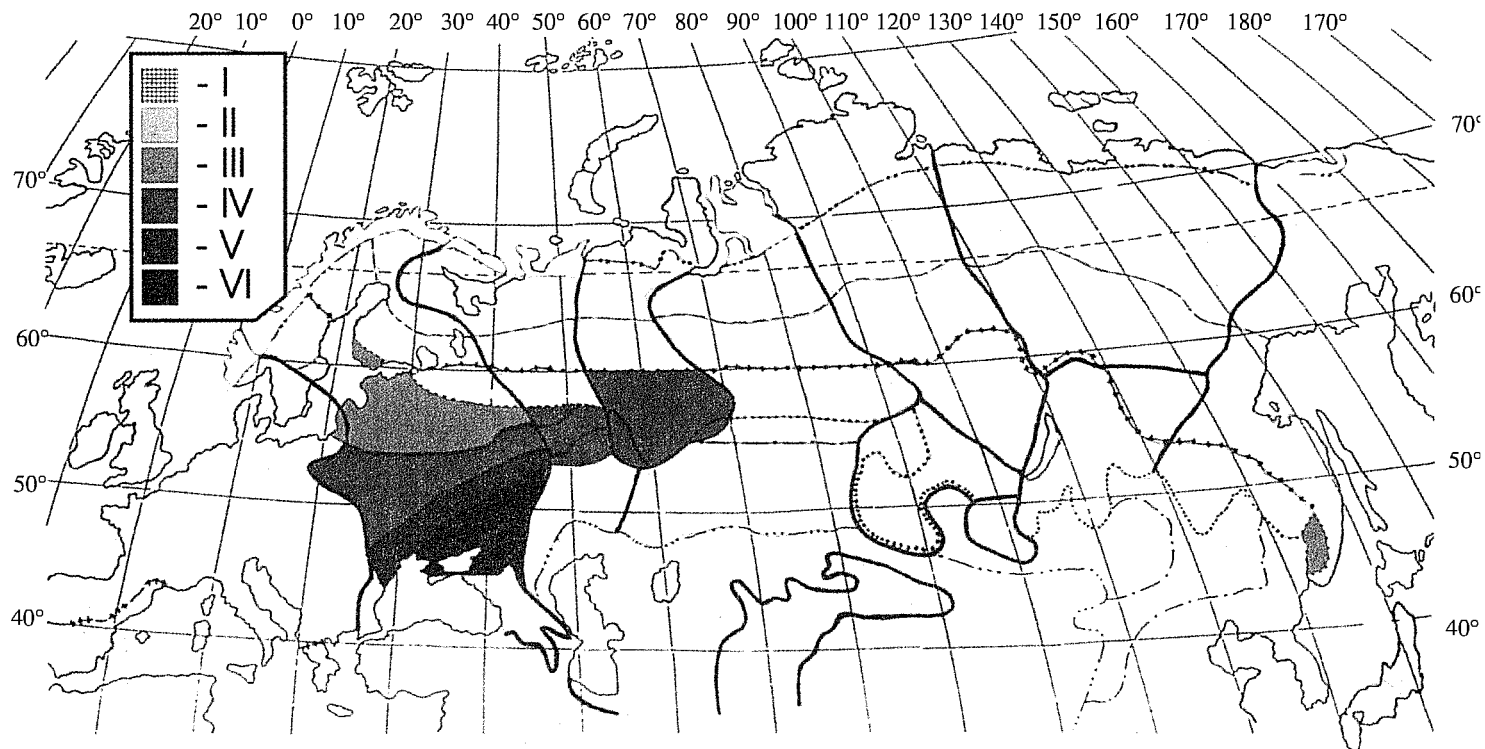


Рис. 4.47. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы липовых насаждений в 9 регионах Северной Евразии.
Обозначения см. рис. 4.5

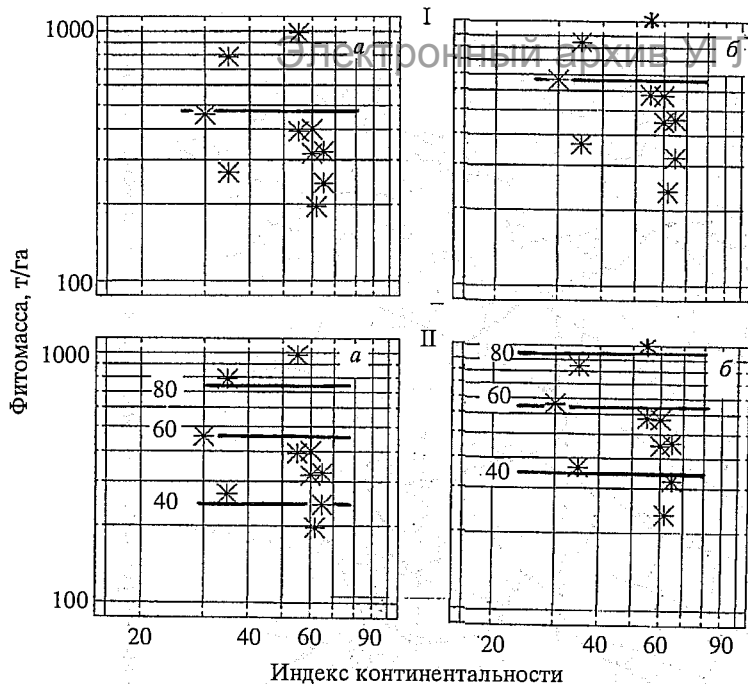


Рис. 4.48. Значения расчетных предельных показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы липовых насаждений. Остальные обозначения см. на рис. 4.38

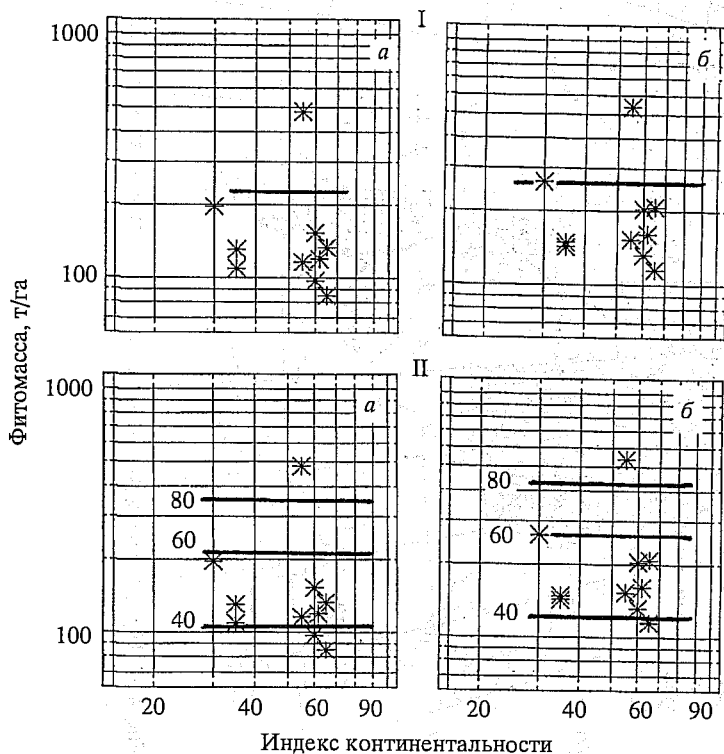


Рис. 4.49. Значения расчетных средних показателей надземной (а) и общей (б) абсолютно сухой фитомассы липовых насаждений. Остальные обозначения см. на рис. 4.38

4.4.4. ЯСЕНЬ (*FRAXINUS*)

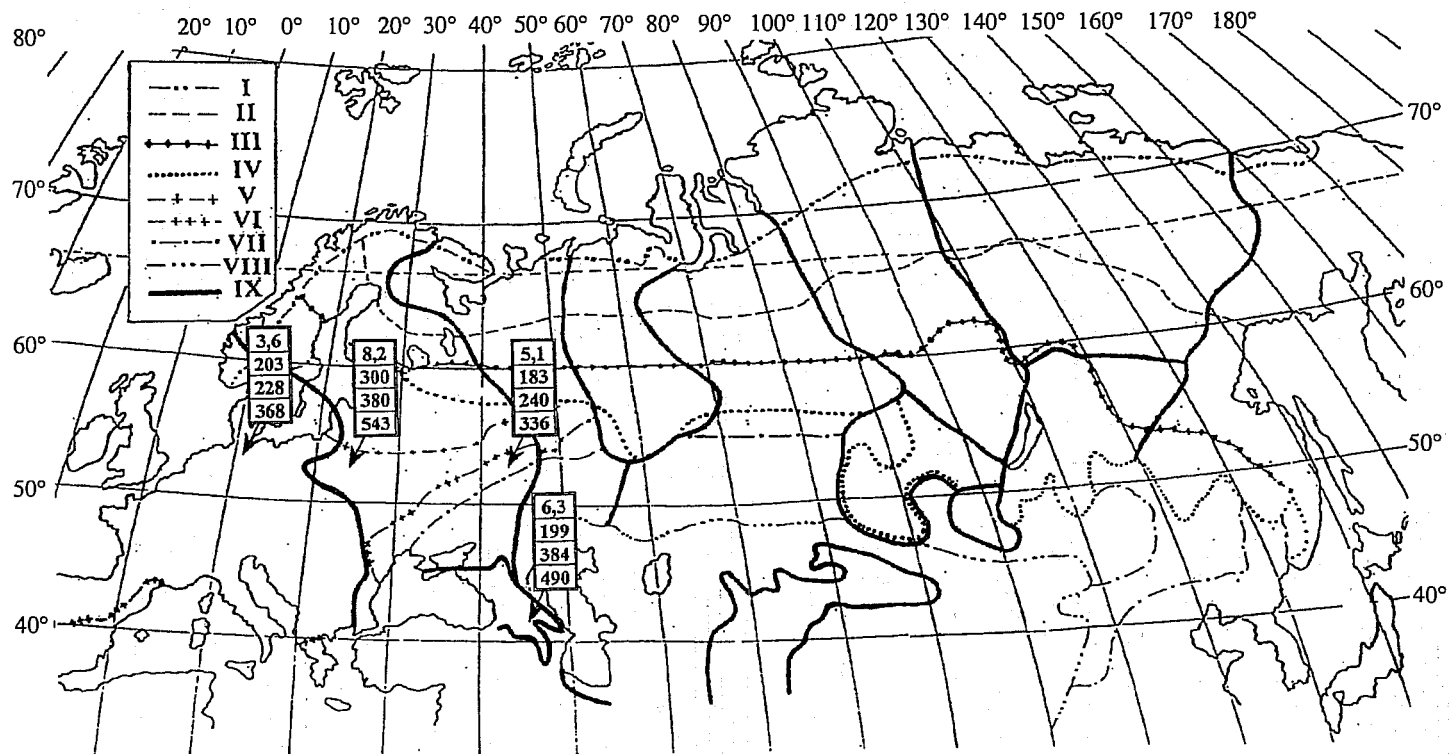


Рис. 4.50. Пределный фракционный состав фитомассы ясеневых насаждений в 4 регионах Северной Евразии. Обозначения см. рис. 4.4

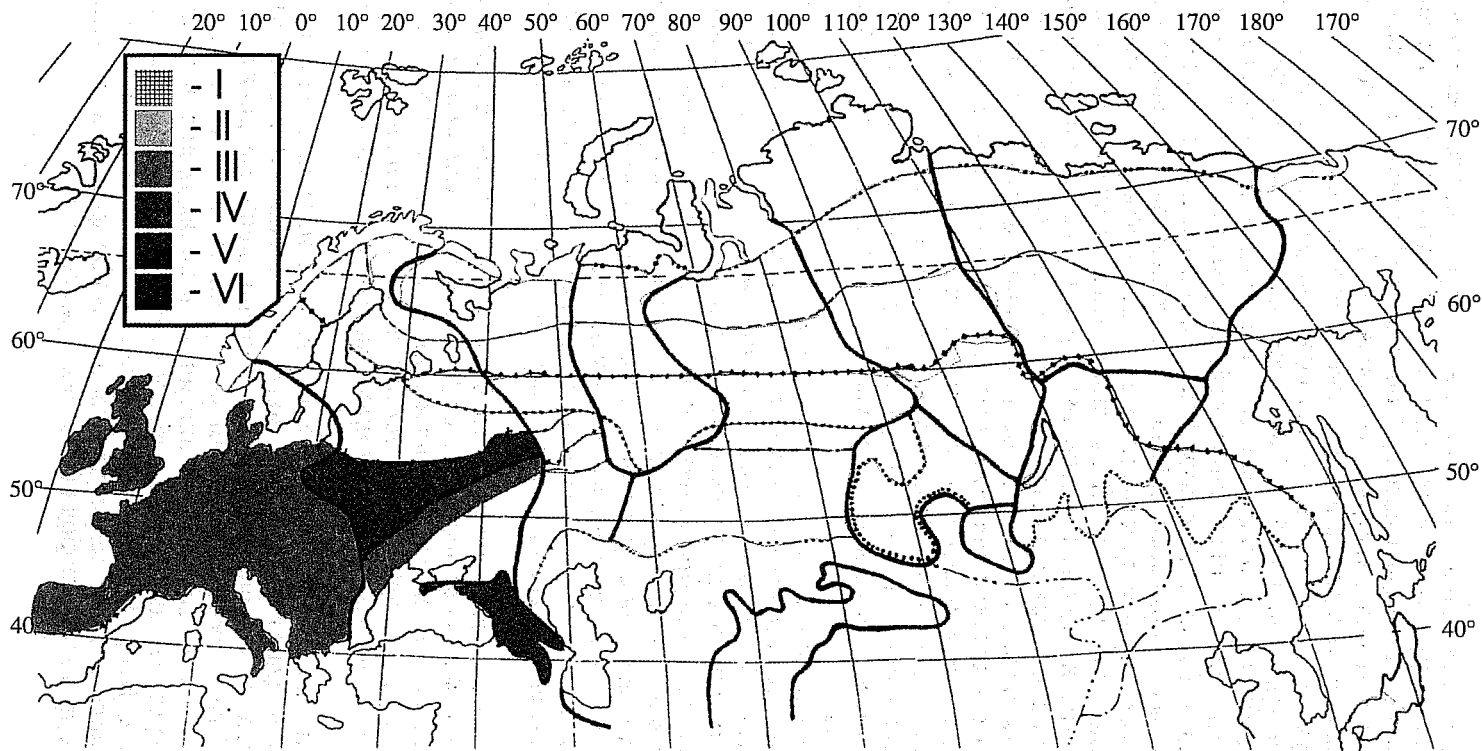


Рис. 4.51. Карта-схема распределения предельных показателей общей фитомассы ясеневых насаждений в 4 регионах Северной Евразии.

Первые две схемы, представленные выше для каждого древесного вида, дополняют одна другую: если первая дает конкретные цифры предельного фракционного состава фитомассы, "привязанные" к обозначенным экорегионам, и недостаточно наглядна, то вторая — общее и достаточно наглядное представление о географии предельной фитомассы.

Цель двух последних схем — наглядно продемонстрировать степень адекватности уравнений (4.5)—(4.8) расчетным данным фитомассы (как предельным, так и средним) и показать диапазоны ее остаточного варьирования, не объясняемого либо одним согласно уравнениям (4.5) и (4.7), либо основными двумя климатическими факторами согласно уравнениям (4.6) и (4.8). Поскольку графически показать остаточное варьирование искомой функции в многомерном пространстве с достаточной наглядностью практически невозможно, варианты II на упомянутых схемах, соответствующие двухфакторным оценочным уравнениям фитомассы, представлены на плоскости. О большей адекватности и преимуществах варианта II перед вариантом I в этом случае можно в какой-то степени судить по величине размаха остаточного варьирования относительно крайних (верхней и нижней) линий в варианте II и относительно единственной линии регрессии в варианте I: в первом он существенно меньше у всех древесных пород.

Анализ уравнений табл. 4.1 и 4.2, а также указанных выше четырех схем для каждой древесной породы, позволяет сделать следующие основополагающие выводы:

- *предельные показатели фитомассы насаждений лиственницы, ели, пихты, сосны (естественных и культур), березы и осины с тополями на статистически достоверном уровне снижаются в направлении с юга на север и от атлантического и тихоокеанского побережий — к полюсу континентальности. Для древесных пород сравнительно узкой экологической амплитуды — ольхи, дуба и липы — подтверждена лишь первая, а для кедров — лишь вторая из упомянутых закономерностей;*

- *как предельные, так и средние показатели фитомассы насаждений характеризуются одними и теми же закономерностями их географического распределения в связи с основными двумя климатическими факторами;*

- *доля корней в общей предельной фитомассе насаждений и отношение предельной подземной фитомассы к предельной надземной возрастают в направлении с юга на север и от атлантического и тихоокеанского побережий — к полюсу континентальности, и обе тенденции согласуются с нарастанием жесткости условий произрастания в упомянутых двух направлениях.*

Последние две схемы, приведенные для каждой древесной породы, наглядно подтверждают последний вывод относительно двух упомянутых тенденций. Первая тенденция, имеющая отношение лишь к варианту II, характеризуется более узким интервалом между линиями регрессии для общей фитомассы (б) по сравнению с аналогичными линиями для надземной (а), т. е. более крутым наклоном поверхности регрессии в плоскости $P \sim T$ в первом случае. Вторая тенденция очевидна как для варианта I, так и для варианта II: наклон линий регрессии для надземной фитомассы в плоскости $P \sim IC$ у всех древесных пород выше, чем для общей.

Настоящей работой завершается цикл из трех монографий под общим названием “Фитомасса лесов Северной Евразии”. В первой (Усольцев, 2001) представлена база данных о фитомассе 13 лесообразующих древесных пород Северной Евразии в объеме 5085 измерений, которая служит общим “фундаментом” (термин А. И. Уткина, 2004) трех книг. Она в несколько раз превышает известные опубликованные (Art, Marks, 1971; Vyskot, 1973; Ulrich et al., 1974; Уткин, 1975; DeAngelis et al., 1981; Cannell, 1982; Kimmins et al., 1985) и неопубликованные (виртуальные) сводки. Последние имеются в электронном варианте в личном пользовании их составителей, публикующих лишь результаты их обработки либо модификации (Замолодчиков и др., 1998; Швиденко и др., 2000; Лакида, 2002). Объем и формат базы данных, предложенной автором для общего пользования, не окончательны: по мере получения новых определений фитомассы она будет дополняться, освобождаться от сомнительных материалов и примет общедоступную форму в Интернете.

В некоторых публикациях (Cannell, 1989; Уткин, 2004) высказывается не лишняя оснований обеспокоенность качественным уровнем имеющихся сводок данных о фитомассе лесов. Критика имеет отношение и к нашей базе данных, поскольку в ней наряду с фактическими значениями, полученными регрессионным методом (и таких — большинство), приведены также показатели, полученные методом среднего дерева (например, поз. 273—279 для *Picea abies*, 187—190 для *Quercus robur* и др.). Существенная часть базы данных представлена значениями фитомассы, модифицированными к виду таблиц биопродуктивности (например, поз. 564—583 для *Picea schrenkiana*, 733—788 для *Pinus sylvestris*, 17—112 для *Tilia cordata* и др.) либо расчетными показателями, полученными по подеревным данным фитомассы и рядам распределения деревьев по толщине (например, поз. 2—22 для *Abies alba*, 1828—1842 для *Pinus sylvestris* и др.).

При достаточно полной базе данных действует закон больших чисел, и появляется возможность использования математико-статистических приемов с целью получения достоверных региональных оценок биопродуктивности лесных экосистем. Здесь имеется в виду не только известный факт, что меньшая точность показателей фитомассы и морфоструктуры компенсируется большим объемом всей выборки, но и другой очевидный факт — чем многочисленнее данные о фитомассе для конкретного экорегиона, тем больше возможности выявления ее некорректных значений — “аутсайдеров”. База данных сформирована путем включения в нее *всех* опубликованных и даже неопубликованных данных о фитомассе насаждений, и ответственность за их точность несут авторы. Но это не означает, что все эти данные годятся для последующего их использования в том или ином приложении.

Идеальной является ситуация, при которой фракционная структура фитомассы во всех случаях соответствовала бы морфоструктуре насаждения, опосредуемой внутренне согласованными значениями массообразующих показателей в определенных диапазонах изменчивости каждого из них. По-видимому, основным критерием для включения того или иного определения фитомассы из базы данных в тот или иной расчет является не столько степень совершенства метода его получения (хотя и это важно), сколько степень упомянутого соответствия.

Последняя (или та или иная “рассогласованность” факторов) выявляется в нашем случае при расчете региональных эмпирических многофакторных моделей фитомассы, и названное соответствие может или не может иметь место независимо от того, каким методом получены данные о фитомассе. Сказанное подразумевает не “согласованность неправильностей”, а ситуацию, при которой значение фитомассы насаждения, полученное, например, методом среднего дерева, не выходило бы за пределы ее варьирования при определении более надежным методом (регрессионным либо сплошной рубкой) в иных насаждениях аналогичной морфоструктуры.

Это же соображение относится к модифицированным показателям фитомассы, включенным в базу данных (Усольцев, 2001): важно, чтобы табличные значения фракционной структуры фитомассы соответствовали специфичному для данного экорегиона характеру взаимной согласованности массообразующих показателей, входящих в таблицу биопродуктивности. В противном случае последняя была составлена ее автором некорректно.

Таким образом, некорректные показатели фитомассы отбраковываются из базы данных лишь в ходе последующего многофакторного анализа по условию упомянутого взаимного соответствия структуры и продуктивности насаждений, а не априорно по произвольным критериям составителя или пользователя. В последнем случае подобная “чистка” может быть использована для подтверждения любой, в том числе несостоятельной гипотезы исследователя. Можно, например, предложить “экспресс-метод” получения “массовых данных запасов фитомассы” (Аткин, 1994) на основе единого для данной древесной породы переводного коэффициента *фитомасса: запас стволовой древесины* и для подтверждения его правомерности из 2000 имеющихся в литературе определений переводных коэффициентов фитомассы сосняков отобрать лишь 10, укладывающихся в диапазон ошибки $\pm 10\%$.

При использовании же математико-статистических методов отбраковка тех или иных данных происходит независимо от желания или нежелания исследователя. Так произошло, например, с данными И. И. Красикова о фитомассе лиственничников района Подкаменной Тунгуски (поз. № 127—137 базы данных), которые были отсеяны как в наших расчетах регрессионных моделей фитомассы (Усольцев, 2001), так и при анализе нашей базы данных японскими исследователями (устное сообщение А. П. Абаймова). При выводе остаточной дисперсии на график остатков, предусмотренном любой стандартной программой многофакторного анализа, подобные данные — “аутсайдеры” очевидны и подлежат исключению в ходе пошагового расчета регрессионных коэффициентов.

Вторая монография (Усольцев, 2002a) представляет собой первое в мировой практике справочное издание, включающее в себя комплект из 600 таблиц биопродуктивности (ТБП) 13 лесообразующих древесных пород и пред-

назначенное для оценки биологической продуктивности и углерододепонирующей емкости лесных экосистем Северной Евразии. За основу взяты традиционные таблицы хода роста (ТХР) нормальных (сомкнутых) и модальных древостоев. ТБП получены путем совмещения ТХР с упомянутыми регрессионными моделями фитомассы.

При формировании справочника не ставилась цель предварительного обобщения региональных сводок ТХР по примеру А. З. Швиденко с соавт. (Shvidenko et al., 1996) для сосны. Идея всеобщих ТХР не является бесспорной и подвергается сомнению с 1930-х гг. в пользу местных ТХР, в большей степени отражающих “цикл развития конкретных древостоев” (Третьяков, 1938. С. 196). Кроме того, критерии отбраковки местных таблиц и алгоритмы такого “обобщения” могут, как и в выше приведенном случае, нести следы субъективизма.

Автором не ставилась также цель использовать *весь* арсенал ТХР, наработанных лесными таксаторами за полтора столетия, да это и невозможно в рамках одной книги. При необходимости те или иные ТХР, обойденные вниманием составителя, могут быть преобразованы в ТБП с использованием предложенных регрессионных моделей фитомассы.

В настоящей, заключительной, книге проанализированы условия, определяющие продуктивность лесных экосистем на трех иерархических уровнях — климатическом, эдафическом и ценотическом, соответственно: в пределах ареала (для одновидового лесного покрова) и континента (для обезличенного лесного покрова) — по совокупности климатических факторов, в пределах экорегиона — по совокупности эдафических факторов и в пределах экотопа — по индексу листовой поверхности LAI.

Хотя теоретически продукционный потенциал лесного фитоценоза на ценотическом уровне находит интегральное выражение в LAI, связь названных показателей далеко не однозначна. Они оба синхронно нарастают до некоторого предела, после чего вместо выхода на теоретическое плато, их взаимосвязь в зависимости от видовых и структурных особенностей полога варьирует в широком диапазоне от асимптоты до колоколообразных трендов различной конфигурации.

Поэтому более перспективен анализ продуктивности лесной экосистемы в пределах экотопа по массообразующим показателям — средней высоте, диаметру ствола, густоте. Поскольку предельная продуктивность оценивается нами в связи с самоизреживанием древостоев, а возрастная динамика самоизреживания — в связи с густотой, достаточно просто определяемой в реальных древостоях, то последняя наиболее приемлема для нашего анализа. Установлено, что она является и наиболее эффективной переменной при расчете предельной продуктивности.

Показано, что траектория самоизреживания и предельная линия самоизреживания — это не одно и то же: если первая находится в области фактических, периодически повторяющихся измерений древостоев известной начальной густоты на постоянных пробных площадях, то вторая по определению не входит в упомянутую область, а характеризует некоторое гипотетическое состояние предельной загущенности, которого древостой может не достигать под действием внешних факторов (снего- и ветровалы, лесные пожары и т.п.) и которое может быть надежно установлено только расчетным путем. К сожалению, рядом исследователей в вопрос примени-

мости правила $3/2$ ($1/2$), известного и широко обсуждаемого в экологии растительных сообществ, была внесена путаница именно вследствие подмены ими одного понятия другим.

Чтобы количественные характеристики предельных состояний древостоев можно было экстраполировать на ту или иную лесопокрытую площадь, необходимо разработать метод расчета линий предельной продуктивности на основе данных массовой таксации древостоев на временных пробных площадях, начальная густота которых обычно неизвестна. Ранее подобные попытки фактически не предпринимались, а основное внимание исследователей на протяжении ряда лет было сконцентрировано лишь на правиле $3/2$ ($1/2$) с использованием только материалов периодической таксации древостоев известной начальной густоты.

При одной и той же густоте древостоев возможно множество типов их пространственной структуры. В качестве частного случая последней при разработке методики установления предельной продуктивности фитоценозов нами выбран элементарный объект исследования — биогруппа как минимодель древостоя однородной пространственной структуры. Это дало возможность оперативного получения показателей продуктивности фитоценозов в максимальном диапазоне густот для каждого возраста на минимальном числе временных пробных площадей. Путем расчета регрессионной модели запасов древесины в биогруппах по двум факторам — текущей густоте и возрасту получена возрастная серия колоколообразных густотных статических кривых. В результате возрастного сдвига последних в координатах *запас — густота* правые ветви густотных статических кривых пересекаются, и точки пересечения при $\Delta A \rightarrow 0$ образуют характерную линию, которая является *предельной* для данного диапазона густот.

В совокупности древостоев одного возраста, но разной густоты существует оптимальное значение последней, при котором древостои характеризуются максимальной продуктивностью. По мере повышения густоты от оптимальной до некоторой предельной в данном возрасте продуктивность древостоев снижается, стремясь к соответствующему для данного возраста пределу. Таким образом, *максимальная* продуктивность древостоя не тождественна *предельной*. Между ними существует принципиальное различие: первая соответствует оптимальной густоте в статической совокупности древостоев, а вторая сдвинута до предельного уровня продуктивности либо при той же густоте — на более высокие классы возраста, и в этом случае ее значение выше максимального, либо при том же возрасте — на более высокие густоты, и в этом случае ее значение ниже максимального.

Первые сопоставления биопродуктивности лесов на глобальном уровне осуществлялись по данным небольшого числа пробных площадей, которые усреднялись для того или иного типа леса по растительным формациям и экстраполировались на последние без учета возраста и морфоструктуры древесных ценозов (Родин, Базилевич, 1965; Базилевич, 1993). Поэтому закономерно свидетельство Н. И. Базилевич (1993) о трудностях, испытываемых ею при генерализации географических закономерностей распределения фитомассы лесов на территории Северной Евразии.

Наличие профиля продуктивности лесного покрова по широтному градиенту подтверждалось исследователями многократно и с различных позиций, тогда как в изменении продуктивности лесного покрова в меридиональном

направлении до сих пор имела неопределенность, и предлагались даже взаимоисключающие закономерности.

В нашей трилогии в качестве предпосылки корректного анализа и унифицированного описания географических закономерностей распределения фитомассы лесных экосистем принято условие, обеспечивающее взаимную сопоставимость ее показателей по экорегионам. Сопоставимость обеспечивается специальными математико-статистическими приемами. Во-первых, сравниваются не региональные совокупности фактических данных, а регрессионные оценочные модели фитомассы, в которые в качестве регрессоров включены основные показатели морфоструктуры древостоев — запас стволовой древесины, возраст, густота, средняя высота и диаметр стволов.

Следующий прием обеспечивает внутреннюю согласованность уравнений, описывающих фракционную структуру фитомассы насаждений, которые связаны между собой по рекурсивному принципу. В частности, масса одной фракции (например, стволовой древесины), выступающая в качестве зависимой переменной в первом уравнении системы, в следующем выполняет роль одного из предикторов при оценке массы листвы. Последняя далее вводится в качестве одного из предикторов при оценке массы скелета кроны и т.д. Однако платой за гибкость и внутреннюю согласованность системы рекурсивных моделей является отсутствие интегрального показателя адекватности, а использование произведения коэффициентов детерминации, рассчитанных для каждого из составляющих уравнений, в качестве обобщенной характеристики всей системы в данном случае неправомерно.

Структуру моделей характеризует их универсальность, в результате чего использован один и тот же набор уравнений в разных частях трилогии и соответственно в разных целях, путем совмещения: в первой части — с рекурсивной “цепочкой” возрастных “синхронизированных” трендов показателей морфоструктуры (средних высот и диаметров, густоты и запаса древостоев), рассчитанной по материалам базы данных; во второй — с региональными ТХР и в третьей — с предельными региональными значениями средних высот, диаметров и запасов древостоев.

Подобная система уравнений предназначена для оценки фракционной структуры фитомассы лесных экосистем в пределах экорегиона при известных показателях их морфоструктуры. Поскольку последняя у одной и той же древесной породы в разных экорегионах различается, то для приведения названных систем уравнений к сопоставимому по экорегионам виду применен еще один математико-статистический прием — введение в упомянутые уравнения блоковых фиктивных переменных (Дрейпер, Смит, 1973), характеризующих принадлежность локального массива данных к тому или иному экорегиону. Константа при блоковой фиктивной переменной характеризует степень относительного “дистанцирования”, или смещения показателей фитомассы разных экорегионов, и представляет собой своеобразную поправку на межрегиональные различия морфоструктуры насаждений, опосредующей климатические особенности данного экорегиона. Количественные характеристики фитомассы (или углерододепонирующей емкости) насаждений, полученные путем табулирования последовательных цепочек уравнений, экстраполированы на соответствующие экорегионы. Таким образом, предпринята первая систематическая попытка применения математико-статистических методов для приведения собранных данных о фитомассе лесных экосис-

тем к сопоставимому по экорегионам виду в целях выявления географических закономерностей ее распределения.

Независимо от способа использования регрессионных моделей фитомассы в трех названных специфических приложениях, выявлен общий характер географических закономерностей распределения фитомассы насаждений в связи с основными двумя климатическими факторами — индексом континентальности климата и суммой эффективных температур. Из двух индексов континентальности климата — Ценкера и Полозовой — более информативным при объяснении географической изменчивости фитомассы оказался первый.

Впервые выявлено статистически достоверное снижение приведенных в сопоставимое состояние фактических (а), нормативных согласно ТБП (б) и предельных (в) показателей фитомассы насаждений широкой экологической амплитуды — лиственницы, ели, пихты, сосны (естественных и культур), березы и осины с тополями — в направлении с юга на север и от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности. Однако биология и экология выявленного феномена сопряженности континентальности климата и продуктивности древесной растительности пока недостаточно ясна.

Установлено также во всех трех случаях возрастание доли корней в общей фитомассе насаждений в направлении с юга на север и от атлантического и тихоокеанского побережий к полюсу континентальности, что обусловлено нарастанием жесткости климатических условий в упомянутых двух направлениях.

Картирование потенциальной продуктивности лесных экосистем на региональном или планетарном уровнях на основе климатических показателей обычно выполнялось по обезличенному породному составу путем экстраполяции на ту или иную территорию базовых зависимостей климатических индексов или продуктивности лесных насаждений от названных показателей (Weck, 1954, 1955; Paterson, 1956; Лит, 1974). При этом в качестве исходных показателей продуктивности принимались либо средние значения прироста по запасу наиболее хозяйственно ценных древостоев, либо фактические данные их первичной продуктивности NPP, полученные на пробных площадях. Н. И. Базилевич с соавторами (1968), напротив, путем экстраполяции фактических данных пробных площадей на “восстановленный” лесной покров по биомам составили карту первичной продуктивности обезличенных по видовому составу экосистем, на основе сопряженного анализа географических закономерностей продуктивности и климатических характеристик выявили определяющие факторы — радиационный баланс R и индекс сухости R/L_f и затем рассчитали зависимость от них первичной продукции.

В отличие от упомянутых подходов к картированию потенциальной продуктивности лесных экосистем на климатическом уровне, в нашей работе впервые отдельно для каждой лесообразующей породы Северной Евразии вначале фактические данные фитомассы приведены в сопоставимое по экорегионам состояние, затем составлены карты-схемы распределения их средних (полученных по материалам базы данных) и предельных (рассчитанных по условию самоизреживания) показателей, и путем совмещения карт-схем запасов фитомассы с картами-схемами изоконт и сумм эффективных температур построены соответствующие двухфакторные зависимости, описываю-

щие закономерность распределения запасов фитомассы по провинциальному и зональному градиентам.

С учетом существенных пробелов в наполнении базы данных о фитомассе лесов по некоторым экорегионам (а также — по древесным видам и в пределах вида — по некоторым фракциям) изложенные результаты следует считать предварительными, и в дальнейшем они подлежат уточнению. Таким образом, проблема недостатка информации при экологическом моделировании (Свирижев, 1981) в полной мере проявилась и в нашем исследовании. Частично она была снята применением рекурсивно-блочного метода, т.е. систем рекурсивных уравнений, взаимно “синхронизированных” блоковыми фиктивными переменными. Синхронизация региональных закономерностей, конечно, не восполнила недостающую информацию, но дала возможность получить систему регрессионных регионально распределенных моделей фитомассы при явно недостаточных фактических данных (1—3 наблюдения) по некоторым экорегионам, как это имело место, например, в культурах *Pinus halepensis* (Кавказско-Малоазиатская провинция), *Pinus sylvestris* (южная тайга Дальнего Востока,) и др., а также по некоторым фракциям фитомассы (обычно — по корням и нижним ярусам). Полученные для таких экорегионов средние возрастные тренды и предельные линии самоизреживания насаждений по фракционному составу фитомассы отдельных древесных пород (либо по отдельным фракциям фитомассы той или иной породы) можно принять к сведению лишь в качестве ориентировочных.

В нашем исследовании предельной продуктивности лесообразующих древесных видов Северной Евразии из трех иерархических уровней — ценотического, эдафического и климатического — рассмотрены лишь первый и третий. Дифференциация объектов исследования по эдафическому уровню (или по лесотипологическому спектру) биологической продуктивности в пределах экорегиона не анализировалась, поскольку пока не подкреплена наличием экспериментального материала по эдафическим градиентам каждого экорегиона.

Поэтому прежде всего необходимы дополнительные первичные данные о фитомассе древесных видов по эдафическим (лесотипологическим) градиентам в пределах каждого экорегиона. Соответственно, приоритет публикаций должен быть смещен в пользу фактических, а не модифицированных авторами данных. Это даст возможность пополнения и формирования национальной базы данных о фитомассе лесов, а также — завершения начатого в нашей трилогии исследования и географического анализа распределения фитомассы (органического углерода насаждений) не на двух, а на трех иерархических уровнях.

Предстоит также снять неопределенность в феномене сопряженности продуктивности древесных видов с континентальностью климата, т.е. выяснить, имеет ли здесь место взаимная “маскировка” либо совмещенный эффект (синергизм) факторов увлажнения и континентальности климата (а возможно, и периодических лесных пожаров; см. Wirth et al., 1999), и какую роль в разрешении упомянутой неопределенности может сыграть применение климатдиаграмм Госсена—Вальтера, ранее использованных при районировании зональных биомов Северной Евразии (Walter, Brickle, 1989; Уткин, 2004).

Предложенные автором алгоритмы могут уточняться и развиваться в самых разных, в том числе альтернативных направлениях, например, при уста-

новлении предельных линий биопродуктивности по условию самоизреживания в сукцессионной динамике наиболее распространенных в наших лесах смешанных и сложных древостоев, в адаптации статистики экстремальных значений (Gaines, Denny, 1993) к специфике расчета предельных состояний древостоев, в применении более продвинутых, нежели классический регрессионный анализ, методов индуктивного и дедуктивного моделирования и т.д.

Результаты исследований, изложенные в названных монографиях, будут полезны в ресурсоведческом (комплексная оценка лесных ресурсов) и лесо-экономическом (система лесных плат, кадастровая оценка земель) приложениях. Поскольку фитомасса и углерод являются по существу синонимами и количественно связаны соотношением 2:1, представленный цикл монографий может служить основой при расчетах углеродного цикла на региональном и глобальном уровнях, при разработке системы глобальных экологических услуг и различного рода экологических региональных и глобальных проектов, в том числе коммерческих: международный рынок "углеродных" проектов сегодня достигает 10 млрд долларов в год (Курбанов, 2002) и продолжает расти.

Настоящее исследование было посвящено лишь *фитомассе* лесных экосистем — первой составляющей понятия *биологическая продуктивность*. Естественным продолжением трилогии должен стать цикл наших работ, посвященный исследованию второй составляющей — *первичной продукции* лесов Северной Евразии.

This work completes the series of three books having the total title "Forest biomass of Northern Eurasia". In the first part (Usoltsev, 2001) the database of forest biomass for 13 basic forest-forming species of Northern Eurasia involving 5085 plots with measured biomass is compiled and will be recognized as a common "foundation" (the term by A.I. Utkin, 2004) of the three books. It is many times more than the published (Art, Marks, 1971; Vyskot, 1973; Ulrich et al., 1974; Utkin, 1975; DeAngelis et al., 1981; Cannell, 1982; Kimmins et al., 1985) and unpublished data sets. The latter are just in PC-software and are privately used by their compilers (Zamolodchikov et al., 1998; Shvidenko et al., 2000; Lakida, 2002). While the forest biomass database composed and offered by the author is for a common use. In the first monograph an attempt is made to use mathematic-statistic methods for making forest biomass data comparable in regions having the aim to analyse geographic regularities of forest biomass distribution.

In some papers (Cannell, 1989; Utkin, 2004) one not without reason becomes anxious about qualitative level of available sets of forest biomass data. This criticism bears a relation to our database too because it involves not only "true" harvest biomass data, but also the data obtained with indirect "calculation" method and with the method of "average tree". We think the basic criterion for involving some biomass datum into a database to be not so much a degree of methodical perfection, as a degree of conformity of the given biomass value to morphological structure of the forest stand. This conformity is revealed during following designing regional empirical multi-factorial models for biomass estimating when using the above-mentioned database. This conformity can or cannot take place independently of the method used to obtain biomass data. The volume and the format of the database suggested are not final: it will be added with new material, cleaned from some doubtful data and will be available in Internet.

When the database volume is full enough, the law of large numbers has an effect and an opportunity appears to use mathematic-statistic ways having the aim to obtain correct regional estimates of forest biological productivity. At that anomalous biomass data by some authors are rejected by the condition of the above-mentioned mutual conformity of stand structure and its productivity, not by some questionable criteria of database compilers or users. Such "clearing" may be used to confirm any hypothesis including untenable one. For example one can suggest the "express-method" to obtain "numerous forest biomass data" (Atkin, 1994) using the conversion factor *biomass: stem volume* united for the given forest species and select from 2000 available determinations of conversion factors in *Pinus sylvestris* only 10 ones characterized with the error not more than $\pm 10\%$ to confirm his hypothesis correctness.

When using mathematic-statistic methods, rejecting some anomalous data is realized independently of investigator's wish or unwillingness. For example similar case took place with I. I. Krasikov's larch biomass data for Podkamennaya Tunguska basin (positions No. 127—137 in our database) that were filtered both in our calculating fo-

rest biomass models (Usoltsev, 2001), and in analysing our database by Japanese scientists (verbal communication by A. P. Abaimov).

The second monograph (Usoltsev, 2002a) is the first in world reference edition involving the set of a number of about 600 forest biomass yield tables for the same 13 species intended for estimating biological productivity and the carbon depositing capacity of forest ecosystems of Northern Eurasia. As their base, common yield tables of normal (closed) and modal forest stands are taken into consideration. Forest biomass yield tables are compiled by means of joining common yield tables with above-mentioned multi-factorial stand biomass regressions.

When compiling this reference book, the aim of preventive generalization of regional (local) yield tables in accordance to A. Z. Shvidenko et al. (1996) experience in *Pinus sylvestris* is not raised. The idea of universal yield tables is not indisputable and is called in question since 1930 in favour of local ones that are to a greater degree reflecting “development cycle of concrete forest stands” (Tretyakov, 1938. P. 196). Besides, criteria of rejecting local tables and algorithms of such “generalization” can have signs of voluntarism as shown above. In any case testing of generalized yield tables intended for *Pinus sylvestris* forests of Siberia (Shvidenko et al., 1996) has a result that they are “not working” in the given concrete region (verbal communication by V. I. Polyakov).

The aim of involving into consideration the *total* great number of yield tables compiled by specialists in forest mensuration during 150 years was not raised by the author and this is impossible in a single book format. In the case of necessity any yield table missed by the author may be transformed into a forest biomass yield table using biomass regression models suggested by the author.

In this concluding book the conditions determining productivity of forest ecosystems — climatic, edaphic and cenotic — at the three hierarchical levels, correspondingly: a) using a complex of climatic factors — within the limits of species distribution area (for one-species forest cover) or of a continent (for forest cover of indefinite species composition); b) using a complex of edaphic factors - within the limits of some ecoregion and c) using leaf area index (LAI) — within the limits of some ecotop — are discussed. Differentiation of the concepts of potential, maximum and limiting productivity of forest ecosystems is carried out.

Production potential of forest community on the cenotic level has integral effect in LAI but the relationship of their values is uncertain enough. They are growing simultaneously till some limit after that their relationship varies in a spread range (from the asymptote to the bell-shaped curves of different configurations) depending on species and structural peculiarities of stand canopy instead of the outlet on the theoretical asymptote.

Therefore forest productivity analysis within the limits of some ecotop using one or several volume-forming indices — mean height (Eichhorn's law), mean stem diameter (“reference” curve by Reineke), or stem number per ha - is more effective. Stem number per ha is the most preferable because limiting forest productivity in accordance with the above-mentioned definition is estimated in our work in relation to stand self-thinning and age dynamics of the latter — in relation to stem number per ha. As a result of our study in this book, it was ascertained stem number to be the most significant and most effective variable when we calculated limiting forest productivity.

It was made evident that the self-thinning trajectory and the limiting self-thinning line are very different. The first of them is in the field of natural measurements on

long-term sample plots while the second one is beyond the limits of the above-mentioned field in accordance with its definition and it characterizes some virtual condition of limiting stand overcrowding that cannot be always reached with a forest stand because of external effects (snow-crush, wind-fall, fires, etc) and that may be significantly established with calculating method only. Unfortunately a number of scientists (Skovsgaard, 1987; Zeide, 1985, 1987, etc) have introduced some confusion in the question of validity of the " $3/2$ ($1/2$) power law" well-known in ecology of plant communities because of their substitute of the concept of self-thinning trajectory for the concept of limiting self-thinning line.

To extrapolate quantitative characteristics of stand limiting conditions on some forested area, it was necessary to work out a method to calculate the limiting self-thinning line on the base of the data of numerous and usual forest mensuration material obtained on temporary sample plots which initial density is unknown. Unfortunately such attempts were not done formerly and the main attention was concentrated by scientists on the $3/2$ ($1/2$) power rule for a long time when using material of periodical mensuration of man-made forest stands which initial density was known.

A variety of types of stand spatial structure are possible in reality while stand density is the same. Therefore as a particular case of multiple stand structures, tree biogroups as minimodels of forest stands of homogeneous spatial structure as ultimate objects studied were selected by the author when working out a method of ascertainment of limiting phytocenosis productivity. This gave us an opportunity to obtain fairly rapidly a number of productivity harvest data on minimum quantity of temporary sample plots but in maximum range of tree number density for each stand age. The age series of bell-shaped curves is calculated by means of designing of regression dependence of biogroup stem volume upon two variables — biogroup density (m^3 per hypothetical ha) and tree age A (yrs). As a result the right branches of the curves are cut because of their bias in coordinates of *stem volume* — *density* and their cross points form by virtue of $\Delta A \rightarrow 0$ the envelope of a family of curves that is a *limiting* line for the given density range.

There is an optimum value of tree number density in statical set of stands of equal age and this density corresponds to *maximum* productivity. When stand density is growing from optimal to limiting one at the given stand age, stand productivity is reduced and tends to some limit corresponding to *the given stand age*. Thus, the maximum stand volume is not equal to limiting one: the first of them corresponds to optimum tree number density in a static tree community, but the second is moved at the same density in the higher age classes to the limiting level or the upper limit of stand productivity.

The method suggested by the author allowed to design a special system of recursive regressions when using stand mensuration data obtained on temporary sample plots and then to draw on this system base the limiting lines of mean height, mean diameter and stand volume.

The first comparisons of forest bioproductivity on the global level were carried out using a small number of sample plots that were averaged for the given forest type according to plant provinces and were extrapolated on the latter without accounting stand age and morphostructure (Rodin, Bazilevich, 1965; Bazilevich, 1993). Therefore the judgement by N. I. Bazilevich (1993) about her difficulties when generalizing geographical regularities of forest biomass distribution on the territory of Northern Eurasia was explicable.

The presence of the forest productivity profile oriented along the latitude gradient has been confirmed in various aspects by scientists of various scientific branches

while there has been some uncertainty in the change of forest productivity in a meridional direction and sometimes contradicting regularities have been offered.

In our trilogy the condition of comparability of forest biomass by different regions as a prerequisite for the correct analysis of geographical regularities its distribution is taken into consideration. This comparability is secured with special methodical ways. Firstly, we compare not regional sets of biomass data but biomass estimating models involving as regressors the basic characteristics of stand morphostructure — stem volume, stand age, density, mean height and diameter.

The next way secures the inner compatibility of equations estimating fraction structure of forest biomass and related with each other according to recursive principle. In particular, biomass of some fraction (for example stem wood) involved into the first equation of the recursive system as an dependent variable, in the next equation plays a part of one of a number of predictors when foliage biomass is estimated. The latter is involved then as one of a number of predictors when branch biomass is estimated and so on.

This equation structure is characterized by their multi-functional applicability. As a result the same equation set is used in different parts of the trilogy and with different purposes correspondingly: in the first part — for its joining with “harmonized” age trends of stand morphostructure calculated using database material; in the second one — for its joining with regional yield tables and in the third one — for its joining with regional limiting density curves for mean height, mean diameter and stem volume.

This equation system is intended for estimating biomass fraction structure of forest ecosystems within the limits of an ecoregion when stand structure characteristics are known. As this structure is different for the same species in different ecoregions, the next mathematical-statistical way is used to make this equation system comparable by ecoregions. The way consists of introducing block dummy variables (Draper, Smith, 1973) in the above-mentioned equations. Each of these dummy variables means belonging of the local data set to the corresponding ecoregion. The constant calculated for the given dummy variable characterizes the degree of “remoteness” or relative bias of biomass values of different ecoregions and offers an specific correction accounting interregional differences of stand morphostructure as a result of reflecting climatic peculiarities of the given ecoregion. Quantitative biomass characteristics (or the carbon depositing capacity) obtained by means of tabulating consequent “chains” of system equations are extrapolated on the corresponding ecoregions.

Independently of the variant to use biomass regressions in the three above-mentioned books, a common character of geographical regularities of stand biomass distribution is revealed in relation to two basic climate factors — continentality index and effective temperature sum. Of two climate continentality indices — by Zenker and by Polozova — the first is more informative when explaining forest biomass variability.

For the first time statistically significant reducing of harvest biomass values taken from the database and made comparable by regions (a), values taken from stand bio-productivity tables (b) and limiting stand biomass values (c) in *Larix*, *Picea*, *Abies*, *Pinus* (natural stands and plantations), *Betula* and *Populus* is revealed in directions from the south to the north and from the Atlantic and Pacific shores to the continentality pole in Siberia (near Yakutsk). These two dependences are confirmed just partially for the species of comparatively short ecological range: the first of them — for *Alnus*, *Quercus* and *Tilia* and the second — for *Pinus sibirica* and *P. koraiensis*. Increasing of root biomass share in the total stand biomass in the above-mentioned directions is revealed too as a result of growing of environmental severity.

Mapping of potential productivity of forest ecosystems on regional or global levels using climatic factors was usually designed by means of extrapolation of some basic dependences of forest stand productivity upon above-mentioned factors in some regions. At the same time the generalized forest inventory data, or conventional yield tables, or harvest biomass as well as primary production data taken from forest sample plots were taken into account as above-mentioned forest stand productivity values. In contrast to conventional methods of potential forest productivity mapping on the climatic level, the geographic analysis of distribution on the area of Northern Eurasia of limiting biomass calculated on the self-thinning condition using the biomass database compiled.

The results of the above-mentioned trilogy may be used in forest resource aspects (complex estimating of forest resources) and forest economic one (forest stumpage). Since forest biomass and the forest carbon are actually synonyms quantitatively related with the proportion 2:1, this trilogy may be used as an initial base when calculating the carbon cycle on regional and global levels, when working out a system of global ecological services and different ecological regional and global projects as well as commercial ones: world market of "carbon" projects amounts today to 10 milliard dollars annually (Kurbanov, 2002) and continues to grow.

The prospective work by the author is supposed to be with the total title of the series "Primary production of forest biomass of Northern Eurasia".

Адлер Ю.П., Горский В.Г. Предисловие к русскому изданию // Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Кн. 1 / Н. Дрейпер, Г. Смит. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.

Адлер Ю.П., Горский В.Г. Предисловие к русскому изданию // Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. Кн. 2 / Н. Дрейпер, Г. Смит. М.: Финансы и статистика, 1987. 352 с.

Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.

Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985. 487 с.

Акчури И.А., Веденов М.Ф., Сачков Ю.В. О методологических проблемах математического моделирования в биологии // Математическое моделирование жизненных процессов. М.: Мысль, 1968. С. 7—44.

Александрова В.Д. Растительное общество в свете некоторых идей кибернетики // Бюлл. МОИП. Отд. биологии. 1961. Т. 66, № 3. С. 101—113.

Александрова В.Д. О единстве непрерывности и дискретности в растительном покрове // Философские проблемы современной биологии. М.; Л.: Наука, 1966. С. 191—204.

Амосов Н.М. Кибернетика биологическая (Энциклопедия кибернетики). Киев: Главная ред. УСЭ, 1974.

Антанайтис В.В., Дялтувас Р.П., Мажейка Ю.Ф. Организация и ведение лесного хозяйства на почвенно-типологической основе. М.: Агропромиздат, 1985. 201 с.

Антомонов Ю.Г. Моделирование биологических систем: Справочник. Киев: Наук. думка, 1977. 260 с.

Арманд Д.Л. Функциональные и корреляционные связи в физической географии // Изв. ВГО. 1949. № 1. С. 81—94.

Арманд Д.Л. Опыт математического анализа связи между типами растительности и климатом // Изв. ВГО. 1950. № 1. С. 19—50.

Аткин А.С. Закономерности формирования органической массы в лесных сообществах: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТА, 1994. 40 с.

Багинский В.Ф. О методах нахождения верхней высоты древостоя // Лесное хоз-во и лесная пром-сть. Сокращенные доклады. Каунас-Норейкшкес: ЛитСХА, 1978. С. 9—11.

Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.

Базилевич Н.И., Дроздов А.В., Родин Л.Е. Продуктивность растительного покрова Земли, общие закономерности размещения и связь с факторами климата // Журн. общ. биол. 1968. Т. 29, № 3. С. 261—271.

Базилевич Н.И., Родин Л.Е. Картосхемы продуктивности и биологического круговорота главных типов растительности суши // Изв. ВГО. 1967. Т. 99, № 3. С. 190—194.

Байзаков С.Б. Некоторые закономерности накопления древесной зелени в сосновых лесах Казахстана и перспективы ее промышленного использования: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. Алма-Ата: КазСХИ, 1969. 28 с.

Баранов А.Ф. Влияние климатических факторов на производительность еловых насаждений // Лесн. хоз-во. 1980. № 11. С. 47—48.

Беленков Д.А. Вероятностный метод исследования антисептиков для древесины. Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. 177 с.

Беленький М.Л. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. Л.: Медгиз, 1963. 152 с.

Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. Л.: Гирометеоиздат, 1980. 223 с.

- Богданов А. А. Всеобщая организационная наука (Тектология). Ч. 1. СПб: Изд. Семенова, 1913. 255 с.
- Богданов А. А. Тектология. Всеобщая организационная наука. В 2-х кн. М.: Экономика, 1989. 304, 352 с.
- Борисов А. А. Определение понятия "климат" в связи с развитием климатологии в Советском Союзе // Изв. ВГО. 1952. Т. 84, вып. 4. С. 391—398.
- Борисов А. А. Климаты СССР. М.: Просвещение, 1967. 296 с.
- Бородин А. М. Программные леса. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 240 с.
- Будыко М. И. К теории влияния климатических факторов на фотосинтез // Докл. АН СССР. 1964. Т. 158, № 2. С. 331—334.
- Будыко М. И., Ефимова Н. А. Использование солнечной энергии природным растительным покровом на территории СССР // Ботан. журн. 1968. Т. 53, № 10. С. 1384—1389.
- Бузыкин А. И. О географических и эдафо-ценотических факторах продуктивности лесов // Вопр. лесоведения. Т. 1. Красноярск: ИЛиД, 1970. С. 80—91.
- Бузыкин А. И. Некоторые методологические вопросы лесоведения // Методологические вопросы лесоведения. Новосибирск: Наука, 1975. С. 58—81.
- Бузыкин А. И. О продуктивности лесов и уровнях ее регулирования // Проблемы лесоведения Сибири. М.: Наука, 1977. С. 7—24.
- Бузыкин А. И. Формирование и продуктивность древостоев // Формирование и продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1982. С. 5—17.
- Бузыкин А. И., Пшеничникова Л. С., Суховольский В. Г. Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 151 с.
- Вайчис М. В., Руткаускас А. Ю. Методы оценки лесорастительных свойств почв и продуктивности насаждений // Лесохозяйственная информация. 1969. № 6. С. 10.
- Вальтер Г. Растительность земного шара. Т. 3. М.: Прогресс, 1975. 429 с.
- Васильев И. Е. К вопросу о факторной бонитировке почв вероятностными методами // Почвоведение. 1967. № 5. С. 3—12.
- Ведь И. П. Вертикальная поясность и производительность лесов горного Крыма в связи с показателем соотношения тепла и влаги // Изв. ВГО. 1969. Т. 101, № 2. С. 149—152.
- Ведюшкин М. А. Гистерезис в конкурентных системах // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М.: Ин-т географии АН СССР, 1989. С. 215—225.
- Ведюшкин М. А. Моделирование пространственных переходов между фитоценозами // Математическое моделирование популяций растений и фитоценозов. М.: Наука, 1992. С. 24—30.
- Вернадский В. И. Биосфера. Очерки I и II. Л.: Науч. хим.-техн. изд-во, 1926. 146 с.
- Вернадский В. И. Биосфера (Избранные труды по биогеохимии). М.: Мысль, 1967. 376 с.
- Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. 520 с.
- Виленкин Б. Я. Взаимодействующие популяции // Математическое моделирование в экологии. М.: Наука, 1978. С. 5—16.
- Внучков В. Т. Горизонтальная структура древостоев сосны Казахского мелкосопочника // Лесоведение. 1976. № 5. С. 56—62.
- Волобуев В. Р. О почвенно-климатических ареалах // Почвоведение. 1945. № 1. С. 3—16.
- Волобуев В. Р. О фитоклиматических закономерностях в распределении растительности на территории СССР // Ботан. журн. СССР. 1947. № 5. С. 200—205.
- Волобуев В. Р. Введение в энергетику почвообразования. М.: Наука, 1974. 128 с.
- Воронков Н. А. Запасы хвои в культурах сосны в связи с их возрастом и водным режимом // Лесоведение. 1970. № 5. С. 37—45.
- Воропанов П. В. Использование климатологических показателей при лесотаксационном районировании. М.: ЦБНТИлесхоз, 1970. № 23.
- Высоцкий Г. Н. Степи Европейской России // Полная энциклопедия русского сельского хозяйства. Т. 9. СПб: Изд. Девриена, 1905.
- Высоцкий Г. Н. Избранные труды. М.: Сельхозгиз, 1960. 435 с.
- Габеев В. Н. Экология и продуктивность сосновых лесов. Новосибирск: Наука, 1990. 229 с.
- Гар К. А. Методы испытания токсичности и эффективности инсектицидов. М.: Сельхозгиз, 1963.

Герасимов И. П. Мировая почвенная карта и общие законы географии почв // Почвоведение. 1945. № 3—4. С. 152—161.

Герасимов И. П., Зимина В. П. Теория структур вертикальной природной поясности как научная основа для эколого-географической характеристики горных систем // Чтения памяти акад. В. Н. Сукачева. III. Вопросы биогеоценологии и географии. М.: Наука, 1986. С. 5—12.

Глинский Б. А., Грязнов Б. С., Дынин Б. С., Никитин Е. П. Моделирование как метод научного исследования: гносеологический анализ. М.: Изд-во МГУ, 1965. 248 с.

Голованов Л. В. Планета как “космический механизм” // Кибернетика и ноосфера. М.: Наука, 1986. С. 51—59.

Горбатенко В. М. Влияние основных климатических факторов на первичную биологическую продуктивность сосновых фитоценозов // Стационарные гидрологические исследования в лесах Сибири. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1975. С. 212—220.

Гордина Н. П. Моделирование производительности лиственничников в связи с климатическими факторами // Лиственница: проблемы комплексной переработки. Красноярск: КПИ, 1984. С. 3—6.

Гордина Н. П. Математическое моделирование продуктивности сосновых биогеоценозов в связи с климатическими факторами // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибТИ, 1988. С. 104—106.

Горев Г. И. Оценка лесорастительной пригодности климата // Лесн. хоз-во. 1968. № 11. С. 18—20.

Горев Г. И. Лесоклиматические ресурсы // Современное лесоустройство и таксация леса / Сб. научн. трудов. Вып. 4. М.: ВНИИЛМ, 1974. С. 270—284.

Грешилова Н. В. Моделирование географической изменчивости фитомассы и годичной продукции лесов Енисейского меридиана: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 2003. 17 с.

Григорьев А. А., Будыко М. И. О периодическом законе географической зональности // Докл. АН СССР. 1956. Т. 110, № 1. С. 129—132.

Гуревич М. Ю. Пределные линии и устойчивость древостоев // Реконструкция геомоста. Матер. IX Международного симпозиума. Т. 2. Красноярск: Красноярский научный центр, 1998. С. 50—53.

Демаков Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты). Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. 416 с.

Доев С. К. О продуктивности ельников Южного Приморья в зависимости от высоты над уровнем моря // Лесная таксация и лесоустройство. Вып. 2. Красноярск: СибТИ, 1973. С. 36—41.

Докучаев В. В. Место и роль современного почвоведения в науке и жизни // Ежегодн. по геол. и минерал. России. Вып. 3. СПб, 1899. С. 4—16.

Докучаев В. В. Учение о зонах природы. М.: Географгиз, 1948. 63 с.

Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.

Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 1. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.

Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 2. М.: Финансы и статистика, 1987. 351 с.

Дроздов А. В. Продуктивность зональных наземных растительных сообществ и показатели водно-теплового режима территории // Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л.: Наука, 1969. С. 33—39.

Дылис Н. В. Структура лесного биогеоценоза. М.: Наука, 1969. 55 с.

Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека. М.: Прогресс, 1968. 255 с.

Ефимова Н. А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 216 с.

Жирнаускас И. Опасные последствия “неопятных” понятий // Природа. 1969. № 2. С. 126—128.

Завадский К. М. Основные формы организации живого и их подразделения // Философские проблемы современной биологии. М.; Л.: Наука, 1966. С. 29—47.

Загреев В. В. Всеобщие таблицы хода роста нормальных сосновых древостоев // Современное лесоустройство и таксация леса / Сб. научн. трудов. Вып. 4. М.: ВНИИЛМ, 1974. С. 61—107.

Загребев В.В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 240 с.

Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // Лесоведение. 1998. № 3. С. 84—93.

Зеланд М.Г. Режим кислорода в почвенно-грунтовых водах сосновых насаждений южной Карелии // Моделирование лесных биогеоценозов. Петрозаводск: Ин-т биологии КФ АН СССР, 1986. С. 17—30.

Зеланд М.Г., Казимиров Н.И., Преснухин Ю.В. Географическая изменчивость биологической продуктивности сосновых биогеоценозов на европейской части СССР // Биологическая продуктивность почв и ее увеличение в интересах народного хозяйства: Тез. докл. М., 1979. С. 48.

Зеликов В.Д. Почвы и бонитет насаждений. М.: Лесная пром-сть, 1971. 120 с.

Зеликов В.Д. Пакет прикладных программ для бонитировки лесных почв. М.: МЛТИ, 1986. 100 с.

Зонн С.В. О некоторых итогах и перспективах изучения производительности лесных биогеоценозов // Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л.: Наука, 1969. С. 39—45.

Иванов Л. А. Физиология растений. Л.: Гослестехиздат, 1936. 386 с.

Иванов Л.А. Свет и влага в жизни наших древесных пород (Тимирязевские чтения, V). М.: Изд-во АН СССР, 1946. 60 с.

Иванов Н.Н. Об определении величины континентальности климата // Изв. ВГО. 1953. Т. 85, № 4. С. 455—457.

Иванова З.В., Лавриченко В.М. Диагностика потребности леса в питании и удобрении // Вестн. с.-х. науки. 1975. № 2. С. 100—107.

Ивахненко А.Г. Самообучающиеся системы распознавания и автоматического управления. Киев: Техника, 1969. 392 с.

Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наук. думка, 1982. 296 с.

Ильинский В.В. Об оценке лесорастительных свойств почв // Лесн. хоз-во. 1968. № 7. С. 15—20.

Ипатов В.С. Некоторые вопросы теории организации растительного покрова // Ботан. журн. 1970. Т. 55, № 2. С. 184—195.

Исаев А.В. Магия чисел // Экология и жизнь. 2003. № 2. С. 13—18.

Исаева Р.П. Экологическая обусловленность оптимальной густоты вида // Материалы VI совещания "Вид и его продуктивность в ареале" (Программа ЮНЕСКО "Человек и биосфера"). СПб: Гидрометеониздат, 1993. С. 311—312.

Итоги экспериментальных работ в лесной опытной даче ТСХА за 1862—1962 годы. М.: Московская с.-х. академия, 1964. 519 с.

Итоги XI Всемирного лесного конгресса. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 128 с.

Казимиров Н.И. Ельники Карелии. Л.: Наука, 1971. 140 с.

Казимиров Н.И. Методические положения изучения и моделирования лесных экологических систем // Математическое моделирование в биогеоценологии: Тез. докл. Петрозаводск, 1985. С. 4—7.

Казимиров Н.И. Проблемы и методические подходы в моделировании лесных биогеоценозов // Моделирование лесных биогеоценозов. Петрозаводск: Ин-т биологии КФ АН СССР, 1986. С. 5—12.

Казимиров Н.И., Зеланд М.Г., Лядинский А.Г., Преснухин Ю.В. Прочность грунтовых вод, механический состав почвы и производительность сосновых насаждений // Моделирование лесных биогеоценозов. Петрозаводск: Ин-т биологии КФ АН СССР, 1986а. С. 40—68.

Казимиров Н.И., Горбунова Т.М., Дмитриева И.А. Математическая модель возрастной динамики таксационных показателей сосновых древостоев // Моделирование лесных биогеоценозов. Петрозаводск: Ин-т биологии КФ АН СССР, 1986б. С. 105—123.

Кайрюкштитс Л.А. Научные основы формирования высокопродуктивных елово-лиственных насаждений. М.: Лесн. пром-сть, 1969. 208 с.

Кайрюкштитс Л.А., Юодвалькис А.И. Критерии оптимальной густоты при моделировании максимально продуктивных лесных биогеоценозов // Биофизические и системные исследования в лесной биогеоценологии: Тез. докл. Петрозаводск, 1976. С. 89—90.

Калашников Е.Н. Комплексное картографирование лесных ландшафтов: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 2002. 49 с.

Каллис А., Свйбер А., Тооминг Х. Связь фотосинтеза и проводимости CO_2 с удельной плотностью листьев и селекция сортов с максимальной продуктивностью // Экология. 1974. № 2. С. 5—12.

Кант И. Сочинения. В 6 т. Т. 6. М.: Мысль, 1966. 743 с.

Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 264 с.

Кiryков Ю.Л. Определение эффективности использования естественного плодородия лесных земель // О повышении продуктивности лесов ЦЧР. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1964. С. 5—48.

Кiryков Ю.Л. Потенциальное плодородие лесных земель. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 96 с.

Кобак К.И., Яценко-Хмелевский А.А., Кондрашова Н.И. Баланс углекислого газа в высоко- и малопродуктивных растительных сообществах // Проблемы атмосферного углекислого газа. Л., 1980. С. 252—264.

Колосков П.И. О биоклиматическом потенциале и его распределении по территории СССР // Тр. НИИ агроклиматологии. 1963. Вып. 23. С. 90—111.

Кондратьев К.Я., Лосев К.С., Ананичева М.Д., Чеснокова И.В. Баланс углерода в мире и в России // Изв. РАН. Сер. географ. 2002. № 4. С. 7—17.

Корнев В.П., Орловский Г.М., Остроумов Е.М. Продуктивность лесных насаждений в связи с качественной оценкой почв // Лесная геоботаника и биология древесных растений. Вып. 2. Брянск: БТИ, 1974. С. 49—57.

Коротков И.А. Закономерности распределения лесов в Монгольской народной республике (География и типология) // Леса Монгольской народной республики. Т. 11. М.: Наука, 1978. С. 36—46.

Костылева Е.В. Использование метода листового анализа при применении удобрений в лесных насаждениях // Тез. Всесоюз. совещан. по вопросам питания древесных растений и повышения продуктивности насаждений. Петрозаводск: Изд-во "Карелия", 1969. С. 105—106.

Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев. Новосибирск: Наука, 1986. 211 с.

Кофман Г.Б., Гуревич М.Ю. Огибающие как предельные линии для сумм площадей сечений древостоев // Реконструкция гомеостаза. Матер. IX Международного симпозиума. Т. 2. Красноярск: Красноярский научн. центр, 1998. С. 67—72.

Кофман Г.Б., Гуревич М.Ю. Предельные и оптимальные состояния древостоев // Сибирский экол. журн. 2001. № 5. С. 623—629.

Крапивин В.Ф., Свйрежев Ю.М., Тарко А.М. Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. М.: Наука, 1982. 272 с.

Крашенинников Ф. Накопление солнечной энергии в растениях. М.: Скоропечатня А.А. Левенсона, 1901. 89 с.

Крушанов А.А. От кибернетики — к глобальному эволюционизму: ритмы Вселенной // Экология и жизнь. 2003. № 2. С. 6—12.

Крылов Г.В. Лесорастительное районирование Сибири // Изв. Томск. отд-ния Всерос. бот. общ-ва. Т. 4. Новосибирск, 1959. С. 115—149.

Крылова И.Л., Лесков Н.Д. Связь между ростом ели и высотой над уровнем моря на Северном Урале // Сб. трудов по лесному хозяйству. Вып. 5. Свердловск: Кн. изд-во, 1959. С. 91—96.

Кузьмичев В.В. Регулирование продуктивности лесных фитоценозов // Методологические вопросы лесоведения. Новосибирск: Наука, 1975. С. 123—142.

Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.

Кузьмичев В.В. Эколого-ценотические закономерности роста одновозрастных сосновых древостоев: Дис. ... докт. биол. наук. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1980. 299 с. (Фонды Ин-та леса СО РАН).

Кузьмичев В.В. Влияние густоты, возраста и производительности на изменение сумм площадей сечений и запаса древостоев // Закономерности роста и производительности древостоев. Кауна: ЛитСХА, 1985. С. 44—46.

Кузьмичев В.В. Исследования лесных экосистем / Учебное пособие. Красноярск: КГТА, 1994. 64 с.

Кузьмичев В.В., Савич Ю.Н. Влияние густоты посадки на рост сосновых культур // Лесоведение. 1979. № 6. С. 56—63.

- Куликова Т. А. Оценка продуктивности лесов. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 152 с.
- Куль К., Куль О. Динамическое моделирование роста деревьев. Scripta Botanica, V Таллинн: Валгус, 1989. 232 с.
- Куль К., Оя Т. Структура физиологических моделей роста деревьев // Изв. АН ЭстССР. Биология. 1984. Т. 33, № 1. С. 33—41.
- Курбанов Э. А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. 290 с.
- Курнаев С. Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.
- Курсанов А. Л. Физиология растений и ее роль в развитии растениеводства // Природа. 1954. № 7. С. 21—34.
- Курсанов А. Л. Усвоение растениями углекислоты через корневую систему // Тр. Ин-та физиологии растений им. К. А. Тимирязева. 1955. Т. 10. С. 150—155.
- Курсанов А. Л., Кузин А. М., Мамуль Я. В. О возможности ассимиляции растением карбонатов, поступающих с почвенным раствором // Докл. АН СССР. 1951. Т. 79, № 4. С. 685—687.
- Курсанов А. Л., Крюкова Н. Н., Вартапетян Б. Б. Движение по растению углекислоты, поступающей через корни // Докл. АН СССР. 1952. Т. 85, № 4. С. 913—916.
- Куспиц Л. Е. Изменение продуктивности еловых насаждений в зависимости от глубины оглеения почв // Научн. труды МЛТИ. Вып. 40. М., 1972. С. 77—78.
- Лавренко Е. М. Гидротермические факторы и география и экология растительного покрова. Л.: ВГО СССР, 1959. 9 с. (Матер. к III съезду ВГО).
- Лавренко Е. М. Об уровнях изучения органического мира в связи с познанием растительного покрова // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1964. № 1. С. 32—46.
- Лавренко Е. М., Андреев В. Н., Леонтьев В. Л. Профиль продуктивности надземной части природного растительного покрова СССР от тундр к пустыням // Ботан. журн. 1955. Т. 40, № 3. С. 415—419.
- Лакида П. И. Фитомасса лесов Украины. Тернополь: НАУ Украины, 2002. 254 с. (укр.)
- Лебков В. Ф. Теория строения древостоев и ее роль в оценке продуктивности лесов // Вопр. лесоведения. Т. 2. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1973. С. 90—104.
- Лесотаксационный справочник для лесов Урала. М.: Госкомлес СССР, 1991. 483 с.
- Лиёпа И. Я. Динамика древесных запасов: прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 170 с.
- Лиёпа И. Я., Дрике А. Я. Составление хронологической схемы активных периодов воздействия экологических факторов // Оптимизация использования и воспроизводства лесов СССР. М.: Наука, 1977. С. 32—36.
- Лит Х. Моделирование первичной продуктивности Земного шара // Экология. 1974. № 2. С. 13—23.
- Лосицкий К. Б. Научные основы определения оптимального состава насаждений и лесов // Лесн. хоз-во. 1968. № 11. С. 14—18.
- Лосицкий К. Б., Чуенков В. С. Эталонные леса. М. Лесн. пром-сть, 1980. 192 с.
- Лукьянов В. М. Составление бонитировочной таблицы почв на основе материалов глазомерной таксации и данных почвенного картирования // Научн. труды / МЛТИ. 1972. Вып. 40. С. 35—50.
- Львов П. Н., Ипатов Л. Ф. Изменение таксационных показателей древостоев ельника черничного в связи с зональностью лесов европейского Севера // Лесн. журн. 1973. № 6. С. 14—17.
- Люддегорд Г. Влияние климата и почвы на жизнь растений. Пер. с нем. М.: Сельхозгиз, 1937. 387 с.
- Ляпунов А. А. О математическом подходе к изучению жизненных явлений // Математическое моделирование жизненных процессов. М.: Мысль, 1968. С. 65—107.
- Ляпунов А. А., Багриновская Г. П. О методологических вопросах математической биологии // Математическое моделирование в биологии. М.: Наука, 1975. С. 5—18.
- Ляпунов А. А., Стебаев И. В. О биогеоценотическом уровне управления в рамках биосферы // Проблемы кибернетики. Вып. 11. М.: Наука, 1964. С. 147—151.
- Макаренко А. А. К вопросу о горизонтальном строении древостоев // Леса и древесные породы Северного Казахстана. Л.: Наука, 1974. С. 39—45.
- Макаренко Е. А. Рост и формирование сосновых культур Казахстана мелкосопочника // Вестн. с.-х. науки Казахстана. 1978. № 2. С. 82—88.

- Макаров Б.Н. Дыхание почвы // Природа. 1953. № 9. С. 81—84.
- Мак-Лоун Р.Р. Математическое моделирование — искусство применения математики // Математическое моделирование. М.: Мир, 1979. С. 9—20.
- Маркова Е.В., Лисенков А.Н. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. М.: Наука, 1973. 219 с.
- Мауринь А.М., Либа И.Я., Дрике А.Я., Пospelова Г.Е. Прогнозирование плодородия древесных растений // Оптимизация использования и воспроизводства лесов СССР. М.: Наука, 1977. С. 50—53.
- Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рэндерс Й., Беренс В.В. III. Пределы роста. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1991. 208 с.
- Мина М.В. Популяции и виды в теории и в природе // Уровни организации биологических систем. М.: Наука, 1980. С. 20—40.
- Миркин Б.М. Что такое растительные сообщества. М.: Наука, 1986. 164 с. (Серия “Человек и окружающая среда”).
- Миронов Б.А., Агафонов Л.И. Лесная растительность поймы нижней Оби // Природа поймы нижней Оби. Наземные экосистемы. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. С. 92—116.
- Митропольский А.К. Об установлении корреляционных уравнений по способу Чебышева // Изв. АН СССР. Сер. матем. 1937. Т. 1. С. 125—134.
- Митропольский А.К. О множественных нелинейных корреляционных уравнениях // Изв. АН СССР. Сер. матем. 1939. Т. 3. С. 399—406.
- Мишустин Е.Н. Выступления по докладом А.В. Соколова, Ф.В. Турчина и О.К. Кедрова-Зихмана // Почвоведение. 1954. № 6. С. 65—79.
- Моисеев Н.Н. Математика ставит эксперимент. М.: Наука, 1979. 224 с.
- Моисеев Н.Н. Козволюция человека и биосферы: кибернетические аспекты // Кибернетика и ноосфера. М.: Наука, 1986. С. 68—81.
- Моисеев Н.Н. Экология человечества глазами математика (человек, природа и будущее цивилизации). М.: Молодая гвардия, 1988а. 254 с.
- Моисеев Н.Н. Социализм и информатика. М.: Политиздат, 1988б. 285 с.
- Моисеев Н.Н. Быть или не быть... человечеству? М.: Дом печати, 1999. 288 с.
- Моисеев Н.Н. Универсум. Информация. Общество. М.: Изд-во “Устойчивый мир”, 2001. 200 с.
- Моисеев Н.Н. Как далеко до завтрашнего дня... Свободные размышления. 1917—1993. М.: Тайдекс Ко, 2002. 488 с.
- Молчанов А.А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 488 с.
- Молчанов А.М. Критические точки биологических систем (математические модели) // Математическое моделирование в биологии. М.: Наука, 1975. С. 142—153.
- Молчанов А.М. О работе А.Я. Хинчина // Математическое моделирование биологических процессов. М.: Наука, 1979. С. 117—119.
- Морозов Г.Ф. О типах насаждений и их значении в лесоводстве // Лесн. журн. 1904. Вып. 1. С. 6—25.
- Морозов Г.Ф. Учение о лесе. 6-е изд. М.; Л.: Сельколхозгиз, 1931а. 421 с.
- Морозов Г.Ф. Учение о типах насаждений. М.; Л.: Сельколхозгиз, 1931б. 440 с.
- Нагимов З.Я., Шевелина И.В., Анчугова Г.В., Сальникова И.С. Регрессионные модели переводных коэффициентов надземной фитомассы древостоев // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 21. Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. С. 141—147.
- Назимова Д.И. Климатическая ординация лесных экосистем как основа их классификации // Лесоведение. 1995. № 4. С. 63—73.
- Назимова Д.И., Садовничая Е.А., Чебакова Н.М. Высотная поясность и периодический закон географической зональности в горах Западного Саяна // Тез. докл. 7-го делегатского съезда ВБО. Л.: Наука, 1983. С. 156.
- Налимов В.В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 208 с.
- Налимов В.В. Канатоходец. М.: Прогресс, 1994. 456 с.
- Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.
- Нестеров Н.С. Очерки по лесоведению. М.; Л.: Гослестехиздат, 1933. 248 с.
- Никитин К.Е., Швиденко А.З. К вопросу о математическом моделировании в лесном хозяйстве // Тез. докл. Всесоюз. науч.-произв. конфер. по вопросам совершенствования лесн. хоз-ва. Киев: УкрСХА, 1973. С. 219—220.

Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. М.: Лесная пром-сть, 1978. 272 с.

Ничипорович А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев (Тимирязевские чтения, XV). М.: Изд-во АН СССР, 1956. 94 с.

Новоженков Ю.И. Пророк в своем отечестве, которого я знал и перед которым преклоняюсь // Вестн. УрО РАН: Наука. Общество. Человек. Вып. 2. Екатеринбург, 2002. С. 28—35.

Онучин А.А., Борисов А.Н. Опыт таксации фитомассы сосновых древостоев // Лесоведение. 1984. № 6. С. 66—71.

Орлов А.Я., Кошельков С.П. Об оценке плодородия лесных почв // Почвоведение. 1965. № 3. С. 62—72.

Оя Т. Модели развития древостоя. Таллин: АН ЭстССР, 1985. 60 с.

Палуметс Я.К. Распределение фракций фитомассы ели европейской в зависимости от возраста и климатических факторов // Лесоведение. 1988. № 2. С. 34—40.

Палуметс Я.К. Опыт моделирования распределения фитомассы ели // Лесоведение. 1990. № 3. С. 43—48.

Плешиков Ф.И. О количественной оценке производительности лесных почв // Лесн. хоз-во. 1977. № 10. С. 17—21.

Погребняк П.С. Общее лесоводство. М.: Колос, 1968. 440 с.

Поздняков Л.К. О световом режиме под пологом лиственного леса // ДАН СССР. 1953. Т. 90, № 5. С. 905—907.

Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М. Оценка биологической продуктивности лесобразующих пород на экологической основе // Формирование молодняков хвойных пород. Новосибирск: Наука, 1982. С. 25—54.

Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 226 с.

Полозова Л.Г. О характеристике континентальности климата // Изв. ВГО. 1954. Т. 86, № 5. С. 412—422.

Поляков А.К. Определение оптимальной густоты сосны в свежей субори // Лесн. хоз-во. 1973. № 12. С. 14—18.

Попова М.П. Возможности использования косвенных методов оценки плодородия лесных почв // Лесное почвоведение / Сб. научн. тр. ВНИИЛМ. М., 1975. С. 42—57.

Поспелова Г.Е. Методика определения критических порогов экологических факторов // Оптимизация использования и воспроизводства лесов СССР. М.: Наука, 1977. С. 37—42.

Преснухин Ю.В., Смелягина З.И. Влияние глубины залегания грунтовых вод на производительность сосновых насаждений в условиях Карелии // Моделирование лесных биогеоценозов. Петрозаводск: Ин-т биологии КФ АН СССР, 1986. С. 30—40.

Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986. 432 с.

Проскуряков М.А. Горизонтальная структура горных темнохвойных лесов. Алма-Ата: Наука, 1983. 216 с.

Прохоров А.И., Крепкий И.С., Усольцев В.А., Прохоров Ю.А. Перспективы создания лесных культур сосны обыкновенной в условиях Северного Казахстана // Лесн. хоз-во. 1985. № 10. С. 42—44.

Пузаченко Ю.Г., Скулкин В.С. Структура растительности лесной зоны СССР. Системный анализ. М.: Наука, 1981. 275 с.

Пшеничникова Л.С. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты // Факторы продуктивности леса. Новосибирск: Наука, 1989. С. 36—52.

Пшеничникова Л.С., Бузыкин А.И. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты // Стабильность и продуктивность лесных экосистем. Тарту: Тартуский ун-т, 1985. С. 112—113.

Разин Г.С. О нормальных древостоях и путях их выращивания // Лесоведение. 1979. № 3. С. 24—30.

Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М., 1956.

Ратнер В.А. Мамонт (заметки о Н. В. Тимофееве-Ресовском) // Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский: Очерки. Воспоминания. Материалы. М.: Наука, 1993. С. 291—300.

Рачко П. Имитационная модель роста дерева. Построение модели // Журн. общ. биол. 1978. Т. 39, № 4. С. 563—571.

Рачко П. Имитационная модель динамики роста дерева как элемента лесного биогеоценоза // Вопр. кибернетики: Управление и оптимизация в экологических системах. Вып. 52. М., 1979. С. 73—111.

Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Россия молодая, 1994. 367 с.

Риклефс Р. Е. Основы общей экологии. М.: Мир, 1979. 424 с.

Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 253 с.

Розенберг Г. С. Математическое моделирование фитоценологических систем // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1980. Т. 85, вып. 2. С. 79—88.

Розенберг Г. С. Состояние и проблемы имитационного моделирования фитоценологических систем // Успехи соврем. биологии. 1981. Т. 91, вып. 2. С. 293—307.

Розенберг Г. С. Модели в фитоценологии. М.: Наука, 1984. 265 с.

Розенберг Г. С., Феклистов П. А. Прогнозирование годичного прироста древесных растений методами самоорганизации // Экология. 1982. № 4. С. 43—51.

Росс Ю. К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 344 с.

Рябokonь А. П. Определение биологического оптимума густоты сосновых древостоев в условиях свежей субори // Лесоведение. 1979. № 3. С. 16—23.

Рябчиков А. М. Гидротермические условия и продуктивность фитомассы в основных ландшафтных зонах // Вестн. МГУ. Сер. V, география. 1968. № 5. С. 41—48.

Савич Ю. Н., Овсянкин В. Н., Полубояринов О. И. О росте, продуктивности и устойчивости сосновых культур, созданных при различной густоте посадки // Вопр. лесной таксации / Научн. тр. УСХА. Вып. 213. Киев: УСХА, 1978. С. 27—38.

Садовнича Е. А. Радиационный режим горных лесов Сибири. Новосибирск: Наука, 1985. 126 с.

Садовнича Е. А., Чебакова Н. М. Радиационные факторы высотно-поясной зональности Западного Саяна // Стационарные лесоводственные исследования в Сибири. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. С. 6—19.

Саликов Н. Я. Методические указания по определению нормативов полнот древостоев. М.: ВНИИЛМ, 1983. 20 с.

Сапожникова С. А. Особенности термического режима Горного Алтая // Тр. НИИ агроклиматологии. 1965. Вып. 33. С. 97—123.

Сахаров М. И. Радиация и альbedo в лесных фитоценозах // Метеорология и гидрология. 1940. № 5—6. С. 3—20.

Свирижев Ю. М. Моделирование окружающей среды и проблема недостатка информации // Математические модели в экологии и генетике. М.: Наука, 1981. С. 17—22.

Свирижев Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М.: Наука, 1987. 368 с.

Свирижев Ю. М., Елизаров Е. Я. Математическое моделирование биологических систем // Проблемы космической биологии. Т. 20. М.: Наука, 1972. 159 с.

Семечкин И. В. Поколение деревьев — естественная элементарная единица при изучении строения древостоев в статике и динамике // Итоги изучения лесов Дальнего Востока. Владивосток: ДальНИИЛХ, 1967. С. 119—122.

Семечкин И. В. Структура и динамика кедровников Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 253 с.

Синягин И. И. Площади питания растений. М.: Россельхозиздат, 1975. 383 с.

Сляднев А. П. Лесоводственное значение группового сложения сосняков. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Брянск, 1952. 18 с.

Смагин В. Н., Семечкин И. В., Поликарпов Н. П. и др. Лесохозяйственное районирование Сибири // Лесные растительные ресурсы Сибири. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. С. 5—23.

Смирнов В. Н. К вопросу взаимосвязи между продукцией почвенной углекислоты и производностью лесных почв // Почвоведение. 1955. № 6. С. 21—31.

Смирнов И. М. Материалистическая диалектика и современная теория эволюции. М.: Наука, 1978. 288 с.

Смольянинов И. И., Мигунов Е. С., Гладкий А. С. Почвенная лаборатория лесхоза. М.: Лесная пром-сть, 1966. 144 с.

Соболев Л. Н. Зависимость продуктивности растений, сообществ и их географических систем от факторов среды (три уровня исследования продуктивности) // Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л.: Наука, 1969. С. 70—74.

Соболев С. С. О бонитировке почв // Научные труды / МЛТИ. 1972. Вып. 40. С. 4—35.

Соболев С. С. Бонитировка почв на территории СССР. М.: МЛТИ, 1974.

Софронов М. А., Волокитина А. В. Об экологических особенностях зоны северных редколесий в Средней Сибири // Сибирский экол. журн. 1998. № 3—4. С. 245—250.

Сочава В. Б. Северная граница кедра (*Pinus sibirica* Mayr) на Урале // Изв. АН СССР. 1927. VI серия. № 9. С. 787—804.

Сочава В. Б. Растительность лесной зоны // Животный мир СССР. Т. 4. М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 7—61.

Суворова Г. Г., Щербатюк А. С., Янькова Л. С., Копытова Л. Д. Фотосинтетическая продуктивность *Pinus sylvestris*, *Picea obovata* и *Larix sibirica* // Ботан. журн. 2002. Т. 87, № 9. С. 99—109.

Судачков Е. Я. Бонитировка лесных местообитаний // Лес и почва. Красноярск: Кн. изд-во, 1968. С. 384—389.

Сукачев В. Н. О терминологии в учении о растительных сообществах // Журн. РБО. 1917. Т. 2, № 1—2. Приложение. С. 1—19.

Сукачев В. Н. Биогеоценология и фитоценология // Докл. АН СССР. 1945. Т. 47, № 6. С. 447—449.

Тарко А. М. Моделирование глобального цикла двуокиси углерода в биосфере // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3: Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействий. М.: Янус-К, 2002. С. 322—328.

Тахтаджян А. Л. Слово о тектологии // Приложение к книге А. А. Богданова "Тектология. Всеобщая организационная наука". Кн. 2. М.: Экономика, 1989. С. 348—351.

Тимакова Н. С. Биоэкологические закономерности в развитии сосняков в Прокудиновом бору // Докл. ТСХА. 1965. Вып. 115. Ч. 2. С. 209—212.

Тимирязев К. А. Земледелие и физиология растений. Сборник общедоступных лекций. М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1948. 423 с.

Тимофеев-Ресовский Н. В. Микроэволюция, элементарные явления, материалы и факторы эволюционного процесса // Ботан. журн. 1958. Т. 43, № 3. С. 317—336.

Тимофеев-Ресовский Н. В. О некоторых принципах классификации биохорологических единиц // Вопросы классификации растительности / Тр. Ин-та биологии Уральского филиала АН СССР. Вып. 27. Свердловск, 1961. С. 23—28.

Тимофеев-Ресовский Н. В. Биосфера и человечество // Научн. тр. Обнинского отделения Географ. общ-ва СССР. Т. 1. Ч. 1. Обнинск, 1968. С. 3—12.

Тимофеев-Ресовский Н. В. Избранные труды. М.: Медицина, 1996. 480 с.

Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1977. 297 с.

Титов Ю. В. Эффект группы у растений. Л.: Наука, 1978. 151 с.

Тольский А. П. Районирование культур сибирской лиственницы в европейской части СССР // Лесн. индустрия. 1937. № 8. С. 49—52.

Тооминг Х. Г., Гуляев Б. И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. М.: Наука, 1967. 143 с.

Третьяков Н. В. Закон единства в строении насаждений. М.; Л.: Новая деревня, 1927. 117 с.

Третьяков Н. В. Эскиз таблиц хода роста для даурской (с полуострова Камчатки) лиственницы III бонитета // Биркенгоф А. Л. Леса центральной части полуострова Камчатки (Труды СОПС. Серия Камчатская. Вып. 6). М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. С. 195—198.

Тутубалин В. Н., Барабашева Ю. М., Григорян А. А. и др. Математическое моделирование в экологии: Историко-методологический анализ. М.: Языки русской культуры. 1999. 208 с.

Тюменцев Н. Ф. Сущность бонитировки почв на генетико-производственной основе. Новосибирск: Наука, 1975. 140 с.

Тюрюканов А. Н., Федоров В. М. Н. В. Тимофеев-Ресовский: Биосферные раздумья. М.: Ассоциация "Космонавтика — Человечеству", 1996. 368 с.

Тябера А.П. Принципы исследований строения древостоев по толщине деревьев // Лесн. журн. 1980. № 1. С. 5—9.

Тябера А.П. Географические закономерности производительности сосновых древостоев // Лесная таксация и лесоустройство. Каунас: ЛитСХА, 1988. С. 139—147.

Усольцев В.А. О закономерностях роста березы порослевого и семенного происхождения // Вестн. с.-х. науки Казахстана. 1978. № 6. С. 87—93.

Усольцев В.А. Математическое моделирование прироста березы повислой // Лесоведение. 1979. № 2. С. 13—22.

Усольцев В.А. Элементы динамики горизонтальной структуры березняков порослевого и семенного происхождения // Лесоведение. 1985а. № 6. С. 19—29.

Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1985б. 191 с.

Усольцев В.А. Оценка показателей продуктивности в биогруппах разной густоты // Лесоведение. 1985в. № 2. С. 62—72.

Усольцев В.А. О соотношении продуктивности древостоя и составляющих его биогрупп // Лесные экосистемы в условиях континентального климата. Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1987. С. 168—173.

Усольцев В.А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988. 253 с.

Усольцев В.А. Расчленение эдафической и ценотической составляющих продуктивности древостоев по данным густотного эксперимента // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 17. Екатеринбург: УГЛТА, 1994. С. 77—85.

Усольцев В.А. Биологические аспекты таксации фитомассы деревьев. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 216 с.

Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 541 с.

Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 708 с.

Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН, 2002а. 762 с.

Усольцев В.А. Регрессия в пассивном эксперименте: от Налимова — к Нагимову // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. Вып. 3. Брянск: БГИТА, 2002б. С. 50—54.

Усольцев В.А., Марковский В.И., Максимов С.В. и др. О планировании пассивного эксперимента при оценке фитомассы лесов // Научные труды. Вып. 2. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002в. С. 15—22.

Усольцев В.А. “Русский космизм” и современные глобальные проблемы // Экология и жизнь. 2003. № 4(33). С. 10—15.

Усольцев В.А., Крепкий И.С., Вэнклей Дж.К. Рост и структура фитомассы сосны естественного и искусственного происхождения // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 17. Екатеринбург: УГЛТА, 1994. С. 39—58.

Усольцев В.А., Усольцев А.В. Оценка предельных показателей продуктивности березовых древостоев по исходным данным составляющих их биогрупп // Лесн. журн. 1996. № 4—5. С. 12—21.

Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов: Методы изучения и результаты // Лесоведение и лесоводство: Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ, 1975. Т. 1. С. 9—189.

Уткин А.И. Две объемные книги о фитомассе лесов Северной Евразии // Лесоведение. 2004. № 1. С. 68—70.

Федоров Н.Ф. Собрание сочинений. В 4 т. Т. 2. М.: Прогресс, 1995. 544 с.

Фильрозе Е.М. Не могу называть его “Зубром” // Н.В. Тимофеев-Ресовский на Урале. Воспоминания. Екатеринбург: Изд-во “Екатеринбург”, 1998. С. 55—62.

Флейшман Б.С. Об имитационном и оптимизационном моделировании экосистем // Биофизические и математические методы исследования геосистем. М.: Ин-т географии АН СССР, 1978. С. 51—65.

Флейшман Б.С. Системология, системотехника и инженерная экология // Кибернетика и ноосфера. М.: Наука, 1986. С. 97—110.

Флоров Р.И. Гидротермический режим и продуктивность лесов естественного происхождения // Лесоведение. 1975. № 3. С. 21—28.

Фрей Т.Э.-А. Фитоценоз как кибернетическая система // Количественные методы анализа растительности / Матер. Всесоюз. совещ. Рига: Латв. ун-т, 1971. С. 293—297.

Хильми Г. Ф. Биогеофизическая теория и прогноз самоизреживания леса. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 87 с.

Хильми Г. Ф. Энергетика и продуктивность растительного покрова суши. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 62 с.

Хлыновская Н. И. Определение запасов общей фитомассы зональной растительности ландшафтов Северо-Востока путем математического моделирования с использованием климатических показателей // Проблемы изучения и охраны ландшафтов Северо-Востока СССР. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. С. 27—43.

Хромов С. П. Климат, макроклимат, местный климат, микроклимат // Изв. ВГО. 1952. Т. 84, № 3. С. 289—298.

Хромов С. П. К вопросу о континентальности климата // Изв. ВГО. 1957. Т. 89, № 3. С. 221—225.

Цепляев В. П. Леса СССР. Хозяйственная характеристика. М.: Сельхозгиз, 1961. 456 с.

Чебакова Н. М. Определение потенциальной продуктивности горных лесов Западного Саяна на основе климатических показателей // Формирование и продуктивность древостоев. Новосибирск: Наука, 1981. С. 6—18.

Чебакова Н. М. Энтропийная оценка коэффициента полезного действия брутто-фотосинтеза темнохвойных лесов Западного Саяна с целью прогноза их потенциальной продуктивности // Формирование и продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1982. С. 146—154.

Чень Инь. Фотосинтез и поглощающая деятельность корневой системы растений: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: Ин-т физиологии растений, 1961. 18 с.

Черепнин В. Л. Зависимость продуктивности растительности от климатических факторов // Ботан. журн. 1968. Т. 53, № 7. С. 881—890.

Черепнин В. Л. Фитомасса суши Земли и климат. Красноярск: КрасГУ, 1999. 129 с.

Черепнин В. Л., Литвиненко В. И., Марьясова Л. А. Связь прироста с климатическими факторами // Исследование биологических ресурсов средней тайги Сибири. Красноярск, 1973. С. 21—25.

Чернявский В. С. Общие таблицы хода роста нормальных осиновых древостоев // Нормативы для таксации лесов Центрального и южных районов европейской части Российской Федерации. М.: Федеральная служба лесн. хоз-ва России, 1993. С. 271—276.

Черняев А. М. Биосферно-экологическое учение — мировоззрение человечества XXI века // Урал и экология: Учебное пособие. Екатеринбург: Банк культурной информации, 2001. 284 с. (Сер. "Природа Урала". Вып. 5).

Чиллингуорт Д. Структурная устойчивость математических моделей. Значение методов теории катастроф // Математическое моделирование; под ред. Дж. Эндрюса и Р. МакЛоуна. М.: Мир, 1979. С. 249—276.

Чуенков В. С. Определение потенциальной продуктивности лесов // Повышение продуктивности лесов лесоводственными приемами. М.: ВНИИЛМ, 1977. С. 25—33.

Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 335 с.

Швиденко А. З., Нильссон С., Столбовой В. С. и др. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 1. Запасы растительной органической массы // Экология. 2000. № 6. С. 403—410.

Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. Пер. с англ. М.: Мир, 1978. 418 с.

Шиятов С. Г. Понятие о верхней границе леса // Растительный мир Урала и его антропогенные изменения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. С. 32—58.

Шмитхюзен И. Общая география растительности. Пер. с нем. М.: Прогресс, 1966. 310 с.

Шноль С. Э. Факторы, определяющие направление и скорость биологической эволюции // Математическое моделирование биологических процессов. М.: Наука, 1979. С. 5—26.

Шумилова Л. В. Ботаническая география Сибири. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1962. 440 с.

Щербаков А. П. Опыт применения листовой диагностики для определения потребности сосны в азоте и фосфоре // Физиологическое обоснование системы питания растений. М.: Наука, 1964. С. 324—384.

Яновский Л. Н., Моисеев В. С. Лесная таксация: методические указания по учету древесной зелени. Л.: Изд-во ЛЛТА, 1985. 39 с.

- Ярошенко П.Д. Основы учения о растительном покрове. М.: Госгеографиздат, 1950. 217 с.
- Ярошенко П.Д. Теоретические вопросы в курсах ботаники для высшей школы. Владимир, 1969. 216 с.
- Ågren G.I. Problems involved in modelling tree growth // *Studia forestalia suecica*. 1981. No. 160. P. 7—18.
- Ågren G.I., Bosatta E. Theoretical ecosystem ecology: Understanding element cycles. Cambridge: University Press, 1996. 234 p.
- Alban D.H. Red pine site index in Minnesota as related to soil and foliar nutrients // *Forest Sci.* 1974. Vol. 20, No. 3. P. 261—269.
- Albrektson A. Relations between tree biomass fractions and conventional silvicultural measurements // *Ecol. Bull.* 1980. No. 32. P. 315—327.
- Allee W.C. Animal aggregations: A study in general sociology. Chicago: University of Chicago Press, 1931.
- Anderson M. C. The geometry of leaf distribution in some south-eastern Australian forests // *Agric. Meteorol.* 1981. Vol. 25. P. 195—205.
- Ando T. Growth analysis on the natural stands of Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.). II. Analysis of stand density and growth // *Bull. Govern. Forest Exper. Station*. 1962. Vol. 147. P. 45—77.
- Andrae F., Klapfenbauer A. Untersuchungen über Biomassen- und Nährstoffverhältnisse in einer vierjährigen Aufforstung mit *Eucalyptus saligna* Smith in Santa Maria, R. S. Brasilien // *Centralblatt für das Gesamte Forstwesen*. 1979. Bd. 96, No. 1. S. 1—29.
- Apps M.J., Price D.T. Forest ecosystems, forest management and the global carbon cycle // *NATO ASI Series I: Global environmental change*. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1996. 452 p.
- Art H.W., Marks P.L. A summary table of biomass and net annual primary production in forest ecosystems of the world // *Forest biomass studies* (H. E. Young, ed.). Univ. Maine: Orono, 1971. P. 3—34.
- Assmann E. Waldertragskunde: Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München; Bonn; Wien: BLV Verlagsgesellschaft, 1961. 492 S.
- Baskerville G.L. Dry-matter production in immature balsam fir stands // *Forest Sci. Monograph*. 1965. No. 9. P. 1—42.
- Bella I. E., De Franceschi J. P. Biomasse productivity of young aspen stands in western Canada // *Environ. Can., Can. For. Serv., North. For. Res. Cent. Inf. Rep. NOR-X-219*. 1980. 23 p.
- Bengtsson L. From short-range barometric modelling to extended-range global weather predictions: a 40-year perspective // *Tellus*. 1999. Vol. 51A-B. P. 13—32.
- Bertalanffy L. An outline of general system theory // *British J. for the Philosophy of Sci.* 1950. Vol. 1. P. 134—165.
- Black J.N. The interrelationship of solar radiation and leaf area index in determining the rate of dry matter production of swards of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) // *Austr. J. Agric. Res.* 1963. Vol. 14. P. 20—38.
- Black J.N. An analysis of the potential production of swards of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) at Adelaide, South Australia // *J. Appl. Ecol.* 1964. Vol. 1. P. 3—18.
- Blake J., Somers G., Ruark G. Estimating limiting foliar biomass in conifer plantations from allometric relationships and self-thinning behavior // *Forest Sci.* 1991. Vol. 37, No. 1. P. 296—307.
- Bliss C.J. The calculation of the dosage-mortality curve // *Annal. Appl. Biol.* 1935. Vol. 22, No. 1. P. 134.
- Bogdanow A.A. Allgemeine Organisationslehre. Tektologie. Bd I. Berlin: Organisation Verlagsgesellschaft, 1926. 213 S.; Bd II. Berlin: Hirzel, 1928.
- Bolin B., Degens E.T., Kempe S., Ketner P. The global carbon cycle // *SCOPE*. 1979. Vol. 13. 491 p.
- Bolstad P.V., Vose J.M., McNulty S.G. Forest productivity, leaf area and terrain in Southern Appalachian deciduous forests // *Forest Sci.* 2001. Vol. 47, No. 3. P. 419—427.
- Box G.E.P. Use and abuse of regression // *Technometrics*. 1966. Vol. 8. P. 625—629.
- Boysen Jensen P. Die Stoffproduktion der Pflanzen. Jena: Verlag von Gustav Fischer, 1932. 108 S.
- Brougham R.W. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture // *Aust. J. Agr. Res.* 1956. Vol. 7. P. 377—387.

- Brown S., Lugo A. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle // *Biotropica*. 1982. Vol. 14, No. 3. P. 161—187.
- Brunig E.F. On the limits of vegetable productivity in the tropical rain forest and the boreal coniferous forest // *The Journal of the Indian botanical Society*. 1967. Vol. 44. P. 314—322.
- Cannell M.G.R. World forest biomass and primary production data. London: Academic Press, 1982. 391 p.
- Cannell M.G.R. The scientific background // *Biomass forestry in Europe: a strategy for the future*. (Hummel F., Palz W., Grassi G., eds.). London; New York: Elsevier Applied Science, 1988. P. 83—140.
- Cannell M.G.R. Physiological basis of wood production: a review // *Scand. J. For. Res.* 1989. Vol. 4, No. 4. P. 459—490.
- Carbon B.A., Bartle G.A., Murray A.M. Leaf area index of some eucalypt forests in south-west Australia // *Austr. For. Res.* 1979. Vol. 9. P. 323—326.
- Chen J.M. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands // *Agricultural and Forest Meteorology*. 1996. Vol. 80. P. 135—163.
- Clark F.E., Rosswall T. Terrestrial nitrogen cycles // *Ecol. Bull. (Stockholm)*. 1981. Vol. 33. 714 p.
- Conrad V. Usual formulas of continentality and their limits of validity // *Trans. Amer. Geophys. Union*. 1946. Vol. 27. P. 663—664.
- Curtis R.O., Clendenen G.W., Reukema D.L., DeMars D.J. Yield tables for managed stands of coast Douglas-fir // *USDA Forest Service. Gen. Techn. Report PNW-135*. 1982. 182 p.
- Davidson R.L. Effect of root/leaf temperature differentials on root/shoot ratios in some pasture grasses and clover // *Ann. Bot.* 1969. Vol. 33, No. 131. P. 561—569.
- DeAngelis D.L., Gardner R.H., Shugart H.H. Productivity of forest ecosystems studied during the IBP: The woodlands data set // Reichle D. E. (ed.). *Dynamic properties of forest ecosystems*. IBP-23. Cambridge: Univ. Press, 1981. P. 567—672.
- De Candolle A. *Géographie botanique raisonnée*. Paris, 1855.
- Deevey E.S. The human population // *Scientific American*. 1960. P. 1—9.
- Donald C.M. Competition among crop and pasture plants // *Adv. Agron.* 1963. Vol. 15. P. 1—118.
- Egler F.E. Vegetation as an object of study // *Philosophy of Sci.* 1942. Vol. 9. P. 245—260.
- Eichhorn F. Beziehungen zwischen Bestandeshöhe und Bestandesmasse // *Allg. Forst- und Jagdzeitung*. 1904. Bd 80. S. 45—49.
- Fassnacht K.S., Gower S.T. Interrelationships among the edaphic and stand characteristics, leaf area index and aboveground net primary production of upland forest ecosystems in north central Wisconsin // *Can. J. For. Res.* 1997. Vol. 27. P. 1058—1067.
- Feibleman J.K. Theory of integrative levels // *British J. for the Philosophy of Sci.* 1954. Vol. 5. P. 59—66.
- Fisher R.A. The influence of rainfall on the yield of wheat at Rothamsted // *Phil. Trans. Roy. Soc.* 1924. Vol. 213. P. 89—142.
- Ford E.D. High productivity in a polestage Sitka spruce and its relation to canopy structure // *Forestry*. 1982. Vol. 55, No. 1. P. 1—17.
- Ford E.D., Fraser A.I. The concept of actual and potential production as an aid to forest management // *Forestry*. 1968. Vol. 41, No. 2. P. 175—181.
- Forest area and area change // *Global forest resources assessment 2000 — Main report / FAO Forestry Paper*. Vol. 140. 2001. P. 1—15 (<http://www.fao.org/forestry/fo/ra/main/index.jsp>).
- Fowler A., Low K., Stone J. Earth observation for sustainable development: Using space-based technology for monitoring Canada's forests // *Information Forestry*. April 2002. Canadian Forest Service. Pacific Forestry Centre. Victoria; British Columbia. P. 6—7.
- Gaines S.D., Denny M.W. The largest, smallest, highest, lowest, longest, and shortest: extremes in ecology // *Ecology*. 1993. Vol. 74, No. 6. P. 1677—1692.
- Gholz H.L. Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest // *Ecology*. 1982. Vol. 63, No. 2. P. 469—481.
- Gholz H.L., Fitz F.K., Waring R.H. Leaf area difference associated with old-growth forest communities in the western Oregon Cascades // *Can. J. For. Res.* 1976. Vol. 6. P. 49—57.
- Global BIOME Program. U.S. Corvallis: Environmental Agency, 1991. 8 p.
- Gorczyński W. Sur le calcul du degré du continentalisme et son application dans la climatologie // *Geogr. Annaler*. 1920. No. 2.

Gorelik G. Bogdanov's "Tektology", general systems theory and cybernetics // *Cybernetics and Systems*. 1987. Vol. 18, No. 2. P. 157—175.

Gower S.T., Vogel J.G., Norman J.M. et al. Carbon distribution and aboveground net primary production in aspen, jack pine and black spruce stands in Saskatchewan and Manitoba, Canada // *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 102, No. D24. P. 29—41.

Hartmann F.K. Ergebnisse klimatisch-ökologischer Untersuchungen an Waldgesellschaften in deutschen Mittelgebirgen // *Allg. Forst- und Jagdzeitung*. 1972. Bd 143, No. 2. S. 21—35.

Holdridge L.R. Determination of world plant formations from simple climatic data // *Science*. 1947. Vol. 105. P. 367—368.

Holdridge L.R. Life zone ecology. San José, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967. 206 p.

Houghton J.T., Filho L.G.M., Callander B.A. et al. Climate change 1995 // *The science of climate change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 572 p.

Hozumi K. Ecological and mathematical considerations on self-thinning in even-aged pure stands. I. Mean plant weight-density trajectory during the course of self-thinning // *Bot. Mag. Tokyo*. 1977. Vol. 90. P. 165—179.

Hozumi K. Ecological and mathematical considerations on self-thinning in even-aged pure stands. II. Growth analysis of self-thinning // *Bot. Mag. Tokyo*. 1980. Vol. 93, No. 1030. P. 149—166.

IGBP Terrestrial Carbon Working Group. The terrestrial carbon cycle: implications for the Kyoto protocol // *Science*. 1998. Vol. 280. P. 1393—1394.

Jarvis P.G. Increasing forest productivity and value of temperate coniferous forest by manipulating site water balance // *Forest Potentials: Productivity and Value*. Weyerhaeuser Science Symposium, 4. Washington, 1985. P. 39—74.

Jarvis P.G., Leverenz J.W. Productivity of temperate, deciduous and evergreen forests // *Encyclopedia of Plant Physiology 12D. Physiological Plant Ecology IV. Ecosystem Processes: Mineral Cycling, Productivity and Man's Influence*. Springer-Verlag: Berlin; Heidelberg; New York, 1983. P. 233—280.

Jarvis P.G., Saugier B., Schulze E.-D. Productivity of boreal forests // Roy J., Saugier B., Mooney H.A. (eds.). *Terrestrial global productivity*. Academic Press, 2001. P. 211—244.

Jones E.W. Review of Weick (1959). *Emp. For. Rev.* 1959. Vol. 38. P. 429.

Kenkel N.C., Hendrie M.L., Bella I.E. A long-term study of *Pinus banksiana* population dynamics // *J. Veg. Sci.* 1997. Vol. 8. P. 241—254.

Kimmins J.P., Binkley D., Chatarpaul L., de Catanzaro J. Biogeochemistry of temperate forest ecosystems: Literature on inventories and dynamics of biomass and nutrients. Inf. Rep. PI-X-47E/F. Can. For. Serv. PNFI. 1985. P. 1—227.

Kira T., Shidei T. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific // *Japan. J. Ecology*. 1967. Vol. 17, No. 2. P. 70—87.

Kira T., Shinozaki K. Intraspecific competition among higher plants. VII. Logistic theory of the C—G effect // *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ.* 1956. V. 7. (Ser. D). P. 35—72.

Knoch K., Schulze A. Methoden der Klimaklassifikation. *Ergänzungsheft 249 zu Petermanns Mitteilungen*. Gotha, 1952.

Kräuchi N. Climate change and forest ecosystems — an overview // Schläpfer R. (ed.). Long-term implication of climate change and air pollution on forest ecosystems. Progress report of the IUFRO Task Force "Forest, Climate and Air Pollution". Vienna, IUFRO; Birmensdorf, WSL (IUFRO World Series. Vol. 4). 1993. P. 53—76.

Küchler A.W. The potential natural vegetation of the conterminous United States. American Geographical Society. 1964. Special Publication No. 36.

Linder S. Potential and actual production in Australian forest stands // *Research for Forest Management*. CSIRO: Melbourne, Australia, 1985. P. 11—35.

Long J.N., Turner J. Aboveground biomass of understory and overstory in an age sequence of four Douglas-fir stands // *J. Appl. Ecology*. 1975. Vol. 12. P. 179—188.

Lonsdale W.M. The self-thinning rule: dead or alive? // *Ecology*. 1990. Vol. 71, No. 4. P. 1373—1388.

Loomis R.S., Williams W.A. Maximum crop productivity: An estimate // *Crop Sci.* 1963. Vol. 3. P. 67—72.

Lundegårdh H. Carbon dioxide evolution of soil and crop growth // *Soil Science*. 1927. Vol. 23, No. 6. P. 417—453.

Major J. A climatic index to vascular plant activity // *Ecology*. 1963. Vol. 44. P. 485—498.

Manogaran C. Climatic limitations of the potential for tree growth in southern forests // *Forestry Abstr.* 1974. Vol. 35, No. 11. P. 642.

Mattessich R. Instrumental Reasoning and Systems Methodology. Dordrecht, Boston: D. Reidel, 1978.

Mayr E. Summation of Systematics and modes of speciation. Corvallis: Biology Colloquium, 1955.

Melillo J., Prentice C., Schulze E.-D. et al. Terrestrial ecosystems: respiration to global environmental change and feedbacks to climate // IPCC. 1996. Chap. 9. P. 445—482.

Moldau H. Model of plant productivity at limited water supply considering adaptation // Photosynthetica. 1971. Vol. 5, No. 1. P. 16—21.

Möller C. M. Untersuchungen über Laubmenge, Stoffverlust und Stoffproduktion des Waldes // Det Forstlige Forsgvaesen i Danmark. 1946. Bd 17. S. 1—287.

Möller C. M. The effect of thinning, age and site on foliage, increment and loss of dry matter // J. of Forestry. 1947. Vol. 45. P. 393—404.

Monsi M., Saeki T. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion // Japan. J. Botany. 1953. Vol. 14, No. 1. P. 22—52.

Monteith J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain // Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. B. 1977. Vol. 281. P. 277—294.

Müller D. Kreislauf des Kohlenstoffs // Handbuch der Pflanzenphysiologie. Berlin; Göttingen; Heidelberg: Springer Verlag, 1960. Bd 12, No. 2. S. 934—948.

Mund M., Kummert E., Hein M. et al. Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe // Forest Ecology and Management. 2002. Vol. 171. P. 275—296.

Munro D. D. Forest growth models — a prognosis // Growth models for tree and stand simulation / J. Fries (ed.), Stockholm: Royal Coll. For. Res. Notes 30. 1974. P. 7—21.

Nebe W. Über die Beurteilung der Düngedürftigkeit von Mittelgebirgsstandorten durch Blattanalysen // Archiv für Forstwesen. 1963. Bd 12, No. 10. S. 1024—1052.

Nebe W. Über die Düngedürftigkeit von Fichtenbeständen im Mittelgebirge // Archiv für Forstwesen. 1966. Bd 15, No. 9. S. 929—952.

Neilson R. P. A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance // Ecological Applications. 1995. Vol. 5, No. 2. P. 362—385.

Novikoff A. B. The concept of integrative levels and biology // Science. 1945. Vol. 101. P. 209—215.

Odum E. P. Fundamentals of ecology. 2nd ed. Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1959.

Ogawa H., Yoda K., Kira T. A preliminary survey on the vegetation of Thailand // Nature and Life SE Asia. 1961. Vol. 1. P. 21—157.

Olson J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems // Ecology. 1963. Vol. 44, No. 2. P. 322—331.

Osawa A., Sugita S. The self-thinning rule: another interpretation of Weller's results // Ecology. 1989. Vol. 70, No. 1. P. 279—283.

Ovington J. D. Dry-matter production by *Pinus sylvestris* L. // Annals of Botany, N.S. 1957. Vol. 21, No. 82. P. 287—314.

Palumets J. K. Analysis of phytomass partitioning in Norway spruce. Scripta Botanica, VIII. Tartu: Univ. Press, 1991. 95 p.

Pardé J. Retour sur l'indice CVP de Paterson // Rev. Forest. Franc. 1959. No. 1. P. 50—53.

Pardé J. Dendrometrie. Imp. Lois: Jean Gap. 1961.

Paterson S. S. The forest area of the world and its potential productivity. Göteborg: The Royal Univ. Sweden, 1956. 216 p.

Paterson S. S. Der CVP-Index als Ausdruck für forstliche Produktionspotentiale // Die Stoffproduktion der Pflanzendecke (H. Lieth and H. Walter, eds.). Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1962. S. 14—25.

Pereira J. S., Linder S., Araujo M. C. et al. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* plantations: A case study // Biomass production by fast-growing trees. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1989. P. 101—121.

Persson T., van Oene H., Harrison A. F. et al. Experimental sites in the NIPHYC/CANIF project // E.-D. Schulze (ed.), Carbon and nutrient cycling in European forest ecosystems. (Ecological Studies. Vol. 142). Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2000. P. 14—46.

Peterson E. B., Levson V. M., Kabzems R. D. Upper limits of standing crop density for woody species in the prairie provinces // Environ. Can., Can. For. Serv. North. For. Res. Cent., Int. Rep. N OR-X-243. 1982. 55 pp.

Pielou E. C. The usefulness of ecological models: a stock-taking // Quart. Rev. Biol. 1981. Vol. 56, No. 1. P. 17—31.

- Plenge J. Um die allgemeine Organisationslehre // Weltwirtschaftliches Archiv. 1927. No. 1. S. 18—29.
- Rabinowitch E. An unfolding discovery // Proc. of the National Academy of Sciences of the USA. 1971. Vol. 68, No. 11. P. 2875—2876.
- Rauner J.L. Deciduous forests // Monteith J. L. (ed.). Vegetation and the atmosphere. Case studies. London; New York: Academic Press, 1976. Vol. II. P. 241—264.
- Reineke L.H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests // J. of Agric. Res. 1933. Vol. 46, No. 7. P. 627—638.
- Rosenzweig M.L. Net primary productivity of terrestrial communities: Prediction from climatological data // The American Naturalist. 1968. Vol. 102, No. 923. P. 67—74.
- Rowe J.S. The level-of-integration concept and ecology // Ecology. 1961. Vol. 42, No. 2. P. 420—427.
- Rübel E. The replaceability of ecological factors and the law of the minimum // Ecology. 1935. Vol. 16, No. 3. P. 336—341.
- Running S.W., Coughlan J.C. A general model of forest ecosystem processes for regional applications. I. Hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes // Ecological Modelling. 1988. Vol. 42. P. 125—154.
- Running S.W., Gower S.T. FOREST-BGC, a general model of forest ecosystem processes for regional applications. II. Dynamic carbon allocation and nitrogen budgets // Tree Physiology. 1991. Vol. 9. P. 147—160.
- Running S.W., Peterson D.L., Spanner M.A., Teuber K.B. Remote sensing of coniferous forest leaf area // Ecology. 1986. Vol. 67. P. 273—276.
- Runyon J., Waring R.H., Goward S.N., Welles J.M. Environmental limits on above-ground production: Observations from the Oregon transect // Ecol. Appl. 1994. Vol. 4. P. 226—237.
- Sarlin P. La pédologie forestière appliquée aux reboisements // Bois et Forêts des Tropiques. 1963. Vol. 90. P. 17—31.
- Satoo T. A synthesis of studies by the harvest method: primary production relations in the temperate deciduous forests of Japan // Analysis of temperate forest ecosystems (D.E. Reichle, ed.). New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1970. P. 55—72.
- Saussure Theod. Chemische Untersuchungen über die Vegetation. Paris, 1804 (Übersetzt von A. Wieler in: Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften. Leipzig, 1890. No. 15. 96 S.; No. 16. 114 S.).
- Scarascia-Mugnozza G., Bauer G.A., Persson H. et al. Tree biomass, growth and nutrient pools // E.-D. Schulze (ed.). Carbon and nutrient cycling in European forest ecosystems. (Ecological Studies. Vol. 142). Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2000. P. 49—62.
- Scheelhuber H.J. Globales Umweltmanagement oder Dr. Lovelock übernimmt Dr. Frankenstein's praxis // Jahrbuch Ökologie. München: CH Beck. 1999. P. 168—187.
- Scheelhuber H.J., Wenzel V. Earth system analysis. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1998. 530 p.
- Schober R. Ertragstabellen wichtiger Baumarten. Frankfurt am Main: Sauerländer, 1975. 154 S.
- Schulze E.-D. Preface // E.-D. Schulze (ed.). Carbon and nutrient cycling in European forest ecosystems. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (Ecological Studies. Vol. 142). 2000a. P. V—VI.
- Schulze E.-D. The carbon and nitrogen cycle of forest ecosystems // E.-D. Schulze (ed.). Carbon and nutrient cycling in European forest ecosystems. (Ecological Studies. Vol. 142). Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2000b. P. 3—13.
- Schulze E.-D. (ed.). Carbon and nutrient cycling in European forest ecosystems. (Ecological Studies. Vol. 142). Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2000c. 506 p.
- Schulze E.-D., Kelliher F.M., Körner C.H. et al. Relationships between plant nitrogen nutrition, carbon assimilation rate and maximum stomatal and ecosystem surface conductance for evaporation. A global ecological scaling exercise // Annual Rev. Ecol. Syst. 1994. Vol. 25. P. 629—660.
- Schulze E.-D., Schulze W., Kelliher F.M. et al. Aboveground biomass and nitrogen nutrition in a chronosequence of pristine Dahurian *Larix* stands in eastern Siberia // Can. J. For. Res. 1995. Vol. 25. P. 943—960.
- Schütt T. Proposal for intersite comparison // Göttinger Bodenkundliche Berichte. 1974. Bd 30. S. 114—130.
- Schwappach A. Die Kiefer. Wirtschaftliche und statistische Untersuchungen der forstlichen Abteilung der Hauptstation des forstlichen Versuchswesen in Eberswalde. Neudamm: J. Neumann, 1908. 180 S.

Shvidenko A. Z., Samarskaia E., Venevsky S., Nilsson S. Models for growth of pine stands in territories of Northern Eurasia // Working Paper WP-96-164. Laxenburg: IIASA, 1996. P. 1—99.

Skovsgaard J.P. Self-thinning in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) stands in Denmark. Preliminary results // Forest growth modelling and prediction. Vol. 2. 1987 (Proceedings of the IUFRO Conference). USDA, Forest Service. North Central Forest Experiment Station. General Technical Report, NC-120. P. 627—635.

Sterba H. Estimating potential density from thinning experiments and inventory data // Forest Science. 1987. Vol. 33, No. 4. P. 1022—1034.

Stiell W.M., Berry A.B. Yield of unthinned red pine plantations at the Petawawa Forest Experiment Station. Canad. For. Service. 1973. Rep. No. 1320.

Sukachev V.N. Die Grundlagen der Waldtypen // Festschrift für Aichinger. 1954. No. 1. P. 956—964.

Sweda T., Umemura T. Growth of even-aged jack pine stands. Rep. of Nagoya University, 1979.

Switzer G.L., Nelson L.E., Smith W.H. The characterisation of dry matter and nitrogen accumulation by loblolly pine (*Pinus taeda* L.) // Soil Sci. Soc. Am. Proc. 1966. Vol. 30. P. 114—119.

Tadaki Y. Effect of thinning on stem volume yield studied with competition-density effect. On the case of *Pinus densiflora* // Bull. Gov. For. Exper. Station, Tokyo. 1964. Vol. 166. P. 1—22.

Tadaki Y. Some discussions on the leaf biomass of forest stands and trees // Bull. Gov. For. Exper. Station, Tokyo. 1966. Vol. 184. P. 1—35.

Tadaki Y., Shidei T. Studies on the competition of forest trees. II. The thinning experiment on small model stand of Sugi (*Cryptomeria japonica*) seedlings // J. Jap. For. Soc. 1959. Vol. 41. P. 341—349.

Thom R. Stabilité structurelle et morphogénèse. N.Y.: Benjamin, 1972.

Thom R., Zeeman E.C. Catastrophe theory: its present state and future perspectives // Dynamical systems: Lecture notes in mathematics. 1975. Vol. 468, No. 4. P. 366—389.

Thomasius H.O. Modell des gleichaltriges Reinbestandes // Techn. Univ. Dresden. Wirtschaftl. Tagung der Sektion Forstwirtschaft. II. Vorträge. Dresden und Tharandt, 1978. S. 122—148.

Thornthwaite C.W. The climates of North America according to a new classification // The Geographical Review. 1931. Vol. 21. P. 633—655.

Thornthwaite C.W. An approach toward a rational classification of climate // The Geographical Review. 1948. Vol. 38. P. 55—94.

Tuhkanen S. A circumboreal system of climatic-phytogeographical regions // Acta Bot. Fennica. 1984. Vol. 127. P. 1—50.

Ulrich B. Stability, elasticity and resilience of terrestrial ecosystems with respect to matter balance // Schulze E.-D., Zwölfer H. (eds.). Potentials and limitations of ecosystem analysis (Ecological Studies. Vol. 61). Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1987. P. 11—49.

Ulrich B., Mayer R., Heller H. Data analysis and data synthesis of forest ecosystems. Rep. Intern. Woodlands Workshop IBP PT Section // Göttinger Bodenkundliche Berichte. 1974. No. 30. 459 p.

Vygodskaya N.N., Puzachenko Y., Kozharnov A. et al. Long-term effects of climate on *Picea abies* communities in the south European taiga // J. Biogeogr. 1995. Vol. 22. P. 2851—2861.

Vygodskaya N.N., Schulze E.-D., Tchebakova N.M. et al. Climatic control of stand thinning in unmanaged spruce forests of the southern taiga in European Russia // Tellus. 2002. Ser. B. Vol. 54B, No. 5. P. 443—461.

Vyskot M. Biomasa a produkce v lesních ekosystémech // Lesnictví. 1973. Vol. 19, No. 7. P. 641—658 (чешск.).

Walter H., Brickle S. Ecological systems of the geobiosphere. Vol. 3. Temperate and polar zoniobioses of Northern Eurasia. 1989. 581 p.

Wang Y.-P., Jarvis P.G., Taylor C.M.A. PAR absorption and its relation to above-ground dry matter production of Sitka spruce // J. Appl. Ecol. 1991. Vol. 28. P. 547—560.

Wannemaker B.A., Carleton T.J. Self-thinning and growth of natural black spruce stands in the Clay Belt of northern Ontario // Wein R.W., Riewe R.R., Methuen I.R. (eds.). Resources and dynamics of the boreal zone. Assoc. Canadian University. Association of Northern Studies, Ottawa. 1983. P. 194—198.

Waring R.H. Site, leaf area and phytomass production in trees // Mountain environments and subalpine tree growth. Techn. Paper No. 70. Forest. Res. Institute. N. Z. Forest Serv. 1980. P. 125—135.

Waring R.H., Emmingham W.H., Gholz H.L., Grier C.C. Variation in maximum leaf area of coniferous forests in Oregon and its ecological significance // Forest Sci. 1978. Vol. 24, No. 1. P. 131—140.

Warren Wilson J. An analysis of plant growth and its control in Arctic environments // Ann. Bot. 1966. N.S. Vol. 30. P. 383—402.

Watson D.J. The dependence of net assimilation rate on leaf area index // Ann. Bot. N.S. 1958. Vol. 22. P. 37—55.

WBGU. The accounting of biological sinks and sources under the Kyoto protocol: a step forward or backward for global environmental protection? German Advisory Council on Global Change. Special report. Bremerhaven: WBGU Secretariat, 1998. 75 p.

Weck J. Untersuchung über die Ertragspotenz der deutschen Waldlandschaften // Allg. Forst- und Jagdzeitung. 1954. Bd 125, No. 5. S. 153—159.

Weck J. Forstliche Zuwachs- und Ertragskunde. Radebeul; Berlin: Neumann Verlag, 1955. 160 s.

Weck J. Regenwälder, eine vergleichende Studie forstlichen Produktionspotentials // Die Erde. 1959. Bd 1. P. 10.

Weck J. Klimaindex und forstliches Produktionspotential. Ein weiterer Beitrag zum Problem ihrer Korrelation // Forstarchiv. 1960. Bd 31, Ht 7. S. 101—104.

Weck J. An improved CVP-index for delimitation of the potential productivity zones of the forest lands of India // Indian Forester. 1970. Vol. 96, No. 8. P. 565—572.

Wehrmann J. Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft // Landwirtschaft. Forsch. 1963. Bd 16, No. 2. S. 130—145.

Weller D.E. A re-evaluation of the $-3/2$ power rule of plant self-thinning // Ecological Monographs. 1987a. Vol. 47. P. 23—43.

Weller D.E. Self-thinning exponent correlated with allometric measures of plant geometry // Ecology. 1987b. Vol. 68. P. 813—821.

Weller D.E. Will the real self-thinning rule please stand up? — a reply to Osawa and Sugita // Ecology. 1990. Vol. 71, No. 3. P. 1204—1207.

Weller D.E. The self-thinning rule: dead or unsupported? — a reply to Lonsdale // Ecology. 1991. Vol. 72, No. 2. P. 747—750.

West P.W. Density management diagrams and thinning practice in monoculture // Forestry — Satisfying National and Regional Needs. The 2nd Joint Conf. of the Inst. Foresters of Australia and New Zealand Inst. of Foresters Inc. Hobart, Tasmania. 1985. P. 163—168.

Westoby M. The self-thinning rule // Adv. Ecol. Res. 1984. Vol. 14. P. 167—225.

Westoby M., Howell J. Influence of population structure on self-thinning in plant populations // J. Ecology. 1986. Vol. 74. P. 343—359.

White J. The allometric interpretation of the self-thinning rule // J. Theor. Biol. 1981. Vol. 89. P. 475—500.

Whittaker R.H., Niering W.A. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. V. Biomass, production and diversity along the elevation gradient // Ecology. 1975. Vol. 56. P. 771—790.

Wiesner J. Lichtgenuß der Pflanzen. Jena, 1907.

Wirth C., Schulze E.-D., Schulze W. et al. Above-ground biomass and structure of pristine Siberian Scots pine forests as controlled by competition and fire // Oecologia. 1999. Vol. 121. P. 66—80.

Woodward F.I. Climate and plant distribution. London: Cambridge Univ. Press, 1987.

Woodwell G.M., Whittaker R.H., Reiners W.A. et al. The biota and the world carbon budget // Science. 1978. Vol. 199. P. 141—146.

Wright S. Genetics and the hierarchy of biological sciences // Science. 1959. Vol. 130, No. 3381. P. 959—965.

Yamakura T. Statistical basis for the $3/2$ power law system (Frequency distribution of individual weight, stem diameter and height in plant stands. VIII) // Jap. J. Ecol. 1985. Vol. 35. P. 169—182.

Yoda K., Kira T., Ogawa H., Hozumi K. Intraspecific competition among higher plants. XI. Self-thinning in over-crowded pure stands under cultivated and natural conditions // J. Biol. Osaka City Univ. 1963. Vol. 14. P. 107—129.

Zeide B. Tolerance and self-tolerance of trees // Forest Ecol. Manage. 1985. Vol. 13. P. 149—166.

Zeide B. Analysis of the $3/2$ power law of self-thinning // Forest Sci. 1987. Vol. 33, No. 2. P. 517—537.

ПРИЛОЖЕНИЯ



Электронный архив УГЛТУ

Приложение 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ САМОИЗРЕЖИВАНИЯ ПО МАССООБРАЗУЮЩИМ И БИОПРОДУКЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКОРЕГИОНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Приложение 1.1. ЛИСТВЕННИЦА (*LARIX*)

Показатель*	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Широколиственные леса (<i>L. decidua</i>)									
H_{lim} , м	35,5	35,6	34,6	32,4	27,2	24,4	16,5	11,9	8,9
D_{lim} , см	71,4	60,0	53,5	43,4	28,5	22,5	10,7	5,9	3,7
M_{lim} , м ³ /га	465,8	796,7	937,8	1071,6	1115,5	1056,8	728,9	478,7	311,4
Ps_{lim} , т/га	210,3	353,9	413,4	467,9	479,9	451,7	306,3	199,0	128,5
Pf_{lim} , т/га	2,3	4,3	5,5	7,4	10,8	12,3	15,5	16,5	16,0
Pb_{lim} , т/га	31,9	46,0	51,8	55,0	52,0	47,4	32,5	23,4	18,0
P_{alim} , т/га	245	404	471	530	543	511	354	239	162
Pr_{lim} , т/га	34,4	42,9	47,1	50,8	54,6	54,2	49,1	43,3	38,6
P_{ulim} , т/га	279	447	518	581	597	566	403	282	201
(В) Скандинавско-Русская провинция									
Южная тайга (<i>L. sukaczewii</i>)									
H_{lim} , м	47,1	47,2	45,9	43,0	36,2	32,4	22,0	15,8	11,9
D_{lim} , см	93,6	77,0	68,5	55,4	36,8	29,0	13,8	7,7	4,8
M_{lim} , м ³ /га	953,2	1586,8	1862,3	2110,5	2170,8	2052,8	1430,5	941,9	628,8
Ps_{lim} , т/га	495,9	812,0	946,0	1061,7	1076,1	1010,9	692,5	451,2	298,9
Pf_{lim} , т/га	4,8	8,9	11,3	15,1	21,8	24,9	31,5	33,5	32,8
Pb_{lim} , т/га	41,9	58,6	65,7	69,5	67,0	60,4	40,4	28,7	21,8
P_{alim} , т/га	543	879	1023	1146	1165	1096	764	513	353
Pr_{lim} , т/га	74,5	93,2	102,4	110,6	118,5	117,5	106,4	93,7	83,0
P_{ulim} , т/га	617	973	1125	1257	1283	1214	871	607	436
Степь (<i>L. sukaczewii</i>)									
H_{lim} , м	36,1	36,2	35,2	32,9	27,7	24,9	16,8	12,1	9,1
D_{lim} , см	63,9	53,5	47,7	38,8	25,4	20,1	9,5	5,3	3,3
M_{lim} , м ³ /га	485,4	826,4	972,6	1113,7	1158,4	1095,8	758,9	501,2	323,1
Ps_{lim} , т/га	251,6	421,3	492,2	558,2	572,1	537,6	366,0	239,2	153,0
Pf_{lim} , т/га	1,5	2,7	3,5	4,6	6,7	7,7	9,7	10,3	10,0
Pb_{lim} , т/га	18,8	27,0	30,4	32,4	30,5	27,9	19,1	13,8	10,3
P_{alim} , т/га	272	451	526	595	609	573	395	263	173
Pr_{lim} , т/га	102,9	128,3	141,0	152,1	163,5	162,2	147,0	129,7	115,1
P_{ulim} , т/га	375	579	667	747	773	735	542	393	288

Показатель*	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(С) Восток Русской равнины									
Северная тайга (<i>L. sukaczewii</i>)									
H_{lim} , м	32,7	32,8	31,9	29,9	25,1	22,5	15,3	10,9	8,2
D_{lim} , см	49,6	41,9	37,4	30,4	19,9	15,7	7,5	4,1	2,6
M_{lim} , м ³ /га	281,6	484,9	571,6	655,6	684,2	652,2	448,9	289,5	191,0
Ps_{lim} , т/га	176,1	298,2	348,9	396,3	407,5	385,9	261,1	166,6	109,1
Pf_{lim} , т/га	1,7	3,1	4,0	5,4	7,7	8,9	11,2	11,8	11,4
Pb_{lim} , т/га	23,6	34,4	38,8	41,3	38,9	35,6	24,8	17,9	13,4
Pa_{lim} , т/га	201	336	392	443	454	430	297	196	134
Pr_{lim} , т/га	66,0	82,2	90,3	97,5	104,9	104,0	94,4	83,4	74,0
P_{lim} , т/га	267	418	482	540	559	534	392	280	208
Степь (<i>L. sukaczewii</i>)									
H_{lim} , м	30,6	30,6	29,8	27,9	23,5	21,1	14,3	10,2	7,7
D_{lim} , см	60,6	51,4	45,9	37,4	24,5	19,4	9,2	5,1	3,1
M_{lim} , м ³ /га	374,7	648,6	765,6	884,3	924,2	876,0	609,7	394,2	253,5
Ps_{lim} , т/га	196,0	333,6	390,9	447,1	460,4	433,5	296,6	189,8	121,1
Pf_{lim} , т/га	2,0	3,8	4,8	6,5	9,4	10,7	13,5	14,4	13,9
Pb_{lim} , т/га	19,9	29,2	32,9	35,2	33,2	30,5	21,3	15,3	11,2
Pa_{lim} , т/га	218	367	429	489	503	475	331	219	146
Pr_{lim} , т/га	23,9	29,7	32,6	35,2	37,9	37,6	34,1	30,2	26,8
P_{lim} , т/га	242	396	461	524	541	512	365	250	173
(Д) Уральская провинция									
Средняя тайга (<i>L. sukaczewii</i>)									
H_{lim} , м	25,9	25,9	25,2	23,6	19,9	17,8	12,1	8,7	6,5
D_{lim} , см	44,5	38,2	34,1	27,8	18,3	14,5	6,9	3,8	2,3
M_{lim} , м ³ /га	148,6	261,2	309,3	358,6	378,6	360,8	247,3	159,3	101,9
Ps_{lim} , т/га	84,1	145,3	170,8	196,1	204,0	193,1	130,1	82,9	52,7
Pf_{lim} , т/га	1,4	2,7	3,5	4,7	6,8	7,8	9,8	10,4	10,0
Pb_{lim} , т/га	8,1	12,0	13,6	14,5	13,8	12,7	8,9	6,5	4,7
Pa_{lim} , т/га	94	160	188	215	225	214	149	100	67
Pr_{lim} , т/га	34,2	42,4	46,6	50,3	54,2	53,8	48,9	43,2	38,5
P_{lim} , т/га	128	202	234	266	279	267	198	143	106
(Е) Западно-Сибирская равнинная провинция									
Лесотундра, поймы и надпойменные террасы (<i>L. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	22,4	22,4	21,8	20,4	17,2	15,4	10,4	7,5	5,6
D_{lim} , см	34,5	29,9	26,8	21,9	14,4	11,4	5,4	3,0	1,8
M_{lim} , м ³ /га	127,3	226,6	270,5	316,2	334,7	316,8	218,5	139,7	88,4
Ps_{lim} , т/га	62,3	109,1	129,3	149,7	156,1	146,8	99,5	63,0	39,5
Pf_{lim} , т/га	0,6	1,1	1,4	1,9	2,7	3,1	3,9	4,1	4,0
Pb_{lim} , т/га	5,8	8,8	10,0	10,7	10,2	9,4	6,8	4,9	3,6
Pa_{lim} , т/га	69	119	141	162	169	159	110	72	47
Pr_{lim} , т/га	31,9	39,5	43,4	46,8	50,5	50,3	45,7	40,5	36,1
P_{lim} , т/га	101	159	184	209	220	210	156	112	83

Показатель*	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Лесотундра, плакоры (<i>L. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	10,9	10,9	10,6	9,9	8,4	7,5	5,1	3,6	2,7
D_{lim} , см	16,3	14,9	13,5	11,3	7,6	6,0	2,8	1,5	0,9
M_{lim} , м ³ /га	16,4	31,4	38,5	46,3	50,5	47,7	31,8	19,3	12,2
$P_{s_{lim}}$, т/га	7,6	14,4	17,5	20,8	22,4	21,0	13,8	8,3	5,2
$P_{f_{lim}}$, т/га	0,2	0,5	0,6	0,8	1,2	1,3	1,6	1,7	1,7
$P_{b_{lim}}$, т/га	1,5	2,5	2,9	3,2	3,2	3,0	2,2	1,6	1,1
$P_{a_{lim}}$, т/га	9	17	21	25	27	25	18	12	8
$P_{r_{lim}}$, т/га	12,2	15,0	16,4	17,7	19,2	19,2	17,6	15,7	14,0
P_{lim} , т/га	22	32	37	42	46	45	35	27	22
(F) Средне-Сибирская плоскогорная провинция									
Тундра (<i>L. gmelinii</i>)									
H_{lim} , м	4,9	4,9	4,8	4,5	3,8	3,4	2,3	1,6	1,2
D_{lim} , см	8,2	8,0	7,5	6,4	4,4	3,5	1,6	0,9	0,5
M_{lim} , м ³ /га	2,6	5,4	6,9	8,5	9,5	9,1	5,9	3,8	2,2
$P_{s_{lim}}$, т/га	1,5	3,1	3,9	4,8	5,2	5,0	3,2	2,0	1,2
$P_{f_{lim}}$, т/га	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7
$P_{b_{lim}}$, т/га	1,1	1,9	2,2	2,6	2,7	2,6	1,9	1,3	0,9
$P_{a_{lim}}$, т/га	3	5	6	8	8	8	6	4	3
$P_{r_{lim}}$, т/га	11,2	13,4	14,7	15,9	17,4	17,5	16,5	14,8	13,5
P_{lim} , т/га	14	19	21	24	26	26	22	19	16
Лесотундра, горные формации (<i>L. gmelinii</i>)									
H_{lim} , м	19,0	19,0	18,5	17,3	14,6	13,1	8,9	6,4	4,8
D_{lim} , см	22,2	19,5	17,5	14,3	9,5	7,5	3,6	2,0	1,2
M_{lim} , м ³ /га	26,2	47,4	57,1	66,8	71,7	67,8	47,0	30,1	19,0
$P_{s_{lim}}$, т/га	14,4	25,7	30,7	35,6	37,6	35,3	24,1	15,3	9,6
$P_{f_{lim}}$, т/га	0,3	0,6	0,7	1,0	1,5	1,7	2,1	2,2	2,1
$P_{b_{lim}}$, т/га	5,8	9,0	10,3	11,1	10,7	9,9	7,1	5,0	3,7
$P_{a_{lim}}$, т/га	21	35	42	48	50	47	33	22	15
$P_{r_{lim}}$, т/га	12,4	15,4	16,9	18,2	19,7	19,6	17,9	15,8	14,1
P_{lim} , т/га	33	51	59	66	69	67	51	38	29
Северная тайга, долинные формации (<i>L. gmelinii</i>)									
H_{lim} , м	20,2	20,3	19,7	18,5	15,5	13,9	9,4	6,8	5,1
D_{lim} , см	32,6	28,4	25,5	20,8	13,8	10,9	5,2	2,9	1,7
M_{lim} , м ³ /га	51,4	92,1	110,1	129,3	137,6	131,3	90,4	58,1	35,7
$P_{s_{lim}}$, т/га	28,7	50,7	60,1	69,9	73,3	69,5	47,0	29,9	18,2
$P_{f_{lim}}$, т/га	0,4	0,8	1,0	1,3	1,9	2,2	2,8	2,9	2,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	3,5	5,3	6,1	6,5	6,3	5,8	4,2	3,0	2,2
$P_{a_{lim}}$, т/га	33	57	67	78	81	78	54	36	23
$P_{r_{lim}}$, т/га	6,6	8,2	9,0	9,7	10,5	10,4	9,5	8,4	7,5
P_{lim} , т/га	39	65	76	87	92	88	63	44	31

Показатель*	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	5	20	50	100	
Средняя тайга (<i>L. gmelinii</i>)									
H_{lim} , м	24,1	24,2	23,5	22,0	18,5	16,6	11,2	8,1	6,1
D_{lim} , см	36,8	31,7	28,4	23,2	15,2	12,1	5,7	3,2	1,9
M_{lim} , м ³ /га	131,2	231,7	275,3	321,3	337,7	321,2	222,2	144,0	89,8
Ps_{lim} , т/га	72,3	125,5	148,0	171,1	177,2	167,4	113,8	73,0	45,2
Pf_{lim} , т/га	0,8	1,5	2,0	2,7	3,9	4,4	5,5	5,9	5,7
Pb_{lim} , т/га	10,7	16,0	18,1	19,5	18,4	17,0	12,0	8,7	6,6
$Palim$, т/га	84	143	168	193	199	189	131	88	57
Pr_{lim} , т/га	14,1	17,6	19,3	20,8	22,4	22,3	20,3	17,9	16,0
P_{lim} , т/га	98	161	187	214	222	211	152	106	73
Южная тайга (<i>L. gmelinii</i>)									
H_{lim} , м	17,3	17,4	16,9	15,8	13,3	11,9	8,1	5,8	4,4
D_{lim} , см	39,4	34,7	31,2	25,6	17,0	13,5	6,4	3,5	2,1
M_{lim} , м ³ /га	125,1	227,9	274,0	323,9	346,2	329,8	225,1	141,1	89,2
Ps_{lim} , т/га	65,4	117,2	139,8	163,7	172,4	163,1	109,5	67,9	42,6
Pf_{lim} , т/га	1,8	3,5	4,5	6,1	8,8	10,1	12,6	13,4	12,8
Pb_{lim} , т/га	12,9	20,0	22,8	24,7	24,0	22,4	16,1	11,5	8,4
$Palim$, т/га	80	141	167	194	205	196	138	93	64
Pr_{lim} , т/га	12,2	15,1	16,6	17,9	19,3	19,3	17,5	15,6	14,0
P_{lim} , т/га	92	156	184	212	225	215	156	108	78
(Г) Восточно-Сибирская горно-равнинная провинция									
Северная тайга, долинные формации (<i>L. cajanderi</i>)									
H_{lim} , м	18,9	19,0	18,5	17,3	14,5	13,0	8,8	6,3	4,8
D_{lim} , см	24,2	21,2	19,0	15,6	10,3	8,2	3,9	2,1	1,3
M_{lim} , м ³ /га	62,5	112,8	135,5	159,6	169,9	162,4	111,3	68,4	45,0
Ps_{lim} , т/га	31,4	55,8	66,5	77,6	81,4	77,3	52,1	31,7	20,7
Pf_{lim} , т/га	0,6	1,1	1,5	2,0	2,9	3,3	4,1	4,3	4,2
Pb_{lim} , т/га	2,3	3,5	4,0	4,3	4,2	3,9	2,8	2,0	1,4
$Palim$, т/га	34	60	72	84	88	85	59	38	26
Pr_{lim} , т/га	9,8	12,2	13,3	14,4	15,6	15,5	14,1	12,5	11,2
P_{lim} , т/га	44	73	85	98	104	100	73	51	38
Северная тайга, горные формации (<i>L. cajanderi</i>)									
H_{lim} , м	11,6	11,6	11,3	10,6	8,9	8,0	5,4	3,9	2,9
D_{lim} , см	17,7	16,1	14,6	12,2	8,2	6,5	3,1	1,7	1,0
M_{lim} , м ³ /га	23,0	43,8	53,5	64,5	70,3	66,8	45,6	28,6	17,7
Ps_{lim} , т/га	12,8	23,9	29,0	34,6	37,1	35,1	23,5	14,6	9,0
Pf_{lim} , т/га	0,2	0,5	0,6	0,8	1,2	1,3	1,7	1,8	1,7
Pb_{lim} , т/га	1,3	2,1	2,4	2,6	2,6	2,5	1,8	1,3	0,8
$Palim$, т/га	14	26	32	38	41	39	27	18	12
Pr_{lim} , т/га	5,7	7,0	7,7	8,3	9,0	9,0	8,2	7,3	6,6
P_{lim} , т/га	20	33	40	46	50	48	35	25	18

Показатель*	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Средняя тайга (<i>L. cajanderi</i>)									
H_{lim} , м	20,6	20,7	20,1	18,8	15,8	14,2	9,6	6,9	5,2
D_{lim} , см	29,4	25,6	23,0	18,8	12,4	9,9	4,7	2,6	1,6
M_{lim} , м ³ /га	101,5	182,0	218,2	255,2	270,0	258,3	178,9	113,8	74,3
Ps_{lim} , т/га	55,0	96,9	115,4	133,6	139,3	132,4	90,1	56,7	36,8
Pf_{lim} , т/га	0,7	1,4	1,8	2,4	3,5	4,1	5,1	5,4	5,2
Pb_{lim} , т/га	4,9	7,5	8,5	9,1	8,8	8,2	5,9	4,1	2,9
P_{alim} , т/га	61	106	126	145	152	145	101	66	45
Pr_{lim} , т/га	17,0	21,1	23,1	25,0	27,0	26,9	24,4	21,7	19,3
P_{lim} , т/га	78	127	149	170	179	172	125	88	64
(Н) Дальневосточный Север									
Долинные формации (<i>L. cajanderi</i>)									
H_{lim} , м	24,7	24,8	24,1	22,6	19,0	17,0	11,5	8,3	6,2
D_{lim} , см	37,6	32,4	29,0	23,6	15,5	12,3	5,8	3,2	2,0
M_{lim} , м ³ /га	84,5	149,2	177,2	205,7	216,9	207,7	142,3	90,2	60,1
Ps_{lim} , т/га	47,1	81,8	96,5	110,9	115,2	109,6	73,8	46,3	30,6
Pf_{lim} , т/га	1,2	2,2	2,8	3,8	5,5	6,3	7,9	8,4	8,2
Pb_{lim} , т/га	10,6	15,9	18,0	19,2	18,3	16,9	11,8	8,7	6,3
P_{alim} , т/га	59	100	117	134	139	133	94	63	45
Pr_{lim} , т/га	40,1	49,8	54,6	59,0	63,6	63,2	57,3	50,7	45,1
P_{lim} , т/га	99	150	172	193	203	196	151	114	90
Горные формации (<i>L. cajanderi</i>)									
H_{lim} , м	13,2	13,3	12,9	12,1	10,2	9,1	6,2	4,4	3,3
D_{lim} , см	22,3	20,0	18,1	15,0	10,0	8,0	3,8	2,1	1,2
M_{lim} , м ³ /га	17,0	31,8	38,7	46,2	49,8	47,5	32,5	20,6	12,3
Ps_{lim} , т/га	9,5	17,5	21,1	25,0	26,5	25,1	16,9	10,6	6,3
Pf_{lim} , т/га	0,5	1,0	1,3	1,7	2,5	2,9	3,6	3,7	3,6
Pb_{lim} , т/га	3,3	5,3	6,1	6,7	6,7	6,2	4,4	3,1	2,4
P_{alim} , т/га	13	24	28	33	36	34	25	17	12
Pr_{lim} , т/га	9,8	12,1	13,2	14,3	15,5	15,4	14,1	12,6	11,4
P_{lim} , т/га	23	36	42	48	51	50	39	30	24
(Н) Дальний Восток (Китай)									
Большой Хинган, южная тайга (<i>L. gmelinii</i>)									
H_{lim} , м	26,0	26,0	25,3	23,7	19,9	17,9	12,1	8,7	6,5
D_{lim} , см	36,2	31,0	27,7	22,6	14,8	11,8	5,6	3,1	1,9
M_{lim} , м ³ /га	164,1	287,5	341,9	396,7	416,5	397,0	271,0	176,5	114,7
Ps_{lim} , т/га	77,8	134,0	158,2	181,8	188,0	178,0	119,5	77,0	49,7
Pf_{lim} , т/га	0,6	1,1	1,4	1,8	2,6	3,0	3,8	4,0	3,9
Pb_{lim} , т/га	6,4	9,4	10,7	11,4	10,8	10,0	7,1	5,1	3,7
P_{alim} , т/га	85	144	170	195	201	191	130	86	57
Pr_{lim} , т/га	61,9	76,8	84,4	91,0	98,1	97,5	88,4	78,2	69,9
P_{lim} , т/га	147	221	255	286	300	289	219	164	127

Показатель*	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(Н) Дальневосточное Приморье									
Хвойно-широколиственные леса (<i>L. komarovii</i>)									
H_{lim} , м	31,1	31,2	30,4	28,4	23,9	21,4	14,5	10,4	7,9
D_{lim} , см	56,4	47,8	42,7	34,7	22,7	18,0	8,5	4,7	2,9
M_{lim} , м ³ /га	259,7	449,2	530,0	609,7	638,8	604,2	418,2	269,8	176,9
$P_{s_{lim}}$, т/га	126,3	214,8	251,5	286,6	295,8	278,0	189,1	120,7	78,6
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,3	2,3	3,0	4,0	5,8	6,7	8,4	8,9	8,6
$P_{b_{lim}}$, т/га	18,2	26,5	29,9	31,9	30,0	27,6	19,1	13,8	10,2
$P_{a_{lim}}$, т/га	146	244	284	322	332	312	217	143	97
$P_{r_{lim}}$, т/га	51,5	64,0	70,3	75,9	81,7	81,1	73,5	65,0	57,7
$P_{t_{lim}}$, т/га	197	308	355	398	413	393	290	208	155
(И) Забайкальская горная провинция									
Средняя тайга (<i>L. gmelinii</i>)									
H_{lim} , м	20,0	20,1	19,5	18,3	15,4	13,8	9,3	6,7	5,1
D_{lim} , см	28,4	24,8	22,2	18,2	12,0	9,6	4,5	2,5	1,5
M_{lim} , м ³ /га	72,2	129,8	155,8	182,5	194,4	184,5	125,8	80,4	50,9
$P_{s_{lim}}$, т/га	56,8	100,4	119,6	138,7	145,6	137,3	92,0	58,2	36,6
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,0	1,9	2,4	3,3	4,8	5,4	6,8	7,2	6,9
$P_{b_{lim}}$, т/га	4,4	6,7	7,6	8,2	7,9	7,4	5,2	3,8	2,7
$P_{a_{lim}}$, т/га	62	109	130	150	158	150	104	69	46
$P_{r_{lim}}$, т/га	44,0	54,5	59,8	64,4	69,6	69,3	63,0	56,1	50,2
$P_{t_{lim}}$, т/га	106	163	189	215	228	219	167	125	96
Южная тайга (<i>L. czekanowskii</i>)									
H_{lim} , м	26,5	26,6	25,9	24,2	20,4	18,3	12,4	8,9	6,7
D_{lim} , см	40,9	35,0	31,3	25,5	16,7	13,3	6,3	3,5	2,1
M_{lim} , м ³ /га	145,3	254,4	301,8	349,4	369,0	348,0	239,3	156,2	98,8
$P_{s_{lim}}$, т/га	79,4	136,7	160,9	184,5	192,0	179,9	121,6	78,5	49,3
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,2	2,2	2,8	3,7	5,4	6,2	7,8	8,3	7,9
$P_{b_{lim}}$, т/га	12,1	17,9	20,2	21,6	20,4	18,9	13,1	9,7	6,9
$P_{a_{lim}}$, т/га	93	157	184	210	218	205	142	96	64
$P_{r_{lim}}$, т/га	52,2	64,8	71,1	76,8	82,7	82,1	74,7	66,1	59,0
$P_{t_{lim}}$, т/га	145	222	255	287	300	287	217	163	123
(J) Алтае-Саянская горная провинция									
Лесостепь (<i>L. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	26,8	26,9	26,1	24,5	20,6	18,5	12,5	9,0	6,8
D_{lim} , см	44,5	38,1	34,0	27,8	18,2	14,4	6,8	3,8	2,3
M_{lim} , м ³ /га	244,1	427,6	506,1	586,3	617,4	587,4	406,1	261,6	167,3
$P_{s_{lim}}$, т/га	122,1	210,3	247,1	283,4	294,1	277,9	188,9	120,4	76,4
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,8	3,4	4,4	5,9	8,5	9,7	12,3	13,0	12,5

Показатель*	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Pb_{lim} , т/га	14,3	21,2	23,9	25,7	24,2	22,4	15,8	11,5	8,3
P_{alim} , т/га	138	235	275	315	327	310	217	145	97
Pr_{lim} , т/га	44,6	55,4	60,8	65,6	70,7	70,2	63,7	56,3	50,2
P_{lim} , т/га	183	290	336	380	397	380	281	201	147
Южная тайга (<i>L. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	21,9	21,9	21,4	20,0	16,8	15,1	10,2	7,3	5,5
D_{lim} , см	34,0	29,5	26,4	21,6	14,2	11,3	5,3	3,0	1,8
M_{lim} , м ³ /га	110,2	196,3	233,8	273,8	289,8	276,1	188,0	123,1	77,9
Ps_{lim} , т/га	67,8	118,7	140,3	162,7	169,7	160,6	107,5	69,7	43,8
Pf_{lim} , т/га	1,1	2,0	2,6	3,6	5,2	5,9	7,4	7,8	7,5
Pb_{lim} , т/га	6,3	9,6	10,9	11,7	11,1	10,4	7,4	5,3	3,7
P_{alim} , т/га	75	130	154	178	186	177	122	83	55
Pr_{lim} , т/га	31,0	38,4	42,1	45,4	49,1	48,8	44,4	39,2	35,0
P_{lim} , т/га	106	169	196	223	235	226	167	122	90
(К) Центрально-Хангайская провинция									
Горная лесостепь (<i>L. gmelinii</i>)									
H_{lim} , м	24,6	24,7	24,0	22,5	18,9	17,0	11,5	8,2	6,2
D_{lim} , см	34,9	30,0	26,9	21,9	14,4	11,4	5,4	3,0	1,8
M_{lim} , м ³ /га	140,3	247,1	293,7	341,4	360,4	344,1	237,3	151,7	96,0
Ps_{lim} , т/га	97,5	168,9	199,3	229,4	238,6	226,3	153,4	97,1	61,0
Pf_{lim} , т/га	1,1	2,1	2,7	3,6	5,2	5,9	7,5	7,9	7,6
Pb_{lim} , т/га	11,3	16,9	19,2	20,5	19,5	18,0	12,6	9,3	6,9
P_{alim} , т/га	110	188	221	253	263	250	173	114	76
Pr_{lim} , т/га	38,0	47,1	51,7	55,8	60,2	59,9	54,3	48,0	42,6
P_{lim} , т/га	148	235	273	309	323	310	228	162	118
(Л) Япония (<i>L. leptolepis</i>)									
H_{lim} , м	40,7	40,8	39,7	37,2	31,2	28,0	19,0	13,6	10,3
D_{lim} , см	67,4	56,1	49,9	40,5	26,6	21,0	10,0	5,6	3,5
M_{lim} , м ³ /га	565,2	955,0	1120,6	1276,1	1318,4	1254,0	871,0	571,6	378,8
Ps_{lim} , т/га	241,9	402,0	468,3	528,1	537,6	508,0	346,9	225,2	148,1
Pf_{lim} , т/га	2,1	3,8	4,9	6,6	9,5	10,9	13,7	14,6	14,3
Pb_{lim} , т/га	20,3	28,9	32,4	34,5	32,7	29,7	20,3	14,6	10,8
P_{alim} , т/га	264	435	506	569	580	549	381	254	173
Pr_{lim} , т/га	76,1	94,9	104,4	112,7	120,9	120,0	108,7	95,8	84,9
P_{lim} , т/га	340	530	610	682	701	669	490	350	258

* Обозначения показателей с индексом "lim" здесь и далее означают, что их значения, в отличие от аналогичных показателей с индексом "max" в разделах 1.6.3 и 3.1, сняты в программе EXCEL с предельных линий самоизреживания, полученных в результате пересечения правых ветвей колоколообразных густотных кривых (система уравнений (3.1)).

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. abies</i>)									
H_{lim} , м	43,0	38,2	35,3	30,6	25,2	18,9	10,2	6,2	3,9
D_{lim} , см	70,3	48,1	39,7	30,3	19,2	15,3	7,7	4,4	3,0
M_{lim} , м ³ /га	895,8	895,8	925,3	918,1	793,1	697,5	381,0	211,2	118,6
PS_{lim} , т/га	327,8	369,3	375,1	365,8	309,4	270,2	149,5	83,2	48,3
Pf_{lim} , т/га	19,5	24,4	26,5	29,4	33,3	34,3	32,6	29,2	24,6
Pb_{lim} , т/га	36,9	41,1	42,1	42,9	42,1	40,1	31,5	23,6	18,5
P_{alim} , т/га	384	435	444	438	385	345	214	136	91
Pr_{lim} , т/га	69,0	75,2	74,7	72,2	62,8	56,6	37,2	24,0	16,6
P_{lim} , т/га	453	510	518	510	448	401	251	160	108
Широколиственные леса (<i>P. abies</i>)									
H_{lim} , м	38,3	34,1	31,4	27,3	21,3	16,8	9,1	5,5	3,5
D_{lim} , см	71,3	48,8	40,3	30,7	19,5	15,5	7,8	4,5	3,0
M_{lim} , м ³ /га	797,7	797,7	822,2	818,9	704,8	620,0	338,6	189,6	103,9
PS_{lim} , т/га	295,2	332,7	338,1	329,1	279,0	243,0	134,4	75,6	42,8
Pf_{lim} , т/га	15,0	18,7	20,3	22,6	25,4	26,3	25,3	22,0	18,5
Pb_{lim} , т/га	35,3	39,4	40,3	41,0	40,0	38,3	30,7	22,6	17,3
P_{alim} , т/га	345	391	399	393	344	308	190	120	79
Pr_{lim} , т/га	107,5	117,2	116,6	112,4	98,0	88,1	57,9	37,7	25,4
P_{lim} , т/га	453	508	515	505	442	396	248	158	104
(В) Скандинавско-Русская провинция									
Средняя тайга (<i>P. abies</i>)									
H_{lim} , м	33,6	29,9	27,6	23,9	17,5	14,7	8,0	4,8	3,1
D_{lim} , см	57,8	39,5	32,6	24,9	15,8	12,6	6,3	3,6	2,5
M_{lim} , м ³ /га	431,9	431,9	446,4	443,5	382,7	337,2	182,9	102,5	58,1
PS_{lim} , т/га	177,4	199,9	202,5	197,9	167,5	146,4	80,5	45,3	26,5
Pf_{lim} , т/га	7,8	9,7	10,5	11,8	13,3	13,7	13,1	11,6	9,5
Pb_{lim} , т/га	18,5	20,6	21,1	21,5	21,1	20,2	16,0	11,8	8,9
P_{alim} , т/га	204	230	234	231	202	180	110	69	45
Pr_{lim} , т/га	46,1	50,2	50,0	48,2	41,9	37,8	24,7	16,2	11,3
P_{lim} , т/га	250	280	284	279	244	218	134	85	56
Южная тайга (<i>P. abies</i>)									
H_{lim} , м	40,7	36,2	33,4	29,0	23,3	17,9	9,6	5,8	3,7
D_{lim} , см	62,8	42,9	35,4	27,0	17,1	13,6	6,8	3,9	2,7
M_{lim} , м ³ /га	595,1	595,1	614,9	609,9	525,0	461,0	250,0	140,1	79,5
PS_{lim} , т/га	228,5	257,5	261,7	254,4	215,0	187,4	102,9	57,9	33,9
Pf_{lim} , т/га	11,0	13,6	14,8	16,5	18,6	19,2	18,3	16,2	13,9
Pb_{lim} , т/га	20,9	23,2	23,8	24,2	23,7	22,6	17,9	13,2	10,6
P_{alim} , т/га	260	294	300	295	257	229	139	87	58
Pr_{lim} , т/га	52,5	57,3	56,9	54,9	47,9	43,1	28,0	18,2	12,7
P_{lim} , т/га	313	352	357	350	305	272	167	106	71

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. abies</i>)									
H_{lim} , м	38,6	34,4	31,7	27,5	21,6	16,9	9,2	5,5	3,5
D_{lim} , см	60,9	41,6	34,4	26,2	16,6	13,2	6,6	3,8	2,6
M_{lim} , м ³ /га	616,7	616,7	636,7	632,6	544,8	478,4	259,4	146,2	81,8
Ps_{lim} , т/га	252,6	284,6	289,0	281,4	237,9	207,3	113,9	64,4	37,2
Pf_{lim} , т/га	12,6	15,7	17,0	18,9	21,4	22,1	21,0	18,7	15,8
Pb_{lim} , т/га	28,9	32,1	33,0	33,6	32,8	31,3	24,8	18,4	14,5
Pa_{lim} , т/га	294	332	339	334	292	261	160	102	68
Pr_{lim} , т/га	89,6	97,7	97,0	93,6	81,8	73,6	47,7	31,3	21,5
P_{lim} , т/га	384	430	436	427	374	334	207	133	89
Широколиственные леса (<i>P. abies</i>)									
H_{lim} , м	43,8	39,0	36,0	31,2	25,9	19,2	10,4	6,3	4,0
D_{lim} , см	75,1	51,4	42,4	32,4	20,5	16,3	8,2	4,7	3,2
M_{lim} , м ³ /га	961,6	961,6	994,8	987,9	852,1	747,2	408,0	226,3	127,3
Ps_{lim} , т/га	328,2	369,9	375,4	366,6	309,5	269,7	149,1	83,1	48,3
Pf_{lim} , т/га	13,0	16,3	17,7	19,6	22,2	23,0	22,0	19,5	16,4
Pb_{lim} , т/га	28,1	31,3	32,0	32,7	32,0	30,6	24,3	17,9	14,0
Pa_{lim} , т/га	369	417	425	419	364	323	195	120	79
Pr_{lim} , т/га	103,5	112,9	112,2	108,4	94,2	85,4	55,6	35,9	24,9
P_{lim} , т/га	473	530	537	527	458	409	251	156	104
Лесостепь (<i>P. abies</i>)									
H_{lim} , м	39,2	34,8	32,1	27,9	22,1	17,2	9,3	5,6	3,6
D_{lim} , см	76,1	52,1	43,0	32,8	20,8	16,5	8,3	4,8	3,2
M_{lim} , м ³ /га	850,0	850,0	877,5	871,9	751,3	659,4	360,0	201,5	110,8
Ps_{lim} , т/га	353,1	398,2	404,3	394,0	333,5	289,8	160,2	90,0	51,2
Pf_{lim} , т/га	1,7	2,1	2,3	2,6	2,9	3,0	2,9	2,5	2,1
Pb_{lim} , т/га	11,0	12,3	12,6	12,8	12,5	12,0	9,6	7,0	5,4
Pa_{lim} , т/га	366	413	419	409	349	305	173	100	59
Pr_{lim} , т/га	153,4	167,4	166,4	160,5	139,9	126,4	82,3	53,7	36,3
P_{lim} , т/га	519	580	586	570	489	431	255	153	95
(С) Восток Русской равнины									
Северная тайга (<i>P. abies</i>)									
H_{lim} , м	24,1	21,5	19,8	17,2	13,8	10,6	5,7	3,5	2,2
D_{lim} , см	47,7	32,6	26,9	20,5	13,0	10,4	5,2	3,0	2,0
M_{lim} , м ³ /га	276,9	276,9	285,2	284,3	243,9	216,0	117,1	64,8	35,9
Ps_{lim} , т/га	103,2	116,3	117,8	114,9	97,2	85,2	46,8	26,0	14,9
Pf_{lim} , т/га	4,9	6,1	6,6	7,4	8,3	8,7	8,3	7,4	6,1
Pb_{lim} , т/га	14,1	15,7	16,0	16,3	16,0	15,4	12,2	9,1	6,9
Pa_{lim} , т/га	122	138	140	139	122	109	67	42	28
Pr_{lim} , т/га	34,1	37,2	37,0	35,6	31,1	28,2	18,3	11,8	8,0
P_{lim} , т/га	156	175	177	174	153	137	86	54	36

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Средняя тайга (<i>P. abies</i>)									
H_{lim} , м	31,7	28,2	26,0	22,6	18,0	13,9	7,5	4,5	2,9
D_{lim} , см	53,9	36,9	30,4	23,2	14,7	11,7	5,9	3,4	2,3
M_{lim} , м ³ /га	379,3	379,3	392,5	389,6	335,7	295,3	161,7	88,9	50,4
$P_{S_{lim}}$, т/га	169,4	190,8	193,5	188,8	159,7	139,3	77,2	42,7	25,0
$P_{f_{lim}}$, т/га	10,1	12,6	13,7	15,2	17,2	17,8	17,2	14,8	12,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	21,7	24,1	24,7	25,2	24,6	23,5	18,9	13,5	10,9
$P_{a_{lim}}$, т/га	201	228	232	229	202	181	113	71	49
$P_{r_{lim}}$, т/га	73,3	80,0	79,5	76,6	66,9	60,3	39,5	25,4	17,6
$P_{u_{lim}}$, т/га	274	308	311	306	268	241	153	96	66
Южная тайга (<i>P. abies</i>)									
H_{lim} , м	33,6	29,9	27,6	23,9	19,5	14,7	8,0	4,8	3,1
D_{lim} , см	54,9	37,6	31,0	23,7	15,0	11,9	6,0	3,5	2,3
M_{lim} , м ³ /га	378,3	378,3	391,8	389,3	335,3	293,9	160,9	89,6	49,2
$P_{S_{lim}}$, т/га	161,8	182,2	184,9	180,9	152,8	132,8	73,6	41,2	23,4
$P_{f_{lim}}$, т/га	8,7	10,8	11,7	13,0	14,8	15,2	14,6	12,8	10,7
$P_{b_{lim}}$, т/га	17,5	19,5	20,0	20,4	19,9	18,9	15,2	11,1	8,5
$P_{a_{lim}}$, т/га	188	213	217	214	187	167	103	65	43
$P_{r_{lim}}$, т/га	54,5	59,4	59,0	56,8	49,8	44,7	29,3	19,1	12,8
$P_{u_{lim}}$, т/га	242	272	276	271	237	212	133	84	55
(D) Уральская провинция									
Лесотундра (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	13,9	12,4	11,4	9,9	8,4	6,1	3,3	2,0	1,3
D_{lim} , см	34,1	23,4	19,3	14,7	9,3	7,4	3,7	2,1	1,5
M_{lim} , м ³ /га	71,7	71,7	74,2	73,7	63,7	55,6	30,2	16,6	9,8
$P_{S_{lim}}$, т/га	32,9	37,2	37,7	36,8	31,0	27,1	14,9	8,2	5,0
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	1,7	1,6	1,4	1,2
$P_{b_{lim}}$, т/га	5,3	5,9	6,1	6,2	6,1	5,8	4,6	3,3	2,5
$P_{a_{lim}}$, т/га	39	44	45	44	39	35	21	13	9
$P_{r_{lim}}$, т/га	49,8	54,5	54,0	52,1	45,3	40,7	26,6	17,0	12,4
$P_{u_{lim}}$, т/га	89	99	99	97	84	75	48	30	21
Северная тайга (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	17,8	15,8	14,6	12,7	10,5	7,8	4,2	2,5	1,6
D_{lim} , см	35,3	24,1	19,9	15,2	9,6	7,7	3,8	2,2	1,5
M_{lim} , м ³ /га	99,3	99,3	102,3	101,9	88,0	77,5	41,4	23,3	13,1
$P_{S_{lim}}$, т/га	38,5	43,4	44,1	42,9	36,2	31,8	17,2	9,7	5,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	3,3	4,1	4,4	4,9	5,6	5,7	5,4	4,9	4,1
$P_{b_{lim}}$, т/га	7,2	8,0	8,3	8,4	8,3	7,9	6,1	4,6	3,6
$P_{a_{lim}}$, т/га	49	55	57	56	50	45	29	19	13
$P_{r_{lim}}$, т/га	38,8	42,2	42,0	40,5	35,5	31,9	20,5	13,4	9,3
$P_{u_{lim}}$, т/га	88	98	99	97	86	77	49	33	23

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Средняя тайга (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	31,3	27,8	25,7	22,3	18,6	13,7	7,4	4,5	2,9
D_{lim} , см	51,7	35,4	29,2	22,3	14,1	11,2	5,6	3,2	2,2
M_{lim} , м ³ /га	405,3	405,3	418,7	416,1	357,6	314,0	170,3	96,1	53,5
$P_{s_{lim}}$, т/га	180,7	203,4	206,6	201,8	170,2	148,2	81,4	46,1	26,5
$P_{f_{lim}}$, т/га	10,4	13,0	14,1	15,6	17,6	18,2	17,4	15,3	13,0
$P_{b_{lim}}$, т/га	17,0	18,9	19,4	19,8	19,3	18,3	14,5	10,8	8,5
P_{alim} , т/га	208	235	240	237	207	185	113	72	48
$P_{r_{lim}}$, т/га	78,8	86,0	85,3	82,5	71,9	64,6	42,0	27,6	18,9
P_{tim} , т/га	287	321	325	320	279	249	155	100	67
Южная тайга (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	38,3	34,1	31,4	27,3	22,4	16,8	9,1	5,5	3,5
D_{lim} , см	66,1	45,2	37,3	28,5	18,0	14,4	7,2	4,2	2,8
M_{lim} , м ³ /га	666,1	666,1	688,0	684,0	588,4	520,0	282,0	156,3	87,6
$P_{s_{lim}}$, т/га	256,9	289,2	293,6	286,8	241,7	212,0	116,5	64,8	37,5
$P_{f_{lim}}$, т/га	13,8	17,2	18,7	20,8	23,5	24,3	23,3	20,4	17,2
$P_{b_{lim}}$, т/га	25,0	27,9	28,5	29,1	28,4	27,2	21,6	15,8	12,4
P_{alim} , т/га	296	334	341	337	294	264	161	101	67
$P_{r_{lim}}$, т/га	88,5	96,4	95,8	92,7	80,8	72,7	47,5	31,0	21,1
P_{tim} , т/га	384	431	437	429	374	336	209	132	88
(Е) Западно-Сибирская равнинная провинция									
Средняя тайга (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	30,2	26,8	24,7	21,5	17,7	13,2	7,2	4,3	2,8
D_{lim} , см	46,7	32,0	26,4	20,1	12,8	10,2	5,1	2,9	2,0
M_{lim} , м ³ /га	360,5	360,5	372,6	369,2	319,8	282,0	152,9	86,5	48,0
$P_{s_{lim}}$, т/га	136,4	153,6	156,0	152,0	129,2	112,8	62,0	35,2	20,2
$P_{f_{lim}}$, т/га	10,2	12,7	13,8	15,3	17,4	18,0	17,2	15,1	12,9
$P_{b_{lim}}$, т/га	19,1	21,4	21,8	22,2	21,9	20,9	16,6	12,4	9,6
P_{alim} , т/га	166	188	192	190	168	152	96	63	43
$P_{r_{lim}}$, т/га	71,7	78,3	77,6	74,9	65,3	59,3	38,5	25,4	17,3
P_{tim} , т/га	237	266	269	264	234	211	134	88	60
(F) Средне-Сибирская плоскогорная провинция									
Северная тайга (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	19,1	17,0	15,7	13,6	11,6	8,4	4,5	2,7	1,7
D_{lim} , см	35,7	24,4	20,2	15,4	9,8	7,8	3,9	2,2	1,5
M_{lim} , м ³ /га	105,0	105,0	108,0	107,6	93,1	82,0	44,5	25,5	13,6
$P_{s_{lim}}$, т/га	45,0	50,6	51,4	50,2	42,7	37,2	20,4	11,7	6,5
$P_{f_{lim}}$, т/га	3,0	3,8	4,1	4,5	5,2	5,3	5,1	4,4	3,7
$P_{b_{lim}}$, т/га	7,1	7,9	8,1	8,3	8,1	7,7	6,2	4,7	3,5
P_{alim} , т/га	55	62	64	63	56	50	32	21	14
$P_{r_{lim}}$, т/га	39,2	42,7	42,5	41,0	35,9	32,3	21,1	14,1	9,2
P_{tim} , т/га	94	105	106	104	92	83	53	35	23

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	5	20	50	100	
Средняя тайга (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	32,0	28,5	26,3	22,8	18,2	14,1	7,6	4,6	2,9
D_{lim} , см	39,5	27,0	22,3	17,0	10,8	8,6	4,3	2,5	1,7
M_{lim} , м ³ /га	203,8	203,8	211,1	209,7	180,4	159,0	86,2	48,5	27,3
Ps_{lim} , т/га	76,9	86,6	87,8	85,7	72,7	63,4	34,8	19,7	11,4
Pf_{lim} , т/га	4,2	5,2	5,7	6,3	7,2	7,4	7,1	6,4	5,3
Pb_{lim} , т/га	8,6	9,6	9,8	10,0	9,8	9,4	7,4	5,6	4,4
P_{alim} , т/га	90	101	103	102	90	80	49	32	21
Pr_{lim} , т/га	39,1	42,7	42,5	40,9	35,7	32,2	20,9	13,7	9,5
P_{lim} , т/га	129	144	146	143	125	112	70	45	31
Южная тайга (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	29,3	26,1	24,0	20,9	17,0	12,9	6,9	4,2	2,7
D_{lim} , см	56,9	38,9	32,1	24,5	15,5	12,4	6,2	3,6	2,4
M_{lim} , м ³ /га	473,9	473,9	489,7	486,2	418,1	369,8	200,5	111,0	62,0
Ps_{lim} , т/га	197,1	221,6	225,1	219,8	185,5	162,7	89,4	49,7	28,7
Pf_{lim} , т/га	4,6	5,8	6,2	6,9	7,8	8,1	7,8	6,8	5,7
Pb_{lim} , т/га	18,3	20,4	20,9	21,3	20,8	20,0	15,9	11,5	9,0
P_{alim} , т/га	220	248	252	248	214	191	113	68	43
Pr_{lim} , т/га	91,1	99,2	98,5	95,2	83,0	74,6	48,8	31,7	21,6
P_{lim} , т/га	311	347	351	343	297	265	162	100	65
(Г) Восточно-Сибирская горноравнинная провинция									
Средняя тайга (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	17,2	15,3	14,1	12,3	10,1	7,6	4,1	2,5	1,6
D_{lim} , см	24,5	16,8	13,9	10,6	6,7	5,3	2,7	1,5	1,0
M_{lim} , м ³ /га	64,4	64,4	66,5	66,3	57,4	49,8	27,6	15,1	8,1
Ps_{lim} , т/га	28,1	31,6	32,1	31,5	26,5	23,0	12,9	7,1	3,9
Pf_{lim} , т/га	2,3	2,9	3,1	3,4	3,9	4,0	3,9	3,3	2,7
Pb_{lim} , т/га	3,3	3,6	3,7	3,8	3,8	3,5	2,9	2,0	1,5
P_{alim} , т/га	34	38	39	39	34	30	20	12	8
Pr_{lim} , т/га	17,9	19,6	19,5	18,8	16,3	14,8	9,7	6,2	4,1
P_{lim} , т/га	52	58	58	58	50	45	29	19	12
(Н) Дальний Восток									
Средняя тайга (<i>P. ajanensis</i>)									
H_{lim} , м	34,0	30,3	27,9	24,3	19,9	14,9	8,1	4,9	3,1
D_{lim} , см	69,6	47,6	39,3	30,0	19,0	15,1	7,6	4,4	3,0
M_{lim} , м ³ /га	386,8	386,8	399,7	396,8	342,5	300,3	164,1	92,3	51,8
Ps_{lim} , т/га	140,0	157,6	160,1	156,3	132,0	115,0	63,6	35,9	20,8
Pf_{lim} , т/га	7,5	9,4	10,2	11,3	12,8	13,3	12,7	11,1	9,2
Pb_{lim} , т/га	20,3	22,6	23,1	23,6	23,1	22,1	17,6	13,0	9,8
P_{alim} , т/га	168	190	193	191	168	150	94	60	40
Pr_{lim} , т/га	38,4	41,8	41,6	40,1	34,9	31,6	20,6	13,5	9,3
P_{lim} , т/га	206	231	235	231	203	182	115	73	49

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(Н) Дальневосточное Приморье									
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. ajanensis</i>)									
H_{lim} , м	52,9	47,1	43,4	37,7	30,4	23,2	12,6	7,6	4,8
D_{lim} , см	101,7	69,6	57,4	43,8	27,8	22,1	11,1	6,4	4,3
M_{lim} , м ³ /га	1294,2	1294,2	1336,7	1327,0	1145,6	1006,9	548,8	307,9	169,8
Ps_{lim} , т/га	487,9	549,7	558,4	544,1	460,9	401,5	221,6	124,8	71,2
Pf_{lim} , т/га	14,2	17,8	19,3	21,4	24,3	25,0	24,0	21,0	17,7
Pb_{lim} , т/га	52,6	58,5	59,9	61,1	59,9	57,0	45,6	33,6	26,0
P_{alim} , т/га	555	626	638	627	545	483	291	179	115
Pr_{lim} , т/га	109,4	119,3	118,6	114,4	99,6	90,0	58,8	38,4	26,0
P_{lim} , т/га	664	745	756	741	645	574	350	218	141
(И) Забайкальская горная провинция									
Южная тайга (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	26,7	23,8	21,9	19,0	15,9	11,7	6,3	3,8	2,4
D_{lim} , см	42,0	28,7	23,7	18,1	11,5	9,1	4,6	2,6	1,8
M_{lim} , м ³ /га	166,0	166,0	171,9	170,4	147,2	128,8	70,7	40,0	22,1
Ps_{lim} , т/га	63,8	71,8	73,2	71,2	60,4	52,3	29,1	16,5	9,4
Pf_{lim} , т/га	5,2	6,4	7,0	7,8	8,8	9,1	8,8	7,6	6,5
Pb_{lim} , т/га	12,1	13,5	13,9	14,1	13,8	13,2	10,6	7,9	6,1
P_{alim} , т/га	81	92	94	93	83	75	48	32	22
Pr_{lim} , т/га	33,8	36,8	36,7	35,3	30,9	27,6	18,2	12,0	8,2
P_{lim} , т/га	115	129	131	128	114	102	67	44	30
(J) Алтае-Саянская горная провинция									
Лесостепь (<i>P. obovata</i>)									
H_{lim} , м	25,7	22,9	21,1	18,3	14,8	11,3	6,1	3,7	2,3
D_{lim} , см	52,6	36,0	29,7	22,7	14,4	11,4	5,7	3,3	2,2
M_{lim} , м ³ /га	380,7	380,7	393,3	391,2	337,5	295,2	160,0	91,5	49,3
Ps_{lim} , т/га	135,2	152,6	154,6	151,2	128,0	111,0	61,0	35,0	19,5
Pf_{lim} , т/га	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,5	2,4	2,2	1,8
Pb_{lim} , т/га	32,9	36,7	37,4	38,3	37,5	35,5	28,2	21,3	16,0
P_{alim} , т/га	170	191	194	192	168	149	92	58	37
Pr_{lim} , т/га	39,6	43,2	43,1	41,5	36,1	32,5	21,1	14,1	9,3
P_{lim} , т/га	209	234	237	233	204	182	113	73	47
(L) Япония, Хоккайдо									
Средняя тайга (<i>P. koraiensis</i>)									
H_{lim} , м	46,7	41,5	38,3	33,3	27,2	20,5	11,1	6,7	4,3
D_{lim} , см	82,9	56,7	46,8	35,7	22,6	18,0	9,0	5,2	3,5
M_{lim} , м ³ /га	1199,4	1199,4	1238,4	1230,3	1061,4	932,0	505,4	287,5	157,0

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
$P_{S_{lim}}$, т/га	521,9	588,2	597,3	582,0	491,6	429,1	235,7	134,5	76,0
$P_{f_{lim}}$, т/га	23,9	29,8	32,4	36,0	40,7	42,0	40,1	35,0	29,7
$P_{b_{lim}}$, т/га	36,2	40,3	41,2	42,0	41,2	39,2	31,1	23,3	17,8
$P_{a_{lim}}$, т/га	582	658	671	660	574	510	307	193	124
$P_{r_{lim}}$, т/га	20,4	22,2	22,1	21,3	18,5	16,7	10,9	7,2	4,8
$P_{u_{lim}}$, т/га	602	680	693	681	592	527	318	200	128
(L) Япония, Хонсю									
Широколиственные леса (<i>P. koraiensis</i>)									
H_{lim} , м	39,4	35,1	32,3	28,1	22,3	17,3	9,3	5,6	3,6
D_{lim} , см	85,4	58,4	48,2	36,8	23,3	18,6	9,3	5,4	3,6
M_{lim} , м ³ /га	936,9	936,9	967,2	961,8	826,3	730,4	396,1	221,6	122,4
$P_{S_{lim}}$, т/га	438,9	494,6	502,1	489,7	413,8	362,0	198,9	111,7	63,8
$P_{f_{lim}}$, т/га	23,0	28,7	31,1	34,6	39,0	40,3	38,7	34,0	28,5
$P_{b_{lim}}$, т/га	39,5	44,0	45,0	45,9	44,7	42,9	34,1	25,0	19,4
$P_{a_{lim}}$, т/га	501	567	578	570	498	445	272	171	112
$P_{r_{lim}}$, т/га	17,6	19,2	19,1	18,4	16,0	14,5	9,4	6,1	4,2
$P_{u_{lim}}$, т/га	519	586	597	589	514	460	281	177	116
(М) Причерноморская провинция (<i>P. orientalis</i>)									
H_{lim} , м	35,9	31,9	29,4	25,6	20,4	15,8	8,5	5,1	3,3
D_{lim} , см	77,1	52,8	43,5	33,2	21,1	16,8	8,4	4,8	3,3
M_{lim} , м ³ /га	538,5	538,5	556,2	551,6	476,4	419,9	227,7	128,6	71,6
$P_{S_{lim}}$, т/га	323,0	364,4	369,3	360,1	305,5	266,6	146,4	83,0	47,8
$P_{f_{lim}}$, т/га	13,3	16,6	18,0	20,0	22,6	23,4	22,4	19,7	16,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	33,0	36,8	37,6	38,4	37,5	35,9	28,5	21,2	16,6
$P_{a_{lim}}$, т/га	369	418	425	418	366	326	197	124	81
$P_{r_{lim}}$, т/га	18,2	19,9	19,8	19,1	16,7	15,0	9,8	6,4	4,4
$P_{u_{lim}}$, т/га	388	438	445	438	382	341	207	130	86
(О) Памиро-Тяньшаньская провинция (<i>P. schrenkiana</i>)									
H_{lim} , м	30,4	27,1	24,9	21,7	17,9	13,3	7,2	4,4	2,8
D_{lim} , см	56,2	38,5	31,7	24,2	15,4	12,2	6,1	3,5	2,4
M_{lim} , м ³ /га	393,5	393,5	406,9	404,0	349,2	306,0	165,9	93,6	52,2
$P_{S_{lim}}$, т/га	126,3	142,4	144,8	140,8	119,7	103,8	57,0	32,3	18,6
$P_{f_{lim}}$, т/га	6,2	7,7	8,4	9,3	10,5	10,9	10,4	9,2	7,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	13,4	14,9	15,3	15,5	15,1	14,5	11,5	8,5	6,7
$P_{a_{lim}}$, т/га	146	165	168	166	145	129	79	50	33
$P_{r_{lim}}$, т/га	14,8	16,1	16,0	15,4	13,4	12,1	7,9	5,2	3,6
$P_{u_{lim}}$, т/га	161	181	184	181	159	141	87	55	37

Приложение 1.3. ПИХТА (ABIES)
Электронный архив УГЛТУ

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Широколиственные леса (<i>A. alba</i>)									
H_{lim} , м	42,0	37,1	33,5	27,9	21,9	14,9	7,0	3,8	2,2
D_{lim} , см	80,0	59,2	49,9	38,3	23,3	17,9	8,0	4,4	2,7
M_{lim} , м ³ /га	1082,0	1082,0	1173,4	1202,0	1024,1	873,6	438,9	222,9	119,3
$P_{S_{lim}}$, т/га	308,2	453,9	498,2	517,3	452,6	392,6	206,2	109,8	61,5
$P_{f_{lim}}$, т/га	8,4	12,3	13,7	15,0	14,9	14,0	9,6	6,5	4,4
$P_{b_{lim}}$, т/га	27,0	33,7	35,3	35,5	31,3	31,1	17,0	10,6	6,8
$P_{a_{lim}}$, т/га	344	500	547	568	499	438	233	127	73
$P_{r_{lim}}$, т/га	46,1	69,0	76,6	81,0	72,7	63,7	33,9	18,0	9,8
$P_{o_{lim}}$, т/га	390	569	624	649	572	501	267	145	82
(С) Восток Русской равнины									
Хвойно-широколиственные леса (<i>A. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	39,4	34,8	31,5	26,2	20,1	14,0	6,6	3,5	2,1
D_{lim} , см	59,5	44,0	37,1	28,5	17,3	13,3	6,0	3,3	2,0
M_{lim} , м ³ /га	733,9	733,9	796,6	816,7	696,6	594,3	296,1	151,4	82,2
$P_{S_{lim}}$, т/га	181,1	266,6	292,7	304,6	266,0	231,2	121,2	64,1	36,3
$P_{f_{lim}}$, т/га	7,6	11,0	12,3	13,4	13,3	12,5	8,6	5,8	3,9
$P_{b_{lim}}$, т/га	16,6	20,7	21,7	21,8	19,3	19,1	10,4	6,4	4,2
$P_{a_{lim}}$, т/га	205	298	327	340	299	263	140	76	44
$P_{r_{lim}}$, т/га	28,3	42,3	47,0	49,7	44,6	39,0	20,6	10,9	6,1
$P_{o_{lim}}$, т/га	234	341	374	390	343	302	161	87	51
(D) Уральская провинция									
Южная тайга (<i>A. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	35,7	31,6	28,5	23,8	18,0	12,7	5,9	3,2	1,9
D_{lim} , см	61,9	45,8	38,6	29,6	18,1	13,9	6,2	3,4	2,1
M_{lim} , м ³ /га	434,6	434,6	471,7	483,0	412,7	352,3	176,0	90,0	48,0
$P_{S_{lim}}$, т/га	122,6	180,5	198,1	205,8	180,1	156,4	82,1	44,0	24,6
$P_{f_{lim}}$, т/га	7,6	11,1	12,4	13,5	13,4	12,6	8,6	5,8	3,9
$P_{b_{lim}}$, т/га	17,7	22,1	23,2	23,3	20,5	20,3	11,0	7,0	4,5
$P_{a_{lim}}$, т/га	148	214	234	243	214	189	102	57	33
$P_{r_{lim}}$, т/га	16,7	25,1	27,8	29,4	26,4	23,1	12,2	6,6	3,6
$P_{o_{lim}}$, т/га	165	239	261	272	240	212	114	63	37
(Е) Западно-Сибирская равнинная провинция									
Средняя тайга (<i>A. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	29,5	26,1	23,5	19,6	15,1	10,5	4,9	2,6	1,6
D_{lim} , см	45,0	33,3	28,0	21,5	13,1	10,1	4,5	2,5	1,5
M_{lim} , м ³ /га	327,4	327,4	355,0	363,4	309,3	265,7	132,7	67,4	36,9
$P_{S_{lim}}$, т/га	83,6	123,1	134,8	140,1	122,7	106,4	56,3	30,0	16,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	4,4	6,4	7,2	7,8	7,8	7,3	5,0	3,4	2,3

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Pb_{lim} , т/га	10,2	12,7	13,3	13,3	11,8	11,6	6,4	4,0	2,6
P_{alim} , т/га	98	142	155	161	142	125	68	37	22
Pr_{lim} , т/га	12,6	18,8	20,9	22,2	19,9	17,4	9,2	4,9	2,8
P_{lim} , т/га	111	161	176	183	162	143	77	42	24
Южная тайга (<i>A. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	32,2	28,4	25,7	21,4	16,5	11,5	5,3	2,9	1,7
D_{lim} , см	46,8	34,6	29,2	22,4	13,6	10,5	4,7	2,6	1,6
M_{lim} , м ³ /га	358,8	358,8	389,2	399,0	338,9	291,4	145,0	74,0	39,9
Ps_{lim} , т/га	125,2	184,3	202,5	210,3	183,6	159,3	84,1	45,0	25,2
Pf_{lim} , т/га	10,1	14,6	16,4	17,8	17,7	16,7	11,5	7,7	5,1
Pb_{lim} , т/га	23,2	29,0	30,4	30,5	26,9	26,6	14,7	9,1	5,9
P_{alim} , т/га	158	228	249	259	228	203	110	62	36
Pr_{lim} , т/га	13,8	20,7	22,9	24,3	21,8	19,0	10,2	5,4	3,0
P_{lim} , т/га	172	249	272	283	250	222	120	67	39
(F) Средне-Сибирская плоскогорная провинция									
Южная тайга (<i>A. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	33,5	29,6	26,8	22,3	17,3	11,9	5,6	3,0	1,8
D_{lim} , см	58,4	43,2	36,4	27,9	17,0	13,1	5,9	3,2	1,9
M_{lim} , м ³ /га	484,2	484,2	525,2	539,0	459,8	391,7	195,0	100,0	53,5
Ps_{lim} , т/га	107,5	158,4	173,8	180,5	158,1	137,1	72,0	38,6	21,0
Pf_{lim} , т/га	5,8	8,4	9,4	10,3	10,2	9,6	6,6	4,4	2,9
Pb_{lim} , т/га	13,1	16,4	17,1	17,2	15,2	15,1	8,2	5,1	3,4
P_{alim} , т/га	126	183	200	208	184	162	87	48	27
Pr_{lim} , т/га	17,6	26,4	29,2	30,9	27,8	24,3	12,8	6,9	3,9
P_{lim} , т/га	144	210	230	239	211	186	100	55	31
(H) Дальний Восток									
Средняя тайга (<i>A. nephrolepis</i>)									
H_{lim} , м	31,9	28,2	25,5	21,2	16,0	11,3	5,3	2,9	1,7
D_{lim} , см	59,7	44,2	37,2	28,6	17,4	13,4	6,0	3,3	2,0
M_{lim} , м ³ /га	365,6	365,6	396,7	406,5	346,0	295,8	148,4	75,5	40,8
Ps_{lim} , т/га	99,9	147,2	161,4	168,0	147,0	127,4	67,1	35,8	20,0
Pf_{lim} , т/га	7,1	10,3	11,5	12,6	12,5	11,7	8,1	5,4	3,7
Pb_{lim} , т/га	19,7	24,7	25,8	25,9	22,8	22,6	12,3	7,8	5,0
P_{alim} , т/га	127	182	199	206	182	162	87	49	29
Pr_{lim} , т/га	28,2	42,3	46,9	49,6	44,5	38,8	20,5	11,1	6,0
P_{lim} , т/га	155	224	246	256	227	200	108	60	35
(H) Дальневосточное Приморье									
Хвойно-широколиственные леса (<i>A. nephrolepis</i>)									
H_{lim} , м	39,4	34,9	31,5	26,2	20,9	14,0	6,6	3,5	2,1
D_{lim} , см	75,6	56,0	47,1	36,2	22,0	17,0	7,6	4,1	2,5
M_{lim} , м ³ /га	653,7	653,7	708,7	726,8	619,6	529,0	262,8	135,6	73,1
Ps_{lim} , т/га	201,9	297,7	326,1	338,9	297,1	257,0	135,1	71,9	40,0

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Pf_{lim} , т/га	9,9	14,4	16,1	17,6	17,5	16,4	11,3	7,6	5,1
Pb_{lim} , т/га	29,2	36,5	38,2	38,4	33,8	33,5	18,3	11,5	7,4
P_{alim} , т/га	241	349	380	395	348	307	165	91	52
Pr_{lim} , т/га	56,2	84,3	93,5	99,0	88,7	77,4	41,2	22,1	12,1
P_{lim} , т/га	297	433	474	494	437	384	206	113	65
(I) Забайкальская горная провинция									
Южная тайга (<i>A. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	27,5	24,4	22,0	18,3	14,6	9,8	4,6	2,5	1,5
D_{lim} , см	49,7	36,8	31,0	23,8	14,5	11,2	5,0	2,7	1,7
M_{lim} , м ³ /га	196,0	196,0	212,5	218,0	185,9	158,5	79,4	40,8	21,4
Ps_{lim} , т/га	61,0	89,9	98,7	102,6	89,8	78,0	41,0	21,8	12,1
Pf_{lim} , т/га	5,7	8,3	9,3	10,2	10,2	9,5	6,6	4,3	3,0
Pb_{lim} , т/га	11,6	14,4	15,2	15,2	13,4	13,3	7,3	4,5	2,9
P_{alim} , т/га	78	113	123	128	113	101	55	31	18
Pr_{lim} , т/га	32,0	47,9	53,3	56,4	50,4	44,3	23,4	12,3	6,9
P_{lim} , т/га	110	161	176	184	164	145	78	43	25
(J) Алтай-Саянская горная провинция									
Южная тайга (<i>A. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	31,2	27,6	24,9	20,7	15,4	11,1	5,2	2,8	1,6
D_{lim} , см	52,8	39,1	32,9	25,3	15,4	11,8	5,3	2,9	1,8
M_{lim} , м ³ /га	369,2	369,2	400,0	409,7	350,3	299,0	149,3	76,4	40,9
Ps_{lim} , т/га	91,9	135,4	148,4	154,5	135,2	117,5	61,7	33,0	18,5
Pf_{lim} , т/га	4,7	6,9	7,7	8,4	8,3	7,8	5,3	3,6	2,5
Pb_{lim} , т/га	11,4	14,2	14,9	14,9	13,2	13,0	7,1	4,4	2,9
P_{alim} , т/га	108	156	171	178	157	138	74	41	24
Pr_{lim} , т/га	14,1	21,1	23,4	24,8	22,3	19,4	10,3	5,5	3,1
P_{lim} , т/га	122	178	194	203	179	158	85	47	27
Лесостепь (<i>A. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	27,4	24,2	21,9	18,2	14,5	9,8	4,6	2,5	1,4
D_{lim} , см	52,5	38,9	32,8	25,1	15,3	11,8	5,3	2,9	1,7
M_{lim} , м ³ /га	326,6	326,6	354,2	362,7	309,4	263,6	132,7	67,1	35,8
Ps_{lim} , т/га	77,8	114,8	126,0	130,6	114,4	99,3	52,1	27,8	15,1
Pf_{lim} , т/га	1,4	2,0	2,2	2,4	2,4	2,2	1,5	1,0	0,7
Pb_{lim} , т/га	23,8	29,7	31,1	31,3	27,6	27,3	15,0	9,3	6,1
P_{alim} , т/га	103	146	159	164	144	129	69	38	22
Pr_{lim} , т/га	12,5	18,6	20,7	21,9	19,7	17,1	9,2	4,9	2,7
P_{lim} , т/га	115	165	180	186	164	146	78	43	25
(L) Япония, Хоккайдо									
Средняя тайга (<i>A. sachalinensis</i>)									
H_{lim} , м	32,9	29,1	26,3	21,9	16,8	11,7	5,5	3,0	1,7
D_{lim} , см	71,6	53,0	44,6	34,3	20,9	16,1	7,2	3,9	2,4

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
M_{lim} , м³/га	481,4	481,4	522,1	535,4	455,4	389,4	193,5	98,8	53,8
Ps_{lim} , т/га	138,6	204,1	223,8	232,6	203,6	176,3	92,7	49,4	27,8
Pf_{lim} , т/га	9,3	13,5	15,1	16,5	16,4	15,4	10,6	7,1	4,8
Pb_{lim} , т/га	16,6	20,7	21,7	21,8	19,2	19,0	10,4	6,5	4,2
P_{alim} , т/га	164	238	261	271	239	211	114	63	37
Pr_{lim} , т/га	18,4	27,5	30,5	32,3	29,0	25,3	13,5	7,2	4,0
P_{lim} , т/га	183	266	291	303	268	236	127	70	41
(L) Япония, Хонсю									
Хвойно-широколиственные леса (<i>A. veitchii</i>)									
H_{lim} , м	40,9	36,2	32,7	27,2	22,1	14,6	6,8	3,7	2,2
D_{lim} , см	77,1	57,0	48,1	36,9	22,5	17,3	7,7	4,2	2,6
M_{lim} , м³/га	883,0	883,0	958,4	983,3	837,4	714,7	357,9	181,5	97,2
Ps_{lim} , т/га	228,2	335,9	369,0	383,0	335,6	291,4	152,6	81,4	45,5
Pf_{lim} , т/га	12,3	17,9	20,0	21,8	21,7	20,3	14,0	9,5	6,4
Pb_{lim} , т/га	23,7	29,5	30,9	31,1	27,4	27,2	14,9	9,2	5,9
P_{alim} , т/га	264	383	420	436	385	339	181	100	58
Pr_{lim} , т/га	50,8	76,0	84,3	89,5	80,0	70,2	37,2	19,8	10,8
P_{lim} , т/га	315	459	504	525	465	409	219	120	69
(L) Япония, Хонсю									
Субтропики (<i>A. firma</i>)									
H_{lim} , м	52,4	46,4	41,9	34,9	26,9	18,7	8,7	4,7	2,8
D_{lim} , см	72,7	53,8	45,3	34,8	21,2	16,3	7,3	4,0	2,4
M_{lim} , м³/га	1036,2	1036,2	1124,3	1152,0	979,9	837,3	416,2	213,1	115,8
Ps_{lim} , т/га	305,2	449,6	493,0	512,1	448,3	389,4	204,9	108,8	60,4
Pf_{lim} , т/га	10,1	14,7	16,4	17,9	17,9	16,8	11,6	7,8	5,3
Pb_{lim} , т/га	46,3	57,8	60,6	60,9	53,7	53,1	29,2	18,0	11,6
P_{alim} , т/га	362	522	570	591	520	459	246	135	77
Pr_{lim} , т/га	88,4	132,4	147,0	155,5	139,3	121,6	64,9	34,3	18,9
P_{lim} , т/га	450	654	717	746	659	581	311	169	96
(M) Причерноморская провинция (<i>A. nordmanniana</i>)									
H_{lim} , м	47,4	41,9	37,8	31,5	24,1	16,9	7,9	4,2	2,5
D_{lim} , см	101,5	75,1	63,3	48,6	29,6	22,8	10,2	5,6	3,4
M_{lim} , м³/га	774,9	774,9	840,4	862,5	735,2	628,1	313,7	159,1	85,4
Ps_{lim} , т/га	236,4	348,2	382,2	397,3	347,8	301,7	158,6	84,0	46,9
Pf_{lim} , т/га	9,9	14,3	16,1	17,5	17,4	16,3	11,2	7,6	5,2
Pb_{lim} , т/га	33,5	41,8	43,8	44,0	38,7	38,5	21,0	13,1	8,5
P_{alim} , т/га	280	404	442	459	404	356	191	105	61
Pr_{lim} , т/га	59,2	88,7	98,4	104,1	93,4	81,6	43,4	23,1	12,8
P_{lim} , т/га	339	493	540	563	497	438	234	128	73

**Приложение 1.4. СОСНА (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. PINASTER*, *P. NIGRA*, *P. DENSIFLORA*,
P. SOSNOWSKII), ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ**

Электронный архив УГЛТУ

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Широколиственные леса (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	34,9	32,4	30,4	27,1	21,0	18,0	11,0	7,3	5,2
D_{lim} , см	60,8	46,4	39,3	30,2	18,5	14,4	6,7	3,9	2,5
M_{lim} , м ³ /га	598,0	598,0	664,0	709,3	671,0	612,6	395,9	256,8	173,9
Ps_{lim} , т/га	201,5	293,2	323,5	343,5	323,1	294,4	191,8	126,3	85,3
Pf_{lim} , т/га	3,4	4,3	5,6	6,4	6,6	7,1	7,0	6,7	6,1
Pb_{lim} , т/га	28,9	28,6	27,9	21,6	18,8	18,7	8,2	7,1	4,4
P_{alim} , т/га	234	326	357	371	349	320	207	140	96
Pr_{lim} , т/га	79,3	115,7	128,5	139,2	138,4	131,3	98,1	74,1	56,0
P_{tlim} , т/га	313	442	486	511	487	451	305	214	152
Широколиственные леса (<i>P. pinaster</i>)									
H_{lim} , м	38,3	35,6	33,4	29,7	23,0	19,8	12,0	8,0	5,7
D_{lim} , см	83,8	63,4	53,5	41,0	25,0	19,3	9,0	5,2	3,3
M_{lim} , м ³ /га	602,6	602,6	667,7	710,5	667,4	607,2	388,1	252,4	169,4
Ps_{lim} , т/га	284,9	410,7	451,8	477,3	446,3	406,8	261,4	170,2	115,6
Pf_{lim} , т/га	5,3	6,7	8,7	9,9	10,3	10,9	10,6	10,2	9,1
Pb_{lim} , т/га	36,4	35,8	34,8	26,5	23,0	23,0	9,8	8,5	5,2
P_{alim} , т/га	327	453	495	514	480	441	282	189	130
Pr_{lim} , т/га	71,9	103,7	114,9	123,6	121,8	115,3	85,9	64,1	48,0
P_{tlim} , т/га	399	557	610	637	601	556	368	253	178
Широколиственные леса (<i>P. nigra</i>)									
H_{lim} , м	20,1	18,7	17,5	15,6	12,1	10,4	6,3	4,2	3,0
D_{lim} , см	44,8	35,8	30,9	24,4	15,5	12,2	5,9	3,5	2,3
M_{lim} , м ³ /га	80,8	80,8	91,7	100,7	98,7	91,7	61,2	41,0	28,1
Ps_{lim} , т/га	26,5	40,3	45,4	49,4	48,2	44,7	30,0	20,3	14,0
Pf_{lim} , т/га	0,9	1,2	1,6	1,9	2,0	2,2	2,2	2,2	2,0
Pb_{lim} , т/га	7,0	7,1	7,1	6,0	5,3	5,3	2,5	2,2	1,4
P_{alim} , т/га	34	49	54	57	55	52	35	25	17
Pr_{lim} , т/га	6,5	10,0	11,4	12,8	13,4	12,9	10,1	7,8	6,1
P_{tlim} , т/га	41	59	66	70	69	65	45	33	24
(В) Скандинавско-Русская провинция									
Средняя тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	31,7	29,4	27,6	24,6	19,0	16,4	10,0	6,6	4,7
D_{lim} , см	49,5	38,1	32,3	25,0	15,4	12,0	5,6	3,3	2,1
M_{lim} , м ³ /га	408,2	408,2	455,6	488,9	465,5	425,3	277,6	178,8	122,1
Ps_{lim} , т/га	140,4	205,9	227,7	243,4	230,2	211,0	137,2	90,6	61,3
Pf_{lim} , т/га	2,6	3,3	4,4	5,0	5,2	5,6	5,6	5,4	4,9
Pb_{lim} , т/га	15,4	15,3	14,9	11,7	10,2	10,1	4,5	3,9	2,4
P_{alim} , т/га	158	224	247	260	246	227	147	100	69
Pr_{lim} , т/га	24,9	36,7	41,0	44,7	44,8	42,7	31,9	24,5	18,3
P_{tlim} , т/га	183	261	288	305	290	269	179	124	87

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Южная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	29,6	27,5	25,8	22,9	17,8	15,3	9,3	6,2	4,4
D_{lim} , см	49,4	38,2	32,6	25,3	15,6	12,2	5,8	3,3	2,2
M_{lim} , м ³ /га	338,4	338,4	378,0	408,0	388,9	356,6	233,1	152,1	104,1
$P_{s_{lim}}$, т/га	114,4	168,7	187,1	200,4	190,4	175,1	114,6	75,0	52,3
$P_{f_{lim}}$, т/га	3,1	4,0	5,3	6,1	6,4	6,8	6,8	6,6	5,9
$P_{b_{lim}}$, т/га	16,3	16,3	16,0	12,7	11,1	11,0	4,9	4,3	2,7
$P_{a_{lim}}$, т/га	134	189	208	219	208	193	126	86	61
$P_{r_{lim}}$, т/га	24,8	36,8	41,2	45,2	45,4	43,5	33,3	24,4	19,4
P_{lim} , т/га	159	226	250	264	253	236	160	110	80
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	35,9	33,3	31,3	27,8	21,5	18,6	11,3	7,5	5,3
D_{lim} , см	58,4	44,5	37,6	28,9	17,7	13,7	6,4	3,7	2,4
M_{lim} , м ³ /га	534,6	534,6	592,7	633,3	595,6	543,6	349,6	227,3	154,1
$P_{s_{lim}}$, т/га	172,1	249,9	275,3	292,4	274,3	250,3	162,2	106,6	72,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	2,7	3,4	4,5	5,1	5,3	5,7	5,5	5,4	4,7
$P_{b_{lim}}$, т/га	18,7	18,5	18,0	13,8	12,0	11,9	5,2	4,5	2,8
$P_{a_{lim}}$, т/га	193	272	298	311	292	268	173	116	80
$P_{r_{lim}}$, т/га	45,1	65,6	72,8	78,9	78,2	74,0	55,4	41,5	31,9
P_{lim} , т/га	239	337	371	390	370	342	228	158	112
Широколиственные леса (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	35,6	33,1	31,0	27,6	21,4	18,4	11,2	7,5	5,3
D_{lim} , см	57,9	44,1	37,3	28,7	17,5	13,6	6,3	3,7	2,4
M_{lim} , м ³ /га	555,8	555,8	616,9	659,9	621,5	566,3	366,9	236,3	159,1
$P_{s_{lim}}$, т/га	186,8	271,0	298,8	316,9	297,5	272,0	175,5	115,6	78,9
$P_{f_{lim}}$, т/га	3,1	4,0	5,2	5,9	6,2	6,6	6,5	6,2	5,5
$P_{b_{lim}}$, т/га	19,1	19,0	18,4	14,2	12,3	12,3	5,3	4,6	2,8
$P_{a_{lim}}$, т/га	209	294	322	337	316	291	187	126	87
$P_{r_{lim}}$, т/га	44,3	64,3	71,5	77,4	76,6	72,8	53,9	41,1	31,6
P_{lim} , т/га	253	358	394	414	393	364	241	168	119
Степь (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	24,5	22,8	21,4	19,0	14,7	12,7	7,7	5,1	3,6
D_{lim} , см	46,0	36,2	31,0	24,3	15,2	11,9	5,7	3,3	2,2
M_{lim} , м ³ /га	386,0	386,0	434,1	471,9	456,5	422,2	279,1	183,4	125,5
$P_{s_{lim}}$, т/га	115,2	172,6	192,8	208,7	200,4	184,8	123,1	81,0	56,5
$P_{f_{lim}}$, т/га	3,1	4,0	5,5	6,4	6,7	7,3	7,3	7,1	6,4
$P_{b_{lim}}$, т/га	8,4	8,4	8,3	6,8	6,0	6,0	2,7	2,4	1,5
$P_{a_{lim}}$, т/га	127	185	207	222	213	198	133	90	64
$P_{r_{lim}}$, т/га	24,3	36,8	41,7	46,2	47,2	45,3	35,1	26,3	20,9
P_{lim} , т/га	151	222	248	268	260	243	168	117	85

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(С) Восток Русской равнины									
Северная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	20,3	18,9	17,7	15,8	12,2	10,5	6,4	4,3	3,0
D_{lim} , см	34,8	27,8	24,0	18,9	12,0	9,5	4,6	2,7	1,8
M_{lim} , м ³ /га	166,0	166,0	188,1	206,6	202,1	187,7	126,4	84,2	57,6
$P_{s_{lim}}$, т/га	53,9	82,0	92,2	100,4	97,8	90,6	61,4	40,9	28,5
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,7	2,2	3,0	3,5	3,7	4,1	4,2	4,1	3,7
$P_{b_{lim}}$, т/га	9,5	9,7	9,7	8,1	7,2	7,2	3,4	3,0	1,9
P_{alim} , т/га	65	94	105	112	109	102	69	48	34
$P_{r_{lim}}$, т/га	12,0	18,6	21,2	23,7	24,7	24,0	18,9	14,4	11,5
P_{ulim} , т/га	77	112	126	136	133	126	88	62	46
Средняя тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	25,3	23,5	22,1	19,7	15,2	13,1	8,0	5,3	3,8
D_{lim} , см	38,6	30,3	25,9	20,3	12,7	9,9	4,7	2,8	1,8
M_{lim} , м ³ /га	258,4	258,4	290,3	315,2	304,3	281,1	185,4	120,4	83,3
$P_{s_{lim}}$, т/га	94,9	141,8	158,1	170,6	163,9	150,9	99,6	66,5	45,5
$P_{f_{lim}}$, т/га	2,3	3,0	4,0	4,7	4,9	5,3	5,4	5,2	4,9
$P_{b_{lim}}$, т/га	11,2	11,3	11,1	9,0	7,9	7,9	3,6	3,1	2,0
P_{alim} , т/га	108	156	173	184	177	164	109	75	52
$P_{r_{lim}}$, т/га	10,7	16,1	18,2	20,1	20,6	19,6	15,0	11,7	8,9
P_{ulim} , т/га	119	172	191	204	197	184	124	87	61
Южная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	33,8	31,4	29,5	26,2	20,3	17,5	10,6	7,1	5,0
D_{lim} , см	52,0	39,8	33,7	26,0	16,0	12,4	5,8	3,3	2,2
M_{lim} , м ³ /га	457,6	457,6	508,4	545,5	515,4	471,3	306,3	197,7	135,3
$P_{s_{lim}}$, т/га	140,7	205,2	226,5	241,5	226,7	208,0	135,5	87,7	61,1
$P_{f_{lim}}$, т/га	3,1	3,9	5,2	5,9	6,2	6,6	6,5	6,2	5,5
$P_{b_{lim}}$, т/га	18,9	18,7	18,2	14,2	12,4	12,2	5,3	4,6	3,0
P_{alim} , т/га	163	228	250	262	245	227	147	99	70
$P_{r_{lim}}$, т/га	31,7	46,3	51,5	56,1	55,8	53,1	39,8	29,2	23,2
P_{ulim} , т/га	194	274	301	318	301	280	187	128	93
Широколиственные леса (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	23,7	22,0	20,6	18,4	14,2	12,3	7,4	5,0	3,5
D_{lim} , см	44,2	34,8	29,9	23,4	14,7	11,5	5,5	3,2	2,1
M_{lim} , м ³ /га	326,4	326,4	367,2	401,5	388,4	359,0	238,5	156,5	106,9
$P_{s_{lim}}$, т/га	98,6	147,9	165,5	179,1	172,5	159,0	105,8	69,9	48,2
$P_{f_{lim}}$, т/га	2,6	3,4	4,6	5,3	5,6	6,1	6,2	6,0	5,6
$P_{b_{lim}}$, т/га	17,4	17,6	17,4	14,2	12,7	12,5	5,8	5,1	3,2
P_{alim} , т/га	119	169	187	199	191	178	118	81	57
$P_{r_{lim}}$, т/га	9,9	15,0	17,0	18,9	19,4	18,6	14,4	10,8	8,5
P_{ulim} , т/га	128	184	204	218	210	196	132	92	65

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Степь (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	23,1	21,5	20,1	17,9	13,9	11,9	7,3	4,8	3,4
D_{lim} , см	50,4	39,8	34,2	26,9	16,9	13,3	6,4	3,7	2,4
M_{lim} , м ³ /га	262,0	262,0	295,6	322,6	313,3	289,1	191,7	127,0	85,7
Ps_{lim} , т/га	81,5	122,6	137,3	148,7	143,8	132,5	88,8	58,6	39,9
Pf_{lim} , т/га	3,3	4,2	5,8	6,8	7,1	7,8	7,8	7,6	7,0
Pb_{lim} , т/га	18,3	18,5	18,3	15,0	13,3	13,2	6,1	5,4	3,4
Pa_{lim} , т/га	103	145	161	171	164	153	103	72	50
Pr_{lim} , т/га	16,4	25,1	28,5	31,7	32,7	31,5	24,6	18,4	14,1
P_{lim} , т/га	119	170	190	202	197	185	127	90	64
(D) Уральская провинция									
Северная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	23,5	21,9	20,5	18,3	14,1	12,2	7,4	4,9	3,5
D_{lim} , см	39,3	31,0	26,6	20,9	13,1	10,3	4,9	2,9	1,9
M_{lim} , м ³ /га	171,2	171,2	193,0	210,2	203,9	188,2	125,2	83,0	56,8
Ps_{lim} , т/га	54,1	81,4	91,0	98,4	95,0	87,8	58,2	39,1	26,9
Pf_{lim} , т/га	2,7	3,5	4,8	5,6	5,8	6,4	6,5	6,3	5,7
Pb_{lim} , т/га	12,0	12,1	12,0	9,8	8,7	8,7	4,0	3,5	2,2
Pa_{lim} , т/га	69	97	108	114	110	103	69	49	35
Pr_{lim} , т/га	19,1	29,2	33,1	36,7	37,7	36,4	27,9	21,5	16,8
P_{lim} , т/га	88	126	141	150	147	139	97	70	52
Средняя тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	22,7	21,1	19,8	17,6	13,6	11,7	7,1	4,8	3,4
D_{lim} , см	39,7	31,5	27,1	21,2	13,4	10,5	5,0	3,0	1,9
M_{lim} , м ³ /га	216,5	216,5	244,6	267,4	260,4	241,0	159,5	104,3	71,1
Ps_{lim} , т/га	64,6	97,6	109,2	118,3	114,8	105,9	70,2	47,2	31,8
Pf_{lim} , т/га	2,7	3,5	4,8	5,6	5,9	6,4	6,5	6,3	5,8
Pb_{lim} , т/га	12,2	12,3	12,2	10,1	9,0	8,9	4,1	3,6	2,3
Pa_{lim} , т/га	79	113	126	134	130	121	81	57	40
Pr_{lim} , т/га	20,2	30,9	35,1	39,1	40,4	38,8	29,8	23,4	17,5
P_{lim} , т/га	100	144	161	173	170	160	111	81	57
Южная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	31,3	29,1	27,3	24,3	18,8	16,2	9,8	6,6	4,6
D_{lim} , см	51,7	39,8	33,8	26,2	16,2	12,6	5,9	3,4	2,2
M_{lim} , м ³ /га	435,6	435,6	485,4	523,4	497,0	455,8	296,8	194,1	130,7
Ps_{lim} , т/га	130,7	191,7	212,2	226,6	214,4	196,5	128,8	84,3	57,3
Pf_{lim} , т/га	2,8	3,6	4,8	5,5	5,7	6,1	6,1	5,9	5,3
Pb_{lim} , т/га	18,4	18,3	17,9	14,0	12,3	12,2	5,5	4,8	3,0
Pa_{lim} , т/га	152	214	235	246	232	215	140	95	66
Pr_{lim} , т/га	37,0	54,5	60,9	66,6	66,8	63,7	48,0	35,7	27,4
P_{lim} , т/га	189	268	296	313	299	279	188	131	93

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(Е) Западно-Сибирская равнинная провинция									
Средняя тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	21,2	19,7	18,5	16,5	12,8	11,0	6,7	4,5	3,1
D_{lim} , см	37,4	29,7	25,6	20,2	12,8	10,0	4,8	2,8	1,9
M_{lim} , м ³ /га	189,6	189,6	214,8	235,6	230,4	212,6	141,8	93,3	65,0
$P_{s_{lim}}$, т/га	53,2	80,5	90,4	98,5	95,8	88,1	58,9	39,0	27,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	2,6	3,3	4,6	5,4	5,7	6,2	6,4	6,2	5,6
$P_{b_{lim}}$, т/га	8,0	8,1	8,1	6,7	6,0	5,9	2,8	2,5	1,6
P_{alim} , т/га	64	92	103	111	107	100	68	48	35
$P_{r_{lim}}$, т/га	10,3	15,8	18,1	20,2	21,0	20,1	15,6	11,8	9,6
P_{tlim} , т/га	74	108	121	131	128	120	84	59	45
Южная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	31,4	29,2	27,4	24,3	18,8	16,2	9,9	6,6	4,6
D_{lim} , см	51,9	40,0	34,0	26,3	16,2	12,6	5,9	3,4	2,2
M_{lim} , м ³ /га	454,8	454,8	507,3	545,7	518,8	473,7	308,2	201,6	135,7
$P_{s_{lim}}$, т/га	152,7	223,9	247,9	264,8	250,6	229,8	149,9	98,2	66,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	2,8	3,6	4,8	5,6	5,8	6,2	6,1	5,9	5,3
$P_{b_{lim}}$, т/га	19,3	19,2	18,7	14,8	12,9	12,8	5,7	5,0	3,1
P_{alim} , т/га	175	247	271	285	269	249	162	109	75
$P_{r_{lim}}$, т/га	36,7	54,1	60,5	66,0	66,1	63,0	47,3	35,3	27,0
P_{tlim} , т/га	212	301	332	351	335	312	209	144	102
Лесостепь (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	34,1	31,7	29,7	26,5	20,5	17,6	10,7	7,1	5,0
D_{lim} , см	53,5	40,9	34,7	26,7	16,4	12,7	5,9	3,4	2,2
M_{lim} , м ³ /га	617,8	617,8	686,7	734,7	696,5	635,0	411,4	267,2	179,9
$P_{s_{lim}}$, т/га	178,0	259,5	286,1	304,9	286,8	261,9	169,5	111,0	75,4
$P_{f_{lim}}$, т/га	4,0	5,1	6,7	7,7	7,9	8,4	8,3	8,0	7,2
$P_{b_{lim}}$, т/га	19,2	19,0	18,5	14,4	12,5	12,5	5,4	4,7	3,0
P_{alim} , т/га	201	284	311	327	307	283	183	124	86
$P_{r_{lim}}$, т/га	41,9	61,3	68,2	74,1	73,8	69,8	51,9	38,7	29,6
P_{tlim} , т/га	243	345	380	401	381	353	235	162	115
Степь (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	32,8	30,5	28,6	25,5	19,7	17,0	10,3	6,9	4,9
D_{lim} , см	56,8	43,5	37,0	28,5	17,5	13,6	6,4	3,7	2,4
M_{lim} , м ³ /га	493,3	493,3	549,2	588,4	558,1	510,4	329,5	216,8	146,8
$P_{s_{lim}}$, т/га	159,1	232,3	256,8	273,9	258,3	236,1	154,1	101,7	69,2
$P_{f_{lim}}$, т/га	3,1	3,9	5,1	5,9	6,1	6,5	6,5	6,3	5,5
$P_{b_{lim}}$, т/га	16,9	16,8	16,4	12,8	11,2	11,2	4,9	4,3	2,6
P_{alim} , т/га	179	253	278	293	276	254	165	112	77
$P_{r_{lim}}$, т/га	32,6	47,8	53,4	58,0	57,9	55,0	41,6	31,1	23,9
P_{tlim} , т/га	212	301	332	351	334	309	207	143	101

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(F) Средне-Сибирская плоскогорная провинция									
Северная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	18,8	17,5	16,4	14,6	11,3	9,7	5,9	3,9	2,8
D_{lim} , см	33,0	26,6	23,0	18,2	11,6	9,2	4,5	2,6	1,7
M_{lim} , м ³ /га	151,7	151,7	172,6	190,2	187,7	173,7	116,9	77,5	52,7
$P_{s_{lim}}$, т/га	47,5	72,9	82,2	89,9	87,8	81,9	55,6	36,6	25,2
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,7	2,3	3,2	3,7	3,9	4,4	4,5	4,4	4,1
$P_{b_{lim}}$, т/га	8,9	9,2	9,1	7,7	6,9	6,9	3,3	2,9	1,9
$P_{a_{lim}}$, т/га	58	84	94	101	99	93	63	44	31
$P_{r_{lim}}$, т/га	12,8	20,0	23,0	25,8	27,0	26,3	21,0	15,7	12,2
$P_{u_{lim}}$, т/га	71	104	117	127	126	119	84	60	43
Средняя тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	26,7	24,8	23,3	20,7	16,0	13,8	8,4	5,6	4,0
D_{lim} , см	41,8	32,6	27,9	21,7	13,5	10,6	5,0	2,9	1,9
M_{lim} , м ³ /га	275,4	275,4	308,5	334,8	321,2	296,2	195,2	127,6	87,0
$P_{s_{lim}}$, т/га	90,7	134,8	149,9	161,6	154,3	142,5	93,6	61,7	42,4
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,9	2,4	3,2	3,7	3,9	4,2	4,2	4,1	3,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	10,5	10,5	10,4	8,3	7,4	7,3	3,3	2,9	1,8
$P_{a_{lim}}$, т/га	103	148	163	174	166	154	101	69	48
$P_{r_{lim}}$, т/га	15,5	23,2	26,1	28,8	29,2	28,1	21,4	16,1	12,5
$P_{u_{lim}}$, т/га	118	171	190	202	195	182	122	85	60
Южная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	29,5	27,5	25,8	22,9	17,7	15,3	9,3	6,2	4,4
D_{lim} , см	46,1	35,7	30,4	23,6	14,6	11,4	5,4	3,1	2,0
M_{lim} , м ³ /га	343,1	343,1	383,5	414,1	395,4	362,1	236,2	155,6	104,4
$P_{s_{lim}}$, т/га	97,2	143,4	159,1	170,2	161,7	148,2	97,8	64,1	43,4
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,8	2,3	3,1	3,6	3,7	4,0	4,0	3,9	3,5
$P_{b_{lim}}$, т/га	10,9	10,9	10,7	8,4	7,4	7,3	3,3	2,9	1,8
$P_{a_{lim}}$, т/га	110	157	173	182	173	160	105	71	49
$P_{r_{lim}}$, т/га	31,7	47,1	52,8	57,8	58,3	55,7	42,6	31,6	24,1
$P_{u_{lim}}$, т/га	142	204	226	240	231	215	148	102	73
(G) Восточно-Сибирская горноравнинная провинция									
Средняя тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	16,6	15,4	14,5	12,9	10,0	8,6	5,2	3,5	2,5
D_{lim} , см	32,0	26,0	22,6	18,0	11,6	9,2	4,5	2,7	1,7
M_{lim} , м ³ /га	128,6	128,6	147,0	163,0	161,9	150,6	102,5	68,6	45,7
$P_{s_{lim}}$, т/га	38,4	59,4	67,3	74,0	73,1	68,2	46,5	31,5	20,9
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,8	2,3	3,3	3,9	4,1	4,6	4,8	4,6	4,3
$P_{b_{lim}}$, т/га	7,1	7,3	7,3	6,3	5,7	5,7	2,8	2,5	1,6
$P_{a_{lim}}$, т/га	47	69	78	84	83	78	54	39	27
$P_{r_{lim}}$, т/га	9,0	14,3	16,5	18,7	19,8	19,3	15,4	12,1	8,9
$P_{u_{lim}}$, т/га	56	83	94	103	103	98	69	51	36

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(I) Забайкальская горная провинция									
Средняя тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	20,4	19,0	17,8	15,9	12,3	10,6	6,4	4,3	3,0
D_{lim} , см	30,5	24,3	21,0	16,6	10,5	8,3	4,0	2,4	1,5
M_{lim} , м ³ /га	125,7	125,7	142,7	156,7	153,1	142,0	95,8	62,6	42,1
Ps_{lim} , т/га	49,2	74,7	84,1	91,5	89,1	82,9	55,6	37,4	24,9
Pf_{lim} , т/га	1,4	1,8	2,5	3,0	3,1	3,5	3,5	3,4	3,2
Pb_{lim} , т/га	5,8	5,9	5,9	4,9	4,4	4,4	2,1	1,8	1,2
P_{alim} , т/га	56	82	93	99	97	91	61	43	29
Pr_{lim} , т/га	7,6	11,7	13,4	15,0	15,6	15,1	11,8	9,3	6,8
P_{tim} , т/га	64	94	106	114	112	106	73	52	36
Южная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	28,8	26,8	25,1	22,3	17,3	14,9	9,0	6,0	4,3
D_{lim} , см	54,5	42,3	36,0	28,0	17,4	13,5	6,4	3,7	2,4
M_{lim} , м ³ /га	257,1	257,1	287,2	310,7	296,6	273,4	178,8	117,3	79,2
Ps_{lim} , т/га	75,5	111,6	123,8	132,7	126,2	116,0	76,5	50,3	34,2
Pf_{lim} , т/га	2,0	2,6	3,4	4,0	4,1	4,5	4,5	4,3	3,9
Pb_{lim} , т/га	15,5	15,5	15,2	12,0	10,6	10,6	4,7	4,1	2,5
P_{alim} , т/га	93	130	142	149	141	131	86	59	41
Pr_{lim} , т/га	23,0	34,2	38,3	42,1	42,5	40,5	30,9	23,1	17,8
P_{tim} , т/га	116	164	181	191	183	172	117	82	58
(J) Алтай-Саянская горная провинция									
Южная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	24,7	22,9	21,5	19,1	14,8	12,8	7,8	5,2	3,7
D_{lim} , см	48,4	38,0	32,6	25,5	16,0	12,5	6,0	3,5	2,3
M_{lim} , м ³ /га	346,0	346,0	388,6	422,8	409,7	376,9	248,2	165,0	112,0
Ps_{lim} , т/га	100,1	149,7	167,3	180,8	173,7	160,0	106,5	70,9	48,8
Pf_{lim} , т/га	1,7	2,3	3,1	3,6	3,7	4,0	4,1	4,0	3,6
Pb_{lim} , т/га	11,3	11,4	11,2	9,1	8,1	8,0	3,7	3,2	2,0
P_{alim} , т/га	113	163	182	193	186	172	114	78	54
Pr_{lim} , т/га	24,6	37,3	42,2	46,8	47,9	45,9	35,6	27,0	21,1
P_{tim} , т/га	138	201	224	240	233	218	150	105	75
Лесостепь (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	33,8	31,4	29,5	26,2	20,3	17,5	10,6	7,1	5,0
D_{lim} , см	56,6	43,3	36,7	28,3	17,4	13,5	6,3	3,6	2,4
M_{lim} , м ³ /га	530,4	530,4	589,0	631,6	596,4	545,6	353,8	229,4	154,5
Ps_{lim} , т/га	160,7	234,4	258,7	275,7	259,6	236,4	154,4	100,3	69,4

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Pf_{lim} , т/га	3,4	4,3	5,7	6,5	6,7	7,2	7,1	6,8	6,0
Pb_{lim} , т/га	19,3	19,1	18,7	14,4	12,6	12,5	5,5	4,7	2,9
P_{alim} , т/га	183	258	283	297	279	256	167	112	78
Pr_{lim} , т/га	30,7	45,0	50,0	54,4	54,3	51,4	38,5	28,4	22,6
P_{lim} , т/га	214	303	333	351	333	307	206	140	101
(L) Япония, Хонсю									
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. densiflora</i>)									
H_{lim} , м	32,6	30,3	28,4	25,3	19,6	16,9	10,3	6,8	4,8
D_{lim} , см	63,6	48,8	41,4	32,0	19,7	15,3	7,2	4,1	2,7
M_{lim} , м ³ /га	563,5	563,5	626,8	673,6	637,1	583,5	378,5	246,4	168,4
Ps_{lim} , т/га	195,7	286,3	316,3	337,0	318,5	291,7	190,4	123,8	85,5
Pf_{lim} , т/га	3,0	3,8	5,1	5,8	6,1	6,5	6,4	6,1	5,4
Pb_{lim} , т/га	31,0	30,8	30,2	23,5	20,6	20,4	8,9	7,7	4,9
P_{alim} , т/га	230	321	352	366	345	319	206	138	96
Pr_{lim} , т/га	64,2	94,4	105,1	114,4	114,5	108,9	82,3	60,4	47,3
P_{lim} , т/га	294	415	457	481	460	427	288	198	143
(М) Причерноморская провинция									
Субтропики (<i>P. sosnowskii</i>)									
H_{lim} , м	23,2	21,6	20,2	18,0	13,9	12,0	7,3	4,9	3,4
D_{lim} , см	51,9	41,0	35,2	27,6	17,4	13,6	6,5	3,8	2,5
M_{lim} , м ³ /га	296,1	296,1	333,7	364,1	354,5	327,6	217,5	143,4	97,9
Ps_{lim} , т/га	140,9	212,0	237,2	257,0	248,1	228,9	152,2	101,1	69,8
Pf_{lim} , т/га	3,1	4,1	5,5	6,5	6,8	7,4	7,5	7,3	6,6
Pb_{lim} , т/га	40,5	41,1	40,6	33,3	29,6	29,4	13,6	11,8	7,5
P_{alim} , т/га	184	257	283	297	284	266	173	120	84
Pr_{lim} , т/га	39,8	60,6	68,8	76,5	78,9	75,6	58,3	44,3	34,7
P_{lim} , т/га	224	318	352	373	363	341	232	164	119
Субтропики (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	31,6	29,3	27,5	24,5	19,0	16,3	9,9	6,6	4,7
D_{lim} , см	70,5	54,3	46,1	35,7	22,0	17,1	8,0	4,7	3,0
M_{lim} , м ³ /га	782,5	782,5	871,9	936,2	889,1	814,9	529,0	345,2	233,5
Ps_{lim} , т/га	258,1	378,7	419,1	447,2	423,3	387,9	252,9	166,5	113,1
Pf_{lim} , т/га	7,3	9,3	12,3	14,1	14,7	15,8	15,7	15,2	13,7
Pb_{lim} , т/га	61,2	61,0	59,4	46,7	40,7	40,7	17,8	15,5	9,8
P_{alim} , т/га	327	449	491	508	479	444	286	197	137
Pr_{lim} , т/га	83,8	123,5	137,9	150,4	151,0	143,6	107,8	82,3	61,9
P_{lim} , т/га	410	572	629	658	630	588	394	279	198

**Приложение 1.5. СОСНА (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. NIGRA*, *P. THUNBERGII*, *P. STROBUS*,
P. DENSIFLORA, *P. TAEDA*, *P. ELLIOTTII*, *P. PALLASIANA*, *P. PITYUSA*, *P. PINASTER*,
P. HALEPENSIS), КУЛЬТУРЫ**

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	24,2	20,3	18,3	15,3	11,0	9,1	5,1	3,2	2,2
D_{lim} , см	52,4	33,5	26,8	19,5	11,4	8,8	4,1	2,3	1,5
M_{lim} , м ³ /га	192,6	194,0	191,3	179,8	144,5	124,4	71,0	42,6	28,9
Ps_{lim} , т/га	84,1	89,5	87,8	81,6	65,2	56,9	32,7	19,9	13,2
Pf_{lim} , т/га	5,4	5,4	5,5	5,7	5,8	6,1	6,7	6,8	6,4
Pb_{lim} , т/га	14,9	14,5	14,0	10,9	9,5	7,8	4,8	4,3	2,6
P_{alim} , т/га	104	109	107	98	81	71	44	31	22
Pr_{lim} , т/га	19,2	20,3	20,1	19,0	16,0	14,1	9,0	6,0	4,2
P_{ulim} , т/га	124	130	128	117	97	85	53	37	26
Широколиственные леса (<i>P. nigra</i>)									
H_{lim} , м	27,3	23,0	20,7	17,3	12,4	10,2	5,7	3,6	2,4
D_{lim} , см	65,5	41,9	33,5	24,4	14,2	10,9	5,1	2,9	1,8
M_{lim} , м ³ /га	417,9	421,1	414,8	390,2	314,9	268,5	154,7	93,0	60,2
Ps_{lim} , т/га	213,6	227,1	222,7	207,0	166,1	143,9	83,2	50,1	32,5
Pf_{lim} , т/га	10,2	10,3	10,5	10,9	11,1	11,6	12,6	12,9	12,0
Pb_{lim} , т/га	32,6	31,5	30,2	23,1	20,4	16,7	10,1	8,9	6,0
P_{alim} , т/га	256	269	263	241	198	172	106	72	51
Pr_{lim} , т/га	46,0	48,7	48,3	45,6	38,3	33,8	21,6	14,4	10,0
P_{ulim} , т/га	302	318	312	287	236	206	128	86	60
Широколиственные леса (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	33,1	27,9	25,1	21,0	15,0	12,4	6,9	4,3	3,0
D_{lim} , см	62,9	40,2	32,2	23,4	13,6	10,5	4,9	2,8	1,8
M_{lim} , м ³ /га	362,3	365,1	360,3	338,2	272,6	233,6	134,1	81,1	54,4
Ps_{lim} , т/га	154,9	164,6	161,7	150,1	120,2	104,6	60,3	36,4	24,4
Pf_{lim} , т/га	5,6	5,6	5,8	6,0	6,1	6,4	6,9	7,0	6,6
Pb_{lim} , т/га	22,4	21,5	20,6	15,3	13,5	10,9	6,6	5,8	3,6
P_{alim} , т/га	183	192	188	171	140	122	74	49	35
Pr_{lim} , т/га	68,7	72,6	72,1	68,1	57,2	50,5	32,2	21,5	14,8
P_{ulim} , т/га	252	264	260	239	197	172	106	71	49
(В) Скандинавско-Русская провинция									
Средняя тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	23,7	19,9	17,9	15,0	10,7	8,9	5,0	3,1	2,1
D_{lim} , см	61,7	39,4	31,6	23,0	13,4	10,3	4,8	2,7	1,7
M_{lim} , м ³ /га	252,0	254,0	250,9	235,9	189,2	162,6	93,2	55,6	36,5
Ps_{lim} , т/га	120,9	128,4	126,2	117,3	93,6	81,6	47,0	28,8	18,5
Pf_{lim} , т/га	5,4	5,5	5,6	5,8	5,9	6,2	6,8	6,8	6,5
Pb_{lim} , т/га	17,9	17,4	16,9	13,1	11,5	9,6	5,9	5,2	3,3
P_{alim} , т/га	144	151	149	136	111	97	60	41	28
Pr_{lim} , т/га	23,2	24,6	24,4	23,0	19,3	17,1	10,9	7,3	5,0
P_{ulim} , т/га	167	176	173	159	130	114	71	48	33

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	38,6	32,5	29,2	24,5	17,5	14,5	8,1	5,0	3,5
D_{lim} , см	64,9	41,5	33,2	24,2	14,1	10,8	5,0	2,9	1,8
M_{lim} , м ³ /га	569,5	573,8	565,5	532,4	427,2	366,0	208,6	127,9	82,9
$P_{S_{lim}}$, т/га	271,8	289,0	283,4	263,6	210,5	183,1	105,0	64,2	41,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	7,4	7,4	7,6	7,9	8,0	8,4	9,2	9,2	8,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	24,6	23,4	22,3	16,3	14,3	11,4	7,0	6,2	3,6
$P_{a_{lim}}$, т/га	304	320	313	288	233	203	121	80	54
$P_{r_{lim}}$, т/га	50,6	53,5	53,1	50,1	42,1	37,2	23,7	15,8	11,0
$P_{t_{lim}}$, т/га	354	373	366	338	275	240	145	95	65
Широколиственные леса (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	39,2	33,0	29,7	24,9	17,8	14,7	8,2	5,1	3,5
D_{lim} , см	64,6	41,3	33,1	24,1	14,0	10,8	5,0	2,9	1,8
M_{lim} , м ³ /га	535,6	539,7	532,8	501,1	403,7	342,7	197,1	120,9	78,3
$P_{S_{lim}}$, т/га	210,8	224,1	220,1	204,6	163,9	141,4	81,7	50,0	32,5
$P_{f_{lim}}$, т/га	6,9	7,0	7,2	7,4	7,5	7,9	8,5	8,7	8,3
$P_{b_{lim}}$, т/га	19,9	18,9	18,0	13,2	11,6	9,3	5,7	5,0	2,9
$P_{a_{lim}}$, т/га	238	250	245	225	183	159	96	64	44
$P_{r_{lim}}$, т/га	37,4	39,6	39,3	37,1	31,2	27,5	17,6	11,7	8,2
$P_{t_{lim}}$, т/га	275	290	285	262	214	186	114	75	52
Лесостепь (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	40,0	33,7	30,3	25,4	18,1	15,0	8,4	5,2	3,6
D_{lim} , см	62,9	40,2	32,2	23,4	13,6	10,5	4,9	2,8	1,8
M_{lim} , м ³ /га	503,8	507,6	500,9	470,2	379,0	324,8	186,5	112,8	75,6
$P_{S_{lim}}$, т/га	199,9	212,5	208,6	193,7	155,2	134,9	77,9	46,9	31,4
$P_{f_{lim}}$, т/га	6,2	6,2	6,4	6,6	6,7	7,1	7,7	7,8	7,2
$P_{b_{lim}}$, т/га	15,2	14,4	13,7	9,9	8,8	7,0	4,2	3,7	2,3
$P_{a_{lim}}$, т/га	221	233	229	210	171	149	90	58	41
$P_{r_{lim}}$, т/га	39,2	41,5	41,2	38,9	32,7	28,9	18,4	12,3	8,5
$P_{t_{lim}}$, т/га	260	275	270	249	203	178	108	71	49
Степь (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	36,4	30,6	27,6	23,1	16,5	13,6	7,6	4,8	3,3
D_{lim} , см	63,1	40,4	32,3	23,5	13,7	10,5	4,9	2,8	1,8
M_{lim} , м ³ /га	455,4	460,0	453,1	425,8	344,3	292,9	168,2	101,7	68,2
$P_{S_{lim}}$, т/га	198,4	210,7	207,0	192,3	154,5	133,6	77,1	46,4	31,1
$P_{f_{lim}}$, т/га	6,4	6,4	6,6	6,8	6,9	7,2	7,9	8,0	7,4
$P_{b_{lim}}$, т/га	19,0	18,1	17,3	12,7	11,1	9,0	5,4	4,7	2,9
$P_{a_{lim}}$, т/га	224	235	231	212	173	150	90	59	41
$P_{r_{lim}}$, т/га	33,9	35,9	35,7	33,6	28,3	24,9	15,9	10,6	7,3
$P_{t_{lim}}$, т/га	258	271	266	245	201	175	106	70	49

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(С) Восток Русской равнины									
Северная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	29,0	24,4	22,0	18,4	13,1	10,9	6,1	3,8	2,6
D_{lim} , см	43,9	28,1	22,5	16,3	9,5	7,3	3,4	1,9	1,2
M_{lim} , м ³ /га	238,5	241,2	237,9	222,6	180,0	154,3	89,0	52,4	34,3
Ps_{lim} , т/га	131,1	139,1	137,0	126,9	101,9	88,6	51,3	31,6	20,1
Pf_{lim} , т/га	5,1	5,1	5,3	5,4	5,5	5,8	6,3	6,4	6,0
Pb_{lim} , т/га	13,1	12,6	12,1	9,1	8,1	6,5	4,1	3,5	2,3
P_{alim} , т/га	149	157	154	141	116	101	62	42	28
Pr_{lim} , т/га	22,9	24,2	24,0	22,7	19,1	16,8	10,8	7,2	5,0
P_{ulim} , т/га	172	181	178	164	135	118	72	49	33
Средняя тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	32,8	27,6	24,8	20,8	14,9	12,3	6,9	4,3	2,9
D_{lim} , см	52,2	33,4	26,7	19,5	11,3	8,7	4,0	2,3	1,5
M_{lim} , м ³ /га	319,2	321,6	316,7	298,8	240,1	204,4	118,0	70,7	48,1
Ps_{lim} , т/га	171,9	182,9	179,3	167,0	133,5	115,5	66,9	40,7	27,1
Pf_{lim} , т/га	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,7	6,3	6,3	6,0
Pb_{lim} , т/га	16,8	16,1	15,4	11,5	10,1	8,2	5,0	4,5	2,7
P_{alim} , т/га	194	204	200	184	149	129	78	52	36
Pr_{lim} , т/га	27,1	28,6	28,4	26,9	22,5	19,9	12,7	8,5	5,9
P_{ulim} , т/га	221	233	228	211	172	149	91	60	42
Широколиственные леса (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	35,6	29,9	26,9	22,6	16,1	13,3	7,4	4,6	3,2
D_{lim} , см	59,5	38,1	30,5	22,2	12,9	9,9	4,6	2,6	1,7
M_{lim} , м ³ /га	494,4	498,2	491,3	461,9	372,2	316,8	180,8	108,5	74,0
Ps_{lim} , т/га	177,3	188,7	185,2	172,1	137,9	119,3	68,5	42,1	27,9
Pf_{lim} , т/га	5,0	5,0	5,2	5,3	5,4	5,7	6,2	6,3	5,9
Pb_{lim} , т/га	18,1	17,2	16,5	12,2	10,6	8,6	5,3	4,6	3,1
P_{alim} , т/га	200	211	207	190	154	134	80	53	37
Pr_{lim} , т/га	38,3	40,5	40,2	37,9	31,9	28,1	17,9	12,0	8,2
P_{ulim} , т/га	239	251	247	228	186	162	98	65	45
Степь (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	34,7	29,2	26,2	22,0	15,7	13,0	7,3	4,5	3,1
D_{lim} , см	59,4	38,0	30,4	22,1	12,9	9,9	4,6	2,6	1,7
M_{lim} , м ³ /га	423,3	426,5	420,4	394,7	317,1	271,9	155,2	93,2	63,5
Ps_{lim} , т/га	181,4	192,9	189,2	175,6	140,5	122,1	70,1	43,1	28,5
Pf_{lim} , т/га	5,7	5,7	5,9	6,0	6,1	6,5	7,0	7,1	6,7
Pb_{lim} , т/га	14,8	14,1	13,5	10,0	8,7	7,1	4,4	3,8	2,5
P_{alim} , т/га	202	213	209	192	155	136	81	54	38
Pr_{lim} , т/га	28,0	29,6	29,5	27,8	23,3	20,6	13,1	8,8	6,0
P_{ulim} , т/га	230	242	238	219	179	156	95	63	44

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(Д) Уральская провинция									
Южная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	34,3	28,9	26,0	21,8	15,6	12,9	7,2	4,5	3,1
D_{lim} , см	60,3	38,5	30,9	22,5	13,1	10,1	4,7	2,7	1,7
M_{lim} , м ³ /га	451,4	454,8	449,7	422,9	338,9	289,1	167,1	101,8	66,8
Ps_{lim} , т/га	194,1	206,1	202,7	188,4	150,3	130,2	75,5	45,6	30,1
Pf_{lim} , т/га	5,7	5,8	5,9	6,1	6,2	6,6	7,1	7,1	6,7
Pb_{lim} , т/га	17,5	16,8	16,0	11,9	10,5	8,5	5,1	4,4	3,0
P_{alim} , т/га	217	229	225	206	167	145	88	57	40
Pr_{lim} , т/га	29,6	31,3	31,1	29,4	24,6	21,8	13,9	9,3	6,5
P_{lim} , т/га	247	260	256	236	192	167	102	66	46
(Е) Западно-Сибирская равнинная провинция									
Лесостепь (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	38,0	32,0	28,8	24,1	17,2	14,2	8,0	5,0	3,4
D_{lim} , см	68,7	43,9	35,2	25,6	14,9	11,5	5,3	3,0	1,9
M_{lim} , м ³ /га	522,1	526,1	519,6	488,1	394,0	335,2	192,1	114,8	75,8
Ps_{lim} , т/га	218,0	231,6	227,6	211,3	169,6	146,6	84,5	52,2	33,4
Pf_{lim} , т/га	8,2	8,3	8,5	8,7	8,9	9,4	10,3	10,2	9,7
Pb_{lim} , т/га	20,7	19,7	18,8	13,8	12,1	9,8	5,8	5,2	3,2
P_{alim} , т/га	247	260	255	234	191	166	101	68	46
Pr_{lim} , т/га	31,3	33,1	32,9	31,0	26,1	23,0	14,7	9,8	6,8
P_{lim} , т/га	278	293	288	265	217	189	115	77	53
Степь (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	33,8	28,4	25,6	21,4	15,3	12,6	7,1	4,4	3,0
D_{lim} , см	62,2	39,8	31,9	23,2	13,5	10,4	4,8	2,8	1,7
M_{lim} , м ³ /га	413,9	417,1	411,8	386,9	312,2	266,9	151,5	93,6	59,3
Ps_{lim} , т/га	157,5	167,5	164,6	152,8	122,6	106,4	60,8	37,3	23,9
Pf_{lim} , т/га	7,0	7,1	7,3	7,5	7,7	8,0	8,8	9,0	8,4
Pb_{lim} , т/га	12,9	12,3	11,8	8,8	7,7	6,2	3,8	3,3	2,1
P_{alim} , т/га	177	187	184	169	138	121	73	50	34
Pr_{lim} , т/га	14,7	15,6	15,5	14,6	12,3	10,9	6,9	4,6	3,2
P_{lim} , т/га	192	203	199	184	150	131	80	54	38
(Н) Дальний Восток									
Южная тайга (<i>P. sylvestris</i>)									
H_{lim} , м	23,8	20,1	18,1	15,1	10,8	8,9	5,0	3,1	2,1
D_{lim} , см	52,3	33,4	26,8	19,5	11,3	8,7	4,0	2,3	1,5
M_{lim} , м ³ /га	230,6	232,3	229,6	215,8	173,5	147,7	85,2	51,1	34,7
Ps_{lim} , т/га	95,6	101,5	99,8	92,7	74,2	64,2	37,2	22,6	15,1
Pf_{lim} , т/га	5,2	5,2	5,4	5,5	5,6	5,9	6,5	6,6	6,2
Pb_{lim} , т/га	13,7	13,3	12,9	10,0	8,8	7,3	4,4	4,0	2,4
P_{alim} , т/га	114	120	118	108	89	77	48	33	24
Pr_{lim} , т/га	20,6	21,8	21,6	20,4	17,1	15,1	9,7	6,5	4,5
P_{lim} , т/га	135	142	140	129	106	92	58	40	28

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(L) Янония, Хонсю									
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. thunbergii</i>)									
H_{lim} , м	32,6	27,5	24,7	20,7	14,8	12,2	6,8	4,3	2,9
D_{lim} , см	59,9	38,3	30,7	22,3	13,0	10,0	4,6	2,7	1,7
M_{lim} , м ³ /га	429,6	432,9	427,5	401,1	324,3	276,6	159,8	97,4	64,0
Ps_{lim} , т/га	236,9	251,8	247,4	229,5	184,4	159,7	92,6	55,9	37,0
Pf_{lim} , т/га	6,3	6,3	6,5	6,7	6,8	7,1	7,9	7,8	7,4
Pb_{lim} , т/га	18,2	17,5	16,8	12,5	11,0	9,0	5,4	4,7	3,2
P_{alim} , т/га	261	276	271	249	202	176	106	68	48
Pr_{lim} , т/га	25,3	26,8	26,6	25,1	21,1	18,6	11,9	7,9	5,5
P_{lim} , т/га	287	302	297	274	223	194	118	76	53
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. strobus</i>)									
H_{lim} , м	27,9	23,5	21,1	17,7	12,6	10,4	5,8	3,6	2,5
D_{lim} , см	59,0	37,7	30,2	22,0	12,8	9,8	4,6	2,6	1,6
M_{lim} , м ³ /га	323,1	325,5	321,2	302,2	243,9	207,0	119,4	71,7	46,0
Ps_{lim} , т/га	117,6	124,9	122,7	114,0	91,5	78,9	45,7	28,1	17,7
Pf_{lim} , т/га	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7	3,0	3,0	2,8
Pb_{lim} , т/га	15,0	14,5	14,0	10,6	9,4	7,7	4,8	4,1	2,5
P_{alim} , т/га	135	142	139	127	103	89	53	35	23
Pr_{lim} , т/га	19,3	20,4	20,2	19,1	16,1	14,1	9,0	6,1	4,1
P_{lim} , т/га	154	162	159	146	120	103	62	41	27
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. densiflora</i>)									
H_{lim} , м	18,2	15,3	13,8	11,5	8,2	6,8	3,8	2,4	1,6
D_{lim} , см	43,3	27,7	22,2	16,1	9,4	7,2	3,3	1,9	1,2
M_{lim} , м ³ /га	175,7	177,0	174,8	163,7	132,6	113,3	64,3	38,8	25,5
Ps_{lim} , т/га	88,6	94,2	92,5	85,8	69,0	59,8	34,2	20,6	13,7
Pf_{lim} , т/га	5,1	5,2	5,3	5,5	5,6	5,9	6,5	6,4	6,1
Pb_{lim} , т/га	13,7	13,5	13,2	10,5	9,4	7,8	4,9	4,3	2,9
P_{alim} , т/га	107	113	111	102	84	74	46	31	23
Pr_{lim} , т/га	13,0	13,7	13,6	12,8	10,8	9,5	6,1	4,0	2,8
P_{lim} , т/га	120	127	125	115	95	83	52	35	26
Субтропики (<i>P. taeda</i>)									
H_{lim} , м	53,3	44,8	40,3	33,8	24,1	19,9	11,1	7,0	4,8
D_{lim} , см	100,4	64,2	51,4	37,4	21,8	16,8	7,8	4,5	2,8
M_{lim} , м ³ /га	1293,3	1303,2	1285,3	1208,0	972,1	831,3	478,4	291,4	189,2
Ps_{lim} , т/га	592,0	629,4	617,8	573,9	459,3	398,8	230,5	141,9	91,2
Pf_{lim} , т/га	9,0	9,1	9,3	9,6	9,8	10,3	11,2	11,3	10,6
Pb_{lim} , т/га	28,0	26,2	24,7	17,5	15,2	12,0	7,2	6,3	4,0
P_{alim} , т/га	629	665	652	601	484	421	249	160	106
Pr_{lim} , т/га	53,3	56,4	56,0	52,9	44,4	39,2	25,0	16,8	11,5
P_{lim} , т/га	682	721	708	654	529	460	274	176	117

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,2	0,5	1	3	5	10	50	100
Субтропики (<i>P. elliotii</i>)									
H_{lim} , м	53,6	45,1	40,5	34,0	24,3	20,1	11,2	7,0	4,8
D_{lim} , см	113,6	72,6	58,2	42,3	24,6	19,0	8,8	5,0	3,2
M_{lim} , м ³ /га	1754,6	1768,1	1746,0	1639,1	1322,1	1125,2	650,5	388,6	259,4
Ps_{lim} , т/га	712,2	756,8	743,6	690,0	553,3	478,6	277,7	169,5	110,6
Pf_{lim} , т/га	10,6	10,7	11,0	11,4	11,6	12,1	13,3	13,4	12,8
Pb_{lim} , т/га	18,2	17,0	16,0	11,3	9,8	7,8	4,7	4,2	2,5
P_{alim} , т/га	741	785	771	713	575	499	296	187	126
Pr_{lim} , т/га	66,4	70,3	69,8	65,8	55,3	48,8	31,2	20,9	14,5
P_{lim} , т/га	807	855	840	779	630	547	327	208	140
(М) Причерноморская провинция									
Субтропики (<i>P. pallasiana</i>)									
H_{lim} , м	21,3	17,9	16,1	13,5	9,6	8,0	4,4	2,8	1,9
D_{lim} , см	55,8	35,7	28,6	20,8	12,1	9,3	4,3	2,5	1,6
M_{lim} , м ³ /га	278,1	280,2	276,6	259,8	209,6	178,4	103,6	62,6	41,8
Ps_{lim} , т/га	138,9	147,7	145,1	134,7	108,0	93,4	54,4	33,5	21,9
Pf_{lim} , т/га	12,6	12,7	13,0	13,4	13,7	14,3	15,8	15,9	15,0
Pb_{lim} , т/га	33,6	32,8	31,9	25,0	22,3	18,4	10,9	10,0	6,5
P_{alim} , т/га	185	193	190	173	144	126	81	59	43
Pr_{lim} , т/га	74,3	78,6	78,0	73,7	61,9	54,6	35,0	23,5	16,2
P_{lim} , т/га	259	272	268	247	206	181	116	83	60
Субтропики (<i>P. pithyusa</i>)									
H_{lim} , м	31,6	26,6	23,9	20,1	14,3	11,8	6,6	4,1	2,8
D_{lim} , см	73,0	46,7	37,4	27,2	15,8	12,2	5,6	3,2	2,0
M_{lim} , м ³ /га	445,7	449,1	443,1	416,2	335,3	285,8	163,2	98,2	64,1
Ps_{lim} , т/га	258,5	274,9	269,9	250,6	200,7	173,8	99,9	60,6	39,3
Pf_{lim} , т/га	6,4	6,4	6,6	6,8	6,9	7,3	7,9	8,0	7,4
Pb_{lim} , т/га	14,8	14,1	13,6	10,1	9,0	7,2	4,4	3,8	2,5
P_{alim} , т/га	280	295	290	268	217	188	112	72	49
Pr_{lim} , т/га	37,8	40,0	39,7	37,5	31,5	27,8	17,7	11,8	8,2
P_{lim} , т/га	317	335	330	305	248	216	130	84	57
Субтропики (<i>P. pinaster</i>)									
H_{lim} , м	40,4	34,0	30,6	25,6	18,3	15,1	8,5	5,3	3,6
D_{lim} , см	73,4	46,9	37,6	27,4	15,9	12,3	5,7	3,3	2,1
M_{lim} , м ³ /га	588,2	592,7	585,4	550,9	443,4	378,7	218,4	133,1	88,3
Ps_{lim} , т/га	391,6	416,1	408,9	380,2	304,3	264,0	152,9	93,9	61,6
Pf_{lim} , т/га	5,3	5,4	5,5	5,7	5,8	6,1	6,6	6,7	6,4
Pb_{lim} , т/га	16,3	15,5	14,7	10,7	9,4	7,6	4,6	4,1	2,5
P_{alim} , т/га	413	437	429	397	319	278	164	105	71
Pr_{lim} , т/га	49,7	52,6	52,2	49,3	41,4	36,6	23,4	15,7	10,8
P_{lim} , т/га	463	490	481	446	361	314	187	120	81

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(N) Кавказско-Малоазиатская провинция (<i>P. halepensis</i>)									
H_{lim} , м	16,8	14,1	12,7	10,6	7,6	6,3	3,5	2,2	1,5
D_{lim} , см	55,5	35,5	28,4	20,7	12,0	9,3	4,3	2,5	1,6
M_{lim} , м ³ /га	121,4	122,3	120,6	113,5	91,3	78,3	44,4	27,5	18,3
Ps_{lim} , т/га	54,4	57,9	56,8	52,8	42,3	36,8	21,0	12,7	8,6
Pf_{lim} , т/га	7,7	7,8	8,0	8,2	8,4	8,8	9,5	9,8	9,3
Pb_{lim} , т/га	14,5	14,3	14,0	11,2	10,0	8,5	5,1	4,7	3,0
P_{alim} , т/га	77	80	79	72	61	54	36	27	21
Pr_{lim} , т/га	12,4	13,2	13,1	12,3	10,4	9,2	5,8	3,9	2,7
P_{tim} , т/га	89	93	92	85	71	63	41	31	24

Приложение 1.6. КЕДР (*PINUS SIBIRICA*, *P. KORAIENSIS*)

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(D) Уральская провинция									
Южная тайга (<i>P. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	24,6	20,6	18,8	16,4	13,0	11,6	8,3	6,4	5,4
D_{lim} , см	57,5	42,8	36,3	28,2	18,2	14,9	8,7	6,2	4,8
M_{lim} , м ³ /га	148,8	168,1	173,7	177,8	178,2	176,4	160,2	141,8	131,9
Ps_{lim} , т/га	78,1	85,5	87,1	87,3	84,7	82,5	71,8	61,7	56,1
Pf_{lim} , т/га	4,7	5,3	5,5	5,8	6,2	6,2	6,3	6,5	6,3
Pb_{lim} , т/га	15,9	15,3	14,8	14,0	12,5	10,5	9,4	7,8	6,7
P_{alim} , т/га	99	106	107	107	103	99	87	76	69
Pr_{lim} , т/га	27,8	31,1	32,0	32,7	32,7	32,4	29,7	26,6	24,9
P_{tim} , т/га	126	137	139	140	136	132	117	103	94
(E) Западно-Сибирская равнинная провинция									
Южная тайга (<i>P. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	33,7	28,2	25,7	22,4	17,8	15,9	11,3	8,8	7,3
D_{lim} , см	53,2	39,5	33,5	26,1	16,8	13,7	8,0	5,7	4,4
M_{lim} , м ³ /га	396,9	448,3	463,4	474,1	475,3	470,4	427,2	378,1	351,8
Ps_{lim} , т/га	202,7	221,8	225,9	226,4	219,6	214,0	186,1	159,9	145,6
Pf_{lim} , т/га	13,5	15,2	15,9	16,8	17,9	17,9	18,2	18,7	18,3
Pb_{lim} , т/га	35,9	34,4	33,3	31,6	28,0	23,6	21,2	17,5	15,0
P_{alim} , т/га	252	271	275	275	266	255	225	196	179
Pr_{lim} , т/га	51,4	57,4	59,1	60,4	60,5	59,9	54,9	49,2	46,0
P_{tim} , т/га	303	329	334	335	326	315	280	245	225
(F) Средне-Сибирская плоскогорная провинция									
Средняя тайга (<i>P. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	31,5	26,4	24,1	21,0	16,7	14,9	10,6	8,2	6,9
D_{lim} , см	49,4	36,8	31,2	24,2	15,6	12,8	7,5	5,3	4,1

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
M_{lim} , м ³ /га	332,2	375,3	387,9	396,9	397,9	393,8	357,6	316,5	294,5
$P_{s_{lim}}$, т/га	159,7	174,9	178,1	178,5	173,1	168,7	146,7	126,1	114,8
$P_{f_{lim}}$, т/га	18,3	20,6	21,5	22,7	24,2	24,2	24,6	25,3	24,7
$P_{b_{lim}}$, т/га	39,0	37,4	36,2	34,3	30,5	25,7	23,0	19,0	16,3
$P_{a_{lim}}$, т/га	217	233	236	236	228	219	194	170	156
$P_{r_{lim}}$, т/га	36,1	40,3	41,6	42,4	42,5	42,1	38,6	34,6	32,4
$P_{t_{lim}}$, т/га	253	273	277	278	270	261	233	205	188
(Н) Дальневосточное Приморье									
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. koraiensis</i>)									
H_{lim} , м	32,8	27,5	25,1	21,9	17,3	15,5	11,0	8,6	7,2
D_{lim} , см	68,1	50,6	42,9	33,4	21,5	17,6	10,3	7,3	5,6
M_{lim} , м ³ /га	362,5	409,5	423,2	433,0	434,1	429,7	390,2	345,3	321,3
$P_{s_{lim}}$, т/га	186,1	203,7	207,4	207,9	201,6	196,5	170,9	146,8	133,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	9,2	10,4	10,8	11,4	12,2	12,2	12,4	12,8	12,4
$P_{b_{lim}}$, т/га	42,2	40,4	39,2	37,1	33,0	27,8	24,9	20,6	17,7
$P_{a_{lim}}$, т/га	237	254	257	256	247	236	208	180	164
$P_{r_{lim}}$, т/га	41,8	46,7	48,1	49,1	49,2	48,8	44,7	40,0	37,5
$P_{t_{lim}}$, т/га	279	301	306	306	296	285	253	220	201
(I) Забайкальская горная провинция									
Южная тайга (<i>P. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	31,5	26,4	24,0	21,0	16,6	14,8	10,6	8,2	6,9
D_{lim} , см	69,0	51,3	43,5	33,9	21,8	17,8	10,4	7,4	5,7
M_{lim} , м ³ /га	220,9	249,6	257,9	263,9	264,6	261,9	237,8	210,5	195,8
$P_{s_{lim}}$, т/га	101,6	111,2	113,2	113,5	110,1	107,3	93,3	80,2	73,0
$P_{f_{lim}}$, т/га	4,8	5,4	5,6	5,9	6,3	6,3	6,4	6,6	6,4
$P_{b_{lim}}$, т/га	19,2	18,4	17,8	16,9	15,0	12,6	11,3	9,4	8,0
$P_{a_{lim}}$, т/га	126	135	137	136	131	126	111	96	87
$P_{r_{lim}}$, т/га	39,7	44,4	45,7	46,7	46,8	46,3	42,5	38,0	35,6
$P_{t_{lim}}$, т/га	165	179	182	183	178	173	153	134	123
(J) Алтай-Саянская горная провинция									
Южная тайга (<i>P. sibirica</i>)									
H_{lim} , м	32,9	27,6	25,2	21,9	17,4	15,5	11,1	8,6	7,2
D_{lim} , см	62,1	46,2	39,2	30,5	19,6	16,0	9,4	6,6	5,2
M_{lim} , м ³ /га	455,7	514,8	532,1	544,4	545,8	540,1	490,6	434,2	403,9
$P_{s_{lim}}$, т/га	179,3	196,3	199,8	200,3	194,3	189,3	164,6	141,5	128,8
$P_{f_{lim}}$, т/га	3,5	4,0	4,2	4,4	4,7	4,7	4,8	4,9	4,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	8,2	7,8	7,6	7,2	6,4	5,4	4,8	4,0	3,4
$P_{a_{lim}}$, т/га	191	208	212	212	205	199	174	150	137
$P_{r_{lim}}$, т/га	41,7	46,6	48,0	49,0	49,1	48,7	44,6	39,9	37,4
$P_{t_{lim}}$, т/га	233	255	260	261	255	248	219	190	174

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Широколиственные леса (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	35,9	33,9	30,8	25,2	18,0	11,6	5,2	2,7	1,9
D_{lim} , см	69,0	41,9	32,3	22,1	11,9	8,9	4,0	2,3	1,5
M_{lim} , м ³ /га	657,9	657,9	610,9	439,4	237,1	175,2	70,8	37,9	21,0
Ps_{lim} , т/га	346,1	283,5	236,7	170,7	95,4	71,6	31,1	16,7	9,2
Pf_{lim} , т/га	3,6	4,6	4,9	5,0	4,5	4,1	3,2	2,6	2,0
Pb_{lim} , т/га	152,6	143,3	132,3	112,8	77,8	72,3	28,7	15,3	9,2
P_{alim} , т/га	502	431	374	289	178	148	63	35	20
Pr_{lim} , т/га	45,3	53,7	53,8	49,9	38,7	32,6	17,1	9,5	5,9
P_{lim} , т/га	548	485	428	338	216	181	80	44	26
(В) Скандинавско-Русская провинция									
Средняя тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	27,1	26,2	24,6	21,8	16,2	13,6	7,4	4,4	2,9
D_{lim} , см	39,4	30,6	26,0	20,1	12,3	9,5	4,4	2,5	1,7
M_{lim} , м ³ /га	234,9	234,9	252,7	255,3	210,9	177,9	88,8	46,4	27,7
Ps_{lim} , т/га	87,1	124,7	133,0	133,0	108,2	90,7	44,6	23,1	13,8
Pf_{lim} , т/га	2,2	3,0	4,3	4,9	5,0	4,9	4,3	3,8	3,1
Pb_{lim} , т/га	17,8	17,8	17,3	11,9	9,7	9,7	2,9	2,4	1,2
P_{alim} , т/га	107	146	155	150	123	105	52	29	18
Pr_{lim} , т/га	12,5	19,7	22,7	25,6	26,1	24,8	17,8	12,4	9,2
P_{lim} , т/га	120	165	177	175	149	130	70	42	27
Южная тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	33,2	32,1	30,2	26,7	20,0	16,7	9,1	5,5	3,5
D_{lim} , см	44,7	34,6	29,3	22,6	13,7	10,5	4,8	2,7	1,8
M_{lim} , м ³ /га	351,2	351,2	376,5	379,4	310,5	259,8	127,9	66,2	38,7
Ps_{lim} , т/га	133,2	189,9	201,9	201,4	162,3	134,9	65,4	33,6	19,6
Pf_{lim} , т/га	2,2	3,0	4,3	4,9	5,0	4,8	4,1	3,6	2,8
Pb_{lim} , т/га	20,4	20,4	19,8	13,4	10,9	10,8	3,1	2,5	1,2
P_{alim} , т/га	156	213	226	220	178	150	73	40	24
Pr_{lim} , т/га	18,6	29,4	33,8	37,8	38,4	36,1	25,6	17,7	12,8
P_{lim} , т/га	174	243	260	257	217	187	98	57	36
Хвойно-широколиственные леса (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	26,3	25,4	23,9	21,2	15,8	13,2	7,2	4,3	2,8
D_{lim} , см	38,3	29,7	25,2	19,5	12,0	9,3	4,3	2,5	1,6
M_{lim} , м ³ /га	222,6	222,6	239,1	241,7	200,9	170,0	84,7	45,3	25,4
Ps_{lim} , т/га	79,0	113,0	120,3	120,4	98,6	82,9	40,7	21,6	12,1
Pf_{lim} , т/га	1,5	2,1	2,9	3,4	3,4	3,3	2,9	2,6	2,2
Pb_{lim} , т/га	17,3	17,3	16,8	11,6	9,5	9,4	2,9	2,4	1,2
P_{alim} , т/га	98	132	140	135	112	96	46	27	16
Pr_{lim} , т/га	11,7	18,5	21,4	24,1	24,7	23,5	16,9	12,1	8,6
P_{lim} , т/га	109	151	161	159	136	119	63	39	24

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	2	5	10	50	100
Широколиственные леса (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	23,2	22,5	21,1	18,7	13,9	11,7	6,3	3,8	2,5
D_{lim} , см	38,5	29,9	25,4	19,7	12,2	9,4	4,4	2,6	1,7
M_{lim} , м ³ /га	199,8	199,8	214,9	217,8	182,2	153,2	77,3	42,1	24,1
Ps_{lim} , т/га	81,0	115,9	123,6	124,0	102,2	85,4	42,5	23,0	13,1
Pf_{lim} , т/га	1,3	1,8	2,5	2,9	3,0	2,9	2,6	2,3	2,0
Pb_{lim} , т/га	16,5	16,6	16,2	11,2	9,2	9,1	2,8	2,3	1,2
P_{alim} , т/га	99	134	142	138	114	97	48	28	16
Pr_{lim} , т/га	22,3	35,3	40,7	45,8	47,4	44,8	32,5	23,6	17,4
P_{tim} , т/га	121	170	183	184	162	142	80	51	34
Степь (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	27,8	26,9	25,3	22,4	16,7	14,0	7,6	4,6	2,9
D_{lim} , см	44,2	34,3	29,1	22,4	13,7	10,6	4,9	2,8	1,9
M_{lim} , м ³ /га	325,7	325,7	349,8	351,8	290,5	245,5	122,2	64,3	38,3
Ps_{lim} , т/га	147,2	210,5	224,2	223,1	181,5	152,4	74,8	39,1	23,2
Pf_{lim} , т/га	2,3	3,2	4,6	5,2	5,3	5,2	4,5	4,1	3,3
Pb_{lim} , т/га	38,6	38,5	37,4	25,8	21,0	20,9	6,2	5,1	2,6
P_{alim} , т/га	188	252	266	254	208	178	86	48	29
Pr_{lim} , т/га	17,4	27,6	31,7	35,7	36,7	34,6	24,8	17,4	12,9
P_{tim} , т/га	206	280	298	290	245	213	110	66	42
(С) Восток Русской равнины									
Лесотундра (<i>B. tortuosa</i>)									
H_{lim} , м	18,6	17,9	16,9	14,9	11,1	9,3	5,1	3,0	2,0
D_{lim} , см	30,8	23,9	20,4	15,8	9,9	7,7	3,7	2,2	1,5
M_{lim} , м ³ /га	116,1	116,1	125,5	127,0	107,5	91,4	47,3	25,9	15,5
Ps_{lim} , т/га	41,3	59,0	63,3	63,4	52,9	44,7	22,8	12,4	7,4
Pf_{lim} , т/га	0,4	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6
Pb_{lim} , т/га	11,4	11,5	11,2	7,9	6,5	6,5	2,1	1,7	0,9
P_{alim} , т/га	53	71	75	72	60	52	26	15	9,0
Pr_{lim} , т/га	11,5	18,2	21,1	23,9	24,9	23,7	17,7	13,0	9,9
P_{tim} , т/га	65	89	96	96	85	76	43	28	19
Северная тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	25,3	24,5	23,0	20,3	15,2	12,7	6,9	4,2	2,7
D_{lim} , см	36,4	28,3	24,0	18,6	11,4	8,8	4,1	2,4	1,6
M_{lim} , м ³ /га	210,2	210,2	225,7	228,6	189,2	159,5	80,0	43,2	25,2
Ps_{lim} , т/га	71,8	102,8	109,5	109,7	89,5	74,9	37,1	19,9	11,5
Pf_{lim} , т/га	2,3	3,2	4,6	5,3	5,4	5,3	4,6	4,1	3,4
Pb_{lim} , т/га	20,6	20,7	20,1	13,9	11,3	11,2	3,4	2,8	1,4
P_{alim} , т/га	95	127	134	129	106	91	45	27	16
Pr_{lim} , т/га	15,6	24,7	28,4	32,0	32,8	31,4	22,4	16,2	12,1
P_{tim} , т/га	110	151	163	161	139	123	68	43	28

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Средняя тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	23,9	23,1	21,8	19,3	14,4	12,0	6,5	3,9	2,5
D_{lim} , см	34,9	27,1	23,0	17,8	11,0	8,5	4,0	2,3	1,5
M_{lim} , м ³ /га	231,5	231,5	248,7	251,5	209,9	177,1	89,8	47,6	27,2
Ps_{lim} , т/га	80,7	115,6	123,1	123,2	101,3	84,9	42,5	22,3	12,7
Pf_{lim} , т/га	2,7	3,7	5,2	6,0	6,1	6,0	5,3	4,8	4,1
Pb_{lim} , т/га	22,2	22,3	21,6	15,0	12,3	12,2	3,7	3,1	1,6
P_{alim} , т/га	106	142	150	144	120	103	51	30	18
Pr_{lim} , т/га	19,7	31,2	36,1	40,7	41,8	39,7	28,9	20,5	15,0
P_{ulim} , т/га	125	173	186	185	162	143	80	51	33
Южная тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	30,7	29,7	28,0	24,7	18,5	15,5	8,4	5,1	3,3
D_{lim} , см	43,2	33,5	28,4	21,9	13,3	10,3	4,7	2,7	1,8
M_{lim} , м ³ /га	328,1	328,1	352,1	354,7	290,8	245,9	120,8	63,9	37,4
Ps_{lim} , т/га	118,0	168,6	179,5	178,9	144,4	121,4	58,7	30,9	18,0
Pf_{lim} , т/га	2,4	3,4	4,8	5,5	5,6	5,4	4,6	4,1	3,3
Pb_{lim} , т/га	29,2	29,2	28,3	19,4	15,8	15,5	4,6	3,7	1,8
P_{alim} , т/га	150	201	213	204	166	142	68	39	23
Pr_{lim} , т/га	15,9	25,1	29,0	32,5	33,0	31,4	22,1	15,7	11,4
P_{ulim} , т/га	166	226	242	236	199	174	90	54	34
(D) Уральская провинция									
Северная тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	14,1	13,6	12,8	11,3	8,5	7,1	3,9	2,3	1,5
D_{lim} , см	25,3	19,7	16,8	13,1	8,3	6,5	3,2	1,9	1,3
M_{lim} , м ³ /га	69,8	69,8	75,4	76,8	65,8	56,3	29,9	16,3	9,8
Ps_{lim} , т/га	28,1	40,3	43,2	43,5	36,8	31,3	16,4	8,9	5,3
Pf_{lim} , т/га	1,1	1,5	2,2	2,5	2,6	2,6	2,4	2,2	2,0
Pb_{lim} , т/га	6,3	6,4	6,2	4,5	3,7	3,7	1,3	1,1	0,6
P_{alim} , т/га	36	48	52	50	43	38	20	12	8
Pr_{lim} , т/га	14,2	22,5	26,0	29,7	31,2	30,0	23,0	16,8	13,0
P_{ulim} , т/га	50	71	78	80	74	68	43	29	21
Средняя тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	30,8	29,8	28,0	24,8	18,5	15,5	8,4	5,1	3,3
D_{lim} , см	51,4	39,8	33,8	26,0	15,9	12,2	5,6	3,2	2,1
M_{lim} , м ³ /га	350,9	350,9	377,3	379,1	313,1	262,3	129,7	68,2	39,2
Ps_{lim} , т/га	154,0	219,8	234,4	233,0	189,5	157,8	76,9	40,1	23,0
Pf_{lim} , т/га	2,8	3,9	5,6	6,4	6,5	6,3	5,4	4,9	3,7
Pb_{lim} , т/га	16,2	16,2	15,7	10,7	8,7	8,6	2,6	2,0	1,0
P_{alim} , т/га	173	240	256	250	205	173	85	47	28
Pr_{lim} , т/га	26,0	41,0	47,2	53,0	54,1	51,0	36,2	25,4	18,7
P_{ulim} , т/га	199	281	303	303	259	224	121	72	46

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Южная тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	28,7	27,8	26,2	23,1	17,2	14,5	7,8	4,7	3,0
D_{lim} , см	39,9	30,9	26,2	20,2	12,4	9,6	4,4	2,5	1,7
M_{lim} , м ³ /га	299,3	299,3	321,3	323,6	268,3	226,8	112,0	58,5	34,9
Ps_{lim} , т/га	111,1	158,6	168,8	168,2	137,4	115,4	56,2	29,1	17,3
Pf_{lim} , т/га	2,0	2,8	3,9	4,5	4,6	4,5	3,9	3,5	2,8
Pb_{lim} , т/га	22,9	23,0	22,2	15,3	12,5	12,3	3,6	3,0	1,6
P_{alim} , т/га	136	184	195	188	155	132	64	36	22
Pr_{lim} , т/га	23,0	36,4	41,9	47,0	48,2	45,8	32,5	22,7	16,8
P_{lim} , т/га	159	221	237	235	203	178	96	58	38
(Е) Западно-Сибирская равнинная провинция									
Лесотундра (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	4,7	4,6	4,3	3,8	2,8	2,4	1,3	0,8	0,5
D_{lim} , см	11,6	9,1	7,8	6,2	4,1	3,3	1,8	1,2	0,9
M_{lim} , м ³ /га	24,2	24,2	26,3	27,3	24,5	21,5	12,7	7,8	5,2
Ps_{lim} , т/га	8,0	11,6	12,5	12,9	11,4	9,9	5,8	3,5	2,4
Pf_{lim} , т/га	0,7	0,9	1,3	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0
Pb_{lim} , т/га	3,7	3,7	3,7	2,8	2,4	2,4	1,0	0,9	0,6
P_{alim} , т/га	12	16	18	17	15	14	9	6	5
Pr_{lim} , т/га	13,7	21,6	25,3	29,2	32,4	32,1	27,0	22,2	18,8
P_{lim} , т/га	26	38	43	47	48	46	36	28	24
Средняя тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	26,3	25,4	23,9	21,1	15,8	13,2	7,2	4,3	2,8
D_{lim} , см	35,2	27,3	23,2	17,9	11,0	8,5	3,9	2,3	1,5
M_{lim} , м ³ /га	199,6	199,6	214,8	216,5	179,7	151,6	74,9	40,7	23,3
Ps_{lim} , т/га	74,7	106,8	114,0	113,7	92,9	77,9	37,9	20,5	11,7
Pf_{lim} , т/га	2,0	2,8	4,0	4,6	4,7	4,5	4,0	3,6	2,8
Pb_{lim} , т/га	17,5	17,6	17,1	11,7	9,6	9,5	2,9	2,3	1,2
P_{alim} , т/га	94	127	135	130	107	92	45	26	16
Pr_{lim} , т/га	16,1	25,6	29,4	33,2	33,9	32,2	22,9	16,6	12,1
P_{lim} , т/га	110	153	164	163	141	124	68	43	28
Южная тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	26,6	25,7	24,2	21,4	16,0	13,4	7,3	4,4	2,8
D_{lim} , см	41,0	31,8	27,0	20,9	12,8	9,9	4,6	2,7	1,7
M_{lim} , м ³ /га	253,1	253,1	272,1	275,2	227,6	192,2	96,2	51,8	28,7
Ps_{lim} , т/га	95,1	135,9	144,9	145,0	118,1	99,1	48,9	26,2	14,4
Pf_{lim} , т/га	2,4	3,3	4,7	5,4	5,5	5,4	4,7	4,2	3,5
Pb_{lim} , т/га	25,7	25,8	25,0	17,2	14,1	13,8	4,1	3,5	1,7
P_{alim} , т/га	123	165	175	168	138	118	58	34	20
Pr_{lim} , т/га	22,7	35,9	41,5	46,6	47,7	45,3	32,6	23,5	16,6
P_{lim} , т/га	146	201	216	214	185	164	90	57	36

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Лесостепь (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	23,6	22,8	21,5	19,0	14,2	11,9	6,5	3,9	2,5
D_{lim} , см	35,8	27,8	23,6	18,3	11,3	8,8	4,1	2,4	1,6
M_{lim} , м ³ /га	209,8	209,8	225,4	228,4	190,5	162,0	81,3	43,9	25,6
$P_{s_{lim}}$, т/га	76,8	109,9	117,1	117,4	96,5	81,5	40,3	21,6	12,6
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,8	2,4	3,4	3,9	4,0	3,9	3,5	3,2	2,6
$P_{b_{lim}}$, т/га	22,0	22,0	21,5	14,8	12,3	12,0	3,7	3,0	1,5
P_{alim} , т/га	101	134	142	136	113	97	48	28	17
$P_{r_{lim}}$, т/га	14,3	22,7	26,2	29,5	30,4	29,1	21,0	15,1	11,3
P_{tim} , т/га	115	157	168	166	143	127	69	43	28
Степь (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	19,9	19,2	18,1	16,0	11,9	10,0	5,4	3,3	2,1
D_{lim} , см	32,2	25,0	21,3	16,5	10,3	8,0	3,8	2,3	1,5
M_{lim} , м ³ /га	145,0	145,0	156,4	158,3	133,5	113,2	58,0	32,2	18,5
$P_{s_{lim}}$, т/га	53,2	76,1	81,5	81,6	67,8	57,1	28,9	15,9	9,1
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,3	1,8	2,5	2,9	2,9	2,9	2,6	2,4	2,0
$P_{b_{lim}}$, т/га	17,6	17,7	17,2	12,1	9,9	9,8	3,2	2,5	1,4
P_{alim} , т/га	72	96	101	97	81	70	35	21	12
$P_{r_{lim}}$, т/га	20,2	32,1	37,0	42,0	43,6	41,5	30,6	22,8	16,7
P_{tim} , т/га	92	128	138	138	124	111	65	44	29
(F) Средне-Сибирская плоскогорная провинция									
Лесотундра (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	7,8	7,5	7,1	6,3	4,7	3,9	2,1	1,3	0,8
D_{lim} , см	10,1	7,9	6,8	5,4	3,5	2,8	1,4	0,9	0,6
M_{lim} , м ³ /га	6,5	6,5	7,1	7,3	6,4	5,6	3,0	1,8	1,1
$P_{s_{lim}}$, т/га	2,8	4,1	4,4	4,5	3,9	3,4	1,8	1,1	0,6
$P_{f_{lim}}$, т/га	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
$P_{b_{lim}}$, т/га	1,2	1,2	1,2	0,9	0,8	0,7	0,3	0,2	0,1
P_{alim} , т/га	4	5	6	6	5	4	2	2	1
$P_{r_{lim}}$, т/га	12,7	20,2	23,6	27,2	28,9	28,6	22,2	18,0	13,5
P_{tim} , т/га	17	26	29	33	34	33	25	20	14
Северная тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	16,9	16,3	15,3	13,6	10,1	8,5	4,6	2,8	1,8
D_{lim} , см	19,7	15,3	13,1	10,2	6,4	5,0	2,4	1,4	1,0
M_{lim} , м ³ /га	113,9	113,9	123,5	125,7	106,5	90,9	47,1	25,3	15,9
$P_{s_{lim}}$, т/га	45,8	65,5	70,4	70,9	59,2	50,2	25,7	13,7	8,6
$P_{f_{lim}}$, т/га	0,6	0,8	1,2	1,3	1,4	1,4	1,3	1,2	1,0
$P_{b_{lim}}$, т/га	6,8	6,9	6,7	4,8	3,9	3,9	1,3	1,1	0,6
P_{alim} , т/га	53	73	78	77	65	55	28	16	10
$P_{r_{lim}}$, т/га	11,9	18,9	21,9	24,8	25,8	24,8	18,6	13,3	10,7
P_{tim} , т/га	65	92	100	102	90	80	47	29	21

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Средняя тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	22,9	22,2	20,9	18,5	13,8	11,5	6,3	3,8	2,4
D_{lim} , см	33,1	25,7	21,8	16,9	10,4	8,1	3,8	2,2	1,5
M_{lim} , м ³ /га	338,6	338,6	363,6	368,3	306,1	260,4	131,7	70,2	42,0
Ps_{lim} , т/га	147,8	211,4	225,1	225,7	184,7	156,2	77,9	41,2	24,6
Pf_{lim} , т/га	1,7	2,3	3,3	3,8	3,9	3,8	3,4	3,1	2,6
Pb_{lim} , т/га	24,5	24,6	24,0	16,6	13,7	13,5	4,2	3,5	1,8
P_{alim} , т/га	174	238	252	246	202	174	85	48	29
Pr_{lim} , т/га	33,0	52,3	60,2	68,1	70,4	66,6	48,6	34,6	26,5
P_{tim} , т/га	207	291	313	314	273	240	134	82	55
(Г) Восточно-Сибирская горноравнинная провинция									
Средняя тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	18,6	18,0	16,9	15,0	11,2	9,4	5,1	3,1	2,0
D_{lim} , см	25,9	20,2	17,2	13,4	8,3	6,5	3,1	1,8	1,2
M_{lim} , м ³ /га	117,7	117,7	126,8	129,1	108,0	92,4	47,5	25,4	14,9
Ps_{lim} , т/га	50,7	73,0	78,0	78,6	64,7	55,1	27,9	14,8	8,7
Pf_{lim} , т/га	0,9	1,2	1,8	2,0	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5
Pb_{lim} , т/га	13,0	13,1	12,7	9,0	7,4	7,3	2,4	2,0	1,1
P_{alim} , т/га	65	87	93	90	74	64	32	19	11
Pr_{lim} , т/га	11,6	18,4	21,2	24,0	25,1	23,8	17,7	12,6	9,4
P_{tim} , т/га	76	106	114	114	99	88	50	31	21
(Н) Дальний Восток									
Средняя тайга (<i>B. platyphylla</i>)									
H_{lim} , м	18,3	17,7	16,6	14,7	11,0	9,2	5,0	3,0	1,9
D_{lim} , см	29,8	23,1	19,7	15,3	9,6	7,5	3,6	2,1	1,4
M_{lim} , м ³ /га	95,0	95,0	102,6	104,1	88,3	75,3	39,0	20,9	12,2
Ps_{lim} , т/га	33,2	47,4	50,7	50,9	42,6	36,1	18,4	9,8	5,7
Pf_{lim} , т/га	0,6	0,8	1,2	1,4	1,4	1,4	1,3	1,2	1,0
Pb_{lim} , т/га	6,6	6,6	6,5	4,6	3,8	3,8	1,2	1,0	0,6
P_{alim} , т/га	40	55	58	57	48	41	21	12	7
Pr_{lim} , т/га	15,2	24,0	27,8	31,4	32,9	31,5	23,5	16,9	12,7
P_{tim} , т/га	56	79	86	88	81	73	44	29	20
(Н) Дальневосточное Приморье									
Хвойно-широколиственные леса (<i>B. costata</i>)									
H_{lim} , м	26,4	25,5	24,0	21,2	15,8	13,3	7,2	4,3	2,8
D_{lim} , см	56,6	43,9	37,3	28,8	17,7	13,7	6,4	3,7	2,4
M_{lim} , м ³ /га	409,0	409,0	440,0	443,8	368,4	311,4	156,3	83,4	47,4
Ps_{lim} , т/га	140,0	200,1	213,5	213,1	174,2	146,4	72,4	38,4	21,7
Pf_{lim} , т/га	2,5	3,4	4,8	5,5	5,7	5,5	4,8	4,3	3,6
Pb_{lim} , т/га	36,9	37,1	36,0	24,8	20,3	20,1	6,0	5,0	2,5
P_{alim} , т/га	179	241	254	243	200	172	83	48	28
Pr_{lim} , т/га	29,1	46,0	53,1	59,8	61,4	58,4	42,1	29,9	21,8
P_{tim} , т/га	209	287	307	303	262	230	125	78	50

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(I) Забайкальская горная провинция									
Южная тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	18,4	17,8	16,8	14,8	11,1	9,3	5,0	3,0	2,0
D_{lim} , см	29,7	23,1	19,7	15,3	9,5	7,5	3,6	2,1	1,4
M_{lim} , м ³ /га	103,7	103,7	112,0	113,7	95,3	82,2	42,6	22,9	13,4
Ps_{lim} , т/га	37,5	53,7	57,5	57,8	47,7	40,9	20,9	11,2	6,5
Pf_{lim} , т/га	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5
Pb_{lim} , т/га	14,6	14,8	14,3	10,1	8,4	8,2	2,7	2,2	1,2
P_{alim} , т/га	52	69	72	69	57	50	24	14	8
Pr_{lim} , т/га	6,2	9,8	11,3	12,8	13,4	12,8	9,6	6,9	5,1
P_{ulim} , т/га	59	79	84	81	70	63	34	21	13
(J) Алтае-Саянская горная провинция									
Южная тайга (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	20,1	19,4	18,3	16,1	12,0	10,1	5,5	3,3	2,1
D_{lim} , см	30,9	24,0	20,4	15,9	9,9	7,7	3,7	2,2	1,4
M_{lim} , м ³ /га	161,8	161,8	174,1	177,3	149,2	126,7	65,5	36,0	20,1
Ps_{lim} , т/га	62,2	89,0	95,0	95,8	79,4	67,0	34,2	18,6	10,4
Pf_{lim} , т/га	1,0	1,4	2,0	2,3	2,4	2,4	2,1	2,0	1,7
Pb_{lim} , т/га	14,2	14,3	13,9	9,7	8,0	8,0	2,6	2,1	1,2
P_{alim} , т/га	77	105	111	108	90	77	39	23	13
Pr_{lim} , т/га	9,2	14,5	16,8	19,0	19,7	18,8	14,0	10,3	7,3
P_{ulim} , т/га	87	119	128	127	110	96	53	33	21
Лесостепь (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	24,6	23,8	22,4	19,8	14,8	12,4	6,7	4,0	2,6
D_{lim} , см	36,6	28,4	24,2	18,7	11,5	8,9	4,2	2,4	1,6
M_{lim} , м ³ /га	214,7	214,7	231,6	233,8	194,2	164,1	83,5	43,9	25,7
Ps_{lim} , т/га	83,2	119,0	127,3	127,2	104,1	87,4	43,8	22,9	13,3
Pf_{lim} , т/га	1,3	1,7	2,4	2,8	2,9	2,8	2,5	2,3	1,8
Pb_{lim} , т/га	21,4	21,4	20,8	14,4	11,8	11,7	3,6	2,9	1,4
P_{alim} , т/га	106	142	151	144	119	102	50	28	17
Pr_{lim} , т/га	7,1	11,1	12,9	14,5	14,9	14,1	10,3	7,3	5,4
P_{ulim} , т/га	113	153	163	159	134	116	60	35	22
(L) Япония, Хоккайдо									
Средняя тайга (<i>B. maximowicziana</i>)									
H_{lim} , м	22,8	22,1	20,8	18,3	13,7	11,5	6,2	3,7	2,4
D_{lim} , см	33,0	25,7	21,8	16,9	10,4	8,1	3,8	2,2	1,5
M_{lim} , м ³ /га	164,0	164,0	176,1	178,3	148,2	126,1	63,7	34,0	20,3
Ps_{lim} , т/га	64,8	93,0	99,0	99,2	81,2	68,7	34,2	18,1	10,8
Pf_{lim} , т/га	1,1	1,5	2,1	2,4	2,5	2,4	2,1	2,0	1,6
Pb_{lim} , т/га	14,8	14,8	14,4	10,0	8,2	8,1	2,5	2,1	1,1
P_{alim} , т/га	81	109	116	112	92	79	39	22	14
Pr_{lim} , т/га	12,3	19,6	22,5	25,5	26,4	24,9	18,2	13,0	9,9
P_{ulim} , т/га	93	129	138	137	118	104	57	35	23

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(N) Кавказско-Малоазиатская провинция (<i>B. alba</i>)									
H_{lim} , м	12,1	11,7	11,0	9,7	7,3	6,1	3,3	2,0	1,3
D_{lim} , см	23,8	18,5	15,8	12,4	7,9	6,2	3,1	1,9	1,3
M_{lim} , м ³ /га	55,3	55,3	59,7	61,3	52,8	45,3	24,4	13,8	8,3
$P_{S_{lim}}$, т/га	20,0	28,7	30,7	31,2	26,5	22,6	12,0	6,7	4,0
$P_{f_{lim}}$, т/га	0,8	1,1	1,5	1,8	1,9	1,9	1,8	1,7	1,5
$P_{b_{lim}}$, т/га	8,9	9,0	8,9	6,4	5,3	5,3	1,8	1,5	0,8
$P_{a_{lim}}$, т/га	30	39	41	39	34	30	16	10	6
$P_{r_{lim}}$, т/га	4,8	7,6	8,8	10,0	10,6	10,4	8,0	6,0	4,6
$P_{t_{lim}}$, т/га	35	46	50	49	44	40	24	16	11

Приложение 1.8. ОСИНА И ТОПОЛИ (*POPULUS*)

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Широколиственные леса (<i>P. trichocarpa</i>, <i>P. bachelieri</i>)									
H_{lim} , м	81,8	69,5	62,1	51,5	35,3	28,5	14,5	8,5	5,4
D_{lim} , см	134,1	83,5	65,4	45,7	24,5	17,8	7,2	3,8	2,3
M_{lim} , м ³ /га	2934,4	2857,6	2611,6	2130,6	1328,8	1003,1	389,7	175,4	91,7
$P_{S_{lim}}$, т/га	1163,9	1192,6	1121,3	955,4	623,8	477,5	194,6	92,7	49,3
$P_{f_{lim}}$, т/га	10,5	12,1	12,6	13,0	12,7	12,3	10,3	8,4	7,4
$P_{b_{lim}}$, т/га	89,8	80,6	74,4	64,5	47,9	40,2	23,0	14,5	10,2
$P_{a_{lim}}$, т/га	1264,2	1285,3	1208,3	1032,8	684,5	530,0	227,9	115,6	66,9
$P_{r_{lim}}$, т/га	291,7	287,5	275,1	248,3	194,0	164,6	97,1	64,9	47,5
$P_{t_{lim}}$, т/га	1555,9	1572,8	1483,4	1281,1	878,4	694,6	325,1	180,5	114,3
(В) Скандинавско-Русская провинция									
Хвойно-широколиственные леса (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	41,8	35,5	31,7	26,3	18,0	14,6	7,4	4,3	2,8
D_{lim} , см	76,8	47,9	37,5	26,2	14,0	10,2	4,1	2,2	1,3
M_{lim} , м ³ /га	642,0	626,2	572,0	466,6	291,0	219,3	83,9	38,8	19,8
$P_{S_{lim}}$, т/га	276,6	283,9	266,8	227,3	148,0	113,5	46,0	22,3	11,6
$P_{f_{lim}}$, т/га	2,4	2,7	2,8	2,9	2,9	2,7	2,3	1,9	1,6
$P_{b_{lim}}$, т/га	30,0	26,9	24,8	21,5	16,0	13,5	7,7	5,0	3,4
$P_{a_{lim}}$, т/га	309,0	313,6	294,5	251,7	166,8	129,7	56,0	29,1	16,6
$P_{r_{lim}}$, т/га	65,0	64,3	61,5	55,5	43,0	36,8	22,0	14,8	10,5
$P_{t_{lim}}$, т/га	374,0	377,9	356,0	307,2	209,9	166,4	78,0	43,9	27,2

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Широколиственные леса (<i>P. euramericana</i>)									
H_{lim} , м	41,6	35,3	31,6	26,2	17,9	14,5	7,3	4,3	2,7
D_{lim} , см	90,5	56,4	44,1	30,9	16,5	12,0	4,8	2,5	1,5
M_{lim} , м ³ /га	863,3	841,4	767,6	628,0	390,2	295,7	114,9	51,7	26,1
Ps_{lim} , т/га	459,7	471,3	442,4	378,0	245,9	188,4	76,0	35,7	18,8
Pf_{lim} , т/га	3,5	4,0	4,2	4,3	4,2	4,1	3,4	2,8	2,4
Pb_{lim} , т/га	32,5	29,3	27,0	23,4	17,3	14,6	8,3	5,3	3,7
P_{alim} , т/га	495,7	504,6	473,6	405,7	267,5	207,0	87,7	43,9	24,9
Pr_{lim} , т/га	139,3	137,6	131,2	119,1	92,2	78,4	46,6	30,6	22,1
P_{ulim} , т/га	635,1	642,2	604,7	524,8	359,7	285,5	134,3	74,4	47,1
Лесостепь (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	44,9	38,1	34,1	28,3	19,4	15,6	7,9	4,7	3,0
D_{lim} , см	75,8	47,2	37,0	25,9	13,8	10,1	4,0	2,1	1,3
M_{lim} , м ³ /га	774,8	754,6	690,2	564,1	350,6	265,4	102,6	46,5	24,2
Ps_{lim} , т/га	349,6	358,2	337,1	287,7	186,7	143,9	57,5	27,3	14,8
Pf_{lim} , т/га	2,9	3,4	3,5	3,6	3,6	3,5	2,9	2,4	2,0
Pb_{lim} , т/га	38,5	34,5	32,0	27,8	20,5	17,3	10,0	6,3	4,5
P_{alim} , т/га	391,0	396,1	372,6	319,1	210,7	164,7	70,4	35,9	21,3
Pr_{lim} , т/га	89,1	87,8	84,2	76,3	58,8	50,7	30,0	19,7	14,9
P_{ulim} , т/га	480,1	483,9	456,8	395,3	269,5	215,3	100,4	55,6	36,2
Степь (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	39,2	33,2	29,7	24,7	16,9	13,6	6,9	4,1	2,6
D_{lim} , см	88,2	54,9	43,0	30,1	16,1	11,7	4,7	2,5	1,5
M_{lim} , м ³ /га	755,9	735,9	672,5	549,6	341,9	258,9	98,9	45,2	23,4
Ps_{lim} , т/га	341,8	350,2	329,2	281,0	183,1	140,2	56,8	27,2	14,3
Pf_{lim} , т/га	3,8	4,4	4,6	4,7	4,7	4,5	3,8	3,1	2,7
Pb_{lim} , т/га	64,0	57,5	53,0	46,0	34,1	28,7	16,4	10,5	7,2
P_{alim} , т/га	409,7	412,1	386,9	331,7	221,9	173,4	77,0	40,8	24,2
Pr_{lim} , т/га	85,3	84,0	80,4	72,8	56,6	48,0	28,8	19,4	14,0
P_{ulim} , т/га	494,9	496,1	467,2	404,5	278,5	221,4	105,8	60,1	38,2
(С) Восток Русской равнины									
Северная тайга (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	34,4	29,2	26,1	21,6	14,8	12,0	6,1	3,6	2,3
D_{lim} , см	58,0	36,1	28,3	19,8	10,6	7,7	3,1	1,6	1,0
M_{lim} , м ³ /га	466,3	453,9	415,2	339,1	210,4	159,8	62,5	27,9	14,7
Ps_{lim} , т/га	217,3	222,5	209,4	178,6	116,5	89,1	36,2	16,8	9,2
Pf_{lim} , т/га	1,5	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	1,5	1,2	1,0
Pb_{lim} , т/га	21,2	19,0	17,6	15,3	11,3	9,5	5,4	3,5	2,4
P_{alim} , т/га	240,0	243,2	228,8	195,8	129,6	100,4	43,1	21,6	12,6
Pr_{lim} , т/га	38,4	37,8	36,3	32,8	25,6	21,7	13,1	8,6	6,5
P_{ulim} , т/га	278,4	281,1	265,1	228,6	155,2	122,1	56,1	30,1	19,1

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Южная тайга (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	37,0	31,4	28,1	23,3	16,0	12,9	6,5	3,8	2,4
D_{lim} , см	74,5	46,4	36,3	25,4	13,6	9,9	4,0	2,1	1,3
M_{lim} , м ³ /га	632,2	615,8	562,2	459,2	286,8	215,9	83,0	37,6	20,1
Ps_{lim} , т/га	306,3	313,9	294,9	251,6	164,1	125,8	51,2	24,3	13,2
Pf_{lim} , т/га	2,8	3,2	3,3	3,4	3,4	3,2	2,7	2,2	1,9
Pb_{lim} , т/га	35,3	31,7	29,2	25,4	18,9	15,9	9,1	5,9	4,1
P_{olim} , т/га	344,4	348,8	327,5	280,4	186,3	144,9	63,0	32,4	19,2
Pr_{lim} , т/га	69,2	68,3	65,2	59,0	45,9	39,2	23,4	15,6	11,7
P_{lim} , т/га	413,6	417,1	392,6	339,4	232,3	184,1	86,3	48,0	30,9
Степь (<i>P. alba</i>)									
H_{lim} , м	44,3	37,6	33,6	27,9	19,1	15,4	7,8	4,6	2,9
D_{lim} , см	80,5	50,2	39,3	27,5	14,7	10,7	4,3	2,3	1,4
M_{lim} , м ³ /га	826,9	806,5	736,7	601,8	373,2	283,1	108,2	49,8	26,2
Ps_{lim} , т/га	424,2	435,3	409,1	349,0	227,2	174,2	70,6	34,0	18,2
Pf_{lim} , т/га	2,6	3,1	3,2	3,3	3,2	3,1	2,6	2,1	1,9
Pb_{lim} , т/га	45,3	40,8	37,6	32,6	24,2	20,3	11,6	7,5	5,2
P_{olim} , т/га	472,2	479,1	449,9	384,9	254,6	197,6	84,8	43,6	25,3
Pr_{lim} , т/га	72,2	71,4	68,3	61,8	48,0	40,9	24,5	16,7	12,1
P_{lim} , т/га	544,4	550,5	518,1	446,7	302,6	238,5	109,3	60,3	37,4
(Е) Западно-Сибирская равнинная провинция									
Южная тайга (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	38,8	32,9	29,4	24,4	16,7	13,5	6,9	4,0	2,6
D_{lim} , см	77,1	48,0	37,6	26,3	14,1	10,3	4,1	2,2	1,3
M_{lim} , м ³ /га	594,4	578,7	529,0	432,0	268,4	202,2	79,3	35,8	18,3
Ps_{lim} , т/га	300,3	307,6	289,3	246,7	161,1	122,8	49,8	24,1	12,5
Pf_{lim} , т/га	2,8	3,2	3,3	3,4	3,3	3,2	2,7	2,2	1,9
Pb_{lim} , т/га	38,7	34,7	32,1	27,8	20,7	17,5	9,8	6,4	4,4
P_{olim} , т/га	341,7	345,5	324,7	277,9	185,1	143,5	62,3	32,6	18,8
Pr_{lim} , т/га	77,1	75,9	72,7	65,8	51,4	44,1	25,9	17,8	12,4
P_{lim} , т/га	418,8	421,4	397,4	343,7	236,5	187,6	88,2	50,4	31,2
Лесостепь (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	34,9	29,7	26,5	22,0	15,1	12,2	6,2	3,6	2,3
D_{lim} , см	77,1	48,1	37,6	26,3	14,1	10,3	4,1	2,2	1,3
M_{lim} , м ³ /га	557,3	543,7	495,9	405,0	251,6	189,6	74,3	33,5	17,1
Ps_{lim} , т/га	260,2	267,0	250,6	213,8	139,6	106,4	43,1	20,8	10,9
Pf_{lim} , т/га	2,5	2,9	3,1	3,1	3,1	3,0	2,5	2,0	1,7
Pb_{lim} , т/га	49,3	44,4	40,8	35,4	26,4	22,3	12,5	8,1	5,6
P_{olim} , т/га	312,0	314,3	294,5	252,4	169,1	131,7	58,1	30,9	18,2
Pr_{lim} , т/га	160,9	159,2	151,7	137,2	107,2	92,0	54,1	37,1	25,8
P_{lim} , т/га	472,9	473,5	446,2	389,6	276,3	223,7	112,2	68,0	44,1

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Степь (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	34,9	29,7	26,5	22,0	15,1	12,2	6,2	3,6	2,3
D_{lim} , см	77,1	48,1	37,6	26,3	14,1	10,3	4,1	2,2	1,3
M_{lim} , м ³ /га	557,3	543,7	495,9	405,0	251,6	189,6	74,3	33,5	17,1
Ps_{lim} , т/га	260,2	267,0	250,6	213,8	139,6	106,4	43,1	20,8	10,9
Pf_{lim} , т/га	2,5	2,9	3,1	3,1	3,1	3,0	2,5	2,0	1,7
Pb_{lim} , т/га	49,3	44,4	40,8	35,4	26,4	22,3	12,5	8,1	5,6
Pa_{lim} , т/га	312,0	314,3	294,5	252,4	169,1	131,7	58,1	30,9	18,2
Pr_{lim} , т/га	160,9	159,2	151,7	137,2	107,2	92,0	54,1	37,1	25,8
P_{lim} , т/га	472,9	473,5	446,2	389,6	276,3	223,7	112,2	68,0	44,1
(F) Средне-Сибирская плоскогорная провинция									
Южная тайга (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	34,9	29,7	26,5	22,0	15,1	12,2	6,2	3,6	2,3
D_{lim} , см	67,3	41,9	32,8	23,0	12,3	9,0	3,6	1,9	1,1
M_{lim} , м ³ /га	307,3	299,2	273,3	223,7	139,2	105,2	40,1	18,3	9,1
Ps_{lim} , т/га	134,4	137,7	129,4	110,6	72,0	55,0	22,4	10,7	5,4
Pf_{lim} , т/га	2,1	2,4	2,5	2,6	2,5	2,4	2,1	1,7	1,5
Pb_{lim} , т/га	11,8	10,5	9,7	8,5	6,3	5,3	3,0	2,0	1,4
Pa_{lim} , т/га	148,3	150,7	141,7	121,6	80,8	62,8	27,5	14,3	8,2
Pr_{lim} , т/га	27,6	27,1	25,9	23,6	18,3	15,8	9,4	6,4	4,3
P_{lim} , т/га	175,8	177,8	167,6	145,2	99,1	78,6	36,9	20,7	12,6
(H) Дальний Восток									
Северная тайга (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	34,9	29,6	26,5	22,0	15,0	12,2	6,2	3,6	2,3
D_{lim} , см	54,8	34,2	26,7	18,7	10,0	7,3	2,9	1,5	0,9
M_{lim} , м ³ /га	372,4	363,5	331,1	270,8	169,2	127,9	49,4	22,1	11,1
Ps_{lim} , т/га	164,0	168,4	157,9	134,8	87,8	67,5	27,1	12,6	6,7
Pf_{lim} , т/га	1,0	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7
Pb_{lim} , т/га	17,0	15,3	14,1	12,2	9,0	7,6	4,5	2,8	2,0
Pa_{lim} , т/га	182,0	184,9	173,2	148,3	98,1	76,3	32,6	16,3	9,4
Pr_{lim} , т/га	20,9	20,7	19,7	17,9	13,9	11,9	7,1	4,6	3,4
P_{lim} , т/га	202,9	205,7	193,0	166,2	112,0	88,2	39,7	20,9	12,8
(I) Забайкальская горная провинция									
Южная тайга (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	38,8	32,9	29,4	24,4	16,7	13,5	6,8	4,0	2,6
D_{lim} , см	70,0	43,6	34,1	23,9	12,8	9,3	3,7	2,0	1,2
M_{lim} , м ³ /га	514,2	500,9	457,1	374,1	233,3	175,2	68,2	31,0	16,1
Ps_{lim} , т/га	255,4	261,8	245,8	210,1	137,0	104,9	42,1	20,5	10,8
Pf_{lim} , т/га	2,4	2,7	2,8	2,9	2,9	2,7	2,3	1,9	1,6
Pb_{lim} , т/га	21,6	19,3	17,8	15,5	11,5	9,7	5,6	3,5	2,5
Pa_{lim} , т/га	279,3	283,9	266,5	228,5	151,4	117,3	50,0	25,9	14,9
Pr_{lim} , т/га	40,6	40,0	38,2	34,7	27,0	22,9	13,7	9,4	6,8
P_{lim} , т/га	319,9	323,9	304,6	263,2	178,4	140,2	63,7	35,3	21,7

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(J) Алтае-Саянская горная провинция									
Южная тайга (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	43,5	36,9	33,0	27,4	18,7	15,1	7,7	4,5	2,9
D_{lim} , см	100,4	62,5	49,0	34,2	18,3	13,4	5,4	2,8	1,7
M_{lim} , м ³ /га	1055,7	1027,8	940,3	766,2	478,2	359,4	139,8	63,8	32,6
$P_{s_{lim}}$, т/га	423,9	434,3	408,7	347,9	226,7	173,6	71,0	33,2	17,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	5,4	6,2	6,5	6,7	6,6	6,3	5,3	4,4	3,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	49,7	44,6	41,2	35,7	26,5	22,4	12,6	8,1	5,7
$P_{a_{lim}}$, т/га	479,0	485,2	456,4	390,3	259,7	202,3	88,9	45,6	27,2
$P_{r_{lim}}$, т/га	61,5	60,5	58,1	52,3	40,7	35,1	20,5	13,8	10,0
P_{lim} , т/га	540,5	545,7	514,5	442,5	300,4	237,4	109,4	59,4	37,2
Южная тайга (<i>P. laurifolia</i>)									
H_{lim} , м	29,8	25,3	22,6	18,7	12,8	10,4	5,3	3,1	2,0
D_{lim} , см	65,1	40,6	31,8	22,2	11,9	8,7	3,5	1,8	1,1
M_{lim} , м ³ /га	383,9	374,5	342,2	278,9	173,8	131,3	50,3	23,0	11,8
$P_{s_{lim}}$, т/га	147,3	151,2	142,1	121,0	79,0	60,3	24,7	11,5	6,2
$P_{f_{lim}}$, т/га	2,2	2,6	2,7	2,8	2,7	2,6	2,2	1,8	1,5
$P_{b_{lim}}$, т/га	17,1	15,3	14,1	12,2	9,1	7,7	4,4	2,8	2,0
$P_{a_{lim}}$, т/га	166,6	169,1	158,9	136,0	90,8	70,6	31,2	16,2	9,7
$P_{r_{lim}}$, т/га	37,9	37,5	35,9	32,3	25,2	21,7	12,8	8,5	6,3
P_{lim} , т/га	204,5	206,6	194,8	168,3	116,0	92,3	44,1	24,7	15,9
Лесостепь (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	34,3	29,1	26,0	21,6	14,8	11,9	6,1	3,6	2,3
D_{lim} , см	70,5	43,9	34,4	24,0	12,9	9,4	3,8	2,0	1,2
M_{lim} , м ³ /га	512,0	498,6	455,9	371,3	232,5	175,1	67,4	30,6	15,9
$P_{s_{lim}}$, т/га	216,1	221,5	208,3	177,2	116,0	89,0	36,3	17,2	9,1
$P_{f_{lim}}$, т/га	2,2	2,5	2,6	2,7	2,6	2,5	2,1	1,7	1,4
$P_{b_{lim}}$, т/га	42,2	37,8	34,9	30,3	22,6	19,0	10,9	7,0	4,9
$P_{a_{lim}}$, т/га	260,4	261,8	245,8	210,1	141,2	110,6	49,3	26,0	15,4
$P_{r_{lim}}$, т/га	26,1	25,7	24,6	22,2	17,4	14,9	8,9	6,0	4,3
P_{lim} , т/га	286,5	287,5	270,5	232,3	158,6	125,4	58,2	31,9	19,7
(L) Япония, Хоккайдо									
Средняя тайга (<i>P. davidiana</i>)									
H_{lim} , м	59,0	50,1	44,8	37,2	25,5	20,6	10,4	6,1	3,9
D_{lim} , см	123,2	76,7	60,1	42,0	22,5	16,4	6,6	3,5	2,1
M_{lim} , м ³ /га	2130,9	2074,8	1897,0	1547,8	962,4	728,7	282,0	127,7	66,2
$P_{s_{lim}}$, т/га	772,0	790,9	743,9	634,0	413,7	315,8	128,8	61,6	32,5
$P_{f_{lim}}$, т/га	6,9	8,0	8,3	8,5	8,4	8,0	6,7	5,5	4,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	163,2	146,6	135,3	117,3	87,1	73,4	41,6	27,2	18,5
$P_{a_{lim}}$, т/га	942,1	945,4	887,4	759,8	509,2	397,3	177,1	94,3	55,7
$P_{r_{lim}}$, т/га	68,3	67,2	64,4	58,1	45,4	38,8	22,9	15,3	11,0
P_{lim} , т/га	1010,4	1012,7	951,9	818,0	554,5	436,0	200,0	109,6	66,7

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(М) Причерноморская провинция (<i>P. tremula</i>)									
H_{lim} , м	26,3	22,3	19,9	16,5	11,3	9,2	4,6	2,7	1,7
D_{lim} , см	47,3	29,5	23,1	16,1	8,6	6,3	2,5	1,3	0,8
M_{lim} , м ³ /га	501,6	489,3	447,1	363,8	226,3	171,4	66,5	29,9	15,5
Ps_{lim} , т/га	225,1	231,0	217,1	184,6	120,3	92,6	37,1	17,4	9,4
Pf_{lim} , т/га	3,4	3,9	4,1	4,2	4,1	4,0	3,4	2,8	2,4
Pb_{lim} , т/га	46,7	42,0	38,7	33,5	24,8	21,0	12,2	7,7	5,5
P_{alim} , т/га	275,2	276,9	259,9	222,3	149,2	117,6	52,6	27,9	17,3
Pr_{lim} , т/га	20,2	20,0	19,1	17,2	13,3	11,5	6,8	4,5	3,4
P_{tlim} , т/га	295,4	296,9	279,0	239,4	162,5	129,0	59,5	32,4	20,6
(О) Памиро-Тяньшаньская провинция (<i>P. pruinosa</i>)									
H_{lim} , м	12,7	10,8	9,6	8,0	5,5	4,4	2,2	1,3	0,8
D_{lim} , см	76,7	47,8	37,4	26,2	14,0	10,2	4,1	2,2	1,3
M_{lim} , м ³ /га	229,9	224,1	204,6	167,3	104,3	78,6	30,1	13,9	7,1
Ps_{lim} , т/га	105,2	107,9	101,4	86,6	56,3	43,3	17,5	8,5	4,4
Pf_{lim} , т/га	2,3	2,6	2,7	2,8	2,7	2,6	2,2	1,8	1,5
Pb_{lim} , т/га	22,8	20,5	18,9	16,4	12,1	10,2	5,8	3,8	2,6
P_{alim} , т/га	130,2	131,0	123,0	105,8	71,2	56,2	25,5	14,1	8,6
Pr_{lim} , т/га	38,6	38,1	36,4	33,0	25,6	21,9	13,1	8,8	6,2
P_{tlim} , т/га	168,9	169,2	159,4	138,9	96,8	78,1	38,7	22,9	14,8

Приложение 1.9. ОЛЬХА (*ALNUS*)

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Широколиственные леса (<i>A. glutinosa</i>)									
H_{lim} , м	18,5	22,2	23,0	23,0	20,3	18,2	11,6	7,5	5,1
D_{lim} , см	46,7	39,8	36,0	30,7	22,5	19,0	11,1	7,3	5,2
M_{lim} , м ³ /га	133,9	290,5	379,9	499,8	622,4	629,8	487,2	326,0	215,1
Ps_{lim} , т/га	57,8	122,4	158,7	207,0	256,1	259,0	202,0	136,9	91,5
Pf_{lim} , т/га	0,9	1,7	2,1	2,7	3,9	4,5	5,7	6,2	6,3
Pb_{lim} , т/га	11,8	16,9	19,1	21,8	24,4	24,8	22,6	19,1	16,4
P_{alim} , т/га	71	141	180	232	284	288	230	162	114
Pr_{lim} , т/га	27,4	38,0	41,5	44,0	41,4	37,8	24,1	15,3	9,9
P_{tlim} , т/га	98	179	221	276	326	326	254	177	124
(В) Скандинавско-Русская провинция									
Лесотундра (<i>A. incana</i>)									
H_{lim} , м	14,2	17,1	17,8	17,7	15,6	14,0	8,9	5,8	3,9
D_{lim} , см	31,0	26,4	23,9	20,4	15,0	12,6	7,4	4,9	3,4
M_{lim} , м ³ /га	28,6	62,0	81,2	106,9	133,5	134,4	104,5	70,4	45,3

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
$P_{s\lim}$, т/га	14,2	30,1	39,1	51,0	63,3	63,7	49,9	34,0	22,2
$P_{f\lim}$, т/га	0,7	1,2	1,5	1,9	2,8	3,2	4,1	4,4	4,4
$P_{b\lim}$, т/га	50,7	75,6	86,5	98,8	108,2	105,9	87,9	68,7	51,3
$P_{a\lim}$, т/га	66	107	127	152	174	173	142	107	78
$P_{r\lim}$, т/га	28,4	40,8	45,7	50,1	50,7	48,2	34,9	24,4	17,3
$P_{\lim}$, т/га	94	148	173	202	225	221	177	131	95
Южная тайга (<i>A. incana</i>)									
$H_{\lim}$, м	22,6	27,2	28,2	28,1	24,8	22,3	14,1	9,2	6,2
$D_{\lim}$, см	36,9	31,4	28,4	24,3	17,8	15,0	8,8	5,8	4,1
$M_{\lim}$, м ³ /га	166,9	361,5	472,7	624,0	776,7	784,3	609,2	408,5	267,6
$P_{s\lim}$, т/га	72,2	152,7	198,0	259,1	320,3	323,3	253,1	171,9	114,1
$P_{f\lim}$, т/га	0,9	1,6	2,0	2,7	3,8	4,3	5,6	6,0	6,1
$P_{b\lim}$, т/га	35,1	52,3	59,7	68,5	74,5	73,3	60,6	46,7	35,9
$P_{a\lim}$, т/га	108	207	260	330	399	401	319	225	156
$P_{r\lim}$, т/га	29,3	40,6	44,4	47,0	44,2	40,4	25,8	16,3	10,6
$P_{\lim}$, т/га	137	247	304	377	443	441	345	241	167
Хвойно-широколиственные леса (<i>A. incana</i>)									
$H_{\lim}$, м	24,8	29,8	30,9	30,8	27,2	24,4	15,5	10,1	6,8
$D_{\lim}$, см	38,9	33,2	30,0	25,6	18,8	15,9	9,3	6,1	4,3
$M_{\lim}$, м ³ /га	152,9	332,0	433,8	571,2	712,7	722,2	559,3	373,3	243,8
$P_{s\lim}$, т/га	61,4	130,1	168,5	220,0	272,6	276,1	215,6	145,7	96,4
$P_{f\lim}$, т/га	1,0	1,8	2,2	3,0	4,2	4,8	6,2	6,7	6,8
$P_{b\lim}$, т/га	10,0	14,4	16,2	18,5	20,9	21,2	19,4	16,3	13,7
$P_{a\lim}$, т/га	72	146	187	242	298	302	241	169	117
$P_{r\lim}$, т/га	55,9	77,5	84,7	89,7	84,4	77,0	49,2	31,1	20,2
$P_{\lim}$, т/га	128	224	272	331	382	379	290	200	137
Хвойно-широколиственные леса (<i>A. glutinosa</i>)									
$H_{\lim}$, м	23,1	27,8	28,9	28,8	25,4	22,8	14,5	9,4	6,4
$D_{\lim}$, см	38,6	32,9	29,8	25,4	18,6	15,7	9,2	6,1	4,3
$M_{\lim}$, м ³ /га	144,3	313,1	410,0	539,2	671,0	678,7	526,6	355,1	232,0
$P_{s\lim}$, т/га	67,2	142,2	184,7	240,8	297,6	301,0	235,4	160,7	106,4
$P_{f\lim}$, т/га	1,3	2,3	2,9	3,9	5,5	6,3	8,1	8,8	8,9
$P_{b\lim}$, т/га	26,6	39,8	45,5	51,9	56,4	55,6	45,9	35,8	27,5
$P_{a\lim}$, т/га	95	184	233	297	359	363	289	205	143
$P_{r\lim}$, т/га	53,2	73,8	80,7	85,4	80,4	73,4	46,8	29,6	19,2
$P_{\lim}$, т/га	148	258	314	382	440	436	336	235	162
Широколиственные леса (<i>A. glutinosa</i>)									
$H_{\lim}$, м	23,9	28,7	29,8	29,7	26,2	23,5	14,9	9,7	6,6
$D_{\lim}$, см	42,3	36,0	32,6	27,8	20,4	17,2	10,1	6,6	4,7
$M_{\lim}$, м ³ /га	179,5	388,8	509,0	669,7	835,0	843,7	655,9	436,1	287,7
$P_{s\lim}$, т/га	106,3	224,8	291,9	380,7	471,5	476,2	373,1	251,3	167,9
$P_{f\lim}$, т/га	1,5	2,6	3,2	4,3	6,1	7,0	9,0	9,6	9,8
$P_{b\lim}$, т/га	32,3	48,2	55,1	62,8	68,6	67,6	56,0	42,5	33,2
$P_{a\lim}$, т/га	140	276	350	448	546	551	438	303	211
$P_{r\lim}$, т/га	56,7	78,6	85,9	90,9	85,5	78,1	49,8	31,5	20,4
$P_{\lim}$, т/га	197	354	436	539	632	629	488	335	231

Электронный архив УГЛТУ

Густота древостоя, тыс.экз/га

Показатель	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Хвойно-широколиственные леса (<i>Q. robur</i>)									
H_{lim} , м	28,8	24,8	22,5	19,2	15,3	11,7	6,7	4,3	3,0
D_{lim} , см	55,7	36,4	29,2	21,5	15,7	9,8	4,7	2,8	1,8
M_{lim} , м ³ /га	333,9	280,4	251,3	211,6	153,0	128,7	74,7	49,5	34,3
Ps_{lim} , т/га	184,6	153,9	137,4	115,0	82,1	68,5	38,7	25,1	17,4
Pf_{lim} , т/га	3,1	3,0	2,9	2,7	2,9	3,4	4,9	6,3	7,8
Pb_{lim} , т/га	51,6	40,4	34,6	27,2	16,8	13,3	4,3	6,9	3,0
P_{alim} , т/га	239,2	197,3	174,9	144,9	101,8	85,1	35,7	38,3	28,1
Pr_{lim} , т/га	38,7	33,9	31,3	28,0	23,9	22,2	16,9	50,0	15,8
P_{lim} , т/га	277,9	231,2	206,2	172,9	125,7	107,3	52,6	88,3	43,9
Широколиственные леса (<i>Q. robur</i>)									
H_{lim} , м	34,4	29,6	26,8	22,9	18,6	14,0	8,0	5,2	3,6
D_{lim} , см	65,9	43,1	34,6	25,4	41,1	11,6	5,5	3,3	2,2
M_{lim} , м ³ /га	494,1	415,1	372,1	313,1	226,3	190,6	110,9	73,3	50,5
Ps_{lim} , т/га	315,7	263,3	235,2	196,6	140,3	117,3	66,5	43,0	29,6
Pf_{lim} , т/га	4,4	4,2	4,0	3,6	3,6	4,0	5,6	6,9	8,4
Pb_{lim} , т/га	69,7	54,8	47,1	37,0	22,8	18,0	9,2	5,7	3,9
P_{alim} , т/га	389,8	322,3	286,3	237,2	166,7	139,3	81,3	55,6	41,9
Pr_{lim} , т/га	60,9	53,5	49,3	44,1	37,5	35,1	29,3	27,5	24,8
P_{lim} , т/га	450,7	375,8	335,6	281,4	204,2	174,4	110,6	83,1	66,7
Широколиственные леса (<i>Q. petraea</i>)									
H_{lim} , м	35,3	30,4	27,6	23,5	19,3	14,4	8,3	5,3	3,7
D_{lim} , см	68,7	44,9	36,1	26,5	19,8	12,1	5,8	3,4	2,2
M_{lim} , м ³ /га	554,0	465,8	417,4	351,2	254,1	213,8	124,1	81,8	56,7
Ps_{lim} , т/га	329,9	275,3	245,9	205,5	146,8	122,6	69,3	44,7	31,0
Pf_{lim} , т/га	5,9	5,5	5,2	4,8	4,5	5,1	7,1	8,5	10,1
Pb_{lim} , т/га	101,0	79,3	68,3	53,4	32,8	25,8	13,2	8,1	5,4
P_{alim} , т/га	436,8	360,2	319,4	263,7	184,2	153,6	89,6	61,3	46,5
Pr_{lim} , т/га	65,7	57,6	53,2	47,6	40,6	37,7	31,9	29,0	26,0
P_{lim} , т/га	502,5	417,8	372,6	311,3	224,7	191,3	121,5	90,3	72,5
Широколиственные леса (<i>Q. rubra</i>)									
H_{lim} , м	39,0	33,6	30,4	26,0	21,1	15,9	9,1	5,9	4,1
D_{lim} , см	66,0	43,1	34,7	25,4	18,6	11,6	5,5	3,3	2,2
M_{lim} , м ³ /га	662,2	556,6	499,0	420,0	303,9	255,3	148,6	98,2	67,6
Ps_{lim} , т/га	431,0	359,7	321,3	268,7	191,9	160,1	90,8	58,7	40,4
Pf_{lim} , т/га	5,8	5,5	5,2	4,8	4,7	5,3	7,3	9,1	11,1
Pb_{lim} , т/га	66,4	53,1	46,2	36,6	23,0	18,2	9,6	6,0	4,1
P_{alim} , т/га	503,2	418,3	372,7	310,1	219,5	183,7	107,7	73,8	55,6
Pr_{lim} , т/га	71,0	62,3	57,5	51,5	43,9	40,9	34,1	31,5	28,9
P_{lim} , т/га	574,2	480,5	430,2	361,6	263,4	224,5	141,8	105,3	84,5

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	3	5	20	50	100	
Средиземноморские субтропики (<i>Q. ilex</i>)									
H_{lim} , м	19,3	16,6	15,1	12,9	10,9	7,9	4,5	2,9	2,0
D_{lim} , см	57,7	37,7	30,3	22,3	16,0	10,2	4,8	2,9	1,9
M_{lim} , м³/га	232,6	195,5	175,2	147,5	106,7	89,5	52,2	34,5	24,0
Ps_{lim} , т/га	157,0	131,0	117,0	97,8	69,9	58,2	33,1	21,4	14,9
Pf_{lim} , т/га	3,1	3,0	2,9	2,7	2,9	3,3	4,6	5,8	6,9
Pb_{lim} , т/га	26,4	19,4	16,2	12,2	7,1	5,4	2,6	1,5	1,0
P_{alim} , т/га	186,5	153,4	136,1	112,7	79,8	66,9	40,3	8,8	22,8
Pr_{lim} , т/га	26,9	23,6	21,8	19,5	16,6	15,5	13,0	11,9	10,7
P_{ulim} , т/га	213,3	177,0	157,8	132,2	96,4	82,4	53,3	40,6	33,6
(В) Скандинавско-Русская провинция									
Хвойно-широколиственные леса (<i>Q. robur</i>)									
H_{lim} , м	28,2	24,2	22,0	18,7	15,1	11,5	6,6	4,2	2,9
D_{lim} , см	67,8	44,3	35,6	26,1	19,2	11,9	5,7	3,4	2,2
M_{lim} , м³/га	338,6	284,4	255,0	214,5	155,3	130,5	75,7	50,3	34,7
Ps_{lim} , т/га	196,3	163,7	146,2	122,2	87,3	72,9	41,2	26,8	18,5
Pf_{lim} , т/га	4,2	4,0	3,8	3,4	3,3	3,8	5,2	6,5	7,3
Pb_{lim} , т/га	75,5	57,3	48,6	37,2	22,2	17,2	8,5	5,1	3,3
P_{alim} , т/га	276,0	225,0	198,6	162,9	112,8	93,9	54,9	38,4	29,1
Pr_{lim} , т/га	16,2	14,2	13,1	11,7	9,9	9,3	7,8	7,0	6,5
P_{ulim} , т/га	292,1	239,1	211,6	174,6	122,8	103,2	62,7	45,4	35,6
Широколиственные леса (<i>Q. robur</i>)									
H_{lim} , м	34,6	29,7	26,9	23,0	18,7	14,1	8,1	5,2	3,6
D_{lim} , см	70,0	45,8	36,8	27,0	19,6	12,3	5,9	3,5	2,3
M_{lim} , м³/га	595,9	500,8	449,0	377,7	273,4	229,8	133,4	88,4	62,6
Ps_{lim} , т/га	360,6	300,9	268,8	224,7	160,5	133,9	75,7	49,1	34,2
Pf_{lim} , т/га	5,9	5,6	5,3	4,8	4,5	5,1	7,0	8,5	10,1
Pb_{lim} , т/га	70,5	55,1	47,2	36,8	22,5	17,6	9,0	5,4	3,6
P_{alim} , т/га	437,0	361,6	321,3	266,3	187,5	156,6	91,7	63,0	47,9
Pr_{lim} , т/га	84,2	74,0	68,2	61,0	52,0	48,6	40,8	36,8	34,0
P_{ulim} , т/га	521,2	435,5	389,5	327,3	239,5	205,2	132,5	99,8	81,9
Лесостепь (<i>Q. robur</i>)									
H_{lim} , м	41,0	35,2	31,9	27,3	21,6	16,7	9,6	6,2	4,3
D_{lim} , см	75,5	49,4	39,7	29,1	21,1	13,3	6,3	3,7	2,5
M_{lim} , м³/га	606,1	509,5	456,4	384,2	277,8	233,3	136,1	90,2	62,9
Ps_{lim} , т/га	429,6	358,6	320,0	267,7	191,1	159,3	90,5	58,7	40,3
Pf_{lim} , т/га	5,7	5,3	5,0	4,5	4,0	4,5	6,2	7,5	8,6
Pb_{lim} , т/га	74,6	59,2	51,1	40,2	24,9	19,6	10,1	6,2	4,1
P_{alim} , т/га	509,9	423,1	376,1	312,4	220,0	183,4	106,7	72,4	53,0
Pr_{lim} , т/га	95,2	83,7	77,2	69,0	58,8	54,9	46,0	42,1	37,8
P_{ulim} , т/га	605,2	506,7	453,2	381,4	278,8	238,3	152,8	114,5	90,8

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Степь (<i>Q. robur</i>)									
H_{lim} , м	28,2	24,3	22,0	18,8	15,8	11,5	6,6	4,2	3,0
D_{lim} , см	62,4	40,8	32,8	24,1	17,9	11,0	5,2	3,1	2,0
M_{lim} , м ³ /га	395,9	332,6	298,3	251,0	181,8	152,8	88,8	58,5	41,5
Ps_{lim} , т/га	272,9	227,7	203,4	170,1	121,6	101,5	57,4	37,0	25,6
Pf_{lim} , т/га	4,9	4,7	4,5	4,2	4,2	4,8	4,3	4,7	5,1
Pb_{lim} , т/га	56,3	43,3	36,9	28,5	17,3	13,5	6,8	4,1	2,7
P_{alim} , т/га	334,1	275,7	244,8	202,8	143,0	119,8	71,0	45,8	38,0
Pr_{lim} , т/га	71,8	63,0	58,1	52,0	44,4	41,3	34,9	31,6	29,3
P_{tim} , т/га	405,8	338,7	303,0	254,8	187,4	161,1	105,9	77,4	67,3
(Н) Дальневосточное Приморье									
Хвойно-широколиственные леса (<i>Q. mongolica</i>)									
H_{lim} , м	22,8	19,6	17,8	15,2	12,6	9,3	5,3	3,4	2,4
D_{lim} , см	57,2	37,3	30,0	22,0	16,6	10,1	4,8	2,8	1,9
M_{lim} , м ³ /га	341,0	286,4	256,7	216,2	156,5	131,1	76,1	50,7	35,9
Ps_{lim} , т/га	197,6	164,8	147,2	123,1	88,0	73,2	41,4	27,0	18,8
Pf_{lim} , т/га	3,8	3,7	3,5	3,3	3,5	4,1	6,0	7,2	8,6
Pb_{lim} , т/га	51,4	38,6	32,7	25,0	14,8	11,5	5,7	3,4	2,3
P_{alim} , т/га	252,8	207,1	183,4	151,4	106,4	88,8	53,0	37,6	29,6
Pr_{lim} , т/га	73,4	64,3	59,4	53,2	45,2	42,2	35,2	32,5	29,5
P_{tim} , т/га	326,2	271,4	242,8	204,6	151,6	131,0	88,2	70,1	59,1
(Л) Япония, Хонсю									
Широколиственные леса (<i>Q. glauca</i>)									
H_{lim} , м	24,4	21,0	19,0	16,3	12,9	9,9	5,7	3,7	2,6
D_{lim} , см	60,1	39,3	31,6	23,2	16,9	10,6	5,0	3,0	2,0
M_{lim} , м ³ /га	450,5	378,4	339,4	285,6	206,4	173,8	101,0	66,7	46,8
Ps_{lim} , т/га	295,6	246,5	220,3	184,2	131,4	109,8	62,2	40,2	27,6
Pf_{lim} , т/га	5,0	4,8	4,6	4,3	4,4	5,1	7,1	9,2	11,0
Pb_{lim} , т/га	114,9	86,9	73,7	56,3	33,5	26,0	12,8	7,7	5,2
P_{alim} , т/га	415,5	338,2	298,6	244,8	169,4	140,9	82,1	57,1	43,8
Pr_{lim} , т/га	77,7	68,2	63,0	56,3	47,8	44,7	37,7	34,1	31,4
P_{tim} , т/га	493,2	406,5	361,5	301,1	217,2	185,7	119,8	91,2	75,1
(Л) Япония, Хонсю									
Широколиственные леса (<i>Q. phillyraeoides</i>)									
H_{lim} , м	22,3	19,2	17,4	14,8	12,2	9,1	5,2	3,4	2,3
D_{lim} , см	53,5	35,0	28,1	20,6	15,4	9,4	4,5	2,7	1,7
M_{lim} , м ³ /га	424,6	357,1	319,8	269,4	194,5	163,6	94,8	63,0	43,2
Ps_{lim} , т/га	402,0	335,6	299,5	250,6	178,7	149,2	84,2	54,8	37,6
Pf_{lim} , т/га	8,3	8,1	7,9	7,4	8,3	9,7	14,0	17,3	21,5
Pb_{lim} , т/га	141,8	107,6	91,1	70,0	41,8	32,5	16,3	9,8	6,7
P_{alim} , т/га	552,1	451,3	398,4	328,0	228,8	191,3	114,5	81,9	65,8
Pr_{lim} , т/га	76,8	67,5	62,2	55,8	47,4	44,3	36,9	33,7	31,0
P_{tim} , т/га	628,9	518,8	460,6	383,8	276,3	235,6	151,4	115,6	96,8

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(М) Причерноморская провинция (<i>Q. robur</i>)									
H_{lim} , м	26,8	23,0	20,9	17,8	14,7	10,9	6,3	4,0	2,8
D_{lim} , см	72,9	47,6	38,3	28,1	20,4	12,8	6,1	3,6	2,4
M_{lim} , м ³ /га	454,7	382,1	342,5	288,2	208,3	175,3	102,2	67,2	47,8
Ps_{lim} , т/га	316,1	263,7	235,5	196,9	140,5	117,4	66,7	42,9	30,0
Pf_{lim} , т/га	5,1	4,8	4,5	4,1	3,7	4,2	5,8	6,8	8,5
Pb_{lim} , т/га	73,3	54,8	46,1	35,0	20,5	15,7	7,5	4,4	2,9
P_{alim} , т/га	394,5	323,2	286,1	236,0	164,6	137,3	80,0	54,1	41,3
Pr_{lim} , т/га	76,4	67,0	61,9	55,4	47,2	43,9	37,0	33,9	31,0
P_{ulim} , т/га	471,0	390,3	347,9	291,3	211,8	181,2	117,0	88,0	72,4
(N) Кавказско-Малоазиатская провинция (<i>Q. castaneifolia</i>)									
H_{lim} , м	22,5	19,4	17,6	15,0	12,4	9,2	5,3	3,4	2,4
D_{lim} , см	51,5	33,6	27,1	19,9	14,6	9,1	4,3	2,6	1,7
M_{lim} , м ³ /га	444,2	373,2	334,8	281,7	203,8	171,5	99,8	65,9	46,7
Ps_{lim} , т/га	270,8	225,8	201,9	168,7	120,5	100,7	57,1	36,9	25,7
Pf_{lim} , т/га	7,2	7,1	6,9	6,6	7,5	8,8	13,0	16,6	19,1
Pb_{lim} , т/га	44,8	34,1	29,0	22,4	13,5	10,5	5,3	3,2	2,2
P_{alim} , т/га	322,9	267,0	237,8	197,7	141,5	120,0	75,4	56,7	47,0
Pr_{lim} , т/га	78,8	69,1	63,9	57,1	48,5	45,2	38,1	34,3	31,2
P_{ulim} , т/га	401,7	336,1	301,7	254,8	190,0	165,2	113,5	91,0	78,2

Приложение 1.11. БУК (*FAGUS*)

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Хвойно-широколиственные леса (<i>F. silvatica</i>)									
H_{lim} , м	35,9	33,9	30,8	25,2	18,0	11,6	5,2	2,7	1,9
D_{lim} , см	69,0	41,9	32,3	22,1	11,9	8,9	4,0	2,3	1,5
M_{lim} , м ³ /га	657,9	657,9	610,9	439,4	237,1	175,2	70,8	37,9	21,0
Ps_{lim} , т/га	346,1	283,5	236,7	170,7	95,4	71,6	31,1	16,7	9,2
Pf_{lim} , т/га	3,6	4,6	4,9	5,0	4,5	4,1	3,2	2,6	2,0
Pb_{lim} , т/га	152,6	143,3	132,3	112,8	77,8	72,3	28,7	15,3	9,2
P_{alim} , т/га	502	431	374	289	178	148	63	35	20
Pr_{lim} , т/га	45,3	53,7	53,8	49,9	38,7	32,6	17,1	9,5	5,9
P_{ulim} , т/га	548	485	428	338	216	181	80	44	26
Широколиственные леса (<i>F. silvatica</i>)									
H_{lim} , м	41,0	38,7	35,1	28,7	21,0	13,2	6,0	3,1	2,1
D_{lim} , см	67,5	41,0	31,6	21,6	11,6	8,7	3,9	2,3	1,5
M_{lim} , м ³ /га	715,7	715,7	664,3	477,3	259,4	190,4	76,7	42,4	23,4

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
$P_{s\text{lim}}$, т/га	538,0	440,8	368,0	265,0	147,5	111,1	48,1	26,9	14,7
$P_{f\text{lim}}$, т/га	2,9	3,6	3,9	3,9	3,6	3,2	2,5	2,0	1,6
$P_{b\text{lim}}$, т/га	67,9	63,7	58,8	50,1	34,5	32,2	12,9	6,9	4,1
$P_{a\text{lim}}$, т/га	609	508	431	319	186	147	64	36	20
$P_{r\text{lim}}$, т/га	47,1	55,9	56,0	52,0	40,3	33,9	17,8	9,9	6,1
$P_{u\text{lim}}$, т/га	656	564	487	371	226	180	81	46	26
(L) Япония, Хонсю									
Широколиственные леса (<i>F. crenata</i>)									
H_{lim} , м	32,6	30,8	27,9	22,8	16,8	10,5	4,8	2,4	1,7
D_{lim} , см	70,5	42,9	33,0	22,6	12,2	9,1	4,0	2,4	1,6
M_{lim} , м ³ /га	829,7	829,7	768,7	553,4	299,6	220,6	87,3	49,0	27,8
$P_{s\text{lim}}$, т/га	536,5	440,7	366,9	264,9	147,1	111,0	48,6	26,8	15,2
$P_{f\text{lim}}$, т/га	2,8	3,6	3,8	3,9	3,5	3,2	2,5	2,0	1,6
$P_{b\text{lim}}$, т/га	110,8	104,2	96,0	82,0	56,4	52,6	21,0	11,3	6,7
$P_{a\text{lim}}$, т/га	650	548	467	351	207	167	72	40	23
$P_{r\text{lim}}$, т/га	73,8	87,5	87,6	81,4	63,1	53,1	27,9	15,5	9,6
$P_{u\text{lim}}$, т/га	724	636	554	432	270	220	100	56	33
(M) Причерноморская провинция (<i>F. orientalis</i>)									
H_{lim} , м	33,8	31,9	29,0	23,7	17,4	10,9	4,9	2,5	1,8
D_{lim} , см	68,8	41,8	32,2	22,0	11,8	8,8	3,9	2,3	1,5
M_{lim} , м ³ /га	526,4	526,4	487,4	350,7	190,3	138,7	55,4	30,4	16,8
$P_{s\text{lim}}$, т/га	383,9	314,6	262,5	188,8	105,1	78,4	34,7	18,6	10,2
$P_{f\text{lim}}$, т/га	4,4	5,6	6,0	6,1	5,5	5,0	3,9	3,1	2,4
$P_{b\text{lim}}$, т/га	165,4	155,1	143,3	122,0	83,9	78,4	31,1	16,7	10,0
$P_{a\text{lim}}$, т/га	554	475	412	317	195	162	70	38	23
$P_{r\text{lim}}$, т/га	59,1	70,1	70,2	65,2	50,5	42,5	22,3	12,5	7,7
$P_{u\text{lim}}$, т/га	613	545	482	382	245	204	92	51	30

Приложение 1.12. ЛИПА (*TILIA*)

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(A) Скандинавско-Русская провинция									
Хвойно-широколиственные леса (<i>T. cordata</i>)									
H_{lim} , м	38,7	33,4	25,6	20,4	13,8	11,3	6,5	4,3	3,0
D_{lim} , см	44,8	39,7	31,5	25,0	15,8	12,3	5,4	3,0	1,9
M_{lim} , м ³ /га	231,6	339,6	465,2	509,1	457,2	392,9	214,2	132,8	83,5
$P_{s\text{lim}}$, т/га	111,2	163,0	223,1	244,2	219,3	188,5	98,8	59,5	37,4
$P_{f\text{lim}}$, т/га	1,6	1,9	2,3	2,5	2,8	2,8	2,6	2,3	2,0
$P_{b\text{lim}}$, т/га	30,2	30,5	27,1	22,6	15,4	12,4	5,9	3,3	1,9
$P_{a\text{lim}}$, т/га	143	195,4	252,5	269,3	237,5	203,7	107,3	65,1	41,3
$P_{r\text{lim}}$, т/га	24,5	48,0	83,4	97,7	80,9	64,7	35,8	31,2	29,4
$P_{u\text{lim}}$, т/га	167,5	243,4	335,9	367	318,4	268,4	143,1	96,3	70,7

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Хвойно-широколиственные леса (<i>T. platyphyllos</i>)									
H_{lim} , м	37,7	32,5	24,9	19,9	13,5	11,0	6,3	4,2	2,9
D_{lim} , см	77,1	68,3	54,1	43,0	27,2	21,1	9,4	5,2	3,2
M_{lim} , м ³ /га	305,0	447,0	610,6	669,8	602,5	514,6	280,9	171,4	112,2
$P_{S_{lim}}$, т/га	260,9	382,1	521,7	572,3	514,8	439,8	232,1	136,8	86,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	17,3	20,7	24,9	27,6	29,9	30,2	28,1	24,7	21,2
$P_{b_{lim}}$, т/га	245,9	248,3	219,9	183,8	125,3	100,8	48,8	27,1	16,4
P_{alim} , т/га	524,1	651,1	766,5	783,7	670	570,8	309	188,6	121,1
$P_{r_{lim}}$, т/га	39,8	77,8	134,4	158,0	131,3	102,1	53,5	38,7	37,1
P_{tlim} , т/га	563,9	728,9	900,9	941,7	801,3	672,9	362,5	227,3	166,2
Широколиственные леса (<i>T. cordata</i>)									
H_{lim} , м	43,5	37,5	28,8	22,9	15,5	12,8	7,3	4,8	3,3
D_{lim} , см	55,2	48,9	38,8	30,8	19,5	15,1	6,7	3,7	2,3
M_{lim} , м ³ /га	383,9	562,6	770,8	843,7	760,1	647,2	352,2	220,6	142,1
$P_{S_{lim}}$, т/га	194,7	285,2	390,6	427,5	385,2	328,0	170,7	104,4	65,1
$P_{f_{lim}}$, т/га	2,5	3,0	3,7	4,1	4,4	4,5	4,1	3,6	3,1
$P_{b_{lim}}$, т/га	37,6	38,1	33,8	28,3	19,3	15,6	7,4	4,1	2,3
P_{alim} , т/га	234,8	326,3	428,1	459,9	408,9	348,1	182,2	112,1	71,3
$P_{r_{lim}}$, т/га	52,1	101,8	176,8	207,1	172,5	131,6	63,5	41,5	37,4
P_{tlim} , т/га	286,9	428,1	604,9	667	581,4	479,7	245,7	153,6	108,7
Степь (<i>T. cordata</i>)									
H_{lim} , м	46,4	40,0	30,7	24,4	16,6	13,6	7,8	5,1	3,5
D_{lim} , см	59,6	52,8	41,9	33,3	21,0	16,3	7,2	4,0	2,5
M_{lim} , м ³ /га	898,9	1317,5	1805,3	1980,2	1772,0	1515,0	828,4	517,6	336,6
$P_{S_{lim}}$, т/га	418,8	613,5	840,3	921,6	824,9	705,4	373,6	225,0	141,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	2,7	3,2	3,9	4,3	4,6	4,7	4,3	3,8	3,4
$P_{b_{lim}}$, т/га	77,9	78,6	69,8	58,3	39,7	32,1	15,3	8,5	5,3
P_{alim} , т/га	499,4	695,3	914	984,2	869,2	742,2	393,2	237,3	150,4
$P_{r_{lim}}$, т/га	110,9	216,7	376,6	442,9	364,5	276,9	103,0	56,8	39,1
P_{tlim} , т/га	610,3	912	1290,6	1427,1	1233,7	1019,1	496,2	294,1	189,5
(С) Восток Русской равнины									
Хвойно-широколиственные леса (<i>T. cordata</i>)									
H_{lim} , м	42,6	36,8	28,2	22,5	15,2	12,5	7,1	4,7	3,3
D_{lim} , см	54,4	48,2	38,2	30,4	19,2	14,9	6,6	3,7	2,3
M_{lim} , м ³ /га	362,7	531,7	726,9	799,2	717,0	612,8	336,6	203,9	130,0
$P_{S_{lim}}$, т/га	169,3	248,1	339,0	372,7	334,4	285,9	152,1	89,4	56,7
$P_{f_{lim}}$, т/га	1,5	1,8	2,2	2,4	2,6	2,6	2,4	2,2	1,9
$P_{b_{lim}}$, т/га	21,4	21,6	19,2	16,0	11,0	8,9	4,2	2,4	1,4
P_{alim} , т/га	192,2	271,5	360,4	391,1	348	297,4	158,7	94	60,0
$P_{r_{lim}}$, т/га	47,1	92,2	159,5	188,4	155,7	119,8	58,5	39,9	36,4
P_{tlim} , т/га	239,3	363,7	519,9	579,5	503,7	417,2	217,2	133,9	96,4

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Широколиственные леса (<i>T. cordata</i>)									
H_{lim} , м	39,5	34,0	26,1	20,8	14,1	11,6	6,6	4,4	3,0
D_{lim} , см	53,2	47,1	37,4	29,7	18,8	14,6	6,5	3,6	2,2
M_{lim} , м ³ /га	350,3	512,8	703,4	770,5	693,9	593,8	324,5	195,0	128,0
Ps_{lim} , т/га	168,0	245,8	337,0	369,1	332,4	284,5	148,8	87,9	55,5
Pf_{lim} , т/га	1,7	2,1	2,5	2,8	3,0	3,0	2,8	2,5	2,1
Pb_{lim} , т/га	36,8	37,1	32,9	27,5	18,7	15,1	7,3	4,0	2,4
P_{alim} , т/га	206,5	285	372,4	399,4	354,1	302,6	158,9	94,4	60,0
Pr_{lim} , т/га	44,3	86,5	150,6	176,7	147,0	113,4	56,5	38,2	36,5
P_{lim} , т/га	250,8	371,5	523	576,1	501,1	416	215,4	132,6	96,5
Лесостепь (<i>T. cordata</i>)									
H_{lim} , м	36,9	31,8	24,4	19,5	13,2	10,8	6,2	4,1	2,8
D_{lim} , см	52,1	46,1	36,5	29,0	18,3	14,2	6,3	3,5	2,2
M_{lim} , м ³ /га	295,8	432,6	590,5	647,4	580,0	495,7	273,0	162,4	105,8
Ps_{lim} , т/га	137,5	201,0	274,3	300,6	269,4	230,2	122,9	71,1	45,9
Pf_{lim} , т/га	1,6	1,9	2,3	2,5	2,8	2,8	2,6	2,3	2,0
Pb_{lim} , т/га	19,3	19,5	17,2	14,5	9,9	7,9	3,7	2,1	1,2
P_{alim} , т/га	158,4	222,4	293,8	317,6	282,1	240,9	129,2	75,5	49,1
Pr_{lim} , т/га	33,0	64,2	110,8	130,2	107,4	84,9	43,5	32,4	30,3
P_{lim} , т/га	191,4	286,6	404,6	447,8	389,5	325,8	172,7	107,9	79,4
(D) Уральская провинция									
Южная тайга (<i>T. cordata</i>)									
H_{lim} , м	37,9	32,7	25,1	20,0	13,5	11,1	6,3	4,2	2,9
D_{lim} , см	54,2	48,0	38,0	30,2	19,1	14,8	6,6	3,6	2,3
M_{lim} , м ³ /га	294,5	431,4	588,8	645,8	580,8	495,1	271,5	166,6	106,2
Ps_{lim} , т/га	128,9	188,7	257,5	282,4	254,0	216,5	113,6	68,0	43,4
Pf_{lim} , т/га	4,1	4,9	5,9	6,5	7,0	7,1	6,6	5,7	5,2
Pb_{lim} , т/га	50,4	50,9	45,0	37,7	25,7	20,7	10,0	5,6	3,2
P_{alim} , т/га	183,4	244,5	308,4	326,6	286,7	244,3	130,2	79,3	51,8
Pr_{lim} , т/га	32,7	63,9	110,2	129,6	107,6	84,8	44,4	32,3	30,9
P_{lim} , т/га	216,1	308,4	418,6	456,2	394,3	329,1	174,6	111,6	82,7
Лесостепь (<i>T. cordata</i>)									
H_{lim} , м	32,8	28,3	21,7	17,3	11,7	9,6	5,5	3,6	2,5
D_{lim} , см	47,8	42,3	33,6	26,7	16,9	13,1	5,8	3,2	2,0
M_{lim} , м ³ /га	222,1	324,9	445,9	488,9	440,3	375,6	206,2	127,3	82,8
Ps_{lim} , т/га	103,3	151,0	207,1	227,1	204,5	174,5	92,8	55,2	34,8
Pf_{lim} , т/га	1,6	1,9	2,3	2,6	2,8	2,8	2,6	2,3	2,0
Pb_{lim} , т/га	17,2	17,3	15,4	12,9	8,8	7,1	3,4	1,9	1,2
P_{alim} , т/га	122,1	170,2	224,8	242,6	216,1	184,4	98,8	59,4	38,0
Pr_{lim} , т/га	19,9	38,9	67,7	79,6	66,2	53,0	30,4	25,7	24,9
P_{lim} , т/га	142	209,1	292,5	322,2	282,3	237,4	129,2	85,1	62,9

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(Н) Дальневосточное Приморье									
Хвойно-широколиственные леса (<i>T. amurensis</i>)									
H_{lim} , м	25,9	22,3	17,1	13,6	9,2	7,6	4,3	2,9	2,0
D_{lim} , см	43,2	38,2	30,3	24,1	15,2	11,8	5,2	2,9	1,8
M_{lim} , м ³ /га	119,7	174,9	239,4	263,0	235,4	201,3	110,3	69,0	44,3
Ps_{lim} , т/га	76,6	111,9	153,0	168,1	150,5	128,7	67,9	41,2	25,6
Pf_{lim} , т/га	3,4	4,1	4,9	5,4	5,9	5,9	5,5	4,8	4,2
Pb_{lim} , т/га	30,3	30,5	27,1	22,7	15,6	12,4	6,1	3,4	2,0
P_{alim} , т/га	110,3	146,5	185	196,2	172	147	79,5	49,4	31,8
Pr_{lim} , т/га	10,2	19,7	34,2	40,3	34,0	29,1	21,9	23,7	21,8
P_{lim} , т/га	120,5	166,2	219,2	236,5	206	176,1	101,4	73,1	53,6

Приложение 1.13. ЯСЕНЬ (*FRAXINUS EXCELSIOR*)

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
(А) Средне-Европейская провинция									
Широколиственные леса									
H_{lim} , м	62,7	44,0	36,7	28,9	19,7	16,4	9,6	6,5	4,8
D_{lim} , см	46,7	33,2	27,6	20,9	12,7	9,9	4,7	2,6	1,6
M_{lim} , м ³ /га	502,7	472,6	442,7	388,1	291,3	252,0	158,7	108,8	76,3
Ps_{lim} , т/га	203,0	191,6	180,2	159,3	121,7	106,3	68,9	48,3	34,7
Pf_{lim} , т/га	3,6	3,0	2,9	2,9	3,2	3,4	3,7	4,1	4,5
Pb_{lim} , т/га	21,2	14,0	11,3	8,5	5,9	5,1	3,3	2,4	1,8
P_{alim} , т/га	227,7	208,6	194,5	170,7	130,8	114,7	75,9	54,8	41,0
Pr_{lim} , т/га	140,6	135,4	128,5	114,9	89,3	78,6	52,2	37,3	27,1
P_{lim} , т/га	368,4	344,0	323,0	285,6	220,0	193,3	128,1	92,0	68,1
(В) Скандинавско-Русская провинция									
Широколиственные леса									
H_{lim} , м	50,5	35,4	29,5	23,3	15,9	13,2	7,7	5,3	3,8
D_{lim} , см	55,6	38,4	31,6	23,4	13,8	10,6	4,8	2,6	1,6
M_{lim} , м ³ /га	590,8	545,1	505,4	436,4	321,1	274,9	168,4	113,2	77,9
Ps_{lim} , т/га	299,8	278,0	259,0	225,7	169,3	146,3	92,4	63,7	44,9
Pf_{lim} , т/га	8,2	7,2	7,1	7,2	8,1	8,7	9,6	10,5	11,5
Pb_{lim} , т/га	72,0	48,0	39,2	29,6	20,6	17,7	11,6	8,4	6,1
P_{alim} , т/га	379,9	333,1	305,2	262,5	197,9	172,6	113,5	82,5	62,5
Pr_{lim} , т/га	163,3	154,6	145,3	128,1	97,8	85,3	55,3	38,7	27,7
P_{lim} , т/га	543,2	487,7	450,5	390,7	295,8	258,0	168,8	121,3	90,2

Показатель	Густота древостоя, тыс.экз/га								
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	20	50	100
Лесостепь									
H_{lim} , м	41,4	29,1	24,3	19,1	13,0	10,8	6,3	4,3	3,2
D_{lim} , см	51,1	34,5	28,0	20,3	11,7	8,9	3,9	2,1	1,2
M_{lim} , м ³ /га	344,6	312,5	287,1	244,5	176,6	149,9	89,4	59,1	40,0
$P_{s_{lim}}$, т/га	182,8	166,8	154,1	132,5	97,7	83,8	51,6	35,0	24,3
$P_{f_{lim}}$, т/га	5,1	4,5	4,4	4,5	4,9	5,1	5,3	5,5	5,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	51,8	34,3	27,8	20,8	14,2	12,0	7,5	5,2	3,7
P_{alim} , т/га	239,7	205,5	186,3	157,8	116,8	101,0	64,4	45,8	33,7
$P_{r_{lim}}$, т/га	95,8	89,3	83,3	72,5	54,4	47,1	29,8	20,6	14,5
P_{tlim} , т/га	335,5	294,8	269,6	230,3	171,2	148,1	94,2	66,3	48,2
(М) Причерноморская провинция									
H_{lim} , м	35,5	24,9	20,8	16,3	11,1	9,3	5,4	3,7	2,7
D_{lim} , см	52,7	35,0	28,1	20,1	11,4	8,6	3,7	1,9	1,1
M_{lim} , м ³ /га	384,1	343,7	313,5	264,0	188,0	158,4	92,6	60,3	40,3
$P_{s_{lim}}$, т/га	199,1	179,4	164,6	140,1	101,9	86,8	52,5	35,1	24,0
$P_{f_{lim}}$, т/га	6,3	5,6	5,6	5,7	6,2	6,5	6,4	6,7	6,8
$P_{b_{lim}}$, т/га	178,2	118,2	96,0	71,7	48,6	41,1	25,2	17,2	11,9
P_{alim} , т/га	383,6	303,2	266,1	217,5	156,7	134,4	84,2	58,9	42,6
$P_{r_{lim}}$, т/га	106,6	98,1	90,9	78,3	58,1	49,9	31,0	21,1	14,7
P_{tlim} , т/га	490,1	401,3	357,0	295,8	214,7	184,3	115,1	80,1	57,3

**ИЗМЕНЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЗЕМНОЙ (P_{alim} , т/га)
И ОБЩЕЙ (P_{tlim} , т/га) ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ
ПОРОД СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ В СВЯЗИ С ИНДЕКСОМ
КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ ЦЕНКЕРА (IC , %) И СУММОЙ
ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР (T , °С)**

Приложение 2.1. ЛИСТВЕННИЦА (*LARIX*)

По уравнению (4.5)					
IC					
30	40	50	70	90	
P_{alim}					
501	352	268	178	131	
P_{tlim}					
614	443	344	235	177	
По уравнению (4.6)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
P_{alim}					
10	27	18	13	8	6
20	327	220	162	102	72
40	888	597	439	276	195
60	795	535	393	247	175
80	539	362	266	167	118
P_{tlim}					
10	62	44	34	23	17
20	382	273	210	142	106
40	911	665	524	370	288
60	867	619	477	322	240
80	707	505	389	262	196

Приложение 2.2. ЕЛЬ (*PICEA*)

По уравнению (4.5)					
IC					
30	40	50	70	90	
P_{alim}					
417	317	239	139	85	
P_{tlim}					
494	404	317	191	117	

* Расчет выполнен по уравнениям (4.5) и (4.6) табл. 4.1.

По уравнению (4.6)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
			P_{alim}		
20	133	124	102	59	32
40	375	350	286	166	91
60	516	481	394	228	125
80	569	531	434	252	138
			P_{tlim}		
20	209	201	169	102	58
40	465	449	377	228	130
60	600	580	487	295	168
80	654	632	531	321	183

Приложение 2.3. ПИХТА (*ABIES*)

По уравнению (4.5)					
IC					
30	40	50	70	90	
		P_{alim}			
542	388	299	202	151	
		P_{tlim}			
646	464	359	244	183	
По уравнению (4.6)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
			P_{alim}		
40	317	259	222	176	148
60	434	356	305	242	203
80	544	445	382	303	254
			P_{tlim}		
40	334	286	253	210	183
60	490	419	371	309	269
80	643	550	487	405	353

Приложение 2.4. СОХА (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. PINASTER*, *P. NIGRA*, *P. DENSIFLORA*, *P. SOSNOWSKII*), ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ

По уравнению (4.5)					
IC					
30	40	50	70	90	
		P_{alim}			
322	272	228	162	119	
		P_{tlim}			
408	338	280	197	143	

По уравнению (4.6)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
	P_{alim}				
20	116	113	104	82	63
40	285	278	255	200	154
60	388	378	346	272	209
80	437	426	390	307	236
	P_{tlim}				
20	130	123	110	84	64
40	297	280	252	193	146
60	404	382	343	263	199
80	466	440	396	303	229

Приложение 2.5. СОСНА (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. NIGRA*, *P. THUNBERGII*, *P. STROBUS*, *P. DENSIFLORA*, *P. TAEDA*, *P. ELLIOTTII*, *P. PALLASIANA*, *P. PITYUSA*, *P. PINASTER*, *P. HALEPENSIS*), КУЛЬТУРЫ

По уравнению (4.5)					
IC					
30	40	50	70	90	
	P_{alim}				
291	243	211	170	145	
	P_{tlim}				
329	277	242	198	170	
По уравнению (4.6)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
	P_{alim}				
20	146	124	110	91	79
40	254	216	191	158	137
60	299	254	225	186	162
80	312	266	235	194	169
	P_{tlim}				
20	171	146	130	109	95
40	287	246	219	183	160
60	336	288	256	214	187
80	352	302	268	224	196

Приложение 2.6. КЕДР (*PINUS SIBIRICA*, *P. KORAIENSIS*)

По уравнению (4.5)					
IC					
50	60	70	80	90	
	P_{alim}				
497	306	203	142	104	
	P_{tlim}				
522	351	251	188	145	

Приложение 2.7. БЕРЕЗА (*BETULA*)

Электронный архив УГЛТУ

По уравнению (4.5)					
IC					
30	40	50	70	90	
197	157	P_{alim} 132	101	83	
242	199	P_{lim} 170	135	113	
По уравнению (4.6)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
20	110	81	P_{alim} 64	44	34
40	352	258	203	141	108
60	299	219	172	120	91
20	176	137	P_{lim} 113	84	67
40	373	290	238	177	142
60	328	255	210	156	125

Приложение 2.8. ОСИНА И ТОПОЛИ (*POPULUS*)

По уравнению (4.5)					
IC					
30	40	50	70	90	
P_{alim}					
706	496	378	250	184	
P_{tlim}					
814	584	451	306	229	
По уравнению (4.6)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
P_{alim}					
20	478	342	264	179	134
40	702	503	388	263	196
60	710	509	393	266	199
P_{tlim}					
20	516	380	299	209	160
40	808	594	468	327	250
60	832	612	482	337	257

Приложение 2.9. ОЛЬХА (*ALNUS*)

Электронный архив УГЛТУ

По уравнению (4.6)			
T	IC		
	30	40	50
	P_{alim}		
20	161	161	161
40	250	250	250
60	324	324	324
	P_{ulim}		
20	213	213	213
40	315	315	315
60	397	397	397

Приложение 2.10. ДУБ (*QUERCUS*)

По уравнению (4.6)			
T	IC		
	20	40	60
	P_{alim}		
40	229	229	229
60	356	356	356
80	486	486	486
	P_{ulim}		
40	258	258	258
60	405	405	405
80	558	558	558

Приложение 2.11. ЛИПА (*TILIA*)

По уравнению (4.6)			
T	IC		
	30	50	70
	P_{alim}		
40	250	250	250
60	468	468	468
80	729	729	729
	P_{ulim}		
40	343	343	343
60	656	656	656
80	1039	1039	1039

Приложение 3*

**ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЗЕМНОЙ (P_{abo} , т/га)
И ОБЩЕЙ (P_{tot} , т/га) ФИТОМАССЫ СПЕЛЫХ ДРЕВОСТОЕВ
ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ,
ВЗЯТЫХ ИЗ ВОЗРАСТНЫХ ТРЕНДОВ ФИТОМАССЫ (УСОЛЬЦЕВ, 2001),
В СВЯЗИ С ИНДЕКСОМ КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ ЦЕНКЕРА (IC , %)
И СУММОЙ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР (T , °С)**

Приложение 3.1. ЛИСТВЕННИЦА (*LARIX*)

По уравнению (4.7)					
IC					
30	40	50	70	90	
170	128	P_{abo} 103	74	58	
262	198	P_{tot} 160	115	90	
По уравнению (4.8)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
			P_{abo}		
10	3,7	2,8	2,2	1,5	1,2
20	80	59	47	33	25
40	313	232	183	129	99
60	317	235	186	131	100
80	225	167	132	93	71
			P_{tot}		
10	57	42	33	23	17
20	211	154	121	83	63
40	392	286	224	155	117
60	411	300	235	162	123
80	368	267	210	145	110

Приложение 3.2. ЕЛЬ (*PICEA*)

По уравнению (4.7)					
IC					
30	40	50	70	90	
281	206	P_{abo} 160	107	78	
348	269	P_{tot} 215	148	108	

* Расчет выполнен по уравнениям (4.7) и (4.8) табл. 4.2.

По уравнению (4.8)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
	$P_{убо}$				
20	105	92	77	51	34
40	257	224	187	125	83
60	338	296	246	164	109
80	368	322	268	179	119
	P_{tot}				
20	173	153	129	89	61
40	319	282	238	163	112
60	393	347	293	202	139
80	428	378	319	219	151

Приложение 3.3. ПИХТА (*ABIES*)

По уравнению (4.7)					
IC					
30	40	50	70	90	
	$P_{убо}$				
274	205	163	116	90	
	P_{tot}				
336	252	202	144	112	
По уравнению (4.8)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
	$P_{убо}$				
40	268	197	155	108	83
60	364	268	211	147	112
80	453	333	262	183	140
	P_{tot}				
40	282	219	180	134	107
60	416	323	265	197	158
80	548	425	349	260	208

Приложение 3.4. СОХА (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. PINASTER*, *P. NIGRA*, *P. DENSIFLORA*, *P. SOSNOWSKII*), ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ

По уравнению (4.7)					
IC					
30	40	50	70	90	
	$P_{убо}$				
194	158	134	106	88	
	P_{tot}				
251	202	171	133	111	

По уравнению (4.8)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
	P_{abo}				
20	66	59	53	45	38
40	173	155	140	118	101
60	217	195	176	148	127
80	219	197	178	149	128
	P_{tot}				
20	93	82	74	62	53
40	220	196	176	146	125
60	276	246	221	184	157
80	287	256	230	191	163

Приложение 3.5. COCHA (*PINUS SYLVESTRIS*, *P. NIGRA*, *P. THUNBERGII*, *P. STROBUS*, *P. DENSIFLORA*, *P. TAEDA*, *P. ELLIOTTII*, *P. PALLASIANA*, *P. PITYUSA*, *P. PINASTER*, *P. HALEPENSIS*), КУЛЬТУРЫ

По уравнению (4.7)					
IC					
30	40	50	70	90	
	P_{abo}				
195	173	157	136	122	
	P_{tot}				
235	209	190	165	149	
По уравнению (4.8)					
T	IC				
	30	40	50	70	90
	P_{abo}				
20	69	62	58	52	47
40	170	155	143	128	117
60	209	190	176	157	144
80	209	190	176	157	144
	P_{tot}				
20	74	68	63	57	52
40	206	187	174	156	144
60	257	234	218	195	180
80	255	232	216	193	178

Приложение 3.6. КЕДР (*PINUS SIBIRICA*, *P. KORAIENSIS*)

По уравнению (4.7)					
IC					
50	60	70	80	90	
	P_{abo}				
192	130	94	70	55	
	P_{tot}				
204	154	122	99	83	

Приложение 3.7. БЕРЕЗА (*BETULA*)

Электронный архив УГЛТУ

По уравнению (4.7)					
<i>IC</i>					
30	40	50	70	90	
76	76	P_{abo} 76	76	76	
115	115	P_{tot} 115	115	115	
По уравнению (4.8)					
<i>T</i>	<i>IC</i>				
	30	40	50	70	90
20	35	30	P_{abo} 27	22	19
40	144	123	109	90	78
60	151	128	113	94	82
20	97	82	P_{tot} 72	60	52
40	192	164	144	119	103
60	206	175	154	127	110

Приложение 3.8. ОСИНА И ТОПОЛИ (*POPULUS*)

По уравнению (4.7)					
<i>IC</i>					
30	40	50	70	90	
341	234	P_{abo} 175	113	81	
460	313	P_{tot} 232	148	106	
По уравнению (4.8)					
<i>T</i>	<i>IC</i>				
	30	40	50	70	90
20	266	187	P_{abo} 142	94	69
40	363	255	194	128	94
60	395	277	211	139	102
20	314	220	P_{tot} 167	110	80
40	464	325	247	162	119
60	518	363	275	181	133

Приложение 3.9: ОЛЬХА (*ALNUS*)

Электронный архив УГЛТУ
По уравнению (4.8)

T	IC		
	30	40	50
	P_{abo}		
20	94	94	94
40	159	159	159
60	230	230	230
	P_{tot}		
20	125	125	125
40	191	191	191
60	258	258	258

Приложение 3.10. ДУБ (*QUERCUS*)

По уравнению (4.8)			
T	IC		
	20	40	60
	P_{abo}		
40	100	100	100
60	143	143	143
80	184	184	184
	P_{tot}		
40	114	114	114
60	180	180	180
80	249	249	249

Приложение 3.11. ЛИПА (*TILIA*)

По уравнению (4.8)			
T	IC		
	30	50	70
	P_{abo}		
40	102	102	102
60	214	214	214
80	363	363	363
	P_{tot}		
40	138	138	138
60	271	271	271
80	437	437	437

Введение	5
Глава 1. Продукционный потенциал растительного покрова на разных иерархических уровнях	12
1.1. Уровни организации и изучения растительного мира	12
1.2. О терминологии в области исследования продукционного потенциала лесных экосистем	19
1.3. Математическое моделирование как метод оценки продукционного потенциала лесных экосистем	21
1.4. Факторы среды и методы изучения потенциальной продуктивности лесов на уровне совокупности экорегионов или континента	29
1.4.1. Факторы, определяющие потенциальную продуктивность растительного покрова	29
1.4.2. Оценка потенциальной продуктивности лесного покрова с помощью климатических индексов	37
1.4.3. Моделирование потенциальной продуктивности лесного покрова с использованием климатических факторов	46
1.5. Факторы и методы изучения максимальной продуктивности лесов на эдафическом уровне в пределах экорегиона	77
1.5.1. Об эдафических факторах продуктивности лесов	77
1.5.2. О связи продуктивности лесов с интегральными эдафическими факторами	80
1.5.3. Многофакторные зависимости продуктивности лесов от эдафических показателей	84
1.5.4. О бонитировке почв	89
1.5.5. Косвенные методы оценки производительности лесных почв	91
1.6. Факторы и методы изучения максимальной и предельной продуктивности лесов на ценоотическом уровне в пределах экотопа	94
1.6.1. Индекс листовой поверхности и максимальная первичная продуктивность	94
1.6.2. Максимальная и предельная продуктивность древостоев в связи с их самоизреживанием	102
1.6.3. Разработка метода расчета предельной продуктивности древостоев по условию самоизреживания с использованием временных пробных площадей	124
Выводы	150
Глава 2. Модели фитомассы лесообразующих видов Северной Евразии	155
2.1. География экспериментальных данных о фитомассе лесообразующих видов	155
2.1.1. Общие сведения	155
2.1.2. Лиственница (<i>Larix</i>)	156
2.1.3. Ель (<i>Picea</i>)	157
2.1.4. Пихта (<i>Abies</i>)	158
2.1.5. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>), естественные насаждения	159
2.1.6. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>), культуры	160
2.1.7. Кедр (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>)	161

2.1.8. Береза (<i>Betula</i>).....	162
2.1.9. Осина и тополи (<i>Populus</i>).....	163
2.1.10. Ольха (<i>Alnus</i>).....	164
2.1.11. Дуб (<i>Quercus</i>).....	165
2.1.12. Бук (<i>Fagus</i>).....	166
2.1.13. Липа (<i>Tilia</i>).....	167
2.1.14. Ясень (<i>Fraxinus</i>).....	168
2.2. Схемы кодирования блоковыми фиктивными переменными региональных массивов данных о фитомассе лесообразующих видов.....	169
2.2.1. Общие сведения.....	169
2.2.2. Лиственница (<i>Larix</i>).....	171
2.2.3. Ель (<i>Picea</i>).....	172
2.2.4. Пихта (<i>Abies</i>).....	173
2.2.5. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>), естественные насаждения.....	174
2.2.6. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>), культуры.....	175
2.2.7. Кедр (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>).....	176
2.2.8. Береза (<i>Betula</i>).....	177
2.2.9. Осина и тополи (<i>Populus</i>).....	178
2.2.10. Ольха (<i>Alnus</i>).....	179
2.2.11. Дуб (<i>Quercus</i>).....	179
2.2.12. Бук (<i>Fagus</i>).....	179
2.2.13. Липа (<i>Tilia</i>).....	180
2.2.14. Ясень (<i>Fraxinus</i>).....	180
2.3. Характеристика рекурсивной системы моделей предельных массообразующих показателей и фитомассы лесообразующих видов Северной Евразии.....	180
2.3.1. Общие сведения.....	180
2.3.2. Лиственница (<i>Larix</i>).....	184
2.3.3. Ель (<i>Picea</i>).....	186
2.3.4. Пихта (<i>Abies</i>).....	188
2.3.5. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>), естественные насаждения.....	189
2.3.6. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>), культуры.....	191
2.3.7. Кедр (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>).....	193
2.3.8. Береза (<i>Betula</i>).....	194
2.3.9. Осина и тополи (<i>Populus</i>).....	196
2.3.10. Ольха (<i>Alnus</i>).....	197
2.3.11. Дуб (<i>Quercus</i>).....	198
2.3.12. Бук (<i>Fagus</i>).....	199
2.3.13. Липа (<i>Tilia</i>).....	200
2.3.14. Ясень (<i>Fraxinus</i>).....	201
Глава 3. Построение линий предельной фракционной структуры фитомассы основных лесообразующих видов Северной Евразии.....	203
3.1. Общие сведения.....	203
3.2. Хвойные.....	204
3.2.1. Лиственница (<i>Larix</i>).....	204
3.2.2. Ель (<i>Picea</i>).....	207
3.2.3. Пихта (<i>Abies</i>).....	210
3.2.4. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>), естественные насаждения.....	213
3.2.5. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>), культуры.....	216
3.2.6. Кедр (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>).....	220

3.3. Мелколистственные	223
3.3.1. Береза (<i>Betula</i>)	223
3.3.2. Осина и тополи (<i>Populus</i>)	226
3.3.3. Ольха (<i>Alnus</i>)	229
3.4. Широколистственные	232
3.4.1. Дуб (<i>Quercus</i>)	232
3.4.2. Бук (<i>Fagus</i>)	235
3.4.3. Липа (<i>Tilia</i>)	238
3.4.4. Ясень (<i>Fraxinus</i>)	241

Глава 4. География предельной фракционной структуры фитомассы основных лесообразующих видов Северной Евразии

4.1. Общие сведения и предварительный анализ	244
4.2. Хвойные	256
4.2.1. Лиственница (<i>Larix</i>)	256
4.2.2. Ель (<i>Picea</i>)	260
4.2.3. Пихта (<i>Abies</i>)	264
4.2.4. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>), естественные насаждения	267
4.2.5. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>), культуры	270
4.2.6. Кедр (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>)	273
4.3. Мелколистственные	276
4.3.1. Береза (<i>Betula</i>)	276
4.3.2. Осина и тополи (<i>Populus</i>)	280
4.3.3. Ольха (<i>Alnus</i>)	284
4.4. Широколистственные	287
4.4.1. Дуб (<i>Quercus</i>)	287
4.4.2. Бук (<i>Fagus</i>)	291
4.4.3. Липа (<i>Tilia</i>)	293
4.4.4. Ясень (<i>Fraxinus</i>)	296

Заключение

Conclusions

Список литературы

Приложения

Приложение 1. Характеристика предельных линий самоизреживания по массообразующим и биопродукционным показателям лесообразующих древесных видов в различных экорегионах Северной Евразии	333
Приложение 1.1. Лиственница (<i>Larix</i>)	333
Приложение 1.2. Ель (<i>Picea</i>)	340
Приложение 1.3. Пихта (<i>Abies</i>)	347
Приложение 1.4. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>), естественные насаждения	351
Приложение 1.5. Сосна (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>), культуры	359
Приложение 1.6. Кедр (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>)	365
Приложение 1.7. Береза (<i>Betula</i>)	367
Приложение 1.8. Осина и тополи (<i>Populus</i>)	374
Приложение 1.9. Ольха (<i>Alnus</i>)	379
Приложение 1.10. Дуб (<i>Quercus</i>)	381
Приложение 1.11. Бук (<i>Fagus</i>)	384
Приложение 1.12. Липа (<i>Tilia</i>)	385
Приложение 1.13. Ясень (<i>Fraxinus excelsior</i>)	388

Приложение 2. Изменение предельных показателей надземной ($P_{\text{лим}}$, т/га) и общей (P_{tot} , т/га) фитомассы древостоев лесообразующих пород Северной Евразии в связи с индексом континентальности Ценкера (IC, %) и суммой эффективных температур (T , °C).....

390

Приложение 3. Изменение средних показателей надземной ($P_{\text{абс}}$, т/га) и общей (P_{tot} , т/га) фитомассы спелых древостоев лесообразующих пород Северной Евразии, взятых из возрастных трендов фитомассы (Усольцев, 2001), в связи с индексом континентальности Ценкера (IC, %) и суммой эффективных температур (T , °C).....

395

Introduction	5
Chapter 1. Production potential of a plant cover on different hierarchical levels.....	12
1.1. Levels of organization and studying of plant world	12
1.2. On the terminology in the field of studying of production potential of forest ecosystems.....	19
1.3. Mathematical modelling as a method of estimating of production potential of forest ecosystems.....	21
1.4. Environmental factors and methods of studying forest potential productivity on the level of a number of regions or of a continent.....	29
1.4.1. Factors determining potential productivity of a plant cover.....	29
1.4.2. Estimating potential productivity of forest cover by means of climatic indices.....	37
1.4.3. Modelling potential productivity of forest cover using climatic factors	46
1.5. Environmental factors and methods of studying forest maximum productivity on the edaphic level within an ecoregion.....	77
1.5.1. On edaphic factors of forest productivity	77
1.5.2. On the relation of forest productivity with composite edaphic factors	80
1.5.3. Multifactorial dependences of forest productivity upon edaphic variables.....	84
1.5.4. On soil quality ranging.....	89
1.5.5. Indirect methods of estimating forest soil productivity.....	91
1.6. Environmental factors and methods of studying forest maximum and limiting productivity on the cenotic level within an ecotope.....	94
1.6.1. Leaf area index and maximum primary production.....	94
1.6.2. Maximum and limiting stand productivity in relation to stand self-thinning	102
1.6.3. Working out of a method of limiting stand productivity calculating by the condition of self-thinning when using temporary sample plots.....	124
Coclusions.....	150
Chapter 2. Biomass models for forest-forming species of Northern Eurasia.....	155
2.1. Geography of experimental data for forest-forming species	155
2.1.1. Common information	155
2.1.2. Larch (<i>Larix</i>)	156
2.1.3. Spruce (<i>Picea</i>).....	157
2.1.4. Fir (<i>Abies</i>).....	158
2.1.5. Pine, natural forests (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>).....	159
2.1.6. Pine, plantations (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>)	160
2.1.7. Cedar (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>)	161
2.1.8. Birch (<i>Betula</i>).....	162
2.1.9. Aspen and poplars (<i>Populus</i>).....	163
2.1.10. Alder (<i>Alnus</i>).....	164
2.1.11. Oak (<i>Quercus</i>).....	165
2.1.12. Beech (<i>Fagus</i>)	166
2.1.13. Lime (<i>Tilia</i>)	167
2.1.14. Ash (<i>Fraxinus</i>)	168
2.2. Schemes of coding regional experimental forest biomass data sets by block	

dummy variables	169
2.2.1. Common information	169
2.2.2. Larch (<i>Larix</i>)	171
2.2.3. Spruce (<i>Picea</i>)	172
2.2.4. Fir (<i>Abies</i>)	173
2.2.5. Pine, natural forests (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>)	174
2.2.6. Pine, plantations (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>)	175
2.2.7. Cedar (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>)	176
2.2.8. Birch (<i>Betula</i>)	177
2.2.9. Aspen and poplars (<i>Populus</i>)	178
2.2.10. Alder (<i>Alnus</i>)	179
2.2.11. Oak (<i>Quercus</i>)	179
2.2.12. Beech (<i>Fagus</i>)	179
2.2.13. Lime (<i>Tilia</i>)	180
2.2.14. Ash (<i>Fraxinus</i>)	180
2.3. Characteristics of recursive models of limiting volume-forming indices and biomass for Northern Eurasia forest-forming species	180
2.3.1. Common information	180
2.3.2. Larch (<i>Larix</i>)	184
2.3.3. Spruce (<i>Picea</i>)	186
2.3.4. Fir (<i>Abies</i>)	188
2.3.5. Pine, natural forests (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>)	189
2.3.6. Pine, plantations (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>)	191
2.3.7. Cedar (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>)	193
2.3.8. Birch (<i>Betula</i>)	194
2.3.9. Aspen and poplars (<i>Populus</i>)	196
2.3.10. Alder (<i>Alnus</i>)	197
2.3.11. Oak (<i>Quercus</i>)	198
2.3.12. Beech (<i>Fagus</i>)	199
2.3.13. Lime (<i>Tilia</i>)	200
2.3.14. Ash (<i>Fraxinus</i>)	201
Chapter 3. Fitting the lines of limiting biomass fraction structure for forest- forming species of Northern Eurasia	203
3.1. Common information	203
3.2. Coniferous species	204
3.2.1. Larch (<i>Larix</i>)	204
3.2.2. Spruce (<i>Picea</i>)	207
3.2.3. Fir (<i>Abies</i>)	210
3.2.4. Pine, natural forests (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>)	213
3.2.5. Pine, plantations (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>)	216
3.2.6. Cedar (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>)	220
3.3. Small-leaved species	223
3.3.1. Birch (<i>Betula</i>)	223
3.3.2. Aspen and poplars (<i>Populus</i>)	226
3.3.3. Alder (<i>Alnus</i>)	229
3.4. Broad-leaved species	232
3.4.1. Oak (<i>Quercus</i>)	232
3.4.2. Beech (<i>Fagus</i>)	235
3.4.3. Lime (<i>Tilia</i>)	238

3.4.4. Ash (<i>Fraxinus</i>)	241
Chapter 4. Geographic regularities of distributing of limiting biomass structure for forest-forming species of Northern Eurasia	244
4.1. Common information and preliminary analysis	244
4.2. Coniferous species	256
4.2.1. Larch (<i>Larix</i>)	256
4.2.2. Spruce (<i>Picea</i>)	260
4.2.3. Fir (<i>Abies</i>)	264
4.2.4. Pine, natural forests (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. sosnowskii</i>)	267
4.2.5. Pine, plantations (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>P. nigra</i> , <i>P. thunbergii</i> , <i>P. strobus</i> , <i>P. densiflora</i> , <i>P. taeda</i> , <i>P. elliotii</i> , <i>P. pallasiana</i> , <i>P. pityusa</i> , <i>P. pinaster</i> , <i>P. halepensis</i>)	270
4.2.6. Cedar (<i>Pinus sibirica</i> , <i>P. koraiensis</i>)	273
4.3. Small-leaved species	276
4.3.1. Birch (<i>Betula</i>)	276
4.3.2. Aspen and poplars (<i>Populus</i>)	280
4.3.3. Alder (<i>Alnus</i>)	284
4.4. Broad-leaved species	287
4.4.1. Oak (<i>Quercus</i>)	287
4.4.2. Beech (<i>Fagus</i>)	291
4.4.3. Lime (<i>Tilia</i>)	293
4.4.4. Ash (<i>Fraxinus</i>)	296
Conclusions in Russian	299
Conclusions in English	307
Literature cited	312
Appendix	331

Научное издание

Владимир Андреевич Усольцев

ФИТОМАССА ЛЕСОВ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ГЕОГРАФИЯ

Рекомендовано к изданию
Ученым советом
Ботанического сада и НИСО УрО РАН

Редактор **Г.Н. Старкова**
Технический редактор **Е.М. Бородулина**
Корректор **В. А. Гукаленко**
Компьютерная верстка **И. И. Глазыриной**

ЛР № 020764 от 24.04.98

НИСО УрО РАН № 69(03)—77. Сдано в набор 25.11.03. Подписано в печать 26.02.04.
Формат 70×100 1/16. Бумага типографская. Печать офсетная. Усл. печ. л. 32,9. Уч.-
изд. л. 30. Тираж 500 экз. Заказ 33.

620144, Екатеринбург, ул. 8 марта, 202.
Ботанический сад УрО РАН.

620219, Екатеринбург, ГСП-169, ул. С. Ковалевской, 18.
Типография УрО РАН.



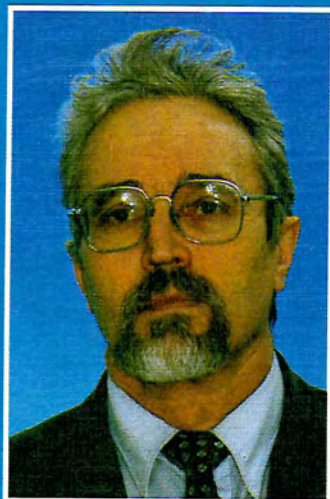
**ВЕРНАДСКИЙ
ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ
(1863—1945)**

**Создатель учения о биосфере
и ее эволюции**



**ТИМОФЕЕВ-РЕСОВСКИЙ
НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**
(1900—1981)

**Основоположник современной синтетической теории
эволюции**



УСОЛЬЦЕВ Владимир Андреевич

Доктор сельскохозяйственных наук профессор, заведующий лабораторией экологии и биопродуктивности растительных сообществ Ботанического сада Уральского отделения РАН и профессор Уральского государственного лесотехнического университета. Автор около 300 научных работ в области оценки и моделирования биологической продуктивности и структуры фитомассы лесов, в том числе монографий “Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев”, Красноярск, 1985; “Рост и структура фитомассы древостоев”, Новосибирск, 1988; “Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев”, Екатеринбург, 1997; “Формирование банков данных о фитомассе лесов”, Екатеринбург, 1998; “Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география”, Екатеринбург, 2001; “Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии”, Екатеринбург, 2002.