

**В.А. Усольцев
Е.Л. Воробейчик
И.Е. Бергман**

*Caring for the Forest:
Research in a Changing World*

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЕСОВ УРАЛА
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

БИОЛОГИЧЕСКАЯ
ПРОДУКТИВНОСТЬ
ЛЕСОВ ЕВРАЗИИ

BIOLOGICAL
PRODUCTIVITY
OF EURASIA'S
FORESTS

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF RUSSIAN FEDERATION
URAL STATE FOREST ENGINEERING UNIVERSITY

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
URAL BRANCH
INSTITUTE OF PLANTS AND ANIMALS ECOLOGY,
BOTANICAL GARDEN

V. A. Usoltsev, E.L. Vorobeichik, I. E. Bergman

Biological Productivity
of Ural Forests
under Conditions of Air Pollutions:
An Investigation of a System
of Regularities

Yekaterinburg – 2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ,
БОТАНИЧЕСКИЙ САД

В.А. Усольцев, Е.Л. Воробейчик, И.Е. Бергман

**Биологическая продуктивность
лесов Урала
в условиях техногенного загрязнения:
Исследование системы
связей и закономерностей**

Екатеринбург – 2012

УДК 630*52:630*174.754+630*16:582.475.4+630*587+630*425
У 76

Рецензент

доктор сельскохозяйственных наук, профессор С. В. Залесов

У 76 Усольцев В. А., Воробейчик Е. Л., Бергман И. Е. **Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей.** Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 366 с.

На основе методов традиционной и весовой лесной таксации получены показатели фитомассы и годичной чистой первичной продукции (ЧПП) еловых, пихтовых, сосновых и березовых деревьев и насаждений в градиентах загрязнений от Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ) и Карабашского медеплавильного комбината (КМК). Фитомасса и ЧПП сосновых и березовых насаждений (т/га) возрастают по мере удаления от КМК до 10–12 км и затем стабилизируются, а вблизи СУМЗ их стагнация в елово-пихтовых насаждениях наступает уже при удалении на расстояние 4–5 км. Относительные показатели продуктивности хвои (листвы) деревьев, т.е. отношение прироста площади сечения ствола к массе хвои (листвы) и отношение прироста площади сечения ствола к площади заболони закономерно снижаются по мере приближения к источнику загрязнений. Зависимость фитомассы и ЧПП елово-пихтовых и березовых древостоев в градиентах загрязнений от индекса токсичности (по Cu, Pb и Fe) описывается логистической кривой как нисходящей ветвью петли гистерезиса. Установлено, что переход экосистем из одного стабильного состояния (в фоновой зоне) в другое (в импактной зоне) происходит вблизи СУМЗ в интервале индекса токсичности от 20 до 40, а вблизи КМК – от 10 до 80. Содержание сухого вещества в древесине, коре, ветвях и хвое (листве), а также плотность древесины и коры зависят от расстояния от КМК и СУМЗ. Предложены соответствующие справочно-нормативные таблицы. Результаты могут быть использованы при картографировании продуктивности лесов вблизи загрязняющих производств.

V. A. Usoltsev, E. L. Vorobeichik, I. E. Bergman. **Biological Productivity of Ural Forests under Conditions of Air Pollutions: an investigation of a system of regularities.** Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University. 2012. 366 p.

When using methods of conventional and “weight-using” forest mensurations biomass and NPP structure of spruce, fir, Scots pine and white birch trees and forests near Sredneuralsk (SCP) and Karabash (KCP) copper plants is studied. Biomass and NPP (t per ha) of pine and birch forests increase abruptly when going away from KCP from 4–5 to 10–12 km and then they stabilize but the same indices of spruce-fir forests near SCP increase to 4–5 km with their next stabilizing. Relative foliage production indices, i.e. relation of annual sapwood area increment to foliage biomass and relation of annual sapwood area increment to total sapwood area, are decreased when approaching pollution sources. Dependence of biomass and NPP of spruce-fir and birch forests on pollution gradient upon a toxic index (according to Cu, Pb and Fe) is described with logistic curve as a descending branch of a hysteresis loop. Transition of ecosystems from one stable condition (non polluted zone) to another one (impact zone) occurs in the range of toxic index near SCP from 20 to 40 and near KCP from 10 to 80. Content of dry matter in wood, bark, branches and foliage fractions, as well as wood and bark density, depend upon the distance from SCP and KCP. The results may be useful for correct mapping and zoning of forest productivity near polluting plants.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 09-05-00508 и 08-04-91766) на кафедре менеджмента и внешне-экономической деятельности предприятия факультета экономики и управления УГЛТУ, а также в Институте экологии растений и животных УрО РАН. На завершающем этапе работа поддержана Программой развития ведущих научных школ (НШ-5325.2012.4) и Президиумом УрО РАН (проекты 12-П-4-1026 и 12-П-4-1057).

На обложке – гора Цзянькуньжу « Южный небесный столб » в «квартцовом лесу» национального парка Чжанцзяцзе провинции Хунань, вблизи городка Улиньюань, южный Китай (<http://www.idealforum.ru/showthread.php?t=1947>).

На форзацах – ландшафтные фотоснимки С.Г. Шиятова (2009), иллюстрирующие наступление леса на тундру в экотонах Полярного Урала за последние десятилетия вследствие глобального потепления.

ISBN 978-5-94984-405-2

© Авторы, 2012
© УГЛТУ, 2012

Введение

Первые упоминания о симптомах отрицательных воздействий техногенных загрязнений на растительный покров планеты появились почти полтора столетия назад (цит. по: Donaubaueg, 1980). В 1980 г. Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП), Программа ООН по охране окружающей среды (ЮНЕП) и Всемирный фонд охраны природы (ВВФ) опубликовали Всемирную стратегию охраны природы. При подготовке этого документа впервые в глобальном масштабе были привлечены правительственные органы, общественные организации и специалисты разных стран мира. Согласно Всемирной стратегии пришло осознание ограниченности возможностей человека, поскольку его цивилизационные достижения не могут компенсировать губительного опустошения Земли, уничтожения растений и животных, ухудшения среды обитания человека (Скотт, 1983).

Проблема загрязнения окружающей среды стоит в ряду важнейших экологических проблем, связанных с антропогенным воздействием на биосферу (Алексеев, Дочинжер, 1981). Под загрязнением окружающей среды понимается поступление в биоту любых твердых, жидких и газообразных веществ или энергии в количествах, вызывающих изменения состава и свойств компонентов среды и оказывающих вредное воздействие на человека, флору и фауну.

В планетарной биоте доминирует лесная растительность, которая является не только индикатором загрязнения среды, но и выполняет функцию биологической консервации загрязнителей, вовлекая их в биологический круговорот (Кулагин, Сергейчик, 1982; Кулагин, Шагиева, 2005), в связи с этим возникают вопросы компенсации и адаптации организмов (Безель и др., 1994; Пахарькова и др., 2010), а также – экологического нормирования загрязнений (Воробейчик и др., 1994). К настоящему времени изучена реакция на промышленные загрязнения более 90 видов растений в 23 странах вблизи 126 источников выбросов. Воздействию выбросов одного только медно-никелевого комбината около Мончегорска на прилегающие экосистемы посвящено более 2 тыс. публикаций (Kozlov et al., 2009), а общее количество публикаций, описывающих изменения наземных экосистем вблизи точечных источников загрязнений превышает 10 тыс. (Воробейчик, Козлов, 2012).

Обычно исследуются изменения 1–2 параметров организменного уровня, например, морфологии (Зверев, 2012) и пигментного комплекса (Тужилкина, 2009) ассимиляционного аппарата, радиального прироста (Мешковский, 1984; Аугустайтис, 1992; Алексеев, 1993; Кучеров, Мулдашев, 2003) и импеданса (Голиков, 2000) ствола, репродуктивной системы (Аникеев, 1996; Валетова, 2009), морфологии тонких корней (Веселкин, 2002) и химизма надземных и подземных органов растений (Власенко, 1999; Безель, 2006). Практически необъятен перечень публикаций по изменениям в морфоструктуре растительных сообществ под влиянием загрязнений.

Интегральным показателем, отражающим природное и антропогенное воздействия на лесные экосистемы, является их биологическая продуктивность, определяемая методами традиционной (Анучин, 1977) и весовой (Поздняков, 1985) лесной таксации, или «древοизмерения». Оценка биоло-

гической продуктивности, или углерододепонирующей способности лесов выходит в настоящее время на глобальный уровень, и ее повышение является одним из основных факторов стабилизации климата, однако «наше понимание изменений наземной фитомассы остается рудиментарным» (Houghton et al., 2009).

Эта неопределенность во все возрастающей степени усугубляется антропогенным фактором. Установлено, что даже незначительное снижение биопродуктивности насаждений под влиянием загрязнений оказывает существенное отрицательное влияние на углерододепонирующую функцию лесного покрова (Savva, Berlinger, 2010), что снижает «ассимиляционный» ресурс России и возможность получения выгод на рынке экологических услуг (Кожухова, 2011). Реакция растительности на загрязнения подразделяется по четырем уровням биологической организации: цитологические и биохимические изменения → физиологические функции → ростовые процессы → биологическая продуктивность (McLaughlin, 1985). С. Мак-Лофлин называет парадоксальной ситуацию, когда лучшее понимание начальных реакций на загрязнение обеспечивается одними методами, а конечные результирующие эффекты продуктивности и стабильности – совершенно другими (McLaughlin, 1985).

Исследования биологической продуктивности лесных экосистем, подверженных промышленным загрязнениям, методами традиционной и весовой таксации дают количественную основу для оценки экологического и экономического ущерба, наносимого лесным экосистемам на локальном и глобальном уровнях. Подобная методология изучения биопродуктивности лесных насаждений в условиях техногенного загрязнения принята за основу в настоящем исследовании.

Авторы выражают благодарность аспирантам Уральского государственного лесотехнического университета А.Ф. Уразовой, А.В. Борникову и А.С. Жанабаевой, принимавшим активное участие в сборе и обработке полевого материала, сотруднице УГЛТУ к.с.-х.н. А.В. Бачуриной, любезно предоставившей нам некоторые таксационные материалы и данные о фитомассе живого напочвенного покрова, сотруднице Института экологии растений и животных УрО РАН к. б. н. М.Р. Трубиной, предоставившей нам данные о фитомассе и годичном приросте живого напочвенного покрова и мхов, а также к. б. н. С.Ю. Кайгородовой, П.Г. Пищулину и А.В. Щепеткину за выполнение химических анализов, позволивших оценить накопление тяжелых металлов в депонирующих средах в градиентах загрязнений от выбросов медеплавильных предприятий Урала, и декану ФЭУ, профессору В.П. Часовских, осуществлявшему организационную и финансовую поддержку.

На этапе сбора материала работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 09-05-00508 и 08-04-91766). На завершающем этапе работа поддержана Программой развития ведущих научных школ (НШ-5325.2012.4) и Президиумом УрО РАН (проекты 12-П-4-1026 и 12-П-4-1057).

Введение и главы 1–3 написаны В.А. Усольцевым, главы 4–10 – В.А. Усольцевым при участии Е.Л. Воробейчика и И.Е. Бергмана.

1.1. Общие неопределенности

В середине XX века стало очевидно, что развитие энергетики, промышленности и транспорта привело к появлению нового экологического фактора – промышленного загрязнения, оказывающего разрушительное воздействие на природные комплексы, в частности, на лесные экосистемы. К началу 1970-х гг. был накоплен значительный объем научных данных, позволяющий представить общий характер изменения естественных лесных экосистем под влиянием загрязнения и выявить некоторые механизмы воздействия токсикантов на лесные растения (Ярмишко, 2005).

Однако методические аспекты решения вопроса о влиянии загрязнений на растительный покров недостаточно разработаны, и попытки связать пространственную и временную динамику продуктивности лесов с атмосферными изменениями привели к противоречивым результатам. В 1980-е гг. в Западной Германии произошло скачкообразное нарастание площадей лесов с признаками деградации (дефолиации крон более 10%): в 1982, 1983 и 1984 гг. они составляли соответственно 8, 34 и 50% (Schütt, Cowling, 1985). Особенно пострадали пихта и ель европейские, соответственно 60 и 10% общих запасов этих пород.

В то же время в лесах Германии наблюдалось резкое повышение радиального прироста стволов, которое объясняли снижением атмосферного содержания SO_2 и NO_2 (Visser, Molenaar, 1992). Другие это утверждение опровергали, показывая, что снижение уровня поллютантов имело место лишь в Рурской области, а на основных лесных площадях, расположенных в сотнях километров от источников загрязнений, их концентрация стабильно низкая, и что повышение прироста имело иную, не известную пока причину (Kandler, 1992). В Швейцарии был проведен анализ состояния ели, пихты и бука на 160 постоянных пробных площадях в связи с почвенными условиями, погодными факторами и топографией местности. Установлено, что увеличение ажурности или «прозрачности» крон (crown transparency) вследствие интенсивной потери хвои и листвы происходит в основном из-за недостатка почвенной влаги (Webster et al., 1996).

Не находит также объяснения ежегодное увеличение прироста площади сечений на 0,5–0,8% в лесах Швеции за период с 1950-х по 1990-е годы (Elfving, Tegnhammar, 1996) и повышение продуктивности всех лесообразующих пород Эстонии за тот же период на один класс бонитета (Kiviste, Korjus, 1997). Увеличение общего запаса фитомассы лесов в течение последних 20 лет характерно для всей Европы. Это увеличение объясняют повышением

концентрации атмосферного CO₂ и мелиорирующим эффектом поллютантов на допороговых уровнях (Kauppi et al., 1992), но оно находится в полном противоречии с общей тенденцией снижения охвоенности и плотности лесного полога (Schlärpfer, 1993). Если для Европы в целом снижение плотности полога и ухудшение состояния лесов связываются с общим загрязнением среды (Forest damage..., 1989; Innes, 1992), то для лесов Великобритании четкой тенденции не выявлено, а имеющие место колебания плотности полога объясняются погодными флуктуациями и вспышками популяций насекомых – фитофагов (Innes, 1992).

В.В. Кузьмичев (1985) полагает, что одним из перспективных методов оценки антропогенного воздействия на лесные экосистемы и снятия неопределенностей во множестве существующих противоречивых ситуаций является математическое моделирование. А.М. Тарко с соавторами разработаны три группы имитационных моделей действия атмосферных загрязнений на лесные экосистемы, прилегающие к металлургическому комбинату «Североникель». Одна из них основана на многолетних данных В.В. Крючкова (Тарко и др., 1995) для еловых лесов с учетом их пространственного распределения и возрастной структуры. В качестве переменных модели приняты масса хвои и древесины деревьев разного возраста, а в качестве индикатора – сернистый газ в приземном слое воздуха. Воспроизведены зарождение и движение зон деградации за 30 лет и получены прогнозы их развития при различных сценариях деятельности комбината.

Е.Л. Воробейчик и М.В. Козлов (2012) обосновывают необходимость перехода от локальных моделей к моделям более высокого уровня общности, основанным на понимании внутренних механизмов изменений с выявлением причинно-следственных связей, включая оценку роли прямых и непрямых взаимодействий. Однако для реализации подобных моделей имеются пока лишь очень слабые предпосылки.

Попытка снятия имеющихся противоречий, а именно нарастающего поражения лесов, установленного по материалам инвентаризации степени «прозрачности» лесного полога в Центральной Европе, с одной стороны, и увеличения годичного прироста, выявленного по данным долговременных экспериментов по прореживанию лесов, с другой – была предпринята на основе модели Р. Монсеруда «FOREST». Установлено, что отклонения существующих темпов роста древостоев от тех, что были выявлены столетие назад, обусловлены изменением уровней температуры и осадков, а также выпадением азотистых и сернистых соединений и увеличением содержания атмосферного углерода (Sterba, 1995).

Ю.Б. Бухер (Bucher, 1984) под термином «Waldschäden» («поражения лесов») понимает повреждения, причины которых в основном неизвестны. Установлено, что подобные поражения («declines») распространяются практически по лесам всей планеты, и причины их во многих случаях неизвестны (Lanly, 1994; Ciesia, Donaubaue, 1994). В частности, прогрессирующему усыханию подвержены горные пихтовые сообщества Прибайкалья, но в последние годы поражение затронуло и кедровники. Казалось бы, очевидной причиной является влияние выбросов Байкальского ЦБК, однако многочисленные анализы почв и воздуха не выявляют каких-либо отклонений от

фоновых условий. Подобная картина усыхания лесов при фоновых уровнях загрязнений наблюдается в горных районах США, и причины его неизвестны (Усольцев, 2007а).

1.2. Краткая история изучения биологической продуктивности лесов и его актуальность в современном мире

Изучение количественных и качественных характеристик фитомассы древостоев является составной частью исследований биологической продуктивности как в биогеоэкологическом, так и в ресурсоэкологическом аспектах. Это направление развивалось в работах по Международной биологической программе и международной программе «Человек и биосфера». Н.П. Анучин (1977) видит здесь одну из новых, довольно сложных и малоизученных проблем лесной таксации; И.С. Мелехов (1980) рассматривает лесное ресурсоэкологическое в качестве одного из разделов современного лесоведения, которое постепенно выходит на биосферный уровень.

В связи с возрастающей экологической и биосферной ролью леса как элемента ландшафта и увеличивающейся потребностью в использовании его «весомых» и «невесомых» полезностей исследования по биологической продуктивности, начавшись в 30–40-е годы прошлого столетия, в последнее время приобрели особенно широкий размах. При этом, несмотря на публикацию программных и методических материалов (Молчанов, Смирнов, 1967; Родин и др., 1968; Программа..., 1974; Уткин, 1975; Биологическая продуктивность..., 1982), работы чрезвычайно разнообразны как по целевому, так и по методическому подходам и зачастую несопоставимы. При наличии существенного прогресса в методическом плане и возрастающих возможностей компьютерной обработки материалов исследований идет процесс накопления сведений о биологической продуктивности лесов по природно-климатическим зонам, древесным породам, типам леса и т.д.

Исследования биологической продуктивности лесов отличаются высокой трудоемкостью получения фактических данных на пробных площадях, особенно при исследовании подземной части деревьев, поэтому подобные данные недостаточно представлены в видовом и экологическом многообразии. Этот факт диссонирует с все возрастающей потребностью в глобальных обобщениях биологической продуктивности, необходимых в расчетах углеродного баланса и углерододепонирующего потенциала лесов.

Лесная таксация, по определению классика российского лесоводства Н.В. Третьякова, – наука о лесе как объекте измерения, изначально и традиционно была ориентирована только на «стереометрическую» оценку объема ствола дерева как источника древесного сырья. Необходимость перехода от объемных методов учета древесины к весовым начала осознаваться в XIX столетии, когда немецкий ученый Р. Гартиг предсказал потенциальную важность дендрометрических измерений, выполненных в единицах сухой массы: «Знание количества сухого вещества, содержащегося в данном объеме, имеет большую научную и техническую важность, поскольку сухая масса древесины связана с ее калорийностью и широким набором технических

свойств, и поскольку по таким данным можно получить представление о законах природы, управляющих продуцированием органического вещества» (Hartig, 1888; цит. по: Pardé, 1980. P. 344). В конце XIX в. появились первые данные о массе кроны, имевшие целью вовлечь в ресурсный потенциал все компоненты дерева, и были предложены соответствующие переводные коэффициенты (Flury, 1892; Hartig, 1896).

Серию пионерных исследований фитомассы и ее годичного прироста под общим названием «Древесина, масса листвы и прирост» за период с 1929 по 1953 гг. выполнил швейцарский ученый Х. Бургер (Burger, 1929–1953). Им изучены основные европейские древесные породы, причем особое внимание было уделено соотношению массы листвы и годичного прироста стволовой древесины, т.е. продуктивности ассимиляционного аппарата дерева.

В нашей стране ресурсоведческий аспект оценки всей фитомассы лесов, получил развитие в 1930–1950 гг. Позднее он был резюмирован как лесное ресурсоведение (Поздняков, 1973) и ориентирован на полное использование фитомассы лесов. В эти годы исследования фитомассы и годичного прироста деревьев сопровождались анализом их взаимосвязи с легко измеряемыми таксационными показателями деревьев (Яблоков, 1934; Коссович, 1940; Челябинова, 1941). В течение названного периода пришло осознание преобладающей роли экономического фактора в проблеме использования всей фитомассы лесов, которое не может быть самоцелью. Проблема усугубилась также экологическим фактором – опасностью снижения стабильности лесной экосистемы и необходимостью компенсации элементов питания, выносимых из нее при утилизации всей фитомассы.

В 1960-е гг. изучение фитомассы и годичной продукции лесов было стимулировано Международной биологической программой (МБП), осуществляемой под девизом «Биологические основы продуктивности и благосостояние человечества», в ходе реализации которой получили существенное развитие как методологическая, так и фактологическая стороны проблемы. Было заложено огромное количество пробных площадей по экспериментальному определению фитомассы, резко возрос объем информации о биологической продуктивности лесов.

Очередной «бум» в изучении биологической продуктивности лесов начался в 1973 г. после резкого повышения цен на нефть странами ОПЕК. При этом биологическая продукция лесов рассматривалась в качестве возобновляемого источника энергии. Особенно драматизировали ситуацию в США, приравнивая «энергетический кризис» по исторической значимости к таким событиям, как рождение Христа и минувшие две мировые войны (Young, 1981). Постепенно выяснилось, что экономика производства «энергетической» древесины, как и эффективность утилизации всей фитомассы, оказывается довольно шаткой. Цены на нефть выровнялись, и проблема на какое-то время отошла на второй план.

Авторы работ, отличающихся как глубиной проработки вопросов, так и степенью обобщения (Уткин, 1969, 1970, 1975; Молчанов, 1971; Смирнов, 1971; Поздняков и др., 1969; Поздняков, 1973; Габеев, 1976; Рубцов и др., 1976; Семечкина, 1978), пытаются в той или иной мере систематизировать результаты исследований. Л.К. Поздняков, В.В. Протопопов и В.М. Горба-

тенко (1969) выделяют два основных направления в изучении биологической продуктивности лесов: биогеоценотическое, связанное с познанием биологического круговорота веществ и энергии в лесном биогеоценозе, и ресурсоведческое, предполагающее оценку лесной фитомассы с точки зрения ее утилизации. Л.К. Поздняков (1973) выделяет лесное ресурсоведение как самостоятельную отрасль лесных наук, В.П. Протопопов (1965) исследует структуру фитомассы лесов в биофизическом плане, М.Г. Семечкина (1978) анализирует строение древостоев по элементам фитомассы, т.е. оценивает последнюю в таксационном аспекте, А.И. Уткин и А.Ф. Ильюшенко (Биологическая продуктивность..., 1982) уделяют внимание не только соотношениям фракций, но и характеристикам состояния (плотности и влажности) фитомассы, оценивая возможность использования лесотаксационных методов и материалов лесоинвентаризации в ориентировочных расчетах биопродуктивности. Анализируются не только валовые показатели фитомассы, но и годовая продукция последней (Ватковский, 1976; Биологическая продуктивность..., 1982), что особенно важно в биологических исследованиях.

В последние годы мировая лесная экология переживает очередной, ранее не виданный по масштабам информационный всплеск в оценке биопродуктивности лесов в предвидении возможного антропогенного изменения климата. Нынешний ажиотаж вокруг проблемы нарушенного углеродного баланса биосферы и сомнительных надежд на его восстановление путем тотального облесения планеты переходит в русло общей парадигмы устойчивого развития (sustainable development), в рамках которой на первый план выступает биосферная функция лесов, а ресурсное лесопользование рассматривается как подчиненная задача (Уткин, 1995).

Названная парадигма органично включает в себя также традиционно экологическую концепцию выполнения лесами их санитарно-гигиенической, рекреационной и средозащитной роли, проблему замены ископаемого топлива альтернативными источниками, в том числе возобновляемой лесной органикой, и проблему будущего обеспечения человека белком – пищей растительного и животного происхождения. Поскольку леса являются наиболее емким резервуаром основного биогена планеты – углерода и определяют по существу функционирование биосферы, поскольку «пределы роста» цивилизации в немалой степени определяются производственными пределами биосферы, в том числе лесного покрова, «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).

После принятия Конвенции ООН по климату в 1992 году определился целый ряд национальных и международных экологических программ и начались форсированные расчеты углеродного баланса на основе сводок данных о фитомассе лесов. Оценка углеродного пула в лесных экосистемах представляет собой, прежде всего, оценку фитомассы древостоев. Если первые попытки таких обобщений выполнялись путем простой экстраполяции данных фитомассы отдельных пробных площадей на крупные лесные регионы или биомы, обычно с существенным завышением результата (Родин, Базилевич, 1965; Базилевич, 1993; Olson et al., 1983; Kolchugina, Vinson,

1993а), то сегодня единственно приемлемым признается метод совмещения переводных коэффициентов (отношений массы той или иной фракции или запаса углерода в ней к запасу стволовой древесины в коре) с банками лесо-устроительных данных (Усольцев, 2007б).

Применяются несколько способов такого совмещения: по усредненному для породы значению названного коэффициента (Kolchugina, Vinson, 1993б), по коэффициентам, дифференцированным по возрастным группам (Макаревский, 1991; Исаев и др., 1993; Алексеев, Бердси, 1994) или по возрасту и классу бонитета (Lakida et al., 1995) и, наконец, по моделям переводных коэффициентов, учитывающим основные массообразующие таксационные показатели древостоев – возраст, средние высоту и диаметр и характеристику плотности древостоя, т.е. сумму площадей сечений или густоту (Швиденко, Нильссон, 1997; Усольцев, 1998а; Усольцев и др., 1995). Методы отличаются по уровню сложности алгоритма названного совмещения и, соответственно, по уровню точности.

В.А. Усольцевым (1998а) разработаны алгоритм и программа сопоставления первых трех вышеназванных методов оценки запаса фитомассы древостоев с предложенным в качестве базового четвертым методом оценки на основе структурированного банка лесоустроительных данных. Сопоставление методов показало наличие существенных смещений в оценке запасов фитомассы на лесопокрытой площади по первым трем методам. Эти смещения по массе ливы достигают 40–60 % на 50 % лесопокрытой площади и обусловлены тем, что в первых трех методах либо игнорируются, либо учитываются лишь частично основные массообразующие показатели древостоев. В результате экспериментальные данные переводных коэффициентов получают на пробных площадях с одним набором массообразующих таксационных показателей, а экстраполируют их на лесопокрытые площади, характеризуемые другим сочетанием названных показателей.

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 углероддепонирующей емкости лесов.

Данные о биологической продуктивности лесных насаждений представлены двумя их разновидностями. Во-первых, это валовые показатели наличного фракционного состава фитомассы (стволов, ветвей, ливы, корней, нижних ярусов растительности) в т/га, которые в сочетании с установленным возрастом насаждений дают представление о средней годичном накоплении (но не приросте) фитомассы. Во-вторых, это показатели первичной продукции, или текущего годичного прироста фитомассы наличного фракционного состава (т/га), или чистой первичной продукции (ЧПП), которые по трудоемкости в несколько раз выше, а по точности, напротив, значительно ниже по сравнению с валовыми показателями фитомассы.

Степень достигнутого прогресса в изучении биологической продуктивности лесов определяется главным образом фактологическим состоянием вопроса, или обеспеченностью фактическими данными биологической

продуктивности по полным видовому и экологическому спектрам. Однако основной недостаток опубликованных данных о фитомассе лесов – отсутствие полной таксационной характеристики древостоев пробных площадей. Если при первых площадных оценках биопродуктивности, выполняемых методом простой экстраполяции данных пробных площадей на территорию регионов, они фактически были не нужны, то сейчас отсутствие таксационных показателей или их наличие по неполному перечню вынуждает отбраковывать значительное количество опубликованных экспериментальных данных, тем самым существенно сужается и обедняется исходный банк данных о фитомассе. Так, в одном из наиболее полных библиографических описаний работ по оценке фитомассы лесов (Базилевич, 1993) по упомянутому критерию не проходит более трети публикаций.

Соответственно возрастает научная ценность полных данных о фитомассе лесов и представляет интерес оценка вклада того или иного исследователя в формирование банка данных о фитомассе лесов России, при котором необходимы авторские публикации в их исходном виде, без какой-либо обработки. К сожалению, в 1970–1980-е гг. редакторы отечественных ведущих журналов и тематических сборников по лесоводственной тематике отказывались принимать в печать исходные фактические данные по биопродуктивности насаждений, оказывая предпочтение полученным при их анализе результатам и закономерностям. Многие исследователи и сегодня сознательно не публикуют свои исходные материалы, видимо, не желая, чтобы кто-то ими воспользовался. Поэтому значительная часть фактических данных публикуется в модифицированном виде, когда автор обрабатывает исходные данные в соответствии со спецификой решаемой им задачи. Часто исходная информация хранится в личных архивах исследователей и со временем уходит в небытие вместе со своими авторами, т.е. безвозвратно теряется для науки. Образовавшиеся «белые пятна» со временем придется кому-то заполнять, повторно закладывая пробные площади со всем сложным набором выполняемых на них процедур.

Известно, что основная масса научных результатов устаревает еще при жизни исследователя. Применительно к исследованиям биопродуктивности лесов это означает, что утаивая исходные данные, эти люди обкрадывают сами себя: опубликованные ими результаты на их глазах становятся невостребованными. Зато те, кто работает «не на себя, а на науку», кто щедро выставляет свои исходные данные, полученные изнурительным «потогонным» трудом, особенно тяжким в диких таежных условиях, на общее пользование, на прогресс науки, навечно остаются если не на скрижалях истории, то в анналах науки о продуктивности лесов благодаря создаваемым сегодня базам данных о фитомассе лесов и ее продукции, представляющих собой национальное достояние страны.

В.А. Усольцевым (1998б) проведен своеобразный рейтинговый анализ полных экспериментальных данных на примере елово-пихтовых древостоев, произрастающих на территории России в пределах ареалов названных двух пород (табл. 1.1 и 1.2).

При рейтинговой оценке не учтены различия в трудоемкости получения данных о фитомассе методом среднего дерева либо регрессионным по ступе-

Таблица 1.1

Относительный рейтинг исследователей биопродуктивности елово-пихтовых насаждений по оценке надземной фитомассы

Рейтинг	Число пробных площадей	Авторы
1	31–34	Дюкарев, Розенберг, 1975; Кузиков, 1979.
2	27	Усольцев, 1997.
3	14–17	Казимиров, Морозова, 1973; Онучин, 1986.
4	8–9	Ремезов и др., 1959; Митрофанов, 1977, 1983, 1984, 1986; Манаков, Никонов, 1981.
5	6–7	Смирнов, 1971; Головенко и др., 1981; Валетов, 1988
6	4–5	Щербаков, Зайцева, 1971; Поздняков, 1975; Крауклис и др., 1975; Чертовской и др., 1978; Ермоленко, 1982, 1983; Тепикин, Кириллова, цит. по: Усольцев, 1998а.
7	2–3	Марченко, Карлов, 1962; Паршевников, 1962; Нестеров и др., 1967; Алексеев и др., 1973; Забоева и др., 1973; Ватковский, 1976; Дылис, Носова, 1977; Писаренко и др., 1979; Письмеров и др., 1979.
8	1	Розанова, 1960; Уткин, Дылис, 1966; Руднева и др., 1966; Чепурко, 1972; Ханбеков, 1972а,б; Корняк, 1976; Храмов, Валуцкий, 1977; Марченко, Рокьянис, 1978; Гульбе и др., 1986; Кулагина, 1986.

Таблица 1.2

Относительный рейтинг исследователей биопродуктивности елово-пихтовых древостоев по оценке общей (надземной и подземной) фитомассы

Рейтинг	Число пробных площадей	Авторы
1	23	Кузиков, 1979.
2	17	Казимиров, Морозова, 1973.
3	8–9	Ремезов и др., 1959; Манаков, Никонов, 1981.
4	6–7	Головенко и др., 1981; Бобкова, 1987.
5	4–5	Щербаков, Зайцева, 1971; Смирнов, 1971; Вакуров, Полякова, 1982.
6	3	Паршевников, 1962; Абражко, 1973; Алексеев и др., 1973; Ватковский, 1976; Чертовской и др., 1978; Писаренко и др., 1979.
7	2	Марченко, Карлов, 1962; Забоева и др., 1973; Письмеров и др., 1979.
8	1	Розанова, 1960; Уткин, Дылис, 1966; Руднева и др., 1966; Чепурко, 1972; Марченко, Рокьянис, 1978; Ермоленко, 1982; Кулагина, 1986.

ням толщины, в молодняках либо спелых древостоях, в легко- либо труднодоступных территориях и т.д. Однако в силу большого различия трудоемкости получения данных о надземной и подземной фитомассе рейтинговая оценка публикаций по надземной и общей фитомассе выполнена порознь.

Анализ данных табл. 1.1 и 1.2 показывает, что число исследований, характеризуемых тем или иным рейтингом в соответствии с количеством пробных площадей, обратно пропорционально названному рейтингу, т.е.

чем выше вклад (рейтинг), тем меньше количество соответствующих публикаций, и наоборот.

Значительная часть исследователей публикует лишь результаты той или иной обработки экспериментальных данных фитомассы в соответствии со своим видением той или иной лесоводственной проблемы. Так, не опубликованы уникальные экспериментальные данные о надземной фитомассе елово-пихтовых древостоев Пермского края, полученные на 30 пробных площадях (700 модельных деревьев) (Роднянский, Смольянов, 1992), и в Архангельской области (470 модельных деревьев) (Chibisov, 1995). Эти исходные данные обычно хранятся в личных архивах и, в конце концов, уходят безвозвратно вместе с их обладателями. С учетом чрезвычайной трудоемкости получения таких данных их утрата наносит науке невосполнимый ущерб.

Исторический аспект изучения биопродуктивности лесов того или иного региона сводится, прежде всего, к анализу процесса накопления имеющегося на сегодня банка данных о фитомассе и первичной продукции лесообразователей. Рассмотрим краткую историю изучения биологической продуктивности лесов на Урале.

Первые исследования структуры и годичной продукции фитомассы растительных сообществ в лесотундре Полярного Предуралья в районе г. Воркута и на стационаре «Харп» в устье р. Обь показали, что их продуктивность в упомянутых двух районах находится примерно на одном уровне (Горчаковский, Троценко, 1970; Шамурин, 1970; Горчаковский, Андрешкина, 1975). Из четырех типов изученных сообществ – тундра, болото, луг, редколесье – древесный ярус присутствовал лишь в последнем, но он не учитывался при оценке фитомассы. Был исследован лишь продуцирующий слой кустарников, кустарничков и трав в диапазоне до 70 см – над уровнем почвы и до 40 см – в почве.

Эти и многие последующие исследования проводились в связи с Международной биологической программой, действовавшей в период с 1964 по 1974 гг. и давшей возможность оценки первичной продуктивности биоты во многих ранее не изученных регионах планеты. На Урале исследования структуры фитомассы насаждений были инициированы не столько МБП, сколько чисто лесоводственными проблемами – необходимостью оптимизации режимов рубок ухода, изучением сукцессионных процессов на вырубках, лесными мелиорациями и др.

Первые исследования структуры фитомассы лесных насаждений Урала были посвящены изучению структуры и физиологии лесного полога в связи с рубками ухода, в немалой степени под влиянием работ Н.Л. Коссович (1940), А. И. Челядиновой (1941), А. В. Савиной (1941) и др. А.В. Топкасовым (1967) в Учебно-опытном лесхозе УГЛТУ и Верх-Исетском лесхозе были заложены первые 6 пробных площадей в естественных сосняках травяного и бруснично-черничного типов леса в возрасте от 18 до 58 лет, на которых была исследована структура надземной фитомассы одновременно на прореженных и контрольных секциях.

Спустя шесть лет под руководством Н.А. Луганского аспирант Г.П. Макаренко исследовал естественные березово-сосновые молодняки

южнотаежной подзоны, в частности, влияние рубок ухода в них на накопление надземной фитомассы. Структура фитомассы была изучена в Невьянском лесхозе, где заложены 7 пробных площадей в чистых сосняках и насаждениях с преобладанием сосны в возрасте от 18 до 22 лет и 11 пробных площадей в насаждениях смешанных с преобладанием березы в возрасте от 17 до 28 лет. В Полевском лесхозе надземная фитомасса определена Г.П. Макаренко в 12-летних молодняках – на одной пробной площади в сосняке и на двух – в березняках. Исследованиями были охвачены наиболее распространенные типы леса – брусничный, разнотравный, ягодниковый и черничный (Макаренко, Луганский, 1973; Макаренко, 1975).

Данное направление исследований в рамках научной школы профессора Н.А. Луганского было развито в работах С.В. Залесова, результаты которых опубликованы в 2003 г. В культурах сосны с примесью березы в Билимбаевском лесхозе в возрасте 28–37 лет на бурых лесных оподзоленных и дерново-среднеподзолистых почвах были заложены 4 постоянные пробные площади с 3–4 секциями как контрольными, так и с различной интенсивностью разреживания. Структура надземной фитомассы в них исследована как до, так и после рубки, всего на 26 секциях (Залесов, Астафьева, 2003).

В естественных сосняках Среднего Урала в районе Карпинска З.Я. Нагимов под руководством профессора Н.А. Луганского исследует структуру надземной фитомассы естественных сосняков на 11 пробных площадях, заложенных в ягодниковом и брусничном типах леса в возрасте от 33 до 95 лет (цит. по: Усольцев, 1998а). К сожалению, результаты последующих исследований структуры надземной фитомассы сосняков Среднего Урала З.Я. Нагимовым не опубликованы и хранятся в его личном архиве.

Параллельно с исследованием структуры фитомассы в связи с рубками ухода развивалось и другое направление – изучение восстановительной динамики и формирования насаждений, в том числе структуры их фитомассы, после сплошных рубок. В 1970 г. на Среднем Урале В.Д. Луганской (Луганская, 1970; Луганская, Луганский, 1970) исследованы закономерности формирования сосновых молодняков на сплошных вырубках, в том числе – изучена структура их фитомассы. Последняя определена в 21–23-летних сосняках, как чистых, так и с примесью березы, на 4 пробных площадях в Новолялинском, на 3 – в Невьянском и на 5 – в Полевском лесхозах. Исследованием были охвачены наиболее распространенные типы сосняков – брусничный, разнотравный и ягодниковый. В этой работе впервые на Урале определена не только надземная часть фитомассы древостоев, но и масса корней в наиболее корненасыщенном горизонте (10 см).

В этот же период аналогичные исследования проведены на Уфимском плато в Башкирском Предуралье Р.И. Ханбековым (1972а,б). Была учтена надземная фитомасса деревьев в молодняках 8-, 16- и 26-летнего возраста, формирующихся на вырубках ельника липняково-кисличного. На первых двух пробных площадях преобладала липа, на третьей – пихта. Наряду с надземной фитомассой древостоев на упомянутых 3 пробных площадях определена также фитомасса нижних ярусов растительности.

Исследование структуры надземной фитомассы лесобразующих древесных пород в спелых болотных лесах Тавдинского Зауралья (Тавда-

Куминское междуречье) с биогеоценотических позиций выполнено в этот же период Н. И. Шадринной (1968). Было заложено 4 пробные площади: одна в 119-летнем ельнике зеленомошно-хвощевом, одна – в 132-летнем кедровнике болотно-травяном и две – в сосняках гипново-осоковом (110 лет) и сфагново-багульниково-травяном (233 года). Отличительная особенность этих исследований – определение не только наличных запасов фитомассы, но и ее первичной продукции в упомянутых насаждениях.

В 1970-х гг. начинаются исследования структуры фитомассы насаждений в лесотундре и девственных лесах полярного и северного Предуралья на территории Коми АССР. В спелых и старовозрастных ельниках, сосняках и березняках (Усть-Цильма, Печора, Инта) были выполнены определения надземной фитомассы по полному фракционному составу, а также корней и нижних ярусов растительности соответственно на 21, 28 и 3 пробных площадях (Забоева и др., 1973; Игнатенко и др., 1973; Корняк, Чертовской, 1977; Надуткин, Модянов, 1972; Чертовской и др., 1978; Серый, Листов, 1984; Бобкова, 1987, 2001, 2005, 2007; Бобкова и др., 1982; Торлопова, 2001; Бобкова, Тужилкина, 2006а,б; Пристова, 2008). В среднетаежной подзоне Предуралья (Усть-Вымь) аналогичные исследования проведены в приспевающих сосняках черничного и лишайникового типов леса на 4 пробных площадях (Бобкова, 1987; Русанова, Слобода, 1974). Исследования биологической продуктивности в лесах Коми, выполненные в итоге на 56 пробных площадях, как правило, не ограничивались оценкой наличной фитомассы, а сопровождалась определением первичной продукции, чаще всего в надземной, но иногда и в подземной сфере.

Структура фитомассы насаждений исследовалась не только на северном, но и на высотном пределе лесного ареала. Получены первые результаты по структуре надземной и подземной фитомассы древостоев по высотному градиенту западного склона Конжаковского Камня в полосе подъема верхней границы леса, имеющего место в течение последних 40–50 лет. Определена фитомасса по ее полной фракционной структуре в ельниках на 3 пробных площадях, (Усольцев и др., 2004в) и в березняках на 3 пробных площадях (Нагимов и др., 2008), заложенных на разных высотных уровнях.

В южнотаежном Предуралье в пределах Кировской области структура надземной фитомассы сосняков на осушенных и удобренных торфяных почвах исследована на 9 пробных площадях (Корепанов и др., 1985; Корепанов, Насимов, 2003).

В горных условиях южной тайги Челябинской области (Катав-Ивановск) Л.И. Аткина с аспирантами провела сравнительное исследование структуры надземной фитомассы естественных сосняков и культур в возрасте от 10 до 40 лет соответственно на 5 и 5 пробных площадях (Аткина, Петелина, 2002). В последующие годы на Среднем и Южном Урале были продолжены исследования фитомассы сосняков как искусственного (Суставова, 2004; Усольцев и др., 2004б, 2005б), так и естественного (Магасумова, 2004) происхождений, в ходе которых заложены 22 пробные площади. В Оренбуржье фитомасса культур сосны изучена на 8 пробных площадях (Колтунова и др., 2006).

Первые результаты изучения структуры надземной фитомассы елово-пихтовых девственных древостоев на Среднем Урале в папоротнико-

вом и хвощево-сфагновом типах леса (5 пробных площадей) опубликованы Ю.М. Алесенковым (1983), которые позднее были дополнены материалами В.П. Фирсовой, Т.С. Павловой и Е.В. Прокопович (3 пробные площади, заложённые в районе Кузино в разнотравно-злаковом, липняковом и мелкотравном типах леса) (Фирсова и др., 1993).

Наиболее обширные исследования структуры надземной фитомассы естественных ельников Среднего Урала в возрастном диапазоне от 12 до 172 лет и в широком спектре типов леса (от травяно-зеленомошного до долгомошно-сфагнового в средней тайге, район Новой Ляли, 13 пробных площадей, и от липнякового до травяно-хвощевого в южной тайге к востоку от Красноуфимска, 14 пробных площадей) были проведены В. А. Усольцевым с аспирантами (Усольцев, 1997). Затем исследования были продолжены в южнотаежных пихтарниках в окрестностях г. Нижние Серги, где в травяно-зеленомошном типе леса в возрасте от 20 до 73 лет было заложено 5 пробных площадей (Усольцев, Антропов, 2001).

В южнотаежных естественных сосняках и березняках (Учебно-опытный лесхоз УГЛТУ) В.А. Усольцевым с аспирантами были заложены для изучения структуры надземной фитомассы соответственно 31 пробная площадь в типах леса от разнотравного до осоково-болотного в возрасте от 25 до 115 лет и 11 пробных площадей в типах леса от разнотравного до осокового в возрасте от 5 до 55 лет. Затем исследования были перенесены в той же подзоне в горные леса Челябинской области, где в березняках злакового и травяного типов леса было заложено 11 пробных площадей в возрасте от 18 до 63 лет (Усольцев, 1998а).

В последние годы В.А. Усольцев и Г.Г. Терехов с аспирантами в культурах ели в возрасте от 9 до 33 лет, созданных Г.Г. Тереховым в Билимбаевском и Шамарском лесхозам Свердловской области по нескольким вариантам их посадки и ухода, исследовали структуру надземной и подземной фитомассы древостоев на 51 пробной площади, в том числе в сопряжении с показателями их первичной продукции – на 17 пробных площадях (Усольцев и др., 2002а,б; 2003а, 2004а, 2007; Терехов, Усольцев, 2005).

Для экологически неблагополучного Урала все более актуальными становятся исследования биологической продуктивности лесных насаждений как в техногенных, так и в антропогенных лесных ландшафтах. В подзоне южной тайги на территории Челябинской (Кичиги) и Свердловской (Карпинск и Нижний Тагил) областей была изучена структура надземной и подземной фитомассы сосновых молодняков в возрасте 10–18 лет, сформировавшихся естественным путем на промышленных отвалах, соответственно на 1 и 4 пробных площадях (Лукьянец, 1980).

Подобные исследования структуры надземной фитомассы в культурах сосны в районе Ревдинско-Первоуральского промузла (СУМЗ) были выполнены И.А. Юсуповым, С.В. Залесовым и Н.А. Луганским (1997). Ими в древостоях различной степени загрязнения промышленными выбросами заложено 10 пробных площадей в ягодниковом и разнотравном типах леса в возрасте от 28 до 40 лет, и показано изменение структуры фитомассы под влиянием загрязнений на разном удалении от их источников. Позднее аналогичные исследования структуры фитомассы и первичной продукции дре-

весного и нижнего (подрост, подлесок и живой напочвенный покров) ярусов елово-пихтовых насаждений в возрасте от 60 до 127 лет выполнены в градиенте загрязнений от СУМЗ в западном направлении на 43 пробных площадях, удаленных от СУМЗ на расстояние от 1 до 30 км (Усольцев и др., 2012а).

В последние годы исследована структура фитомассы и первичной продукции древесного и нижнего (подрост, подлесок и живой напочвенный покров) ярусов в спелых сосняках и березняках в градиенте загрязнений от Карабашского медеплавильного комбината, где было заложено соответственно 12 и 33 (всего 45) пробных площадей на удалении от комбината от 4 до 32 км (Усольцев и др., 2011а,б, 2012а). Установлено, что их фитомасса и первичная продукция на единице площади насаждения обусловлена не столько фракционной структурой фитомассы деревьев, сколько морфоструктурой древостоя, определяемой совокупностью его таксационных показателей. На Южном Урале в градиенте магнетитового загрязнения в окрестностях г. Сатка исследована структура фитомассы культур березы повислой на 4 пробных площадях на удалении от 1 до 10 км от комбината «Магнетит», к сожалению, при отсутствии таксационной характеристики древостоев (Завьялов, 2009).

Надземная фитомасса липняков уральского региона наиболее полно была изучена П.А. Соколовым. С этой целью в Башкирском Предуралье он заложил 72 пробные площади в возрастном диапазоне древостоев от 9 до 190 лет в основных типах леса. П.А. Соколовым (1978) составлены таблицы хода роста по надземной фитомассе липняков, однако фактические данные упомянутых пробных площадей не были опубликованы, находились в личном архиве и после его недавней смерти потеряны для науки.

Позднее А.К. Габделхаковым на территории Башкирии были продолжены исследования структуры надземной фитомассы и первичной продукции липняков, где в снытевом типе леса в возрасте древостоев от 13 до 80 лет были заложены 15 пробных площадей (Габделхаков, 2001) и позднее в культурах липы – еще 10 пробных площадей (Габделхаков, 2005; Габделхаков и др., 2009 а,б). В Свердловской области в окрестностях г. Атиг структура надземной фитомассы исследована на 17 пробных площадях в возрастном диапазоне естественных липняков от 34 до 96 лет (Уварова, 2005, 2006).

Сравнительно небольшими в количестве отношении данными о фитомассе и первичной продукции (18 пробных площадей) характеризуются лиственничники северного Зауралья (низовья р. Пур), где фитомасса определена на одной (Митрофанов, 1977), а фитомасса и первичная продукция – на 17 пробных площадях в двух экотопах – на плакоре (лишайниковый тип) и в пойме (зеленомошно-ягодниковый тип) – в возрасте от 25 до 350 лет (Усольцев и др., 1999). В районе Новой Ляли и Верхотурья фитомасса и первичная продукция спелых кедровников изучена на 10 пробных площадях в возрасте от 70 до 134 лет с типичной для Урала относительно невысокой (30–80%) долей участия кедра в составе (Усольцев и др., 2012б). В Оренбуржье получены первые и пока единственные данные о фитомассе тополя черного в культурах на 2 пробных площадях в возрасте 10 и 23 года (Колтунова и др., 2007) и в культурах ясеня зеленого на 2 пробных площадях в возрасте 14 и 35 лет (Колтунова и др., 2007).

Отметим, что здесь упомянуты, за редкими исключениями, лишь полные данные о биопродуктивности лесов Уральского региона, т.е. результаты непосредственных определений не только общей, главным образом, надземной фитомассы и (иногда) первичной продукции, но и данные ее фракционной структуры, а также – результаты перечислительной таксации древостоев. Модифицированные исследователями исходные данные не принимались во внимание.

Приоритет в формировании сводных данных о фитомассе и первичной продукции лесов принадлежит нашей стране. В работе Л.Е. Родина и Н.И. Базилевич (1965), которая в 1968 году была переиздана за рубежом на английском языке, приведены материалы 150 пробных площадей по запасам органического вещества в главнейших типах растительных сообществ планеты. Позднее Н.И. Базилевич (1993) опубликовала монографию по биологической продуктивности экосистем (не только лесных) Северной Евразии, в которой был приведен материал по 2500 пробным площадям, правда, без данных о фракционной структуре фитомассы и таксации древостоев.

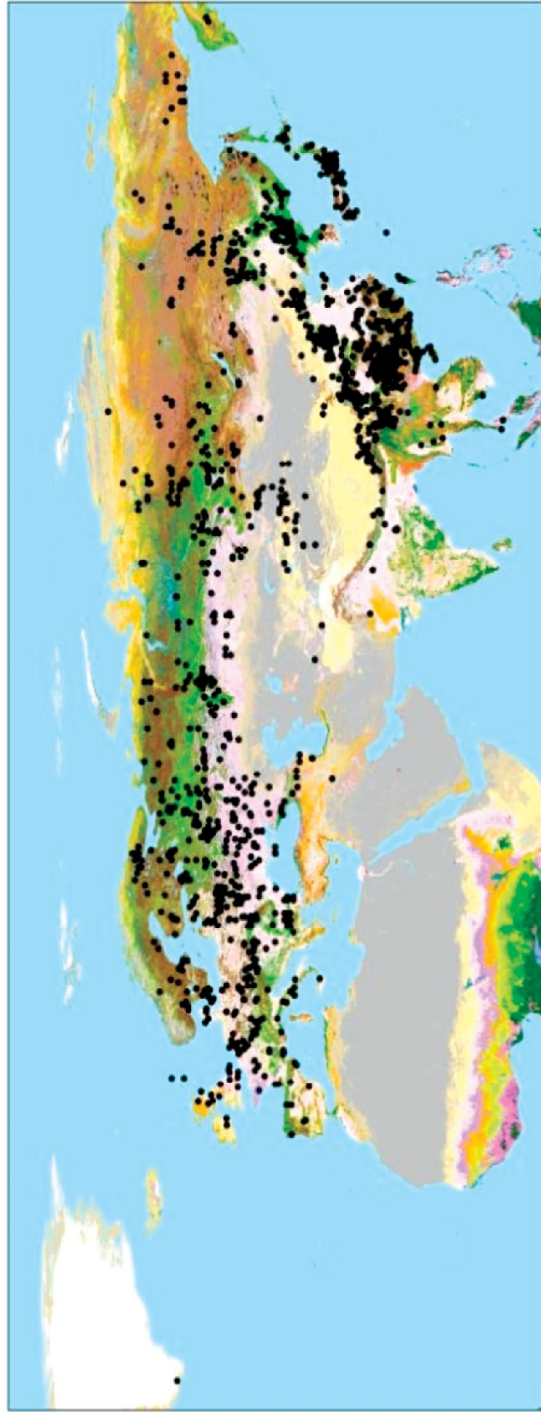
Первые полные сводки данных (т.е. с таксационной характеристикой и детализацией по фракционной структуре) по лесам бывшего СССР опубликованы А.И. Уткиным в 1970 году (194 определения), Л.К. Поздняковым в 1975 году (114 определений) и, наконец, для ельников (105 определений) эстонцем Я. К. Палуметсом (Palumets, 1991).

После завершения исследований по Международной биологической программе сформировано несколько сводок фактических данных о фитомассе и первичной продукции лесных насаждений. Из них две наиболее полные, выполненные в масштабе мировых лесов (DeAngelis et al., 1981; Cannell, 1982), включали около 1200 определений фитомассы и первичной продукции на пробных площадях. Однако СССР был представлен в них всего 50 пробными площадями, что составляло около 4% от объема мировых данных.

В 2001 году опубликована монография (Усольцев, 2001), включившая в себя первую сводку данных о фракционной структуре (стволы, листва, ветви, корни, нижний ярус) фитомассы и соответствующих таксационных показателей лесных насаждений Северной Евразии в количестве более 5 тыс. определений, более 90% которых приходилось на территорию бывшего СССР. Сюда вошли все данные о фитомассе насаждений по Северной Евразии, опубликованные как в предшествующих, упомянутых выше сводках, так и почерпнутые из новых источников – журнальных статей, монографий, тематических сборников, диссертаций, а иногда и переданных российскими исследователями своих неопубликованных исходных данных лично составителю.

Позднее было сформировано дополнение к ней (Усольцев, 2007б) в количестве 1153 определений, а также впервые введена в научный оборот информация о первичной продукции лесных насаждений по полному фракционному составу в количестве 1134 определений, каждое из которых включало в себя также таксационные показатели древостоев.

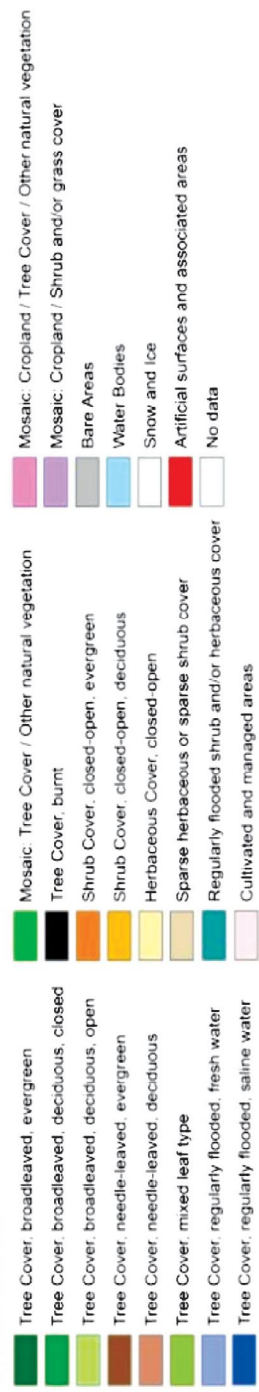
Опубликованная в 2010 году база (сводка) данных о фитомассе и первичной продукции насаждений (Усольцев, 2010) охватывала всю территорию евразийского материка, и в нее вошли данные около 8 тыс. определений (рис. 1.1). Эта база данных в англоязычном варианте, с полным перечнем



Legend

• Usoltsev V3 plotdata

Global Land Cover 2000



21 Рис. 1.1. Распределение экспериментальных данных о фитомассе насаждений лесобразующих пород Евразии (по материалам В.А. Усолтычева, 2010).

всех авторов переводится сейчас в электронный формат в Институте экологии и устойчивого развития Объединенного исследовательского центра Еврокомиссии (г. Испра, Италия). В Институте прикладного системного анализа (Австрия) под руководством профессора А.З. Швиденко в настоящее время готовится мировая база данных о фитомассе и первичной продукции лесов в количестве около 10 тыс. определений, куда войдут и наши 8 тыс. пробных площадей. Наша сводка защищена свидетельством о государственной регистрации базы данных (Усольцев и др., 2011а).

В дальнейшем база данных о фитомассе и первичной продукции лесов будет пополняться, составители будут со временем сменять один другого, но авторство исходных материалов, в том числе и упомянутых выше данных по уральским лесам в количестве около 600 определений, сохранится в будущих временах, поскольку будет последовательно переноситься в непрерывно развиваемую и пополняемую базу данных.

1.3. Основы регрессионного моделирования фитомассы деревьев и древостоев

1.3.1. Общие положения

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, 1981, 1984; Pielou, 1981; Ågren, 1981; Кулль, Оя, 1984; Оя, 1985; Усольцев, 1985а, 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 под влиянием промышленных загрязнений и с учетом мнения ряда исследователей (Никитин, Швиденко, 1973; Бихеле и др., 1980; Ågren, 1981; Кулль, Оя, 1984) – из двух принципиально разных подходов к математическому моделированию и соответственно двух обширных группы моделей – индуктивных (эмпирических, стохастических, феноменологических и т.п.) и дедуктивных (функциональных, физиологических, эколого-физиологических, имитационных и т.п.), рассмотрим некоторые специфические особенности индуктивного моделирования.

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) 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 сиюминутного прогноза наиболее вероятного значения функции при заданных значениях аргументов.

Математическая статистика изначально базировалась на четких предпосылках, 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).

В общем случае любому измерению присущи неопределенности: «По своей природе оценка является приближением» (Заде, 1974. С. 8). Комментируя принцип неопределенности Гейзенберга с кибернетических позиций, И. И. Шмальгаузен (1968) писал: «Получение всякой информации, всякое измерение требует известного минимума действий, и это связано с неустранимой неточностью самого измерения. Неопределенность в микромире неустранима, и она не допускает полного изучения отдельных явлений» (С. 196).

В. Кохран (Cochran, 1977) определяет погрешность как величину отклонения от фактического среднего значения. Определение точности данных как величины отклонения от среднего значения при повторных измерениях является гарантией их воспроизводимости. В общем случае точность экспериментальных данных определяется ошибками отбора проб и ошибками измерения. (Manual..., 2004).

Применительно к оценке биопродуктивности насаждения ошибка определения включает в себя несколько составляющих: ошибка прибора, ошибка пользователя прибором, ошибка выборки на уровне дерева, ошибка метода пересчета продуктивности с уровня дерева на уровень древостоя, ошибка выборки на уровне древостоя и т.д., которые заслуживают отдельного рассмотрения.

Оценкой фитомассы лесного покрова занимались и продолжают заниматься специалисты разных научных областей – лесоводы, лесные таксаторы, экологи, ботаники, почвоведы, физиологи, лесные климатологи, пи-

рологи и даже лесные энтомологи. Хотя исследователь, делающий первые оценки биопродуктивности лесных насаждений в данном экорегионе, с наибольшей вероятностью закладывает пробные площади в наиболее распространенных типах леса, подобный спонтанный процесс подбора пробных площадей несовместим с системным подходом. Насаждения пробных площадей не только должны быть репрезентативными, т.е. типичными для данного экорегиона, но и должны закладываться по градиентам трех основных ортогональных массообразующих факторов: возраст, добротность местопроизрастания и плотность стояния деревьев (полнота).

Таким образом, от спонтанного процесса подбора пробных площадей тем или иным исследователем той или иной отрасли лесных наук необходимо перейти к скоординированному последовательному процессу на основе планирования пассивного эксперимента (Налимов, 1971). В качестве примера можно назвать схему «креста»: двумерную, использованную Н.И. Казимировым и Р.М. Морозовой (1973), и трехмерную, реализованную В.А. Усольцевым с соавторами (2005а).

Вследствие сложности морфоструктуры насаждений и трудоемкости определения их фракционной структуры в единицах абсолютно сухой массы в основе процесса оценки биологической продуктивности насаждения лежит выборочный учет, и формирование выборок осуществляется на трех последовательных уровнях: 1) насаждение, репрезентативное для данной их совокупности; 2) модельные деревья, репрезентативные для всей их совокупности в древостое, и 3) навески (образцы) фитомассы, репрезентативные для основных фракций дерева. Существует проблема надежности оценок, которая состоит в необходимости определения точности выборочного учета на каждом из трех упомянутых уровней (насаждение → дерево → навеска фитомассы) и точности измерений, а также – в более проблематичной оценке точности, совокупной по всем уровням.

Дж. Чейв с соавторами (Chave et al., 2004) рассматривают четыре типа неопределенностей, которые последовательно накапливаются по соответствующим четырем этапам определения надземной фитомассы древостоя (рис. 1.2):

- 1) ошибки при обмерах и определении фитомассы дерева;
- 2) ошибка выбора или расчета аллометрической зависимости фитомассы от размера дерева;
- 3) неопределенность выборочного учета, связанная с размером пробной площади;
- 4) репрезентативность совокупности пробных площадей на фоне многообразия древостоев данного лесного ландшафта или экорегиона.

Дж. Чейв с соавторами исследовали возможности снятия названных неопределенностей на покрытой лесом площади 50 га в районе Панамского канала, с использованием данных 45 пробных площадей размером 1 га, заложенных на территории центральной Панамы. Установлено, что наибольшая ошибка связана с выбором аллометрической модели фитомассы.

В исследование биологической продуктивности лесов постепенно вовлекаются смежные области знания, что вносит путаницу в терминологию. Поэтому необходим приемлемый понятийно-терминологический стандарт.

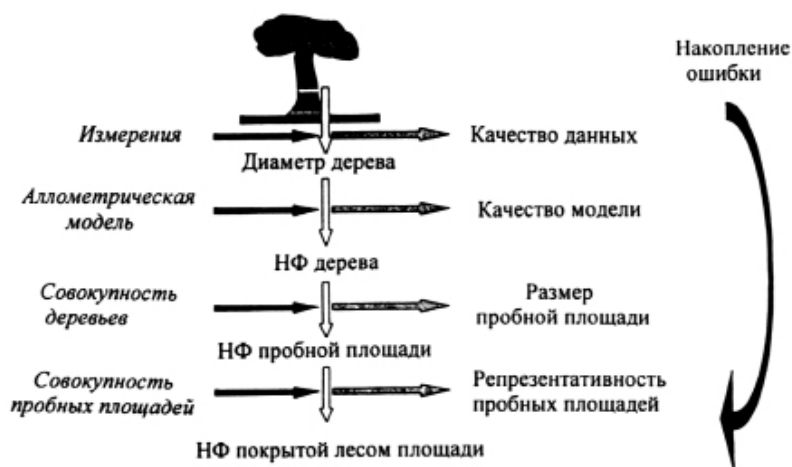


Рис. 1.2. Схема накопления ошибки по четырем последовательным этапам определения надземной фитомассы (НФ) древостоя в тропическом лесу (Chave et al., 2004)

Из области лесоводства и лесной таксации в биопродукционное направление переместилась неопределенность с такими ключевыми терминами, как производительность, продуктивность, прирост и др., которые разные авторы трактуют по-своему; в свое время внесли сюда свою лепту и лесные экономисты. Ввиду большого разнообразия в принятой терминологии по исследуемой проблеме, в дальнейшем изложении некоторые группы терминов (например, *годовой прирост фитомассы – первичная продукция* или *уравнение – регрессия – модель* или *независимая переменная – регрессор – фактор*) используются как синонимы.

Анализ литературы позволяет отметить, что имеется четкая тенденция перехода от формы подачи материала в исходном состоянии, в лучшем случае с систематизацией его по группам признаков либо с графическим выравниванием (Данилов, 1953; Иевинь, Дикельсон, 1962; Молчанов, 1971; Смирнов, 1971), к выявлению парной связи фитомассы с одним ведущим фактором (Kittredge, 1944; Ильюшенко, 1968; Усольцев, 1972) и к объяснению изменчивости показателей фитомассы на основе многофакторного подхода (Attiwill, 1962; Горбатенко, 1971; Карманова, 1976; Усольцев, Усольцева, 1977; Кричун, Усольцев, 1979; Кузиков, 1979; Биологическая продуктивность..., 1982).

1.3.2. Аллометрические уравнения фитомассы и возможности их унификации

Фитомасса древостоя на данной лесопокрытой площади обычно определяется по схеме двухфазного выборочного учета (Cunia, 1987; Yang, Cunia, 1990). На первой фазе измеряются деревья сравнительно крупной выборки с целью получения а) характеристик деревьев, таких как диаметр, высота, древесная порода и т.д. и б) характеристик древостоя и почв, таких как тип леса, класс возраста, класс бонитета, средние диаметр и высота, тип почв, и т.д. Это фаза закладки пробной площади. Деревьев, обмеряемых на первой

фазе, достаточно много, поэтому у них интересующая нас фитомасса не измеряется.

На второй фазе в дополнение к некоторым или ко всем характеристикам, полученным на первой фазе, определяется фитомасса деревьев, но уже на меньшей выборке по сравнению с первой фазой. Выборка второй фазы может быть частью выборки (подвыборкой) первой фазы либо быть совершенно независимой от первой выборки. Данные выборки второй фазы используются для расчета соотношения (обычно в виде регрессионной модели) между фитомассой и характеристиками дерева, полученными на первой фазе. Полученное соотношение совмещается с данными выборки первой фазы, и в итоге рассчитывается фитомасса на единице площади по категориям деревьев или древостоев, либо фитомасса на всей лесопокрытой площади.

Желательно, чтобы на второй фазе модельные деревья были взяты на достаточно большой площади лесов, в пределах крупного географического района. Это позволяет использовать данные этой выборки для построения одной или нескольких *региональных аллометрических моделей фитомассы* деревьев, которые потом совмещаются с совокупностью выборок (пробных площадей) первой фазы, взятых на интересующей исследователя совокупности разных категорий лесов, с разными запасами фитомассы. В условиях Канады, например, региональные модели фитомассы периодически применяются при инвентаризации а) одной и той же либо разных лесопокрытых площадей или б) в один и тот же либо в разные периоды времени (Bonner, 1985; Penner, 1997).

Определения фитомассы имеют ошибку. Согласно схеме выборочного учета (Cunia, 1987; Yang, Cunia, 1990) ошибка определения состоит из двух главных компонент, соответствующих первой и второй фазам выборочного учета. Эти две компоненты, в свою очередь, состоят из нескольких составных частей; одна связана с варьированием размеров отбираемых деревьев, другая – с процедурой их измерения, третья – со структурой модели, рассчитанной для определения фитомассы. Каждая из последних трех составляющих может иметь случайную ошибку, которая снижается по мере увеличения объема выборки вследствие взаимной компенсации, и систематическую (смещение), которая не зависит от объема выборки.

Рассмотрим *четыре* составных части ошибки расчетной модели фитомассы (Cunia, 1987; Yang, Cunia, 1990).

Первая – *ошибка выборки* – связана с различиями отдельных деревьев или пробных площадей по величине фитомассы. Одна и та же процедура выборочного учета, примененная в различных ситуациях, дает в итоге разные наборы модельных деревьев и следовательно – различные модели фитомассы. В частности, на оценку массы листвы влияют погодные условия года учета (Каплина, 2010).

Вторая – *ошибка измерения* – связана с расхождением между истинным и зарегистрированным (записанным) значениями той или иной характеристики модельного дерева. Один и тот же или разные исследователи, используя один и тот же либо разные инструменты и правила измерений, получают в итоге разные результаты. В случае определения абсолютно сухой фитомассы появляется дополнительный источник ошибки, вызванный

необходимостью взятия на сушку дополнительных подвыборок как небольших частей (навесок) той или иной фракции дерева с последующей экстраполяцией результатов на все дерево.

Третья – *ошибка структуры статистической модели фитомассы*, примененной для расчета характеристик взаимосвязи. Разные исследователи, имеющие в распоряжении одни и те же данные выборочного учета, дают в итоге различные модели фитомассы. Например, могут применять линейную или нелинейную регрессионную зависимость той или иной структуры, использовать одну и ту же либо различные процедуры оценки параметров (простой или взвешенный методы наименьших квадратов и др.), с одними и теми же либо разными независимыми переменными, в их исходном либо трансформированном виде и т.д.

Четвертая и последняя – *ошибка применения* – связана с расхождением между истинными аллометрическими соотношениями в генеральной совокупности деревьев, для которой рассчитаны параметры модели, и теми соотношениями, которые имеют место в генеральной совокупности, к которой модель применяется в данный момент. Поскольку объекты наших исследований имеют динамичный характер, изменяется со временем и генеральная совокупность и мы всегда имеем ошибку применения, даже если модель применяется к той же генеральной совокупности, из которой были взяты деревья для ее расчета.

Первым двум составным частям ошибки модели фитомассы в литературе практически не уделяется достаточного внимания. Видимо, они считаются несущественными либо трудно определяемыми в реальных условиях. Обычно исследуется лишь влияние метода отбора и числа отобранных деревьев на точность учета фитомасс отдельного дерева и древостоя (Семечкина, 1978; Усольцев, 1985а, 1988; Бахтин, 1991).

Наибольшее внимание исследователей всегда уделялось двум последним источникам ошибки, и соответственно – выбору оптимальной структуры модели и возможностям применения всеобщих моделей фитомассы деревьев.

Рассмотрим состояние вопроса на этих двух направлениях.

1.3.2.1. Выбор структуры модели фитомассы

При исследовании структуры фитомассы одновозрастного древостоя, представляющего сравнительно однородный биологический объект, высокие показатели точности аппроксимирующих уравнений достигаются при использовании лишь одного аргумента, например диаметра ствола:

$$P = f(D), \quad (1.1)$$

где P – фитомасса дерева, кг; D – диаметр ствола на высоте груди, см. Число таких уравнений, предложенных в разное время разными авторами, по-видимому, не уступает количеству имеющихся функций роста.

Из имеющегося множества функций, аналитически описывающих зависимость (1.1), наиболее часто применяют уравнение прямой линии (Яблочкин, 1934; Ефимович, Никитин, 1934; Слемнев, 1969)

$$P = a + b D, \quad (1.2)$$

либо полином второго порядка (Штибе, 1967; Иванчиков, 1974; Семечкина, 1978; Fiedler, 1986; Зинченко, 1986)

$$P = a + bD + cD^2, \quad (1.3)$$

либо гиперболическую (Crow, 1971)

$$P = D / (a + bD), \quad (1.4)$$

либо экспоненциальную

$$P = a \cdot b^D, \quad (1.5)$$

либо аллометрическую функции

$$P = a \cdot D^b. \quad (1.6)$$

При использовании метода наименьших квадратов для оценки коэффициентов «а» и «b» последние две трансформируют (линеаризуют) по осям координат путем логарифмирования (Sato, 1962; Madgwick, 1976; Усольцев, 1976а). Тогда (1.5) принимает вид

$$\ln P = \ln a + D \ln b \quad (1.7)$$

и (1.6) преобразуется к виду

$$\ln P = \ln a + b \ln D. \quad (1.8)$$

При выявлении степени пригодности различных выравнивающих функций обычно используют в качестве критериев коэффициент детерминации R^2 , характеризующий степень приближения эмпирической зависимости к функциональной (при которой $R^2 = 1$), и ошибку уравнения SE .

Например, полином (1.3) может дать лучшую аппроксимацию по сравнению с аллометрическим уравнением (1.5) (Семечкина, 1978; Singh, 1984), но при этом сместить значения функции при малых значениях аргумента за пределы реальных величин (рис. 1.3). Некоторые авторы даже рекомендуют подправлять эту зависимость «от руки», забывая при этом, что аналитическое выражение зависимости не является самоцелью.

Сопоставляя коэффициенты детерминации уравнений (1.2), (1.5) и (1.6) при оценке массы фракций кроны по диаметру ствола, В.А. Усольцев (1971а) пришел к выводу, что лучший результат дает (1.6) (или 1.8), т.е. аллометрическое уравнение (аллометрия

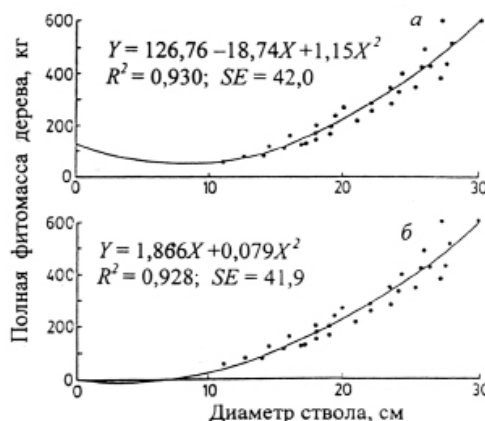


Рис. 1.3. Зависимость фитомассы дерева от диаметра ствола, описываемая полиномом 2-го порядка с завышением (а) и занижением (б) фактических значений фитомассы наиболее тонких деревьев (Aldred, Alendag, 1988)

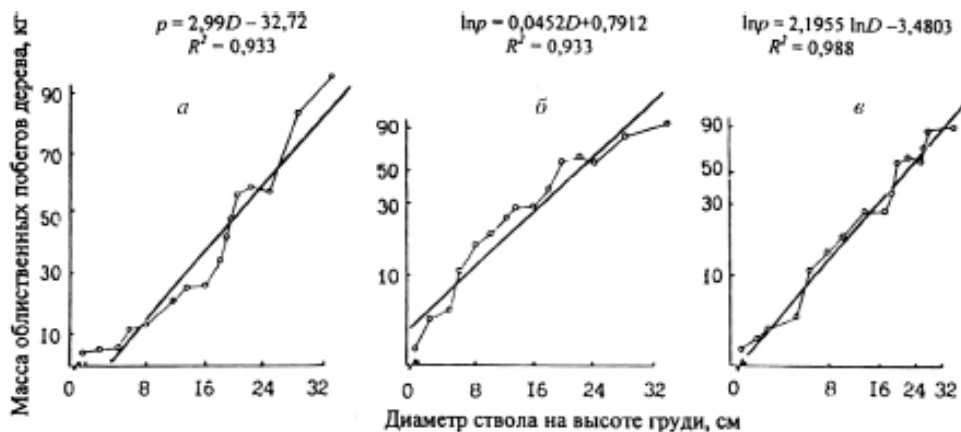


Рис. 1.4. Сравнение трех функций, выравнивающих зависимость массы облиственных побегов березы от диаметра ствола на высоте груди, в координатах: *а* – обычных; *б* – полулогарифмических и *в* – логарифмических (Усольцев, 1985а)

означает неравномерный рост). Аллометрическая (степенная) функция, т.е. уравнение статической аллометрии (Кофман, 1986), которая после логарифмирования по осям координат (лог-лог-преобразование) принимает вид прямой линии, считается наиболее биологически обусловленной. На рис. 1.4 дано ее сопоставление с прямой линией (1.2) без трансформирования переменных (*а*) и с прямой линией в полулогарифмических координатах (*б*) (модель 1.5 либо 1.7), из которого преимущество аллометрической функции (*в*) очевидно. Прямая линия (*а*) и экспоненциальная линеаризованная зависимость (*б*) дают не только худшую аппроксимацию по показателю R^2 , но и смещения относительно линии регрессии, в первом случае занижая крайние и завышая средние значения функции, а во втором – наоборот.

Применение степенной функции в качестве аллометрической модели основано на предположении (Huxley, 1932), что скорость роста одного размерного показателя организма (например, Y) пропорциональна скорости роста другого показателя (например, X) с коэффициентом пропорциональности b :

$$(1/Y)(dy/dt) = b(1/X)(dx/dt), \quad (1.9)$$

где t – время.

После интегрирования получаем

$$\ln Y = \ln a + b \ln X, \quad (1.10)$$

а после антилогарифмирования получаем степенную (аллометрическую) функцию

$$Y = a X^b. \quad (1.11)$$

Трансформация, подобная (1.10), допускается, если стандартное отклонение Y при данном значении X возрастает пропорционально величине X . Наличие такой ситуации предполагает, что величина Y может быть расчи-

тана более точно при низких, но не при высоких значениях X (Zar, 1996). К трансформированным исходным значениям применяют метод наименьших квадратов в ходе регрессионного анализа и получают значения a и b . Во многих случаях считают, что предпосылкой для регрессионного анализа лог-трансформированных фактических данных является наличие гомосцедастичности зависимой переменной Y . Хотя уравнения (1.10) и (1.11) в математическом отношении эквивалентны, они не идентичны в статистическом смысле (Zar, 1968).

Поскольку нелинейные регрессии трансформируются посредством логарифмирования и их статистический анализ выполняется в логарифмических единицах, то при ретрансформации теоретических данных в арифметические единицы происходит смещение оценок. Это несоответствие выявлено давно (Finney, 1941), но его потенциальное влияние на оценку фитомассы стало изучаться много позднее (Madgwick, 1970; Mountford, Bunce, 1973; Sprugel, 1983), и было предложено несколько процедур для коррекции смещений при ретрансформации регрессионных оценок фитомассы (Baskerville, 1972; Beauchamp, Olson, 1973; Yandle, Wiant, 1981; Sprugel, 1983).

Процедура введения поправок, предложенная Дж. Бичемпом и Дж. Олсоном (Beauchamp, Olson, 1973), намного сложнее таковой по П.В. Мелентьеву (1962), но дает лучшее приближение к исходным данным. При высокой корреляции признаков; например, массы ствола и его диаметра, смещение составляет менее 1% и возрастает по мере увеличения степени разброса данных, но всегда остается в пределах доверительного интервала регрессии. При исследовании связей фитомассы деревьев с их массообразующими признаками (Уткин, Ермолова, 1979) установлено, что смещения при логарифмировании настолько незначительны, что корректировка данных на это смещение практически не улучшает результата. Например, в модели (1.10) для тополя (*Populus tremuloides*) корректировочный коэффициент на смещение от логарифмирования для всех фракций составил 1–3% (Ruark et al., 1987).

Обычно биологические данные предполагают постоянство дисперсии величины Y на всем диапазоне величины X . Это означает, что аллометрический параметр b в (1.10) и (1.11) предполагается постоянным, а выборка – однородной (Воробейчик, 2001).

Однако часто оказывается, что аллометрический параметр у растений существенно снижается по мере увеличения их размера (Yang et al., 1978) и может быть выражен линейной зависимостью от величины X , например как $(b + cX)$. Тогда (1.9) можно записать (Ruark et al., 1987) как

$$(1/Y)(dy/dt) = (b+cX)(1/X)(dx/dt). \quad (1.12)$$

После интегрирования (1.12) получаем

$$\ln Y = \ln a + b \ln X + cX. \quad (1.13)$$

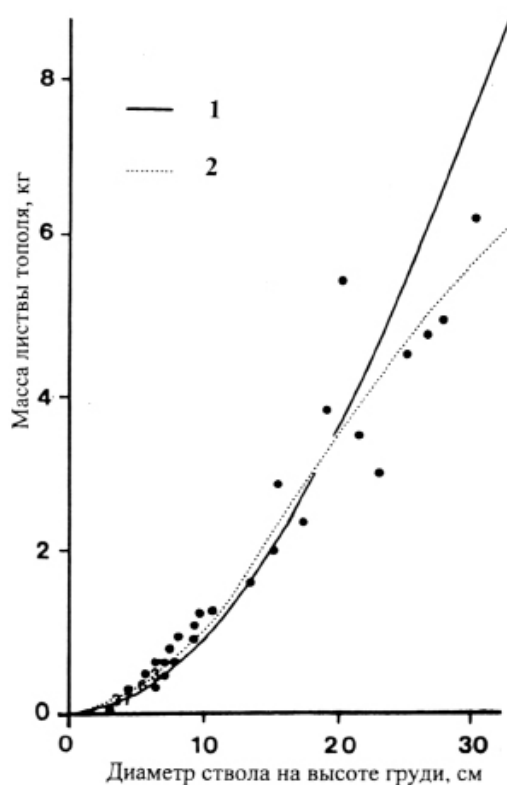
С целью подтвердить правомерность применения (1.13) Дж. Руарк с соавторами (Ruark et al., 1987) по данным 45 деревьев *Populus tremuloides*, взятых на 9 пробных площадях в возрасте древостоев от 8 до 63 лет, рассчитали уравнения (1.10) и (1.13). В табл. 1.3 и на рис. 1.5 дана их сравнительная характеристика.

Таблица 1.3

Сравнительная характеристика уравнений (1.10) и (1.13)

Фракция фитомассы	Номер уравнения	a	b	c	R^2	SE
Древесина ствола	(1.10)	-3,202	2,606	-	0,993	5,66
	(1.13)	-3,198	2,603	0,0003	0,993	5,80
Кора ствола	(1.10)	-4,532	2,552	-	0,981	2,29
	(1.13)	-4,230	2,292	0,024	0,982	1,90
Ветви	(1.10)	-5,040	2,695	-	0,982	3,07
	(1.13)	-5,616	3,190	-0,045	0,984	1,99
Листва	(1.10)	-4,341	1,868	-	0,967	0,56
	(1.13)	-5,156	2,568	-0,063	0,977	0,39

В результате анализа остатков установлено, что модель (1.13) оценивает кору ствола, ветви и листву при меньшем смещении по сравнению с (1.10). Модель (1.10) занижает массу коры стволов у крупных деревьев и завышает массу фракций кроны у тех же деревьев. Применение модели (1.13), включающей переменное значение аллометрического параметра b , значительно улучшает оценку массы листвы и ветвей. Она имеет преимущество перед (1.10) как модель аллометрического соотношения, которое не оста-



ется постоянным по мере роста организма, и значение аллометрического параметра линейно снижается по мере увеличения диаметра ствола. Поскольку диаметр ствола и возраст часто тесно коррелированы, то возможно, это изменение аллометрического параметра связано с переходом от молодых к старовозрастным деревьям.

Первые попытки применения зависимости (1.11) в количественной биологии относятся к концу XIX века (Snell, 1891, цит. по: Reeve, Huxley, 1945). Позднее идея аллометрического роста развита Дж. Гексли (Huxley, 1932), С. Гулдом

Рис. 1.5. Зависимость массы листвы тополя от диаметра ствола на высоте груди по моделям (1.10) и (1.13); на графике модели обозначены соответственно как 1 и 2 (Ruark et al., 1987)

(Gould, 1966), М.В. Миной и Г.А. Клевезаль (1976). Последние обсудили онтогенетическую и статическую аллометрии и взаимосвязь между ними. Аллометрия применительно к древостоям детально исследована Г.Б. Кофманом (1986) с позиций теории подобия. Он показал теоретический характер аллометрической формулы как проявления подобия в сравниваемой совокупности состояний и исследовал нетрадиционные варианты подобия, в частности в процессах роста и изреживания древостоев.

Функция (1.11) известна в теоретической биологии и как функция параболического роста (Шмальгаузен, 1935). И.А. Терсков и М.И. Терскова (1980) делили период большого роста древостоев на несколько возрастных этапов и аппроксимировали таксационные показатели уравнением ступенчатого параболического роста, при этом рассчитывались ее константы для каждого этапа. В.А. Усольцев с соавторами (1984) интерпретировали логарифмический полином n -го порядка как «исправленную» параболическую функцию. В предположении, что константа b изменяется не дискретно от одного возрастного периода к другому, а непрерывно, например, $b = c_1 + c_2 \ln X$, они получили логарифмический полином второго порядка, или функцию Корсуня-Бакмана, математические и биологические основы которой в литературе детально проанализированы (Korsun, 1935; Мауринь, 1980):

$$\ln Y = c_0 + c_1 \ln X + c_2 (\ln X)^2. \quad (1.14)$$

В свою очередь, если в (1.14) $c_2 = d_2 + d_3 \ln X$, то имеем логарифмический полином третьего порядка

$$\ln Y = d_0 + d_1 \ln X + d_2 (\ln X)^2 + d_3 (\ln X)^3. \quad (1.15)$$

Уравнение (1.15) в сравнении с (1.14) дает кривую, более близкую к опытным данным, однако по мере повышения степени, как в случае обычного полинома, возрастает опасность описания случайных флуктуаций, что фактически является искажением тренда.

1.3.2.2. Проблема применения аллометрической модели и возможности ее унификации

Фитомасса деревьев трудно предсказуема вследствие ее высокой изменчивости и зависимости от условий произрастания и свойств дерева. Поэтому часто необходимы прямые измерения, очень трудоемкие и требующие применения «деструктивного» выборочного учета (Hoffman, Usoltsev, 2002; Liski et al., 2002; Maser et al., 2003). Вследствие высокой трудоемкости фракционирования, взвешивания и сушки фракций фитомассы дерева, а также в силу преобладания сложных многовидовых насаждений над простыми моновидовыми, фитомасса насаждений на 1 га определяется с применением унифицированных аллометрических зависимостей, специфичных для данной древесной породы в том или ином регионе (Petraš et al., 1985; Ruark et al., 1987; Le Goff, Ottorini, 1996; Bartelink, 1996, 1997; Parresol, 1999; Widlowski et al., 2003; Jenkins et al., 2004; Zianis, Mencuccini, 2004; Wirth et al., 2004).

Появляется дополнительная проблема, когда необходимо установить географическую область применения полученного уравнения (Zianis, Mencuccini, 2004), однако область применения таких зависимостей устанавливается произвольно, без оценки возможных смещений в локальных условиях. Исследование К. Кеттерингса с соавторами (Ketterings et al., 2001), посвященное снижению неопределенности при использовании аллометрических моделей для оценки фитомассы древостоев, является одним из редких исключений в названной ситуации.

В большинстве случаев изменчивость фитомассы дерева P в значительной степени объясняется изменчивостью диаметра на высоте груди D (Zianis, Mencuccini, 2004), а наиболее часто употребляемой и биологически обоснованной математической моделью в исследованиях фитомассы является, как уже отмечалось, аллометрическая (степенная) функция (1.6) (либо 1.11). По мнению многих исследователей, для описания изменчивости фитомассы деревьев достаточно одного диаметра ствола на высоте груди. Но подобные выводы касались в основном единичного древостоя либо совокупности древостоев, близких по морфоструктуре. Поскольку в таком случае высота и диаметр ствола тесно коррелированы, нет необходимости включать в уравнение дополнительно к диаметру еще и высоту дерева: она обычно статистически не значима (Hegyí, 1972).

Большинство исследователей аллометрической взаимосвязи фитомассы и размера дерева дают уравнения, специфичные для конкретной древесной породы либо для данного местообитания и иногда – для разных возрастных групп деревьев (Doucet et al., 1976; Koerper, Richardson, 1980; Baskerville, 1972, 1983; Crow, 1983). В меньшей степени представлены региональные (обобщенные) уравнения как для отдельной породы, так и для совокупности пород (Baskerville, 1965; Kira, Shidei, 1967; Whittaker, Woodwell, 1967; Whittaker et al., 1974; Monk et al., 1970; Jordan, 1971; Harris et al., 1973; Brown, 1976; Crow, 1978; 1983; Ribe, 1979; Alemdag, Horton, 1981; Jacobs, Monteith, 1981; Schmitt, Grigal, 1981; Singh, 1982, 1984; Jenkins et al., 2003).

Б. Фридманом (Freedman, 1984) выполнено исследование, в котором в одну совокупность и соответствующее ей уравнение фитомассы были объединены не только древесные и кустарниковые, но и травянистые виды. В результате такого широкого обобщения (45 видов растений) по данным 765 определений рассчитано уравнение для надземной фитомассы (P , кг)

$$\lg P = -1,2 + 2,6 \lg D; \quad R^2 = 0,997. \quad (1.16)$$

В исходный массив данных включены 285 модельных деревьев хвойных и лиственных пород от пихты и ели до березы и осины с диаметром на высоте груди от 0,8 до 34 см (10 видов); 392 модельных маломерных деревьев и кустарников от пихты и ясеня до лещины и калины с диаметром на высоте 25 см над уровнем почвы, варьирующим от 0,3 до 6,0 см (13 видов) и 88 особей кустарничков и травянистых растений от папоротника орляка до плауна и кукушкина льна (22 вида).

Полученное уравнение объясняет 99,7 % изменчивости надземной фитомассы растений, обладает высокой прогностической способностью и характеризуется дисперсией, равномерно распределенной вдоль линии рег-

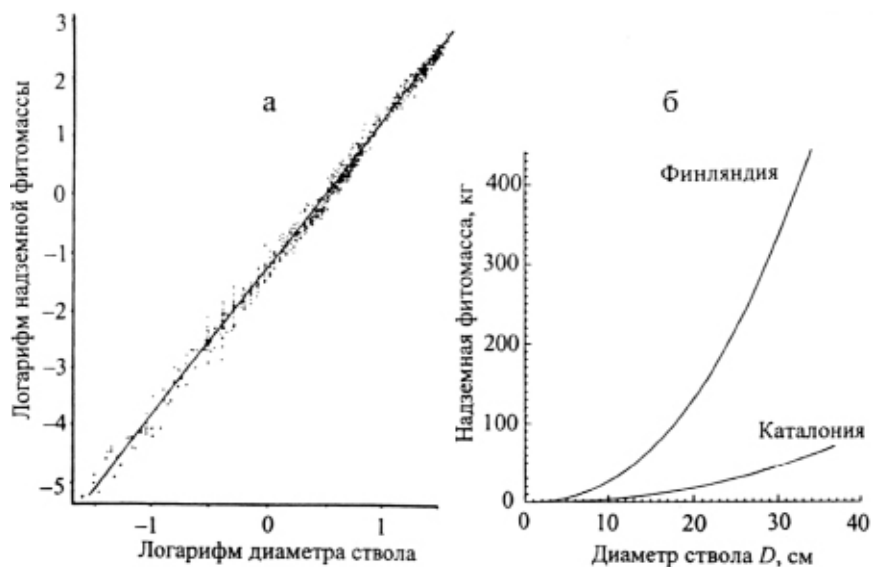


Рис. 1.6. Зависимость надземной фитомассы деревьев в абсолютно сухом состоянии (кг) от диаметра ствола на высоте груди для 45 видов древесных, кустарниковых и травянистых растений (а) (Freedman, 1984) и для сосны обыкновенной Финляндии и Каталонии (б) (Lehtonen, Vayred, 2002)

рессии (рис. 1.6а). В целом, автор делает вывод о потенциальной полезности обобщенных регрессий фитомассы при прогностической оценке запасов фитомассы растительных сообществ.

С другой стороны, есть свидетельства того, что результаты моделей фитомассы даже для одной и той же древесной породы, например, для сосны обыкновенной, рассчитанных для разных природных зон, могут различаться в 8 раз (рис. 1.6б). Для сосны обыкновенной, произрастающей в Финляндии и Каталонии (Испания) уравнения для сухой надземной фитомассы соответственно следующие (Lehtonen, Vayred, 2002):

$$P = -0,950 + 0,0943 D^2, \quad (1.17)$$

$$P = -0,380 + 0,0628 D^2. \quad (1.18)$$

На начальном этапе исследований биопродуктивности древостоев модели фитомассы и соответствующие им таблицы изначально предназначались для применения в пределах всего региона, а не в локальных местообитаниях, причем без какого-либо регионального сравнительного анализа их применимости на основе статистических критериев (Young et al., 1964; Ribe, 1973; Kinerson, Bartholomew, 1977; Wiant et al., 1977; Goldsmith, Hocker, 1978).

При этом важно знать, что различия между местообитаниями обусловлены применением не уравнений разной структуры, дающих разные результаты даже по одному и тому же массиву исходных данных, а уравнений, достоверно отличающихся одно от другого. Стандартный метод оце-

нивания различия между уравнениями включает в себя три теста (Pastor et al., 1984):

- 1) тест при равных дисперсиях;
- 2) если дисперсии равны, то тест при равных угловых коэффициентах;
- 3) если угловые коэффициенты равны, то тест при равных свободных членах уравнений.

Стандартный метод требует наличия оригинальных исходных данных модельных деревьев или, по меньшей мере, наличия стандартной ошибки уравнений, однако и то, и другое не всегда выполнимо. Регрессии могут быть статистически гомогенными не только вследствие равных дисперсий, углов наклона и свободных членов, но и вследствие высокой стандартной ошибки. Поэтому, даже если различия между регрессиями статистически не значимы, они могут давать совершенно разные оценки фитомассы. Если регрессии статистически различаются, то необходимы оригинальные данные для местообитаний, чтобы выбрать соответствующую регрессию для соответствующего местообитания. Однако такие данные редко бывают в наличии. Региональные модели часто рассчитывают по модельным деревьям, взятым в разных местообитаниях.

Можно установить варьирование оценок по разным регрессиям, полученным по одному и тому же набору исходных данных, но если варьирование высокое, то опять возникает проблема, какую регрессию выбрать при отсутствии исходных данных. Альтернативой является расчет единственной регрессии, которая суммировала бы в себе предшествующие уравнения, и сравнение оценок, полученных по обобщенной регрессии, с оригинальными данными. Это можно лучше всего выполнить путем объединения исходных данных модельных деревьев в одну сводку, хотя это не всегда возможно из-за отсутствия таких данных в литературе (Pastor et al., 1984).

Необходим метод установления варьирования оценок, полученных по уравнениям фитомассы, и расчета обобщенных регрессий при отсутствии экспериментальных данных. Варьирование оценок и адекватность обобщенной регрессии могут быть определены путем расчета обобщенной регрессии по точкам, полученным путем табулирования исходных регрессий, и сравнением оценок, полученных по обобщенной регрессии, с исходными.

Дж. Пастор с соавторами (Pastor et al., 1984) использовали для обобщения опубликованные уравнения вида (1.8) для шести пород Северо-Востока США (клены красный и сахарный, береза, осина, сосна и дуб). Расчет обобщенной регрессии предварялся табулированием исходных регрессий для данной породы по пяти равноудаленным точкам в пределах всего диапазона диаметров. Полученные для данной породы наборы точек со всех уравнений объединялись в один массив, и по нему рассчитывалась обобщенная регрессия. Ее графическая интерпретация для клена красного дана на рис. 1.7.

Подобная процедура применена к шести породам. Сопоставление адекватности оценок обобщенной регрессии «восстановленным» по исходным регрессиям величинам выполнено по коэффициенту R^2 и стандартной относительной ошибке RE , в процентах к среднему значению фитомассы. Срав-

Рис. 1.7. Обобщенная зависимость (1.8) надземной фитомассы деревьев клена красного от диаметра ствола на высоте груди (Pastor et al., 1984)



нение показало, что оценки общей надземной фитомассы более точные, чем массы стволов и ветвей отдельно: R^2 варьирует по породам соответственно в пределах 0,992–0,998; 0,985–0,999 и 0,931–0,989. Величина RE находится в пределах соответственно 1–5, 1–4 и 4–9 %.

Варьирование по отношению к фактическим данным авторами (Pastor et al., 1984) определено по материалам, не вошедшим в расчет обобщенной регрессии. Например, для клена сахарного получено практически полное совпадение общей надземной фитомассы, рассчитанной по обобщенной регрессии, и фактических значений, не вошедших в расчет исходных регрессий (рис. 1.8, I), а для осины отклонения оказались существенными. В одном случае обобщенная регрессия занижает фактические значения (рис. 1.8, II), а в другом – завышает (рис. 1.8, III). Возможно, это связано с тем, что в первом случае фактические показатели фитомассы взяты из наиболее, а во втором – из наименее продуктивного насаждения.

В целом авторами сделан вывод, что обобщенные регрессии дают лучшие оценки для общей надземной фитомассы, чем суммарные оценки, полученные отдельно для ветвей и стволов. Представленные обобщенные регрессии являются итогом объединения результатов нескольких иссле-

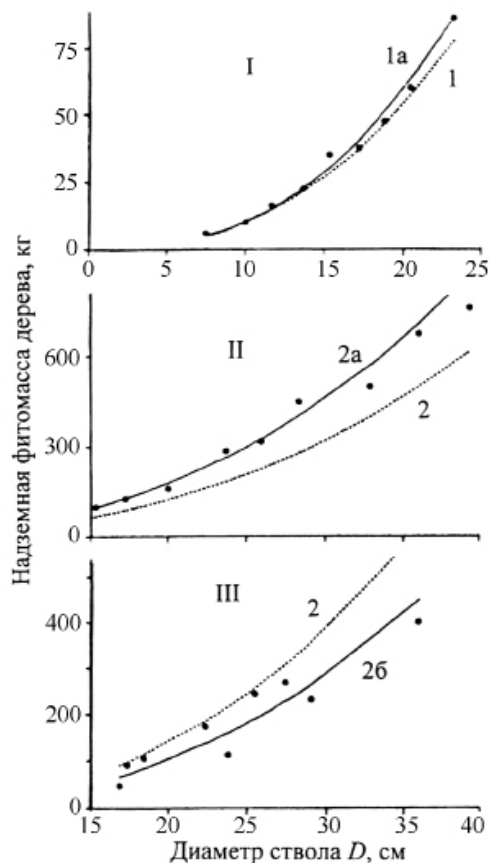


Рис. 1.8. Сопоставление обобщенных регрессий (1.8), рассчитанных Дж. Пастором с соавторами (Pastor et al., 1984) для клена красного (1) и осины (2), с регрессиями, рассчитанными по независимым данным для клена красного (1a) (Pastor, Bockheim, 1981) (I), осины (2a) (Pastor, Bockheim, 1981) (II) и осины (26) (Johnston, Bartos, 1977) (III)

дований в широком диапазоне диаметров деревьев и могут дать достаточно точные оценки фитомассы деревьев и древостоев на территориях, где нельзя брать модельные деревья для расчета локальных уравнений фитомассы (Pastor et al., 1984).

Более того, Дж. Пастор с соавторами полагают, что уравнения фитомассы могут быть использованы для оценки первичной продукции по имеющимся приростным кернам, взятым на высоте груди, предполагая, что масса фракций дерева изменяется пропорционально увеличению диаметра. Однако подобное предположение ничем не оправдано, поскольку закономерности отложения прироста в разных фракциях дерева достаточно сложны и во многом неопределенны (Усольцев, 2007б).

Дж. Пастор с соавторами (Pastor et al., 1984) не являются единственными сторонниками применения обобщенных моделей (1.8). Многие исследователи единодушны в выводе о возможном широком использовании обобщенных уравнений зависимости фитомассы лишь от диаметра ствола. Выведенные, например, Т. Синхом (Singh, 1986) обобщенные уравнения для восьми пород Канады не дали существенных смещений в локальных местообитаниях.

Аналогичные обобщенные уравнения, рассчитанные по большому массиву фактических данных фитомассы дугласии на прибрежных территориях Британской Колумбии (Канада), также не дали больших смещений по отношению к локальным уравнениям, за исключением пессимальных местообитаний (Feller, 1992).

Л. Триттон и Дж. Хорнбек (Tritton, Hornbeck, 1981) сравнили несколько уравнений фитомассы для древесных пород Северо-Востока США, взятых из разных публикаций, и установили, что для одной и той же породы большинство уравнений близки по параметрам, за исключением 1–2 пород.

В Южной Корее (Son et al., 2001) по 20 модельным деревьям, взятым по 1-сантиметровым ступеням толщины в 30-летних культурах кедр корейского, рассчитаны аллометрические уравнения (1.8). Показатель R^2 для древесины ствола, коры ствола, ветвей и хвои составил соответственно 0,962; 0,959; 0,861 и 0,916. Затем полученное обобщенное уравнение использовано для расчета фракционной структуры надземной фитомассы на 1 га в культурах кедр корейского в диапазоне возрастов от 17 до 74 лет и в естественном кедровнике, возраст деревьев в котором варьировал от 5 до 120 лет. Подобную унификацию уравнения (применение в широком диапазоне возраста и происхождения древостоев) авторы мотивируют тем, что кедр корейский в сравнении с другими хвойными и листопадными деревьями имеет низко опущенную крону (Lee, Kim, 1997), и отпад нижних ветвей с возрастом случается редко, даже после полного смыкания полога.

Г. Баскервиль (Baskerville, 1965a) установил, что густота древостоя не оказывает влияния на соотношение (1.8) для надземной фитомассы пихты бальзамической на 18 пробных площадях в диапазоне густот от 1,7 до 12,0 тыс. экз/га. Соотношение надземной фитомассы и диаметра ствола по модели (1.8) в 115-летнем древостое ели черной (*Picea mariana*) мало изменчиво и дает отклонения в пределах одной стандартной ошибки даже по отношению к другим породам – ели красной (*Picea rubens*) и белой (*Picea glauca*)

(Grigal, Kernik, 1984). В этой связи японские исследователи (Shinozaki et al., 1964) полагают, что соотношение (1.8) для массы кроны более стабильно у теневыносливых и более изменчиво у светолюбивых пород вследствие повышенных темпов отмирания ветвей у последних.

Д. Бикельхаупт с соавт. (Bickelhaupt et al., 1973) в 40–45-летнем чистом естественном древостое клена сахарного взяли две выборки модельных деревьев, в каждой по 5 экземпляров в диапазоне варьирования диаметров. В одну выборку были включены деревья с редким ветвлением, в другую – с густым. Определена масса фракций (листва, ветви, ствол) для каждой выборки и рассчитаны аллометрические уравнения (1.8). Коэффициенты детерминации R^2 оказались разными для выборок – для деревьев с повышенным ветвлением R^2 выше для массы листвы на 11%, для массы ветвей – на 5%, а по массе стволов и общей надземной различия в R^2 незначительные.

По полученным уравнениям и пересчету деревьев на пробной площади рассчитана фитомасса на 1 га в трех вариантах: 1) деревья при пересчете подразделены на названные две категории, фитомасса каждой на 1 га рассчитана по соответствующему уравнению и результаты суммированы; 2) в предположении, что все деревья имеют низкий уровень ветвления, расчет на 1 га выполнен с использованием только одного соответствующего уравнения; 3) в предположении, что все деревья на пробе имеют высокий уровень ветвления, расчет выполнен только по одному соответствующему уравнению.

В результате установлено, что масса листвы по трем названным вариантам различалась незначительно и варьировала в пределах 2,6–2,7 т/га. Вариант 2) по отношению к 1) зависил массу ветвей на 9 и занижил массу стволов на 8% и общую надземную – на 3%. Вариант 3) по отношению к 1) напротив, занижил массу ветвей на 11 и зависил массу ствола на 2%, по общей надземной различия незначительны. Наибольшие различия установлены между вариантами 2) и 3): в последнем случае была занижена масса ветвей на 61% и завислена масса ствола на 9% и общая надземная – на 4%.

Таким образом, регрессии для массы ствола и ветвей клена сахарного в значительной степени обусловлены характером ветвления кроны. Однако масса ветвей и масса ствола у деревьев разных типов ветвления взаимно компенсируются. Несмотря на то, что регрессии для массы ствола и ветвей клена сахарного в значительной степени обусловлены характером ветвления кроны, сильно варьирующим в зависимости от характеристик древостоя, уравнения для всей надземной фитомассы были подобны и не зависели от формы дерева.

М. Шмит и Д. Григал (Schmitt, Grigal, 1981) проанализировали фитомассу стволов, ветвей и листвы 251 модельного дерева, которые были получены в древостоях березы бумажной разных штатов в пределах США. Древостои представлены в широком диапазоне добротности местообитаний, возраста, густоты и диаметров (от 0,3 до 23,6 см). Тем не менее, связь общей массы деревьев с диаметром по уравнению (1.8) оказалась очень тесной, без каких-либо различий между регионами (рис. 1.9). Авторы полагают, что подобные обобщенные уравнения достаточно точны и могут быть широко использованы для оценки фитомассы деревьев локальных местообитаний при отсутствии уравнений, рассчитанных по локальным данным. Эти уравнения

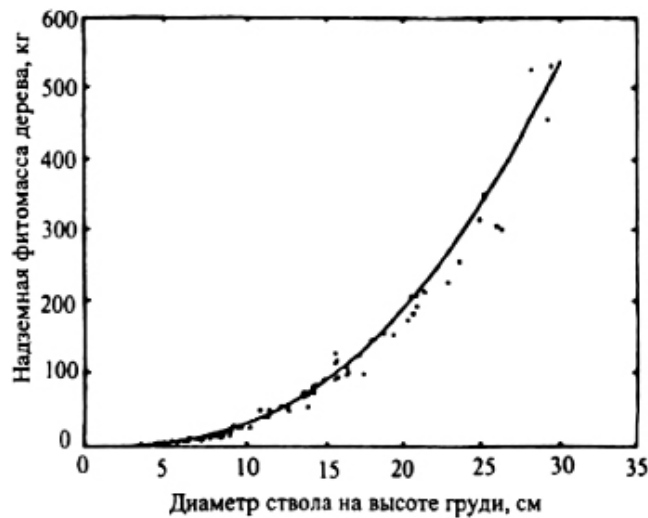


Рис. 1.9. Зависимость надземной фитомассы деревьев березы бумажной от диаметра ствола на высоте груди по уравнению (1.8), рассчитанному по данным 250 модельных деревьев из разных штатов в пределах США (Schmitt, Grigal, 1981)

оказались сопоставимыми с аналогичными уравнениями даже для хвойной породы – сосны Банкса.

М. Шмит и Д. Григал (Schmitt, Grigal, 1981) свидетельствуют, что дополнительное включение высоты в (1.8) несколько снизило ошибку определения массы ствола, однако для массы кроны снижение ошибки было незначительным. Вывод, что фитомасса дерева является прежде всего функцией диаметра на высоте груди и сравнительно нечувствительна к высоте дерева, сделан и другими исследователями (Crow, 1978; Payandeh, 1981).

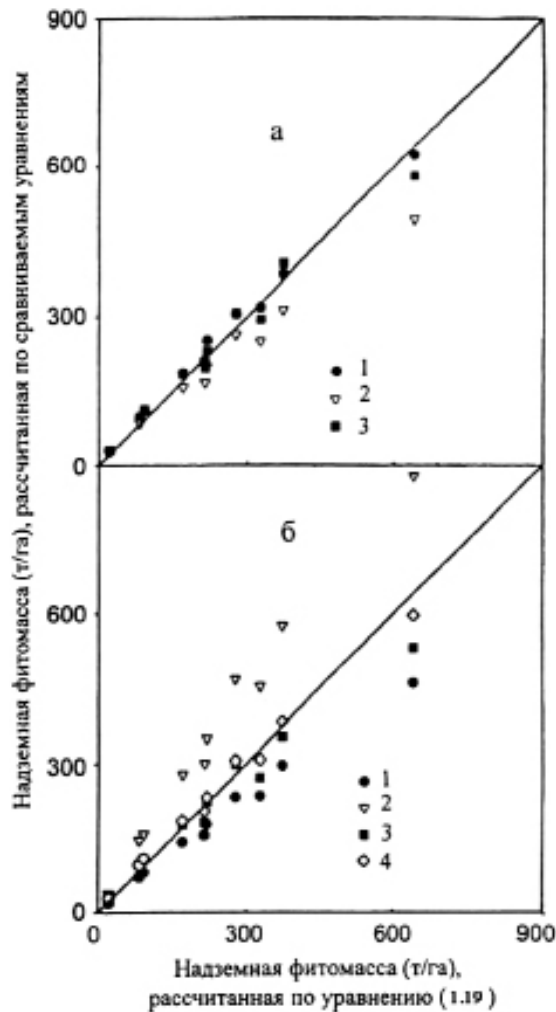
Не подтвердилась статистически необходимость включения высоты дерева в (1.8) также на Гавайях (о. Мауна Лоа), где было взято 14 модельных деревьев ясеня тропического (*Fraxinus uhdei*) диаметром от 5 до 47 см (Ares, Fownes, 2000). Получена регрессия для надземной фитомассы (P_{abo} , кг)

$$P_{abo} = 0,0466D^{2,7018} ; \quad R^2 = 0,99. \quad (1.19)$$

Уравнение (1.19) сопоставлено с тремя уравнениями для ясеня белого (американского) (*Fraxinus americana*), с тремя обобщенными (для совокупности тропических пород) уравнениями для тропиков соответственно сухих, влажных и сырых местообитаний и с одним обобщенным уравнением для широколиственных лесов умеренной зоны с R^2 в диапазоне от 0,67 до 0,99. По пересчетной ведомости древостоя ясеня тропического с использованием названных уравнений рассчитана надземная фитомасса на 1 га. Отклонение значений надземной фитомассы, рассчитанной по сравниваемым уравнениям, от фактического значения, рассчитанного по (1.19), варьировало от 10 до 24 % (рис. 1.10).

В целом, отклонения были меньше при использовании уравнений для ясеня белого, и более значительные – по обобщенным уравнениям для тропиков и умеренной зоны. Авторы (Ares, Fownes, 2000) полагают, что в будущем

Рис. 1.10. Сопоставление оценок надземной фитомассы ясеня тропического на Гавайях, полученных по уравнению (1.19), с оценками, полученными по уравнениям разных авторов (1) – (3) для ясеня американского (а) и с оценками, полученными по обобщенным аллометрическим уравнениям для деревьев в тропиках и умеренном поясе (б) (1 – тропики сухие; 2 – тропики влажные; 3 – тропики сырые; 4 – леса умеренного пояса); диагональные линии соответствуют соотношению 1:1 (Ares, Fownes, 2000)



локальные уравнения, рассчитанные по большему количеству модельных деревьев, могут дать более приемлемые оценки фитомассы деревьев на Гавайях. Тем не менее, некоторые обобщенные уравнения глобального применения могут пока обеспечить приемлемо точные оценки фитомассы древостоев.

В отличие от вышеперечисленных авторов, в некоторых исследованиях возможность какой-либо унификации парной связи *фитомасса-диаметр* исключалась категорически. В.А. Усольцевым (1972, 1973) в древостоях березы и осины в Северном Казахстане проанализирована связь *фитомасса кроны – диаметр* по модели (1.8) по данным соответственно 138 и 109 модельных деревьев, взятых на 11 пробных площадях в разных классах возраста. Показана видоспецифичность зависимости (1.8), т.е. осина при одном и том же диаметре ствола имеет существенно меньшую (в 2–3 раза) массу кроны, чем береза. В наименьшей степени различается масса кроны равновеликих деревьев, принадлежащих к разным классам возраста: во II классе возраста дерево диаметром ствола 12 см у обеих пород имеет массу кроны в 2–4 раза большую, чем в IV классе.

Невозможность применения всеобщей модели (1.8) на примере березы была показана в Японии (Shinozaki et al., 1964) в качестве альтернативы «пайп-модели». Т. Сато (Sato, 1962) нашел, что применяя регрессию (1.8), полученную в одном древостое *Pinus densiflora*, к другому древостою этой же породы, можно получить смещения, варьирующие от –17 до +179 %.

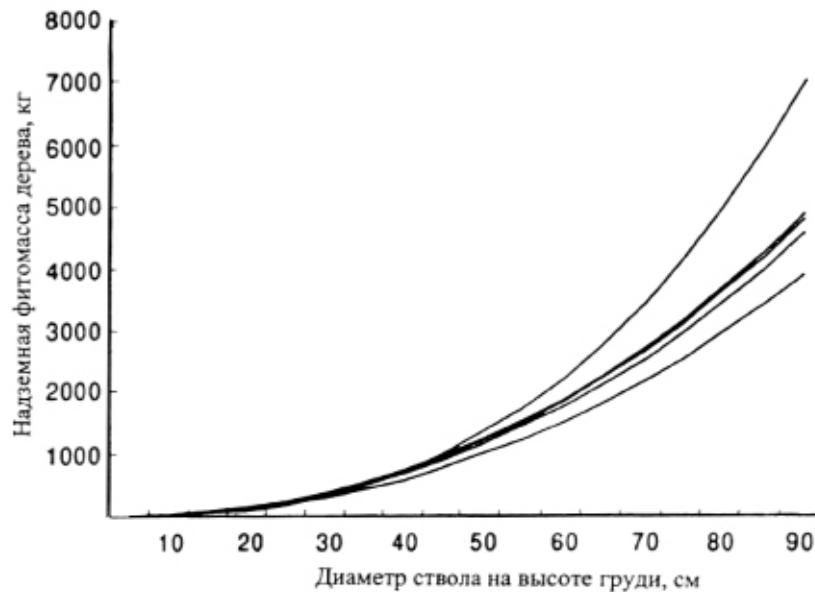


Рис. 1.11. Зависимости надземной фитомассы деревьев пихты дугласовой от диаметра ствола на высоте груди, рассчитанные по пяти разным уравнениям (1.8) для разных регионов Северной Америки (Jenkins et al., 2004)

Американскими исследователями (Jenkins et al., 2004) при анализе зависимости (1.8), полученной разными авторами в древостоях пихты дугласовой для разных регионов Северной Америки, показано, что пять выведенных уравнений существенно различаются между собой (рис. 1.11).

Дж. Киттреджем (Kittredge, 1944) не было найдено различия в уравнениях (1.8) для надземной фитомассы прореженных и непрореженных древостоев *Pinus strobus* в одном и том же местообитании, однако регрессионные коэффициенты для *Pinus strobus* и *Pinus banksiana*, произрастающих в местообитаниях разной добротности, сильно различались.

Г. Керпером и С. Ричардсоном (Koeper, Richardson, 1980) проанализирована фитомасса 31 модельного дерева осины *Populus grandidentata* из трех спелых древостоев соответственно добротного, промежуточного и бедного местообитаний. При расчете уравнений (1.8) поправки на логарифмирование не вводились, поскольку величина смещений находится в пределах варьирования исходных данных (Madgwick, Sato, 1975). В итоге в уравнениях, рассчитанных по локальным данным трех местообитаний, R^2 варьировал в пределах: 0,98–0,99 для стволов; 0,93–0,96 для ветвей и 0,88–0,94 для листвы. Обобщенные регрессии, рассчитанные по совокупному массиву данных трех местообитаний дали значения R^2 , которые либо находились на том же уровне, либо были несколько ниже, соответственно по фракциям: 0,98; 0,94 и 0,85.

При оценке уравнений только по величине R^2 , как это часто имеет место, в данном случае был бы сделан вывод, что расчет локальных уравнений практически не повышает точности оценок фитомассы, и можно пользоваться обобщенной регрессией. Однако, когда оценки регрессий были переведены на 1 га, то обнаружили существенные смещения. В частности, оценки

надземной фитомассы бедного местообитания были завышены уравнениями, рассчитанными по добротному и промежуточному местообитаниям, соответственно на 40 и 21%, а обобщенным уравнением – на 19 % (Koepfer, Richardson, 1980). Аналогичная ситуация была показана на рис. 1.8, I и 1.8, II для осины Северной Америки (Pastor et al., 1984).

Возможно, уравнение (1.8) может быть более приемлемо в качестве «всеобщего» для оценки массы кроны у теневыносливых пород и в меньшей степени – у светолюбивых вследствие большей изменчивости морфологии кроны у последних в разных локальных условиях произрастания.

1.3.2.3. Фрактальная модель Г. Веста

В качестве альтернативы эмпирическому подходу для расчета аллометрической константы b в уравнении (1.8) (либо 1.10) предложен биомеханический принцип структурных и экофизиологических моделей дерева (West et al., 1999). По мнению зарубежных «математизированных» экологов, «живой мир управляется законами, основанными на фрактальной геометрии и размерах организмов» (Whitfield, 2001. Р. 342). Сегодня основная концепция лесоводов «видеть за деревьями лес» получает дальнейшее развитие, правда, «с точностью наоборот». Идею этого развития можно выразить словами американского эколога Дж. Енквиста (цит. по: Whitfield, 2001): «Когда я иду по лесу, то меня не оставляет ощущение, что хотя это очень сложная система, но в основе этой сложности лежат очень простые правила» (С. 342).

В основу метода фрактальной модели Г. Веста (West et al., 1999) положены фрактальные свойства ветвящихся структур. Применительно к кроне дерева это означает, что общая схема ее ветвления подразделяется на соподчиненные подсистемы, которые в последовательно уменьшающихся масштабах повторяют общую схему (рис. 1.12). Для расчета общей фрактальной модели интактные ветвящиеся системы расчленяются по порядкам ветвления, измеряются длина, масса и угол крепления каждого сегмента. При известных характеристиках доступных ветвей первого порядка, непосредственно примыкающих к стволу, а также – ствола в целом, модель позволяет достаточно корректно

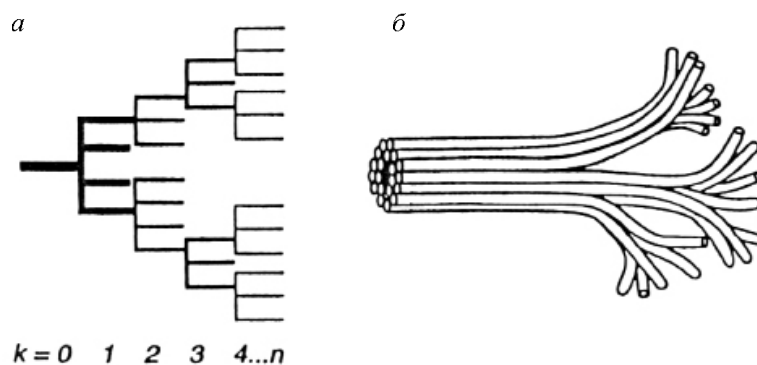


Рис. 1.12. Схематическое представление общности: а – теории фракталов (показана топология ветвления от уровня $k = 0$ (ствол) до уровня $k = n$ (петли)) и б – пайп-модели (символически показана система ветвящихся сосудов, состоящая из проводящих воду «трубок» и непроводящих тканей, выделенных черным цветом) (West et al., 1999)

определить фитомассу дерева (Mandelbrot, 1983; Barnsley, 1988; Peitgen, Saupe, 1988; Соколов, 1989; Strand, 1990; Zeide, 1991; Berezovskaya et al., 1993).

Фрактальная модель Г. Веста (West et al., 1999) представляет собой своеобразный симбиоз двух теорий – пайп-модели (см. раздел 1.3.3) и фракталов (см. рис. 1.12). Модель основана на некоторых общих условиях-допущениях (West et al., 1999; Enquist, Niklas, 2001):

- 1) система ветвления является «объемонасыщенной», т.е. все пространство роста полностью заполнено;
- 2) размер листы и петиолей инвариантен;
- 3) биомеханическое напряжение в ветвящейся структуре постоянно;
- 4) рассеяние энергии в ксилемном потоке минимально.

Согласно модели Г. Веста, надземная фитомасса дерева связана с диаметром ствола по уравнению (1.8) при среднем значении $b = 8/3$ (или $\approx 2,67$), независимом от структурных и морфологических характеристик исследуемых деревьев.

Д. Цианис и М. Менкуччини (Zianis, Mencuccini, 2004) задаются вопросом, обеспечивают ли поддержку этой теории имеющиеся многочисленные эмпирические данные по аллометрии $P \sim D$, и ставят в своем исследовании три основные цели:

а) проверить, действительно ли аллометрическая экспонента b уравнения (1.8) линейно связана с экспонентой в зависимости $H \sim D$ (где H – высота дерева), согласно гипотезе, предложенной К. Кеттерингсом (Ketterings et al., 2001);

б) проверить соответствие теоретического и эмпирического значений b . Теоретическое значение принимается согласно модели Г. Веста (West et al., 1999), а эмпирическое принимается как среднее из всех опубликованных в литературе значений b ;

в) предложить и проверить новый метод («редукционистская модель»), упрощающий получение аллометрической константы в зависимости $P \sim D$ и основанный на применении теории фрактальной геометрии к основополагающим взаимосвязям между переменными, описывающими размер и форму дерева.

Для анализа использованы два варианта данных. Вследствие повышенного интереса к надземной фитомассе деревьев, по этому вопросу накоплено множество литературы по всему миру. По ней авторами (Zianis, Mencuccini, 2004) составлена и проанализирована мировая сводка аллометрических уравнений связи надземной сухой фитомассы (включающей ствол, кору, ветви и листву) деревьев P с диаметром их стволов на высоте груди D .

В каждом варианте регистрировали следующие данные: порода и регион, в котором было получено уравнение, значения a и b , коэффициент детерминации R^2 , а также пределы варьирования D модельных деревьев, если они были приведены в источнике. Всего было собрано 279 уравнений, из них 63 – для Австралии, 28 – для тропиков, 20 – для Европы и 169 – для США. Данные по 33 листовным породам 15 родов извлечены из 122 различных первоисточников и по 21 хвойным породам 8 родов – из 67 источников. Породы, произрастающие в тропической зоне и Австралии, представлены в количестве 90 аллометрических уравнений.

Авторы (Zianis, Mencuccini, 2004) не претендуют на то, чтобы считать исчерпывающим представленный обзор уравнений надземной фитомассы на миро-

вом уровне, поскольку большое количество данных опубликовано в «серой» лесоводственной литературе и недоступных исследовательских организациях. Тем не менее, собранную информацию они рассматривают как несмещенную выборку $P \sim D$ соотношений для древесных пород, произрастающих во всем мире.

Д. Цианис и М. Менкуччини отмечают важный момент в исследованиях фитомассы, заключающийся в том, что исследователи редко проверяют полученные соотношения $P \sim D$ на эмпирических данных, не вошедших в регрессионный анализ. С. Чайенда и А. Козак (Chiyenda and Kozak, 1982) полагают, что если модели используются для прогностических целей, то они должны быть проверены на новых данных. Адекватность полученной зависимости (1.8) обычно проверяется по коэффициенту R^2 , и для всего массива трансформированных данных рассчитывается стандартная ошибка. Однако высокое значение R^2 и низкое значение стандартной ошибки оценки (обычные в аллометрических исследованиях) еще не гарантируют точной оценки при ее ретрансформации к линейному масштабу.

Тот факт, что величина b является постоянной на всем интервале D , предполагает, что между скоростями роста P и D поддерживается стабильное соотношение. Тогда можно ожидать, что a и b имеют отрицательную взаимосвязь, поскольку высокие значения как a , так и b , должны определять высокие значения фитомассы у деревьев больших диаметров по условию обеспечения прочности при механической (например, ветровой) нагрузке.

Отрицательная взаимосвязь между названными коэффициентами обнаружена в зоологических исследованиях давно, однако не было дано ее биологической интерпретации. Дж. Уайт и С. Гулд (White, Gould, 1965) считают, что взаимосвязь a и b является просто результатом выбора единиц измерения, самой алгебраической формы уравнения и ограниченного количества имеющихся уравнений. Тем не менее, этот математический артефакт послужил для Д. Цианиса и М. Менкуччини предпосылкой для упрощения аллометрического анализа фитомассы деревьев.

Поскольку a и b ограничены некоторым соотношением, то $P \sim D$ взаимосвязь неизбежно описывается ограниченным числом аллометрических уравнений. Таким образом, для данного значения a может быть получен лишь ограниченный диапазон значений b , и это предполагает, что имеется ограниченное число уравнений $P \sim D$, несмотря на многообразие факторов, воздействующих на каждое насаждение. Иными словами, информация об аллометрических параметрах опубликованных уравнений может быть использована при оценке коэффициентов a и b в неизученных еще древостоях.

Д. Цианис и М. Менкуччини излагают некоторые положения, исходящие из основ фрактальной геометрии (Mandelbrot, 1983) и из биомеханических принципов структуры дерева, и развивают «редукционистский» метод определения фитомассы P . Согласно простому анализу размерностей, объем дерева пропорционален так называемому «видовому цилиндру», т.е. $V \propto D^2 H$. Анализ размерностей предполагает далее, что площадь сечения ствола на высоте груди – это идеализированный геометрический объект (круг, эллипс) и ее площадь S связана с периметром PR соотношением $S \propto PR^2$. Диаметр (который является также линейной размерностью площади сечения) связан с S соотношением $S \propto D^2$. Однако это не совсем верно для реальных деревьев, пос-

колку площадь сечения ствола на данной высоте дерева имеет нестандартную форму и является лишь некоторым приближением к идеальному объекту.

Б. Мандельброт (Mandelbrot, 1983), полагая, что описание природных объектов лежит за пределами принципов евклидовой геометрии, предложил концепцию фрактальной геометрии для лучшего представления формы и конфигурации таких объектов. На основе фрактального геометрического анализа было предложено несколько приемов количественного описания размеров деревьев, и полезность фрактальной геометрии была продемонстрирована в экологических исследованиях неоднократно (Zeide and Gresham, 1991; Zeide and Pfeifer, 1991; Zeide, 1993, 1998; Osawa, 1995; Berezovskaya et al., 1997). Упрощенно размерность объема ствола можно аппроксимировать третьей степенью его линейной размерности.

С другой стороны, известно (Mandelbrot, 1983; Zeide, Gresham, 1991; Zeide, Pfeifer, 1991; Zeide, 1993, 1998; Osawa, 1995), что положительное число в пределах от 2 до 3 является лучшей оценкой размерности кроны дерева, и предполагается, что общая форма дерева (ствола и кроны) может иметь подобную фрактальную размерность. В математических терминах это:

$$V \propto D^d H^h, \quad (1.20)$$

где d и h – положительные числа в пределах $2 < d+h < 3$. Теоретически форма дерева и в частности его кроны может быть описана как гибрид поверхности и объема, поскольку она не является ни трехмерным телом, ни двумерной синтезирующей поверхностью (Zeide, 1998) – «извилистость» и ажурность являются основными характеристиками ее структуры.

Согласно биомеханическим принципам, зависимость H от D может быть проверена в терминах моделей напряжения и упругого подобия (McMahon, Kronauer, 1976). К. Никласом (Niklas, 1994) показано, что $H = D^{0,535}$ в широком диапазоне размеров растений. Если $H \propto D^{b^*}$ при $0 < b^* \leq 1$, тогда уравнение (1.20) можно записать как

$$V \propto D^d D^{hb^*} = D^{d+hb^*}. \quad (1.21)$$

Далее, если предполагается, что фитомасса дерева пропорциональна объему (с плотностью древесины в качестве коэффициента пропорциональности), то $P \propto D^d D^{hb^*}$ и с учетом уравнения (1.8)

$$b = d + hb^*. \quad (1.22)$$

Тем самым проверяется гипотеза К. Кеттерингса (Ketterings et al., 2001), что аллометрическая экспонента связи между P и D зависит от аллометрической экспоненты между H и D . В практическом отношении аллометрическая экспонента b^* в соотношении $H = aD^{b^*}$, может быть использована при оценке аллометрических параметров в уравнении (1.8) и при соответствующей оценке значения P для данного значения D .

Согласно модели Г. Веста (West et al., 1999), D связан с P соотношением $D \propto P^{3/8}$, а это означает, что экспонента b в уравнении (1.8) равна 2,67. Средняя величина из рассчитанных эмпирических уравнений (b_{emp}) сопоставлена с теоретической величиной (b_{theo}). Как теоретические, так и эмпирические значения b , использованы для проверки их способности прогнозировать величину P по заданному значению D согласно сводкам данных (табл. 1.4).

Таблица 1.4
Опубликованные данные 10 сводок, использованные в работе Д. Цраниса и М. Менкуччини (Zianis, Mencuccini, 2004)

№ сводки	Автор	Порода	Страна	a	b	b*	Диапазон D, см	R ²	R ^{2*}	n
1	Woods et al., 1991	Ель	США	0,106	2,357	0,849	2,9–23	0,984	0,907	31
2	Gower (личн. сообщ.)	Оси́на	США	0,036	2,785	0,594	5,8–23,7	0,991	0,918	8
3	Woods et al., 1991	Оси́на	США	0,106	2,415	0,685	0,9–35,4	0,994	0,978	32
4	Lim, 1979	Сосна	Англия	0,196	2,505	0,432	6,3–25,6	0,981	0,803	22
5	Santa Regina, Tarasona, 2001a	Сосна	Испания	0,237	2,029	0,647	2,5–36,5	0,991	0,899	7
6	Santa Regina, Tarasona, 2001b	Бук	Испания	0,132	2,432	0,560	4,0–34,5	0,998	0,886	7
7	Jokela et al., 1981	Береза	США	0,081	2,360	0,493	7,1–23,1	0,970	0,760	15
8	Menguzzato, Tabacchi, 1986	Дугласия	Италия	0,141	2,300	0,373	8,7–26,8	0,949	0,999	69
9	Cerny et al., 2000	Ель	Чехия	0,216	2,186	0,526	13,4–41,5	0,986	0,903	11
10	Ketterings et al., 2001	Грош. виды	Индонезия	0,064	2,587	0,609	7,6–48,1	0,952	0,685	29

Для этой процедуры необходима также оценка параметра a . Коэффициент a рассчитан согласно подходу Дж. Чейва (Chave et al., 2001) с использованием формулы $a = P/D^b$ с двумя значениями b для всех пар величин $P \sim D$, имеющих в сводках табл. 1.4. Для каждого набора данных рассчитаны два средних значения b_{theo} и b_{emp} (соответственно теоретическое и эмпирическое значения b) и последовательно подставлены в уравнение (1.8) с целью прогноза P по D .

Практическое применение подобного подхода ограничено, прежде всего, тем фактом, что модельные деревья, охватывающие весь диапазон варьирования D в исследуемых древостоях, обработаны «деструктивным» способом (т.е. были срублены) и эксперимент не может быть верифицирован на тех же объектах.

Далее Д. Цианис и М. Менкуччини (Zianis, Mencuccini, 2004) исследовали возможность прогноза фитомассы на основе «редукционистской» модели. Для выверки уравнения (1.22) проанализированы значения коэффициентов, полученные по 23 сводкам, приведенным в табл. 1.4 и 1.5.

Получено следующее соотношение (рис. 1.13):

$$b = 1,9262 + 0,6972 b^* ; R^2 = 0,420. \quad (1.23)$$

Статистически значимое отрицательное соотношение между a и b было получено по сводке данных, состоящей из 277 собранных уравнений (в которых P – в кг и D – в см) (рис. 1.14):

$$a = 7,0281 b^{-4,7558}; R^2 = 0,698. \quad (1.24)$$

Эмпирические параметры уравнения (1.23) были применены для каждого значения b^* , представленного в 10 сводках (см. табл. 1.4), и рассчитаны

Таблица 1.5

Опубликованные данные по соотношению *размер-форма*, использованные в работе Д. Цианиса и М. Менкуччини (Zianis, Mencuccini, 2004) для выверки взаимосвязи экспонент b и b^* из соотношений соответственно $P \sim D$ и $H \sim D$

№	Автор	Порода	b^*	b
1	Cantiani, 1974	<i>Abies alba</i>	0,381	2,272
2	Mäkelä, Vanninen, 1998	<i>Pinus sylvestris</i>	0,880	2,693
3	Vanninen et al., 1996	<i>P. sylvestris</i>	1,075	2,702
4	Parresol, 1999	<i>Quercus phellos</i>	0,260	2,170
5	Taras, 1980	<i>P. clausa</i>	0,502	2,379
6	Menguzzato, Tabacchi, 1988	<i>P. radiata</i>	0,773	2,294
7	Menguzzato, Tabacchi, 1988	<i>Eucalyptus ssp.</i>	0,644	2,264
8	Baldini et al., 1989	<i>P. pinaster</i>	0,346	2,039
9	Whittaker, Woodwell, 1968	<i>P. rigida</i>	0,570	2,337
10	Whittaker, Woodwell, 1968	<i>Q. coccinea</i>	0,678	2,190
11	Whittaker, Woodwell, 1968	<i>Q. alba</i>	0,563	2,167
12	Tahvanainen, 1996	<i>Salix ssp.</i>	0,819	2,540
13	Zianis, Mencuccini (неопубл.)	<i>Fagus moesiaca</i>	0,532	2,309

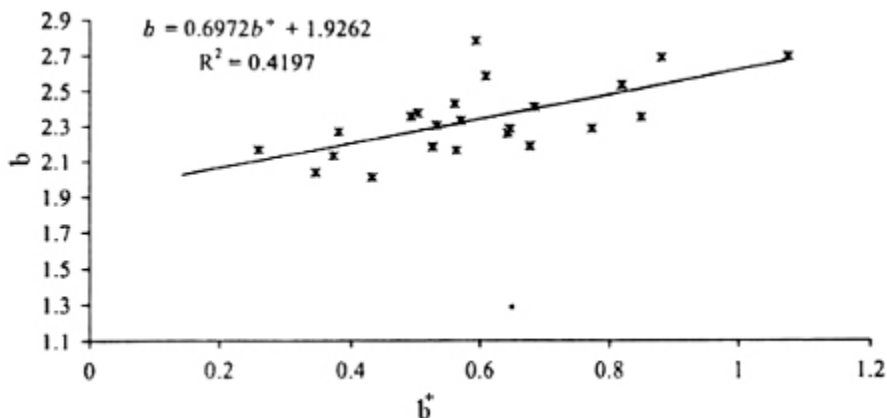


Рис. 1.13. Графическое изображение зависимости (1.23) на фоне экспериментальных точек по 23 сводкам литературных данных (Zianis, Mencuccini, 2004)

соответствующие значения аллометрической экспоненты b ; далее, полученные значения подставлены в уравнение (1.24) и получены коэффициенты a . Для каждой сводки рассчитаны итоговые результаты оценивания величины P и критерий относительной разности между фактическим и предсказанным значениями фитомассы RD (relative difference) согласно «редукционистской» модели.

Значения RD в 8 случаях из 10 были ниже 30%. Для сводок 5 и 7 (см. табл. 1.4) RD составил соответственно 48 и 41 %. Предварительный анализ не позволил идентифицировать какую-либо взаимосвязь между величиной RD и другими специфичными характеристиками каждой сводки (порода, число модельных деревьев, диапазон их диаметров). Однако проанализированные 10 сводок данных не дали существенной информации, позволяющей высказать какую-либо проверяемую гипотезу для объяснения наблюдаемой изменчивости величины RD , и дальнейший анализ был Д. Цианисом и М. Менкуччини прекращен.

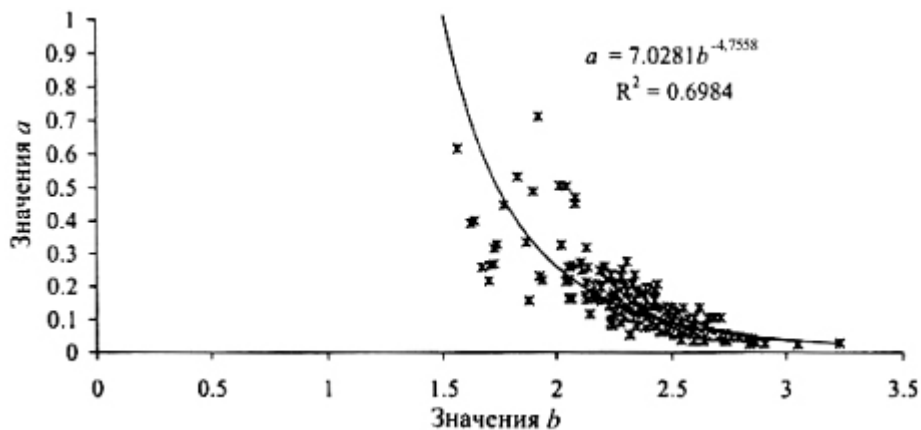


Рис. 1.14. Связь параметров a и b в 277 уравнениях (1.8), рассчитанных по фактическим данным разных авторов (Zianis, Mencuccini, 2004); в уравнениях (1.8) P – в кг; D – в см

Таблица 1.6

Статистики значений b , взятых из 279 аллометрических уравнений
(см. также рис. 1.15)

Среднее	2,368
Стандартная ошибка среднего	0,0163
Стандартное отклонение	0,27
Коэффициент вариации, %	11,4
Коэффициент асимметрии	-1,016

Тем не менее, они полагают, что применение изложенного подхода может обеспечить приемлемые оценки надземной фитомассы при условии, что будет в наличии большая информация о факторах, обуславливающих параметры в зависимостях $b \sim b^*$ и $a \sim b$. Сложение эмпирических параметров уравнения (1.23) дает в итоге величину ($1,9262 + 0,6972 = 2,6234$), что соответствует условию $2 < d+h < 3$. При наличии более обширной сводки данных возможна более глубокая интерпретация коэффициентов уравнения (1.22). Д. Цианис и М. Менкуччини делают вывод, что дальнейшие исследования, основанные на эмпирических данных, дадут возможность подтвердить полезность «редукционистского» подхода к оценке надземной фитомассы деревьев.

Далее Д. Цианис и М. Менкуччини анализируют возможность прогнозирования фитомассы, основанного на теоретических и эмпирических аллометрических коэффициентах. Среднее значение b , полученное по 279 уравнениям, значительно отличалось от теоретического (2,67) и составило 2,368 (табл. 1.6).

Около 69% значений b приходится на диапазон 2,18–2,54, и около 13% – на диапазон 2,68–2,80 (рис. 1.15). Однако средняя величина $b = 2,368$, рассчитанная по всем 279 уравнениям, была существенно ниже теоретического значения 2,67.

В каждом уравнении, привлеченном из литературы, было использовано несколько пар значений $P \sim D$ с целью получить среднюю теоретическую величину a (a_{theo}), когда $b_{theo} = 2,67$ (теоретическая модель) и среднюю эмпирическую величину a (a_{emp}), когда $b_{emp} = 2,36$ (эмпирическая модель). Полученные значения RD показали, что эмпирические модели дали лучшие прогнозы, чем теоретические, во всех сводках, за исключением одной (сводка 2 в табл. 1.4).

Подобную картину отклонений можно было ожидать, поскольку оценка b , полученная регрессионным методом (b_{reg}) составила 2,785, что ближе к b_{theo} , чем к b_{emp} . В 5-й сводке $b_{reg} < b_{emp} < b_{theo}$, и имел место подобный тренд RD по трем моделям: $RD_{reg} < RD_{emp} < RD_{theo}$ (RD_{emp} и RD_{theo} означают средние значения RD соответственно эмпирического и теоретического уравнений, а RD_{reg} получена по регрессионной модели). Зависимость RD_{emp} (и RD_{theo}) от отклонения между b_{reg} и b_{emp} (или b_{reg} и b_{theo}) привела авторов к выводу, что предсказанные величины P , как по теоретической, так и по эмпирической моделям, в значительной степени обусловлены соотношением *размер – форма* деревьев, фитомасса которых определяется. В результате анализа двух упрощенных методов определения надземной фитомассы

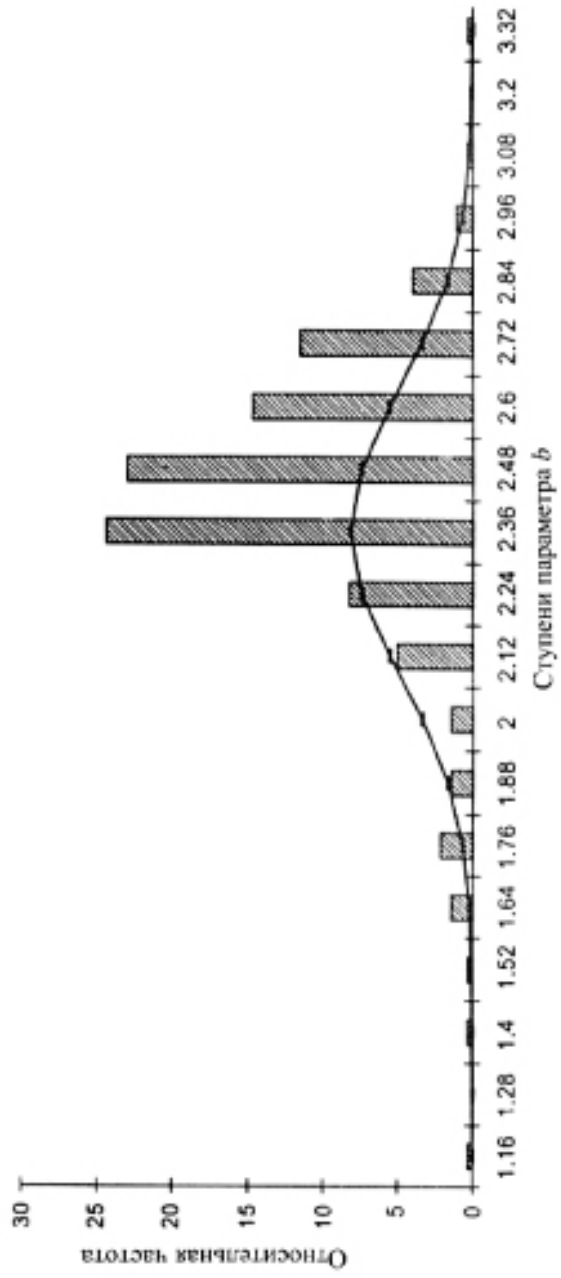


Рис. 1.15. Распределение частот по ступеням параметра b , полученного по 277 уравнениям (1.8), рассчитанным по фактическим данным разных авторов, на фоне кривой нормального распределения (Ziatis, Меллссипі, 2004)

деревьев Д. Цианис и М. Менкуччини (Zianis, Mencuccini, 2004) делают следующие выводы:

1. Получила развитие «редукционистская» модель, основанная на теоретических предпосылках фрактальной геометрии и на эмпирических оценках аллометрии $H \sim D$. Для демонстрации общего характера этой модели по материалам, полученным в литературе, выверены два линейных уравнения и применены к 10 сводкам данных. Полученные результаты показали, что коэффициенты соотношения *размер - форма* дерева дают лишь приблизительные оценки фитомассы древостоя. Тем не менее, подобный подход может обеспечить адекватный прогноз, если для выверки уравнения (1.22) будут в наличии дополнительные переменные. Основное предположение, принятое в этой модели, заключается в том, что фрактальная размерность различных древесных пород имеет величину между 2 и 3. Поскольку данные о фрактальной геометрии деревьев не регистрируются в банках данных лесоинвентаризации (и навряд ли это будет), уравнение (1.22) было выверено по сводкам, собранным для различных древесных пород и биомов при отсутствии информативных данных для конкретной породы, произрастающей в специфичном местообитании.

Наконец, еще одним фактором, обуславливающим большие отклонения между модельными и исходными значениями P (например, сводки 5 и 7 в табл. 1.4), является усредненное значение плотности древесины, в отношении которой предполагается, что она имеет низкую изменчивость в данном древостое; если же это предположение не соответствует действительности, тогда уравнение (1.22) должно быть модифицировано. К. Никлас (Niklas, 1994), применив биомеханические принципы, пришел к выводу, что аллометрия между D и P изменяется в процессе роста дерева и поэтому для деревьев разного размера (или возраста) необходимы различные уравнения. Основанием для подобного вывода может быть тот факт, что деревья одной породы в одних и тех же местообитаниях, но разного размера, могут обладать разными фрактальными размерностями. Следовательно, потенциал фрактальной геометрии полностью не изучен, и для вывода о возможности ее применения в оценках фитомассы необходимы дополнительные исследования.

2. Выполнено сравнение предсказанных и фактических показателей P , когда теоретическое ($b = 2,67$) и эмпирическое ($b = 2,368$) значения экспоненты вводятся в уравнение (1.8). Результаты, полученные по RD -критерию, показывают, что эмпирические модели обеспечивают лучшие предсказания фитомассы, чем теоретическая модель Г. Веста (West et al., 1999). Будущие исследования с использованием нескольких древесных пород в разных местообитаниях могут обеспечить лучшее понимание факторов, влияющих на величину отклонений между предсказанными и фактическими значениями фитомассы. Теоретическая модель Г. Веста (West et al., 1999) дает приемлемый уровень точности (за исключением сводки 5 в табл. 1.4), но ее применимость сомнительна, поскольку для ее выверки необходимо большое количество модельных деревьев. Основной недостаток принятия универсального значения b (либо 2,368, либо 2,67) состоит в том, что нет гибкости при переходе от одной сводки данных к другой в предположении, что отношение специфичных ско-

ростей роста P и D ($(1/P)dP/dt$ и $(1/D)dD/dt$) для различных древесных пород, произрастающих в совершенно разных природных условиях, должно оставаться постоянным, вопреки современному пониманию экофизиологических и экологических процессов. Поэтому принятие значения b как постоянной величины необходимо рассматривать в качестве «пробного камня», и это применимо лишь при ориентировочных оценках фитомассы дерева.

1.3.2.4. Зависимость ошибки аллометрической модели фитомассы дерева от уровня обобщения исходных данных (на примере сосны обыкновенной)

Фрактальная модель Г. Веста и эмпирические аллометрические модели фитомассы разного уровня обобщения исходных данных были апробированы (Усольцев и др., 2006) по фактическим данным фитомассы 1260 модельных деревьев сосны обыкновенной естественного и искусственного происхождения, полученным на территории бывшего СССР разными исследователями (табл. 1.7).

Благодаря сформированной базе данных о надземной фитомассе деревьев сосны в количестве 1260 определений (см. табл. 1.7) мы получили возможность сопоставить теоретическое значение аллометрического коэффициента b_{theo} со средним значением этого коэффициента b_{emp} , полученного из эмпирических уравнений (1.25), рассчитанных по исходным данным:

$$\ln P = a + b \ln D. \quad (1.25)$$

Аллометрические модели (1.8) и (1.25) отличаются лишь формой обозначения свободного члена, соответственно $\ln a$ и a .

Таблица 1.7

Сводная таблица объектов исследования по регионам и происхождению сосняков (Усольцев и др., 2006)

Авторы*	Регион	Подзона	Происхождение**	Число пробных площадей	Число модельных деревьев
1	Бор Аман-Карагай	Сухая степь	1	12	119
2	Бор Ара-Карагай	Сухая степь	1	14	140
3	Казахский мелкосопочник	Сухая степь	1	5	96
4	Бор Аман-Карагай	Сухая степь	0	21	206
5	Сухой Люг	Предлесостепь	0	5	38
6	Саргатское	Лесостепь	0	9	71
7	Красноярск-Канск	Лесостепь	1	8	254
8	Архангельская обл.	Северная тайга	1	19	163
9	Южная Карелия	Средняя тайга	1	7	113
10	Московская обл.	Смешанные леса	1	7	60
Итого				107	1260

*1–4 – (Усольцев, 1997); 5–6 – (Усольцев и др. 2006); 7 – (Семечкина, 1978); 8 – (Молчанов, 1971); 9 – (Казимиров и др., 1977); 10 – (Молчанов, 1974).

**1 – естественные сосняки; 0 – культуры сосны обыкновенной.

Как теоретические, так и эмпирические значения b , могут быть использованы для проверки их способности прогнозировать величину надземной фитомассы дерева P по заданному значению D на основе сводок данных (см. табл. 1.7).

Известно, что в течение первых двух классов роста конкурентные отношения между деревьями и их дифференциация в культурах выражены существенно слабее, чем в естественных древостоях. Поэтому было сделано предположение, что аллометрический коэффициент b уравнения (1.25) в культурах и естественных сосняках имеет разную величину – меньшую в культурах и большую – в естественных сосняках. Соответственно исходные данные подразделили на две совокупности деревьев, в одну из которых вошли все культуры, а в другую – естественные сосняки. По каждой пробной площади рассчитано уравнение (1.25), общее количество которых составило в культурах – 35 и в естественных сосняках – 72 (см. табл. 1.7). В итоге получены 107 пар констант a и b с соответствующими значениями коэффициента детерминации уравнений (1.25), приведенные в Прил. 1.

Сопоставление культур и естественных сосняков по величине коэффициента b выполнено с применением специальной, так называемой фиктивной переменной (Дрейпер, Смит, 1973). Ее простейшим вариантом (как в нашей ситуации) является бинарная переменная, когда одно из сопоставляемых множеств кодируется нулем, а другое – единицей, причем их последовательность не имеет значения. Получено уравнение

$$b = 2,357 + 0,0192 X, \quad (1.26)$$

где X – бинарная переменная, принятая как $X=0$ для культур и $X=1$ для естественных сосняков. Согласно (1.26) для культур $b=2,36$ и для естественных сосняков $b=2,38$, разность между которыми статистически не значима ($t_{\text{факт}} = 0,61 < t_{05} = 2,0$).

Поскольку константа при X оказалась статистически не значимой, и культуры не отличаются от естественных сосняков по величине параметра b , те и другие объединены в одну совокупность, и проанализировано распределение частот по ступеням параметра b . Установлено, что оно соответствует закону нормального распределения (рис. 1.16) со следующими характеристиками: математическое ожидание 2,34; стандартное отклонение 0,18; мера асимметрии $-0,183$; мера эксцесса $-0,013$; вероятность нуль-гипотезы $20,6\% > 10\%$.

Таким образом, среднее значение составляет $b=2,34$ и почти совпадает с величиной $b=2,37$, полученной Д. Цианисом и М. Менкуччини (Zianis, Mencuccini, 2004) по 279 уравнениям (1.8) для нескольких десятков древесных пород мира (см. табл. 1.6). Однако величина его, как и в обобщении Д. Цианиса и М. Менкуччини (Zianis, Mencuccini, 2004), существенно ниже теоретической фрактальной модели Г. Веста ($b=2,67$).

Чтобы теоретические и эмпирические значения b можно было использовать для проверки их способности оценивать величину P по заданному значению D согласно структуре модели (1.25), кроме значения b в (1.25) необходимо найти значение второго параметра, a . Величина a рассчитана нами

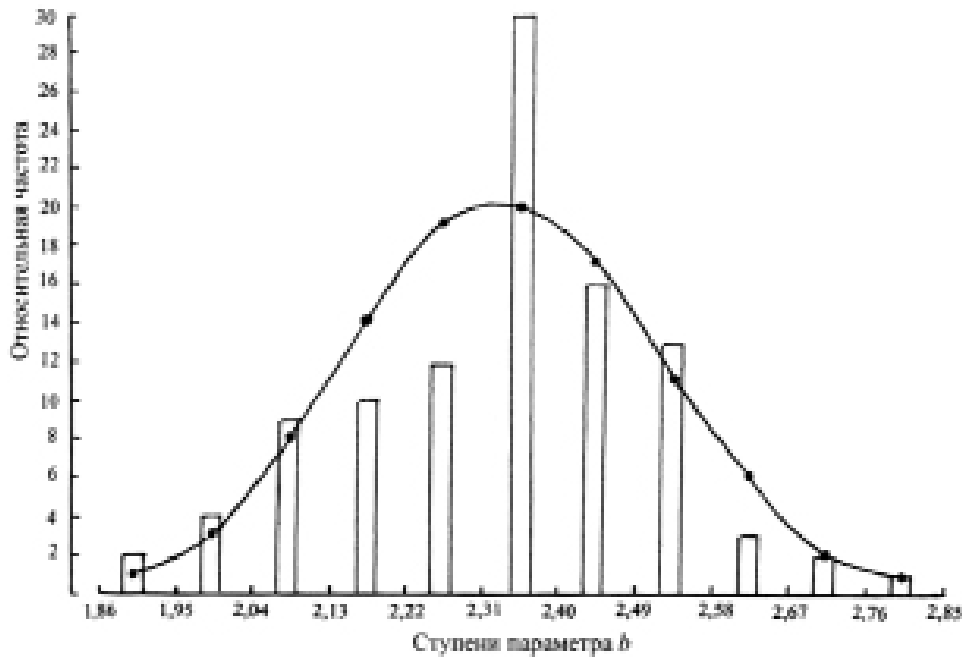


Рис. 1.16. Распределение частот по ступеням параметра b , полученного по 107 уравнениям (1.25), рассчитанным по 1260 эмпирическим данным фитомассы деревьев сосны, на фоне кривой нормального распределения

как функция b согласно подходу Дж. Чейва (Chave et al., 2001), и по значениям 107 пар констант a и b (Прил. 1) получено уравнение

$$a = -3,10 + 2,963 b - 1,116 b^2; \quad R^2 = 0,833. \quad (1.27)$$

Соответствующая линия регрессии на фоне соотношения экспериментальных значений a и b показана на рис. 1.17.

После подстановки теоретических и экспериментальных значений b (соответственно 2,67 и 2,34) и соответствующих значений a , рассчитанных по (1.27), в уравнение (1.25) получили прогностические модели:

а) теоретическую, основанную на фрактальной модели Г. Веста

$$\ln P = -3,145 + 2,67 \ln D; \quad (1.28)$$

б) эмпирическую (или среднестатистическую, полученную усреднением величины b по 107 уравнениям) (см. табл. 1.7 и Прил. 1)

$$\ln P = -2,278 + 2,34 \ln D. \quad (1.29)$$

Далее необходимо установить, какие смещения (т.е. систематические ошибки) дают модели регионального уровня (т.е. рассчитанные по тому или иному региональному массиву данных) по отношению к «всеобщей» (т.е. рассчитанной по всему массиву данных). Для этого выполнена кодировка 10 региональных массивов исходных данных (см. табл. 1.7) блоковыми фиктивными переменными (Дрейпер, Смит, 1973). В качестве нулевого блока при-

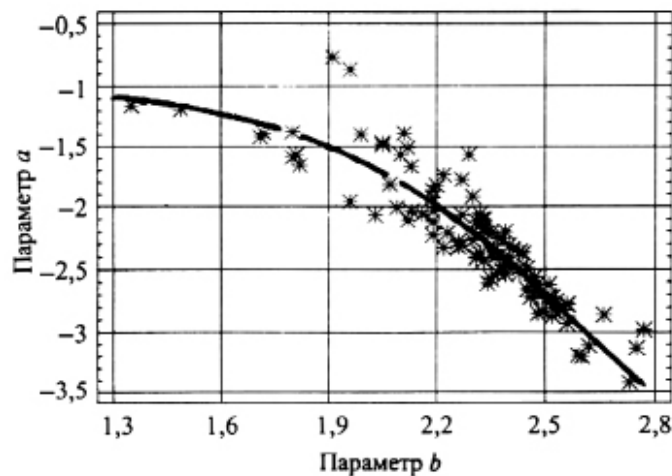


Рис. 1.17. Зависимость $a \sim b$, рассчитанная по уравнению (1.27)

нят обобщенный массив 1260 определений модельных деревьев, и по нему рассчитана «обобщенная» модель:

$$\ln P = -2,297 + 2,35 \ln D; R^2 = 0,985. \quad (1.30)$$

Оказалось, что несмотря на высокий коэффициент детерминации «всеобщей» модели надземной фитомассы (0,985), региональные смещения оценок надземной фитомассы деревьев колеблются в диапазоне от -11% (Казахский мелкосопочник) до $+13\%$ (Московская область), т.е. в действительности (1.30) не является всеобщей, поскольку дает существенные смещения при ее использовании в разных регионах.

В этой связи возникает вопрос о степени приемлемости моделей разного уровня обобщения для адекватной оценки фитомассы на 1 га насаждения. Для расчета ошибок определения надземной фитомассы на 1 га с помощью моделей фитомассы деревьев (1.25) было выделено несколько уровней обобщения, с 1-го по 7-й (Усольцев и др., 2006). Сводка экспериментальных данных подразделена по четырем базовым регионам с соответствующими массивами исходных данных, из которых три представлены культурами Аман-Карагайского бора, Сухоложского и Саргатского лесхозов, и один – естественными сосняками Аман-Карагайского бора (табл. 1.8).

Каждый базовый массив последовательно дополнен данными других регионов, например естественные сосняки Аман-Карагайского бора с 119 модельными деревьями (1-й уровень обобщения) дополнены естественными сосняками Ара-Карагайского бора и Казахского мелкосопочника и сформирован 2-й уровень обобщения (355 определений фитомассы), на 3-м уровне обобщения (609 определений) к предыдущему добавлена Красноярская лесостепь, 4-й уровень (945 определений) представлен всеми естественными сосняками и, наконец, 5-й уровень – это все 1260 определений фитомассы в естественных сосняках и культурах. Шестой уровень представлен эмпирической (среднестатистической) моделью (1.29), и 7-й – теоретической моделью Г. Веста (1.28).

Таблица 1.8

Схема объединения эмпирических данных в блоки по уровням обобщения*

№ уровня обобщения	Базовый регион			
	Культуры Аман-Карагайского бора	Культуры Сухоложского лесхоза	Культуры Саргатского лесхоза	Естественная сосна Аман-Карагайского бора
1	Аман-Карагайский бор (206)	Сухой Лог (38)	Саргатское (71)	Аман-Карагайский бор (119)
2	–	Сухой Лог и Саргатское (109)	Сухой Лог и Саргатское (109)	Северный Казахстан (355)
3	–	–	–	Северный Казахстан и Красноярская лесостепь (609)
4	Все культуры (315)	Все культуры (315)	Все культуры (315)	Все естественные (945)
5	Общий массив данных (1260)	Общий массив данных (1260)	Общий массив данных (1260)	Общий массив данных (1260)
6	Эмпирическая модель (1.29)	Эмпирическая модель (1.29)	Эмпирическая модель (1.29)	Эмпирическая модель (1.29)
7	Теоретическая модель (1.28)	Теоретическая модель (1.28)	Теоретическая модель (1.28)	Теоретическая модель (1.28)

* В уровнях обобщения с 1-го по 5-й в скобках – количество экспериментальных данных, по которым рассчитана модель (1.25).

Фитомасса на 1 га рассчитана в древостоях каждой из 107 пробных площадей по каждому из четырех базовых регионов с нарастающим уровнем обобщения. Например, для четвертого базового региона, представленного естественными сосняками Аман-Карагайского бора, последовательно рассчитаны модели (1.25) по массивам из 119, 355, 609, 945 и 1260 определений фитомассы деревьев. Используя ряды распределения деревьев по диаметру для каждой пробной площади получены пять определений фитомассы на 1 га. Шестое определение выполнено по эмпирической модели (1.29) и седьмое – по модели Г. Веста (1.28). Аналогичные расчеты проведены по остальным трем базовым регионам для культур сосны.

Каждое из полученных расчетных определений сопоставлялось с фактическим запасом фитомассы на 1 га, полученным по тем же рядам распределения, но не на основе моделей (1.25) разного уровня обобщения или моделей (1.29) и (1.28), а по фактическим определениям фитомассы на каждой пробной площади отдельно. Результаты расчета стандартной ошибки определения фитомассы на 1 га по моделям шести нарастающих уровней обобщения по отношению к фактическим значениям фитомассы показали (рис. 1.18) тенденцию ее увеличения по мере повышения уровня обобщения аллометрической модели (1.25) с 1-го по 5-й с коэффициентом корреляции 0,59. Если на 1-м уровне обобщения средняя ошибка составила 14% в диапазоне от 11 до 16%, но на 5–6-м уровнях – 20% в диапазоне от 17 до 26%.

Средняя ошибка оценки фитомассы на 1 га по «среднестатистической» аллометрической модели (1.29) составила 19% в диапазоне от 17 до 24% и по модели Г. Веста (1.28) – 17% в диапазоне от 13 до 21%.

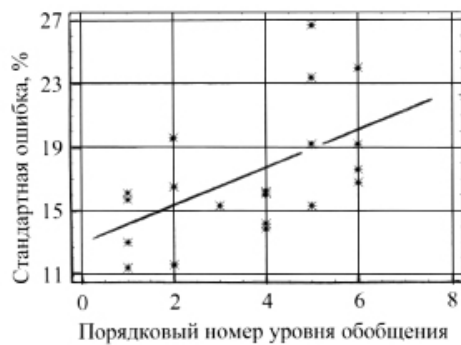


Рис. 1.18. Стандартная ошибка определения надземной фитомассы на 1 га по моделям (1.25) по отношению к значениям фитомассы, полученным по модельным деревьям каждой пробной площади, в зависимости от уровня обобщения моделей

Средняя стандартная ошибка определения надземной фитомассы на 1 га по модели Г. Веста оказалась значимо ($t = 7,8 > t_{05} = 2,0$) выше на 2,5% по сравнению с локальными моделями (1-й уровень обобщения), что вполне объяснимо. В то же время, ошибка оценки фитомассы на 1 га по теоретической модели Г. Веста ниже (в среднем на 5%) по сравнению с оценкой, полученной по «всеобщей» модели, рассчитанной по всему массиву 1260 определений. Хотя различие в ошибках статистически не значимо ($t = 0,23 < t_{05} = 2,0$), тем не менее, логически оно необъяснимо, поскольку модель Г. Веста не имеет никакого отношения к нашим экспериментальным данным (если не считать оценки коэффициента a в модели (1.28) по эмпирическому уравнению (1.27), рассчитанному по материалам наших 107 проб-ных площадей). Этот парадокс пока не имеет приемлемого объяснения.

Ошибка оценки фитомассы может быть снижена путем включения в аллометрическую модель, кроме диаметра ствола, дополнительных массообразующих переменных. Схема анализа, представленная в табл. 1.8, продублирована на основе двухфакторной модели надземной фитомассы, в которую включены диаметр ствола и возраст дерева (Усольцев и др., 2006). Если при использовании однофакторной модели (1.30) стандартная ошибка возрастала от 14% на первом уровне обобщения до 19–20% – на 5–6 уровнях, то при использовании двухфакторной модели ошибка, во-первых, снизилась до 12% и во-вторых, ее величина стала независимой от уровня обобщения.

Х. Вирт с соавторами (Wirth et al., 2004) исследовали модель надземной фитомассы, включающей три независимых переменных – диаметр ствола, высоту и возраст дерева, и сопоставляли ее с многофакторными моделями, включающими характеристики конкурентных отношений, класс бонитета и высоту над уровнем моря. Исходная сводка данных фитомассы деревьев ели европейской в количестве 688 определений была сформирована из независимых выборок, взятых из 19 литературных источников. Выверка и отбор моделей выполнялись с применением метода мета-анализа, но не по максимуму коэффициента детерминации, а по минимуму критерия Акайке (Akaike Information Criterion – AIC), применимого лишь при расчете уравнений по методу максимального правдоподобия. Авторами сделан вывод, что даже многофакторные модели подеревной фитомассы, рассчитанные по большим и достаточно репрезентативным исходным сводкам данных, не могут претендовать на всеобщее применение, из-за расхождений, обусловленных принадлежностью данных к разным природным зонам и влиянием неучтенных факторов.

М.В. Козлов и Е.Л. Воробейчик (2012), обосновывая необходимость выявления закономерностей на основе обобщения частных результатов,

делают акцент на применении мета-анализа, позволяющего количественно объединить результаты нескольких независимых исследований. При этом разнородные данные из отобранных по определенным критериям публикаций (на основе специального протокола) переводятся в сопоставимые величины эффектов с последующим анализом полученных оценок и выводом общих закономерностей. Это позволяет выявить наименее изученные аспекты проблемы и определить стратегию дальнейших исследований. Авторы полагают, что со временем в основу всех обобщающих работ будет заложен мета-аналитический подход.

1.3.3. Физиологически обусловленные дендрометрические методы оценки биопродуктивности деревьев в условиях атмосферного загрязнения

Более 500 лет назад Леонардо да Винчи (The notebooks of Leonardo da Vinci, 1970), анализируя систему ветвления деревьев, отметил, что суммарное сечение ветвей и ствола одной градации толщины на любом уровне кроны равно сечению ствола у ее основания (рис. 1.19). Аналогичная закономерность была им отмечена в ветвлении речной системы в пределах территории водосбора. Это служит основой для предположения, что архитектура дерева во многом определяется потребностями влагообеспечения кроны.

После работ П. Жаккарда (Jaccard, 1913, 1915) Б. Хубером (Huber, 1925, 1927, 1928) были выведены закономерности в изменении соотношения водопроводящей площади сечения ствола и ветвей с соответствующей массой хвои по вертикальному профилю дерева (рис. 1.20).

Затем идеи П. Жаккарда и Б. Хубера были развиты японским исследователем И. Ямаокой (Yamaoka, 1952, 1958). По результатам последовательных измерений секционной площади сечения ствола и расположенной выше сечения поверхности листвы (измеренной планиметром) в направлении от основания к вершине кроны (рис. 1.21) он установил следующее постоянство соотношений:

$$(a_1 + a_2 + \dots) / S_1 = (a_2 + a_3 + \dots) / S_2 = (a_3 + a_4 + \dots) / S_3 = \dots = k. \quad (1.31)$$

И. Ямаока установил, что величина k является видоспецифичной, т.е. угол наклона регрессионной зависимости между значениями секционной площади сечения ствола ($S_1, S_2, S_3 \dots$) и расположенной выше сечения поверхностью листвы $[(a_1 + a_2 + \dots), (a_2 + a_3 + \dots), (a_3 + a_4 + \dots) \dots]$ для различных видов растений разных (рис. 1.22).

Наконец, группой японских исследователей (Shinozaki et al., 1964) была сформулирована

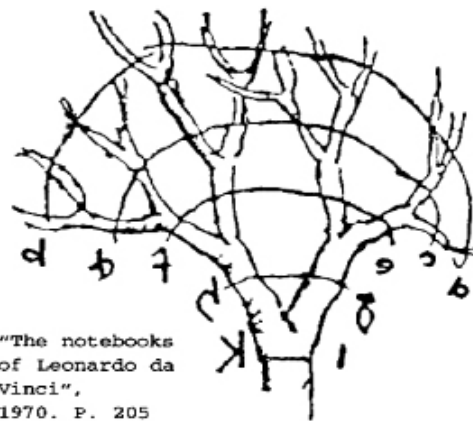


Рис. 1.19. Иллюстрация Леонардо да Винчи к его тезису о постоянстве поперечного сечения ствола и ветвей по вертикальному профилю дерева (The notebooks..., 1970)

"The notebooks of Leonardo da Vinci", 1970. P. 205

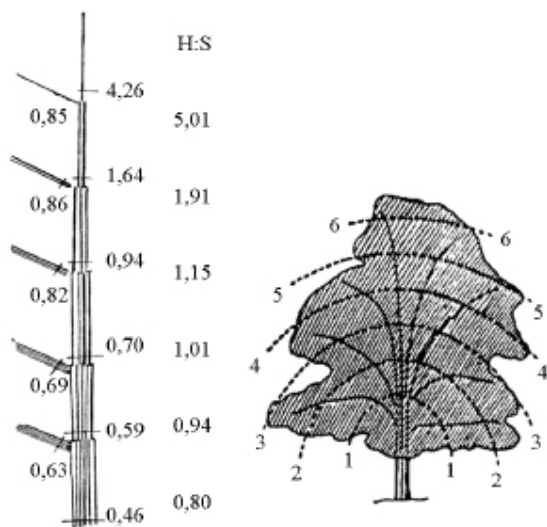


Рис. 1.20. Слева: схема сокопроводящей системы 6-летнего дерева пихты (*Abies concolor*); количество параллельных линий представляет возраст сегментов ствола и ветвей по вертикальному профилю дерева; числа от 0,46 до 4,26 и от 0,63 до 0,85 характеризуют «относительную проводящую площадь» соответственно ствола и ветвей, выраженную как площадь сечения в мм², приходящуюся на 1 г массы хвои, расположенной выше сечения; индекс H:S характеризует соотношение проводящей способности ствола и ветвей по вертикальному профилю дерева: 0,59:0,63 = 0,94;... 4,26:0,85 = 5,01 (Huber, 1927).

Справа: Схема Леонардо да Винчи, модифицированная Б. Хубером в терминах сокопроводимости: цифрами обозначены уровни равной сокопроводимости (Huber, 1927)

теория «модели трубок» (пайп-модель) для интерпретации формы высших растений, в которой растение рассматривается как совокупность элементарных трубок (сосудов ксилемы), каждая из которых завершается элементарной массой листьев и выполняет проводящие и поддерживающие функции (рис. 1.23).

В качестве одного из возможных приложений пайп-модели в количественной экологии растений К. Шинозаки с соавторами (Shinozaki et al., 1964) вслед за И. Ямаокой (Yamaoka, 1952, 1958) предложили инвариантный метод оценки фитомассы листьев и ветвей по диаметру у основания кроны и показали, что связь логарифма массы кроны с логарифмом квадрата диаметра у ее ос-

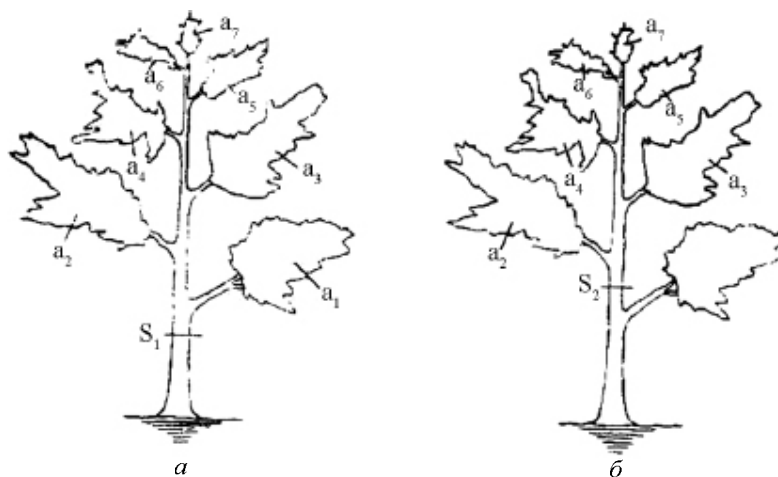


Рис. 1.21. Иллюстрация двух последовательных (а и б) обмеров сечения ствола и расположенной выше сечения поверхности листьев в направлении от основания к вершине кроны (Yamaoka, 1952)

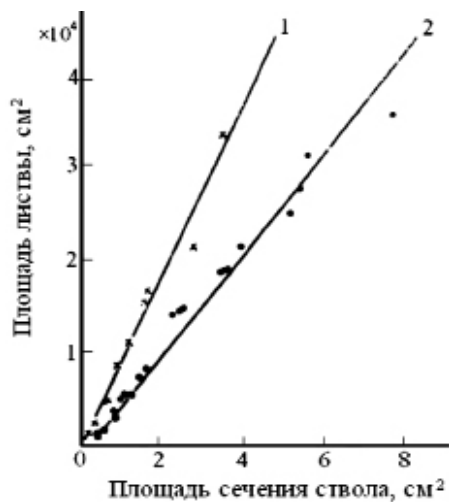


Рис. 1.22. Соотношение между секционной площадью сечения ствола и расположенной выше сечения поверхностью листьев:
1 – *Mallotus japonicus* Muel. Arg.; 2 – *Podocarpus macrophyllus* D. Don. (Yamaoka, 1952)

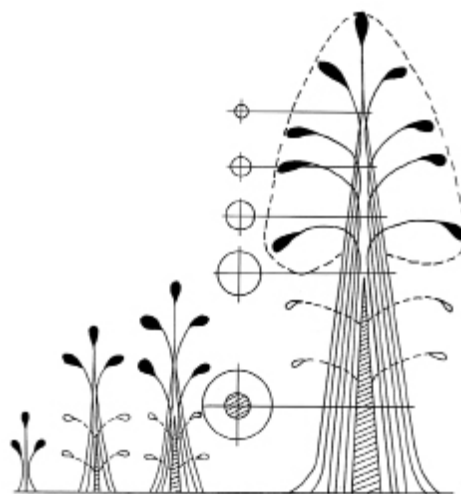


Рис. 1.23. Схематическое изображение пайп-модели дерева. Ядро ствола заштриховано (Усольцев, 1997).

нования (представленного только водопрводящей заболонью, см. рис. 1.23) является инвариантной относительно возраста и условий местопрорастания, а также в пределах разных подвидов одной древесной породы (рис. 1.24, б).

Взаимосвязь массы хвои с характеристиками заболони, обеспечивающей хвою влагой, подтверждена многими исследователями (Вомперский, Иванов, 1984; Кайбияйнен и др., 1986; Keane, Weetman, 1987; Иванов, Ду-

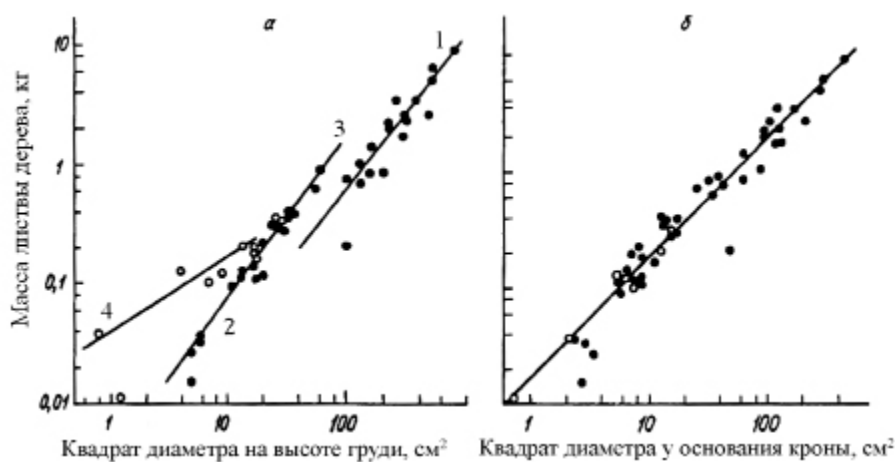


Рис. 1.24. Аллометрические зависимости массы листвы дерева в абсолютно сухом состоянии от диаметра ствола на высоте груди (а) и от диаметра у основания кроны (б) в березовых древостоях о. Хоккайдо:

1 – *Betula platyphylla japonica* (45-летний древостой в Асиоро); 2 – *B. Maximowiczii* (43-летний древостой в Нипесоту); 3 – *B. Ermani* (18-летний древостой в Симизу); 4 – *B. Maximowiczii* (7-летний древостой в Нипесоту) (Shinozaki et al., 1964)

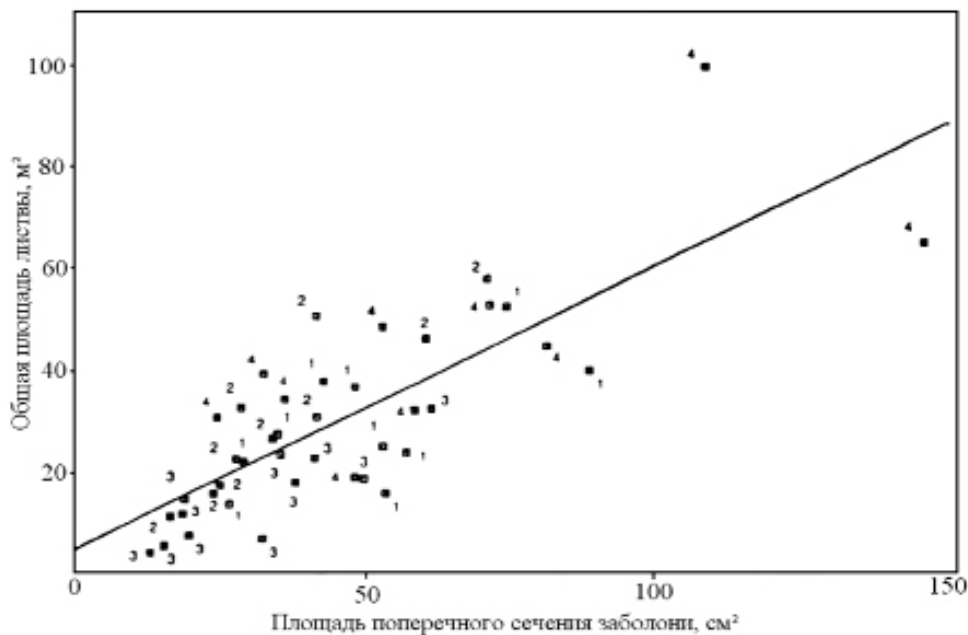


Рис. 1.25. Регрессионная зависимость площади поверхности листвы от площади заболони у основания ствола для четырех подвидов эвкалипта:
1 – *Eucalyptus tereticornis*; 2 – *E. camaldulensis*; 3 – *E. cladocalyx*; 4 – *E. globulus* (Paine et al., 1990)

бинин, 1992). В нескольких работах (Усольцев и др., 1994; Усольцев, 1997) было показано, что диаметр ствола у основания кроны, представленного в основном заболонью, дает более точную оценку массы хвои или листвы (приближение второго уровня, на основе пайп-модели), чем диаметр ствола на высоте груди (приближение первого уровня). Тем не менее, зависимость между массой (поверхностью) листвы и площадью сечения заболони не всегда инвариантна относительно подвидов одной и той же древесной породы при достаточно высокой корреляции. Например, для обобщенной по четырем подвидам эвкалипта зависимости названных показателей от площади заболони (рис. 1.25) коэффициент детерминации составил лишь 0,62 (Paine et al., 1990).

Подобные существенные различия могут иметь место также между различными древесными породами, например, между елью и сосной (рис. 1.26, а). Поскольку в подобных случаях разбросы и расхождения объясняют различиями в водопроводимости сосудов ксилемы, то путем введения поправок на водопроводимость получают более тесную инвариантную зависимость (рис. 1.26, б). Отклонения от пайп-модели объясняют изменением проводящей способности заболони и другие авторы (West, Wells, 1990), показывая, что они зависят, в частности, от возраста, диаметра ствола и расстояния от основания ствола до кроны.

В общем случае величина массы (поверхности) листвы отождествляется с интенсивностью транспирации, а последняя – с интенсивностью сокращения (рис. 1.27).

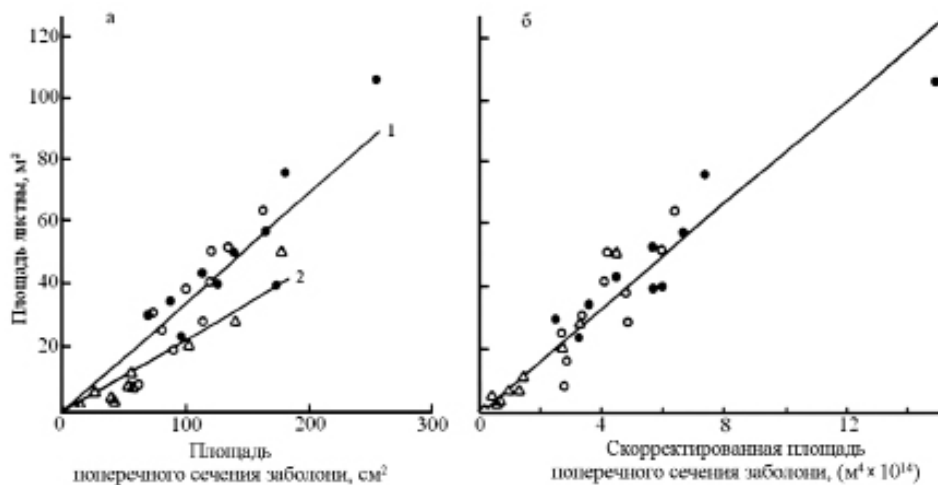


Рис. 1.26. Регрессионные зависимости между поверхностью листы и площадью сечения заболони, не скорректированной (а) и скорректированной на водопроницаемость (б):
1 – *Picea sitchensis*; 2 – *Pinus contorta* (Whitehead et al., 1984)

С конца прошлого века известна взаимосвязь массы хвои с количеством депонируемых ассимилятов в виде объемного прироста (Hartig, 1896). В дальнейшем эта закономерность была проверена, подтверждена и развита многочисленными исследованиями (Burger, 1929; Busse, 1930; Коссович, 1940; Георгиевский, 1948; Полякова, 1954; Satoo, 1970; Albrektson, 1980; White, 1993). Тем не менее, японскими исследователями было показано, что названная взаимосвязь не является однозначной: она имеет различный характер как для ствола и ветвей (рис. 1.28, I), так и для стволов деревьев одной древесной породы разных местообитаний (рис. 1.28, II).

Д. Уайт (White, 1993) выполнил детальное исследование зависимости количества листьев у дуба от различных показателей структуры годичных колец (рис. 1.29) и показал, что степень унификации названной зависимости определяется в значительной степени тем, прирост какого года принимается в качестве независимой переменной уравнения (рис. 1.30).

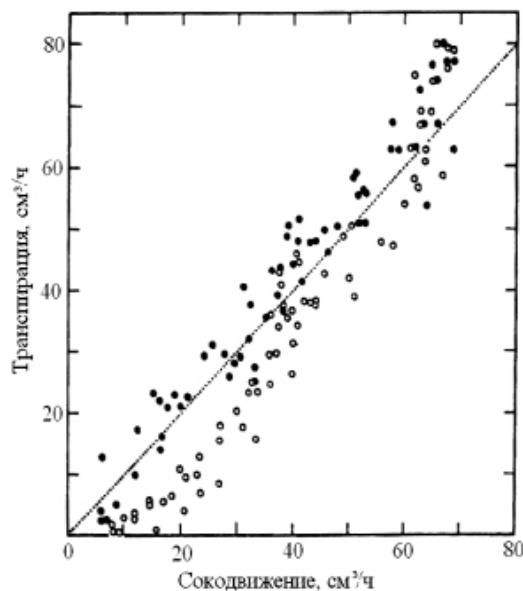


Рис. 1.27. Соотношение между транспирацией листы и сокодвижением в заболони у деревьев *Chamaecyparis obtusa* (Morikawa, 1974)

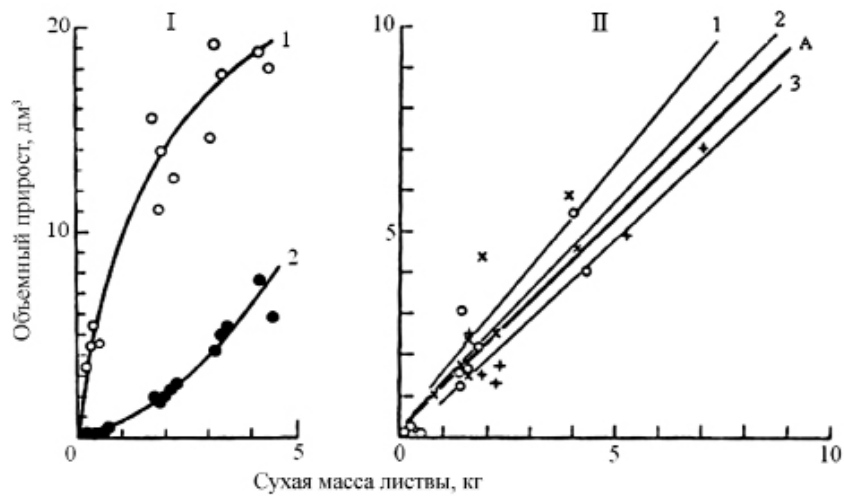


Рис. 1.28. Зависимость объемного прироста ствола (1) и ветвей (2) в древостоях *Populus davidiana* (Satoo et al., 1956) (I) и объемного прироста ствола деревьев *Chamaecyparis obtusa* разных местообитаний (Satoo, Senda, 1958) (II) от массы листвы в абсолютно сухом состоянии; 1, 2 и 3 насаждения с густотой соответственно 5941, 6747 и 6234 экз/га; А – обобщенная зависимость.

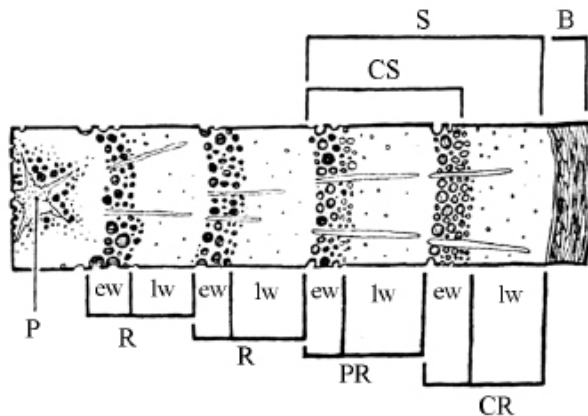


Рис. 1.29. Структура годичных колец дуба:
R – годичное кольцо; ew – ранняя древесина; lw – поздняя древесина; CR – годичное кольцо текущего года; PR – годичное кольцо предыдущего года; S – проводящая заболонь; CS – текущая заболонь; B – кора (White, 1993)

Показано (White, 1993), что зависимость количества листьев от текущего прироста площади сечения заболони становится унифицированной для различных местообитаний, если в качестве независимой переменной принята либо площадь годичного кольца предыдущего года, либо текущий прирост площади сечения заболони (см. рис. 1.30 б, в).

В последние годы в рамках международного проекта «Сапору» исследуются вопросы транспорта углеводов в дереве в связи с фотосинтезом и дыханием, а также его влияние на рост и продуктивность экосистем в целом;

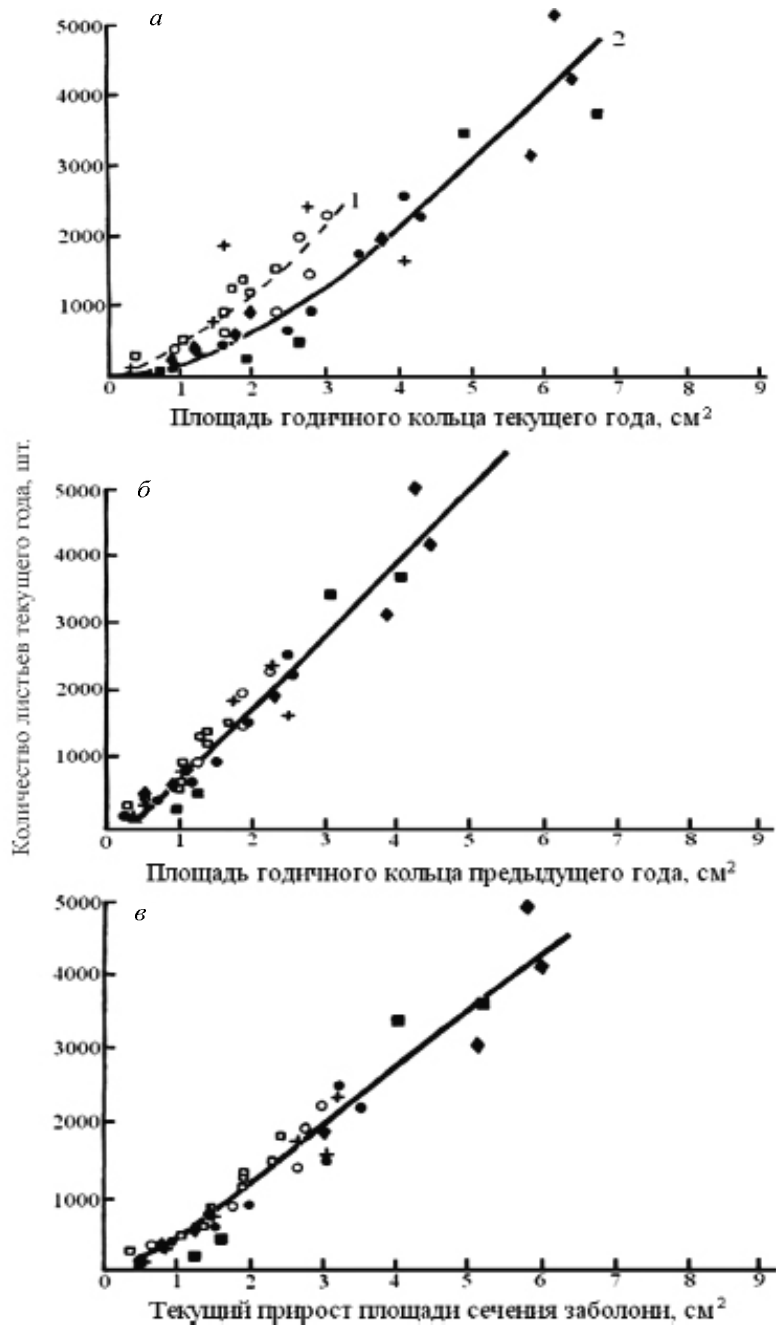


Рис. 1.30. Количество листьев текущего года у дуба в зависимости от площади годичного кольца текущего года (*a*), площади годичного кольца предыдущего года (*б*) и текущего прироста площади сечения заболони (*в*) (White, 1993);
1 – местообитание Данлаг; 2 – местообитание Сильван

процессы накопления углеводов в растении изучаются в связи с процессами движения веществ во флоэме, в том числе на основе новых изотопных технологий (О'Грейди и др., 2011).

Различные сочетания взаимосвязи массы ассимиляционного аппарата и количества отложенных ассимилятов в дереве с пайп-моделью используются при оценке жизнеспособности деревьев, подверженных различным стрессам, в форме различных критериев. В частности, применяют отношение объемного прироста к поверхности (массе) хвои в качестве как самостоятельного критерия (Сидаравичюс, 1985; Waring, 1987), так и сопряженного с отношением прироста площади сечения и площади заболони ствола (Waring et al., 1980), а также отношение объема заболони к поверхности хвои (Kaufmann, Watkins, 1990).

Р. Хорнтвед (Horntvedt, 1993) в спелых ельниках в качестве характеристики жизнеспособности дерева использовал показатель продуктивности хвои как отношение сухой массы хвои к площади сечения ствола или ветви и показал, что названный показатель снижается по мере увеличения «прозрачности» кроны, обусловленной аэрозагрязнениями (рис. 1.31).

Названные зависимости учитываются пока на уровне отдельных деревьев. Массовые измерения названных показателей отсутствуют, нет статистически подтвержденных внутри- и межрегиональных закономерностей их изменения и, следовательно, проблема экстраполяции локальных результатов на ту или иную территорию остается открытой.

Поскольку площадь сечения заболони, активно участвующей в водоснабжении хвои, ограничивается несколькими внешними годичными слоями, а основная часть заболони выполняет функцию лишь резервуара воды (Иванов, Дубинин, 1992), В.А. Усольцевым (1998а) было высказано предположение, что площадь сечения (или диаметр) ствола под кроной характеризует лишь потенциальную влагообеспеченность хвои. Фактическое же

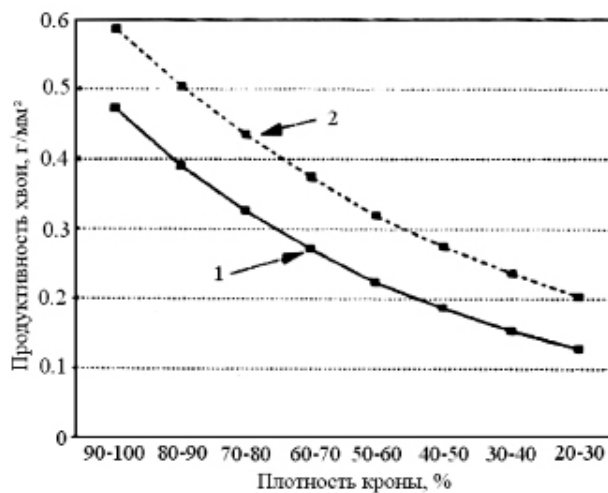


Рис. 1.31. Зависимость продуктивности хвои ели от плотности кроны (в процентах от максимальной) для ствола (1) и ветвей из верхней части кроны (2); площадь сечения ствола измерена на высоте груди, площадь сечения ветвей замерена у их основания (Horntvedt, 1993)

влагопотребление определяется соотношением зон транзита и депонирования воды в заболони. Иными словами, чем выше доля зоны транзита воды в общей площади заболони, тем выше при прочих равных условиях масса хвои и соответствующая масса продуцируемых ею ассимилятов, основная часть которых депонируется в виде прироста объема ствола (или площади сечения).

Таким образом, дополняя выше упомянутую пайп-модель включением в нее прироста площади сечения ствола в качестве второго регрессора, вводим своеобразную коррекцию пайп-модели на эффективность «работы» заболони и получаем модифицированную пайп-модель. В таком случае изменение прироста ствола при неизменных значениях площади заболони и массы хвои характеризует изменение эффективности «работы» хвои, в том числе вследствие загрязнений.

Эта гипотеза была проверена В.А. Усольцевым (1998а) при сопоставлении продуктивности «работы» хвои в двух регионах: Тургайском прогибе и Среднем Урале, первый из которых характеризуется полным отсутствием загрязнений, а второй существенно загрязнен и находится на границе зон плохого и удовлетворительного состояний лесов (Фомин, 1998).

Сопоставление двух регионов соответственно по двум уравнениям модифицированной пайп-модели показало, что их различие статистически значимо ($t = 3,8 > 2,0$): при фиксированных значениях диаметра под кроной и прироста ствола масса хвои в сосняках Урала на 17–18% выше, чем в Тургае, а ее продуктивность, выраженная отношением прироста площади сечения к сухой массе хвои, – соответственно ниже (табл. 1.9).

Известно, что в жестких условиях произрастания продуктивность хвои ниже, чем в оптимальных, и для отложения единицы прироста в стволе бо́льшая ассимилирующая масса должна требоваться не на Урале, а в Тургае, где леса испытывают дефицит влаги (осадки там не превышают 250–

Таблица 1.9

Масса, кг (числитель), и продуктивность хвои, см²/г (знаменатель), в сосняках Тургайского прогиба и Среднего Урала (Усольцев, 1998а)

Диаметр ствола у основания кроны, см	Радиальный прирост ствола (мм), средний за последние 5 лет					
	0,2	1,8	3,4	0,2	1,8	3,4
	Тургайский прогиб			Средний Урал		
Ступень толщины ствола 24 см						
8	1,4/343	4,1/1051	–	1,7/282	4,8/900	–
16	3,0/160	10,8/400	15,6/523	3,5/137	12,7/340	18,3/446
Ступень толщины ствола 40 см						
12	2,8/286	10,2/706	14,7/925	3,3/242	12,0/600	17,3/786
20	4,5/178	21,3/338	33,3/408	5,3/151	25,1/287	39,3/346
Ступень толщины ствола 56 см						
12	3,3/339	12,8/788	–	3,8/295	15,1/668	–
20	–	26,8/376	–	–	31,6/319	–

270 мм в год). В.А. Усольцев (1998а) получил противоположный результат, обусловленный наличием загрязнений на Урале.

Поскольку определение массы хвои довольно трудоемко, то модифицированная пайп-модель навряд ли непосредственно может быть использована для оперативной оценки степени повреждения лесов поллютантами: нужны более легко определяемые количественные показатели. Такими показателями могут быть площадь сечения водопроводящей заболони и прирост площади сечения ствола. Изменение соотношения названных двух показателей на серии пробных площадей в градиенте загрязнений может стать количественной характеристикой степени поражения насаждений.

1.4. Техногенное загрязнение окружающей среды и лесные экосистемы

1.4.1. Некоторые экологические аспекты техногенного загрязнения среды

В составе атмосферных выбросов в окружающую среду поступают многочисленные химические вещества, в том числе тяжелые металлы, оказывающие токсическое воздействие на живые организмы. Считают, что наибольший вклад в загрязнение атмосферы вносит сжигание ископаемого топлива (McLaughlin, 1985). В нашей стране отраслями, более всего загрязняющими среду, являются черная и цветная металлургия, а также предприятия энергетики (Кулагин, 1974, 1980; Васильева и др., 2000; Проблемы экологии ..., 2005; Меншиков, Ившин, 2006). На долю металлургии приходится около 40% выбросов вредных веществ, в том числе по твердым веществам около 26% и по газообразным – около 34% (Черненко, 2002; Лянгузова, 2005; Проблемы экологии ..., 2005).

Доля тяжелых металлов в твердой фазе выбросов промышленных предприятий достигает 80–90% от общей массы (Кулагин, Шагиева, 2005). В сибирском регионе наибольшие годовые выпадения тяжелых металлов (30–41 кг/км²) наблюдаются вблизи Норильска, в Иркутской области и на юге Дальнего Востока, но они не превышают критических нагрузок. Однако вблизи источников загрязнений уровень этих нагрузок предельный (Nilsson et al., 1998). В Уральском экономическом районе Российской Федерации суммарное выпадение поллютантов на 1 км² достигает 12,2 т (Страхов, 1993).

Негативное влияние человека на окружающую среду неуклонно растет, и под воздействием аэропромвыбросов оказались огромные территории, на которых происходит нарушение биогеохимического круговорота веществ и энергии, деградация биосферы (Алексеев и др., 1986; Антанайтис, 1986; Мартынюк, Данилов, 1989; Писаренко, 1989; Рунова, Нежевец, 1992; Алексеев, Тарасов, 1992; Лазарева и др., 1992). К началу 80-х гг. в атмосферу выбрасывалось огромное количество вредных газов, особенно в Европе и Северной Америке – более 100 млн. т в год только двуокиси серы (Израэль, 1984). При этом в результате трансграничного переноса значительное количество токсикантов переносится на территорию других стран, иногда не имеющих своих собственных крупных источников загрязнения (Павлов, 2006).

Вблизи предприятий создается зона постоянного и сравнительно высокого содержания в воздухе различных поллютантов, и формируется

очаг поражения (Кулагин, 1974; Будун, 1980; Кулагин, 1980; Маковская и др., 1984; Махнев и др., 1990; Харук и др., 1996; Акимова, Хаскин, 2001; Цветков, Цветков, 2003; и др.; Павлов, 2006). Очагом поражения лесов аэротехногенными выбросами называют участок лесной растительности вокруг промышленных предприятий, на котором визуальное состояние лесных насаждений отличается от здоровых, имеющих аналогичный возраст и произрастающих в идентичных условиях за пределами техногенного воздействия. Возникающие техногенные аномалии вокруг промышленных предприятий представляют собой систему концентрических зон, объединяющих лесные массивы с близкой степенью загрязнения и повреждения и в градиенте которых концентрация загрязняющих веществ убывает от центра к периферии. Дальность и характер распространения загрязняющих веществ определяется рядом факторов, в числе которых направление и скорость ветра, количество и состояние загрязняющих веществ, высота труб на предприятии, рельеф и облесенность местности (Bache, 1979; Рожков, Козак, 1989; Махнев, Любашевский, 1991).

Действие аэротехногенных выбросов на лесные насаждения зависит от многих причин: состава выбросов и концентрации их в атмосфере, длительности воздействия, относительной восприимчивости растительных сообществ или отдельных растений к выбросам, стадии физиологического развития, в которой находится растение или его часть в момент воздействия выбросов (Bortitz, 1974), а также от различных климатических и географических факторов: температуры воздуха, направления и скорости ветра, атмосферных осадков, влажности воздуха и почвы, рельефа местности (Левчук, 1991). Наиболее существенными факторами являются концентрация выбросов и длительность их воздействия (Венчиков, 1962; Альберт, 1971; Фоменко, Стрекалова, 1973; Николаевский, 1979; Пастернак, Ворон, 1990).

Вещества, загрязняющие воздух, могут находиться в жидком, газообразном или твердом состоянии. В зависимости от размера, формы и свойств они распространяются в атмосфере в виде дыма, тумана, пыли и т.п. Частицы мелкой пыли диаметром от 5 до 0,1 мкм и менее, как и газообразные вещества, отличаются способностью долго находиться во взвешенном состоянии и переноситься потоками воздуха на далекие расстояния. Такие токсичные вещества, как, например, серная кислота, переносятся по воздуху в виде мелких капелек, которые постепенно оседают на поверхность.

В настоящее время известно более 150 веществ, которые выбрасываются в атмосферу в больших количествах и расцениваются как вещества, загрязняющие воздух (Влияние загрязнений воздуха..., 1981; Bradshaw, McNeilly, 1981; Stern et al., 1984; Schulze et al., 1989; Woodin, 1989; Иванов и др., 2011). Леса в наибольшей степени испытывают на себе воздействие двуокиси серы. Концентрация SO_2 свыше 0,4 мг/м³ даже при кратковременном воздействии может вызвать серьезные нарушения в органах ассимиляции древесных пород (Влияние загрязнений воздуха..., 1981; Ulrich, 1983; Николаевский, 1983, 1989; Феклистов и др., 2005). Вблизи Красноуральского медеплавильного комбината на Урале по мере приближения к источнику загрязнений с 30 до 7 км содержание серы в однолетней хвое сосны увеличивается на 36% (Меншиков и др., 1997).

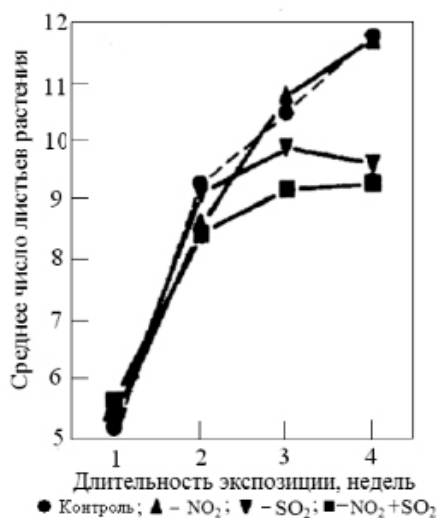


Рис. 1.32. Влияние доз NO₂ (50 нл/л) и SO₂ (50 нл/л) отдельно и в смеси на число листьев у саженцев березы повислой (Freer-Smith, 1985)

Эксперименты по влиянию доз NO₂ и SO₂ в количестве 50 нл/л на рост саженцев березы повислой показали, что к концу 4-й недели экспозиции в эксперименте с воздействием NO₂ и на контроле одно растение в среднем имело 12, а при воздействии SO₂ и смеси NO₂+SO₂ – лишь 9 листьев (рис. 1.32). Среди других загрязнителей природного и антропогенного происхождения можно назвать фтор, хлор, нитрозные газы, озон, пыль и другие поллютанты. Они оказывают на лесную растительность меньшее влияние в силу их ограниченного распространения.

В атмосфере индустриально развитых регионов содержится множество твердых частиц (пыли), постоянно осаждающихся на поверхность растений и почвы. Часть их сдувается или смывается с поверхности листьев (хвои), а часть проникает в лист через устьица или поврежденные клетки эпидермиса (Antonovics et al., 1971; Gartside, McNeilly, 1974; Diaz et al., 1991). Скопление такой пыли в верхних горизонтах почвы часто приводит к нарушению деятельности корневых систем растений, снижению роста и продуктивности их, а в отдельных случаях даже к гибели растений (Meyer, 1985; Siegfried, 1986; Muhlbaier, 1987).

Пути миграции загрязнителей окружающей среды в биосфере разнообразны, но всегда проходят через уровень продуцентов. Поллютанты, поступающие в биосферу от локальных источников в виде разнообразных химических соединений, сравнительно быстро трансформируются в формы, наиболее устойчивые в тех средах, где происходит их аккумуляция. Процесс воздействия аэротехногенного загрязнения на древесные растения включает следующие фазы: осаждение аэротехногенных выбросов на поверхности растений (хвои, ветвей, стволов деревьев), накопление их на поверхности почвы и в лесной подстилке и миграция в более глубокие горизонты, физиологическое поглощение поллютантов и накопление их в органах растений (Григорьев, Юргенсон, 1982).

В настоящее время человечеству известны технологии, позволяющие полностью произвести очистку промышленных выбросов, но они требуют крупных материальных затрат (Петров, 1989). В этой связи элементы экосистем (растительность, почва, водная поверхность и др.) выполняют важную роль в очищении атмосферы от вредных примесей – продуктов деятельности промышленных предприятий, транспорта, энергетики и др. (Гудериан, 1979; Влияние загрязнений ..., 1981; Кулагин, Сергейчик, 1982; Кулагин, Шагиева, 2005). По оценкам экспертов, растительность поглощает из воздуха 48% вредных газов (Николаевский, 1987). Несмотря на ограниченность площади лесов (средняя лесистость суши составляет 30%), на их долю приходится от

60 до 82% кругооборота вещества и энергии (Кругооборот веществ..., 1971; Туренков и др., 1984). Следовательно, леса выполняют важнейшую стабилизирующую роль в регулировании гомеостаза биосферы (Юсупов, 1996).

В последнее время появились сообщения об ошибочности представлений о высокой и упругой устойчивости лесов к длительному поглощению низких доз аэропромвыбросов (Алексеев и др., 1986; Антанайтис, 1986; Мартынюк, Данилов, 1989; Писаренко, 1989; Рунова, Нежевец, 1992; Алексеев, Тарасов, 1992; Лазарева и др., 1992). Выяснилось, что на фоне все возрастающего накопления промышленных выбросов в почве и новых эмиссий в атмосферу наблюдается синергизм – усиление эффекта в результате совместного действия повреждающих факторов (Гудериан, 1979; Влияние загрязнений воздуха ..., 1981; Сидорович и др., 1985; Рожков, Козак, 1989). Отмечаются такие явления, как понижение продукционных процессов, устойчивости лесных сообществ, подверженных промышленным выбросам, потери ими выполняемых ландшафтнозащитных функций и др. (Смит, 1985; Селиховкин, Поповичев, 1985; Павлов, 2006; Зарубина, 2011).

Уровень загрязнения атмосферы определяется, как правило, совместным действием как природных, так и антропогенных источников, что существенно осложняет не только интерпретацию результатов измерений концентраций загрязняющих веществ с целью выявления источника загрязнения, но и разработку методов и средств контроля качества воздуха (Stem et al., 1984; Ровинский, Егоров, 1986; Unsworth, 1991).

Оценка и прогнозирование ответной реакции биоты на воздействие загрязнения является важнейшей, но методически еще недостаточно обеспеченной задачей экологического мониторинга. Поэтому представленные результаты изобилуют множеством подходов и методологий (Антипов, 1975; Гальперин, Фимушин, 1975; Фимушин, 1976; Коженков, 1983; Аннука, Раук, 1984; Мартынюк, 1985; Ватковский, 1986; Армолайтис, Вайчис, 1986; Шяпетене, Вянцкус, 1986; Скуодене, 1988; Менщиков, 1991; Калинин и др., 1991; Shavnin et al., 1997; Фомин, 1998; Шелуха, 2003; 2011; Феклистов и др., 2005; Демаков и др., 2012а).

При оценке состояния пораженных лесов, как уже упоминалось, сравниваются один или несколько показателей, в той или иной мере отражающих состояние объектов. Наиболее распространены методики оценки степени поражения насаждений по различного рода неформализованным балльным шкалам. При этом балл состояния древостоя выводится по единичным показателям или их совокупности, а также по внешним симптомам поражения деревьев (Коженков, 1983; Аннука, Раук, 1984; Мартынюк, 1985; Ковалев, 1990; Innes, Boswell, 1990; Менщиков, 1991; Brassel et al., 1992; Торлопова, Робакидзе, 2003; Феклистов и др., 2005; Bussotti et al., 2005–2006).

Наибольшее распространение, наряду с применением лихеноиндикации загрязнений (Инсаров и др., 1986; Михайлова, Воробейчик, 1995; Шелуха, 2003), получил визуальный метод оценки степени поражения лесов от аэрозагрязнений. Он использован при разработке европейского проекта «Санасильва» (Brassel et al., 1992) и применяется до сих пор (Bussotti et al., 2005–2006). Основывается он на визуальной, обычно 10-балльной оценке изменения цвета, охвоенности и плотности полога (Innes, Boswell, 1990).

Однако такие оценки ненадежны, во-первых, в силу значительной генетической и естественной эколого-ценотической изменчивости морфологии крон (Hornthvedt, 1993) и, во-вторых, вследствие методических расхождений и субъективности глазомерной оценки поражения лесов в разных странах (Innes, 1992). Имеются лишь единичные исследования взаимосвязи между визуальными и количественными критериями (Hornthvedt, Christiansen, 1979; Hornthvedt, 1993).

Наряду с перечисленными методами оценки поражения лесов, в основе которых лежат неформализованные балльные шкалы, развивается другой подход, предусматривающий полную или частичную формализацию при нахождении обобщенного индекса состояния с использованием комплекса показателей (Alberti, Parker, 1991; Воробейчик и др., 1994). Из подобных формализованных методов получили развитие многомерный векторный (Мажейка, Рупшис, 1986; Рупшис, 1986) и нормирования техногенных загрязнений (Степанов, 1988; Воробейчик и др., 1994). Однако ни относительно простой метод нормирования, ни достаточно сложный многомерный векторный не позволяют учитывать значимость и нелинейность параметров в динамике откликов систем. В то же время положительной стороной нормирования является возможность сравнения анатомо-морфологических, физиологических и других признаков за счет перевода их показателей в безразмерные значения (Калинин и др., 1991; Shavnin et al., 1997; Фомин, 1998) и на этой основе – зонирования территорий (рис. 1.33).



Рис. 1.33. Схема зонирования прилегающей к Среднеуральскому металлургическому заводу (СУМЗ) территории по степени поражения основных насаждений аэрозольными загрязнениями, полученная по совокупности морфометрических и физиологических характеристик. I, II, III и IV – зоны соответственно очень плохого, плохого, удовлетворительного и хорошего состояния насаждений (Фомин, 1998)

Выполнено множество достаточно глубоких исследований с использованием в качестве основных объектов репродуктивных и ассимиляционных органов, наиболее чувствительных к атмосферному загрязнению (Кулагин, 1974; Карпенко, 1981; Десслер, 1981; Freer-Smith, 1985; Алексеев, 1989; Лянгузова, 1990; Ковалев, 1990; Бабушкина и др., 1990; Ужегова и др., 1990; Габукова и др., 1991; Завьялова, 1992; Барахтенова, 1995; Фуксман и др., 1996; Шавнин и др., 1996; Аникеев, 1996; Тарбаева, 1997; Лопатин, 1998; Судачкова, 1998; Морозов, 1999; Власенко, 1999; Терехова и др., 2000; Меншиков, Власенко, 2000; Торлопова, Робакидзе, 2003; Осколков, Воронин, 2003; Залесов, Бачурина, 2008; Ярмишко, 2009; Валетова, 2009; Низаметдинов, 2009; Зарубина, 2011; Демаков и др., 2012б).

1.4.2. Дендрометрические методы оценки влияния загрязнений на древостой

В методическое обеспечение подобных исследований А.М. Мауринь и К.К. Раман (1986) включают три важнейших аспекта: разработку адекватного и малотрудоемкого метода, выбор модельных объектов и создание информационной системы сбора, хранения, обработки и распространения данных. Известно, что одно и то же воздействие на экосистему оказывает разное влияние на различные ее компоненты, и их реакция в разные интервалы времени проявляется с разной интенсивностью и направленностью. Поэтому для выявления показателей состояния и прогнозирования изменений экосистемы существенную роль играет правильный выбор наиболее характерного ее компонента, интегрально отражающего тренды всей системы.

В лесных сообществах таким компонентом является древостой как основной продуцент фитомассы и определитель их функциональной структуры. Ведущая роль этого компонента определяется его четкой реакцией на воздействие внешних факторов, способностью дерева регистрировать в своей структуре информацию об этих воздействиях и ответной реакции на них, определяемых в виде однозначных количественных оценок.

В этой связи наряду с вышеупомянутыми подходами, основанными на физиологических признаках и соответствующих методиках (Армолайтис, Вайчис, 1986; Скуодене, 1988; Бабушкина и др., 1992; Калинин и др., 1991; Shavnin et al., 1997; Фомин, 1998; Павлов, 2006), выполняются также количественные оценки степени поражения древостоев по таксационным, или дендрометрическим показателям (Антипов, 1975; Гальперин, Фимушин, 1975; Фимушин, 1979, 1986; Мешковский, 1984; Шяпетене, Вянцкус, 1986; Ватковский, 1986; Махнев и др., 1990; Цветков, 1990а,б; Завьялов, 2009).

Древостой характеризуется многочисленными параметрами, поэтому важной задачей является выбор наиболее подходящего показателя, адекватно отражающего реакцию деревьев. Таким показателем является текущий прирост древесины. При обработке семян ели европейской 0,05; 0,1 и 0,2 ppm SO₂ в течение 10 недель установлено (Keller, 1980), что с увеличением концентрации SO₂ уменьшается ширина годичного кольца и снижается плотность поздней древесины, хотя видимых повреждений семян не имели.

В годичных кольцах древесины содержится многолетняя ретроспективная информация о динамике развития древостоя, что является необходи-

мой основной прогноза его дальнейшего развития (Lux, 1965; Лиела, 1980; Neumann, Schieler, 1981; Neumann, Pollanschütz, 1982; Розенберг, Феклистов, 1982; Athari, Kramer, 1983; Мауринь, Раман, 1986; Кучеров, Мулдашев, 2003). Изучение радиального прироста важно не только при оценке продуктивности лесных экосистем с различной степенью загрязнений, но и при создании фактической основы для выявления эффектов внутривидовой дифференциации особей, в том числе по степени устойчивости к воздействию антропогенных факторов (Гортинский, 1973; Буяк, Карпов, 1983; Горшков и др., 2006; Катютин, Горшков, 2009).

В настоящее время существует достаточно обширная литература, посвященная этим проблемам. Однако до сих пор остаются нерешенными вопросы выработки единого подхода к сбору и обработке дендрохронологической информации (Ловелиус, 1979; Шиятов, 1986; Nöjd, Kauppi, 1995; Ярмишко, 1997; Forest..., 2000; Рунова и др., 2005; Ярмишко, Ярмишко, 2004; Ярмишко и др., 2009). Кроме того, становится все сложнее вычлнить долю естественных изменений радиального прироста деревьев от тех, которые обусловлены интенсивной деятельностью человека (Мешковский, 1984; Ловелиус, Ярмишко, 1990; Ярмишко, 1997; Ярмишко и др., 2009).

Известно, что прирост по высоте снижается быстрее, чем по диаметру, а прирост по диаметру в верхней части ствола уменьшается более значительно, чем в нижней (рис. 1.34). Аналогичные изменения с возрастом проявляются и в естественной динамике древостоев (рис. 1.35).

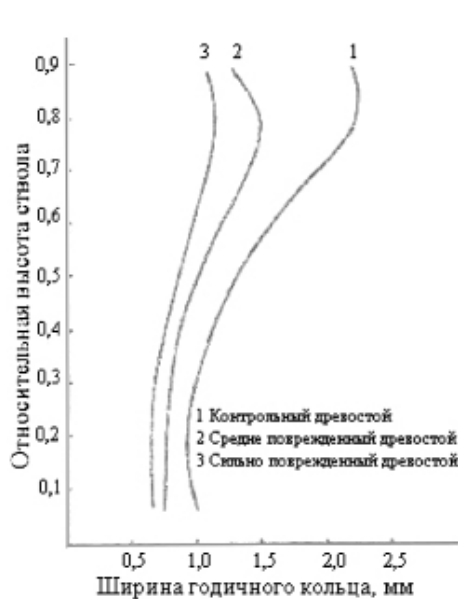


Рис. 1.34. Изменение ширины годичного кольца древесины по длине ствола при различной степени повреждения сосновых древостоев (Юкнис, 1987)

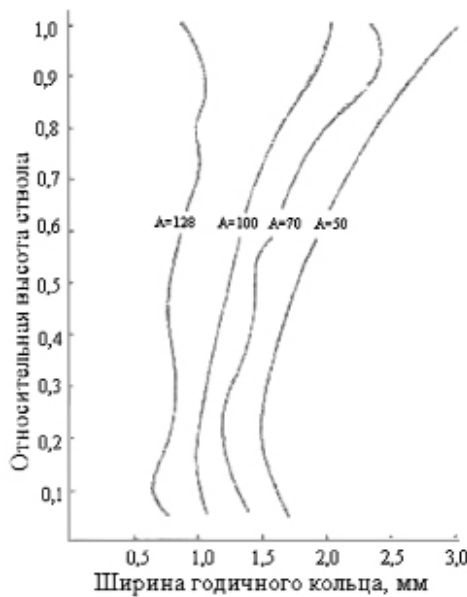


Рис. 1.35. Изменение ширины годичного кольца древесины по длине ствола сосны в различном возрасте (показан цифрами) (Дворецкий, 1964)

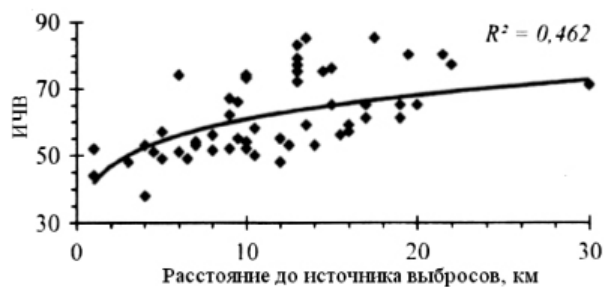


Рис. 1.36. Изменение индекса чистоты воздуха (ИЧВ) по мере удаления от Котласского пром-узла (Тарханов, 2011)

В условиях загрязнения скорость этих изменений повышается с увеличением интенсивности воздействия. Зависимость радиального прироста деревьев от их диаметра в сосняках с увеличением уровня загрязнения меняется так же, как и с увеличением возраста. С увеличением степени повреждения древостоев все внутренние взаимосвязи в значительной степени нарушаются, и их теснота снижается (Юкнис, 1987).

Установлено (Тарханов, 2011), что изменение прироста в градиенте загрязнений происходит аналогично изменению индекса чистоты воздуха (рис. 1.36).

По мере приближения к источнику загрязнения радиальный прирост стволов снижается, как это имело место в градиенте загрязнений от Йонавского завода «Азотас» в Литве (рис. 1.37). В окрестностях Карабашского медеплавильного комбината в диапазоне расстояний от 18 до 1 км радиальный прирост сосны снижается в 2 раза, при этом наблюдается нарушение характера связи прироста с климатическими факторами (Кучеров, Мулдашев, 2003).

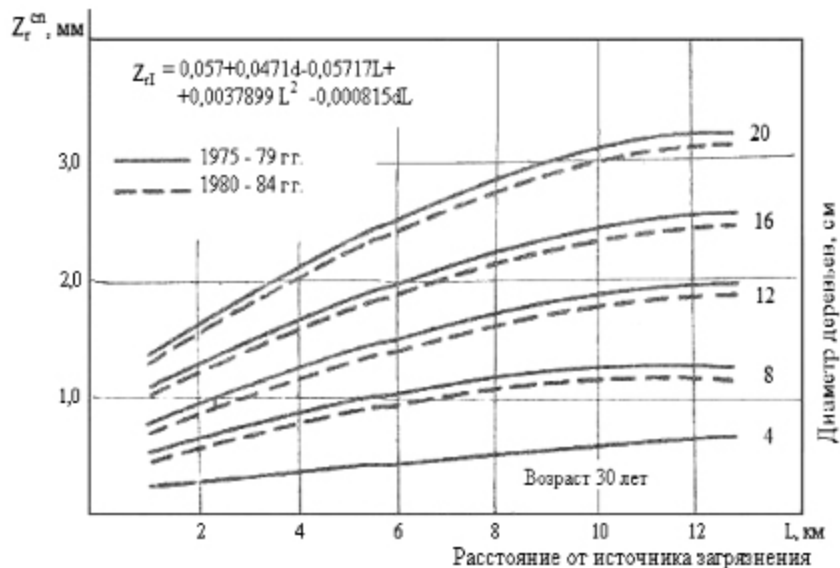


Рис. 1.37. Зависимость среднего периодического радиального прироста сосняков от диаметра дерева и расстояния до источника загрязнения (Барткявичюс, 1987)

Радиальный прирост пихты сибирской под факелом Братского алюминиевого завода примерно на 40% ниже по сравнению с контролем (Павлов, 2006).

Однако эта закономерность иногда нарушается. Так, в сосняках V–VI классов возраста, произрастающих на различном удалении от комбината «Акрон» в Новгородской области, в период с 1940-х до середины 1970-х гг. радиальный прирост в импактной зоне был в 1,5–2,0 раза ниже, чем на контроле. В следующий временной отрезок с 1976 по 1984 гг. ежегодный радиальный прирост в импактной зоне превышал контроль более чем на 40%, а затем ситуация опять сменилась на противоположную (рис. 1.38). В древостоях сосны III класса возраста достоверных различий в величине радиального прироста в зависимости от удаления от источника эмиссий за последние 20 лет не выявлено (рис. 1.39).

Сделан вывод, что изменения прироста сосны связаны, в первую очередь, с флуктуациями погодных условий (температуры воздуха, осадков и др.) в районе исследований и в меньшей степени зависят от загрязнений среды. Однако как спелые сосняки, так и спелые осинники, испытывают негативное воздействие токсикантов и в целом реагируют на него снижением радиального прироста (Ярмишко и др., 2009).

Подобные результаты получены не только на локальном уровне, но и на всем евразийском пространстве: для бореальных лесов Евразии на территории от Скандинавии до Восточной Сибири выявлено снижение индекса ширины годичного кольца по мере повышения уровня выпадения соединений серы (рис. 1.40).

В условиях загрязнения природной среды возникает вопрос о возмещении ущерба, нанесенного экосистемам, и необходим метод объективной оценки экономических потерь. Считается, что величина ущерба, определяемого снижением урожая или продукции растительного сообщества, прямо пропорциональна количеству погибшей листвы (Агесс, 1982).

Исследования роста кроны деревьев показали, что в условиях загрязнения наиболее значительно снижется прирост терминального побега и верхних ветвей, что приводит к изменению архитектоники кроны. Она становится плосковершинной, а при более сильном повреждении – суховершинной и по своей форме напоминает кроны старовозрастных деревьев (Юкнис, 1987; Ярмишко, 2009). Соответственно снижается охвоенность крон.

Для 65-летних сосняков, произрастающих в градиенте загрязнений от завода азотных удобрений в Йонаве Й. Сидаравичюс (1987) по результатам 120 модельных деревьев приводит данные (табл. 1.10), свидетельствующие о существенном снижении массы хвои у равновеликих деревьев по мере приближения к источнику загрязнений. В составе выбросов – сернистый ангидрид, окислы углерода и азота, аммиак и пыль.

Из данных Й. Сидаравичюса (1987) следует, что влияние загрязняющих веществ в большей степени проявляется у тонкомерных деревьев как кандидатов на отмирание вследствие естественного изреживания: в зоне сильного загрязнения масса хвои у таких деревьев в 14–20, а в зоне среднего загрязнения – в 3,0–3,5 раза меньше по сравнению с условно неповрежденными равновеликими деревьями (см. табл. 1.10).

Результаты, противоположные тем, что получены Й. Сидаравичюсом, приводит И.А. Юсупов (1996) для 40-летних культур сосны обыкновенной в

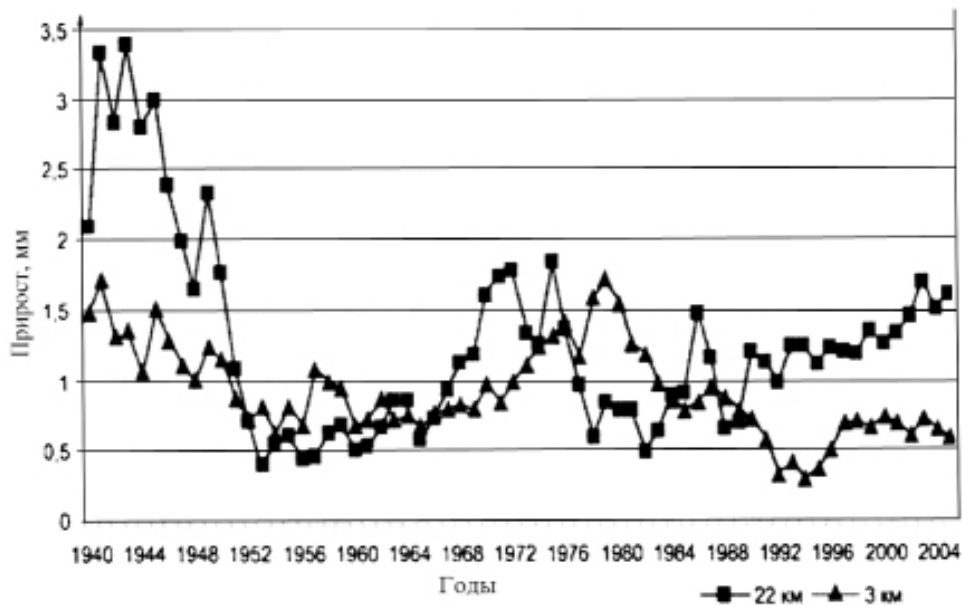


Рис. 1.38. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в сосняках сфагновых V–VI классов возраста, расположенных на различном удалении от комбината «Акрон» (Ярмишко и др., 2009)

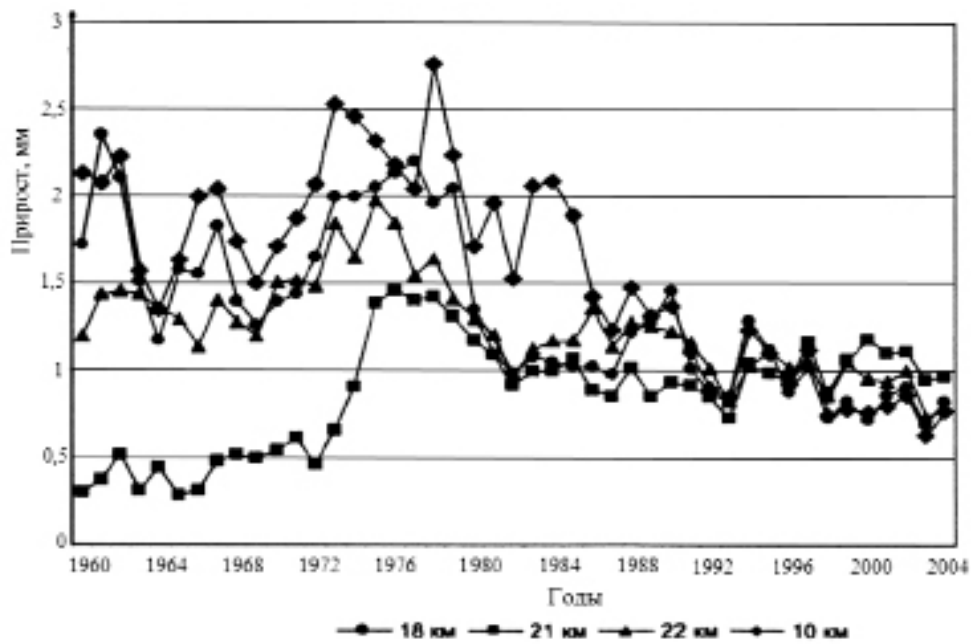


Рис. 1.39. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в сосняках сфагновых III класса возраста, расположенных на различном удалении от комбината «Акрон» (Ярмишко и др., 2009)

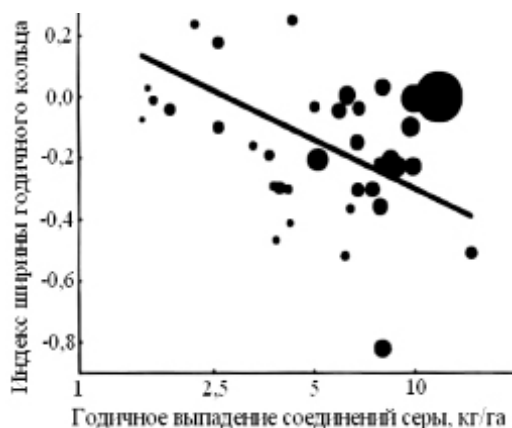


Рис. 1.40. Зависимость между индексом ширины годичного кольца сосны и отложением соединений серы в бореальных лесах Евразии (Savva, Berninger, 2010)

градиенте загрязнений от СУМЗ. В этом случае масса хвои дерева диаметром 16 см на расстояниях 2, 6 и 25 км от СУМЗ составила соответственно 6,7; 4,3 и 2,0 кг, т.е. происходит снижение охвоенности кроны равновеликих деревьев по мере удаления от источника загрязнений. Однако в расчете на

1 га насаждений масса хвои на тех же пробных площадях составила соответственно 3,5; 5,0 и 10,2 т/га. Иными словами, в данном случае деградация насаждений, в частности, снижение охвоенности кроны, по мере приближения к СУМЗ происходит не на уровне равновеликих деревьев, а на уровне насаждений в целом, в основном, за счет деградации их морфоструктуры. Например, средняя высота древостоев на тех же пробных площадях составила соответственно 5,6; 13,8 и 16,5 м, а сумма площадей сечений соответственно 8,4; 29,9 и 36,2 м²/га при однородности экотопа всех насаждений в градиенте загрязнений (Юсупов, 1996; Юсупов и др., 1997).

В лесоведении известна закономерность увеличения массы хвои равновеликих деревьев по мере ухудшения условий произрастания, что характеризует общую тенденцию снижения продуктивности хвои. Например, исследованиями фитомассы ельников травяно-зеленомошных в Вологодской области В.В. Смирновым (1971) установлено, что в возрасте 65 лет при примерно одинаковой густоте деревья ели разных ступеней толщины в древостое III класса бонитета по сравнению с деревьями в древостое I класса бонитета имеют массу хвои, большую в 2 раза. Аналогичная закономерность была установлена в березниках Северного Казахстана (Усольцев, 1974).

Подобная закономерность повторяется и в стрессовых условиях насаждений, подверженных загрязнению. У многих хвойных пород установлено увеличение плотности охвоения побегов в связи с продвижением от фоновых районов к источнику загрязнений (Аугустайтис, 1989, 1992; Ярмишко, 1997; Зарубина, 2011) либо с увеличением содержания тяжелых металлов в хвое (рис. 1.41).

Таблица 1.10

Масса хвои дерева (кг) в зависимости от диаметра ствола и расстояния от источника загрязнений (Сидаравичюс, 1987)

Расстояние от источника загрязнений, км	Диаметр ствола дерева, см						
	12	16	20	24	28	32	36
2,5	0,10	0,33	0,88	1,94	3,76	6,67	11,07
4,0	0,45	1,05	2,02	3,47	5,46	8,09	11,44
8,0	2,30	4,56	7,77	11,99	17,31	23,80	31,50

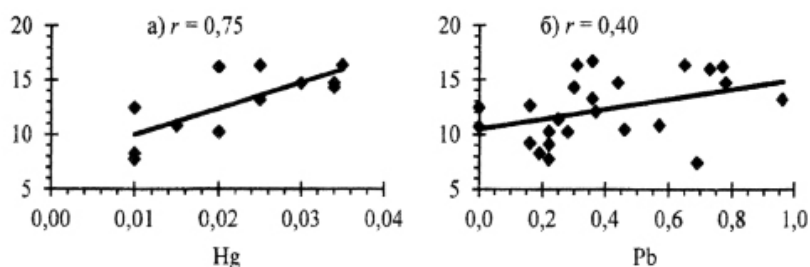


Рис. 1.41. Зависимость количества хвоинок на 1 см побега от содержания (мг/кг) ртути (а) и свинца (б) в 1–3-летней хвое подростка ели в районе Котласского промузла (Тарханов, 2011)

По мере увеличения уровня загрязнения увеличиваются и размеры хвоинок текущего года, что И. Сидаравичюс (1987) объясняет эффектом компенсации возрастающих потерь хвои предыдущих лет. Возможно, эффектом компенсации объясняется также наличие разнонаправленных (встречных) тенденций изменения плотности охвоения побегов у 15-летнего подростка сосны обыкновенной по мере приближения к Карабашскому медеплавильному комбинату (КМК): у 1–4-летних побегов она возрастает, а у 5–6-летних – снижается (Залесов, Бачурина, 2008).

С другой стороны, известна закономерность 4–5-кратного снижения охвоенности (увеличения «прозрачности») крон деревьев по мере приближения к источнику загрязнений (Сидаравичюс, 1987; Ярмишко, 1990а; Brassel P., Schwyzer, 1992). Это же подтверждается исследованиями Н.Ф. Низаметдинова (2009), выполненными в западном градиенте загрязнений от СУМЗ: степень дефолиации, установленная по цифровым фотографиям крон деревьев, повышается по мере приближения к источнику эмиссий (коэффициент корреляции равен – 0,79) в полном соответствии с повышением концентрации серы в хвое в том же направлении (коэффициент корреляции равен 0,68).

Названные две противоположные тенденции могут накладываться одна на другую, и в результате по мере приближения к источнику загрязнений и соответствующего ухудшения условий произрастания, достаточно четкие закономерности на уровне деревьев не выявляются.

Разработанные в Литве модели продуктивности сосновых древостоев различной степени повреждения показывают, что возросший уровень загрязнения природной среды промышленными выбросами вызывает существенные изменения таксационных показателей как отдельных деревьев, так и всего древостоя. Средние таксационные показатели сильно поврежденных сосновых древостоев уступают средним показателям древостоев меньшей степени поврежденности. Установлено, что усыхание в поврежденных одновозрастных естественных сосняках в первую очередь происходит за счет наиболее тонких, отстающих в росте деревьев (рис. 1.42).

Аналогичный процесс наблюдается в кедровниках в условиях нефтегазодобычи (Морозов, 1999). Чем интенсивнее воздействие, тем интенсивнее происходит изреживание древостоя с вовлечением в этот процесс все более толстомерных деревьев (Барткявичюс, 1987; Юкнис, 1987; Шелуха, 2003). Соответственно при увеличении уровня загрязнения природной среды увеличивается число сухостоя (рис. 1.43).

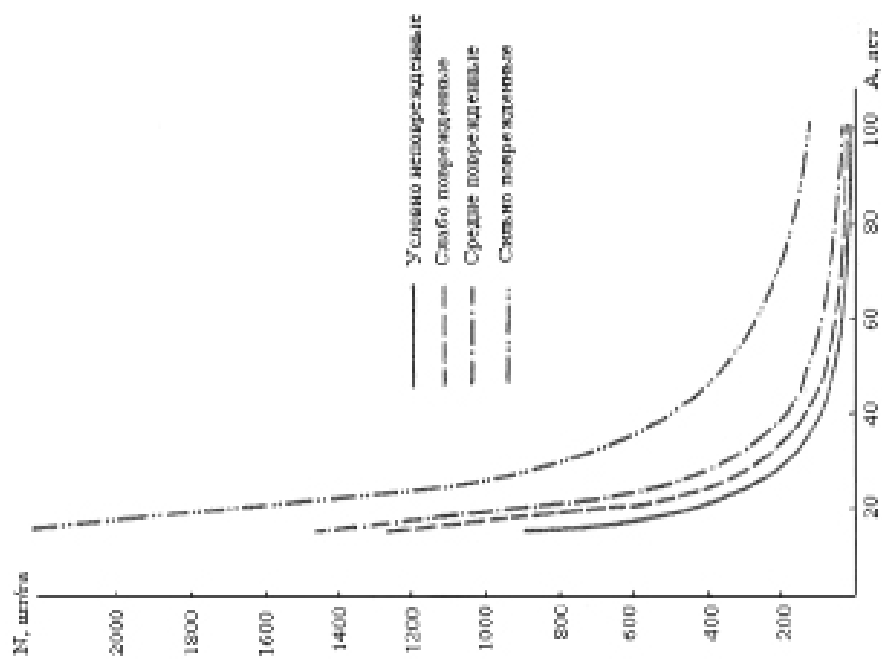


Рис. 1.43. Количество сухостоя в сосновых древостоях при различном уровне загрязнения природной среды (Баркявичюс, 1987)

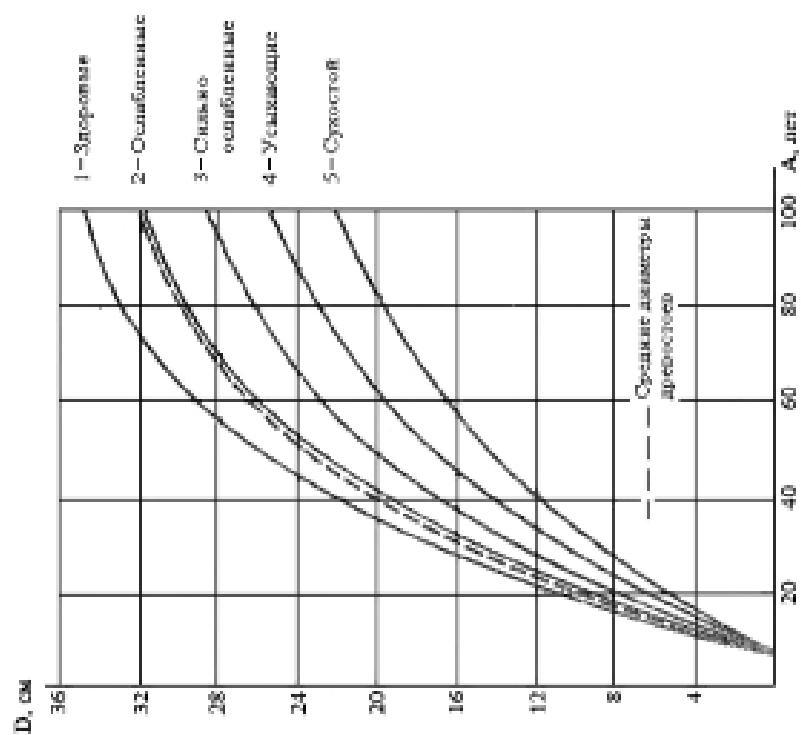


Рис. 1.42. Средние диаметры деревьев в зависимости от возраста сосновых древостоев и степени их повреждения агропромвыбросами (Баркявичюс, 1987)

Рис. 1.44. Вертикальная структура крон сосны обыкновенной на контроле (А) и в импактной зоне вблизи Мончегорска (Б). Цифрами в экспликации обозначены живые побеги:

1 – второго; 2 – третьего; 3 – четвертого; 4 – пятого порядков ветвления; 5 – сухие побеги (Ярмишко, 1990б)

В процессе деструкции поврежденных древостоев в их пространственной структуре проявляется тенденция к более выраженному групповому размещению деревьев. Та же тенденция проявляется и при естественной реструктуризации, обусловленной возрастом древостоев (Юкнис, 1987). Поскольку это связано с увеличением изменчивости расстояний между деревьями, А. Тябера (1982) делает вывод: «В условиях загрязненной окружающей среды наиболее рациональным является тип равномерного размещения деревьев» (С. 7).

Существенно изменяется возрастная структура побегов в вертикальном распределении мутовок (рис. 1.44), а также вертикально-фракционная структура фитомассы деревьев (Ярмишко, 1990б). В северотаежных сосняках Кольского полуострова средняя продолжительность жизни хвои снижается с 6–8 лет в фоновых условиях до 1–2 лет в импактной зоне вблизи Мончегорска (Ярмишко, 1989). У 15-летнего подростка сосны вблизи КМК это снижение составило соответственно 50% – с 6 до 4 лет (Залесов, Бачурина, 2008). Значительно слабее влияние поллютантов на продолжительность жизни хвои сосны в зоне действия выбросов Сыктывкарского ЛПК, где она ниже всего на 12–14% по отношению к контролю (Торлопова, Робакидзе, 2003).

На Урале пионерное исследование по оценке влияния аэрозольных загрязнений на прилегающие к СУМЗ естественные сосняки было предпринято Б.С. Фимушиным (1979) на основе таксационных (дендрометрических) методов. Им были исследованы состояние и фитомасса сосновых молодняков в зоне влияния загрязнений от СУМЗ, где была заложена серия пробных площадей по градиенту загрязнений. Б.С. Фимушиным было выделено несколько зон (рис. 1.45), различающихся по степени загазованности насаждений и в каждой исследованы особенности не только роста деревьев, но и морфоструктуры крон, в частности, степени их «прозрачности» и охвоенности различных частей, а также продолжительности жизни хвои. Установлено, что масса хвои и объемный прирост ствола у равновеликих деревьев в возрасте 37–80 лет закономерно возрастают по мере удаления от СУМЗ, и коэффициент корреляции между ними составляет 0,91. Тесная

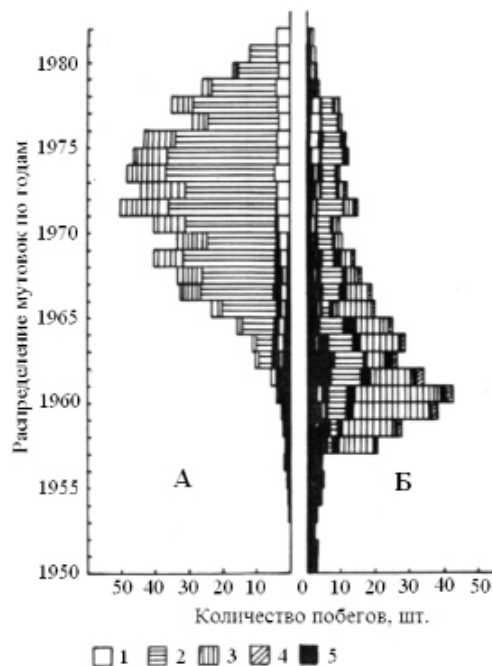




Рис. 1.45. Схема зонирования прилегающей к СУМЗ территории по степени поражения лесов аэрозольными загрязнениями (Фимушин, 1979)

корреляция выявлена между названными показателями также на уровне древостоя, т.е. в пересчете на 1 га. Б.С. Фимушиным (1979) сделан вывод, что по степени охвоенности побегов можно судить о величине текущего прироста, который в сочетании с внешними морфологическими признаками дает представление о жизнеустойчивости деревьев и древостоев сосны.

Однако в этом вопросе имеются противоречия. Если в одних случаях обнаруживается линейная связь между степенью дефолиации и снижением прироста (Фимушин, 1979; Kenk, 1984; Венк, 1987; Kenk et al., 1988; Soderberg, 1991), то в других утверждается, что радиальный прирост деревьев не изменяется даже при потере ими 50–60% хвои (Eckstein et al., 1989; Лесные..., 1990). А.С. Алексеев (1993) объяснил, почему падение прироста отмечается многими исследователями лишь при потере хвои более 50%: именно таким повреждениям соответствует стадия максимальной скорости падения прироста, на которой прирост падает резко и поэтому легко и достоверно регистрируется. При более слабых повреждениях имеет место буферная стадия процесса, когда зависимость радиального прироста от степени повреждения слабая.

Исследования, проведенные в березовых насаждениях в окрестностях СУМЗ показали, что среднегодовой прирост древесины по запасу, диаметру и высоте по мере приближения к источнику эмиссий значительно снижается (Махнев и др., 1990). В 26-летних культурах березы повислой в условиях магнетитового загрязнения на Южном Урале установлено, что с возрастанием уровня загрязнения снижается надземная фитомасса, причем наиболее интенсивно – масса ствола и ветвей и в меньшей степени – масса листвы. В результате в общей фитомассе увеличивается доля листвы и снижается доля массы ствола (Завьялов, 2009). По вопросу устойчивости березы к атмосферным выбросам существуют противоречивые мнения (Красинский,

Князева, 1950; Гроздов, 1952; Илюшин, 1953; Чуваев и др., 1973; Антипов, 1979; Roger, 1981).

Сравнительные исследования сосняков, находящихся в зоне антропогенного воздействия и в заповеднике, показали значительное превышение величин текущего прироста и годового опада в первом случае по отношению ко второму, однако истинный прирост (с учетом опада) основного насаждения, находящегося в зоне антропогенного воздействия, оказался на 20% ниже, чем в заповеднике. Относительные же его значения в обоих сосняках оказались одинаковыми и составили лишь 3,4% (Родин и др., 1968).

Таким образом, для создания относительно равного количества органического вещества, закрепляющегося в растительности, сосняку, находящемуся в зоне антропогенного воздействия, потребовалось вовлечь в годичный цикл значительно большие по сравнению с заповедным сосняком количество питательных элементов и энергии, что говорит о меньшей результативности его биопродукционного процесса. Прослеживается явная тенденция к усилению отмирания сосняка, подверженного антропогенному воздействию, что в перспективе приведет к снижению результативности продукционного процесса и интенсивности биологического круговорота в этом растительном сообществе (Сидорович и др., 1985).

Важным этапом реализации системы мониторинга лесов является разработка моделей динамики структуры и биопродуктивности лесных насаждений, позволяющих прогнозировать происходящие изменения. В лесотаксационной науке накоплен огромный опыт моделирования роста и продуктивности древостоев, однако для целей мониторинга такие модели практически непригодны, поскольку в них не учитываются экологические условия. Выявление антропогенных изменений роста лесных насаждений при разных уровнях загрязнения на фоне естественных колебаний условий среды возможно путем как полевых методов, так и в лабораторных условиях путем изучения биохимических и физиологических последствий действия различных доз на клеточном уровне (Антанайтис, Юкнис, 1986).

Прогноз любой системы можно сделать двумя путями: посредством прецедента на оперативном уровне или посредством функционального интегрирования систем, принадлежащих к более низким уровням. Для лесных экосистем в качестве первого приближения наиболее приемлем первый из них. Для него не требуется знать, как работает система: это метод «черного ящика», при котором выходные данные связаны с изменением входных данных. Математически такие связи выражаются уравнениями множественной регрессии (Казенс, 1982).

Длительный срок жизни древесных растений является их специфической чертой, вследствие чего их защитные реакции на биохимическом, клеточном и организменном уровнях формируются под влиянием стрессов, повторяющихся в течение длительного времени. По мере того, как условия среды становятся более вредными для растений, снижается устойчивость лесов, уменьшается их доминирование и происходит постепенный переход лесных экосистем к преобладанию отдельных деревьев и кустарников или

травяных ценозов и даже промышленных пустошей. Подобное структурное изменение хвойных лесов прослеживается во многих районах локального загрязнения (Шяпетене, 1987; Воробейчик, 2004б; Зверев, 2012).

Анализ роста и динамики продуктивности древостоев в условиях сравнительно высоких уровней загрязнения природной среды, где все негативные тенденции проявляются более очевидно и в более короткий срок, показал, что антропогенные изменения различных показателей в условиях загрязнения достаточно тесно сопряжены и в принципе соответствуют возрастным изменениям древостоев. Чем сильнее воздействие, тем быстрее происходит процесс старения древостоев (Юкнис, 1987). К выводу об ускорении процессов старения в условиях загрязнения природной среды пришли и другие исследователи, изучавшие рост древесных растений под воздействием загрязнений. Видимо, ускорение процессов старения можно считать реакцией биоты на отрицательные внешние воздействия (Мауринь, 1986).

Несмотря на слабую изученность внутренних механизмов процессов старения растений, возрастные изменения деревьев и древостоев сравнительно легко прослеживаются по морфологическим признакам – величине прироста, интенсивности и структуре отпада, архитектонике крон деревьев и т.д. Снижение прироста по различным параметрам ствола и кроны является характерным признаком старения деревьев. В условиях загрязненной природной среды наряду с более интенсивным, чем в естественных условиях, снижением прироста, меняются и соотношения интенсивности прироста по различным параметрам.

Многочисленные работы по изучению влияния аэропромвыбросов на окружающую среду свидетельствуют, что их вредное воздействие охватывает широкий диапазон уровней организации природы: молекулярный, субклеточный, клеточный, тканевый, органный, организменный, популяционный, фитоценотический и биосферы в целом. Пока невозможно дать точную оценку степени отрицательных воздействий агрессивных факторов на основные компоненты лесов и определить границы их потенциальной устойчивости, за пределами которых нарушается природное равновесие и разрушительные процессы становятся необратимыми (Сидорович и др., 1985; Воробейчик и др., 1994).

1.4.3. Зависимости «доза–эффект»

В настоящее время выполнено довольно много исследований по изменениям экосистем, испытывающих действие промышленных выбросов. Однако на настоящий момент имеются лишь единичные попытки построения зависимостей «доза–эффект» на экосистемном уровне. Причины этого вытекают из прикладного характера большинства подобных исследований и, как следствие, – недостаточного количества экспериментальных точек для адекватного представления траектории реакции экосистемы; включения в анализ неполного спектра компонентов; нарушения синтопности регистрации параметров биоты и содержания токсикантов (Воробейчик, Хантемирова, 1994; Воробейчик, 2005).

Перспективность анализа зависимостей «доза–эффект» на экосистемном уровне, дающих прямой выход на проблему устойчивости, была показана еще в середине 1970-х, однако попытки их построения немногочисленны (Алексеев, Тарасов, 1990; Арманд и др., 1991; Салиев, 1988; Воробейчик и др., 1994; Воробейчик, Хантемирова, 1994; Воробейчик, 1995, 2004 а,б; Михайлова, Воробейчик, 1995). Для большого количества параметров наземных экосистем было установлено, что реакция биоты на токсическую нагрузку имеет нелинейный характер (Воробейчик и др., 1994; Воробейчик, Хантемирова, 1994; Воробейчик, 2004б): на постепенное повышение дозы загрязнений экосистемы реагируют не соответствующим постепенным изменением, а резким срывом в иное состояние. Это явление известно как гистерезисный (Ведюшкин, 1989), или триггерный эффект (Алексеев, 1976), в терминах теории катастроф представляемый как «складка» (Чиллингуорт, 1979).

Устойчивость экосистемы оценивается на основе анализа траектории ее реакции на действие стрессового фактора. В.Ф. Цветков (1990а,б) процесс деградации спелых ельников под влиянием аэротехногенного загрязнения рассматривает как техногенную депрессивную сукцессию. В процессе ухудшения состояния и распада насаждений под влиянием загрязняющих эмиссий им выделено пять условных этапов, представляющих различные участки S-образной кривой «доза–эффект».

Базируясь на принципе пространственно-временных аналогий, пространственный градиент нагрузки от центра аномалии до ее периферии в первом приближении можно интерпретировать как увеличение нагрузки во времени в конкретной точке пространства. Необходимо зарегистрировать параметры состояния экосистем в пространственном градиенте так, чтобы полученная зависимость «доза–эффект» («нагрузка–параметр») была пригодна для корректной аппроксимации уравнениями регрессии и количественного анализа. Это может быть достигнуто при наличии большого количества экспериментальных точек, достаточно репрезентативно представляющих весь градиент нагрузки.

Анализ дозовых зависимостей заключается в нахождении координат критических точек. Под ними понимаются точки перегиба функции, описывающей траекторию реакции экосистемы. Особый интерес представляет верхняя критическая точка, соответствующая началу наиболее стремительного изменения параметра. Устойчивость выражается в единицах фактора (например, количество раз превышения фоновых концентраций поллютантов) и представляет собой отрезок от его фоновых значений до значений в верхней критической точке. В качестве показателей «эффекта» регистрируются параметры состояния экосистемы (Воробейчик, Хантемирова, 1994; Безель и др., 1994).

Одним из наиболее заметных проявлений нарушения биологического круговорота в лесных экосистемах, подверженных химическому загрязнению, является 2–3-кратное изменение мощности лесной подстилки вблизи предприятий цветной металлургии в связи с накоплением в ней поллютантов и снижением активности организмов-деструкторов (Coughtrey et al., 1979; Воробейчик, 1994, 1995, 2003; Бачурина, 2008). Зависимость

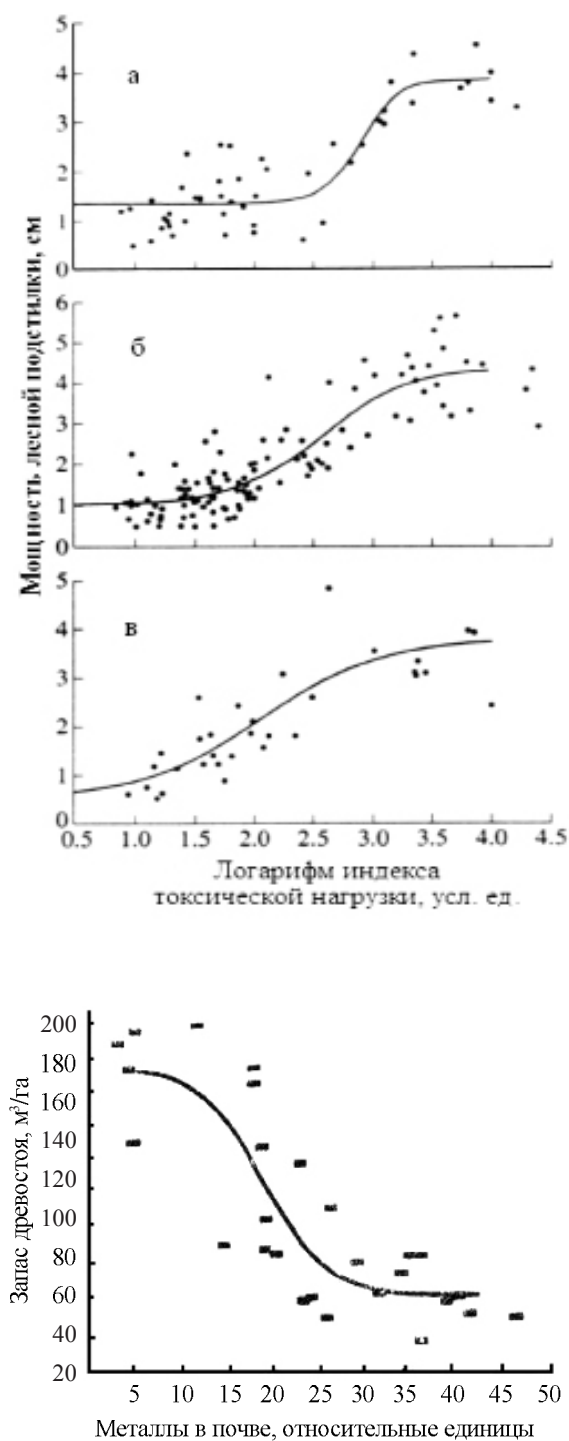


Рис. 1.46. Зависимости «доза-эффект» для мощности лесной подстилки в элементах рельефа:

а – элювиальных; б – транзитных; в – аккумулятивных (Воробейчик, 2003)

толщины подстилки от нормированного индекса токсичности по 4 элементам – Cu, Cd, Pb, Zn – в смешанных насаждениях вблизи СУМЗ описана логистической функцией (Безель и др., 1994; Воробейчик, 2003). Анализ дозовых зависимостей включал расчет абсцисс трех критических точек, которые находились аналитически через значения коэффициентов логистического уравнения. Установлено, что переход мощности подстилки от фонового состояния в импактное довольно резкий и занимает от 5 до 20% общей длины градиента нагрузки. Отмечено также увеличение значения критической нагрузки в ряду биотопов: от аккумулятивных через транзитные – к элювиальным ландшафтам (рис. 1.46). Аналогичный методологический подход был реализован для оценки изменения запаса стволовой древесины в градиенте загрязнения вблизи СУМЗ (рис. 1.47).

Анализ дозовых зависимостей экологичес-

Рис. 1.47. Зависимости «доза-эффект» для запаса стволовой древесины пихтарников вблизи СУМЗ (Воробейчик, Хантемирова, 1994)

ких систем довольно сложен, и эта сложность связана с практической нереализуемостью активных экспериментов с дозируемыми нагрузками на природные экосистемы. Затруднена также экстраполяция результатов, обусловленная кратковременностью экспериментов, не позволяющей учитывать эффекты хронического действия. Поэтому остается проводить лишь пассивные эксперименты, в частности, в ряду лесных экосистем, расположенных в градиенте загрязнений на разном удалении от их источника (Безель и др., 1994).

1.5. Изменение биологической продуктивности насаждений в градиентах аэрозагрязнений: методический анализ

Для изучения реакций экосистемы на атмосферное загрязнение необходимы соответствующие экспериментальные полигоны. В идеале такой полигон должен представлять территорию, в пределах которой крупный длительно действующий (порядка 50–80 лет) точечный источник эмиссии поллютантов «погружен» в фоновую (т.е. мало затронутую хозяйственной деятельностью) среду. Практически нет полигонов, где бы исследовались все группы биоты (Воробейчик, 2004а). Кроме того, нарушается условие статистической независимости повторностей – насаждений пробных площадей, или ключевых участков по градиенту загрязнений (Hurlbert, 1984; Козлов, 2003; Татарников, 2005), поскольку, во-первых, неизвестна степень однородности (сопоставимости) участков до начала загрязняющих воздействий и, во-вторых, неизвестна доля влияния биотических факторов в общей реакции экосистемы на загрязнения за весь период нарушающих воздействий (Воробейчик, 2005; Воробейчик, Козлов, 2012).

Фактически ни один полигон не соответствует понятию идеального эксперимента, требующего, как минимум, пространственной однородности фоновой среды, которая была бы обеспечена до начала действия источника выбросов на всей территории его потенциального влияния. Применительно к растительному покрову – это априорная однородность экотопа и фитоценоза на всей исследуемой территории (Воробейчик, 2004а).

В реальном эксперименте по оценке влияния загрязнений на растительный покров, в частности, на его биологическую продуктивность, мы имеем совмещенный эффект природных факторов и воздействия поллютантов, соотношение между которыми неизвестно. При оценке влияния аэрозагрязнений на лесную экосистему в теоретическом и прикладном аспектах наиболее важна реакция ее основного эдификатора – насаждения, выраженная показателем его биологической продуктивности. По условию идеального эксперимента необходимо не только подобрать насаждения, однородные по своей структуре, определяемой видовой, возрастной и морфологической изменчивостью на момент начала эксперимента, т.е. до начала действия источника выбросов, но и обеспечить одинаковость траекторий их предшествующего развития (Воробейчик, 2004а).

Поскольку в реальном эксперименте все это невозможно, единственное, что остается – провозгласить принцип «презумпции естественности»

(Воробейчик, 2005), и учет «естественного» варьирования структуры насаждений в импактном районе обеспечить путем элиминации видовой и возрастной изменчивости и корректного набора достаточного количества повторностей, охватывающих полный спектр морфологической изменчивости. Чем репрезентативнее совокупность пробных площадей, тем проще вычленишь антропогенную обусловленность наблюдаемых изменений по градиенту загрязнений либо представить выявленную совокупную закономерность в виде некоторого эмпирического обобщения (Воробейчик, 2004а).

Рассмотрим несколько типичных экспериментов, в разной степени удовлетворяющих представлению об идеале.

Простейшая ситуация имеет место при исследовании изменения характеристик довольно простых в структурном отношении элементов экосистемы – например, живого напочвенного покрова (ЖНП) и подстилки по градиенту загрязнений сосновых и березовых насаждений в окрестностях Карабашского медеплавильного комбината (КМК) (табл. 1.11). В данном случае закономерности снижения надземной фитомассы ЖНП и увеличения мощности и запаса подстилки по мере приближения к источнику загрязнений очевидны и обусловлены, скорее всего, одним лишь воздействием поллютантов. В несколько меньшей степени, но достаточно закономерно аналогичное изменение мощности и массы подстилки в сосновых молодняках по градиенту загрязнений от СУМЗ (табл. 1.12). Вполне закономерна также динамика содержания фтора в листе деревьев по градиенту фтористых загрязнений от Полевского криолитового завода в Свердловской области (табл. 1.13).

Более сложна в методическом отношении оценка влияния промышленных аэрозагрязнений на биологическую продуктивность лесных экосистем. Рассмотрим случай, когда продуктивность серии древостоев формировалась под действием природных факторов вплоть до возраста спелости, и лишь в последние годы на их влияние наложился антропогенный фактор в некотором градиенте. Подобный эксперимент с закладкой серии пробных площадей в спелых сосняках северной тайги по градиенту загрязнений от газовых факелов, образующихся при сжигании попутного газа на нефтедобыче, был проведен в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО). В состав продуктов сгорания попутного газа в факельных установках входят окись углерода (72%), углеводороды (17%), сернистый ангидрид (6%), сажа (4%) и окислы азота (1%) (Крючков, 2000). Таким образом, подобран ряд одновозрастных одновидовых древостоев, т.е. исключена возрастная и видовая изменчивость. Но репрезентативность начальной морфоструктуры древостоев, имеющей место перед запуском антропогенного фактора неизвестна, и реализованная схема эксперимента не была вероятностной.

Факельные установки были запущены сравнительно недавно и в разное время: в 1981, 1986 и 1991 гг. Таким образом, период отрицательного воздействия на древостои охватывает лишь последние 7–17 лет жизни 100–124-летних сосняков, к тому же имелась существенная разница в длительности этого воздействия на прилегающие к факелам древостои. Хотя прослеживается некоторая закономерность в изменении продуктивности и

Таблица 1.11

Изменение характеристик ЖНП и подстилки в сосновых и березовых насаждениях по градиенту загрязнений от КМК (Бачурина, 2008)

Сосна				Береза			
Расстояние от источника загрязнения, км	Фитомасса ЖНП, кг/га	Мощность подстилки, см	Запас подстилки, кг/м ²	Расстояние от источника загрязнения, км	Фитомасса ЖНП, кг/га	Мощность подстилки, см	Запас подстилки, кг/м ²
4,2	111	6,8±0,25	6,62	4,7	91	4,7±0,18	6,45
5,5	310	6,0±0,19	7,43	6,4	113	4,0±0,22	5,62
6,6	349	5,0±0,28	7,46	8,5	514	1,9±0,17	2,72
8,3	433	3,2±0,19	4,79	13,1	678	1,6±0,10	2,28
13,8	693	3,9±0,20	6,56	17,5	613	2,2±0,15	1,76
32,0	515	3,6±0,17	5,13	31,0	553	2,2±0,18	1,74

Таблица 1.12

Изменение характеристик подстилки по градиенту загрязнений сосновых молодняков, прилегающих к СУМЗ (Юсупов, 1996)

Показатель	Расстояние от источника загрязнения, км			
	2,2±0,4	7,0±1,6	11,0±2,0	25,0
Мощность подстилки, см	5,9±1,1	7,1±0,7	3,7±0,3	1,8

Таблица 1.13

Изменение содержания свободного фтора в листьях березы по градиенту загрязнений фтористыми соединениями от Полевского криолитового завода по сезонам года, мг/кг сухого вещества (Левчук, 1991)

Расстояние от источника загрязнения, км	Время отбора проб листьев					
	1988 г.			1989 г.		
	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень
2,5	63,3±4,4	47,0±1,0	473,3±37,8	55,0±1,0	111,6±3,3	151,7±1,7
4,0	26,3±1,8	21,3±0,8	396,7±3,3	41,0±1,5	70,7±1,9	72,7±1,3
9,0	9,0±0,5	9,0±0,7	29,9±0,9	29,3±0,7	18,8±0,6	27,0±0,6
30,0	1,1±0,5	2,0±0,2	3,4±0,7	12,0±0,0	10,0±0,0	17,7±0,9

Таблица 1.14

Изменение таксационных показателей и структуры абсолютно сухой фитомассы по градиенту загрязнений лишайниковых сосняков Va класса бонитета, прилегающих к факельным установкам в районе нефтедобычи ХМАО (Крючков, 2000)

Показатель	Расстояние от факельной установки, м					
	100	230	240	250	300	400
Возраст древостоя, лет	124	115	124	124	100	115
Средняя высота, м	14,6	10,6	11,2	14,0	11,9	10,4
Средний диаметр, см	24,8	12,4	14,9	20,6	13,6	14,5
Число стволов, экз/га	293	1571	1221	595	1556	1551
Запас, м ³ /га	143	111	167	144	160	185
Фитомасса стволов, т/га	50,4	49,5	79,6	68,5	76,1	75,3
Фитомасса ветвей, т/га	5,32	5,47	6,63	9,79	4,83	5,34
Фитомасса хвои, т/га	1,87	5,92	4,02	5,07	4,09	4,47
Надземная фитомасса, т/га	57,6	60,9	90,2	83,4	85,0	85,1

фракционной структуры фитомассы древостоев по градиенту загрязнения (табл. 1.14), невозможно установить, в какой степени эти изменения обусловлены влиянием факелов и в какой – исходными (т.е. до запуска факелов) различиями морфоструктуры древостоев по названному градиенту. Биохимия влияния продуктов сгорания газа на древостои не исследовалась, а поскольку снежный покров и жидкие осадки испаряются в радиусе 200–250 м от трубы факела (Крючков, 2000), снижение продуктивности сосняков в направлении к факельной установке с 240 до 100 м может быть обусловлено понижением их влагообеспеченности.

Вероятностная схема эксперимента отсутствовала и в работе В.Э. Власенко с соавторами (2001) (табл. 1.15). Более того, в данном случае при за-

Таблица 1.15

Результаты исследования морфоструктуры сосновых древостоев по градиенту загрязнений от Красноуральского промузла (Власенко и др., 2001)

Показатель	Жизненное состояние древостоев			
	Сильно поврежденный	Слабо поврежденный	Слабо поврежденный	Условно неповрежденный
Возраст древостоя, лет	110	85	100	80
Класс бонитета	III	II	II	II
Индекс повреждения, балл	3,45	2,63	2,59	1,86
Дефолиация, %	49,8	25,5	28,4	18,9
Средняя высота, м	22,5	22,0	25,0	28,5
Средний диаметр, см	25,0	32,2	38,1	28,1
Площадь сечений, м ² /га	17,2	28,3	41,5	27,0
Запас древостоя, м ³ /га	165	295	526	313
Масса хвои среднего дерева, кг	7,52	15,2	17,1	6,97

кладке пробных площадей нарушен не только принцип вероятности, но и проигнорирован принцип типичности выборки. Здесь на первых трех объектах по мере удаления от источника загрязнений, соответствующего снижения величины балла повреждения ассимиляционного аппарата и процента дефолиации возрастают полнота и запас древостоя. Но при дальнейшем удалении и соответствующем снижении упомянутого индекса и процента дефолиации полнота и запас древостоя резко снижаются, соответственно на 46 и 40% по отношению к древостою с большей степенью дефолиации.

Очевидно, что такое снижение продуктивности условно неповрежденного древостоя (индекс 1,86; дефолиация 19%) по сравнению со слабо поврежденным (индекс 2,59; дефолиация 28%) никак не связано с повреждающим действием поллютантов, а является результатом некорректного подбора объектов исследования.

Далее, пытаясь связать степень дефолиации кроны с массой хвои, авторы не пошли по пути установления названного количественного соотношения непосредственно на своих объектах путем взятия модельных деревьев, а позаимствовали опубликованное уравнение зависимости массы хвои дерева от его диаметра и нескольких таксационных показателей древостоя (Усольцев, 1997). Это уравнение объясняло 94% изменчивости массы хвои дерева в сосняках, однако все эти сосняки находились в одной и той же зоне умеренного загрязнения, а В.Э. Власенко с соавторами экстраполировали уравнение на сосняки разной степени загрязнения, отличающиеся по степени дефолиации на 50%. Естественно, полученные ими таким способом значения массы хвои среднего дерева по градиенту загрязнения повторили упомянутую закономерность изменения продуктивности древостоев, никак не связанную с загрязнениями (последние строки в табл. 1.15). Естественно также, что рассчитанные таким способом показатели массы хвои никак не коррелируют с процентом дефолиации.

Аналогична ситуация при оценке влияния аэрозагрязнений от Рижского суперфосфатного завода, основанного в конце XIX столетия, на продуктивность 85-летних сосняков (табл. 1.16). Все насаждения произрастают на типичной среднеподзолистой почве в типе леса *Pinetum hylocomiosum*. Однако вероятностная схема эксперимента, как и в предыдущих случаях, проигнорирована, и по градиенту загрязнений заложено,

Таблица 1.16

Изменение таксационных показателей и текущего прироста древостоев по градиенту загрязнений сосновых насаждений, прилегающих к Рижскому суперфосфатному заводу (Лиэпа и др., 1986)

Показатель	Расстояние от источника загрязнения, км				
	1,75	1,25	3,0	3,0	3,75
Возраст древостоя, лет	85	85	85	85	85
Средняя высота, м	10,9	15,6	23,2	16,0	20,6
Средний диаметр, см	29,0	25,0	33,9	25,0	31,3
Площадь сечений, м ² /га	18,3	10,5	17,9	18,4	31,3
Текущий прирост по запасу, м ³ /га	1,3	1,4	2,7	2,5	4,6

руководствуясь принципом «типичности», по одной пробной площади без повторностей.

Одно из наиболее полных исследований фитомассы и ее годичной продукции как в надземной, так и в подземной сферах, достаточно адекватное в методическом отношении, осуществлено в ельниках на Кольском Севере, в окрестностях комбината «Североникель» (Лукина, Никонов, 1991). Принадлежность изучаемых ельников к кустарничково-зеленомошному типу подтверждена геоботаническими описаниями Мончегундры до начала деятельности комбината. Пробные площади представляют собой стадии техногенной трансформации ельников, обусловленные различным уровнем загрязнения выбросами комбината (табл. 1.17).

Тем не менее, одного геоботанического описания территорий, где впоследствии были заложены пробные площади, недостаточно для обеспечения чистоты опыта. Во-первых, маловероятно, что участки геоботанического описания и последующей закладки пробных площадей были одни и те же. Во-вторых (и это более существенно), вероятностная схема эксперимента, как и в предыдущих случаях, проигнорирована.

Таблица 1.17

Изменение таксационных показателей, абсолютно сухой фитомассы и ее годичной продукции по градиенту загрязнений ельников, прилегающих к комбинату «Североникель» (Лукина, Никонов, 1991)

Показатель	Расстояние от источника загрязнения, км			
	7	20	35	Около 100
Тип леса (современный)	Вороничное редколесье	Злаково-кустарничковый	Зеленомошно-кустарничковый	Кустарничково-зеленомошный
Средняя высота, м	6,2	11,7	9,2	8,1
Средний диаметр, см	10,2	19,1	16,4	13,7
Число стволов, экз/га	70	450	490	933
Площадь сечений, м ² /га	0,9	11,9	13,6	16,3
Фитомасса, т/га:				
– стволов	0,89	31,3	28,7	39,3
– ветвей	0,16	5,38	5,40	8,57
– хвои	0,07	2,38	3,65	4,47
– надземная	1,12	39,10	37,75	52,30
– подземная	0,26	9,34	9,01	12,48
– общая	1,38	48,44	46,76	64,78
Годичный прирост фитомассы, т/га:				
– стволов	0	0,10	0,14	0,27
– ветвей	0	0,26	0,28	0,33
– хвои	0,03	0,50	0,45	0,51
– надземной	0,03	0,86	0,87	1,11
– подземной	0,01	0,21	0,21	0,32
– общей	0,04	1,07	1,08	1,43

Таблица 1.18

Изменение таксационных показателей и абсолютно сухой фитомассы по градиенту загрязнений сосновых молодняков, прилегающих к СУМЗ (Юсупов и др., 1997)

Показатель	Расстояние от источника загрязнения, км			
	2,2±0,4	7,0±1,6	11,0±2,0	25,0
Возраст древостоя, лет	40	33	33	38
Средняя высота, м	8,3±3,8	13,2±0,9	12,7±2,3	16,5
Средний диаметр, см	9,1±3,4	11,7±2,2	11,4±2,0	16,4
Число стволов, тыс. экз/га	2250±212	3553±1236	3084±1205	1796
Площадь сечений, м ² /га	15,0±9,3	33,9±4,9	33,5±4,1	36,2
Запас, м ³ /га	85±76	230±37	225±38	300
Фитомасса стволов, т/га	44,6±38	77,9±29	104,4±20	118,5
Фитомасса ветвей, т/га	6,1±2,8	9,7±5,5	11,3±2,3	11,4
Фитомасса хвои, т/га	3,6±0,1	5,4±2,9	6,2±0,7	4,6
Надземная фитомасса, т/га	54,2±42	86,3±37	121,8±21	134,4

В наиболее полной мере вероятностная схема эксперимента реализована в градиенте загрязнений от СУМЗ в сосновых молодняках II класса возраста, которые произрастают в одних и тех же эдафических условиях (табл. 1.18). В этом случае обеспечена однородность экотопа и фитоценоза на всей исследуемой территории, элиминирована видовая и возрастная изменчивость насаждений. Более того, предпринята попытка учесть также морфологическую изменчивость сосняков путем закладки нескольких пробных площадей на каждом из выбранных уровней загрязнения. К сожалению, каждая из них заложена не методом случайной выборки в пределах некоторого, однородного по лесорастительным условиям участка, а по принципу «типичности».

Описанная ситуация, связанная со схемой закладки эксперимента в сосняках к востоку от СУМЗ, фактически имела место при закладке в 1989 г. серии пробных площадей в елово-пихтовых древостоях по градиенту загрязнений в западном направлении от СУМЗ (табл. 1.19). Но в данном случае оценка биопродуктивности насаждений по градиенту загрязнений была не одноразовой и конечной, как в приведенных выше примерах, а осуществлялась периодически на протяжении последних двух десятилетий. На каждом удалении от завода было заложено по пять пробных площадей размером 25×25 м (Усольцев и др., 2009).

Таким образом, все реальные эксперименты по выявлению влияния поллютантов на продуктивность лесных экосистем, в большей или меньшей степени выполняются с отклонениями от идеальной схемы закладки. Полностью уйти от этого пока не представляется возможным. Если придерживаться вероятностной схемы эксперимента, вклад загрязняющих факторов в изменение биопродуктивности по градиенту рассеяния поллютантов может быть в подобных случаях выявлен на уровне эмпирических обобщений при условии учета видовой, возрастной и морфологической изменчивости древесного ценоза.

Таблица 1.19
Изменение морфоструктуры и биопродуктивности древостоев по градиенту загрязненности от СУМЗ за три периода наблюдений: 1989, 1998 и 2008 гг. (Усольцев и др., 2009)*

Показатели	Расстояние от источника загрязнения, км											
	4			7			30					
	1989	1998	2008	1989	1998	2008	1989	1998	2008			
Доля хвойных в породном составе, %	88±6,0	86±7,4	88±7,7	82±9,6	79±6,2	72±7,7	61±17,0	88±11,0	93±10,2			
Возраст древостоя, лет	67±8,5	77±8,4	86±8,6	46±2,1	56±2,2	66±2,2	65±3,3	75±3,2	85±3,2			
Класс бонитета	III	III	III	II	II	II	III	III	III			
Средняя высота, м	16,4±0,6	17,3±2,1	18,8±3,7	15,8±0,7	16,6±0,2	19,0±0,9	17,0±0,6	18,5±0,8	20,3±0,8			
Средний диаметр, см	18,4±1,2	21,3±5,2	23,0±5,6	16,6±1,4	18,1±0,4	23,0±1,9	16,6±1,2	19,0±1,8	23,0±1,5			
Число стволов, экз/га	1568±284,6	723±233,4	1181±585,4	2250±320,5	1226±100,9	1155±153,2	2019±831,0	874±189,9	1104±261,9			
Площадь сечений, м ² /га	41,3±4,0	23,9±5,3	42,1±4,5	48,9±10,6	31,6±3,1	47,5±4,8	42,5±11,4	27,1±6,5	45,4±10,9			
Запас древостоя, м ³ /га	376±28,4	205±65,9	405±50,3	474±159,8	320±80,9	523±46,9	283±72,7	243±61,9	448±100,2			
Фитомасса, т/га												
– ствол	127,7±10	70,65±21,0	136,09±16	162,50±54	109,52±27	179,52±16	118,00±30	92,78±23	164,96±37			
– ветвей	24,30±3,0	14,98±1,3	23,09±3,5	43,52±12,3	29,12±4,7	45,76±4,0	31,01±9,0	19,36±4,4	31,50±7,9			
– хвой	19,77±2,3	11,93±1,4	19,27±2,5	40,69±13,8	27,44±7,0	45,20±4,1	18,51±5,0	12,41±2,9	20,72±5,0			
– надземная	171,78±15,1	97,56±22,9	178,45±18,7	246,71±80,1	166,08±38,6	270,48±23,3	167,52±42,4	124,54±30,0	217,19±49,3			
Годичный прирост фитомассы, т/га												
– ствол	3,98±0,4	2,32±0,4	4,03±0,4	6,78±2,1	4,56±1,0	7,36±0,6	4,92±1,6	2,86±0,6	4,55±1,2			
– ветвей	0,78±0,1	0,49±0,04	0,73±0,1	1,27±0,3	0,84±0,1	1,27±0,1	1,13±0,3	0,69±0,2	1,11±0,3			
– хвой	4,27±0,4	2,50±0,5	4,31±0,5	7,26±2,2	4,87±0,9	7,77±0,7	2,34±0,7	1,54±0,4	2,55±0,6			
– надземной	9,02±0,9	5,31±0,9	9,06±1,0	15,32±4,6	10,28±2,0	16,41±1,4	8,39±2,5	5,09±1,1	8,21±2,1			

* Представлены средние значения ± ошибка среднего, учетная единица – пробная площадь, n=5.

1.6. Методы и результаты оценки квалиметрических показателей фитомассы деревьев

В исследованиях биологической продуктивности лесов и разработке нормативов для учета всех фракций фитомассы необходимо знание закономерностей динамики не только количественных, но и их качественных характеристик, варьирующих с возрастом, экологическими и другими факторами. Это, прежде всего, такие показатели, как плотность в свежем состоянии ρ_0 и содержание сухого вещества S в той или иной фракции фитомассы. Их исследование относится к области квалиметрии – науки о количественной оценке качества (Азгальдов, Райхман, 1973).

Квалиметрия лесной фитомассы входит составной частью в дисциплину экологического лесоведения, в котором выделены два направления: техническое, включающее исследования анатомических и физико-механических свойств древесины как технологического сырья в увязке с экологическими факторами (Перельгин, Уголев, 1971; Полубояринов, 1974; Denne, Dodd, 1980), и более узкое – ресурсоведческое, располагающее сведениями в основном о плотности и влажности фракций фитомассы, необходимыми в расчетах биологической продуктивности лесных фитоценозов (Поздняков и др., 1969; Уткин, 1970; Поздняков, 1973; Полубояринов, 1973, 1976а; Технеряднов, Шоманов, 1976; Семечкина, 1978; Успенский, 1980).

Соотношение объемов древесины и коры ствола традиционно представляет предмет лесной таксации, а показатели плотности и содержания сухого вещества древесины ствола – экологического лесоведения (Исаева, 1963; Полубояринов, 1976а). Задача исследования квалиметрических характеристик деревьев и древостоев в ресурсоведческом плане состоит в разработке принципов многомерного подхода к объяснению возрастной и экологической изменчивости плотности и содержания абсолютно сухого вещества древесины и коры с реализацией этого подхода на конкретных примерах.

Исследования названных показателей в литературе фрагментарны и охватывают, как правило, ту или иную фракцию фитомассы без анализа их изменения по определяющим факторам (Усольцев, 1971б, 1973, 1975; Götze et al., 1972; Hakkila, 1966; Голиков, 1982; Мелехов и др., 2003). Для ориентировочных расчетов биопродуктивности древостоев предложены средние для региона значения плотности и содержания сухого вещества (табл. 1.20).

При исследовании условной (базисной) плотности образцов ствольной древесины, взятых в 65-летних сосняках в зонах сильного и фонового загрязнений, установлено ее снижение по мере увеличения степени загрязнения (рис. 1.48), и это связано с ухудшением технических свойств древесины. Обнаружено также увеличение хрупкости ветвей и побегов в загрязненных древостоях (Сидаравичюс, 1987).

При сравнительном исследовании плотности древесины ствола при влажности 12% в естественных сосняках и культурах сосны установлено, что она в первом случае значимо ниже, чем во втором, и составляет соответственно 440 и 530 кг/м³ (Мелехов и др., 2003).

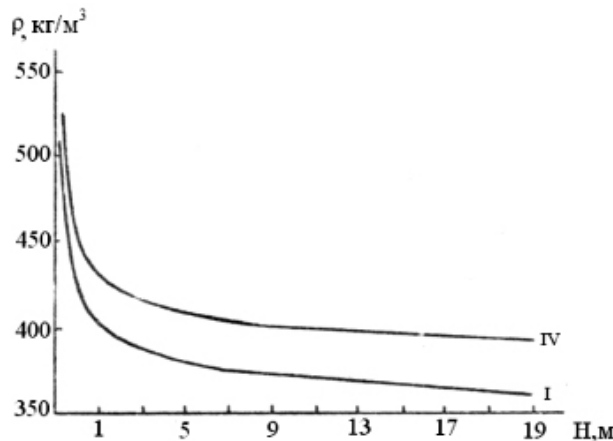
Таблица 1.20

Средние кваліметрические показатели для основных лесообразующих древесных пород Казахского мелкосопочника (Усольцев, 1985а)

Фракция фитомассы	Плотность в свежесрубленном состоянии (ρ_0 , кг/м ³)			Содержание абсолютно сухого вещества (S, %)		
	Береза	Осина	Сосна	Береза	Осина	Сосна
Древесина ветвей	863±7	784±5	929±5	56,6±0,46	59,4±0,26	49,1±0,27
Кора ветвей	1165±21	1109±10	992±8	55,2±0,50	51,6±0,33	46,7±0,30
Древесина ствола	863±7	762±8	809±6	56,2±0,66	55,3±0,65	52,1±0,45
Кора ствола	937±16	962±8	512±10	57,5±1,19	48,9±0,31	50,8±0,59
Хвоя (листва)	–	–	–	38,5±0,31	36,6±0,47	46,9±0,18
Отмершие ветви	–	–	–	89,0±1,50	77,2±1,70	86,7±1,40

Анализ плотности древесины и коры у сосны в различных экологических условиях (в трех типах леса) показал, что имеется значимая связь показателя с положением образца на стволе: в верхней, средней и нижней частях дерева плотность свежесрубленной древесины изменяется в пределах соответственно 1000–1020, 950–980 и 904–940, а коры соответственно 740–930, 700–740 и 570–590 кг/м³. Однако между типами леса значимых различий названного показателя как для древесины, так и коры, не выявлено (Смоляк и др., 1978).

В исследованиях в области лесной кваліметрии О. И. Полубояринов (1976а, б) большое внимание уделяет анализу базисной (условной) плотности древесины. Это неслучайно, поскольку произведение последней на древесный запас (м³) дает фитомассу в абсолютно сухом состоянии. Тем самым при исследовании закономерностей изменения сухой массы может быть полностью использована информация о закономерностях формирования запаса и динамики базисной плотности. В.А. Усольцев (1988)

Рис. 1.48. Зависимость условной плотности древесины (ρ) от высоты образца на стволе (H) при разных уровнях загрязнения:

I – сильно поврежденный древостой; IV – древостой в условиях фонового загрязнения (Сидаравичюс, 1987)

не исследует последнюю в качестве исходного признака, поскольку она теряет информативность при весовом методе учета фитомассы, более перспективном по отношению к ствольной древесине (Тамаркин, 1968) и единственно приемлемом на практике для учета массы кроны. Сказанное, а также требование системного подхода к анализу динамики квалитметрических характеристик, определяют необходимость расчленения базисной плотности как интегрального показателя на исходные составляющие – плотность в свежесрубленном состоянии ρ_0 и содержание абсолютно сухого вещества S , имеющие обычно разнонаправленные тренды (Усольцев, 1988).

Закономерности текущего прироста фитомассы, опосредованного шириной годичного кольца, и накопления фитомассы, выражаемого интегралом функции ее прироста, – процессы взаимосвязанные. Это дает основание предположить, что в исследованиях биопродуктивности древостоев они определяются одним общим набором факторов. Тогда возрастая динамика ширины годичного кольца определяется функцией прироста, на которую накладывается влияние экологических условий, в частности пространства роста.

Учитывая известную обусловленность квалитметрических показателей древесины средней шириной годичных колец, В.А. Усольцев (1988) общую тенденцию динамики ρ_0 и S в чистом одновозрастном древостое в данных лесорастительных условиях при отсутствии хозяйственного вмешательства определяет как функцию относительной густоты древостоя Z , представляющей вычлененную безразмерную характеристику его плотности (полноты), свободную от влияния изменения числа стволов в процессе естественного изреживания, и ранга дерева по толщине R_d , свободного, в отличие от диаметра ствола, от влияния возраста и густоты и характеризующего только ценотическое положение дерева в древостое — по аналогии с классом роста (Усольцев, 1985а).

Вследствие возрастной динамики конуса нарастания ствола, определяющей изменение соотношений древесины с различной физиологически обусловленной влажностью и плотностью в направлении от вершины к основанию ствола, ρ_0 и S изменяются вдоль по стволу (Полубояринов, 1976а; Исаева, 1978). С целью вычленения этой закономерности, т. е. элиминирования изменчивости высоты дерева как комплексного фактора, отражающего влияние возраста, ценотического положения дерева, эдафических условий и т. д., в расчет моделей динамики локальных ρ_0 и S древесины, наряду с названными тремя факторами, включается положение диска по высоте ствола h , выражаемой в долях от общей высоты дерева. Таким образом, в регрессионные модели входят возраст и три безразмерных показателя: относительная густота древостоя, ранг толщины дерева и относительная высота ствола (Усольцев, 1988)

$$\rho_0 = f(A, Z, R_d, h); \quad S = f(A, Z, R_d, h). \quad (1.32)$$

Сказанное о влиянии возраста и опосредованных экологических факторов на квалитметрические характеристики ствола в определенной мере относится не только к древесине, но и к коре, и не только к стволу дерева, но и

к его кроне. В онтоценогенезе древостоя после смыкания полога происходит непрерывное изменение его морфоструктуры вследствие конкуренции деревьев за свет, влагу, элементы питания. При этом архитектура древостоев определяется двумя противоположными процессами (Кравченко, 1977): новообразованием элементов структуры отдельных органов и их отмиранием. Происходит отпад угнетенных деревьев, сопровождающийся сокращением общего их числа; отпад ветвей первого порядка в нижней части кроны, сопровождающийся поднятием древесного полога; отпад ветвей второго порядка в приствольной части ветвей первого порядка, сопровождающийся формированием так называемого ядра (безлистной части) кроны и т. д. Перечисленные тенденции определяют необратимость процесса морфогенеза древостоя, поскольку с некоторого момента они обуславливают непрерывное снижение продуктивности его ассимиляционного аппарата, отнесенной к пространству роста.

Отмеченные тенденции находят количественное выражение в приросте различных компонентов кроны. Л. Вихера и С. Келломаки (Vihera, Kellomäki, 1983) установили, что ведущими факторами прироста компонентов кроны (древесины, коры и хвои) являются местоположение дерева и условия его освещения. Наряду с динамикой прироста и морфологическими изменениями (и вследствие их) происходят изменения качественных характеристик ветвей: плотности, содержания сухого вещества, доли коры и древесины, — закономерности динамики которых в пространстве и времени представляют интерес для ресурсоведческого и биогеоценотического направления исследования фитомассы лесов.

В исследованиях биопродуктивности древостоев В.А. Усольцев (1988) выявил соотношения между локальными ρ_{oi} и S и средними ρ_{cp} и S_{cp} значениями. С учетом изменения площади сечения по высоте ствола ρ_{cp} определена им как величина, средневзвешенная по площади сечения

$$\rho_{cp} = \sum_{h=0}^1 \rho_{oi} d_i^2 / \sum_{h=0}^1 d_i^2; \quad (1.33)$$

где ρ_{oi} и d_i — плотность древесины в свежесрубленном состоянии и диаметр ствола без коры в i -м сечении. Переходя от дискретной формы записи (1.33) к интегральной, необходимо принять во внимание, что при выявлении взаимосвязи ρ_{oi} и ρ_{cp} , а также S и S_{cp} , из четырех факторов в соотношениях (1.32) определяющая роль принадлежит лишь относительной высоте h . Поэтому было записано:

для древесины

$$\rho_{cp} = \frac{\int_0^1 (\rho_{oi} d^2) dh}{\int_0^1 (d^2) dh}; \quad (1.34)$$

$$S_{cp} = \frac{\int_0^1 (S d^2) dh}{\int_0^1 (d^2) dh}; \quad (1.35)$$

для коры

$$\rho_{\text{cp}} = \frac{\int_0^1 \left\{ \rho_{\omega} \left[(2t + d)^2 - d^2 \right] \right\} dh}{\int_0^1 \left[(2t + d)^2 - d^2 \right] dh}; \quad (1.36)$$

$$S_{\text{cp}} = \frac{\int_0^1 \left\{ S \left[(2t + d)^2 - d^2 \right] \right\} dh}{\int_0^1 \left[(2t + d)^2 - d^2 \right] dh}; \quad (1.37)$$

где t – толщина коры по образующей ствола, см (Усольцев, 1988).

В (1.34) – (1.37) подынтегральные выражения $(\rho_{\omega} d^2)$, $(S d^2)$, d^2 , $\rho_{\omega}[(2t + d)^2 - d^2]$, $S[(2t + d)^2 - d^2]$, $[(2t + d)^2 - d^2]$ являются функциями только относительного местоположения по высоте ствола h , а d и t характеризуют соответственно диаметр ствола без коры и толщину коры на относительной высоте h . Поэтому при нахождении подынтегральных выражений в (1.34) – (1.37) появляется необходимость исследования «сбега» коры и ствола без коры, т.е. изменения соответственно их толщины и диаметра вдоль по стволу.

Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общие черты лесной растительности нижнего пояса Среднего Урала освещены в научных очерках П.Л. Горчаковского (1958); сводных типологических очерках по Среднему Уралу П.Л. Горчаковского (1959, 1961) и Н.А. Коновалова (1961), общих описаниях лесоводственно-географического плана В. Б. Сочавы (Растительный покров СССР, 1956) и Б.А. Чазова (1956) и др.

Природные условия горной лесорастительной области Среднего Урала обуславливают господство здесь темнохвойных материнских насаждений, в основном, елово-пихтовых. Темнохвойные леса по природе своей разновозрастны. На различных возрастных стадиях развития господствующего поколения основного лесообразователя – ели количество пихты не остается постоянным: в ряде типов еловых лесов встречаются насаждения с временным преобладанием пихты (например, в разнотравно-зеленомошниковых типах леса).

Поскольку лесорастительный эффект елово-пихтовых насаждений Среднего Урала дифференцируется главным образом условиями увлажнения, Б. П. Колесниковым были предложены группы типов лесорастительных условий по режиму увлажнения. Характерными группами типов лесорастительных условий на границе подзоны южной тайги и смешанных лесов по режиму увлажнения являются: свежие периодически сухие на покатых и крутых склонах южной экспозиции с горными серыми лесными и дерново-подзолистыми суглинистыми мелкими щебнистыми почвами (ельник осочково-липняковый, ельник-сосняк липняково-осочковый и ельник-сосняк ягодниковый, II–III классов бонитета); устойчиво свежие на пологих верхних и средних частях склонов с легкосуглинистыми или супесчаными серыми горно-лесными почвами на хорошо водопроницаемых породах (сосняк с темнохвойными породами травяно-липняковый, II), на покатых и крутых верхних и средних частях склона всех экспозиций с бурыми горно-лесными суглинистыми почвами на основных осадочных породах (ельник липняковый, II), пологие придолинные склоны и северные умеренно инсолируемые нижние части покатых и крутых склонов с дерново-подзолистыми и светло-серыми оподзоленными суглинистыми почвами (ельник травяно-зеленомошниковый, III); свежие и периодически влажные – на выпуклых вершинах возвышенностей с бурыми горно-лесными суглинистыми почвами на песчаниках и конгломератах (ельник крупнотравный, III), на платообразных вершинах, пологих северных склонах с серыми лесными оподзоленными слабо оглееными суглинистыми почвами на водоупорных осадочных породах (ельник кислично-разнотравный, III); устойчиво влажные – на ровных водораздельных плато, понижениях на вершинах и очень пологих склонах с дерново-подзолисто-глеевыми суглинистыми почвами на водоупоре из плотных пород (ельник высокотравно-хвощевый, IV); влажные и периоди-

чески сырые – слабовогнутые котловины на плоских водоразделах и очень пологих склонах с торфяно-глеевыми тяжелосуглинистыми и глинистыми неглубокими почвами (ельник осоково-хвощево-сфагновый, IV); устойчиво сырые и мокрые – на надпойменных террасах широких лесных долин вблизи коренного берега с торфянисто- и торфяно-глеевыми тяжелыми почвами (ельник хвощево-сфагновый V).

Для подзоны южной тайги в пределах Среднего Урала и Предуралья характерны высокопроизводительные елово-пихтовые и пихтово-еловые насаждения, сформировавшиеся на хорошо и достаточно дренированных легкосуглинистых дерново-подзолистых почвах. Преобладают насаждения с полнотой 0,7–1,0, с долей пихты в составе до 4–10 ед. и древесным запасом 300–350, реже 400 м³/га (Колесников, 1969).

2.1. Билимбаевское лесничество Свердловской области

Леса, подверженные воздействию СУМЗ, находятся в ведении Билимбаевского лесничества Свердловской области. Оно расположено на территории, подчинённой в административном отношении городу Первоуральску.

Лесорастительная зона и климат. По лесорастительному районированию Б.П. Колесникова (Колесников и др., 1973) территория лесничества отнесена к подзоне южно-таёжных лесов, приурочена к Среднеуральской горной провинции, однако западная часть входит в пределы Предуральской горной провинции, а юго-западные рубежи лесного массива граничат с подзоной широколиственных лесов. По лесохозяйственному районированию Свердловской области территория лесничества входит в зону защитного (лесохозяйственного) направления и использования лесного фонда.

Климат территории лесничества континентальный, умеренно холодный, влажный. Располагаясь в основном в низкогорьях и на подветренном западном склоне Уральского хребта, территория находится под сильным влиянием воздушных масс, приходящих с Русской равнины, и является причиной неустойчивой погоды. Наиболее полно в климатическом отношении территория лесхоза может быть охарактеризована данными метеостанции Кузино, имеющей ряд наблюдений с 1891 г.

Средние многолетние показатели (месячные и годовые) по этой станции приведены в табл. 2.1. Продолжительность вегетационного периода по средним многолетним данным составляет 156 дней, с 29 апреля по 19 сентября. Средняя продолжительность вегетационного периода 109 дней, с 20 мая по 7 сентября. Периоды со средней температурой воздуха от 00 до +100 весной и от +100 до 00 осенью продолжаются соответственно 41 день (с 9 апреля по 20 мая) и 30 дней (с 7 сентября по 7 октября). По средним многолетним данным господствуют ветры западных направлений. Повторяемость составляет 62 % с колебаниями по отдельным месяцам 52 – 72%. Средняя скорость ветра – 3,5 м/с, минимальная – 2,2 м/с. Наибольшая скорость в течение дня – в дневное время, наименьшая – в утренние и вечерние часы. Устойчивый снежный покров образуется с 1 ноября, разрушается 11 апреля. В отдельные годы снежный покров может появляться уже 18 сентября и сохраняться до 8 июня. Наибольшая высота снежного покрова – 85 см.

Таблица 2.1

Основные климатические показатели по данным метеостанции Кузино

Месяцы	Температура, С°			Количество осадков, мм	Высота снега, см	Относительная влажность, %	Преобладающие ветры	
	Средняя многолетняя	Абсолютная					Направление ветра	Скорость ветра, м/с
		Максимум	Минимум					
Январь	-16,2	+15	-46	23	35	79	ЮЗ	2,7
Февраль	-14,5	+8	-46	19	41	76	ЮЗ	3,0
Март	-8,1	+18	-44	22	40	72	ЮЗ	3,3
Апрель	+1,8	+26	-26	25	14	66	ЮЗ	3,0
Май	+9,2	+33	-16	47	–	60	З	3,2
Июнь	+14,4	+34	-4	68	–	64	З	2,9
Июль	+16,2	+37	-2	84	–	71	З	2,4
Август	+14,1	+34	-4	74	–	75	З	2,2
Сентябрь	+8,2	+29	-11	44	–	79	ЮЗ	2,8
Октябрь	+0,5	+23	-23	38	4	81	ЮЗ	3,5
Ноябрь	-7,9	+13	-43	36	13	81	ЮЗ	3,2
Декабрь	-14,2	+5	-46	33	26	81	ЮЗ	2,9
В среднем	0,3	37	-46	513	–	74	ЮЗ	2,9

Поздние весенние заморозки могут быть до 8 июня, ранние осенние – с 9 августа. Свободными от заморозков является часть июня, июль и начало августа. Глубина промерзания почвы составляет 36 – 109 см, достигая в отдельных районах 146 см. Продолжительность безморозного периода 94 дня.

В западной и центральной частях территории (Кузино, Билимбай) среднегодовая сумма осадков превышает 500 мм, в то время как в восточной части она меньше почти на 100 мм (табл. 2.2). Это существенно влияет на особенности лесообразовательного процесса, породную структуру лесов, пожароопасность территории. По данным всех метеостанций 70 – 80 % годового количества осадков приходится на тёплый период года.

К неблагоприятным факторам климата, отрицательно влияющим на рост и развитие древесной растительности, относятся, в первую очередь, поздние весенние и ранние осенние заморозки, побивающие молодые всходы и побеги и почти ежегодно вызывающие выжимание саженцев и всходов на пониженных участках рельефа с тяжёлыми глинистыми почвами, а также

Таблица 2.2

Климатические показатели по данным метеостанций в пределах территории лесничества

Станции	Высота над уровнем моря	Среднее количество осадков, мм		
		Годовое	За тёплый период	За холодный период
Кузино	333	513	380	113
Билимбай	330	542	407	135
Первоуральск	300	536	328	108

короткий вегетационный период (менее четырёх месяцев) с малым количеством ясных и сухих дней.

Характерными особенностями климата, наряду с его континентальностью, являются продолжительная зима (около 6 месяцев) и возможные заморозки в течение всего лета. Летние месяцы отличаются неустойчивой погодой, но этот период является самым благоприятным для роста и развития древесной и травяной растительности. К благоприятным климатическим факторам следует отнести достаточное количество тепла, поступающего к растениям и в почву.

В целом, климат территории благоприятен для успешного произрастания сосны, лиственницы, ели, пихты, берёзы, осины. Это подтверждает наличие на значительных площадях насаждений I – II класса бонитета, которые занимают 55% общей площади лесничества, или 64% покрытой лесом площади.

Увлажненность территории достаточная, лишь в поймах при близком залегании грунтовых вод, межхребтовых депрессиях – избыточная. Общая дренированность территории хорошая, о чём говорит малое распространение болот, занимающих 0,1% площади.

Рельеф и почвы. Согласно схеме геоморфологического районирования территория Билимбаевского лесничества восточной частью входит в состав осевой зоны Среднего Урала со среднегорным рельефом, западная – в зону Западного Урала с увало-холмистым рельефом. Для Западного Урала характерны три яруса. Самый низкий ярус заходит в пределы осевой зоны по долинам рек и является поверхностью выравнивания, сформировавшейся во время пойменной стадии развития пойменных террас рек. Над уровнем этого яруса возвышается Кирилианский Увал, сложенный устойчивыми осадочными породами.

Между Кирилианским Увалом и основным хребтом меридиально с севера на юг лесничество пересекает депрессия шириной 18 – 20 м. Это самая пониженная территория лесничества. Далее к востоку территория лесничества переходит к наиболее выровненному собственно Уральскому хребту. Речная сеть представлена рекой Чусовой и её притоками – реками Утка, Билимбайка, Осиповка и т. д.

Водораздельные пространства представлены покрытыми лесами возвышенностями с довольно пологими склонами, чередующимися с долинами рек. Преобладающая крутизна склонов не превышает 5–100. Лишь на отдельных участках по берегам Чусовой и Шишима встречаются склоны крутизной до 250 и скальные обнажения.

Наиболее значительные возвышенности на территории лесничества – горы Лысая, Белая, Тёплая, Дикая Сопка и др., абсолютные отметки которых достигают 450 – 470 м над уровнем моря. Абсолютная отметка водной поверхности – 300 м. Несмотря на значительные относительные высоты и сглаженный рельеф, лесной фонд отнесён к категории горных лесов. Отнесение лесничества к горным лесам обусловлено наличием на территории склонов большой протяжённости, приводящих к значительному увеличению скорости стока выпадающих осадков, большим водоохраным значением лесов, которое ещё в 1936 г. послужило основанием для включения территории лесничества в состав водоохранной зоны.

Почвенные условия лесничества довольно разнообразны. Исходя из общности физических свойств и однотипности требуемых мероприятий по повышению плодородия почв, они подразделяются на 5 групп.

В первую группу входят тёмно-серые среднеподзоленные и тёмно-серые глееватые почвы. По механическому составу это суглинистые почвы. Формируются под пологом ельников и сосняков ягодниковых, травяных, крупнопоротниковых, разнотравно-зеленомошных. Это наиболее плодородные почвы лесничества. Они достаточно обеспечены водой, имеют профиль большой мощности, обладают большим запасом почвенных элементов: содержание гумуса 12,7%; N – 0,7%; Ca+Mg – 26,7 мг-экв на 100 г почвы. Почвы сильно кислые, плохо обеспечены K и P.

Во вторую группу объединены серые лесные, средне- и сильноподзоленные, серые сильноподзоленные глееватые. По механическому составу эти почвы среднесуглинистые. На них растут ельники, сосняки ягодниковые, травяные, кисличники, приручьевые. Почвы обладают достаточным увлажнением, глеевые – избыточным увлажнением. Имеют мощный почвенный профиль, запас питательных веществ: гумуса – 8,7 %; Ca+Mg – 19,2 мг-экв на 100 г почвы; N – 0,5 %, почвы сильно кислые, плохо обеспеченные K, P, N.

В третью группу включены горно-лесные бурые маломощные (ненасыщенные), горно-лесные бурые типичные, горно-лесные бурые подзолистые почвы. Здесь формируются сосняки ягодниковые, травяно-липняковые, травяные, нагорные, ягодниково-липняковые. По механическому составу это средне- и тяжелосуглинистые, иногда легкосуглинистые почвы. Они отличаются дефицитом влаги, укороченным профилем, значительным запасом питательных веществ: гумуса – 11,3 %; Ca+M – 19,2 мг-экв на 100 г почвы; N – 0,5 %. Почвы сильно кислые, содержание P – 1,2 мг, K (в среднем) – 12,1 мг.

В четвертую группу входят дерново-луговые, глеевые, пойменные зернисто-глеевые. Формируются они в пониженных элементах рельефа, заняты в большинстве сенокосами и коренными типами леса – ельниками хвощевыми, высокотравными. Это почвы кислые с избыточным увлажнением, большим запасом гумуса – 7,5%, хорошо обеспечены калием.

В пятую группу входят почвы торфянистые и торфяно-болотные, имеющие водоохранное значение.

Гидрологические условия. Район расположения лесничества характеризуется довольно развитой гидрографической сетью, основная река – Чусовая с её притоками, которая относится к Волжско-Камскому бассейну. Ее особенность состоит в том, что она берёт начало на восточном склоне хребта, затем пересекает весь хребет и впадает в Каму в западной части Уральского хребта. Для рек бассейна Чусовой характерны летние паводки, однако преобладает весенний сток (60 % годового). Выполнение лесом водоохранно-защитных свойств зависит от характера размещения леса на водосборной площади. Наличие густо развитой гидрографической сети обеспечивает хороший дренаж почв, и заболоченность территории незначительная.

Территория лесничества при достаточно высокой общей лесистости отличается и благоприятным расположением лесов по водосбору. Леса

расположены достаточно равномерно. Незначительная эрозия наблюдается на отдельных лесосеках летней рубки при расположении трелёвочных волоков и временных лесовозных дорог вдоль склонов, если почва в период работ находилась в переувлажнённом состоянии. Смена условно-коренных типов леса производными, приводящая часто к резкому преобладанию лиственных пород, сопровождается в большинстве случаев некоторым снижением водопроницаемости почв, а следовательно, водоохранно-регулирующих свойств.

Основные показатели лесного фонда характеризуются данными таблиц 2.3 и 2.4, из которых следует, что преобладает хвойная группа пород, занимающих 56% покрытых лесом земель. Лесной фонд по группам возраста представлен равномерно, за исключением приспевающих древостоев, которые занимают 12% покрытой лесом площади. Площадь спелых насаждений составляет 31%, из них хозяйственно ценные насаждения занимают 64%. Лесная площадь, пригодная для лесовыращивания, составляет 91% и используется достаточно эффективно. На нелесные земли приходится 8% общей площади лесничества, болота занимают 43,3 га.

Не покрытые лесом площади (1646,7 га) составляют 1,3% от общей площади. В лесничестве преобладают насаждения сосны – 35966,9 га, берёзы – 36094,8 га, которые занимают 32,3 и 32,5% покрытой лесом площади соответственно. Средний класс бонитета по лесничеству II,3, что свидетельствует о достаточно высокой продуктивности насаждений. На территории лесничества преобладают среднеполнотные насаждения, что подтверждается средней общей полнотой 0,7. Данные распределения насаждений по полнотам и бонитетам показывают, что наиболее производительными являются сосняки.

Распределение насаждений по классам возраста в целом равномерное. Лишь с IV класса возраста отмечается резкое снижение площади насаждений, что объясняется началом их поступления в рубку. Средний возраст насаждений составляет 67 лет, наибольший средний возраст насаждений у лиственницы – 109 лет.

Самый высокий средний запас в сосновых насаждениях – 252 м³. Общий средний прирост насаждений исчисляется суммарно по отдельным породам и составляет 352,2 м³, а общий текущий прирост – 270,7 м³. Средний прирост на 1 га в целом по лесничеству составляет 3,2 м³ и превышает средний по области на 0,5 м³.

Типы условий произрастания и типы леса. Значительные площади занимают хвойные леса. Основная площадь сосновых типов леса представлена сосняками-ельниками травяными (С–Етр) и сосняками-ельниками ягодниковыми (С–Еяг), которые занимают 21 и 12% площади соответственно. Из еловых типов преобладает ельник травяно-липняковый (Етрл), занимающий 15% площади. Рубки и пожары способствуют формированию чистых сосняков и елово-берёзовых насаждений, под пологом которых формируется удовлетворительный подрост или второй ярус из темнохвойных пород. Из хвойных пород распространены ель и пихта, по запасу представленные примерно поровну. Явное превосходство ели в темнохвойных

Таблица 2.3
Распределение покрытой лесом площади Билимбаевского лесничества по преобладающим породам и классам бонитета, га

Преобладающая порода	Классы бонитета										Итого	%	Средний класс бонитета
	Ia	I	II	III	IV	V	Va						
Сосна	746,8	13089,2	18031	399,2	84,3	12,9	10,0				35966,9	32,3	I,8
% к «Итого»	2,1	36,4	50,1	11,1	0,2	-	-				100	-	-
Ель	2,3	243	5672,5	13617,9	983,4	120,3	6,4				20645,8	18,6	II,7
% к «Итого»	-	1,2	27,8	65,9	4,8	0,6	-				100	-	-
Пихта	-	9,6	1120,7	3915,5	126,5	-	-				5172,3	4,7	III,8
% к «Итого»	-	0,2	21,7	75,7	2,5	-	-				100	-	-
Лиственница	4,8	169,4	170	54,6	-	-	-				398,8	0,4	III,0
% к «Итого»	1,2	42,5	42,6	13,7	-	-	-				100	-	-
Клён	-	-	-	-	-	4,7	-				4,7	-	V,0
% к «Итого»	-	-	-	-	-	100	-				100	-	-
Ива	-	-	-	-	3,3	-	-				3,3	-	-
% к «Итого»	-	-	-	-	100	-	-				100	-	-
Берёза	6,2	2335,9	25625,7	7596,4	490,4	39,1	1,1				36094,8	32,5	III,3
% к «Итого»	-	6,5	71	21	1,4	0,1	-				100	-	-
Осина	475,4	9203,2	1959,6	39,1	-	-	-				11639,1	10,5	I,3
% к «Итого»	4,1	79,1	16,8	0,3	-	-	-				100	-	-
Ольха	-	-	-	41,0	690,5	470,7	15,0				1217,2	1,1	IV,3
% к «Итого»	-	-	-	3,4	56,7	38,7	1,2				100	-	-
Липа	-	-	4,6	42,6	-	-	-				47,2	-	II,8
% к «Итого»	-	-	9,7	90,3	-	-	-				100	-	-
Тополь	5,3	2,5	9,7	17,0	-	-	-				34,5	-	II,3
% к «Итого»	15,4	7,2	28,1	49,3	-	-	-				100	-	-
Итого	763,1	16325	59827,7	31220,3	2379,3	647,7	32,5				111195,6	100	III,3
%	0,7	-	-	-	2,1	-	-				-	-	-

Таблица 2.4
Распределение покрытой лесом площади Биллимбаевского лесничества по преобладающим породам и полнотам, га

Преобладающая порода	Классы полнот										Итого	Средняя полнота
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0				
Сосна	60	634,1	2425,1	6892,2	11217,4	8451,8	370,5	2580,6	3596,9	0,69		
% к «Итого»	0,2	1,7	6,7	19,2	31,2	23,5	10,3	7,2	100	—		
Ель	20,3	888,3	1859,1	4752,2	7521,3	4163,3	745,6	793,3	20643,5	0,65		
% к «Итого»	0,1	4,3	9	23	36,4	20,2	3,6	3,4	100	—		
Пихта	2,1	204,2	380,6	845,1	2113,8	1225,2	324,6	76,7	5172,3	0,65		
% к «Итого»	—	3,9	7,4	16,3	40,9	23,7	60,3	1,5	100	—		
Лиственница	11,1	47,8	60	110	98,4	24,8	44,3	2,4	398,8	0,61		
% к «Итого»	2,8	12	15	27,6	24,7	6,2	11,1	0,6	100	—		
Клён	—	—	—	—	—	—	4,7	—	4,7	0,90		
% к «Итого»	—	—	—	—	—	—	100	—	100	—		
Ива	—	3,3	—	—	—	—	—	—	3,3	0,40		
% к «Итого»	—	100	—	—	—	—	—	—	100	—		
Берёза	34,6	497,8	1036,3	3277,6	8454,7	9931,5	4784,8	4977,5	32994,8	0,72		
% к «Итого»	0,1	1,5	3,1	9,9	25,6	30,2	14,5	15,1	100	—		
Осина	35,8	122,7	258,4	666,0	2058,1	3214,6	2392,1	2891,4	11639,1	0,79		
% к «Итого»	0,3	1,1	2,2	5,7	17,7	27,6	20,6	24,8	100	—		
Ольха	55,8	629,7	349,4	123,6	57,0	—	1,7	—	1217,2	0,50		
% к «Итого»	4,6	51,7	28,7	10,2	4,7	—	0,1	—	100	—		
Липа	—	0,5	0,7	16,8	15,3	8,3	4,6	1,0	42,2	0,73		
% к «Итого»	—	1,1	1,5	35,6	32,4	17,6	9,7	2,1	100	—		
Тополь	—	—	—	—	—	1,8	—	6,0	7,8	0,95		
% к «Итого»	—	—	—	—	—	23,1	—	76,9	100	—		
Итого	219,7	3028,4	6770,3	16683,5	31536,0	27021,4	14707,4	11228,9	10895,6	0,70		
%	0,2	2,7	6,1	15	28,4	24,3	13,2	10,1	100	—		

древостоях имеет место на влажных местоположениях, тяжёлых по механическому составу почвах.

После проведения сплошных рубок основным лесообразователем является берёза, возобновляющаяся почти во всех типах леса. Площадь березняков превышает 32%. Осина занимает 11% площади, ольха – 1,1 %. Возобновление хвойными породами происходит с преобладанием ели (53 %), пихты (39%) и сосны (3%).

Характеристика загрязнения участков, где заложены наши пробные площади, приведена в рассмотренной далее табл. 9.1.

2.2. Нижнесергинское лесничество Свердловской области

Нижнесергинское лесничество общей площадью 186 тыс. га расположено в юго-западной части Свердловской области и находится на территории Нижнесергинского административного района, занимая центральную и южную его части. Контора лесничества расположена в г. Нижние Серги, в 120 км от г. Екатеринбурга.

По схеме лесорастительного районирования Свердловской области район расположения Нижнесергинского лесхоза относится к зоне широколиственно-хвойных лесов. При этом его восточная часть входит в южно-таежный горноуральский пихтово-еловый район, среднеуральскую низкогорную провинцию Уральской горнолесной области. Западная его часть относится к горноуральскому темнохвойно-широколиственному району Пред-уральской предгорной провинции (Колесников и др., 1973).

По природным условиям территории Билимбаевского и Нижнесергинского лесничеств близки, поэтому ограничимся краткой характеристикой основных показателей лесного фонда последнего.

В лесном фонде Нижнесергинского лесничества наибольшую долю занимают лесные земли – 89%, в том числе покрытая лесом площадь 84%. Из покрытой лесом площади 92% составляют насаждения естественного происхождения и 8% – лесные культуры, переведенные в покрытую лесом площадь. Несомкнутые культуры составляют 1,7% (3,3 тыс. га). Не покрытая лесом площадь представлена в основном необлесившимися вырубками последних лет и прогалинами – 89%. В нелесной площади наибольшую долю занимают сенокосы, пастбища, дороги и просеки, всего 18,0 тыс. га или 0,9%.

В лесном фонде преобладают насаждения хвойных пород, занимающие 58% покрытой лесом площади, из них наибольшую часть (29%) занимают сосняки. Лиственные породы занимают 43% покрытой лесом площади, в том числе березняки 27% и осинники 11%. Насаждения характеризуются довольно высокой производительностью, средний класс бонитета II,5. Высокопродуктивные древостои (I–II классы бонитета) занимают 49% от общей покрытой лесом площади. Наибольшую производительность имеют сосняки. Низкобонитетные насаждения (IV–Va классы бонитета) занимают 3% площади и представлены в основном березняками и ельниками.

Средняя полнота древостоев 0,69. Низкополнотные насаждения (0,3–0,4) составляют 2% от всей площади покрытых лесом площадей. Из числа

высокополнотных (0,8–0,9) насаждений всех пород около 80% составляют молодняки и средневозрастные насаждения.

Распределение насаждений преобладающих пород по классам возраста неравномерное. Возрастная структура насаждений сосны характеризуется преобладанием III–IV классов возраста (55%), а ели и пихты I–III классов (39%). Наименьшая площадь приходится IV–VI классы возраста: по сосне, ели и пихте соответственно 11, 28 и 19%. Средний возраст древостоев по лесничеству составляет 59 лет.

Основные типы леса Нижнесергинского лесничества: сосняк нагорный IV класса бонитета; сосняк разнотравный III класса бонитета; ельник нагорный IV класса бонитета и ельник сфагновый V класса бонитета.

В сосняке и ельнике нагорном часто наблюдается неудовлетворительное возобновление. Эти типы леса имеют огромное почвозащитное значение. Лесовозобновление производить трудно, т.к. нагорные типы лесов находятся на вершинах холмов с недоразвитыми, сухими щебеночными почвами. В сосняке разнотравном возобновление неудовлетворительное и под пологом леса, и на вырубках. Вырубки ельника сфагнового обычно подвержены или задернению, или заболачиванию и часто заняты лиственными породами (береза и осина).

2.3. Кыштымское лесничество Челябинской области

Географическое положение. Кыштымское лесничество, куда входит лесной фонд района исследований, расположено на двух административных территориях – городов Кыштыма и Карабаша, в котором находится Карабашский медеплавильный комбинат (КМК) и который удален от г. Челябинска на расстояние 120 км, соединяясь с ним шоссейной дорогой. Географическое положение района исследований определяется 55°20'–55°40' северной широты и 60°00'–60°30' восточной долготы.

Общая площадь лесничества составляет 121,3 тыс. га. Протяженность с севера на юг – 55 км, с востока на запад – 40 км. С запада Кыштымское лесничество граничит с Уфалейским и Кусинским, на севере с Уфалейским и Каслинским лесничествами, на юге со Златоустовским и Миасским, а на востоке с Аргаяшским и Озерским лесничествами.

По лесорастительному районированию Б.П. Колесникова (1969) территория лесничества находится в лесной зоне в Уральской горно-лесной лесорастительной области. Согласно схеме лесохозяйственного районирования этот район лесничества относится к Южно-Уральской провинции горно-таежных и смешанных лесов. Другая, более обширная центральная часть, относится к Уфалейско-Сысертскому округу Восточно-Уральской провинции предгорных березово-сосновых лесов. На восточной окраине лесничества выделяют третий лесорастительный район – Восточный.

В соответствии с геоботаническим районированием территория исследований входит в подзону предлесостепных сосново-березовых лесов (Колесников, 1961).

Климат. Согласно Б.П. Колесникову (1969) западные склоны Южного Урала и его осевую полосу следует относить к атлантико-континентальной

лесной климатической области. На формирование режима погоды в районе исследований оказывают влияние географические условия, процессы циркуляции воздушных масс, поступление солнечной радиации и характер подстилающей поверхности.

Климат района исследований формируется под большим влиянием воздушных масс трёх типов: западных – влажных и прохладных; северных – холодных и относительно сухих; южных – тёплых и сухих (Кирин, 1969; Оленев, 1965).

Характерными особенностями климата, наряду с его континентальностью, являются продолжительная зима (около 6 месяцев), короткая весна (менее 2 месяцев) и возможное наличие заморозков в течение всего лета. Летние месяцы отличаются неустойчивой, иногда жаркой погодой.

Основные климатические характеристики района исследований, составленные на основе данных многолетних наблюдений метеорологической станции г. Верхнего Уфалея, приведены в табл. 2.5.

Глубина снежного покрова максимальная в марте – 52 см. Средняя максимальная глубина промерзания почвы – 92 см. Средняя дата замерзания рек – 15–25 ноября, вскрытия – 20 – 30 апреля. Средняя дата первых осенних заморозков 6–17 сентября, последних весенних – 22 мая и 4 июня. Из всех климатических показателей наибольшее значение для лесного хозяйства имеет

Таблица 2.5

Климатическая характеристика района исследований

Месяц	Температура воздуха, °С			Количество осадков, мм	Глубина снежного покрова, см	Относительная влажность воздуха, %	Ветры	
	Средняя многолетняя	Абсолютная					Направление	Скорость, м/с
		Максимальная	Минимальная					
Январь	-16,30	0	-48	18	45	85	ЮВ, СЗ	4,00
Февраль	-15,40	1	-33	14	50	80	Ю, З	3,60
Март	-8,20	10	-24	18	52	70	ЮВ, З	4,20
Апрель	1,60	14	-17	25	20	58	Ю, ЮЗ	3,20
Май	9,30	29	-3	48	–	52	Ю, СЗ	3,10
Июнь	14,20	34	1	79	–	52	ЮЗ, З	3,00
Июль	15,70	36	7	97	–	56	Ю, СЗ	2,40
Август	13,50	28	2	71	–	71	Ю, СЗ	2,20
Сентябрь	8,10	27	3	54	–	74	Ю, СЗ	3,10
Октябрь	0,70	11	-18	43	3	78	Ю, ЮЗ, СЗ	4,00
Ноябрь	-8,10	7	-28	33	15	80	СЗ, З, Ю	4,10
Декабрь	-14,10	3	-32	23	30	79	ЮЗ, З	4,10
Среднее за год	0,10	36	-48	523	–	70	–	3,40

продолжительность вегетационного периода, которая варьирует в пределах 50 – 160 дней. Местные древесные породы за этот срок вполне успевают закончить годичный цикл развития и хорошо подготовиться к зиме.

Преобладают ветры западных, юго-западных и северо-западных направлений. Средняя скорость ветра 3,4 м/с. Наибольшей силы ветры бывают в январе, октябре, ноябре и декабре месяцах. Количество дней с ветрами достигает 301 в год, т.е. 25 дней в месяц.

Увлажнение территории оценивается условным показателем увлажнения – гидротермическим коэффициентом Селянинова (ГТК), который выражается отношением количества выпадающих осадков к их расходу за период с активной температурой, превышающей +10°C (умноженной на 10). В районе исследований ГТК варьирует по отдельным годам в пределах 0,8 – 2,0 (Агроклиматический справочник..., 1960), что свидетельствует о благоприятном сочетании тепла и влаги.

Рельеф и почвы. Рельеф района исследований представляет собой сочетание относительно невысоких увалов (с высотами редко более 400 – 600 м) с межувальными понижениями (Иванова, 1962; Оленев, 1965). Почвы формируются на продуктах выветривания осадочных и кристаллических пород, образующих элювиальные и делювиальные отложения склонов и междуречий. В горах это обычно грубый (щебнистый и каменистый) элювий кристаллических и метаморфических пород (Оленев, 1965). Коренные породы залегают неглубоко, часто выходят на поверхность (Фильрозе, 1965; Колесников, 1969). Миаскиты, сиениты, граниты, перидотиты, змеевики, гранито-гнейсы и кварциты, слагающие горные хребты в подзоне предлесостепных сосново-березовых лесов, отличаются высокой трещиноватостью. Это способствует быстрому переводу поверхностных вод в глубинные и хорошему дренажу почв на вершинах и склонах гор. При умеренно-прохладном влажном климате подзоны эти условия оптимальны для произрастания древесной растительности (Фильрозе, 1965).

После уничтожения древесного полога, особенно на скелетных и маломощных почвах, отчетливо проявляется водная почвенная эрозия. В результате действия эрозии в верхнем горном поясе образуются каменистые «поля» и «реки», а в среднем и нижнем поясах повышается скелетность почвы, местами образуется «плащ» щебенки, ухудшается водный режим (Колесников, 1969). Сохранение существующих лесов на склонах является надежной гарантией предотвращения эрозионных процессов и борьбы с ними.

Рельеф является одним из важнейших факторов при изучении антропогенного загрязнения. Низшие абсолютные отметки в центральной части города Карабаш находятся на уровне 311–316 м. Наивысшая отметка Золотой Горы, возвышающейся над г. Карабаш с востока, равна 611,9 м. Увалы, окаймляющие город с запада, имеют отметки от 410 до 473 м. Таким образом, превышение окружающих гор над основной частью города составляет 100 – 300 м, и условия замкнутой долины способствуют появлению температурных инверсий, конвективных потоков воздуха. Все это создает чрезвычайно сложную картину распределения аэропромвыбросов и определяет их перенос на относительно небольшие расстояния, а в безветренную погоду – оседание на городской территории.

В районе исследований широко распространены горные серые лесные почвы, к которым приурочены смешанные и лиственные леса. По своим генетическим признакам горные почвы имеют большое сходство с почвенными аналогами равнинных территорий, но отличаются маломощностью и скелетностью. Такие почвы более податливы к разрушению при уничтожении или частичном нарушении растительности (Степанов и др., 1992).

Все шлейфы склонов с берёзово-сосновыми лесами характеризуются широким распространением темно- и светло-серых, а также серых лесных почв (Агроклиматический справочник 1960; Иванова, 1962; Оленев, 1965; Кирин, 1969). Среди серых лесных почв встречаются горные дерново-лесные почвы под сосново-березовыми лесами с травяно-моховым покровом на вершинах наиболее высоких увалов с маломощной щебнистой толщей и на склонах холодных экспозиций (Иванова, 1962; Краткий географический справочник, 1995). Открытые участки с пологими склонами заняты горными черноземами, чаще всего оподзоленными и деградированными, встречаются также бурые лесные почвы (Иванова, 1962; Кирин, 1969).

По механическому составу наибольшее распространение имеют суглинистые и супесчаные почвы. Подзолообразовательный процесс на Южном Урале сильно ослаблен по сравнению с почвами Среднего Урала и таежной зоны европейской части РФ. При смене сосняков на березняки на Южном Урале почвы эволюционируют в сторону серых лесных почв (Абатуров, 1962). Прирусловые поймы рек и ручьев, заболоченные долины и заросшие озерные западины представлены лугово-болотными и дерново-глеевыми почвами разной мощности. В заросших озерных западинах преобладают торфяно-болотные и торфяные почвы.

Гидрологические условия. На территории лесничества имеется значительное количество больших и малых озёр. Общая площадь водной поверхности озёр (3741 га) составляет 3,1 % от общей площади лесничества. Озера Сугомак и Серебры, а также река Киалим, являются источниками питьевой воды городов Кыштым и Карабаш.

Из наиболее значительных по площади болот следует выделить «Козье болото» – в Егозинском лесничестве, «Долгое» и «Егустинское» болота – в Кыштымском лесничестве. Общая площадь болот составляет 3435 га или 2,8% общей площади лесничества.

Таксационная характеристика лесного фонда Кыштымского лесничества. Леса в районе исследований играют защитную и средостабилизирующую роль. Промышленное освоение лесов района исследований заметно отразилось на их состоянии (табл. 2.6). Защитные леса занимают 116,8 тыс. га, а эксплуатационные – 4,1 тыс. га, что в процентном отношении составляет 97 и 3% соответственно. На большей части (59%) покрытой лесом площади произрастают мягколиственные, в основном, березовые насаждения.

В составе хвойных лесов преобладают сосновые насаждения, составляющие 86% общей площади, занимаемой хвойными породами. В лесном фонде лесничества имеются также насаждения с преобладанием ели, пихты, лиственницы, ольхи серой и чёрной, осины, липы, ивы древовидной. Твёр-

Таблица 2.6

**Распределение лесов по целевому назначению
(в числителе – га, в знаменателе – %)**

Целевое назначение лесов	Общая площадь	В т.ч. покрытая лесной растительностью
Защитные, в т.ч. по категориям:	$\frac{116765}{97}$	$\frac{103246}{97}$
а) Леса I и II зон санитарной охраны источников водоснабжения	$\frac{97058}{80}$	$\frac{86990}{81}$
б) Лесопарковая часть зеленой зоны	$\frac{13271}{11}$	$\frac{10831}{10}$
в) Леса, имеющие научно-историческое значение	$\frac{1991}{2}$	$\frac{1609}{2}$
г) Противозрозионные леса	$\frac{1931}{2}$	$\frac{1727}{2}$
д) Защитные полосы вдоль железных дорог	$\frac{862}{1}$	$\frac{794}{1}$
е) Защитные полосы вдоль автодорог	$\frac{97}{0}$	$\frac{75}{0}$
ж) Лесохозяйственная часть зеленой зоны	$\frac{631}{0}$	$\frac{573}{0}$
з) Запретные полосы по берегам рек, озер и водохранилищ	$\frac{924}{0}$	$\frac{647}{0}$
Эксплуатационные леса	$\frac{4086}{3}$	$\frac{3727}{3}$
Всего по лесничеству	$\frac{120873}{100}$	$\frac{106973}{100}$

долиственные насаждения (с преобладанием клёна) занимают менее 0,01% территории лесного фонда.

Распределение древостоев по возрастным группам неравномерное: 66% покрытых лесной растительностью земель занято средневозрастными насаждениями и только 15% молоднякам, что является следствием интенсивных рубок в прошлом (табл. 2.7). На долю спелых древостоев приходится 7 и приспевающих – 12% общей покрытой лесной растительностью площади. В целом по лесничеству преобладают насаждения V класса возраста.

Данные табл. 2.8 свидетельствуют о преобладании среднепродуктивных насаждений. Средний класс бонитета сосновых насаждений – II,3; еловых – III,3; пихтовых – III,0; лиственницы – III,0; берёзовых – II,7; осиновых – II,5, а всего по лесничеству – II,6. Насаждения I и Ia классов бонитета занимают 3% площади, насаждения V и Va классов – 2%.

Высокопроизводительные насаждения Ia–II классов бонитета составляют 51% площади, что подтверждает благоприятные условия для про-

Таблица 2.7

**Распределение площади и запаса насаждений по классам возраста
(в числителе – га, в знаменателе – тыс. м³)**

Преобладающая порода	Классы возраста								Итого
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII и выше	
Сосна	<u>3729</u> 159,5	<u>3822</u> 50,7	<u>5780</u> 1273,9	<u>8116</u> 2236,2	<u>9921</u> 2931,1	<u>4180</u> 1200,0	<u>1459</u> 388,8	<u>464</u> 122,4	<u>37471</u> 8812,1
Ель	<u>766</u> 18,4	<u>198</u> 11,5	<u>44</u> 6,5	<u>239</u> 42,7	<u>1207</u> 237,8	<u>716</u> 135,5	<u>1367</u> 224,9	<u>348</u> 46,8	<u>4885</u> 724,1
Пихта	<u>34</u> 0,8	<u>124</u> 6,7	<u>101</u> 14,2	<u>248</u> 45,7	<u>411</u> 80,7	<u>115</u> 24,2	<u>63</u> 11,5	–	<u>1096</u> 183,8
Лиственница	<u>14</u> 0,4	<u>30</u> 4,5	–	<u>4</u> 0,3	<u>21</u> 4,7	<u>74</u> 20,2	<u>99</u> 20,2	<u>62</u> 11,7	<u>304</u> 62
Итого хвойные	<u>4543</u> 179,1	<u>4174</u> 523,4	<u>5925</u> 1294,6	<u>8607</u> 2324,9	<u>11560</u> 3254,3	<u>5085</u> 1379,9	<u>2988</u> 646,1	<u>874</u> 180,9	<u>43756</u> 9783,2
Доля хвойных по площади, %	10	10	13	20	26	12	7	2	100
Береза	<u>1678</u> 16,0	<u>5261</u> 166,8	<u>3568</u> 248,6	<u>4074</u> 439,3	<u>10708</u> 1468,5	<u>12194</u> 1946	<u>11699</u> 1980,6	<u>7638</u> 1282,1	<u>56820</u> 7547,9
Осина	<u>83</u> 1,9	<u>180</u> 9,4	<u>183</u> 17	<u>863</u> 118,5	<u>678</u> 115,1	<u>723</u> 138	<u>704</u> 141,4	<u>104</u> 18,8	<u>3518</u> 560,1
Ольха серая	<u>17</u> 0,3	<u>83</u> 3,6	<u>225</u> 17,4	<u>247</u> 21,9	<u>141</u> 15,4	<u>47</u> 6,3	<u>25</u> 2,9	–	<u>785</u> 67,8
Ольха черная	<u>12</u> 0,1	<u>36</u> 0,7	<u>71</u> 4,8	<u>44</u> 4,0	<u>66</u> 7,0	<u>91</u> 12,2	<u>38</u> 5,6	<u>10</u> 1,2	<u>368</u> 35,6
Липа	<u>41</u> 1,0	<u>64</u> 3,0	<u>56</u> 6,2	<u>80</u> 12,0	<u>119</u> 22,6	<u>286</u> 59,0	<u>552</u> 125,6	<u>516</u> 119,9	<u>1714</u> 349,3
Тополь	–	–	<u>–</u> 0,1	–	–	–	–	–	<u>–</u> 0,1
Прочие	<u>7</u> 0,1	<u>3</u> 0,1	–	<u>1</u> 0,1	–	–	–	–	<u>11</u> 0,3
Итого мягко-лиственные	<u>1838</u> 19,4	<u>5627</u> 183,6	<u>4103</u> 294,1	<u>5309</u> 595,8	<u>11712</u> 1628,6	<u>13341</u> 2161,5	<u>13018</u> 2256,1	<u>8268</u> 1422	<u>63216</u> 8561,1
Доля лиственных по площади, %	3	9	6	8	18	22	21	12	100
Всего	<u>6381</u> 198,5	<u>9801</u> 707,0	<u>10028</u> 1588,7	<u>13917</u> 2920,8	<u>23272</u> 4882,9	<u>18426</u> 3541,4	<u>16006</u> 2902,2	<u>9142</u> 1602,9	<u>106973</u> 18344,4
Доля, %	6	9	10	13	22	17	15	8	100

Таблица 2.8

**Распределение площади покрытых лесной растительностью земель
по классам бонитета (в числителе – га, в знаменателе – %)**

Преобладающая порода	Классы бонитета							Итого
	I ^a	I	II	III	IV	V	V ^a	
Сосна	$\frac{12}{0}$	$\frac{2886}{8}$	$\frac{23549}{63}$	$\frac{9854}{26}$	$\frac{843}{2}$	$\frac{290}{1}$	$\frac{37}{0}$	$\frac{37471}{100}$
Ель	$\frac{0}{0}$	$\frac{4}{0}$	$\frac{500}{10}$	$\frac{3033}{62}$	$\frac{843}{17}$	$\frac{306}{6}$	$\frac{199}{4}$	$\frac{4885}{100}$
Пихта	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{134}{12}$	$\frac{842}{77}$	$\frac{121}{11}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1097}{100}$
Лиственница	$\frac{0}{0}$	$\frac{22}{7}$	$\frac{58}{19}$	$\frac{111}{37}$	$\frac{107}{35}$	$\frac{5}{2}$	0	$\frac{303}{100}$
Итого хвойные	$\frac{12}{7}$	$\frac{2912}{56}$	$\frac{24241}{32}$	$\frac{13840}{4}$	$\frac{1914}{1}$	$\frac{601}{-}$	$\frac{236}{-}$	$\frac{43756}{100}$
Клен	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{100}$
Итого твердолиственные	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{100}$
Береза	$\frac{0}{0}$	$\frac{26}{0}$	$\frac{26152}{46}$	$\frac{23603}{42}$	$\frac{5856}{10}$	$\frac{1129}{2}$	$\frac{54}{0}$	$\frac{56820}{100}$
Осина	$\frac{0}{0}$	$\frac{2}{0}$	$\frac{1619}{46}$	$\frac{1875}{53}$	$\frac{21}{1}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{3518}{100}$
Ольха серая	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{5}{1}$	$\frac{381}{49}$	$\frac{384}{49}$	$\frac{15}{2}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{785}{100}$
Ольха черная	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{28}{8}$	$\frac{218}{59}$	$\frac{122}{33}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{368}{100}$
Липа	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{23}{1}$	$\frac{1550}{90}$	$\frac{141}{8}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1714}{100}$
Ива древовидная	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{10}{91}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{11}{100}$
Итого мягколиственные	$\frac{0}{0}$	$\frac{28}{0}$	$\frac{27828}{44}$	$\frac{27628}{44}$	$\frac{6534}{10}$	$\frac{1145}{2}$	$\frac{54}{0}$	$\frac{63217}{100}$
Всего по лесничеству	$\frac{12}{0}$	$\frac{2940}{3}$	$\frac{52069}{48}$	$\frac{41469}{39}$	$\frac{8448}{8}$	$\frac{1746}{2}$	$\frac{290}{0}$	$\frac{106974}{100}$

израстания основных лесобразующих пород на большей части территории лесничества.

Насаждения лесничества характеризуются относительно невысокой полнотой 0,67, в том числе хвойных 0,65 и мягколиственных 0,68. Насаждения с полнотой 0,3–0,4 занимают 5% площади. Доля высокополнотных (0,8–1,0) насаждений составляет 26% (табл. 2.9).

Согласно распределению площадей покрытых лесом земель по группам типов леса и преобладающим породам (табл. 2.10) наибольшую площадь занимают ягодниково-зеленомошная группа типов леса – 36%.

Таблица 2.9

**Распределение площади покрытых лесом земель по полнотам
(в числителе – га, в знаменателе – %)**

Преобладающая порода	Полнота								Итого
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Сосна	$\frac{356}{1}$	$\frac{1286}{3}$	$\frac{3057}{8}$	$\frac{9436}{25}$	$\frac{13722}{37}$	$\frac{7964}{21}$	$\frac{1476}{4}$	$\frac{171}{0}$	$\frac{37471}{100}$
Ель	$\frac{409}{8}$	$\frac{522}{11}$	$\frac{644}{13}$	$\frac{2046}{42}$	$\frac{973}{20}$	$\frac{135}{3}$	$\frac{52}{1}$	$\frac{99}{2}$	$\frac{4885}{100}$
Сихта	$\frac{28}{3}$	$\frac{105}{10}$	$\frac{114}{10}$	$\frac{606}{55}$	$\frac{235}{21}$	$\frac{8}{1}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1096}{100}$
Лиственница	$\frac{24}{8}$	$\frac{65}{21}$	$\frac{66}{22}$	$\frac{69}{23}$	$\frac{51}{17}$	$\frac{22}{7}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{304}{100}$
Итого хвойные	$\frac{817}{2}$	$\frac{1981}{4}$	$\frac{3881}{9}$	$\frac{12157}{28}$	$\frac{14981}{34}$	$\frac{8129}{19}$	$\frac{1540}{3}$	$\frac{270}{1}$	$\frac{43756}{100}$
Клён	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{100}$
Итого твёрдо-лиственные	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{100}$
Берёза	$\frac{616}{1}$	$\frac{1844}{3}$	$\frac{4650}{8}$	$\frac{13428}{24}$	$\frac{20752}{37}$	$\frac{13582}{24}$	$\frac{1453}{3}$	$\frac{495}{1}$	$\frac{56820}{100}$
Осина	$\frac{36}{1}$	$\frac{66}{2}$	$\frac{94}{3}$	$\frac{450}{13}$	$\frac{1299}{37}$	$\frac{1345}{38}$	$\frac{205}{6}$	$\frac{23}{1}$	$\frac{3518}{100}$
Ольха серая	$\frac{8}{1}$	$\frac{46}{6}$	$\frac{245}{31}$	$\frac{340}{43}$	$\frac{114}{15}$	$\frac{28}{4}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{785}{100}$
Ольха черная	$\frac{2}{1}$	$\frac{18}{5}$	$\frac{42}{11}$	$\frac{94}{26}$	$\frac{143}{39}$	$\frac{66}{18}$	$\frac{3}{1}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{368}{100}$
Липа	$\frac{1}{0}$	$\frac{35}{2}$	$\frac{180}{11}$	$\frac{493}{29}$	$\frac{620}{36}$	$\frac{297}{17}$	$\frac{84}{5}$	$\frac{4}{0}$	$\frac{1714}{100}$
Ива древовидная	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{10}{91}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{11}{100}$
Итого мягко-лиственные	$\frac{663}{1}$	$\frac{2009}{3}$	$\frac{5212}{8}$	$\frac{14815}{24}$	$\frac{22928}{36}$	$\frac{15318}{24}$	$\frac{1749}{3}$	$\frac{522}{1}$	$\frac{63216}{100}$
Всего по лесничеству	$\frac{1480}{1}$	$\frac{3991}{4}$	$\frac{9093}{9}$	$\frac{26972}{25}$	$\frac{37909}{35}$	$\frac{23447}{22}$	$\frac{3289}{3}$	$\frac{792}{1}$	$\frac{106973}{100}$

В данную группу входят ягодниковый (производный с утратой мхов и лишайников), разнотравно-злаковый (производный с утратой брусники, черники), злаковый (производный с утратой видов лесного разнотравья) типы леса. Из сосновых насаждений к этим типам леса отнесено 58, из берёзовых – 42%. Второй по занимаемой площади покрытых лесом земель является липняковая группа типов леса – к ней отнесено 35% площади. Доля таких групп типов леса, как крупнотравно-приручевая, нагорная, торфяно-болотная и сфагновая, невысока и составляет соответственно 7,4 и 7%.

Таблица 2.10

Распределение площади покрытых лесной растительностью земель по группам типов леса и преобладающим породам (в числителе – га, в знаменателе – %)

Группа типов леса или тип лесорастительных условий	Преобладающие породы									Итого
	Сосна	Ель	Пихта	Лист-венница	Клён	Береза	Осина	Ольха серая	Прочие	
Нагорная	$\frac{985}{3}$	$\frac{1374}{28}$	$\frac{157}{14}$	$\frac{139}{46}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1732}{3}$	$\frac{54}{2}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{50}{1}$	$\frac{4491}{4}$
Ягодниково-зеленомошная	$\frac{21941}{58}$	$\frac{813}{16}$	$\frac{338}{31}$	$\frac{111}{36}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{23459}{42}$	$\frac{1937}{55}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1146}{5}$	$\frac{49745}{46}$
Лишняяковая	$\frac{13780}{37}$	$\frac{1858}{38}$	$\frac{548}{50}$	$\frac{54}{18}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{18897}{33}$	$\frac{1493}{42}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{513}{1}$	$\frac{37145}{35}$
Крупнотравно-приручьевая	$\frac{263}{1}$	$\frac{758}{16}$	$\frac{53}{5}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{6477}{11}$	$\frac{34}{1}$	$\frac{171}{22}$	$\frac{97}{1}$	$\frac{7853}{7}$
Торфяно-болотная и сфагновая	$\frac{502}{1}$	$\frac{82}{2}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{6255}{11}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{613}{78}$	$\frac{287}{4}$	$\frac{7739}{7}$
Всего	$\frac{37471}{100}$	$\frac{4885}{100}$	$\frac{1096}{100}$	$\frac{304}{100}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{56820}{100}$	$\frac{3518}{100}$	$\frac{785}{100}$	$\frac{2093}{100}$	$\frac{106973}{100}$

Атмосферное загрязнение и экологическая ситуация в окрестностях КМК. Экосистемы в окрестностях КМК сформировались в результате длительного, почти столетнего воздействия на окружающую среду горнодобывающего, металлургического и обогатительного производств, действовавших с грубыми нарушениями принципов рационального природопользования. В результате в г. Карабаш и его окрестностях сложилась крайне неблагоприятная экологическая обстановка – огромная площадь нарушенных земель, загрязнение почв, атмосферного воздуха, водоемов, подземных вод вредными веществами, гибель растительности. Из-за неблагоприятной экологической обстановки в г. Карабаш решением коллегии областного комитета по охране природы (ноябрь 1989 г.) и приказом Министра металлургии СССР № 400 от 21.11.1989 г. старое металлургическое производство было остановлено. Остановка медеплавильного производства послужила причиной временного снижения концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе и их отрицательного влияния на почвенный покров. На западном склоне Золотой горы стал появляться березовый мо-лодняк.

Пуск медеплавильного предприятия на полную мощность в 1998 г. вызвал резкое повышение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, что при физически и морально устаревшем газоочистном оборудовании привело к дальнейшему загрязнению территории города и гибели растительности.

Загрязняющие вещества поступают в атмосферу в виде пыли и газообразных веществ. Они содержат различные токсичные элементы и соединения, среди которых преобладают серосодержащие вещества. Основными выбросами медеплавильного предприятия являются: диоксид серы (около 90%), оксид углерода, неорганическая пыль, оксид меди, оксид цинка, кроме того, свинец, мышьяк, диоксид азота. В относительно небольших количествах выбрасываются пентаоксид ванадия, фторид и хлорид водорода (рис. 2.1).

По степени загрязнения атмосферного воздуха диоксидом серы, свинцом и пылью территория исследования в соответствии со ст. 59 Закона Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды» и «Критериями оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» оценивается как зона экологического бедствия (Государственная экологическая экспертиза, 1996). По данным Отдела по охране окружающей среды Администрации Карабашского городского округа объём выбросов за период с 1907 по 2007 год составил 14,4 млн. т (табл. 2.11).

Специфика токсического эффекта выбросов медеплавильного завода заключается в совместном действии тяжёлых металлов и сернистого ангидрида. Последний, подкисляя среду, увеличивает подвижность, следовательно, и биологическую активность ионов металлов, приводит к резкому усилению их токсического воздействия на биоту (Воробейчик и др., 1994).

Деграляция растительности особенно интенсивно происходила в г. Карабаш и окрестностях в 50–80-е гг. XIX столетия. С 1960-х годов окрестности г. Карабаш становятся объектом исследований негативного воздействия аэротехногенного загрязнения на леса. Г.С. Макуниной (1978) выделены три зоны с резко различным состоянием почвенно-растительного покрова: 1 – зона на-

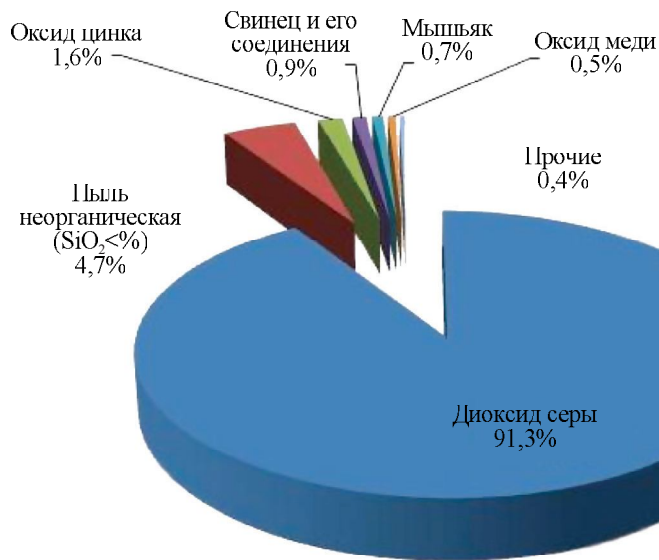


Рис. 2.1. Содержание загрязняющих веществ в валовом выбросе КМК за период с 1907 по 2007 гг. (Бачурина, 2008)

Таблица 2.11
Объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (т) за весь период работы металлургического производства расположенного на территории Карабашского городского округа Челябинской области (по состоянию на 01.01.2007 года)(Бачурина, 2008)

Период, год	Пыль неорганическая SiO ₂ < 20%	Диоксид серы	Оксид меди	Свинец и его соединения	Мышьяк	Оксид цинка	Прочие	Всего выбросов	Объем черновой меди	Выбросы на тонну черновой меди
1907–1918	14 699	353 823	1 574	3 360	2 520	6 037	–	382 013	52 496	7,277
1925–1969	299 603	7 211 872,4	32 100,3	68 480,6	51 360,5	123 051,2	–	7 786 468	1 070 010,75	7,277
1970	19310	433 000	2 350	3 580	2 960	7 600	–	468 800	65 548,2	7,152
1971–1974	71 985,2	1 732 787,9	7 712,7	16 453,7	12 340,3	29 565,2	–	1 870 845	257 090,2	7,277
1975–1978	55 580	1 100 510	5 760	14 490	9 150	23 050	–	1 208 540	208 350,06	5,8
1979–1984	88 208,3	1 014 106,3	8 704,6	16 829,2	11026	24 953,6	–	1 163 828	290 159,2	4,011
1985–1997	69 335	757 269	6 666	7 991	6 236	14 740	3062	865 299	221 639,4 ч. м.* 35 972,4 м.с.** 36 575 м.п.***	Нет данных
1907–1997	618 720,5	12603368,6	64 867,6	131 184,5	95 592,8	228 997	3062	13 745 793	Нет данных	Нет данных
1998–2006	59 191	542 552	1008,6	438,8	464,2	6 975,8	49609,6	660 240	284 935,8	2,23
ИТОГО 1907–2006	677 911,5	13 145 920,6	65 876,2	131 623,3	96 057	235 972,8	52671,6	14 406 033	2 450 229,61 ч.м.* 35 972,4 м.с.** 36 575 м.п.***	Нет данных

* – черновая медь; ** – медный сплав; *** – медный штейн.

рушенных (эродированных), 2 – зона сильноизмененных (слабоэродированных) и 3 – зона слабоизмененных (неэродированных) урочищ. Критерием для их выделения служила степень нарушенности биоты урочищ. Характеристика зон, выделенных Г.С. Макуниной (1978) приведена в табл. 2.12.

Зона нарушенных урочищ (площадь 28 км²) непосредственно примыкает к цехам, отвалам гранулированного и литого шлака, хвостохранилищам комбината, шахтам с их отвалами пустой породы, железным дорогам и к селитебной зоне. Здесь полностью уничтожена коренная биота. Началом этого процесса явилось интенсивное физическое уничтожение леса на склонах и в долине, повлекшее за собой перестройку водного режима урочищ и развитие эрозионных процессов, уничтоживших почвенный покров и обнаживших в верхних частях склонов глыбо-обломочный покров и корни деревьев. Постоянное задымление горного хребта к востоку от комбината практически полностью приостановило восстановление биоты. Лишь изредка встречаются экземпляры вейника и паслена, растущих на сохранившихся или намывных участках гумусового горизонта почв. На перегибах склонов мощность намывного гумусового горизонта может быть значительной (до 80 см). Ранее склоны хребта покрывал сосновый лес, о котором теперь напоминают сохранившиеся на водоразделе почерневшие пни (Макунина, 1978).

Западная граница зоны проходит на расстоянии 1,2 км от комбината по невысокому (на уровне труб комбината) водоразделу. Эта территория также лишена растительности и почвенного покрова, находится под постоянным воздействием выбросов КМК. Но существование биоты в этих условиях, хотя и в угнетенном состоянии, возможно, о чем свидетельствуют сохранившиеся на вершинах и склонах невысоких сопков небольшие массивы угнетенных сосен и берез. Сильно поредевшие кроны деревьев, пожелтевшие окончания хвои, большое количество сухих ветвей – всё это свидетельствует о значительной техногенной интоксикации.

Зона сильно измененных (слабоэродированных) урочищ (ширина от 1 до 3 км и площадь около 40 км²) окружает зону нарушенных урочищ. Она возникла в результате постепенной вырубке леса при расширении площади селитебной зоны и строительстве дорог. Неизбежные при вырубке леса бо-

Таблица. 2.12

Характеристика основных зон в окрестностях КМК

Показатель	Зона задымления		
	постоянного	периодического	эпизодического
Протяжённость зоны	К северо-востоку, востоку и юго-востоку на 1 – 2,5 км	К северу, западу и югу до 3 км и к востоку от 2 до 5 км от завода	К северу, западу и югу далее 3 км и к востоку от 5 до 7 – 8 км от завода
Особенности задымления	От 7– 8 до 15–20 сильных (20–30 мг/л/ч) газовых воздействий в течение всей вегетации и ежегодно	1 – 2 сильных газовых воздействия в средне-летний период вегетации и ежегодно	1–2 сильных газовых воздействия в средне-летний период вегетации и не ежегодно (1 раз в 5–10 лет)
Лесная растительность	Лесная растительность отсутствует	Березняки	Березняки и сосняки

розды и подъездные дороги положили начало развитию эрозионных процессов на склонах, которые, однако, сдерживаются сохранившейся от вырубki растительностью: березовым лесом с подростом сосны и разнотравно-бруснично-вейниковым напочвенным покровом. Вырубki сосен и лиственниц заросли вторичным березняком (Макунина, 1978).

Зона сильно измененных урочищ идентифицируется на местности по наличию мертвопокровного вторичного березняка высотой 4 – 8 м. Кроны берез разрежены, их основания находятся в 2 – 3 м от поверхности земли. Однако, если в нижних частях склонов подрост практически отсутствует и лишь изредка встречаются вейник и папоротник-орляк, то в верхней части склонов среди березового подростa встречается подрост сосны и ели, а напочвенный покров представлен более широким видовым спектром. При этом на деревьях много сухих ветвей, встречается сухостой и некроз листвы в результате химического воздействия нависающих дымовых факелов. Общее снижение геохимического фона в этой зоне, меньшее количество накопленных вредных веществ, относительно более позднее уничтожение хвойных и травянистой растительности создают предпосылки для более быстрого восстановления растительного покрова естественным путем (Макунина, 1978).

Зона слабо измененных урочищ имеет наибольшее приближение к КМК (до 3 км) к западу и юго-западу от него, где частота атмосферного загрязнения дымовыми факелами наименьшая. Однако даже минимальное по своей повторяемости периодическое воздействие комбината сказывается на состоянии отдельных элементов растительности, вплоть до ее локальной деградации. Кроны деревьев сильно разрежены, хвоя и листва со следами некроза, много сухих ветвей. Нижние части склонов в периоды техногенной интоксикации подвергаются воздействию стекающих с водораздела загрязненных воздушных масс, из которых выпадает на почву огромное количество тяжелых металлов. В этой зоне устойчивость биоты во многом определяется влагообеспеченностью, трофностью местообитания и особенностью аэрации. Гидроморфные урочища речных долин и озерных котловин обычно не имеют признаков интоксикации. В ландшафте они представлены вейниковыми березово-ольховыми лесами на лугово-болотных и аллювиальных болотных почвах. Наиболее сильные изменения претерпела долина реки Сак-Элга, где из-за сильного загрязнения от сбросов отходов обогащения сульфидных руд уничтожена вся биота (Макунина, 1978).

При изучении газоустойчивости сосняков, подвергающихся воздействию выбросов КМК, М.С. Давыдовой (1982) установлено уменьшение фитомассы деревьев, прироста побегов, сокращение продолжительности жизни хвои. Отмечено снижение проективного покрытия большинства видов травянистых растений, обеднение видового состава фитоценозов, усиление ксероморфности структуры листьев отдельных видов растений.

Ю.З. Кулагиным (1964, 1974) установлено, что состояние лесной растительности в окрестностях медеплавильного завода находится в прямой зависимости от задымления (см. табл. 2.12). В зоне периодического задымления наблюдается интенсивное усыхание сосны, и в то же время в этих условиях древостой берёзы повислой, несмотря на заметные газовые повреждения, характеризовалось вполне удовлетворительным состоянием. В зоне эпизо-

дического задымления состояние березняков и сосняков резко улучшается. Успешное произрастание в этих условиях взрослых сосновых древостоев объясняется распространением высококонцентрированных газовых потоков в приземных слоях воздуха, ниже их крон. Выявлено, что в окрестностях медеплавильного завода облесение ближайших склонов весьма успешно осуществляется берёзой повислой, а более удалённых и расположенных к западу сосной обыкновенной (Кулагин, 1964, 1974).

Режим задымления оказывает сильное влияние на семенное возобновление берёзы и сосны. Существенным препятствием для семенного возобновления этих видов является также эрозия почвы, её смыв с горных склонов и их иссушение. Ю.З. Кулагиным дана рекомендация о необходимости ориентировать лесовосстановительные работы в задымляемых окрестностях медеплавильного завода на содействие естественному семенному возобновлению берёзы повислой, квалифицируя её как главную древесную породу.

В период с 1981 по 1988 годы группой исследователей – геоботаниками, зоологами, экологами, почвоведками, экономистами и др. – проведена комплексная оценка воздействия КМК на окружающую среду (Степанов и др., 1992). Измерены содержания металлов и сернистых соединений в почве, растительности и атмосферных осадках. Авторами построена зависимость «доза-эффект» на экосистемном уровне и оценен экономический ущерб от деятельности предприятия.

Глава 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ, ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

3.1. Выбор и обоснование метода исследований

Л.К. Поздняков с соавторами (1969), как уже упоминалось, выделяют два подхода к изучению биологической продуктивности насаждений: биогеоценотический – познание процессов биологического круговорота веществ и геохимической роли леса и ресурсоведческий, предполагающий изучение лесной фитомассы с точки зрения оценки и выявления возможностей ее использования. Биогеоценотическое направление связано с многолетними стационарными исследованиями в определенных фитоценозах. Целью второго направления является учет количества и пространственного размещения фитомассы, рассматриваемой как потенциальное промышленное сырье. В ресурсоведческом направлении, как правило, используют таксационно-статистический метод исследований на временных пробных площадях. Для изучения подбирается возрастной ряд насаждений, принадлежащих к одному типу леса.

Одной из основных проблем методического плана, от которых зависит точность учета фракций фитомассы, является проблема отбора модельных деревьев (Молчанов, Смирнов, 1967; Семечкина, 1978; Уткин и др., 1988). На начальном этапе исследований для расчета фитомассы на уровне древостоя широко применялся метод среднего дерева (Родин и др., 1968). Этот метод неоднократно подвергался критике (Семечкина, 1978; Уткин и др., 1988; Усольцев, 1988) и сейчас уже доказана низкая его точность. Объясняется это тем, что место среднего дерева различается в зависимости от признака, по которому составлен ряд распределения (Baskerville, 1965; Attiwill, 1966). М.Г. Семечкина (1978) указывает также и на то, что в ряду распределения даже по одному признаку место среднего дерева обладает определенной изменчивостью.

Т. Саго (Sato, 1970) выделяет три наиболее распространенных метода оценки фитомассы древостоев: метод среднего дерева, метод отношения площадей сечений модельных деревьев и древостоя и регрессионный метод. Лучшими признаются последние два, из них регрессионный обладает определенной универсальностью, поскольку дает возможность составлять таблицы фитомассы на уровне дерева и древостоя (Усольцев, 1988). Регрессионный метод предполагает отбор модельных деревьев в пределах диапазона варьирования их размеров на пробной площади. В.М. Горбатенко и В.В. Протопопов (1971) лучшим считают метод отбора деревьев по пропорционально-ступенчатому представительству. Количество деревьев и метод их отбора в каждом конкретном случае должны определяться, исходя из оптимального соотношения трудозатрат и требуемой точности (Усольцев, 1988).

Для выяснения влияния на точность учета фитомассы метода отбора модельных деревьев и их общего числа была выполнена специальная методическая работа в 45-летнем березняке, на 104 модельных деревьях (Усольцев, 1985а). Учтено шесть фракций органической массы: листва, древесина и кора ветвей, древесина и кора ствола, отмершие ветви. Группировка модельных деревьев проводилась двумя методами – по 2-сантиметровым ступеням толщины и группам рангов толщины (практически соответствует методу пропорционально-ступенчатого представительства). В.А. Усольцевым (1988) был проведен дисперсионный анализ ошибок по трехфакторному равномерному комплексу, который показал, что их варьирование не объясняется ни числом отобранных деревьев в пределах от 5 до 20, ни методом отбора. Отклонение расчетных значений фитомассы от опытных наибольшее при взятии одного среднего дерева, а при пяти и более деревьях – ниже и практически не зависит от числа деревьев.

3.2. Объекты исследований

Исследования выполнены в градиентах загрязнений естественных лесов вблизи Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ) в Свердловской области и вокруг Карабашского медеплавильного комбината (КМК) в Челябинской области. СУМЗ функционирует с 1940 года, и в его газообразных выбросах 98% по массе составляет сернистый ангидрид. КМК действует с 1910 г. (хотя недалеко от места его расположения непродолжительное время ранее действовали еще два медеплавильных завода – в 1837–1842 гг. и в 1907–1910 гг.), и за период с 1910 по 2007 гг. объем выбросов загрязняющих веществ составил 14,4 млн т, из которых 91% составляет сернистый ангидрид (Бачурина, 2008).

Полигоны, представленные сериями пробных площадей, заложенных в градиентах загрязнения, в обоих районах были подразделены на три зоны: импактную, буферную и фоновую. Их протяженность составила для СУМЗ соответственно 1–2, 4–7 и 20 км и более; для КМК соответственно 1–10, 15–25 и 30 км и более.

Выпадения поллютантов от КМК намного выше по сравнению с СУМЗ. Поэтому вокруг КМК в радиусе 4–5 км не только погибли естественные насаждения, но и почти отсутствует высшая растительность. На территории, непосредственно примыкающей к СУМЗ (0,5–1,0 км), первоначальная темнохвойная тайга погибла, сформировалась техногенная пустошь, либо представлены производные лиственные насаждения.

Пробные площади вблизи СУМЗ расположены на территории Билимбаевского (градиент загрязнений от СУМЗ) и Нижнесергинского (контроль) лесничеств (рис. 3.1), вблизи КМК – на территории Кыштымского (градиент загрязнений от КМК) и Миасского (контрольный участок в южном направлении) лесничеств (рис. 3.2). Пробные площади в естественных чистых по породному составу березовых насаждениях заложены в северо-восточном и южном направлениях от КМК (см. рис. 3.2), а в естественных чистых сосновых – только в северо-восточном направлении, на соседних с березовыми насаждениями выделах.



Рис. 3.1. Места закладки пробных площадей в западном направлении от СУМЗ (<http://maps.google.ru/>)

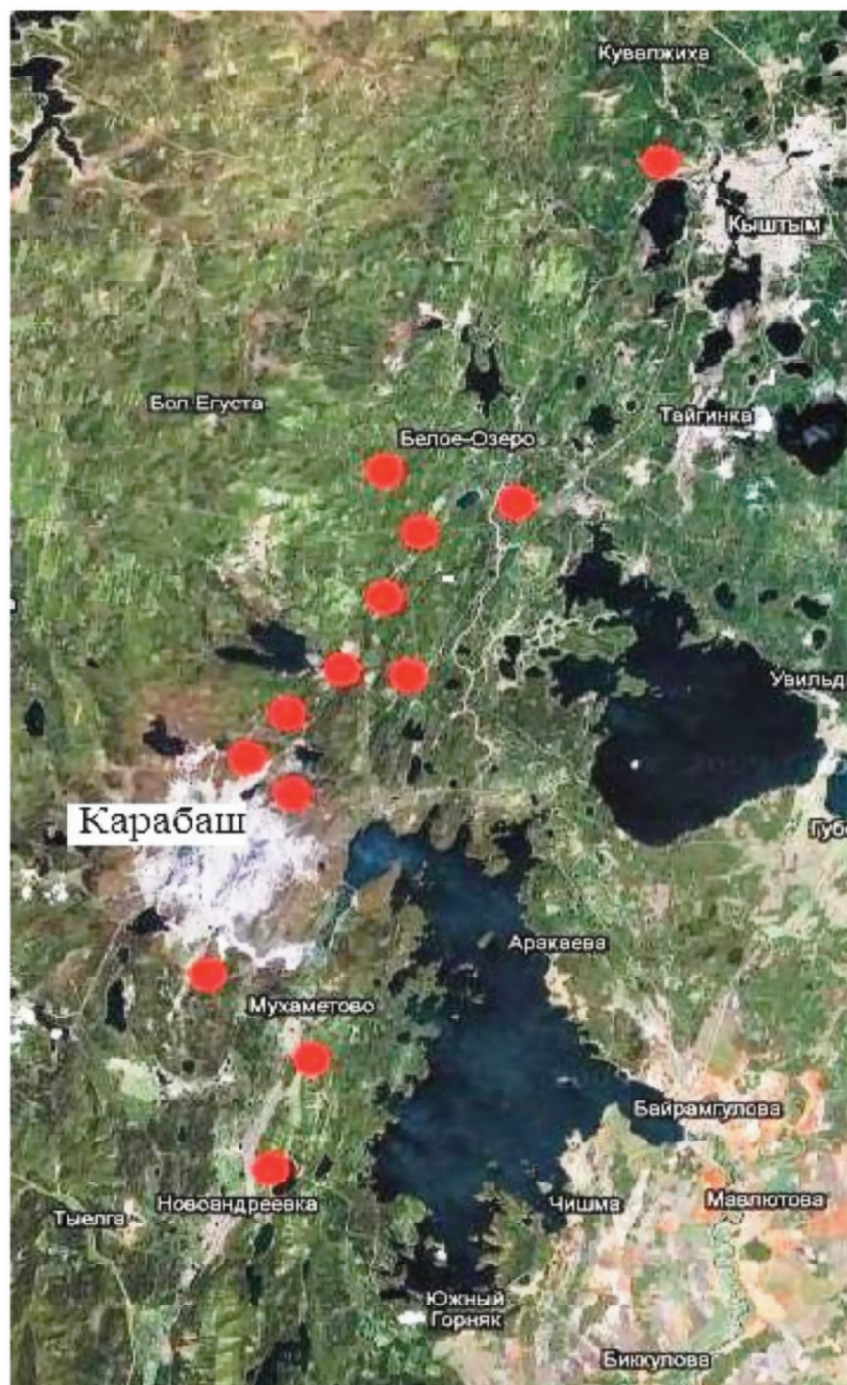


Рис. 3.2. Места закладки пробных площадей в сосновых и березовых насаждениях в северо-восточном и южном направлениях от КМК (<http://maps.google.ru/>)

3.3. Методика полевых работ при закладке пробных площадей

Подбор участков для пробных площадей произведен по критерию сопоставимости насаждений по основным типологическим и таксационным показателям и с учетом теоретических положений лесной таксации согласно ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые». Для закладки пробных площадей выбирали насаждения, наиболее однородные по всем таксационным показателям и условиям местопроизрастания. Во избежание опущенного эффекта они закладывались не ближе 20 м от просек, дорог, прогалов и других открытых участков. Их размер 25×25 м (150–200 деревьев на каждой).

На пробных площадях выполняли сплошной перебор деревьев по элементам леса и ступеням толщины без выделения подчиненной части. Сухостойные деревья учитывались отдельно. При среднем диаметре древостоя до 10 см ступени принимались равными 1 см, от 10 до 20 см – 2 см и выше 20 см – 4 см. В этом случае общее число ступеней, как правило, колеблется в пределах 8–12.

После перебора при помощи высотомера измеряли высоты у 15–20 растущих деревьев, отобранных случайным образом. У них определяли также диаметры с точностью до одного миллиметра. По этим данным строили графики высот деревьев в зависимости от диаметров, которые использовались для определения средней высоты древостоя. Типы леса определяли по типологии Б.П. Колесникова с соавторами (1973). По выполненным измерениям рассчитывали таксационные показатели древостоев (табл. 3.1–3.3).

Для определения фитомассы деревьев и древостоев взяты модельные деревья. Систематическая выборка их формируется в соответствии с рядами распределения деревьев по диаметру. Семь модельных деревьев на каждой пробной площади отбирались как средние по диаметру, высоте и размерам кроны для ступени толщины в пределах всего диапазона варьирования их диаметров. Модельные деревья служили основой для определения не только фитомассы, но и других таксационных показателей древостоев. После рубки измерялись длина дерева, протяженность бессучковой части, диаметр ствола у основания кроны. Ствол делили на 10 секций, на середине каждой секции и на расстоянии 1,3 м от комля выпиливали диски и определяли диаметры ствола в коре и без коры. По этим замерам рассчитывали объем древесины и коры дерева. У дисков, взятых на относительных высотах 20, 50 и 80 % от общей высоты дерева, отделяли кору, взвешивали отдельно древесину и кору с точностью до 0,1 г, сушили в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянной массы и использовали далее для определения содержания коры и абсолютно сухого вещества в древесине и коре. По этим значениям рассчитывали абсолютно сухую фитомассу древесины и коры ствола. Возраст устанавливался по годичным кольцам на пне.

Фитомасса структурных частей кроны определялась после ее деления на три одинаковые по длине секции. После взвешивания каждой секции кроны с точностью до 50 г производилось деление их на охвоенные и неохвоенные ветви. Масса неохвоенных и охвоенных ветвей взвешивалась с точностью до 50 г. Затем из охвоенной части каждой секции отбиралась навес-

Таблица 3.1

**Таксационная характеристика древостоев 43 пробных площадей,
заложенных в слово-пихтовых древостоях в градиенте загрязнений от СУМЗ**

L*, км	Породный состав	Возраст, лет	Класс бонитета	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Густота, экз/га	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га
П**	7ИВЗБ	67	IV	11,9	12,9	176	2,29	14,5
	6Б4ИВ	61	IV	10,5	11,0	240	2,29	20,1
	6Е4ИВ	76	IV	14,2	15,1	1456	26,2	175
1а	3Е1П2Б4С	82	IV	15,6	16,6	768	16,7	121
	5Е4П1Б+ИВ;С	74	IV	13,6	13,9	1072	16,2	111
	5Е4П1Б+С	78	IV	14,8	15,4	1104	20,6	147
1б	6Е4П1Б;Ос	76	IV	14,2	15,2	1456	26,4	177
	7Е3П1Б	85	IV	16,3	17,0	976	22,2	163
	4Е3Б2ОсП1	61	IV	10,5	10,7	1664	15,1	108
1,5	3Е4П1Б2С	75	III	18,5	18,8	1152	31,8	258
	3Е6П1Б+С	81	III	16,7	16,0	1312	26,2	201
	4Е2П3С1Б+ИВ;Ос	81	III	18,1	15,5	1472	27,6	249
2	3Е4П2Б1Ос	82	IV	15,2	13,7	2080	30,6	220
	5Е3П2Ос	84	IV	17,3	16,9	1504	33,8	265
	5Е4П1Б+Ос	87	IV	16,3	15,4	2160	40,0	307
	4Е5П1Б+Ос	85	IV	16,1	14,5	2272	37,5	294
	2Е7П1Ос+Б	90	IV	15,3	14,3	1968	31,6	223
4	8Е1П1Б+Ос	115	III	23,0	23,4	1104	47,3	448
	3Е5П2Б+Ос	100	III	18,8	15,6	2000	38,1	309
	9Е1П+Б	127	II	26,1	29,4	544	37,0	387
	3Е6П1Ос	109	III	21,2	19,6	1504	45,3	405
	6Е2П2Б	119	III	23,9	26,9	752	42,8	401
6	3Е6П1Б+С	86	III	20,1	20,7	1232	41,4	373
	3Е6П1Б+Ос;С	85	III	19,7	20,3	1312	42,3	381
	4Е3П2Б1ЛП+С	85	III	21,0	20,1	1504	47,8	471
7	2Е6П2Б	89	III	21,3	21,6	1200	43,8	405
	2Е6П2Б+Ос	90	III	21,5	22,7	1088	44,0	405
	4Е3П3Б+Ос	94	II	23,1	26,3	944	51,4	476
	1Е5П3Б1Ос	91	III	22,0	21,9	1184	44,5	398
	7П3Б+Е	90	III	21,5	22,5	1360	54,0	478
10	4Е3П3Б+С;Ос	89	III	21,4	21,1	1152	40,2	352
	5Е4П1Б+Ос	87	III	20,3	20,5	992	32,7	288
	4Е3П2Б1Ос	87	III	20,4	22,1	896	34,3	291

Окончание табл. 3.1

L^* , км	Породный состав	Возраст, лет	Класс бонитета	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Густота, экз/га	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га
20	2Е5П2Ос1Б+С	99	II	23,6	24,0	912	41,3	401
	2Е4П2Ос1Б1С	100	II	22,8	23,7	1040	45,8	408
30	2Е8П	102	II	22,8	22,7	1120	45,2	420
	4Е6П	98	III	20,8	21,0	1024	35,4	305
	2Е6П2Б	101	III	22,4	22,3	1328	51,9	465
	4Е6П	102	III	22,5	24,9	704	34,3	319
	7П2Б1Е	102	III	22,7	23,8	1344	59,9	530
34	3Е5П2Б	99	III	21,6	23,4	880	37,8	334
	5Е3П2Б+С	102	II	23,7	23,7	1088	48,2	466
	4Е4П2Б+Ос	100	III	22,0	21,4	960	34,5	317

* L – здесь и далее расстояние от источника загрязнений.

**II – здесь и далее техногенная пустошь.

Таблица 3.2

Таксационная характеристика древостоев 12 пробных площадей, заложенных в сосняках в градиенте загрязнений от КМК

L , км	Породный состав	Возраст древостоя, лет	Класс бонитета	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Число стволов, экз/га	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га
4,2	7С3Б+Ос	80	III	20,6	26,9	392	15,97	179
5,5	9С1Б	80	III	19,9	31,1	422	27,97	323
5,8	10С+Б	80	II	21,2	31,1	504	34,46	485
6,6	8С1Б1Ос	80	III	19,8	28,4	440	26,33	368
7,3	10С+Б	80	III	20,4	27,6	640	35,74	468
8,3	8С1Б1Лц	80	III	19,5	23,8	560	25,64	275
8,8	7С3Б	80	III	18,6	27,8	437	24,60	322
9,5	7С3Б	70	II	18,6	28,4	434	27,23	401
13,3	10С+Б	80	III	20,4	27,6	549	30,64	373
13,8	10С+Б	80	II	20,6	27,7	591	32,48	386
14,5	9С1Б	70	II	19,5	25,3	989	43,69	512
32,0	8С2Б	80	II	20,3	28,5	600	35,00	492

Таблица 3.3

**Таксационная характеристика древостоев 34 пробных площадей,
заложённых в березняках в градиенте загрязнений от КМК**

L, км	Породный состав	Возраст древостоя, лет	Класс бонитета	Число стволов, экз/га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га
3,5	10Б	69	II	832	15,1	19,0	14,9	152
3,5	10Б+ОЛ	69	II	1168	14,0	18,2	17,9	197
3,5	10Б+С	70	I	768	18,5	21,2	20,7	236
3,8	10Б+С	50	IV	1072	15,3	14,2	19,4	193
3,8	10Б+С	69	II	960	14,3	18,4	24,9	266
3,8	10Б	70	II	752	17,3	20,4	17,7	183
3,8	10Б	70	II	736	19,7	21,9	22,5	260
4,8	9Б1С	45	III	1178	14,1	13,7	17,6	158
8,5	10Б+С+Е	40	III	1239	14,9	15	21,76	208
9,1	10Б+С	45	III	1217	15,1	15,1	21,55	214
9,2	6Б4Ос+С	71	I	832	18,7	21,9	22,9	262
9,1	10Б+Е+Ос	63	I	1152	16,0	20,2	23,2	309
9,2	10Б+Ос	69	I	960	18,0	21,4	34,1	369
10,6	9Б1Ос+С	66	I	1536	16,8	21,6	34,0	417
10,6	7Б2Ос1С	78	I	768	21,5	25,3	27,8	382
10,6	8Б2С+Ос	62	I	1802	15,7	20,7	43,2	423
12,3	9Б1Ос+С	72	I	960	21,0	23,3	33,5	453
12,3	9Б1Ос	57	I	1408	15,0	19,5	24,8	271
12,3	10Б+С+Ос	63	I	1264	17,1	21,1	29,2	367
13,1	10Б+С	50	II	740	21,5	19,5	26,6	337
17,5	7Б2С1Ос	50	III	796	21	17,8	25,57	306
18,5	10Б+С	69	I	912	22,0	24,9	34,8	457
18,5	10Б	71	I	720	23,2	25,6	30,5	405
18,5	10Б+Ос	72	I	848	23,5	25,8	36,7	483
25,8	10Б+Ос	72	I	800	21,6	26,2	29,3	447
25,7	10Б+Ос	68	I	1168	19,0	23,6	33,1	527
25,8	10Б	74	I	752	22,8	27,3	30,7	482
28,7	9Б1С	71	I	912	20,9	25,5	31,3	495
28,7	9Б1Лт+С	72	I	960	21,5	26,1	34,8	535
28,7	8Б2Ос+С	68	I	832	21,2	23,8	24,0	318
31,0	10Б+Лт	40	III	856	17,9	16	22,18	297
31,7	10Б+С	72	I	912	21,1	25,6	31,9	505
31,7	10Б+С	72	I	992	21,3	25,8	35,2	552
31,7	10Б+С	72	I	1136	21,0	25,6	39,4	603

ка (около 0,5 кг) для установления соотношения хвои и скелетных частей. С этой целью хвоя в навеске отделялась от ветвей и отдельно взвешивалась масса этих компонентов с точностью до 1 г. Аналогичная процедура проведена для березы, но без деления кроны на три секции. По установленным соотношениям определяли фитомассу хвои (листвы) и древесных частей для каждого слоя, а затем – для всей кроны. Для определения содержания сухого вещества (ССВ) в массе хвои (листвы) и ветвей из каждой части кроны взяты их образцы, которые взвешивались с точностью до 0,01 г. По полученным значениям рассчитывали абсолютно сухую массу хвои (листвы) и ветвей дерева. С крон модельных деревьев сосны и березы отделяли и взвешивали все генеративные органы (при их наличии). Сушка всех образцов производилась до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105°C.

На пробных площадях кроме фитомассы деревьев определяли ее годичный прирост, или чистую первичную продукцию (ЧПП). Прирост древесины ствола определен путем «расчехления» ствола по 10 отрезкам и определения годичного объемного прироста, среднего за последние 5 лет, с последующим пересчетом на абсолютно сухое состояние по базисной плотности, определенной по дискам. Прирост коры рассчитан по приросту древесины и соотношению массы древесины и коры ствола. Прирост хвои определяли по тем же выше упомянутым 0,5-килограммовым навескам охвоенных побегов, но отделяли не только всю хвою, но и хвою текущего года, и затем аналогичным образом рассчитывали массу хвои текущего года всего дерева. У лиственных пород прирост листвы принят равным ее массе.

Годичный объемный прирост и ЧПП ветвей можно определить аналогично методу «расчехления» ствола (Forward, Nolan, 1961). Для этого ветви сортируются по порядкам ветвления либо по ступеням толщины, измеряются их длина и возраст, затем взвешиваются. Прирост массы ветвей рассчитывается пропорционально их приросту по площади сечения за последние 5 или 10 лет (Программа и методика ..., 1974). Однако подобный метод трудно реализуем на практике, что обусловлено сложной схемой ветвления кроны и наличием очень узких и многочисленных выпадающих годичных колец (Ogawa et al., 1977).

Вследствие неопределенностей с оценкой годичного прироста ветвей В.А. Усольцевым (2007б) выполнено специальное исследование по сравнительному анализу тех методов, которые в той или иной степени биологически обоснованы и дают приемлемую точность при наименьших затратах. Установлено, что оптимальным является метод, предложенный А. И. Русаленко и Е. Г. Петровым (1975). Согласно этому методу, удвоенная масса ветвей дерева делится на возраст кроны, измеренный по годичным кольцам у ее основания, или (что равноценно) общая масса ветвей кроны делится на средний возраст их ветвей. Это согласуется с известным фактом (Уткин, 1975), что средняя по массе мутовка у сосен приходится примерно на середину кроны.

Кроме показателей фитомассы и ее первичной продукции, определенных на пробных площадях с целью их оценки на единице площади, по соответствующей методике (Усольцев, 1998а) у модельных деревьев были измерены в четырех направлениях на выпилах, взятых на высоте 1,3 м, годичные

радиальные приросты древесины за последние 5 лет, общие приросты заболони и диаметры без коры, и на их основе рассчитаны годичный прирост площади сечения (Zg) и площадь заболони (Gz) ствола на высоте 1,3 м.

Показатели биопродуктивности подроста и подлеска определены с использованием методики БИН РАН (Методы..., 2002). На каждой пробной площади методом случайной выборки заложены три мини-площадки размером 5×5 м. Выделены подрост (по хвойным и лиственным видам отдельно) и подлесок, характеризующиеся большим видовым разнообразием.

Диапазон варьирования высот разбивали на три градации по каждому виду и в пределах каждой градации вели перемер по диаметру у основания корневой шейки штангенциркулем с точностью до 0,5 мм. Выделение трех градаций по высоте связано с тем, что у деревьев и кустарников одного диаметра, но разного возраста структура (соотношение фракций) фитомассы различается, а поскольку определение возраста у каждой особи практически невозможно, то вместо возраста выделяли показатель высоты, коррелирующей с возрастом.

Модельные растения каждого вида взяты на пробных площадях по градиенту загрязнения, по одному растению в каждой ступени толщины. Растения высотой менее 0,5 м фракционировали, взвешивали и сушили при 100–105°C до постоянной массы. У корневой шейки по годичным кольцам определяли возраст, делением на который полученной массы скелетной части растения определена ее первичная продукция. Первичная продукция хвой определена путем деления ее массы на средний (по нескольким мутовкам) возраст хвой. У лиственных первичная продукция листы принята равной ее массе.

У растений высотой более 0,5 м секатором отделяли охвоенные побеги, из их общего количества брали навеску массой 100–500 г, взвешивали; у нее отделяли хвою и повторно взвешивали. Затем хвою и остальную часть навески сушили отдельно до постоянной массы, снова взвешивали и рассчитывали ССВ в обеих фракциях. По их значениям определяли сухую массу фракций всего растения. Первичную продукцию скелетной части рассчитывали делением массы на возраст дерева, а хвой – делением ее массы на средний возраст хвой.

Полученные значения фракционного состава модельных растений каждого вида отдельно соотносили с их суммой площадей сечений и затем по общей сумме площадей сечений, полученной перемером на каждой из трех мини-площадок, находили значение фитомассы скелетной части и хвой и переводили ее на 1 га. Аналогично рассчитывали первичную продукцию скелетной части и хвой на 1 га. Общее количество модельных деревьев по нижнему ярусу приведено в табл. 3.4.

Фитомасса и ЧПП определены не на всех пробных площадях, показанных в табл. 3.1–3.3, а лишь на базовых, равномерно распределенных по градиентам загрязнений: в елово-пихтовых древостоях – на расстояниях 1, 2, 4, 7 и 30 км от СУМЗ, в сосновых – на расстояниях 4, 6, 8, 10, 14 и 32 км от КМК, в березовых – на расстояниях 4, 5, 7, 9, 12, 13, 18, и 31 км от КМК.

Статистический анализ данных включал расчет параметров множественной регрессии. Структура регрессионных моделей подбиралась на основе содержательного анализа массивов экспериментальных данных. Фитомасса древостоев на 1 га рассчитана регрессионным методом (Усольцев, 1985а).

Таблица 3.4

**Количество модельных растений нижнего яруса,
взятых для определения их фитомассы и первичной продукции**

Вид растения		Количество моделей
<i>Елово-пихтовые насаждения, СУМЗ</i>		
Подрост	Береза повислая	14
	Ель сибирская	22
	Пихта сибирская	23
	Сосна обыкновенная	2
	Осина обыкновенная	5
	Итого подрост	66
Подлесок	Бузина черная	6
	Жимолость татарская	5
	Ива козья	3
	Калина красная	1
	Липа мелколистная	4
	Малина обыкновенная	6
	Можжевельник обыкновенный	6
	Ракитник русский	3
	Рябина обыкновенная	17
	Смородина черная	3
	Черемуха обыкновенная	5
	Шиповник иглистый	7
	Итого подлесок	66
Итого в елово-пихтовых насаждениях		132
<i>Сосновые насаждения, КМК</i>		
Подрост	Береза повислая	20
	Сосна обыкновенная	36
	Осина обыкновенная	21
	Итого подрост	77
Подлесок	Ольха серая	11
	Кизильник	12
	Липа мелколистная	7
	Ракитник русский	23
	Рябина обыкновенная	21
	Черемуха обыкновенная	18
Итого подлесок	92	
Итого в сосновых насаждениях		169

Окончание табл. 3.4

Вид растения		Количество моделей
<i>Березовые насаждения, КМК</i>		
Подрост	Береза повислая	25
	Сосна обыкновенная	49
	Осина обыкновенная	28
	Итого подрост	102
Подлесок	Ольха серая	11
	Кизильник	12
	Липа мелколистная	7
	Ракитник русский	34
	Рябина обыкновенная	27
	Черемуха обыкновенная	18
	Шиповник иглистый	3
	Итого подлесок	112
Итого в березовых насаждениях		214
Всего		515

Фактические значения плотности и содержания сухого вещества древесины и коры, полученные при обработке дисков, выпиленных из ствола модельных деревьев, приведены в Прил. 2, а значения содержания сухого вещества хвои и ветвей, полученные по навескам, взятым из кроны модельных деревьев, даны в Прил. 3. Полный перечень дендрометрических и продукционных показателей модельных деревьев показан в Прил. 4. Первичные данные по подросту и подлеску приведены в Прил. 5. Фактические данные фитомассы генеративных органов модельных деревьев сосны и березы показаны в Прил. 6.

Поскольку ель и пихта в градиенте загрязнений от СУМЗ произрастают совместно, то анализ изменения их биопродуктивности на уровне древостоя выполнен обезличенно по обеим древесным породам, а на уровне дерева – отдельно, причем в сопоставлении этих двух биологически близких древесных пород. Сосна и береза вблизи КМК произрастают отдельно в виде чистых по породному составу насаждений, пробные площади заложены в двух параллельных градиентах загрязнений, и соответственно анализ биопродуктивности этих древесных пород выполнен отдельно на уровнях как дерева, так и древостоя.

3.4. Объем выполненных работ

На двух объектах исследований в градиентах загрязнения соответственно от СУМЗ и КМК заложено 89 пробных площадей, в том числе в елово-пихтовых (СУМЗ) – 43, в сосновых (КМК) – 12 и в березовых (КМК) – 34.

Общее количество взятых модельных деревьев – 164, в том числе 34 ели, 32 пихты, 42 сосны и 56 березы. Масса генеративных органов сосны и березы определена соответственно у 16 и 24 модельных деревьев. Количество дисков, выпиленных из стволов для определения квалитметрических показателей древесины и коры – 466, в том числе 85 ели, 87 пихты, 126 сосны и 168 березы; количество определений квалитметрических показателей кроны по пробным навескам хвои (листвы) и ветвей (скелета кроны) – 321, в том числе 83 ели, 80 пихты, 102 сосны и 56 березы. Фитомасса и ЧПП деревьев лиственницы, ивы и осины, единично встречающихся в насаждениях пробных площадей, определены по базе данных В.А. Усольцева (2007б). Материалы о фитомассе живого напочвенного покрова (ЖНП) предоставлены авторам А.В. Бачуриной и М.Р. Трубиной. Фитомассу ЖНП определяли сплошным укосом на площадках 50×50 см по 15 шт. на каждой пробной площади с последующей сушкой до абсолютно сухого состояния.

Глава 4. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ В ГРАДИЕНТАХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ: АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И СОСТАВЛЕНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ТАБЛИЦ

Непосредственное сопоставление совокупностей фактических данных модельных деревьев, взятых на разном удалении от СУМЗ и КМК с целью выявления степени их влияния на показатели биологической продуктивности, обречено на неудачу, поскольку варьирование названных показателей вследствие дифференциации деревьев по ценотическому положению в пределах одного уровня загрязнений перекрывает таковое между разными уровнями. Необходимо предварительно объяснить (снять) ценотическую изменчивость продукционных показателей, чтобы остаточную изменчивость рассмотреть в аспекте ее объяснения влиянием загрязнителей в соответствующих градиентах.

Чтобы исключить варьирование биопродуктивности, обусловленное ценотическим положением дерева, мы использовали структуру выше упомянутого аллометрического уравнения, в котором ценотическое положение включено в качестве независимой переменной D :

$$\ln Pi = a_0 + a_1 \ln D; \quad (4.1)$$

здесь и далее в главе 4: Pi – надземная фитомасса (Pst , Pbr , Pf и Pa) фракции дерева в абсолютно сухом состоянии (соответственно масса стволов в коре, ветвей, хвои (листья) и надземная), кг; D – диаметр ствола на высоте груди (см).

4.1. Расчет и сравнительный анализ аллометрических уравнений фитомассы деревьев ели и пихты в градиенте загрязнений от СУМЗ. Составление таксационных таблиц

В разделе 1.4.2 мы обсуждали наличие двух разнонаправленных закономерностей: с одной стороны, увеличение плотности охвоения побегов в кроне, а с другой – снижение охвоенности (увеличение «прозрачности») крон деревьев по мере приближения к источнику загрязнений. Эти противоположные тенденции могут накладываться одна на другую, и в результате по мере приближения к источнику загрязнений и соответствующего ухудшения условий произрастания достаточно четкая закономерность на уровне деревьев может не выявиться.

Чтобы выяснить, какая из названных тенденций преобладает на наших объектах, мы проанализировали зависимость массы хвои дерева от его диаметра на разных расстояниях от источника загрязнений, которые закодировали числовыми значениями так называемой номинальной переменной L (Айвазян и др., 1985) и ввели ее в названное уравнение связи в качестве второй независимой переменной. Поскольку изменение фитомассы насаждений по мере

удаления от источника загрязнений имеет нелинейный характер (Лукина, Никонов, 1991), переменная L введена в уравнение в логарифмированном виде.

В результате получены уравнения:

для ели

$$\ln Pf = -3,145 + 2,077 \ln D - 0,114 \ln L; R^2 = 0,899; \quad (4.2)$$

для пихты

$$\ln Pf = -3,875 + 2,159 \ln D - 0,093 \ln L; R^2 = 0,934, \quad (4.3)$$

где L – здесь и далее номинальная переменная, выражающая степень удаления от источника загрязнений, в данном случае соответственно 1, 2, 4, 7 и 30 км.

Расчет уравнений (4.2) и (4.3) выполнен по данным фитомассы 66 модельных деревьев, в том числе 34 – ели и 32 – пихты, взятых на пробных площадях с разным удалением от СУМЗ (см. Прил. 4).

В полученных уравнениях (4.2) и (4.3) знак «минус» констант при номинальной переменной L означает, что у деревьев ели и пихты одного и того же диаметра по мере удаления от источника загрязнений масса хвои снижается. Однако значимость отличая от нуля констант при номинальной переменной в обоих случаях оказалась «на пределе», соответственно $t_{\text{факт}} = 1,97 < t_{05} = 2,0$ и $t_{\text{факт}} = 1,98 < t_{05} = 2,0$, т.е. закономерность снижения массы хвои у равновеликих деревьев ели и пихты при удалении от источника загрязнения в пределах от 1 до 30 км, строго говоря, статистически не значима на принятом нами 5%-ном уровне.

Поскольку на наших пробных площадях возраст деревьев варьирует в диапазоне от 37 до 164 лет, а известна обратная связь облиствения равновеликих деревьев с возрастом (Усольцев, 1972), были рассчитаны уравнения, модифицированные по отношению к (4.2) и (4.3) путем включения дополнительной независимой переменной – возраста дерева (A , лет):

для ели

$$\ln Pf = -1,499 + 2,258 \ln D - 0,505 \ln A - 0,103 \ln L; R^2 = 0,915; \quad (4.4)$$

для пихты

$$\ln Pf = -2,241 + 2,274 \ln D - 0,458 \ln A - 0,048 \ln L; R^2 = 0,943. \quad (4.5)$$

Уравнения (4.4) и (4.5) подтвердили отрицательную связь массы хвои равновеликих деревьев с их возрастом при более высоких значениях коэффициента детерминации ($0,915 > 0,899$ и $0,943 > 0,934$). Но значимость отличия от нуля регрессионного коэффициента при номинальной переменной L стала еще ниже (соответственно $t_{\text{факт}} = 1,88 < 1,97 < t_{05} = 2,0$ и $t_{\text{факт}} = 0,98 < 1,98 < t_{05} = 2,0$). Это означает, что зависимости (4.4) и (4.5) массы хвои равновеликих и разновозрастных деревьев от положения в градиенте загрязнения по сравнению с (4.2) и (4.3) стали еще более неопределенными.

Кроме ценогического положения дерева в пологе данного насаждения и возраста деревьев в совокупности изучаемых древостоев, на продукционные показатели деревьев влияет еще и плотность их стояния или густота. Густота исследуемых насаждений варьирует от 1056 до 1997 экз/га, однако включение

густоты в уравнения (4.4) и (4.5) показало, что ее влияние на массу хвои ели и пихты незначимо (соответственно $t_{\text{факт}} = 0,14 < t_{05} = 2,0$ и $t_{\text{факт}} = 0,59 < t_{05} = 2,0$).

Для объяснения изменчивости полного фракционного состава надземной фитомассы (ствол, хвоя и ветви) деревьев названных пород в качестве независимых (объясняющих) переменных в исходное аллометрическое уравнение (4.1) вводим основные массообразующие показатели деревьев, а именно, не только диаметр ствола и возраст дерева, но и его высоту (Усолецев, 1985а). В таком случае уравнения (4.4) и (4.5) модифицируются к виду

$$\ln Pi = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln A + a_4 \ln L, \quad (4.6)$$

где H – высота дерева, м. Изменчивость ее при равенстве диаметров и возрастов характеризует различия в условиях произрастания деревьев.

Нам необходимо выявить различия в структуре фитомассы двух пород (если они существуют) и степень изменения этого различия в градиенте загрязнений. Структура уравнения (4.6) позволяет сделать такое сравнение.

Чтобы «гармонизировать», т. е. согласовать между собой уравнения (4.6) для двух разных древесных пород, необходимо их объединить в некую систему. Принадлежность уравнения (4.6) к той или иной древесной породе может быть количественно выражена (квантифицирована) с помощью бинарной переменной, когда одно из сопоставляемых множеств и соответствующих уравнений кодируется нулем, а другое – единицей (Дрейпер, Смит, 1973). С учетом изложенного уравнение (4.6) модифицировано к виду:

$$\ln Pi = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln A + a_4 \ln L + a_5 X, \quad (4.7)$$

где X – бинарная переменная, равная 1 и 0 соответственно для ели и пихты.

В процессе расчета уравнения (4.7) пошаговым методом (Никитин, Швиденко, 1978) выяснилось, что расстояние от источника загрязнений оказывает статистически значимое влияние только на фитомассу хвои равновеликих и равновозрастных деревьев: значимость константы a_4 в уравнении (4.7) по критерию Стьюдента на 5%-ном уровне составила для этой фракции $3,2$, т.е. $t_{\text{факт}} = 3,2 > t_{05} = 2,0$.

Оказалось также, что масса хвои равновеликих и равновозрастных деревьев ели существенно превышает таковую у пихты: критерий Стьюдента константы a_5 при переменной X существенно превышает стандартное его значение ($t_{\text{факт}} = 8,6 > t_{05} = 2,0$). Кроме того, анализ исходных эмпирических данных массы хвои показал, что тренды ее изменения в градиенте загрязнений у ели и пихты имеют разные углы наклона по отношению к оси абсцисс. Для учета этого различия в уравнение (4.7) введен мультипликативный член $X(\ln L)$. Единственной статистически не значимой переменной оказалась высота дерева H : величина $t_{\text{факт}}$ переменной a_2 составила лишь $0,73$.

В результате выполненного расчета получено для массы хвои следующее итоговое уравнение

$$\begin{aligned} \ln Pf = & -2,738 + 2,309 \ln D - 0,371 \ln A - \\ & - 0,0590 \ln L - 0,0537 X(\ln L) + 0,628 X; \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$R^2 = 0,959; \text{ стандартная ошибка уравнения } SE = 0,241.$$

Значимость констант при переменных $\ln D$, $\ln A$, $\ln L$ и X во всех случаях превышала критический уровень (критерий Стьюдента равен, соответственно 33,0; 3,1; 3,2 и 6,2, что больше 2,0). Знаки при переменных уравнения (4.8) показывают, что масса хвои равновозрастных деревьев увеличивается пропорционально толщине ствола, но у равновеликих деревьев она снижается с возрастом дерева (в диапазоне от 40 до 160 лет), а масса хвои у равновеликих и равновозрастных деревьев снижается по мере удаления от источника загрязнений.

Если при раздельном по двум породам анализе изменения массы хвои равновеликих деревьев влияние удаления L на ее массу оказалось фактически не значимым (см. уравнения 4.2–4.5), то при совмещенном с помощью бинарной переменной X сопоставлении и введении мультипликативного члена $X(\ln L)$ ситуация существенно меняется: установлено статистически значимое снижение массы хвои у равновозрастных и равновеликих деревьев обеих древесных пород по мере удаления от СУМЗ в диапазоне от 1 до 30 км, причем степень этого снижения различается у двух пород: у ели на 32, а у пихты – на 18%. Если в импактной зоне масса хвои у пихты на 47% ниже, чем у ели, то на контроле их различие меньше и составляет 36%.

Таким образом, при равном удалении от СУМЗ равновеликие и равновозрастные деревья ели обладают существенно большей фитомассой хвои по сравнению с пихтой. Из двух «встречных» тенденций, упомянутых в разделе 1.4.2, при прочих равных условиях преобладает все же первая: увеличение густоты охвоения побегов (Ярмишко, 1997; Тарханов, 2011) перекрывает снижение охвоенности крон по мере приближения к источнику загрязнений (Сидаравичюс, 1987; Brassel, Schwyzer, 1992). А.А. Аугустайтисом (1989) это явление подтверждено лишь при воздействии соединений азота на хвойные.

Наш результат противоречит данным Н.Ф. Низаметдинова (2009), упомянутым в разделе 1.4.2: степень дефолиации («прозрачности» кроны), установленная по цифровым фотографиям крон деревьев, усиливается по мере приближения к источнику эмиссий.

По-видимому, с достаточной долей уверенности можно считать наш результат более соответствующим действительности: во-первых, при оценке степени прозрачности крон не было учтено и вычленено ее варьирование в связи с ценогическим положением дерева, его возрастом и видовой принадлежностью и, во-вторых, изменчивость «прозрачности» кроны объясняется степенью удаленности от СУМЗ в меньшей мере по сравнению с нашей многофакторной моделью ($0,624 < 0,959$).

Наш вывод подтверждается и при анализе относительной массы хвои (Pf/Pa), выраженной в долях к надземной массе, что видно из следующего уравнения:

$$\ln(Pf/Pa) = 0,113 - 0,126 \ln D - 0,435 \ln A - 0,0696 \ln L + 0,298 X; \quad (4.9)$$

$$R^2 = 0,707; SE = 0,184.$$

Значимость констант при переменных $\ln D$, $\ln A$, $\ln L$ и X в уравнении (4.9) во всех случаях превышала критический уровень (критерий Стьюдента равен соответственно 2,4; 4,8; 3,2 и 6,1, что больше 2,0).

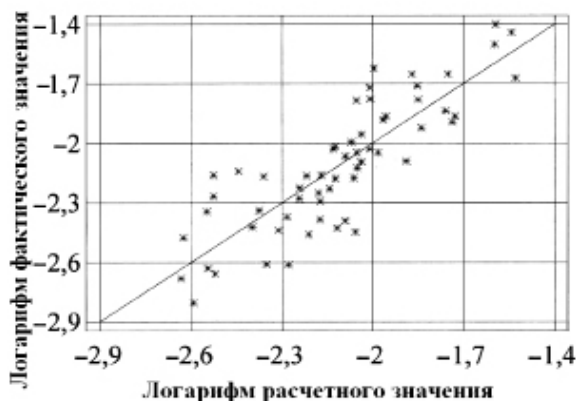


Рис. 4.1. Соотношение фактических и расчетных значений Pf/Pa , полученных по уравнению (4.9)

Судя по знакам при переменных уравнения (4.9), относительная масса хвои, как и в уравнении (4.8) для ее абсолютных величин, снижается с возрастом и с расстоянием от источника загрязнений, и она существенно выше у ели по сравнению с пихтой. Но в отличие

от абсолютных величин, относительные значения Pf/Pa по мере увеличения диаметра ствола при прочих равных условиях не возрастают, а снижаются.

Соотношение между фактическими и расчетными значениями Pf/Pa (рис. 4.1) свидетельствует о достаточно хорошей аппроксимации фактических данных уравнением (4.9) и об отсутствии корреляции остатков.

Для практического использования уравнения (4.8) путем подстановки соответствующих задаваемых значений независимых переменных получена справочно-таксационная таблица, предназначенная для количественной оценки ассимиляционного аппарата ели и пихты в градиенте загрязнений от СУМЗ (табл. 4.1).

Таким образом, установлено, что при увеличении возраста в диапазоне от 40 до 160 лет масса хвои у равновеликих деревьев ели и пихты снижается на 40%. Подобное явление было известно ранее: в частности, масса листвы у деревьев березы и осины диаметром, например, 12 см в диапазоне возраста от 15 до 35 лет снижается соответственно в 2 и 4 раза вследствие возрастного перехода деревьев одного и того же диаметра из лидеров в кандидаты на отмирание (Усольцев, 1972).

В процессе взятия модельных деревьев было установлено, что практически все деревья пихты в отличие от ели поражены стволовой гнилью. Поскольку зона поражения не касалась заболони, это навряд ли могло обусловить снижение охвоения кроны пихты по сравнению с елью, имеющей здоровую древесину. Скорее всего, названное различие в степени охвоенности обусловлено видовыми различиями, и масса хвои в таком случае может быть рассмотрена в качестве одной из видоспецифичных характеристик ели и пихты.

Необходимо выяснить влияние загрязнений не только на массу ассимиляционного аппарата, но и на остальные фракции фитомассы (ветвей и стволов), а также всей надземной. Как уже упоминалось, при расчете уравнения (4.7) оказалось, что степень удаления от СУМЗ не оказывает существенного влияния на массу ветвей, ствола и всей надземной: константы a_4 в уравнении (4.7) по критерию Стьюдента $t_{\text{факт}}$ на 5%-ном уровне были не значимы (соответственно 0,56; 1,75 и 1,74, что меньше $t_{0,5} = 2,0$). Влияние возраста дерева, как независимой переменной, на массу названных фракций

Таблица 4.1

Таблица для оценки массы ассимиляционного аппарата деревьев ели и пихты (кг)
в градиенте загрязнений от СУМЗ в зависимости от возраста дерева и диаметра ствола

Древесная порода	Возраст дерева, лет	L, км	Диаметр ствола на высоте груди, см								
			8	12	16	20	24	28	32	36	40
Ель	40	1	3,8	9,6	18,6	31,1	47,4	67,7	92,1	–	–
		2	3,5	8,9	17,2	28,8	43,9	62,6	85,2	–	–
		4	3,2	8,2	15,9	26,6	40,6	57,9	78,8	–	–
		7	3,0	7,7	14,9	25,0	38,1	54,4	74,0	–	–
		30	2,6	6,5	12,7	21,2	32,3	46,1	62,8	–	–
	70	1	–	7,8	15,1	25,3	38,5	55,0	74,9	98,3	–
		2	–	7,2	14,0	23,4	35,6	50,9	69,2	90,9	–
		4	–	6,7	12,9	21,6	33,0	47,0	64,0	84,0	–
		7	–	6,2	12,1	20,3	30,9	44,2	60,1	78,9	–
		30	–	5,3	10,3	17,2	26,3	37,5	51,0	67,0	–
	100	1	–	–	13,2	22,2	33,8	48,2	65,6	86,1	110
		2	–	–	12,2	20,5	31,2	44,6	60,7	79,6	102
		4	–	–	11,3	19,0	28,9	41,2	56,1	73,6	93,9
		7	–	–	10,6	17,8	27,1	38,7	52,7	69,1	88,2
		30	–	–	9,0	15,1	23,0	32,8	44,7	58,7	74,8
	160	1	–	–	11,1	18,6	28,4	40,5	55,1	72,3	92,2
		2	–	–	10,3	17,2	26,2	37,4	50,9	66,9	85,3
		4	–	–	9,5	15,9	24,3	34,6	47,1	61,8	78,9
		7	–	–	8,9	14,9	22,8	32,5	44,2	58,1	74,1
		30	–	–	7,6	12,7	19,3	27,6	37,5	49,3	62,8
Пихта	40	1	2,0	5,1	9,9	16,6	25,3	36,1	49,2	–	–
		2	1,9	4,9	9,5	15,9	24,3	34,7	47,2	–	–
		4	1,8	4,7	9,1	15,3	23,3	33,3	45,3	–	–
		7	1,8	4,6	8,8	14,8	22,6	32,2	43,8	–	–
		30	1,6	4,2	8,1	13,6	20,7	29,6	40,2	–	–
	70	1	–	4,1	8,1	13,5	20,6	29,4	40,0	52,4	–
		2	–	4,0	7,7	13,0	19,7	28,2	38,4	50,3	–
		4	–	3,8	7,4	12,4	18,9	27,0	36,8	48,3	–
		7	–	3,7	7,2	12,0	18,3	26,2	35,6	46,8	–
		30	–	3,4	6,6	11,0	16,8	24,0	32,7	42,9	–
	100	1	–	–	7,1	11,8	18,0	25,7	35,0	45,9	58,6
		2	–	–	6,8	11,4	17,3	24,7	33,6	44,1	56,2
		4	–	–	6,5	10,9	16,6	23,7	32,3	42,3	54,0
		7	–	–	6,3	10,5	16,1	22,9	31,2	41,0	52,2
		30	–	–	5,8	9,7	14,7	21,0	28,6	37,6	47,9
	160	1	–	–	5,9	9,9	15,1	21,6	29,4	38,6	49,2
		2	–	–	5,7	9,5	14,5	20,7	28,2	37,0	47,2
		4	–	–	5,5	9,2	13,9	19,9	27,1	35,6	45,3
		7	–	–	5,3	8,9	13,5	19,3	26,2	34,4	43,9
		30	–	–	4,9	8,1	12,4	17,7	24,1	31,6	40,3

Таблица 4.2

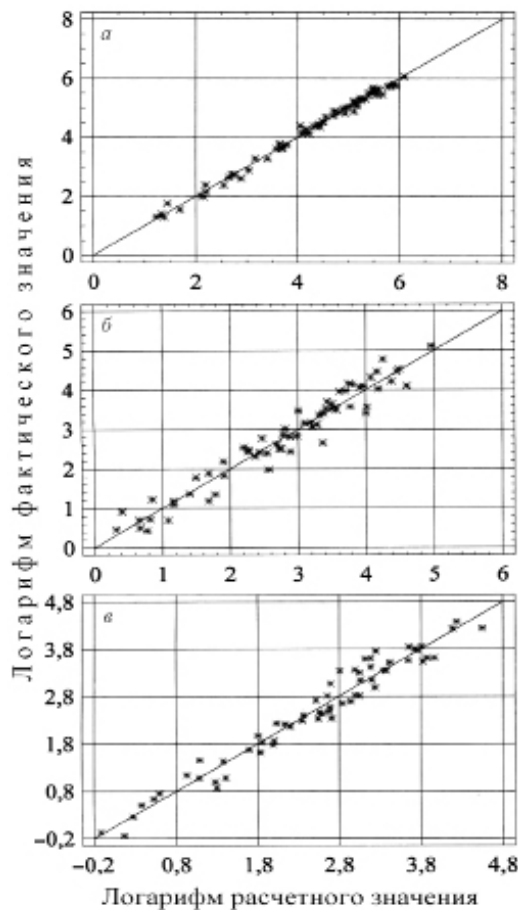
Характеристика уравнения (4.10)

Зависимая переменная $\ln Pi$ для:	Константы и независимые переменные				R^2	Стандартная ошибка уравнения
	a_0	$a_1 \ln D$	$a_2 \ln H$	$a_3 X$		
стволов	-3,3612	1,8928	0,7626	0,0793	0,991	0,132
ветвей	-3,4900	2,9095	-0,8493	0,3767	0,944	0,293
хвои	-3,8426	2,3453	-0,2645	0,5402	0,941	0,273

также оказалось или не значимым, или на пределе статистической значимости. В результате структура уравнения (4.7) была редуцирована и приведена к общему виду

$$\ln Pi = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 X. \quad (4.10)$$

В результате расчета уравнений (4.10) получена их характеристика, приведенная в табл. 4.2. Все константы значимы на 5%-ном уровне. При-



веденные в табл. 4.2 переменные уравнения (4.10) объясняют от 94 до 99% изменчивости фитомассы деревьев. Соотношения между фактическими и расчетными значениями для массы стволов, ветвей и хвои (рис. 4.2) свидетельствуют о достаточно хорошей аппроксимации фактических данных уравнением (4.10) и об отсутствии корреляции остатков.

Уравнение (4.10) и составленная на его основе таксационная таблица (табл. 4.3) предназначены для оценки всей надземной фитомассы деревьев ели и пихты и ее полной фракционной структуры, включая массу хвои. «Гармонизация» фракционной структуры, т.е. обеспечение взаимной согласованности оценок всех фракций фитомассы в общей ее структу-

Рис. 4.2. Соотношение фактических и расчетных значений фитомассы стволов, ветвей и хвои, соответственно а, б и в, полученных по уравнению (4.10)

Таблица 4.3

Таблица для оценки фракционного состава фитомассы деревьев ели и пихты (кг) в зависимости от высоты дерева и диаметра ствола

Древесная порода	Фракция фитомассы	Высота, м	Диаметр ствола, см								
			8	12	16	20	24	28	32	36	40
Ель	Ствол	4	5,5	11,9	–	–	–	–	–	–	–
		8	–	20,2	34,9	53,2	–	–	–	–	–
		12	–	27,6	47,5	72,5	102	137	176	–	–
		16	–	34,3	59,2	90,3	127	171	220	275	335
		20	–	–	70,1	107	151	202	260	326	397
		24	–	–	80,6	123	174	232	299	374	457
		28	–	–	–	–	195	262	337	421	514
	Ветви	4	5,8	18,9	–	–	–	–	–	–	–
		8	–	10,5	24,2	46,4	–	–	–	–	–
		12	–	7,4	17,2	32,9	55,9	87,5	129	–	–
		16	–	5,8	13,4	25,7	43,7	68,5	101	142	193
		20	–	–	11,1	21,3	36,2	56,7	83,6	118	160
		24	–	–	9,53	18,2	31,0	48,6	71,6	101	137
		28	–	–	–	–	27,2	42,6	62,8	88,5	120
	Хвоя	4	3,3	8,7	–	–	–	–	–	–	–
		8	–	7,2	14,2	23,9	–	–	–	–	–
		12	–	6,5	12,7	21,5	32,9	47,2	–	–	–
		16	–	6,0	11,8	19,9	30,5	43,8	59,9	78,9	101
		20	–	–	11,1	18,7	28,8	41,3	56,5	74,4	95,3
		24	–	–	10,6	17,9	27,4	39,3	53,8	70,9	90,8
		28	–	–	–	–	26,3	37,8	51,6	68,1	87,2
Пихта	Ствол	4	5,1	11,0	–	–	–	–	–	–	–
		8	–	18,7	32,2	49,2	–	–	–	–	–
		12	–	25,5	43,9	67,0	94,6	127	163	–	–
		16	–	31,7	54,7	83,4	118	158	203	254	310
		20	–	–	64,8	98,9	140	187	241	301	367
		24	–	–	74,5	114	160	215	277	346	422
		28	–	–	–	–	180	242	311	389	474
	Ветви	4	4,0	13,0	–	–	–	–	–	–	–
		8	–	7,2	16,6	31,8	–	–	–	–	–
		12	–	5,1	11,8	22,5	38,3	60,0	88,5	–	–
		16	–	4,0	9,2	17,7	30,0	47,0	69,3	97,7	133
		20	–	–	7,6	14,6	24,8	38,9	57,4	80,8	110
		24	–	–	6,5	12,5	21,3	33,3	49,1	69,2	94,0
		28	–	–	–	–	18,7	29,2	43,1	60,7	82,5

Древесная порода	Фракция фитомассы	Высота, м	Диаметр ствола, см								
			8	12	16	20	24	28	32	36	40
	Хвоя	4	1,9	5,0	–	–	–	–	–	–	–
		8	–	4,2	8,2	13,9	–	–	–	–	–
		12	–	3,8	7,4	12,5	19,2	27,5	37,6	–	–
		16	–	3,5	6,9	11,6	17,8	25,5	34,9	46,0	58,9
		20	–	–	6,5	10,9	16,8	24,0	32,9	43,4	55,5
		24	–	–	6,2	10,4	16,0	22,9	31,3	41,3	52,9
		28	–	–	–	–	15,3	22,0	30,1	39,7	50,8

ре, достигнута в данном случае путем введения в структуру уравнения (4.10) бинарной переменной X .

Табл. 4.3 позволяет проследить основные тенденции в изменении фракционного состава фитомассы ели и пихты по определяющим факторам и дать им количественную характеристику. Во-первых, фитомасса деревьев пихты по сравнению с равновеликими деревьями ели существенно меньше: по массе ствола, ветвей и хвои соответственно на 8, 31 и 42%. Небольшая (8%) разница в массе стволов, по-видимому, обусловлена более низкой условной (базисной) плотностью древесины пихты по сравнению с елью.

При увеличении диаметра ствола от 12 до 40 см фитомасса стволов, ветвей и хвои увеличивается соответственно в 10, 33 и 17 раз. С изменением высоты дерева фитомасса связана намного слабее: например, в диапазоне высот от 8 до 24 м фитомасса ствола возрастает в 2 раза, а ветвей и хвои снижается соответственно 2,5 и 1,3 раза.

4.2. Расчет аллометрических уравнений фитомассы деревьев сосны и березы в градиенте загрязнений от КМК. Составление таксационных таблиц

4.2.1. Сосновые насаждения

Фактические данные о фитомассе 42 модельных деревьев сосны в возрасте от 44 до 126 лет (см. Прил. 4), полученные в градиенте загрязнений от КМК, проанализированы с использованием многофакторного регрессионного анализа. Высота дерева H , при прочих равных условиях учитывающая условия произрастания, в нашем исследовании оказалась тесно коррелированной с диаметром ствола и поэтому статистически незначимой. Таким образом, для оценки фитомассы деревьев выбрана структура уравнения:

$$\ln Pi = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln A + a_3 \ln L . \quad (4.11)$$

Значимость констант при переменной A в уравнении (4.11) не достигает принятого уровня для большинства фракций фитомассы (крите-

Таблица 4.4

Характеристика уравнений (4.12) для деревьев сосны

Зависимая переменная	Константы при независимых переменных			R ²	Стандартная ошибка SE
	a ₀	a ₁ lnD	a ₂ lnL		
lnPf	-4,174	2,085	-0,105	0,856	0,37
lnPbr	-4,361	2,404	-0,099	0,875	0,38
lnPst	-3,493	2,715	0,061	0,970	0,21
lnPa	-2,962	2,623	0,024	0,979	0,16

Таблица 4.5

Изменение фитомассы деревьев сосны разного диаметра в связи с удалением от КМК (по уравнению 4.12)

L, км	Фитомасса дерева (кг) при диаметре ствола на высоте 1, 3 м, см									
	Фракции	8	12	16	20	24	28	32	36	40
4	Хвоя	1,02	2,37	4,32	6,88	10,1	13,9	18,3	23,4	29,2
	Ветви	1,65	4,38	8,75	15,0	23,2	33,6	46,3	61,5	79,2
	Ствол	9,36	28,2	61,5	112,7	184,8	280,9	403,7	514,8	739,8
	Итого	12,0	34,9	74,5	134,5	218,1	328,4	468,3	599,8	848,2
6	Хвоя	0,975	2,27	4,14	6,59	9,64	13,3	17,6	22,5	28,0
	Ветви	1,59	4,21	8,41	14,4	22,3	32,3	44,5	59,1	76,1
	Ствол	9,60	28,9	63,0	115,5	189,5	287,9	413,8	569,7	758,3
	Итого	12,2	35,3	75,6	136,5	221,4	333,5	475,8	651,2	862,4
8	Хвоя	0,95	2,20	4,02	6,40	9,36	12,9	17,0	21,8	27,1
	Ветви	1,54	4,09	8,17	14,0	21,7	31,4	43,3	57,4	74,0
	Ствол	9,77	29,4	64,1	117,5	192,8	293,0	421,1	537,0	771,7
	Итого	12,3	35,7	76,3	137,9	223,8	337,3	481,4	616,3	872,8
12	Хвоя	0,907	2,11	3,85	6,13	8,97	12,4	16,3	20,9	26,0
	Ветви	1,48	3,93	7,85	13,4	20,8	30,1	41,6	55,2	71,1
	Ствол	10,0	30,1	65,7	120,5	197,6	300,4	431,6	594,2	791,0
	Итого	12,4	36,1	77,4	140,0	227,4	342,9	489,5	670,3	888,1
20	Хвоя	0,86	2,00	3,65	5,81	8,50	11,7	15,5	19,8	24,7
	Ветви	1,41	3,74	7,46	12,76	19,8	28,7	39,5	52,5	67,6
	Ствол	10,3	31,1	67,8	124,3	203,9	309,8	445,2	567,9	816,0
	Итого	12,6	36,8	78,9	142,9	232,2	350,2	500,2	640,1	908,3
30	Хвоя	0,82	1,92	3,50	5,57	8,15	11,2	14,8	19,0	23,6
	Ветви	1,35	3,59	7,17	12,3	19,0	27,5	38,0	50,4	64,9
	Ствол	10,6	31,8	69,5	127,4	209,0	317,6	456,4	582,1	836,4
	Итого	12,8	37,3	80,2	145,2	236,1	356,4	509,2	651,4	925,0

рий Стьюдента варьировал в диапазоне $t_{\text{факт}}$ от 0,02 до 1,38, что существенно ниже стандартного значения $t_{05} = 2,0$). Поскольку возраст дерева не оказывает достоверного влияния на фитомассу деревьев сосны, он исключен из структуры уравнения (4.11) и выполнен расчет констант следующего уравнения:

$$\ln Pi = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln L, \quad (4.12)$$

характеристика которого приведена в табл. 4.4.

Необходимо отметить, что константа a_2 при переменной L в большинстве случаев статистически значима не на 5%-ном, а лишь на 10%-ном уровне. Иными словами, степень удаления от КМК не оказывает существенного влияния на массу хвои, ветвей, и ствола дерева, поскольку значимость отличия от нуля соответствующих констант при переменной $\ln L$ в уравнении (4.4) по критерию Стьюдента на 5%-ном уровне была ниже критической, соответственно 1,16; 1,03 и 1,21, что меньше $t_{05} = 2,0$.

Тем не менее, фитомасса равновеликих деревьев закономерно изменяется по мере удаления от КМК: несколько снижается масса кроны и возрастает масса ствола дерева. Возможно, названное снижение массы кроны происходит вследствие снижения охвоенности побегов (Ярмишко, 1997), а увеличение массы ствола – вследствие изменения полндревесности и плотности древесины и коры в градиенте загрязнений.

Количественная характеристика отмеченных тенденций приведена в табл. 4.5, которая позволяет сделать вывод, что по мере удаления от КМК происходит перераспределение фитомассы между кроной и стволом в пользу последнего. В итоге наблюдается некоторое повышение названных показателей для всей надземной части равновеликих деревьев по мере удаления от источника загрязнений.

Поскольку отмеченные выше тенденции имеют низкую степень статистической значимости, для ориентировочных расчетов продукционных показателей деревьев сосны принята упрощенная структура уравнений, а именно (4.1). Его характеристика приведена в табл. 4.6, а положение полученных линий регрессии (согласно уравнению 4.1) относительно фактических данных продукционных показателей деревьев сосны показано на рис. 4.3.

На основе уравнений (4.1), приведенных в табл. 4.6, составлена таблица для оценки фракционного состава фитомассы деревьев сосны в окрестностях КМК (табл. 4.7).

Таблица 4.6

Характеристика уравнения (4.1) для фитомассы деревьев сосны

Зависимая переменная	Константы при независимой переменной		R ²	Стандартная ошибка SE
	a ₀	a ₁ lnD		
lnPf	-4,727	2,177	0,841	0,40
lnPbr	-4,596	2,407	0,872	0,39
lnPst	-3,348	2,713	0,969	0,21

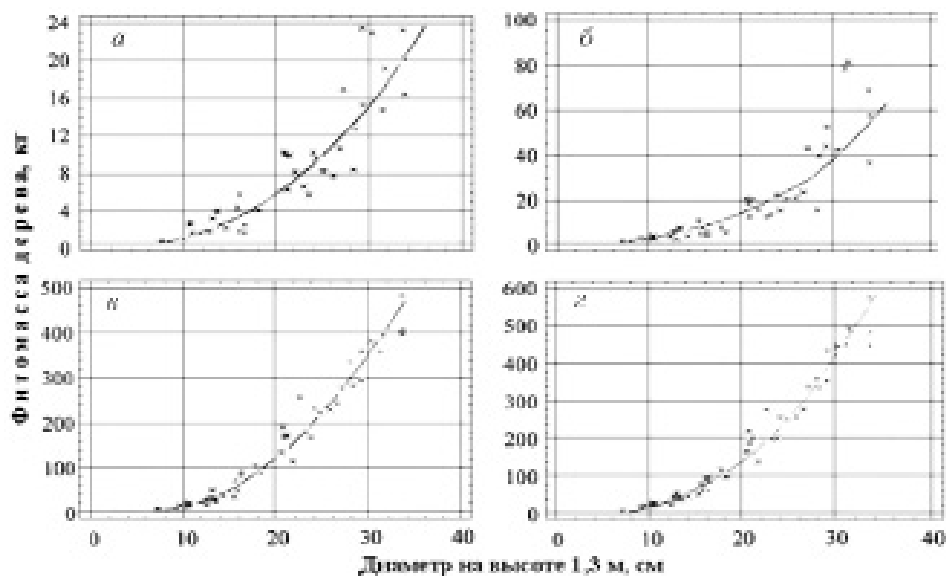


Рис. 4.3. Зависимость фитомассы деревьев сосны от их диаметра:
а – хвоя; *б* – ветви; *в* – ствол и *г* – надземная фитомасса

Таким образом, в градиенте загрязнений на расстоянии от 4 до 32 км от КМК фитомасса деревьев сосны изменяется незначительно: превышение названных показателей на контроле по сравнению с импактной зоной составило соответственно 9 и 11%, однако это превышение статистически значимо не на 5%-ном, а лишь на 10%-ном уровне. Поэтому составлена унифицированная табл. 4.7 для оценки фракционного состава фитомассы и ЧПП деревьев сосны в зависимости лишь от диаметра ствола на высоте груди, без дифференциации показателей по зонам загрязнения.

Полученный вывод о слабой обусловленности фитомассы деревьев загрязнениями в сосняках, произрастающих в зоне влияния КМК на расстояниях от 4 до 30 км от него, и, как следствие, составление унифицированных уравнений и таблицы для всей примыкающей к КМК

Таблица 4.7

Таблица для оценки фитомассы деревьев в связи с диаметром ствола в сосняках, прилегающих к КМК (по уравнению 4.1)

Фракции	Фитомасса дерева при диаметре ствола (см), кг								
	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Хвоя	0,819	1,98	3,70	6,02	8,96	12,5	16,8	21,7	27,2
Ветви	1,51	4,00	7,99	13,7	21,2	30,7	42,4	56,3	72,6
Ствол	9,91	29,8	65,0	119,1	195,3	296,7	426,3	586,8	780,9
Итого	12,2	35,8	76,7	138,8	225,5	340,0	485,4	664,7	880,7

территории находятся в противоречии с результатами Й. Сидаравичюса (1987), полученными для сосны в зоне действия завода «Азотас» (см. табл. 1.1). Там по мере приближения к заводу с расстояния 8,0 до 2,5 км масса хвои тонкомерных деревьев снижается в 23 и крупномерных – в 3 раза. Возможно, причина столь резкого снижения охвоенности деревьев состоит в том, что в указанном диапазоне расстояний от завода «Азотас» был превышен допороговый уровень загрязнений. По-видимому, в нашем исследовании насаждения в диапазоне расстояний от 30 до 4 км от КМК находились на допороговом уровне выбросов, постепенно снижая фитомассу составляющих их деревьев, но на более близких расстояниях от КМК сосна, получая запредельные дозы токсикантов, не снижает продуктивность, а гибнет: сосновые насаждения в радиусе 4 км от КМК отсутствуют.

4.2.2. Березовые насаждения

Структура уравнения (4.11), примененная при анализе подеревенной фитомассы сосны, использована нами также применительно к 56 модельным деревьям березы (см. Прил. 4), взятым на пробных площадях в градиенте загрязнений от КМК. Как и в предыдущем случае, высота дерева в качестве независимой переменной оказалась не значимой. При расчете названных уравнений для березы константы при переменной A оказались статистически значимыми лишь для фитомассы листвы, а для ветвей и ствола – нет ($t_{\text{факт}}$ равно от 0,64 до 1,63). Поскольку для большинства фракций возраст A статистически не значим, для составления таблицы для подеревенной оценки фитомассы березы мы применили структуру уравнения (4.12), характеристика которого приведена в табл. 4.8. Константы a_1 при переменной $\ln D$ значимы на уровне t_{05} ($t_{\text{факт}}$ равно от 25 до 57); константы a_2 при переменной $\ln L$ значимы для листвы и ветвей также на уровне t_{05} ($t_{\text{факт}}$ равно соответственно 2,6 и 2,3), а для массы ствола и надземной – на уровне t_{01} ($t_{\text{факт}}$ равно соответственно 1,8 и 1,8). С целью «гармонизации» изменения фракционной структуры березняков по двум переменным мы приняли к расчету таксационной таблицы (табл. 4.9) структуру уравнения (4.12). Соотношения между фактическими и расчетными значениями Pf , Pbr и Pst свидетельствуют об удовлетворительной аппроксимации фактических данных уравнени-

Таблица 4.8

Характеристика уравнений (4.12) для деревьев березы

Зависимая переменная	Константы при независимых переменных			R ²	SE
	a_0	$a_1 \ln D$	$a_2 \ln L$		
$\ln Pf$	-6,173	2,432	0,121	0,945	0,22
$\ln Pbr$	-5,743	2,806	0,141	0,928	0,29
$\ln Pst$	-2,383	2,473	0,044	0,982	0,12
$\ln Pa$	-2,485	2,554	0,045	0,984	0,12

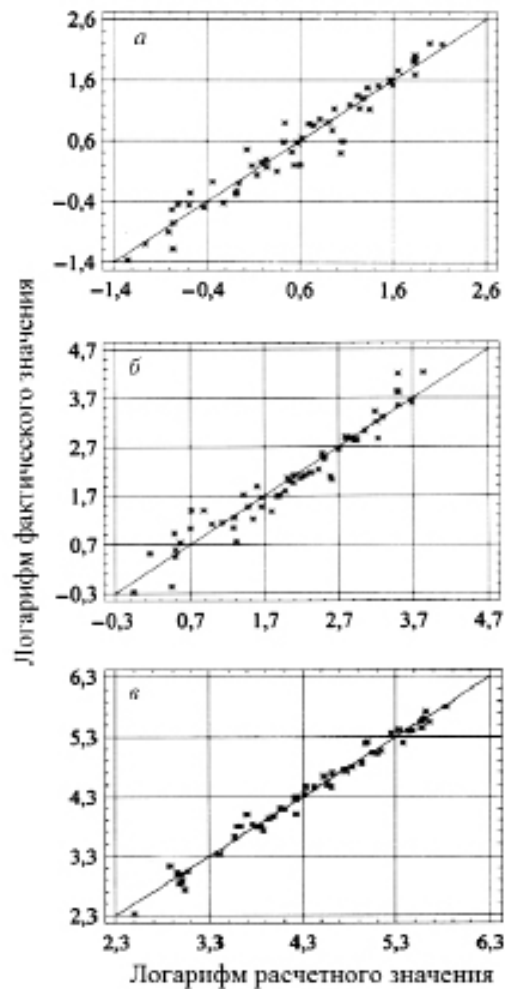


Рис. 4.4. Соотношение фактических и расчетных по уравнению (4.12) значений надземной фитомассы деревьев березы:
а – листья; *б* – ветви; *в* – ствол

ями (4.12) для деревьев березы и об отсутствии корреляции остатков (рис. 4.4).

Согласно цифровым данным табл. 4.9, фитомасса листьев, ветвей, стволов и всей надземной части деревьев березы на контроле превышает аналогичные показатели импактной зоны соответственно на 28, 33, 9 и 12%.

Таблица для оценки фитомассы деревьев березы разного диаметра в связи с удалением от КМК

L, км	Фракции	Фитомасса дерева (кг) при диаметре ствола, см															
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28				
	Листья	0,192	0,387	0,667	1,04	1,51	2,09	2,78	3,60	4,54	5,61	6,81	8,16				
	Ветви	0,595	1,33	2,50	4,16	6,42	9,33	13,0	17,5	22,8	29,1	36,5	44,9				
	Ствол	8,25	16,8	29,2	45,8	67,1	93,4	124,9	162,1	205,2	254,5	310,2	372,6				
	Итого	9,04	18,5	32,4	51,0	75,0	104,8	140,7	183,2	232,6	289,2	353,5	425,7				
4	Листья	0,202	0,407	0,700	1,09	1,59	2,20	2,92	3,78	4,76	5,89	7,15	8,57				
	Ветви	0,630	1,41	2,64	4,41	6,79	9,88	13,8	18,5	24,2	30,8	38,6	47,5				
	Ствол	8,40	17,1	29,7	46,7	68,3	95,0	127,2	165,1	208,9	259,1	315,8	379,4				
	Итого	9,23	18,9	33,1	52,2	76,7	107,1	143,9	187,3	237,8	295,8	361,6	435,5				
6	Листья	0,209	0,421	0,725	1,13	1,64	2,27	3,03	3,91	4,93	6,10	7,41	8,87				
	Ветви	0,656	1,47	2,75	4,59	7,07	10,3	14,3	19,3	25,2	32,1	40,2	49,5				
	Ствол	8,51	17,3	30,1	47,3	69,2	96,3	128,8	167,2	211,6	262,4	319,9	384,2				
	Итого	9,37	19,2	33,6	53,0	77,9	108,8	146,2	190,3	241,7	300,6	367,5	442,6				
8	Листья	0,220	0,442	0,761	1,19	1,73	2,39	3,18	4,11	5,18	6,40	7,78	9,31				
	Ветви	0,695	1,56	2,91	4,86	7,49	10,9	15,2	20,4	26,6	34,0	42,6	52,4				
	Ствол	8,66	17,6	30,6	48,1	70,4	98,0	131,1	170,2	215,4	267,2	325,6	391,2				
	Итого	9,58	19,6	34,3	54,2	79,6	111,3	149,5	194,7	247,2	307,6	376,0	452,9				
12	Листья	0,234	0,470	0,810	1,26	1,84	2,54	3,38	4,37	5,51	6,81	8,27	9,90				
	Ветви	0,747	1,67	3,13	5,22	8,05	11,7	16,3	21,9	28,6	36,5	45,7	56,3				
	Ствол	8,86	18,0	31,3	49,2	72,0	100,2	134,1	174,1	220,3	273,3	333,1	400,1				
	Итого	9,84	20,2	35,3	55,7	81,9	114,5	153,8	200,3	254,5	316,6	387,1	466,3				
20	Листья	0,245	0,494	0,850	1,32	1,93	2,67	3,55	4,59	5,79	7,15	8,69	10,4				
	Ветви	0,791	1,77	3,32	5,53	8,52	12,4	17,3	23,2	30,3	38,7	48,4	59,6				
	Ствол	9,02	18,4	31,9	50,1	73,3	102,0	136,6	177,2	224,3	278,2	339,1	407,3				
	Итого	10,1	20,6	36,1	56,9	83,8	117,1	157,4	205,0	260,4	324,0	396,2	477,3				

4.3. О фитомассе генеративных органов сосны и березы

Учет массы генеративных органов деревьев осуществляется крайне редко, хотя эта фракция фитомассы несомненно является важным компонентом общей продуктивности. Оценка названного показателя связана с некоторой неопределенностью. Дело здесь не в сложности процедуры фракционирования и взвешивания, а в крайней изменчивости признака. Современные имитационные модели распределения ассимилятов дерева построены на ранжировании отдельных его частей по приоритетам в получении ассимилятов. В годы обильного плодоношения генеративные органы сильно конкурируют за ассимиляты, но в основном – с камбием (Kozlowski, Keller, 1966), а первоочередным приоритетом обладают расходы ассимилятов на дыхание и обеспечение прироста фотосинтезирующей (хвои) и всасывающей (тонкие корни) фракций (Палуметс, 1990).

Поэтому, если исходить из подобного ранжирования упомянутых приоритетов, то осуществляемая обычно оценка массы крон без учета урожайности семян данного года теоретически не является фактором, существенно отягощающим проблему, поскольку в большинстве случаев связана со смещениями, не выходящими за пределы точности оценки фитомассы крон. Тем не менее, исследование фактического соотношения охвоенности и урожайности семян в 25-летних культурах лиственницы со средними диаметром и высотой соответственно 20 см и 12,5 м показало, что деревья указанных размеров с обильным семеношением по отношению к таким же деревьям со слабым семеношением имеют массу хвои примерно на треть меньшую, компенсируя снижение последней повышенной физиологической активностью: по интенсивности фотосинтеза – на 22 %, по интенсивности транспирации – на 13 % и по биоэлектрическому потенциалу – на 54 % (Карасева, 2001).

Известно, что урожай семян деревьев варьирует от года к году в диапазоне от максимума до минимума, и эта цикличность обусловлена как биологическими особенностями той или иной породы, так и погодными условиями. Строго говоря, оценку массы генеративных органов деревьев нужно выполнять не «деструктивным» методом на временных пробных площадях, а на стационарных объектах с выводом среднего многолетнего (за 10–15 лет) показателя (Храмова, Храмов, 1974). Мы не знаем, на какую стадию в названной цикличности пришелся наш учет массы генеративных органов сосны и березы, и этот показатель может быть как максимальным, так и минимальным относительно среднегодовой «нормы». В данном случае важно было хотя бы выяснить, в какой степени масса генеративных органов названных древесных пород обусловлена загрязнениями от КМК, т.е. установить наличие или отсутствие трендов в градиенте загрязнений.

Выполнен регрессионный анализ фактических данных фитомассы генеративных органов (см. Прил. 6), и получены уравнения – для сосны

$$\ln P_{gen} = -20,942 + 2,311 \ln A + 2,807 \ln D + 0,720 \ln L; \quad (4.13)$$

$$R^2 = 0,781; SE = 0,46;$$

– для березы

$$\ln P_{gen} = -28,485 + 5,075 \ln A + 1,198 \ln D + 1,707 \ln L - 0,345(\ln L)^2; \quad (4.14)$$
$$R^2 = 0,655; \quad SE = 0,3,$$

где P_{gen} – масса генеративных органов дерева в абсолютно сухом состоянии, кг; D – диаметр ствола на высоте груди, см. Деревья низших классов роста не имели генеративных органов, и уравнения (4.13) и (4.14) для сосны и березы действительны в диапазонах соответственно: возраста от 50 до 130 лет и от 50 до 90 лет и диаметра на высоте груди – соответственно от 20 до 34 см и от 10 до 28 см.

Судя по знакам при независимых переменных, масса генеративных органов связана положительно с каждой из них. Все константы при независимых переменных значимы на 5%-ном уровне, за исключением константы при $\ln D$ в уравнении (4.14), значимой на 10%-ном. Соотношения между фактическими и расчетными значениями $\ln P_{gen}$ (рис. 4.5) свидетельствуют о достаточно хорошей аппроксимации фактических данных уравнениями (4.13) и (4.14) и об отсутствии корреляции остатков.

Фитомасса генеративных органов сосны в пределах применимости модели (4.13) монотонно возрастает по мере увеличения каждой из трех независимых переменных: у равновеликих и разновозрастных деревьев на контроле по сравнению с импактной зоной она выше в 4 раза, у равновеликих деревьев при одном и том же удалении от КМК в 130-летнем сосняке по сравнению с 50-летним – в 9 раз и у разновозрастных деревьев при одном и том же удалении от КМК в ступени толщины 34 см по сравнению с ступенью толщины 20 см – в 4,5 раза (табл. 4.10).

В градиенте загрязнения от КМК у березы монотонность тренда (по модели 4.14) нарушается: у равновеликих и разновозрастных деревьев масса генеративных органов нарастает в диапазоне от 4 до 12 км, а затем снижается; у разновозрастных деревьев при равном удалении от КМК она снижается в ступени толщины 26 см по сравнению с ступенью толщины 12 см – в 2,5 раза, но у равновеликих деревьев при прочих равных условиях в возрасте 90 лет по сравнению с возрастом 50 лет – в 23–30 раз (табл. 4.11).

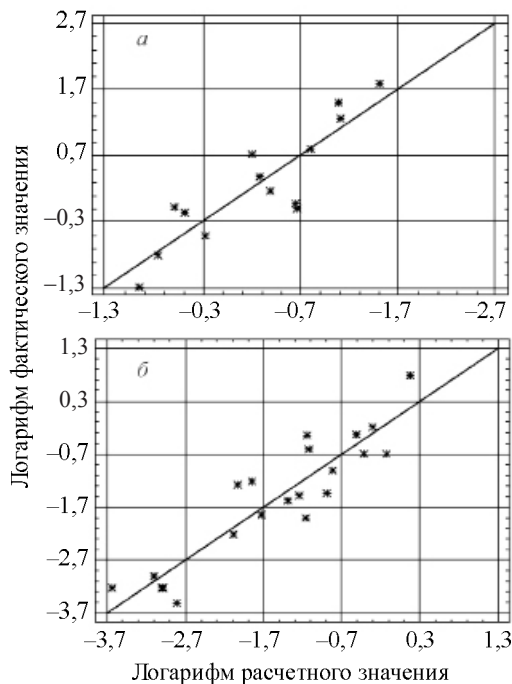


Рис. 4.5. Соотношение фактических и расчетных значений массы генеративных органов дерева по уравнению (4.13) для сосны (а) и по уравнению (4.14) для березы (б)

Таблица 4.10

Изменение фитомассы генеративных органов деревьев сосны разного диаметра и возраста в связи с удалением от КМК (по уравнению 4.13)

L, км	Фитомасса генеративных органов (кг) при диаметре ствола на высоте груди, см								
	A, лет	20	22	24	26	28	30	32	34
4	50	0,08	0,11	0,14	0,17	0,21	–	–	–
	70	0,18	0,24	0,30	0,38	0,46	0,56	–	–
	90	0,32	0,42	0,54	0,67	0,83	1,00	1,20	1,43
	110	0,51	0,67	0,85	1,07	1,32	1,60	1,91	2,27
	130	–	0,98	1,26	1,57	1,94	2,35	2,82	3,34
8	50	0,14	0,18	0,23	0,28	0,35	–	–	–
	70	0,30	0,39	0,49	0,62	0,76	0,93	–	–
	90	0,53	0,69	0,88	1,11	1,36	1,65	1,98	2,35
	110	0,84	1,10	1,41	1,76	2,17	2,63	3,15	3,74
	130	–	1,62	2,07	2,59	3,19	3,87	4,64	5,50
12	50	0,18	0,24	0,30	0,38	0,47	–	–	–
	70	0,40	0,52	0,66	0,83	1,02	1,24	–	–
	90	0,71	0,93	1,18	1,48	1,83	2,22	2,66	3,15
	110	1,13	1,47	1,88	2,36	2,90	3,52	4,22	5,01
	130	–	2,17	2,77	3,47	4,27	5,18	6,21	7,36
30	50	0,35	0,46	0,59	0,74	0,91	–	–	–
	70	0,77	1,00	1,28	1,60	1,98	2,40	–	–
	90	1,37	1,79	2,29	2,87	3,53	4,29	5,14	6,09
	110	2,18	2,85	3,64	4,56	5,62	6,82	8,17	9,69
	130	–	4,20	5,36	6,71	8,26	10,03	12,02	14,25

По данным перечислительной таксации древостоев рассчитана фитомасса генеративных органов на 1 га и проанализирована ее связь с расстоянием от КМК. Оказалось, что максимальные значения названного показателя приходятся на удалении от КМК: в сосняках около 15 км и в березняках – 10 км, а в более близких и более удаленных от КМК насаждениях масса генеративных органов на 1 га снижается (рис. 4.6). Названные закономерности описаны следующими уравнениями

– для сосны

$$\ln Pg = 50,566 - 100,55 \ln L + 66,783 (\ln L)^2 - 18,154 (\ln L)^3 + 1,724 (\ln L)^4; \quad (4.15)$$

$$R^2 = 0,964; SE = 0,26;$$

– для березы

$$\ln Pg = -4,3567 + 3,3955 (\ln L)^2 - 1,6632 (\ln L)^3 + 0,214 (\ln L)^4; \quad (4.16)$$

Таблица 4.11

Изменение фитомассы генеративных органов деревьев березы разного диаметра и возраста в связи с удалением от КМК (по уравнению 4.14)

L, км	Фитомасса генеративных органов (кг) при диаметре ствола на высоте груди, см								
	A, лет	12	14	16	18	20	22	24	26
4	50	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	–	–
	60	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	–
	70	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,22	0,24	0,27
	80	0,21	0,25	0,29	0,34	0,39	0,43	0,48	0,53
	90	–	0,46	0,54	0,62	0,70	0,78	0,87	0,96
8	50	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	–	–
	60	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	–
	70	0,15	0,18	0,21	0,25	0,28	0,31	0,35	0,38
	80	0,30	0,36	0,42	0,48	0,55	0,62	0,68	0,75
	90	–	0,65	0,76	0,88	1,00	1,12	1,24	1,37
12	50	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	–	–
	60	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	–
	70	0,16	0,19	0,23	0,26	0,29	0,33	0,37	0,40
	80	0,31	0,38	0,44	0,51	0,58	0,65	0,72	0,79
	90	–	0,69	0,81	0,93	1,05	1,18	1,31	1,44
30	50	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	–	–
	60	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	–
	70	0,12	0,14	0,17	0,19	0,22	0,25	0,27	0,30
	80	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,54	0,59
	90	–	0,51	0,60	0,69	0,78	0,88	0,97	1,07

$$R^2 = 0,687; SE = 0,39,$$

где Pg – масса генеративных органов древостоя в абсолютно сухом состоянии, т/га. Все константы в (4.15) и (4.16) значимы на 5%-ном уровне.

Закономерность резкого возрастания показателя с последующим постепенным снижением удовлетворяет условию функции Г. Бакмана (Backman, 1938), которая была введена в биологию для обоснования понятия «органического времени». Уравнения (4.15) и (4.16) представляют, по существу, функцию Г. Бакмана, скорректированную введением двух дополнительных переменных в 3-й и 4-й степени полинома. Поскольку кривые подогнаны по принципу максимального приближения к экспериментальным данным, уравнения (4.15) и (4.16) действительны в диапазоне удалений от КМК строго от 4 до 32 км.

Таким образом, максимальные значения массы генеративных органов на 1 га насаждений сосны и березы приходятся на буферную зону градиента

Рис. 4.6. Положение линий регрессии, описывающих связь фитомассы генеративных органов сосны (а) и березы (б) на 1 га с расстоянием от КМК

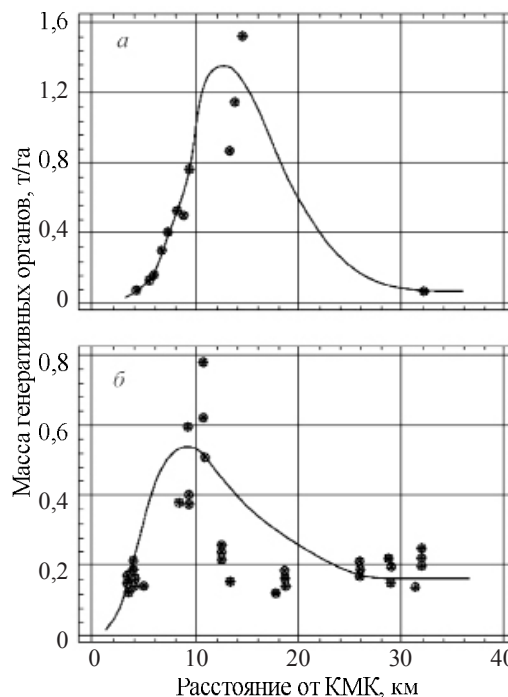
загрязнений (расстояние от 9 до 18 км от КМК), в которой происходит переход лесных экосистем из одного стабильного состояния в другое (см. главу 1.8). Подобной закономерности у равновеликих и разновозрастных деревьев сосны не наблюдалось, и масса генеративных органов дерева возрастала по мере удаления от КМК (см. табл. 4.10). В березниках наибольшая масса семян приходится на деревья буферной зоны (см. табл. 4.11), но ее снижение у равновеликих деревьев импактной и фоновой зон относительно невелико – 26–33%. По-видимому, названный пик семеношения в буферной зоне формируется за счет повышенной доли семеносящих деревьев в общей их численности на единице площади насаждений, и у сосны это большее долевое участие семеносящих деревьев выражено в большей степени, чем у березы.

Запас семян в березовых древостоях на удалении 10 км от КМК варьирует в 2-кратном диапазоне (от 0,4 до 0,8 т/га), а уже на 12–15-м км буферной зоны происходит «провал» тренда примерно до 0,2 т/га, который оказалось невозможно аппроксимировать даже такой пластичной функцией, как логарифмический полином 4-го порядка. С учетом того, что в сосняках для расстояний от 15 до 30 км данные семеношения отсутствуют, установленные закономерности изменения массы генеративных органов на 1 га сосняков и березняков следует считать предварительными.

Резкое снижение массы семян на 1 га насаждений в направлении импактной зоны можно объяснить снижением жизненного состояния деревьев под влиянием токсикантов. Резкое же его снижение в направлении зоны фоновое загрязнение объяснить пока не представляется возможным.

4.4. Сравнительный анализ аллометрических уравнений фитомассы деревьев сосны и березы вблизи КМК и в «чистых» регионах

В разделе 1.3.2 было показано, что выводы исследователей о возможности построения «всеобщих» моделей фитомассы, применимых на межрегиональном, региональном и локальном уровнях, противоречивы и неопре-



деленны. Нами предпринята попытка на примере двух древесных пород – сосны и березы – сравнить аллометрические модели их фитомассы, полученные в настоящем исследовании, с аналогичными моделями из других регионов с целью установления смещений и возможности использования обобщенных моделей фитомассы.

Полученные нами данные (см. Прил. 4) о фитомассе 42 деревьев сосны и 56 деревьев березы взяты в качестве исходных и характерных для загрязненных территорий. Для оценки величины смещений, обусловленных принадлежностью соответствующих пород к другим, экологически «благополучным» регионам, нами привлечены региональные данные о фитомассе деревьев, полученные и опубликованные разными авторами для естественных сосняков и березняков. Общее количество модельных деревьев, подвергнутых региональному анализу смещений в показателях фитомассы, составило по сосне 835 и по березе 653 (Прил. 7).

При оценке величины смещений использован регрессионный метод. Метод позволяет дать количественную оценку регионально обусловленных смещений в фитомассе равновеликих деревьев. Уравнение (1.25) (см. раздел 1.3.2.4) дает адекватную оценку фитомассы деревьев в пределах одного древостоя, когда два основных массообразующих показателя – диаметр и высота – тесно коррелированы. Но при региональных сопоставлениях массивов данных, когда в анализ включаются древостои разных разрядов высот, одного диаметра ствола в качестве независимой переменной недостаточно.

Поэтому в уравнение (1.25) мы дополнительно ввели две переменные: высота дерева и произведение высоты и диаметра ствола (синергизм, опосредующий совместное влияние названных двух переменных). Высота дерева включена в (1.25) для учета изменчивости фитомассы деревьев в древостоях разных разрядов высот, а синергизм учитывает смещение положения диаметра на высоте груди при изменении высоты дерева (Усольцев, 1985а). Базовая структура модели имеет вид:

$$\ln P = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 (\ln D)(\ln H). \quad (4.17)$$

Для оценки региональных смещений в величине фитомассы равновеликих деревьев уравнение (4.17) модифицировано путем включения в него фиктивных блоковых переменных (Дрейпер, Смит, 1973). «Равновеликость» обеспечивается включением в модель двух основных массообразующих факторов – диаметра и высоты дерева. Кодировка принадлежности локальных массивов данных о фитомассе деревьев посредством названных переменных выполнена по специальной схеме (табл. 4.12).

Таким образом, для расчета принята следующая регрессионная модель:

$$\begin{aligned} \ln P_i = & a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 (\ln D)(\ln H) + \\ & + a_4 X_1 + a_5 X_2 + a_6 X_3 + a_7 X_4 + a_8 X_5, \end{aligned} \quad (4.18)$$

где H – высота дерева, м. Характеристика уравнений (4.18) дана в табл. 4.13.

Таблица 4.12

Схема кодирования массивов данных блоковыми фиктивными переменными

Регион*	X1	X2	X3	X4	X5	Регион*	X1	X2	X3	X4	X5
I	0	0	0	0	0	IV	0	0	1	0	0
II	1	0	0	0	0	V	0	0	0	1	0
III	0	1	0	0	0	VI	0	0	0	0	1

*Обозначения регионов.

Для **сосны**: I – Карабаш – исходный массив (42); II – Аман-Карагайский бор (119); III – Ара-Карагайский бор (140); IV – Казахский мелкосопочник (96); V – Красноярско-Канская лесостепь (255); VI – Средний Урал (183) (Семечкина, 1978; Усольцев, 1997; Усольцев и др., 2006).

Для **березы**: I – Карабаш – исходный массив (56); II – Ара-Карагайский бор (143); III – Североказахстанская колочная лесостепь (96); IV – Североказахстанская южная лесостепь (229); V – Южный Урал (46); VI – Средний Урал (83) (Усольцев, 1997). Цифрами в круглых скобках обозначено количество модельных деревьев.

Исследование региональных смещений фитомассы деревьев выполнено путем табулирования уравнений (4.18) в табл. 4.13, осуществленного в несколько этапов. Вначале задавали значения диаметра и высоты дерева, подставляли их в уравнение (4.18) и при значении константы a_0 составляли 2-входовую таблицу фракционного состава фитомассы – хвои (листвы), ветвей, стволов и надземной – для исходного (I) региона, в качестве которого был принят Карабаш.

Затем осуществлялась модификация уравнения (4.18) для следующего (II) региона путем нахождения алгебраической суммы констант a_0 и a_4 и процедура табулирования повторялась при тех же задаваемых значениях диаметра и высоты дерева. Далее для III региона (см. табл. 4.12) находили алгебраическую сумму констант a_0 и a_5 (см. табл. 4.13) и

Таблица 4.13

Характеристика уравнений (4.18)

Обозначения констант, независимых переменных	Константы при независимых переменных и показатели адекватности уравнений							
	Сосна				Береза			
	$\ln(Pf)$	$\ln(Pbr)$	$\ln(Pst)$	$\ln(Pa)$	$\ln(Pf)$	$\ln(Pbr)$	$\ln(Pst)$	$\ln(Pa)$
a_0	-2,537	-2,562	-2,901	-2,260	-3,337	-3,376	-2,964	-2,304
$a_1 \ln D$	2,696	2,549	1,429	1,612	0,893	1,106	1,072	1,073
$a_2 \ln H$	-1,600	-1,713	0,748	0,355	-0,392	-0,406	0,957	0,616
$a_3 (\ln D \times \ln H)$	0,102	0,287	0,139	0,153	0,341	0,465	0,202	0,262
$a_4 X_1$	-0,305	-0,520	-0,083	-0,116	0,435	0,322	0,065	0,077
$a_5 X_2$	-0,372	-0,343	-0,145	-0,179	0,278	0,359	0,037	0,069
$a_6 X_3$	-0,371	-0,169	-0,052	-0,085	0,262	0,346	0,066	0,102
$a_7 X_4$	-0,201	-0,242	-0,190	-0,197	0,342	-0,021	0,084	0,046
$a_8 X_5$	-0,191	-0,173	-0,085	-0,098	-0,644	-0,324	-0,028	-0,110
Показатели адекватности								
R^2	0,932	0,962	0,995	0,994	0,911	0,941	0,994	0,990
SE	0,483	0,442	0,152	0,162	0,458	0,490	0,145	0,190

т.д. После завершения процедур табулирования для всех шести регионов проведена оценка региональных смещений фитомассы деревьев обеих пород относительно исходного региона – Карабаша. В табл. 4.14 приведена сводка названных смещений в относительных единицах (% к исходному I региону).

Таким образом, фитомасса кроны, ствола и вся надземная равно- великих деревьев сосны в «чистых» регионах по отношению к Караба- шу ниже соответственно на 16–40, 5–17 и 8–16% (табл. 4.14). Фитомасса листвы березы смещена в «чистых» регионах по отношению к Карабашу в интервале от –47 до +55%, ветвей – от –28 до +43% и вся надземная – от –10 до +11%. Иными словами, не установлено статистически значи- мого *отрицательного* влияния загрязнений на средние показатели фи- томассы равновеликих деревьев в прилегающих к Карабашу лесах по сравнению с «чистыми» регионами. По-видимому, загрязнения влияют в большей степени на морфоструктуру древостоев и в меньшей – на фито- массу отдельных деревьев.

Независимо от знака смещения и независимо от древесной породы их относительные значения для стволов равновеликих деревьев меньше, чем для кроны (см. табл. 4.14). Это объясняется тем, что полнодревес- ность стволов, определяющая различия в их массе при одних и тех же диаметре и высоте, является довольно стабильным показателем, кото- рый по сравнению с кроной в меньшей степени реагирует на полноту и другие таксационные показатели древостоев, специфичные для каждого региона.

Таблица 4.14

**Относительные показатели фитомассы деревьев разных регионов,
% к значениям для Карабаша**

Регион	Фитомасса фракций, %			
	Хвоя (листва)	Ветви	Стволы	Вся надземная
Сосна				
I	100	100	100	100
II	74	59	92	89
III	69	71	87	84
IV	69	84	95	92
V	82	78	83	82
VI	82	84	92	91
Береза				
I	100	100	100	100
II	155	138	107	108
III	132	143	104	107
IV	130	141	107	111
V	141	98	109	105
VI	53	72	97	90

В целом можно сделать вывод, что установленные региональные смещения в величине фитомассы равновеликих деревьев не позволяют использовать обобщенные (унифицированные) аллометрические уравнения для определения фитомассы деревьев двух исследованных пород.

4.5. Изменение продуктивности ассимиляционного аппарата деревьев в градиентах загрязнений от медеплавильных заводов Урала

Анализ зависимости фитомассы хвои и фракционной структуры надземной фитомассы равновеликих деревьев от степени удаления от медеплавильных заводов Урала показал (разделы 4.1 и 4.2), что эта зависимость или отсутствует, или выражена слабо. Ранее в разделе 1.3.3 было отмечено, что более информативным может быть дендрометрический подход, опосредующий некоторые физиологические параметры дерева, в частности, совмещенную характеристику флоэмного и ксилемного транспорта, опосредованную некоторыми дендрометрическими показателями.

Было установлено (Усольцев, 1998а), что поскольку основная часть заболони выполняет функцию резервуара воды, фактическое влагопотребление на транспирацию ассимиляционного аппарата определяется соотношением зон транзита и депонирования воды в заболони, и чем выше доля зоны транзита воды в общей площади заболони, тем выше при прочих равных условиях масса хвои и соответствующая масса продуцируемых ею ассимилятов, основная часть которых депонируется в виде прироста объема (или площади сечения) ствола. Таким образом, изменение прироста ствола при неизменных значениях площади заболони и массы хвои характеризует изменение эффективности «работы» хвои, в том числе вследствие загрязнения.

В нашем исследовании для корректной оценки продуктивности хвои учтены два определяющих фактора, т.е. площадь сечения заболони (Gz) как характеристика ксилемного транспорта, представленная у рассеяно-поровой березы всем сечением ствола без коры, и годичный прирост площади сечения ствола на высоте груди (Zg) как характеристика флоэмного транспорта. Продуктивность хвои оценивается в таком случае относительными показателями: прямым (Zg/Pf) и косвенным (Zg/Gz). В первом случае это отношение прироста площади сечения ствола к массе хвои, а во втором – отношение прироста площади сечения ствола к площади его заболони: чем больше годичный прирост ствола при одной и той же площади сечения заболони, тем выше продуктивность хвои.

По совокупности взятых модельных деревьев рассчитаны многофакторные регрессии:

– для ели и пихты в градиенте загрязнений от СУМЗ

$$\ln(Zg/Pf) = 14,010 - 5,995 \ln A + 0,592 (\ln A)^2 + 0,0597 \ln L + 0,165 X (\ln L) - 0,197 X; \quad (4.19)$$

$$R^2 = 0,584; SE = 0,279;$$

$$\ln (Zg/Gz) = 0,428 - 0,635 \ln A + 0,134 \ln L + 0,270 X(\ln L) - 0,328 X; \quad (4.20)$$

$$R^2 = 0,523; SE = 0,365;$$

– для сосны в градиенте загрязнений от КМК

$$\ln (Zg/Pf) = 4,025 - 0,813 \ln A + 0,175 \ln L; R^2 = 0,573; SE = 0,220; \quad (4.21)$$

$$\ln (Zg/Gz) = 1,418 - 0,811 \ln A + 0,150 \ln L; R^2 = 0,511; SE = 0,245; \quad (4.22)$$

– для березы в градиенте загрязнений от КМК

$$\ln (Zg/Pf) = 7,736 - 1,579 \ln A + 0,111 \ln L; R^2 = 0,777; SE = 0,244; \quad (4.23)$$

$$\ln (Zg/Gz) = 0,661 - 0,922 \ln A + 0,182 \ln L; R^2 = 0,790; SE = 0,157, \quad (4.24)$$

где Zg – годичный прирост площади сечения ствола на высоте груди, средний за последние 5 лет, см^2 ; Gz – площадь сечения заболони ствола на высоте груди, см^2 ; Pf – масса хвои (листвы) дерева, кг; A – возраст дерева, лет; X – бинарная переменная, равная 1 и 0 соответственно для ели и пихты.

Хотя коэффициенты детерминации уравнений (4.19)–(4.24) в среднем ниже, чем уравнений, приведенных в разделах 4.1 и 4.2, однако все константы в них значимы (критерий Стьюдента лежит в пределах от 2,4 до 9,7, что выше 2,0).

Соотношения между фактическими и расчетными значениями (Zg/Pf) и (Zg/Gz) свидетельствуют об удовлетворительной аппроксимации фактических данных уравнениями (4.19)–(4.24) об отсутствии корреляции остатков (рис. 4.7–4.9).

После табулирования уравнений (4.19)–(4.24) по задаваемым значениям возраста дерева и удаления от источника загрязнений очевидно (табл. 4.15–4.17 и рис. 4.10–4.11), что по мере приближения к источнику загрязнений продуктивность хвои (листвы) снижается как по прямому, так и по косвенному ее показателям.

Таким образом, установлена закономерность снижения продуктивности хвои по мере приближения к КМК и СУМЗ. Эта закономерность в градиенте загрязнения носит нелинейный характер: по показателю Zg/Pf в импактной зоне КМК (удаление от 4 до 6 км) снижение продуктивности хвои у сосны на 1 км расстояния составляет 3,4%, в буферной зоне (от 8 до 12 км) соответственно 1,7% и в градиенте от буферной зоны до контроля (от 12 до 30 км) – соответственно 0,8%. У березы названные изменения несколько ниже, соответственно 2,2; 1,1 и 0,5%. Снижение продуктивности хвои ели в импактной зоне СУМЗ (удаление от 1 до 2 км) на 1 км расстояния составляет 14%, в буферной зоне (от 4 до 7 км) 4% и в градиенте от буферной зоны до контроля (от 7 до 30 км) – соответственно 1%. У пихты названные изменения существенно ниже, соответственно 8, 2 и 0,7%. Следовательно, на продуктивность хвои ели один и тот же уровень загрязнений оказывает значительно более сильное воздействие по сравнению с хвоей пихты.

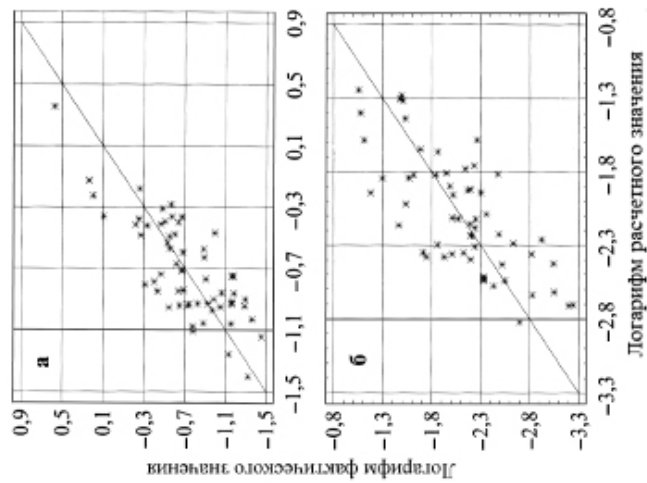


Рис. 4.7. Соотношение фактических и расчетных значений Zg/Pf (а) и Zg/Gz (б), полученных по уравнениям соответственно (4.19) и (4.20)

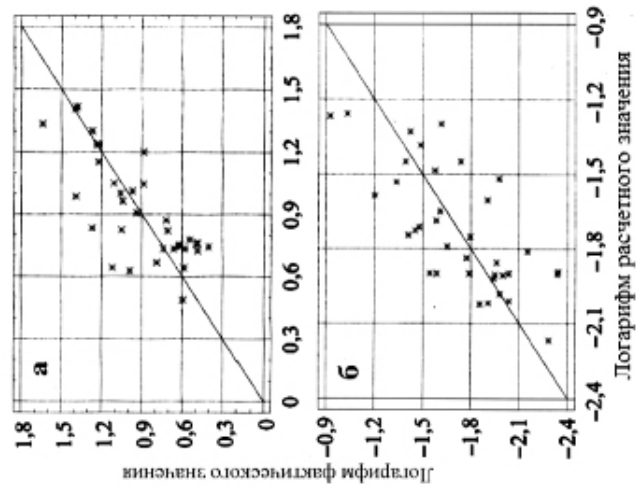


Рис. 4.8. Соотношение фактических и расчетных значений Zg/Pf (а) и Zg/Gz (б), полученных по уравнениям соответственно (4.21) и (4.22)

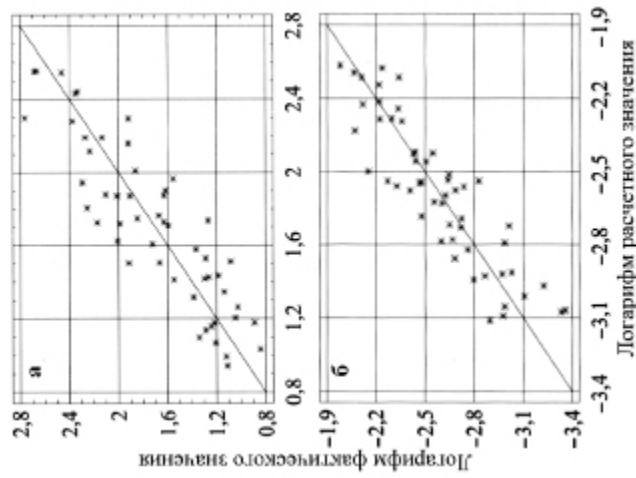


Рис. 4.9. Соотношение фактических и расчетных значений Zg/Pf (а) и Zg/Gz (б), полученных по уравнениям соответственно (4.23) и (4.24)

Таблица 4.15

**Изменение продуктивности хвой деревьев ели и пихты разного возраста
в связи с удалением от СУМЗ**

L, км	Продуктивность хвой Zg/Pf (см ² /кг) при возрасте дерева, лет					Продуктивность хвой Zg/Gz (см ² /см ²) при возрасте дерева, лет				
	40	60	80	120	160	40	60	80	120	160
Ель										
1	0,716	0,482	0,363	0,244	0,184	0,117	0,084	0,067	0,048	0,038
2	0,831	0,558	0,421	0,283	0,214	0,154	0,112	0,089	0,064	0,051
4	0,963	0,648	0,489	0,328	0,248	0,205	0,148	0,117	0,085	0,067
7	1,086	0,730	0,551	0,370	0,279	0,257	0,185	0,147	0,106	0,084
30	1,481	0,996	0,751	0,505	0,381	0,463	0,334	0,265	0,191	0,152
Пихта										
1	0,678	0,513	0,421	0,318	0,261	0,155	0,097	0,069	0,043	0,031
2	0,740	0,559	0,459	0,347	0,285	0,188	0,118	0,084	0,053	0,038
4	0,807	0,610	0,501	0,379	0,311	0,228	0,143	0,102	0,064	0,046
7	0,866	0,655	0,537	0,406	0,333	0,266	0,167	0,119	0,075	0,054
30	1,040	0,787	0,645	0,488	0,400	0,400	0,250	0,179	0,112	0,080

Таблица 4.16

**Изменение продуктивности хвой деревьев сосны обыкновенной разного возраста
в связи с удалением от КМК**

L, км	Продуктивность хвой Zg/Pf (см ² /кг) при возрасте дерева, лет					Продуктивность хвой Zg/Gz (см ² /см ²) при возрасте дерева, лет				
	40	60	80	100	120	40	60	80	100	120
4	3,55	2,55	2,02	1,68	1,45	0,255	0,184	0,145	0,121	0,105
6	3,81	2,74	2,17	1,81	1,56	0,271	0,195	0,154	0,129	0,111
8	4,01	2,88	2,28	1,90	1,64	0,283	0,204	0,161	0,135	0,116
12	4,30	3,09	2,45	2,04	1,76	0,301	0,216	0,171	0,143	0,123
20	4,70	3,38	2,68	2,23	1,92	0,324	0,234	0,185	0,154	0,133
30	5,05	3,63	2,87	2,40	2,07	0,345	0,248	0,196	0,164	0,141

Таблица 4.17

**Изменение продуктивности листвы деревьев березы разного возраста
в связи с удалением от КМК**

L, км	Продуктивность листвы Zg/Pf (см ² /кг) при возрасте дерева, лет					Продуктивность листвы Zg/Gz (см ² /см ²) при возрасте дерева, лет				
	30	40	50	70	90	30	40	50	70	90
4	12,44	7,90	5,55	3,26	2,20	0,108	0,083	0,068	0,050	0,039
6	13,01	8,26	5,81	3,42	2,30	0,117	0,089	0,073	0,053	0,042
8	13,44	8,53	6,00	3,53	2,37	0,123	0,094	0,077	0,056	0,045
12	14,06	8,93	6,28	3,69	2,48	0,132	0,102	0,083	0,061	0,048
20	14,88	9,45	6,64	3,91	2,63	0,145	0,111	0,091	0,067	0,053
30	15,57	9,89	6,95	4,09	2,75	0,156	0,120	0,098	0,072	0,057

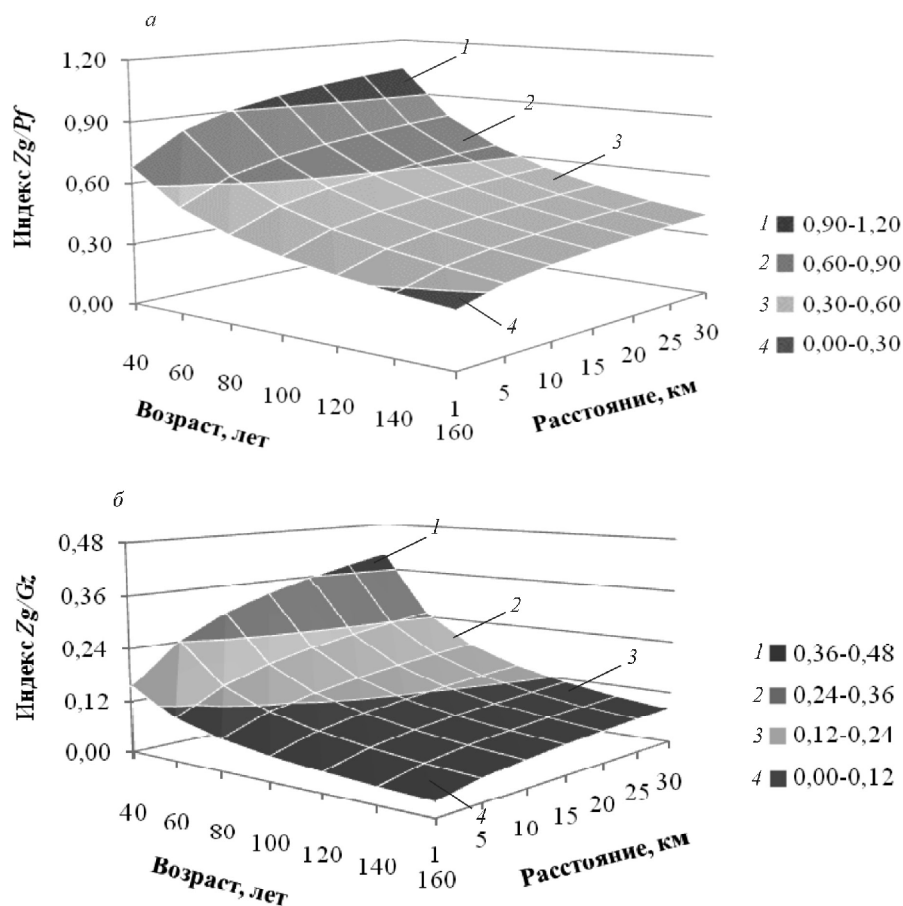


Рис. 4.10. Геометрическая интерпретация уравнений (4.19) и (4.20), характеризующих зависимость показателей продуктивности хвои деревьев пихты Zg/Pf (а) и Zg/Gz (б) от возраста и расстояния до источника загрязнений.

Обозначения см. в тексте

По показателю Zg/Gz соответствующие значения составляют у сосны 3,0; 1,5 и 0,7%; у березы 3,8; 1,7 и 0,85, у ели 24, 7 и 2% и у пихты 18, 5 и 1,4%. При использовании показателя Zg/Gz для количественной оценки снижения продуктивности хвои (листвы) в градиентах загрязнений не требуется определения ее фитомассы у модельных деревьев на пробных площадях, а достаточно получить необходимое количество кернов у растущих деревьев, по ним рассчитать дендрометрические показатели, характеризующие ксилемный и флоэмный транспорт дерева, и по соотношению последних дать количественную характеристику снижения продуктивности ассимиляционного аппарата той или иной древесной породы в градиенте промышленных загрязнений.

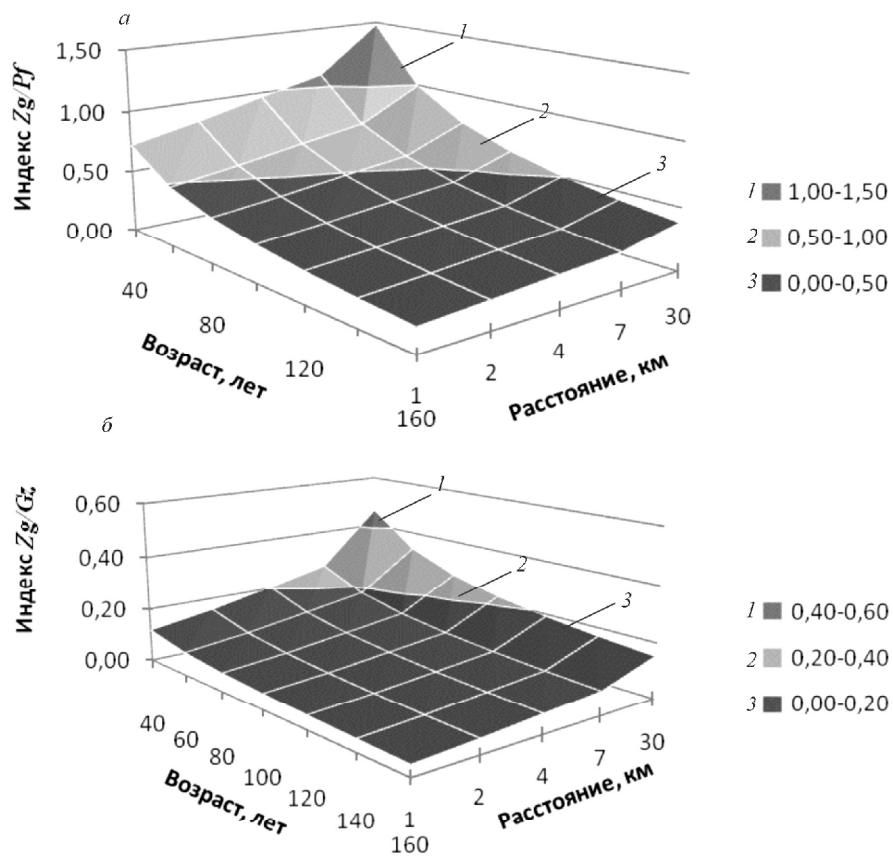


Рис. 4.11. Геометрическая интерпретация уравнений (4.19) и (4.20), характеризующих зависимость показателей продуктивности хвой деревьев ели Zg/Pf (а) и Zg/Gz (б) от возраста и расстояния до источника загрязнений.

Обозначения см. в тексте

Глава 5. СТРУКТУРА ЧПП ДЕРЕВЬЕВ В ГРАДИЕНТАХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ: АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И СОСТАВЛЕНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ТАБЛИЦ

5.1. Расчет и сравнительный анализ аллометрических уравнений ЧПП деревьев ели и пихты в градиенте загрязнений от СУМЗ и составление таблиц

Структура уравнения для ЧПП принята по аналогии со структурой уравнения (4.7) для фитомассы деревьев (см. раздел 4.1)

$$\ln Zi = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H + a_3 \ln A + a_4 \ln L + a_5 X. \quad (5.1)$$

Здесь и далее в главе 5: Zi – ЧПП (Zst , Zbr , Zf и Za) фракции дерева в абсолютно сухом состоянии соответственно стволов в коре, ветвей, хвои и надземной, кг.

Поскольку высота дерева H не вносит статистически значимого вклада в объяснение изменчивости ЧПП хвои и ветвей (значение $t_{\text{факт}}$ для константы при H составило соответственно 1,1 и 1,9, что меньше $t_{05} = 2,0$), эта переменная была исключена из расчета.

Не оказывает существенного влияния на фракционный состав ЧПП деревьев ели и пихты также степень загрязнения аэропромвыбросами от СУМЗ: значение $t_{\text{факт}}$ для константы при переменной $\ln L$ составило для ЧПП стволов, ветвей, хвои и надземной ЧПП соответственно 1,2; 0,48; 1,1 и 0,15, что меньше $t_{05} = 2,0$, и эта переменная была также исключена из расчета.

Таким образом, к расчету констант уравнения для фракционного состава ЧПП принята следующая структура регрессионного уравнения:

$$\ln Zi = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln A + a_3 X. \quad (5.2)$$

Характеристика уравнений (5.2) приведена в табл. 5.1. Все константы (в том числе a_3) уравнения (5.2) значимы на 5%-ном уровне. Значимость константы при X означает, что ЧПП ели и пихты при прочих равных условиях существенно различается, и для этих двух пород необходимо составлять отдельные справочно-нормативные таблицы ЧПП.

Таблица 5.1

Характеристика уравнения (5.2)

Зависимая переменная $\ln Zi$ для:	Константы и независимые переменные				R ²	SE
	a_0	$a_1 \ln D$	$a_2 \ln A$	$a_3 X$		
стволов	-2,1895	2,3226	-0,6858	0,4848	0,925	0,326
ветвей	-3,0175	2,1539	-0,8902	0,3792	0,928	0,285
хвои	-4,1287	2,2246	-0,4408	0,5350	0,915	0,357

Таблица 5.2

**Таблица для оценки фракционной структуры ЧПП (кг) деревьев ели и пихты
по их возрасту и диаметру ствола в градиенте загрязнений от СУМЗ**

Возраст, лет	Фракция фитомассы	Диаметр ствола на высоте груди, см								
		8	12	16	20	24	28	32	36	40
Ель										
40	Ствол	0,67	1,71	3,34	5,60	8,56	–	–	–	–
	Ветви	0,24	0,57	1,05	1,70	2,52	–	–	–	–
	Хвоя	0,55	1,36	2,58	4,24	6,36	–	–	–	–
	Итого	1,46	3,64	6,97	11,5	17,4	–	–	–	–
70	Ствол	0,45	1,17	2,27	3,82	5,83	8,34	11,4	–	–
	Ветви	0,14	0,34	0,64	1,03	1,53	2,13	2,84	–	–
	Хвоя	0,43	1,06	2,02	3,31	4,97	7,00	9,43	–	–
	Итого	1,03	2,57	4,93	8,16	12,3	17,5	23,6	–	–
100	Ствол	–	–	1,78	2,99	4,57	6,53	8,90	11,7	15,0
	Ветви	–	–	0,46	0,75	1,11	1,55	2,07	2,67	3,35
	Хвоя	–	–	1,72	2,83	4,25	5,98	8,05	10,5	13,2
	Итого	–	–	3,97	6,57	9,93	14,1	19,0	24,8	31,5
160	Ствол	–	–	–	2,17	3,31	4,73	6,45	8,48	10,8
	Ветви	–	–	–	0,49	0,73	1,02	1,36	1,75	2,20
	Хвоя	–	–	–	2,30	3,45	4,86	6,55	8,51	10,8
	Итого	–	–	–	4,96	7,49	10,6	14,4	18,7	23,8
Пихта										
40	Ствол	0,41	1,05	2,06	3,45	5,27	–	–	–	–
	Ветви	0,16	0,39	0,72	1,16	1,72	–	–	–	–
	Хвоя	0,32	0,80	1,51	2,48	3,73	–	–	–	–
	Итого	0,90	2,24	4,29	7,10	10,7	–	–	–	–
70	Ствол	0,28	0,72	1,40	2,35	3,59	5,14	7,00	–	–
	Ветви	0,10	0,24	0,44	0,71	1,05	1,46	1,95	–	–
	Хвоя	0,25	0,62	1,18	1,94	2,91	4,10	5,52	–	–
	Итого	0,63	1,58	3,02	5,00	7,55	10,7	14,5	–	–
100	Ствол	–	–	1,10	1,84	2,81	4,02	5,48	7,21	9,21
	Ветви	–	–	0,32	0,51	0,76	1,06	1,42	1,82	2,29
	Хвоя	–	–	1,01	1,66	2,49	3,50	4,72	6,13	7,75
	Итого	–	–	2,42	4,01	6,06	8,59	11,6	15,2	19,2
160	Ствол	–	–	–	1,33	2,04	2,91	3,97	5,22	6,67
	Ветви	–	–	–	0,34	0,50	0,70	0,93	1,20	1,51
	Хвоя	–	–	–	1,35	2,02	2,85	3,83	4,98	6,30
	Итого	–	–	–	3,02	4,56	6,46	8,74	11,4	14,5

Уравнение (5.2) является основой для составления таксационных таблиц, предназначенных для оценки ЧПП деревьев ели и пихты. Путем его табулирования по задаваемым значениям независимых переменных, которые в этом случае служат в качестве «входов», составлена таблица (табл. 5.2) для оценки фракционного состава ЧПП деревьев ели и пихты в темнохвойных насаждениях, прилегающих к СУМЗ.

Из данных табл. 5.2 следует, что ЧПП деревьев пихты по сравнению с равновеликими и равновозрастными деревьями ели существенно меньше, а именно, по массе ствола, ветвей и хвои соответственно на 38, 32 и 41%. При увеличении диаметра ствола с 16 до 40 см и при условии одних и тех же значений возраста дерева ЧПП ствола, ветвей и хвои у обеих пород возрастает в 7–8 раз. При увеличении возраста равновеликих деревьев с 40 до 160 лет ЧПП ствола, ветвей и хвои снижается соответственно в 2,6; 3,5 и 1,8 раза вследствие, как уже отмечалось, возрастного сдвига деревьев одного и того же диаметра из лидеров в кандидаты на отмирание.

Таким образом, фракционная структура как фитомассы, так и ЧПП равновеликих и равновозрастных деревьев ели и пихты, не зависит от степени удаления от СУМЗ в диапазоне от 1 до 30 км. Соотношения в фракционной структуре ЧПП и закономерности ее изменения по определяющим факторам существенно отличаются от таковых, установленных для фитомассы деревьев в разделе 4.1 (см. табл. 4.3). Изменчивость фракционной структуры фитомассы деревьев ели и пихты в наибольшей степени объясняется величиной их диаметра и высоты, тогда как изменчивость того же показателя ЧПП деревьев – величиной их диаметра и возраста.

5.2. Расчет аллометрических уравнений ЧПП деревьев сосны обыкновенной в градиенте загрязнений от КМК и составление таблиц

Поскольку при многофакторном регрессионном анализе зависимости ЧПП 42 деревьев сосны (см. приложение 4) от определяющих факторов установлено, что, как и применительно к фитомассе деревьев, высота дерева H оказалась тесно коррелированной с диаметром ствола и поэтому статистически незначимой, для оценки ЧПП деревьев выбрана структура уравнения, аналогичная (4.11) для фитомассы (см. раздел 4.2.1):

$$\ln Z_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln A + a_3 \ln L. \quad (5.3)$$

Константы при переменной A в уравнении (5.3) оказались статистически не значимы для большинства фракций фитомассы (значения критерия Стьюдента лежали в диапазоне $t_{\text{факт}}$ от 0,02 до 1,38, что существенно ниже стандартного значения $t_{05} = 2,0$). Исключение составило уравнение (5.3) для ЧПП ветвей ($t_{\text{факт}} = 3,37 > t_{05} = 2,0$). Поскольку возраст дерева не оказывает значимого влияния на ЧПП большинства фракций деревьев сосны, он исключен из структуры уравнений (5.3) и расчет выполнен по уравнению

$$\ln Z_i = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln L, \quad (5.4)$$

характеристика которого приведена в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Характеристика уравнений (5.4) для деревьев сосны

Зависимая переменная	Константы при независимых переменных			R ²	Стандартная ошибка SE
	a ₀	a ₁ lnD	a ₂ lnL		
lnZf	-6,260	2,245	-0,113	0,863	0,39
lnZbr	-6,263	1,950	-0,056	0,786	0,44
lnZst	-7,277	2,438	0,190	0,926	0,30
lnZa	-5,661	2,278	0,035	0,914	0,30

Соотношения между фактическими и расчетными значениями Z_f , Z_{br} , Z_{st} и Z_a свидетельствуют об удовлетворительной аппроксимации фактических данных уравнениями (5.4) и об отсутствии корреляции остатков (рис. 5.1).

Оказалось, что константа a_2 при переменной L для большинства фракций статистически значима не на 5%-ном, а лишь на 10%-ном уровне. Иными словами, степень удаления от КМК не оказывает существенного влияния на ЧПП хвои и ветвей дерева, поскольку значимость соответствующих констант при переменной $\ln L$ в уравнении (5.4) по критерию Стьюдента составила соответственно 1,18 и 0,53, что меньше $t_{05} = 2,0$. Исключение составила значимость константы a_2 в уравнении для ЧПП ствола: $t_{\text{факт}} = 2,61 > t_{05} = 2,0$.

Таким образом, как фитомасса, так и ЧПП, имеют общую закономерность изменения у равновеликих деревьев по мере удаления от КМК: некоторое снижение названных показателей для кроны и увеличение для ствола

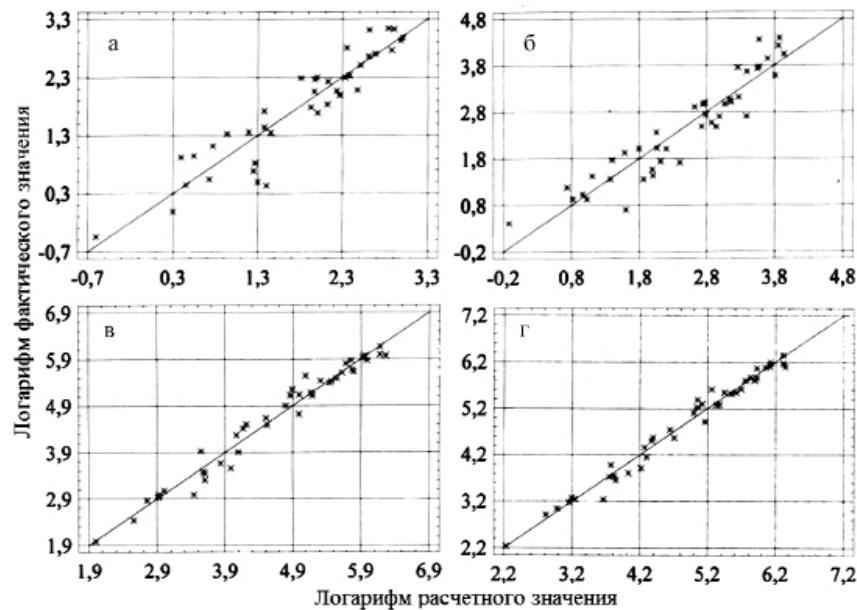


Рис. 5.1. Соотношение фактических и расчетных по уравнению (5.4) значений ЧПП надземной фитомассы деревьев сосны:
а – хвоя; б – ветви; в – ствол; г – надземная фитомасса

Таблица 5.4

**Изменение ЧПП деревьев сосны разного диаметра
в связи с удалением от КМК (по уравнению 5.4)**

L, км	Фракции	ЧПП дерева (кг) при диаметре ствола на высоте груди, см								
		8	12	16	20	24	28	32	36	40
4	Хвоя	0,174	0,433	0,826	1,36	2,05	2,90	3,92	5,10	6,46
	Ветви	0,102	0,224	0,393	0,607	0,867	1,17	1,52	1,91	2,35
	Ствол	0,143	0,384	0,775	1,33	2,08	3,03	4,20	5,59	7,23
	Итого	0,419	1,04	1,99	3,31	5,00	7,10	9,63	12,6	16,0
6	Хвоя	0,166	0,414	0,789	1,30	1,96	2,77	3,74	4,87	6,17
	Ветви	0,099	0,219	0,384	0,594	0,847	1,14	1,48	1,87	2,29
	Ствол	0,154	0,415	0,837	1,44	2,25	3,27	4,53	6,04	7,81
	Итого	0,420	1,05	2,01	3,34	5,06	7,19	9,76	12,8	16,3
8	Хвоя	0,161	0,400	0,764	1,26	1,90	2,68	3,62	4,72	5,98
	Ветви	0,098	0,216	0,378	0,584	0,834	1,13	1,46	1,84	2,26
	Ствол	0,163	0,438	0,884	1,52	2,37	3,46	4,79	6,38	8,25
	Итого	0,422	1,05	2,03	3,37	5,11	7,27	9,87	12,9	16,5
12	Хвоя	0,154	0,382	0,730	1,20	1,81	2,56	3,46	4,51	5,71
	Ветви	0,096	0,211	0,370	0,571	0,815	1,10	1,43	1,80	2,21
	Ствол	0,176	0,473	0,954	1,64	2,56	3,73	5,17	6,89	8,91
	Итого	0,426	1,07	2,05	3,42	5,19	7,40	10,06	13,2	16,8
20	Хвоя	0,145	0,361	0,689	1,14	1,71	2,42	3,27	4,25	5,39
	Ветви	0,093	0,205	0,359	0,555	0,792	1,07	1,39	1,75	2,14
	Ствол	0,194	0,521	1,05	1,81	2,83	4,11	5,70	7,59	9,82
	Итого	0,432	1,09	2,10	3,50	5,33	7,60	10,4	13,6	17,3
30	Хвоя	0,139	0,345	0,658	1,09	1,64	2,31	3,12	4,06	5,15
	Ветви	0,091	0,200	0,351	0,542	0,774	1,05	1,36	1,71	2,10
	Ствол	0,210	0,563	1,14	1,96	3,05	4,44	6,15	8,20	10,6
	Итого	0,439	1,11	2,14	3,58	5,46	7,80	10,6	14,0	17,8

Таблица 5.5

Характеристика уравнения (5.5)

Зависимая переменная	Константы при независимой переменной		R ²	Стандартная ошибка SE
	a ₀	a ₁ lnD		
lnZ _f	-6,529	2,248	0,858	0,40
lnZ _{br}	-6,397	1,952	0,784	0,44
lnZ _{st}	-6,825	2,432	0,913	0,32

Таблица 5.6

Таблица для оценки ЧПП деревьев по величине диаметра ствола в сосняках, прилегающих к КМК (по уравнению 5.5)

Фракция фитомассы	ЧПП дерева при диаметре ствола (см), кг								
	8	12	16	20	24	28	32	36	40
Хвоя	0,157	0,390	0,745	1,23	1,85	2,62	3,54	4,61	5,85
Ветви	0,097	0,213	0,373	0,577	0,824	1,11	1,44	1,82	2,23
Ствол	0,171	0,458	0,922	1,59	2,47	3,60	4,97	6,62	8,56
Итого	0,424	1,06	2,04	3,39	5,15	7,33	10,0	13,1	16,6

дерева. Количественная характеристика отмеченных тенденций приведена в табл. 5.4, которая позволяет сделать вывод, что по мере удаления от КМК происходит перераспределение ЧПП между кроной и стволом в пользу последнего. В итоге наблюдается некоторое повышение названных показателей для всей надземной части равновеликих деревьев по мере удаления от источника загрязнений.

Поскольку отмеченные выше тенденции имеют низкую надежность, для ориентировочных расчетов ЧПП деревьев сосны принята упрощенная структура уравнений, по аналогии с уравнением для фитомассы (4.1):

$$\ln Z_i = a_0 + a_1 \ln D, \quad (5.5)$$

характеристика которого приведена в табл. 5.5, а результаты табулирования в виде таблицы для оценки ЧПП деревьев сосны в окрестностях КМК – в табл. 5.6. Положение полученных линий регрессии (уравнения 5.5 и табл. 5.6) относительно фактических данных ЧПП деревьев сосны показано на рис. 5.2.

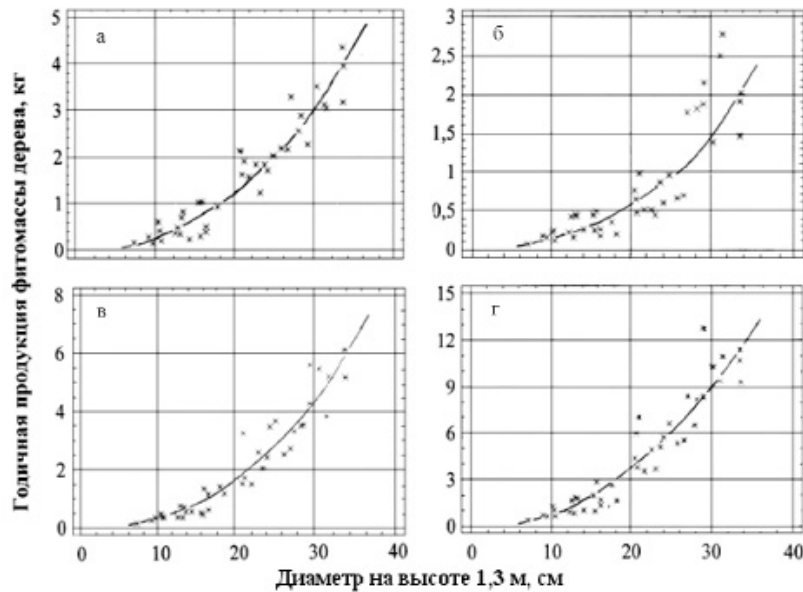


Рис. 5.2. Зависимость ЧПП деревьев сосны от их диаметра:
а – хвоя; б – ветви; в – ствол и г – надземная фитомасса

5.3. Расчет аллометрических уравнений ЧПП деревьев березы в градиенте загрязнений от КМК и составление таблиц

Поскольку при многофакторном регрессионном анализе зависимости ЧПП деревьев березы от определяющих факторов величина возраста и высоты дерева для большинства фракций статистически незначима, для составления таблицы для подеревной оценки ЧПП березы мы применили упрощенную структуру зависимости, подобную уравнению (5.4):

$$\ln Zi = a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln L. \quad (5.6)$$

Характеристика уравнения (5.6) приведена в табл. 5.7. (критерий Стьюдента для константы a_1 находится в пределах от 25 до 57 и константы a_2 для ЧПП листы, ветвей, стволов и надземной – соответственно 2,6; 4,1; 6,6 и 5,6, что во всех случаях выше $t_{0,5} = 2,0$).

Результаты табулирования (5.6) в виде таблицы для подеревной оценки ЧПП деревьев березы в градиенте загрязнений от КМК показаны в двухвходовой табл. 5.8, в которой значения ЧПП дифференцированы не только по диаметру ствола на высоте груди, но и по степени удаления от КМК. Анализ данных табл. 5.8 показывает, что ЧПП листы, ветвей, стволов и всей надземной части деревьев на контроле превышает аналогичные показатели в импактной зоне соответственно на 28, 77, 70 и 44%, тогда как фитомасса (см. раздел 4.2.2) – соответственно на 28, 33, 9 и 12%.

Таким образом, в градиенте загрязнений на расстоянии от 4 до 31 км от КМК фитомасса и ЧПП деревьев березы изменяются существенно, причем загрязнения в большей степени сказываются на ЧПП и в меньшей – на фитомассе деревьев березы. В отличие от березы, на упомянутые показатели сосны удаление от КМК не оказывает существенного влияния.

Таким образом, установлено, что в окрестностях КМК фитомасса и ЧПП березы реагируют на загрязнения в значительно большей степени по сравнению с сосной. Это находится в некотором противоречии с известным положением о меньшей устойчивости хвойных пород к воздействию промвыбросов по сравнению с мелколистными (Рунова, 1999). Как уже упоминалось, в данном случае речь может идти о разных явлениях: на допороговых уровнях загрязнений при возрастании токсичных нагрузок сосна снижает свою биопродуктивность замедленными темпами по сравнению с березой, но на предельном уровне гибнет быстрее березы вследствие интенсивного поражения хвои хлорозами и некрозами (Ярмишко, 2009).

Таблица 5.7

Характеристика уравнений (5.6) для деревьев березы

Зависимая переменная	Константы при независимых переменных			R ²	Стандартная ошибка SE
	a ₀	a ₁ lnD	a ₂ lnL		
lnZ _f	-6,173	2,432	0,121	0,945	0,22
lnZ _{br}	-7,494	2,266	0,284	0,876	0,33
lnZ _{st}	-5,722	1,987	0,264	0,942	0,19
lnZ _a	-5,014	2,198	0,179	0,968	0,15

Таблица для оценки фракционного состава ЧПП деревьев березы разного диаметра в связи с удалением от КМК

L, км	Фракции	ЧПП дерева (кг) при диаметре ствола, см												
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
4	Листва	0,192	0,387	0,667	1,04	1,51	2,09	2,78	3,60	4,54	5,61	6,81	8,16	
	Ветви	0,048	0,092	0,152	0,230	0,326	0,441	0,576	0,732	0,908	1,11	1,33	1,57	
	Ствол	0,166	0,294	0,458	0,658	0,894	1,17	1,47	1,82	2,19	2,61	3,06	3,54	
	Итого	0,406	0,773	1,28	1,93	2,73	3,70	4,83	6,15	7,64	9,32	11,2	13,3	
6	Листва	0,202	0,407	0,700	1,09	1,59	2,20	2,92	3,78	4,76	5,89	7,15	8,57	
	Ветви	0,054	0,103	0,171	0,258	0,366	0,495	0,647	0,821	1,02	1,24	1,49	1,76	
	Ствол	0,185	0,327	0,510	0,732	0,995	1,30	1,64	2,02	2,44	2,90	3,40	3,94	
	Итого	0,440	0,837	1,38	2,08	2,95	3,99	5,21	6,62	8,23	10,0	12,0	14,3	
8	Листва	0,209	0,421	0,725	1,13	1,64	2,27	3,03	3,91	4,93	6,10	7,41	8,87	
	Ветви	0,058	0,112	0,185	0,280	0,397	0,538	0,702	0,891	1,11	1,35	1,62	1,91	
	Ствол	0,199	0,353	0,550	0,790	1,07	1,40	1,77	2,18	2,63	3,13	3,67	4,25	
	Итого	0,467	0,886	1,46	2,20	3,11	4,21	5,50	6,98	8,67	10,6	12,7	15,0	
12	Листва	0,220	0,442	0,761	1,19	1,73	2,39	3,18	4,11	5,18	6,40	7,78	9,31	
	Ветви	0,065	0,125	0,208	0,314	0,446	0,603	0,788	1,00	1,24	1,51	1,81	2,14	
	Ствол	0,222	0,393	0,612	0,879	1,19	1,56	1,97	2,43	2,93	3,49	4,09	4,73	
	Итого	0,507	0,96	1,58	2,38	3,37	4,55	5,94	7,53	9,35	11,4	13,7	16,2	
20	Листва	0,234	0,470	0,810	1,26	1,84	2,54	3,38	4,37	5,51	6,81	8,27	9,90	
	Ветви	0,076	0,145	0,240	0,363	0,515	0,698	0,911	1,16	1,44	1,75	2,10	2,48	
	Ствол	0,254	0,450	0,700	1,01	1,37	1,78	2,25	2,78	3,36	3,99	4,68	5,42	
	Итого	0,563	1,07	1,75	2,63	3,72	5,02	6,54	8,30	10,3	12,5	15,0	17,8	
30	Листва	0,245	0,494	0,850	1,32	1,93	2,67	3,55	4,59	5,79	7,15	8,69	10,4	
	Ветви	0,085	0,163	0,270	0,408	0,578	0,783	1,02	1,30	1,61	1,96	2,35	2,78	
	Ствол	0,283	0,500	0,780	1,12	1,52	1,98	2,51	3,09	3,74	4,44	5,21	6,03	
	Итого	0,613	1,16	1,90	2,85	4,03	5,43	7,08	8,98	11,1	13,6	16,2	19,2	

Глава 6. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ НАСАЖДЕНИЙ И АНАЛИЗ ЕЕ СВЯЗИ С РАССТОЯНИЕМ ОТ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАЛА

6.1. Елово-пихтовые насаждения в градиенте загрязнений от СУМЗ

Выше было упомянуто (разделы 1.3 и 3.3), что фитомасса и ЧПП древостоев определяются регрессионным методом, т.е. рассчитывается аллометрическое уравнение зависимости каждой фракции фитомассы и ЧПП от диаметра ствола и затем по данным перечета деревьев по ступеням толщины рассчитываются фитомасса и ЧПП на пробной площади и на 1 га. Вопрос в том, по каким именно аллометрическим уравнениям лучше определять продукционные показатели древостоев.

В разделе 4.1 было установлено, что степень удаления от СУМЗ не оказывает существенного влияния на массу ветвей, ствола и всей надземной массы дерева, поскольку значимость соответствующих констант при переменной $\ln L$ в уравнении (4.7) не достигала принятого уровня.

В этой связи предстоит выяснить, влияет ли использование унифицированных аллометрических уравнений (т.е. рассчитанных для всего градиента загрязнений) на закономерность изменения биопродуктивности древостоев по мере удаления от СУМЗ, или необходимо для каждой зоны градиента применять локальные уравнения, рассчитанные по данным соответствующих зональных пробных площадей?

В табл. 6.1 дана сводка локальных аллометрических уравнений для оценки фитомассы ели и пихты отдельно, специфичных для каждого удаления от СУМЗ, а в табл. 6.2 приведены унифицированные уравнения, полученные расчетом по всей совокупности модельных деревьев также отдельно для ели и пихты.

Результаты определения фитомассы древесного яруса по данным модельных деревьев, взятых в процессе проведенных исследований (см. Прил. 4), локальных (табл. 6.1) и обобщенных (табл. 6.2) аллометрических уравнений фитомассы и по материалам инструментальной таксации древостоев 43 пробных площадей в градиенте загрязнений от СУМЗ, приведены в табл. 6.3.

Данные фитомассы табл. 6.3 в т/га нанесены на графики (рис. 6.1), из которых виден характер изменения фракционного состава фитомассы по мере удаления от СУМЗ. Для аналитического описания соответствующих зависимостей, полученных по локальным и обобщенным аллометрическим уравнениям фитомассы, принята структура регрессионной модели:

$$\ln(P_i) = a_0 + a_1 (1/L) + a_2 (I). \quad (6.1)$$

Таблица 6.1

Характеристика зависимости фитомассы i -ой фракции от диаметра ствола на высоте груди ($\ln Pi = a + b \ln D$) для ели и пихты для разных зон загрязнения

L, км	Фракция	Константы		R ²	SE
		a	b		
Ель					
1	Ствол	-3,036	2,487	0,991	0,18
	Ветви	-3,826	2,443	0,992	0,16
	Хвоя	-2,970	2,044	0,978	0,23
	Вся надземная	-2,245	2,400	0,995	0,12
2	Ствол	-2,951	2,513	0,953	0,34
	Ветви	-3,553	2,289	0,929	0,39
	Хвоя	-3,602	2,208	0,967	0,25
	Вся надземная	-2,237	2,414	0,974	0,24
4	Ствол	-2,994	2,493	0,967	0,24
	Ветви	-1,122	1,425	0,823	0,34
	Хвоя	-1,651	1,495	0,753	0,42
	Вся надземная	-1,526	2,140	0,975	0,17
7	Ствол	-3,422	2,623	0,990	0,17
	Ветви	-3,643	2,300	0,994	0,12
	Хвоя	-4,856	2,662	0,977	0,27
	Вся надземная	-2,760	2,556	0,994	0,13
30	Ствол	-2,630	2,410	0,994	0,12
	Ветви	-2,380	1,842	0,923	0,34
	Хвоя	-3,359	2,016	0,981	0,18
	Вся надземная	-1,761	2,233	0,997	0,08
Пихта					
1	Ствол	-2,719	2,377	0,975	0,20
	Ветви	-5,503	2,833	0,976	0,23
	Хвоя	-3,906	2,151	0,935	0,30
	Вся надземная	-2,514	2,421	0,973	0,21
2	Ствол	-3,249	2,571	0,986	0,22
	Ветви	-3,899	2,300	0,975	0,26
	Хвоя	-4,031	2,193	0,981	0,22
	Вся надземная	-2,619	2,472	0,994	0,13
4	Ствол	-3,339	2,590	0,996	0,10
	Ветви	-2,327	1,708	0,924	0,31
	Хвоя	-2,066	1,500	0,949	0,22
	Вся надземная	-2,033	2,259	0,996	0,09
7	Ствол	-3,192	2,572	0,994	0,11
	Ветви	-4,071	2,295	0,980	0,17
	Хвоя	-4,009	2,176	0,973	0,19
	Вся надземная	-2,664	2,488	0,993	0,11
30	Ствол	-3,034	2,500	0,992	0,14
	Ветви	-5,517	2,750	0,975	0,27
	Хвоя	-5,852	2,677	0,967	0,31
	Вся надземная	-2,914	2,545	0,994	0,12

Таблица 6.2

Характеристика унифицированных уравнений зависимости фитомассы i -й фракции от диаметра на высоте груди ($\ln Pi = a + b \ln D$) для ели и пихты

Фракция	Константы		R ²	SE
	a	b		
Ель				
Ствол	-2,991	2,495	0,978	0,20
Ветви	-2,972	2,064	0,926	0,32
Хвоя	-3,375	2,107	0,914	0,36
Вся надземная	-2,161	2,364	0,985	0,16
Пихта				
Ствол	-3,132	2,532	0,989	0,14
Ветви	-4,140	2,334	0,942	0,31
Хвоя	-3,987	2,146	0,925	0,32
Вся надземная	-2,543	2,436	0,990	0,13

Здесь и далее в главе 6: Pi – фитомасса i -й фракции (хвои, ветвей, стволов и всей надземной, соответственно Pf , Pbr , Pst и Pa), т/га; T – тип уравнения, по которому рассчитан фракционный состав фитомассы на единице площади. T здесь и далее принята равной 1 и 0 соответственно для локальных и обобщенных аллометрических уравнений.

Характеристика уравнений (6.1) дана в табл. 6.4.

Как видно (см. рис. 6.1), линии регрессии, рассчитанные для фракционного состава фитомассы, полученного по двум разным типам аллометрических уравнений – локальным и обобщенным – фактически сливаются в одну линию, за исключением регрессии для массы ветвей.

Анализ показал, что различие между двумя названными линиями регрессии не значимо, поскольку критерий Стьюдента для константы a_2 лежит в пределах от 0,24 до 0,42 (см. табл. 6.4).

В этой связи переменная T исключена из расчетов и получены унифицированные регрессии

$$\ln(Pi) = a_0 + a_1 (1/L). \quad (6.2)$$

Характеристика уравнений (6.2) дана в табл. 6.5.

Зависимости (6.2) характеризуют обобщенные тренды изменения фракционного состава фитомассы в градиенте расстояний от СУМЗ: фитомасса елово-пихтовых древостоев по мере удаления от СУМЗ резко увеличивается в диапазоне от 1 до 4 км, а при дальнейшем удалении стабилизируется (см. рис. 6.1). Аналогичная закономерность выявлена в прилегающих к востоку от СУМЗ сосняках (Фимушин, 1979; Юсупов и др., 1997) и в многочисленных исследованиях по другим древесным породам и другим загрязнителям.

Таблица 6.3

**Фактические показатели надземной фитомассы елово-пихтовых древостоев
в градиенте загрязнений от СУМЗ**

L, км	Фитомасса, т/га							
	Расчитана на основе локальных уравнений (табл. 6.1)				Расчитана на основе обобщенных уравнений (табл. 6.2)			
	Ствол	Ветви	Хвоя	Итого	Ствол	Ветви	Хвоя	Итого
II	8,7	1,0	0,3	10,1	8,7	1,0	0,3	10,1
	10,1	1,3	0,5	11,8	10,1	1,3	0,5	11,8
	70,8	22,4	15,3	108,5	73,9	17,4	12,9	104,3
Ia	34,5	9,6	6,5	50,7	35,7	8,3	5,6	49,6
	46,4	12,7	8,6	67,6	47,8	10,3	7,3	65,5
	60,4	16,9	11,1	88,4	63,1	13,3	9,4	85,8
16	71,5	22,5	15,3	109,4	74,6	17,5	12,9	105,1
	68,2	22,2	14,0	104,4	72,0	15,8	11,9	99,8
	48,7	10,0	6,5	65,2	49,5	9,6	5,5	64,6
1,5	108,6	19,2	12,5	140,3	105,7	17,1	11,5	134,3
	78,6	18,1	12,1	108,9	76,2	15,8	11,1	103,1
	104,6	18,1	12,0	134,7	99,5	15,4	10,8	125,7
2	95,3	19,2	11,4	126,0	94,2	17,8	11,0	122,9
	109,9	24,3	15,2	149,4	105,6	22,0	14,2	141,7
	122,4	28,9	19,4	170,6	118,0	26,2	18,2	162,3
	116,8	26,4	17,1	160,4	113,6	23,3	16,0	152,9
	86,5	19,8	12,1	118,4	86,2	17,3	11,4	115,0
4	175,3	26,9	19,1	221,3	177,5	36,4	26,8	240,7
	121,8	22,5	15,2	159,6	147,2	29,0	18,8	195,0
	146,8	18,4	14,0	179,2	123,9	23,9	16,1	164,0
	145,1	24,1	15,7	184,9	148,7	29,9	23,3	201,9
	158,8	23,6	16,2	198,6	160,5	31,2	22,2	213,8
6	144,2	26,8	23,4	194,3	138,2	25,5	17,4	181,0
	147,7	27,5	22,6	197,9	141,9	26,6	17,4	185,9
	195,1	33,2	28,4	256,7	189,4	31,0	20,1	240,4
7	159,4	28,6	23,2	211,3	153,0	27,9	18,2	199,1
	160,0	27,3	20,4	207,7	153,5	27,3	17,1	197,9
	199,2	37,3	31,1	267,6	160,9	26,5	15,9	203,4
	166,2	27,0	19,6	212,7	189,4	31,5	18,7	239,6
	196,3	30,6	20,2	247,1	194,8	34,8	22,6	252,2
10	148,9	27,1	22,4	198,4	146,4	25,4	16,7	188,5
	111,1	24,2	22,0	157,2	108,1	22,5	15,9	146,5
	120,0	23,8	18,8	162,6	118,5	22,8	14,8	156,1

Окончание табл. 6.3

L, км	Фитомасса, т/га							
	Рассчитана на основе локальных уравнений (табл. 6.1)				Рассчитана на основе обобщенных уравнений (табл. 6.2)			
	Ствол	Ветви	Хвоя	Итого	Ствол	Ветви	Хвоя	Итого
20	152,7	23,0	12,4	188,1	152,3	25,7	15,4	193,4
	167,2	24,9	12,6	204,7	165,9	26,8	15,2	207,8
30	155,2	30,3	17,7	203,3	114,2	23,8	16,7	154,6
	113,4	21,6	13,3	148,3	153,8	30,4	20,1	204,4
	182,8	31,1	17,8	231,7	109,5	23,9	17,0	150,4
	117,2	21,7	13,4	152,3	181,4	32,9	21,0	235,2
	213,5	37,5	20,8	271,7	212,3	37,9	23,4	273,6
34	133,8	23,7	13,9	171,4	130,4	25,4	16,9	172,7
	180,1	27,7	17,5	225,3	175,2	32,2	22,8	230,2
	122,3	20,4	12,5	155,2	119,1	23,2	16,1	158,4

Таблица 6.4

Характеристика уравнений (6.1)

$\ln(P_i)$	Константы и независимые переменные			Критерий Стьюдента для констант		R ²	SE
	a_0	$a_1(1/L)$	$a_2 T$	t (a_1)	t (a_2)		
$\ln(P_f)$	2,975	-0,740	0,0235	8,96	0,42	0,511	0,247
$\ln(P_{br})$	3,384	-0,756	0,0120	11,0	0,26	0,610	0,206
$\ln(P_{st})$	5,141	-1,065	0,0114	15,0	0,24	0,744	0,213
$\ln(P_a)$	5,392	-0,982	0,0162	14,3	0,35	0,728	0,205

Таблица 6.5

Характеристика уравнений (6.2)

$\ln(P_i)$	Константы и независимые переменные		Критерий Стьюдента для константы t (a_1)	R ²	SE
	a_0	$a_1(1/L)$			
$\ln(P_f)$	2,986	-0,740	9,00	0,510	0,246
$\ln(P_{br})$	3,390	-0,756	11,0	0,610	0,205
$\ln(P_{st})$	5,146	-1,065	15,0	0,744	0,213
$\ln(P_a)$	5,400	-0,982	14,4	0,727	0,204

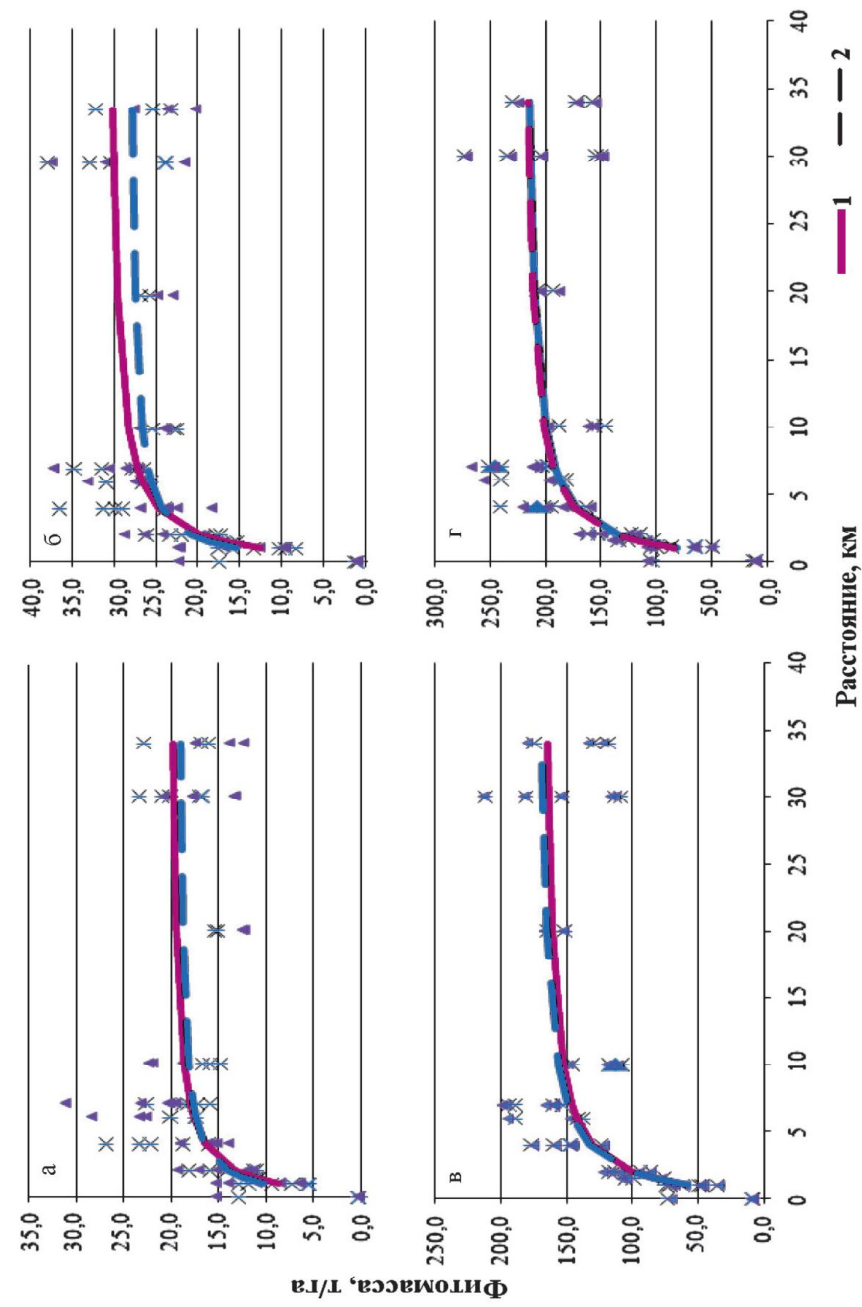


Рис. 6.1. Связь надземной фитомассы елово-пихтового древостоя с расстоянием от СУМЗ по уравнению (6.1) и ее соотношение с фактическими данными; 1 – кривая полученная на основе данных обобщенного уравнения; 2 – кривая полученная на основе данных локальных уравнений; а – хвоя; б – ветви; в – ствол; г – надземная фитомасса

6.2. Фракционная структура фитомассы естественных ельников и пихтарников средней тайги Урала в условиях фонового загрязнения

Среднетаежные темнохвойные леса представлены в основном смешанными елово-пихтовыми древостоями. В этой связи необходимо выяснить, в какой степени для оценки их фитомассы необходимы раздельные нормативы и можно ли разрабатывать и использовать нормативы, пригодные как для чистых, так и для смешанных елово-пихтовых древостоев.

По результатам перечетов древостоев на 12 пробных площадях, заложенных в фоновых условиях загрязнения на территории Нижне-Сергинского лесничества, и полученным данным о фитомассе 200 модельных деревьев регрессионным методом рассчитаны таксационная характеристика и показатели фракционной структуры надземной фитомассы ельников (с долей участия ели от 60 до 90%) и пихтарников (с долей участия пихты от 60 до 90%) (табл. 6.6).

Для полученных данных (см. табл. 6.6) использованы регрессионные уравнения вида:

$$\ln Y = a_0 + a_1 \ln A + a_2 X, \quad (6.3)$$

где Y – зависимая переменная, представленная таксационными и продукционными показателями (табл. 6.7): D – средний диаметр, см; H – средняя высота, м; G – сумма площадей сечений, м²/га; N – густота деревьев, экз/га; M – запас древостоя, м³/га; Pa – надземная фитомасса, т/га; Pbr/Pa и Pf/Pa – доля соответственно ветвей и хвои в надземной фитомассе, Pst – масса стволов, т/га; независимые переменные: A – возраст древостоя, лет; X – бинарная переменная (Дрейпер, Смит, 1973) ($X = 0$ для пихтарников и $X = 1$ для ельников). Результаты расчета уравнений показали (см. табл. 6.7), что регрессионные коэффициенты при переменной $\ln A$ статистически значимы ($t_{\text{факт}} = 4,2 \div 8,8 > t_{0,5} = 2,0$), но нет значимых различий между пихтарниками и ельниками ни по таксационным показателям древостоев в представленных возрастных рядах, ни по показателям фитомассы ($t_{\text{факт}} = 0,02 \div 0,99 < t_{0,5} = 2,0$).

Полученный результат послужил основанием для составления обобщенного норматива с предварительным расчетом уравнений:

$$\ln Y = a_0 + a_1 \ln A, \quad (6.4)$$

характеристика которых приведена в табл. 6.8.

Искомый табличный норматив для таксации фитомассы древостоев составлен путем табулирования уравнений (6.4) по задаваемым значениям возраста древостоя (табл. 6.9). Возрастной тренд густоты древостоя получен расчетным путем по значениям G и D .

Таблица 6.9 предназначена для таксации надземной фитомассы как чистых, так и смешанных сомкнутых елово-пихтовых древостоев среднетаежной подзоны уральского региона в условиях фонового загрязнения.

Вывод об инвариантной биопродуктивности ельников и пихтарников входит в противоречие с результатом, полученным в разделе 4.1 о большей

**Таксационные показатели и фитомасса древостоев пробных площадей, заложённых в пихтарниках и ельниковых подзонах
средней тайги в условиях фонового загрязнения**

Породный состав	Возраст, лет	Класс бонитета	Густота, экз/га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Площадь сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Фитомасса, т/га			
								Стволы	Ветви	Хвоя	Всего
ЕЛЬНИКИ МШИСТЫЕ											
9Е1С	20	III	8495	5,3	5,8	18,7	58,0	26,2	9,5	13,1	48,8
7Е2С1П	58	III	1701	15,4	16,5	34,8	275	131,2	17,3	17,1	165,6
7Е3П	68	IV	1853	14,4	13,6	29,9	172	76,2	11,5	11,7	99,4
9Е1Б	76	III	2302	16,0	19,4	45,2	381	150,0	13,9	15,3	179,2
9Е1С	79	IV	1715	15,1	15,6	32,4	225	111,6	12,1	12,4	136,1
6Е2П2Б	132	IV	1203	21,4	21,0	39,6	371	225,2	24,1	19,6	268,9
Пихтарники мшистые											
8П2Е	20	IV	54082	1,6	3,0	10,9	31,9	14,9	9,5	9,1	33,5
8П2Е	32	IV	4200	6,7	5,9	14,8	53,7	24,2	11,1	11,7	47,0
9П2Е	50	IV	4700	9,2	9,0	31,2	153	58,8	12,5	12,9	84,2
6П4Е2Б	72	III	1778	18,2	18,6	46,2	396	141,3	16,0	8,4	165,7
7П2Е1Б	73	III	1480	19,9	18,4	46,0	390	139,2	10,5	12,0	161,7
8П2Е	100	III	1056	22,7	22,3	42,7	385	149,9	25,4	12,2	187,5

Таблица 6.7

Характеристика регрессионных уравнений (6.3)

lnY	Константы и независимые переменные			Критерий Стьюдента для констант		R ²	SE
	a ₀	a ₁ (lnA)	a ₂ X	t (a ₁)	t (a ₂)		
lnH	-1,561	0,993	0,102	8,0	0,727	0,886	0,239
lnD	-2,299	1,164	0,081	6,5	0,397	0,834	0,347
lnG	0,564	0,703	-0,003	5,3	0,021	0,766	0,256
lnM	-0,399	1,392	-0,017	7,0	0,076	0,848	0,388
lnPa	0,529	1,021	0,121	8,8	0,919	0,904	0,224
ln(Pbr/Pa)	0,395	-0,597	-0,163	4,2	0,993	0,696	0,278
ln(Pf/Pa)	1,404	-0,905	0,145	6,8	0,958	0,837	0,258

Таблица 6.8

Характеристика уравнений (6.4)

Константы и характеристики уравнений	Зависимые переменные						
	lnH	lnD	lnG	lnM	lnPa	ln(Pbr/Pa)	ln(Pf/Pa)
a ₀	-1,579	-2,314	0,564	-0,396	0,507	0,424	1,378
a ₁ (lnA)	1,010	1,177	0,703	1,389	1,042	-0,624	-0,881
R ²	0,879	0,831	0,766	0,847	0,895	0,663	0,821
SE	0,233	0,332	0,242	0,368	0,222	0,218	0,257

Таблица 6.9

Возрастная динамика роста и продуктивности елово-пихтовых древостоев III–IV классов бонитета в среднетаежной подзоне Урала

A, лет	H, м	D, см	N, экз/га	G, м ² /га	M, м ³ /га	Фитомасса, т/га			
						Pst	Pbr	Pf	Pa
20	4,2	3,4	15860	14,4	43,2	18,1	8,9	10,7	37,7
40	8,6	7,6	5180	23,5	113,0	53,7	11,8	11,9	77,5
60	12,9	12,3	2626	31,2	198,5	91,5	14,0	12,8	118,3
80	17,2	17,2	1644	38,2	295,9	130,4	15,8	13,4	159,6
100	21,6	22,4	1134	44,7	403,5	170,2	17,4	13,8	201,4
120	26,0	27,7	843	50,8	519,7	210,5	18,7	14,3	243,5

(на 5%-ном уровне значимости) фитомассе деревьев ели по сравнению с равновеликими деревьями пихты. В данном случае могла произойти частичная компенсация двух разнонаправленных трендов, а именно более низкая фитомасса деревьев пихты оказалась частично скомпенсирована более высокой плотностью пихтарников, по крайней мере, – молодых и средневозрастных (см. табл. 6.6).

По-видимому, получает подтверждение принцип продукционной инвариантности древостоев как способности растительных сообществ к достижению и поддержанию в течение длительного времени одинакового уровня биологической продуктивности (Уткин и др., 1988).

6.3. Сосновые насаждения в градиенте загрязнений от КМК

Как и в предыдущем разделе, фитомасса сосновых древостоев на 1 га определяется регрессионным методом, на основе аллометрических уравнений зависимости каждой фракции фитомассы от диаметра ствола и данных перечета деревьев по ступеням толщины. В разделе 4.1 было установлено, что на уровне деревьев их биопродукционные показатели хотя и связаны со степенью удаления от источника загрязнений, но эта зависимость значима не на 5%-ном, а лишь на 10%-ном уровне.

Поскольку степень загрязнения оказывает довольно слабое влияние на константы названных аллометрических уравнений, как и в случае СУМЗ, необходимо выяснить, влияет ли использование унифицированных аллометрических уравнений (т.е. рассчитанных для всего градиента загрязнений) на закономерность изменения биопродуктивности насаждений по мере удаления от КМК, или необходимо для каждой зоны применять локальные уравнения, рассчитанные по данным соответствующих зональных пробных площадей?

По исходному массиву фактических данных фитомассы деревьев (см. приложение 4) рассчитаны те и другие из упомянутых аллометрических уравнений. В табл. 6.10 дана сводка локальных аллометрических уравнений для оценки фитомассы сосны, специфичных для каждого удаления (зоны) от КМК, а в табл. 6.11 приведены унифицированные уравнения, полученные расчетом по всей совокупности модельных деревьев.

Результаты определения фитомассы древесного яруса по материалам инструментальной таксации древостоев 12 пробных площадей в градиенте загрязнений от КМК с использованием как локальных (табл. 6.10), так и обобщенных (табл. 6.11) аллометрических уравнений фитомассы, приведены в табл. 6.12.

По значениям фитомассы табл. 6.12 (т/га) построены графики (рис. 6.2), на которых виден характер изменения фракционного состава фитомассы по мере удаления от КМК. Для аналитического описания соответствующих зависимостей, полученных по локальным и обобщенным аллометрическим уравнениям фитомассы, принята структура регрессионной модели:

$$P_i = a_0 + a_1 (1/L)^2. \quad (6.5)$$

Таблица 6.10

Характеристика зависимости фитомассы i -й фракции от диаметра ствола на высоте груди ($\ln Pi = a + b \ln D$) для деревьев сосны из разных зон загрязнения

L , км	Фракция	Константы		R^2	SE
		a	b		
4	Хвоя	-3,683	1,947	0,962	0,18
	Ветви	-4,384	2,465	0,969	0,20
	Ствол	-4,074	2,918	0,976	0,21
	Вся надземная	-3,419	2,782	0,982	0,17
7	Хвоя	-8,891	3,424	0,980	0,19
	Ветви	-4,950	2,482	0,862	0,50
	Ствол	-2,946	2,614	0,957	0,28
	Вся надземная	-2,351	2,467	0,983	0,16
8	Хвоя	-2,588	1,521	0,896	0,25
	Ветви	-3,823	2,138	0,882	0,38
	Ствол	-3,667	2,792	0,989	0,14
	Вся надземная	-3,064	2,653	0,992	0,12
10	Хвоя	-4,632	2,046	0,915	0,31
	Ветви	-5,824	2,770	0,886	0,44
	Ствол	-3,492	2,745	0,968	0,22
	Вся надземная	-3,279	2,722	0,980	0,17
14	Хвоя	-6,587	2,820	0,951	0,29
	Ветви	-5,427	2,662	0,895	0,41
	Ствол	-3,195	2,703	0,975	0,20
	Вся надземная	-3,050	2,701	0,979	0,18
32	Хвоя	-4,208	2,008	0,961	0,24
	Ветви	-3,692	2,112	0,960	0,25
	Ствол	-3,023	2,610	0,990	0,16
	Вся надземная	-2,591	2,520	0,992	0,13

Таблица 6.11

Характеристика унифицированных уравнений зависимости фитомассы i -й фракции от диаметра на высоте груди ($\ln Pi = a + b \ln D$) для сосны

Фракция	Константы		R^2	SE
	a	b		
Хвоя	-4,727	2,177	0,841	0,40
Ветви	-4,596	2,407	0,872	0,39
Ствол	-3,348	2,713	0,969	0,21
Вся надземная	-2,904	2,622	0,979	0,16

Таблица 6.12

**Фактические показатели надземной фитомассы сосновых древостоев
в градиенте загрязнений от КМК**

L, км	Фитомасса, т/га							
	Рассчитана на основе локальных уравнений (см. табл. 6.10)				Рассчитана на основе обобщенных уравнений (см. табл. 6.11)			
	Хвоя	Ветви	Ствол	Вся надземная	Хвоя	Ветви	Ствол	Вся надземная
4	3,65	11,9	84,1	99,6	3,03	9,71	89,5	102,6
4	6,97	22,2	154,2	182,2	5,63	15,6	156,0	176,5
7	9,21	16,9	199,0	214,9	5,15	16,3	155,2	175,8
7	6,63	15,4	164,3	179,7	5,15	16,3	155,2	175,8
7	8,31	17,0	196,0	214,8	7,21	18,7	184,9	210,6
8	5,00	12,5	123,0	140,9	5,01	13,4	127,4	146,2
8	4,46	16,2	151,5	171,2	4,70	16,1	150,4	170,3
10	4,46	22,1	175,8	202,7	5,19	18,9	172,8	195,9
14	8,63	16,7	177,3	203,5	6,18	16,0	158,4	180,5
14	9,10	17,3	183,9	211,1	6,59	16,6	163,9	187,3
14	10,1	21,9	234,3	268,0	8,37	22,7	208,4	241,1
32	6,70	17,6	196,7	219,8	6,97	20,2	195,9	222,7

Результаты расчета уравнений (6.5) показаны в табл. 6.13 и в их графической интерпретации – на рис. 6.2. Как видно (рис. 6.2), линии регрессии, рассчитанные для фракционного состава фитомассы, полученного по двум разным типам аллометрических уравнений – локальным и обобщенным – довольно близки, за исключением регрессии для массы хвои.

Для установления значимости различия между линиями регрессии (6.5), рассчитанными по двум методам, введена бинарная переменная T , и структура уравнения (6.5) модифицирована к виду:

$$Pi = a_0 + a_1 (1/L)^2 + a_2 (T). \quad (6.6)$$

Характеристика уравнений (6.6) дана в табл. 6.14.

Статистический анализ показал, что различие между двумя названными линиями регрессии не значимо, поскольку Критерий Стьюдента для константы a_2 изменяется в пределах от 0,47 до 1,73, что существенно ниже 2,0, в том числе для фитомассы хвои (см. табл. 6.14). В этой связи переменная T исключена из расчетов и получены унифицированные регрессии, характеризующие обобщенные тренды изменения фракционного состава фитомассы по мере удаления от КМК, структура которых аналогична (6.5). Характеристика обобщенных уравнений (6.5) дана в табл. 6.15. Несмотря на относительно невысокие коэффициенты детерминации (от 0,27 до 0,41), уравнения статистически значимы (критерий Стьюдента $t_{факт}$

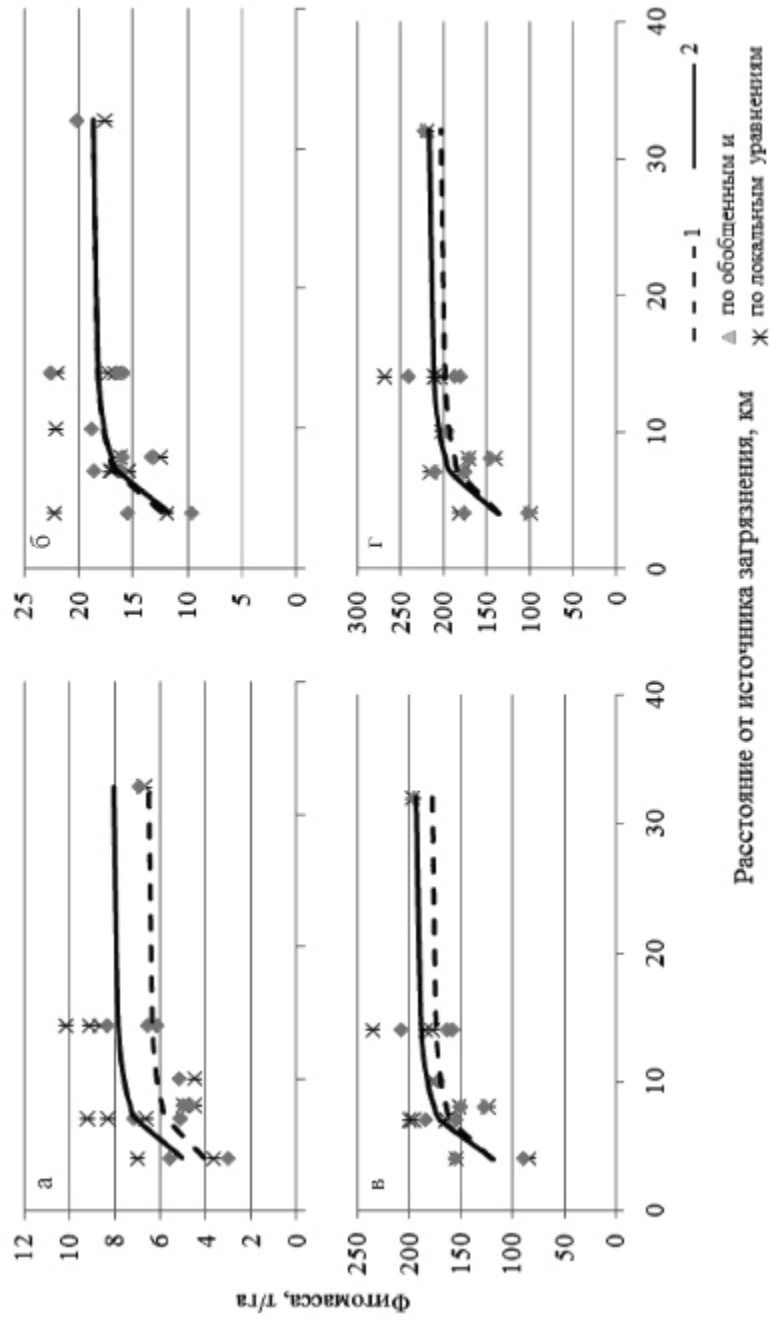


Рис. 6.2. Связь надземной фитомассы соснового древостоя с расстоянием от КМК по уравнению (6.5) и ее соотношение с фактическими данными; 1 – кривая, полученная на основе данных обобщенного уравнения; 2 – кривая, полученная на основе данных локальных уравнений; а – хвоя; б – ветви; в – ствол; г – надземная фитомасса

Таблица 6.13

Характеристика уравнений (6.5), рассчитанных двумя методами.

P_i	Константы и независимые переменные		R^2	SE
	a_0	$a_1(1/L)^2$		
По локальным уравнениям				
Pf	8,14	-49,7	0,213	2,07
Pbr	18,8	-113,1	0,503	2,46
Pst	194,9	-1225,5	0,426	31,11
Pa	218,9	-1306,2	0,407	34,47
По обобщенным уравнениям				
Pf	6,57	-39,4	0,346	1,19
Pbr	18,8	-103,1	0,426	2,05
Pst	179,1	-950,4	0,406	19,40
Pa	204,4	-1097,7	0,411	22,24

Таблица 6.14

Характеристика уравнений (6.6)

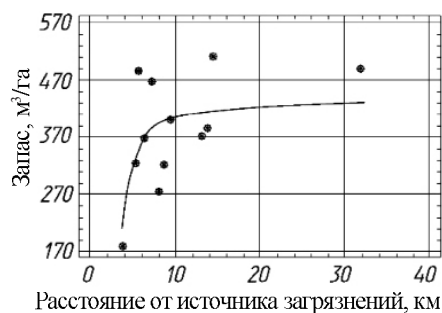
P_i	Константы и независимые переменные			Значимость констант		R^2	SE
	a_0	$a_1(1/L)^2$	a_2T	$t(a_1)$	$t(a_2)$		
Pf	6,576	-39,9	1,17	2,35	1,73	0,288	1,66
Pbr	17,99	-63,02	0,599	1,96	0,47	0,162	2,31
Pst	181,9	-1087,9	10,18	3,83	0,90	0,425	21,2
Pa	206,5	-1201,9	10,26	3,78	0,81	0,416	31,1

Таблица 6.15

Характеристика обобщенных уравнений (6.5)

P_i	Константы и независимые переменные		R^2	SE
	a_0	$a_1(1/L)^2$		
Pf	7,304	-55,07	0,268	1,67
Pbr	18,777	-107,9	0,409	2,48
Pst	187,02	-1088,0	0,402	27,6
Pa	211,65	-1201,9	0,398	30,8

Рис. 6.3. Связь запаса соснового древостоя с расстоянием от КМК по уравнению (6.7)



составил от 2,8 до 3,9, что больше $t_{05} = 2,0$).

Таким образом, подтверждается высказанное выше предположение, что в принятом в нашем исследовании диапазоне расстояний от КМК в пределах от 4 до 30 км фитомасса сосняков определяется не столько структурой фитомассы составляющих деревьев, сколько морфоструктурой древостоев.

Дополнительным подтверждением служит рис. 6.3, на котором нанесены значения запаса стволовой древесины в зависимости от расстояния до КМК. Закономерность описывается уравнением (6.7), структура которого аналогична (6.5) для фракционного состава фитомассы сосняков:

$$M = 450,9 - 3824,3 (1/L)^2; \quad R^2 = 0,375; \quad SE = 81,2, \quad (6.7)$$

где M – запас стволовой древесины, м³/га. Как по показателям фитомассы, так и по запасу стволовой древесины на 1 га, закономерность изменения их в градиенте загрязнений одна и та же (рис. 6.2 и 6.3): резкое увеличение в диапазоне от 4 до 15 км с последующей стагнацией. Близкие значения запаса в сосняках приводит Т.В. Черненькова (1986): на расстояниях 5 и 30 км от КМК они составили соответственно 112 и 434 м³/га.

6.4. Березовые насаждения в градиенте загрязнений от КМК

Хотя степень загрязнения от КМК оказывает существенное влияние на константы аллометрических уравнений фитомассы, необходимо выяснить, как и в предыдущих разделах, есть ли смысл определять структуру фитомассы деревьев березы в каждой зоне загрязнений. Иными словами, влияет ли использование унифицированных аллометрических уравнений (т.е. рассчитанных для всего градиента загрязнений) на закономерность изменения биопродуктивности насаждений на 1 га по мере удаления от КМК, или необходимо для каждой зоны применять локальные уравнения, рассчитанные по данным соответствующих зональных пробных площадей?

По исходному массиву фактических данных фитомассы деревьев (см. Прил. 4) рассчитаны те и другие из упомянутых аллометрических уравнений. В табл. 6.16 дана сводка локальных аллометрических уравнений для оценки фитомассы березы, специфичных для каждого удаления (зоны) от КМК, а в табл. 6.17 – унифицированные уравнения, полученные расчетом по всей совокупности модельных деревьев. Результаты определения фитомассы древесного яруса по материалам инструментальной таксации древостоев 34 пробных площадей в градиенте загрязнений от КМК с использованием как локальных (см. табл. 6.16), так и обобщенных (см. табл. 6.17) аллометрических уравнений фитомассы, приведены в табл. 6.18.

Таблица 6.16

Характеристика зависимости фитомассы i -й фракции от диаметра ствола на высоте груди ($\ln Pi = a + b \ln D$) для деревьев березы из разных зон загрязнения

L , км	Фракция	Константы		R^2	SE
		a	b		
4	Листва	-6,037	2,433	0,965	0,18
	Ветви	-4,982	2,612	0,962	0,21
	Ствол	-1,838	2,302	0,982	0,12
	Вся надземная	-1,786	2,326	0,989	0,10
5	Листва	-5,440	2,294	0,929	0,29
	Ветви	-5,632	2,827	0,989	0,09
	Ствол	-2,347	2,470	0,988	0,12
	Вся надземная	-2,299	2,497	0,990	0,12
7	Листва	-5,803	2,363	0,933	0,27
	Ветви	-5,717	2,885	0,922	0,36
	Ствол	-2,817	2,663	0,999	0,02
	Вся надземная	-2,750	2,683	0,997	0,06
9	Листва	-6,149	2,557	0,940	0,28
	Ветви	-5,628	2,915	0,975	0,20
	Ствол	-2,525	2,578	0,989	0,12
	Вся надземная	-2,484	2,611	0,992	0,10
12	Листва	-5,983	2,467	0,988	0,11
	Ветви	-7,250	3,415	0,994	0,10
	Ствол	-1,463	2,174	0,978	0,13
	Вся надземная	-1,606	2,268	0,984	0,12
13	Листва	-5,321	2,140	0,914	0,32
	Ветви	-4,003	2,312	0,810	0,54
	Ствол	-3,557	2,901	0,994	0,11
	Вся надземная	-3,204	2,829	0,995	0,09
18	Листва	-6,042	2,490	0,974	0,17
	Ветви	-5,698	2,965	0,962	0,25
	Ствол	-1,964	2,368	0,990	0,10
	Вся надземная	-2,014	2,438	0,992	0,09
31	Листва	-4,854	2,141	0,956	0,18
	Ветви	-3,356	2,102	0,916	0,24
	Ствол	-2,911	2,719	0,972	0,18
	Вся надземная	-2,471	2,612	0,983	0,13

Таблица 6.17

Характеристика унифицированных уравнений зависимости фитомассы *i*-й фракции от диаметра на высоте груди ($\ln Pi = a + b \ln D$) для березы

Фракция	Константы		R ²	SE
	<i>a</i>	<i>b</i>		
Листья	-5,719	2,366	0,925	0,25
Ветви	-5,335	2,771	0,915	0,31
Ствол	-2,497	2,548	0,977	0,15
Вся надземная	-2,398	2,560	0,983	0,12

Данные фитомассы табл. 6.18 (т/га) представлены на графиках (рис. 6.4), на которых виден характер изменения фракционного состава фитомассы по мере удаления от КМК.

Для аналитического описания соответствующих зависимостей, полученных по локальным и обобщенным аллометрическим уравнениям фитомассы, принята структура регрессионных моделей (6.5) и (6.7). Результаты их расчета приведены в табл. 6.19 и в их графической интерпретации – на рис. 6.4. Как и в предыдущих случаях, линии регрессии, рассчитанные для фракционного состава фитомассы, полученного по двум разным типам аллометрических уравнений – локальным и обобщенным – довольно близки (см. рис. 6.4).

При анализе данных табл. 6.18 нетрудно заметить, что значения фитомассы (т/га), рассчитанные по обобщенным уравнениям (см. табл. 6.17), для импактной зоны выше, чем по локальным (см. табл. 6.16), а для контроля – наоборот, ниже. Соответственно кривые на рис. 6.4 пересекаются. Возможная причина такого пересечения заключается в следующем: поскольку фитомасса деревьев возрастает по мере удаления от КМК, то вводя в расчет обобщенные уравнения вместо локальных мы завышаем показатели в импактной зоне и занижаем – на контроле. Поэтому при оценке значимости различий между двумя кривыми на рис. 6.4 мы ввели в уравнение (6.6) не только бинарную переменную *T*, но и мультипликативный член $T \times L$:

$$Pi = a_0 + a_1 (1/L)^2 + a_2 (T) + a_3 (T \times L). \quad (6.8)$$

Характеристика уравнений (6.8) дана в табл. 6.20.

В результате установлено, что различие между двумя названными линиями регрессии значимо, поскольку критерий Стьюдента для констант a_2 и a_3 изменяется в пределах от 2,1 до 4,1 (см. табл. 6.20). Это означает, что значения фитомассы листьев, ветвей, стволов и всей надземной (т/га), рассчитанные по обобщенным аллометрическим уравнениям, завышены для импактной зоны и занижены для контрольных участков, и, следовательно, обобщенные аллометрические уравнения фитомассы нельзя использовать для определения ее фракционного состава на 1 га по всему градиенту загрязнений.

Соответственно при оценке фитомассы березняков на единице площади в градиенте загрязнений от КМК необходимо брать за основу локальные аллометрические уравнения фитомассы деревьев (см. табл. 6.16).

Таблица 6.18

**Фактические показатели надземной фитомассы березовых древостоев
в градиенте загрязнений от КМК**

№ п/п	L, км	Фитомасса, т/га							
		Рассчитано на основе локальных уравнений (см. табл. 6.16)				Рассчитано на основе обобщенных уравнений (см. табл. 6.17)			
		Листва	Ветви	Ствол	Вся надземная	Листва	Ветви	Ствол	Вся надземная
1	3,5	1,32	6,65	71,8	79,7	1,49	7,45	72,5	85,4
2	3,5	1,73	9,21	91,2	102,1	1,92	10,8	103,2	116,7
3	3,5	2,10	11,5	108,1	121,7	2,31	13,8	127,4	144,5
4	3,8	1,72	8,41	91,7	101,9	1,95	9,33	98,3	107,7
5	3,8	2,14	11,0	114,8	128,0	2,40	12,5	121,5	140,8
6	3,8	1,59	8,06	86,4	96,0	1,80	9,04	91,9	103,3
7	3,8	1,87	9,77	99,9	111,5	2,09	11,2	110,4	124,4
8	4,8	2,13	6,68	78,9	87,7	1,97	7,68	84,4	94,7
9	8,5	2,22	9,50	103,0	114,8	2,44	10,1	102,4	115,2
10	9,1	2,23	11,9	112,0	126,1	2,00	10,6	105,8	118,9
11	9,2	2,34	13,0	119,7	135,1	1,87	10,5	111,0	123,5
12	9,1	2,57	13,7	135,5	151,8	2,15	11,5	126,6	140,4
13	9,2	2,69	13,9	144,7	161,3	2,32	12,0	135,9	150,6
14	10,6	3,73	21,9	188,7	214,3	3,17	18,7	176,8	199,3
15	10,6	3,37	21,1	172,7	197,2	2,77	17,6	161,0	181,8
16	10,6	3,80	21,8	191,4	216,9	3,27	18,8	179,7	202,5
17	12,3	3,23	17,4	168,2	188,8	3,03	13,9	201,8	221,4
18	12,3	2,03	10,3	111,3	123,6	1,98	10,4	116,1	130,0
19	12,3	2,70	14,0	144,4	161,1	2,58	12,8	160,0	177,5
20	13,1	1,88	14,3	147,0	163,2	2,58	16,2	137,9	155,2
21	17,5	3,70	18,9	145,4	168,0	3,42	14,3	153,2	170,2
22	18,5	4,28	30,0	212,9	247,2	3,96	22,9	224,0	250,2
23	18,5	3,79	26,8	188,5	219,1	3,49	20,4	198,9	222,2
24	18,5	4,53	32,1	224,7	261,3	4,17	24,4	237,6	265,3
25	25,8	4,01	17,4	193,0	214,4	3,43	19,9	169,9	195,6
26	25,7	4,16	18,0	209,8	232,0	3,64	22,0	181,5	210,6
27	25,8	4,22	18,3	207,0	229,6	3,64	21,4	181,2	209,2
28	28,7	4,05	17,5	210,2	231,7	3,57	21,8	181,0	210,0
29	28,7	4,41	19,0	227,4	250,9	3,88	23,5	196,2	227,5
30	28,7	2,70	11,7	135,9	150,3	2,35	14,1	118,1	136,6
31	31	2,88	13,1	135,9	149,1	2,69	13,7	120,1	134,8
32	31,7	4,28	18,5	215,9	238,6	3,73	22,3	187,4	216,8
33	31,7	4,74	20,5	236,2	261,4	4,11	24,4	205,7	237,8
34	31,7	5,37	23,3	259,9	288,6	4,60	26,8	228,4	263,2

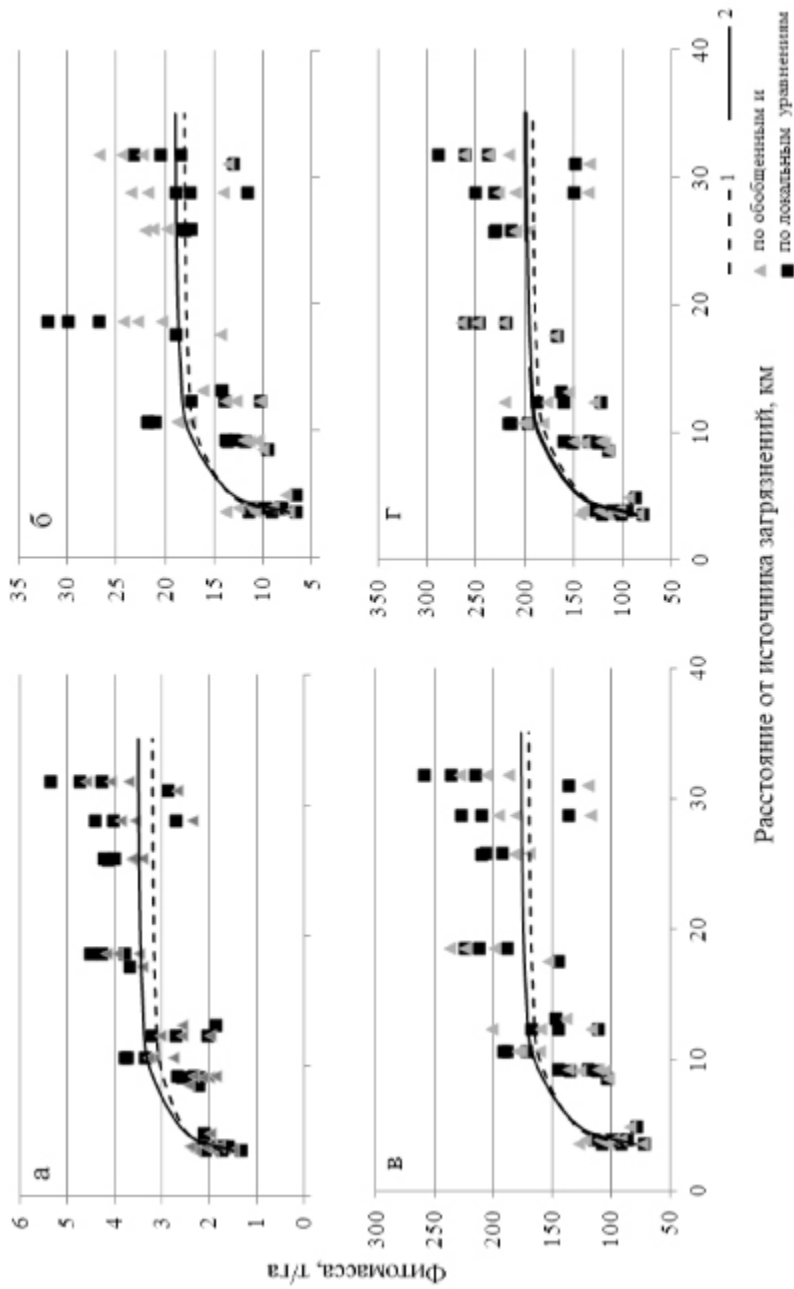


Рис. 6.4. Связь надземной фитомассы березового древостоя с расстоянием от КИМ по уравнению (6.5) и ее соотношение с фактическими данными; 1 – кривая, полученная на основе данных обобщенного уравнения; 2 – кривая, полученная на основе данных локальных уравнений; а – листья; б – ветви; в – ствол; г – надземная фитомасса

Таблица 6.19

Характеристика уравнений (6.5), рассчитанных двумя методами

P_i	Константы и независимые переменные		R^2	SE
	a_0	$a_1(1/L)^2$		
По локальным уравнениям				
P_f	3,510	-24,72	0,536	0,70
P_{br}	19,03	-143,1	0,421	5,14
P_{st}	177,5	-1214,4	0,558	33,1
P_a	200,1	-1382,5	0,556	37,8
По обобщенным уравнениям				
P_f	3,227	-18,41	0,411	0,65
P_{br}	18,21	-117,0	0,364	4,55
P_{st}	170,9	-1001,6	0,413	35,1
P_a	193,7	-1138,0	0,408	40,3

Таблица 6.20

Характеристика уравнений (6.8)

P_i	Константы и независимые переменные				Критерий Стьюдента для констант			R^2	SE
	a_0	$a_1(1/L)^2$	a_2T	$a_3(T \times L)$	$t(a_1)$	$t(a_2)$	$t(a_3)$		
P_f	3,172	-15,73	-0,599	0,0541	4,9	2,3	4,1	0,570	0,65
P_{br}	16,78	-85,89	-2,884	0,186	4,9	2,1	2,5	0,517	3,43
P_{st}	167,85	-851,6	-30,74	2,349	5,2	2,3	3,5	0,547	33,4
P_a	190,50	-985,5	-33,69	2,475	5,2	2,2	3,2	0,532	38,5

Глава 7. СТРУКТУРА ЧПП НАСАЖДЕНИЙ И АНАЛИЗ ЕЕ СВЯЗИ С РАССТОЯНИЕМ ОТ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАЛА

7.1. Елово-пихтовые насаждения в градиенте загрязнений от СУМЗ

В разделе 5.1 было показано, что расстояние от СУМЗ не влияет на величину констант аллометрических уравнений для ЧПП стволов, ветвей, хвои и надземной ЧПП деревьев. По аналогии с фитомассой елово-пихтовых древостоев (см. раздел 6.1), предстоит выяснить, влияет ли использование унифицированных аллометрических уравнений на закономерность изменения их ЧПП по мере удаления от СУМЗ.

В табл. 7.1 дана сводка локальных аллометрических уравнений для ЧПП ели и пихты, специфичных для каждого удаления от СУМЗ, а в табл. 7.2 приведены унифицированные уравнения, полученные расчетом по всей совокупности модельных деревьев (см. Прил. 4) отдельно для ели и пихты.

Результаты определения ЧПП древесного яруса на единице площади по локальным (табл. 7.1) и обобщенным (табл. 7.2) аллометрическим уравнениям ЧПП модельных деревьев и инструментальной таксации древостоев 43 пробных площадей в градиенте загрязнений от СУМЗ, приведены в табл. 7.3.

Значения ЧПП табл. 7.3 представлены графически (рис. 7.1). Для аналитического описания соответствующих зависимостей, полученных по локальным и обобщенным аллометрическим уравнениям фитомассы, принята структура регрессионной модели, аналогичная таковой для фитомассы:

$$\ln Z_i = a_0 + a_1 (1/L) + a_2 (T); \quad (7.1)$$

здесь и далее: Z_i – годовая ЧПП i -й фракции (хвои, ветвей, стволов и всей надземной, соответственно Z_f , Z_{br} , Z_{st} и Z_a), т/га. Результаты расчета уравнений (7.1) по локальным (см. табл. 7.1) и обобщенным (см. табл. 7.2) аллометрическим уравнениям представлены в табл. 7.4.

Как видно на рис. 7.1, линии регрессии, рассчитанные для фракционного состава ЧПП древостоев, полученной по двум разным типам аллометрических уравнений – локальным и обобщенным – имеют, как и соответствующие линии для фитомассы древостоев (см. рис. 6.1) довольно близки.

Статистический анализ показал (см. табл. 7.4), что различие между двумя названными линиями регрессии не значимо, поскольку крите-

Таблица 7.1

Характеристика зависимости ЧПП i -й фракции от диаметра ствола на высоте груди ($\ln Zi = a + b \ln D$) для ели и пихты для разных зон загрязнения

L, км	Фракция	Константы		R ²	SE
		a	b		
Ель					
1	Ствол	-5,340	2,130	0,841	0,69
	Ветви	-5,818	1,957	0,980	0,21
	Хвоя	-4,323	1,906	0,976	0,22
	Вся надземная	-3,801	1,969	0,955	0,32
2	Ствол	-6,054	2,468	0,965	0,29
	Ветви	-6,362	2,140	0,817	0,62
	Хвоя	-5,035	2,022	0,971	0,21
	Вся надземная	-4,667	2,243	0,967	0,25
4	Ствол	-4,083	1,709	0,882	0,30
	Ветви	-3,450	0,991	0,500	0,48
	Хвоя	-4,271	1,824	0,753	0,51
	Вся надземная	-3,120	1,687	0,833	0,37
7	Ствол	-5,933	2,507	0,966	0,31
	Ветви	-5,713	1,916	0,978	0,19
	Хвоя	-5,648	2,408	0,927	0,45
	Вся надземная	-5,007	2,545	0,955	0,37
30	Ствол	-3,772	1,675	0,881	0,40
	Ветви	-4,810	1,564	0,954	0,22
	Хвоя	-5,130	1,963	0,971	0,22
	Вся надземная	-3,786	1,972	0,880	0,47
Пихта					
1	Ствол	-4,918	1,899	0,872	0,38
	Ветви	-7,940	2,491	0,933	0,33
	Хвоя	-5,166	1,933	0,931	0,27
	Вся надземная	-4,403	1,986	0,904	0,30
2	Ствол	-6,889	2,511	0,973	0,29
	Ветви	-7,040	2,241	0,911	0,49
	Хвоя	-6,592	2,389	0,941	0,42
	Вся надземная	-5,792	2,434	0,969	0,31
4	Ствол	-4,700	1,859	0,868	0,45
	Ветви	-4,549	1,258	0,856	0,32
	Хвоя	-4,482	1,608	0,865	0,40
	Вся надземная	-3,612	1,692	0,877	0,39

Окончание табл. 7.1

L, км	Фракция	Константы		R ²	SE
		a	b		
7	Ствол	-5,663	2,197	0,954	0,25
	Ветви	-5,312	1,584	0,961	0,17
	Хвоя	-5,420	2,047	0,959	0,22
	Вся надземная	-4,521	2,056	0,969	0,19
30	Ствол	-6,429	2,293	0,982	0,19
	Ветви	-8,728	2,634	0,982	0,22
	Хвоя	-7,779	2,804	0,968	0,31
	Вся надземная	-6,367	2,580	0,980	0,23

Таблица 7.2

Характеристика унифицированных уравнений зависимости ЧПП *i*-й фракции фитомассы от диаметра на высоте груди ($\ln Zi = a + b \ln D$) для ели и пихты

Фракция	Константы		R ²	SE
	a	b		
Ель				
Ствол	-5,083	2,108	0,871	0,44
Ветви	-5,274	1,728	0,930	0,27
Хвоя	-4,852	1,973	0,912	0,35
Пихта				
Ствол	-5,729	2,155	0,909	0,36
Ветви	-6,278	1,898	0,903	0,32
Хвоя	-6,197	2,283	0,924	0,35

рий Стьюдента для константы a_2 изменяется в пределах от 0,29 до 2,06, что существенно ниже критического значения, за исключением ЧПП ветвей (2,42). Поскольку константа a_2 для ЧПП хвои имеет знак «плюс», а для ЧПП стволов и ветвей – знак «минус», то отсутствие значимых различий между результатами надземной ЧПП, полученными по двум разным типам аллометрических уравнений, по-видимому, обусловлено тем, что в последнем случае произошла компенсация разнонаправленных закономерностей.

В этой связи мы сочли возможным исключить переменную T из расчетов и получить унифицированные регрессии

$$\ln Zi = a_0 + a_1 (1/L), \quad (7.2)$$

характеризующие обобщенные тренды изменения фракционного состава ЧПП в градиенте расстояний от СУМЗ. Характеристика уравнений (7.2) дана в табл. 7.5.

Таблица 7.3

**Фактические показатели годичной первичной продукции елово-пихтовых древостоев
в градиенте загрязнений от СУМЗ**

L, км	Годичная ЧПП, т/га							
	Рассчитана на основе локальных уравнений (см. табл. 7.1)				Рассчитана на основе обобщенных уравнений (см. табл. 7.2)			
	Ствол	Ветви	Хвоя	Итого	Ствол	Ветви	Хвоя	Итого
II	0,21	0,06	0,19	0,45	0,21	0,06	0,19	0,45
	0,19	0,04	0,26	0,49	0,19	0,04	0,26	0,49
	1,93	0,53	2,49	4,95	2,37	0,62	2,03	5,01
Ia	1,39	0,34	1,38	3,11	1,58	0,38	1,20	3,15
	1,21	0,31	1,54	3,07	1,42	0,36	1,30	3,09
	1,52	0,41	1,92	3,85	1,81	0,45	1,66	3,91
Iб	1,95	0,54	2,50	4,99	2,39	0,62	2,04	5,05
	1,70	0,46	2,26	4,42	2,18	0,51	1,82	4,51
	1,17	0,33	1,73	3,22	1,37	0,39	1,48	3,24
1,5	2,75	0,64	2,00	5,39	2,78	0,64	2,30	5,71
	1,98	0,54	1,50	4,02	2,10	0,53	1,88	4,51
	2,93	0,55	1,84	5,33	2,69	0,59	2,00	5,28
2	2,26	0,62	2,21	5,09	2,28	0,67	2,53	5,48
	3,07	0,77	2,44	6,28	3,04	0,86	2,77	6,67
	3,35	0,83	2,67	6,86	3,37	0,94	3,18	7,49
	3,06	0,79	2,38	6,24	3,00	0,81	2,86	6,68
	2,16	0,71	1,61	4,48	2,24	0,67	2,07	4,98
4	3,62	0,65	4,44	8,72	5,04	1,13	4,32	10,49
	3,46	0,73	2,84	7,03	3,68	0,99	3,33	8,00
	2,98	0,61	3,10	6,69	3,00	0,75	3,18	6,93
	2,58	0,38	3,34	6,30	4,22	0,86	3,27	8,35
	3,18	0,52	3,90	7,60	4,20	0,90	3,95	9,04
6	3,98	0,81	3,97	8,75	3,37	0,78	3,14	7,29
	4,00	0,85	3,99	8,85	3,46	0,84	3,27	7,57
	4,95	1,02	5,05	11,02	4,10	0,98	3,80	8,87
7	4,01	0,80	4,24	9,05	3,52	0,79	3,60	7,91
	3,71	0,75	3,91	8,37	3,38	0,77	3,60	7,74
	5,46	1,05	6,28	12,79	3,41	0,75	3,91	8,07
	3,77	0,77	4,34	8,87	3,84	0,84	4,58	9,26
	4,00	0,82	4,55	9,38	4,66	1,00	4,87	10,53
10	4,13	0,84	4,60	9,57	3,60	0,79	3,61	8,00
	3,56	0,75	3,71	8,02	3,00	0,71	2,66	6,37
	3,43	0,76	3,82	8,00	3,07	0,74	3,06	6,87
20	2,42	0,78	3,00	6,19	3,52	0,87	3,24	7,63
	3,12	0,93	3,43	7,48	3,94	0,99	3,68	8,62
30	2,29	0,87	3,39	7,48	3,02	0,71	2,61	6,35
	2,20	0,69	2,17	5,06	3,64	0,88	3,32	7,83
	2,67	0,83	4,08	7,59	3,07	0,76	2,66	6,49
	2,06	0,66	2,24	4,96	4,05	0,91	4,20	9,16
	3,13	0,99	5,06	9,18	4,56	1,03	4,98	10,57
34	2,46	0,69	2,87	6,03	3,24	0,74	3,24	7,22
	3,56	0,87	3,18	7,62	4,59	0,99	4,07	9,65
	2,25	0,60	2,37	5,22	3,05	0,69	2,90	6,64

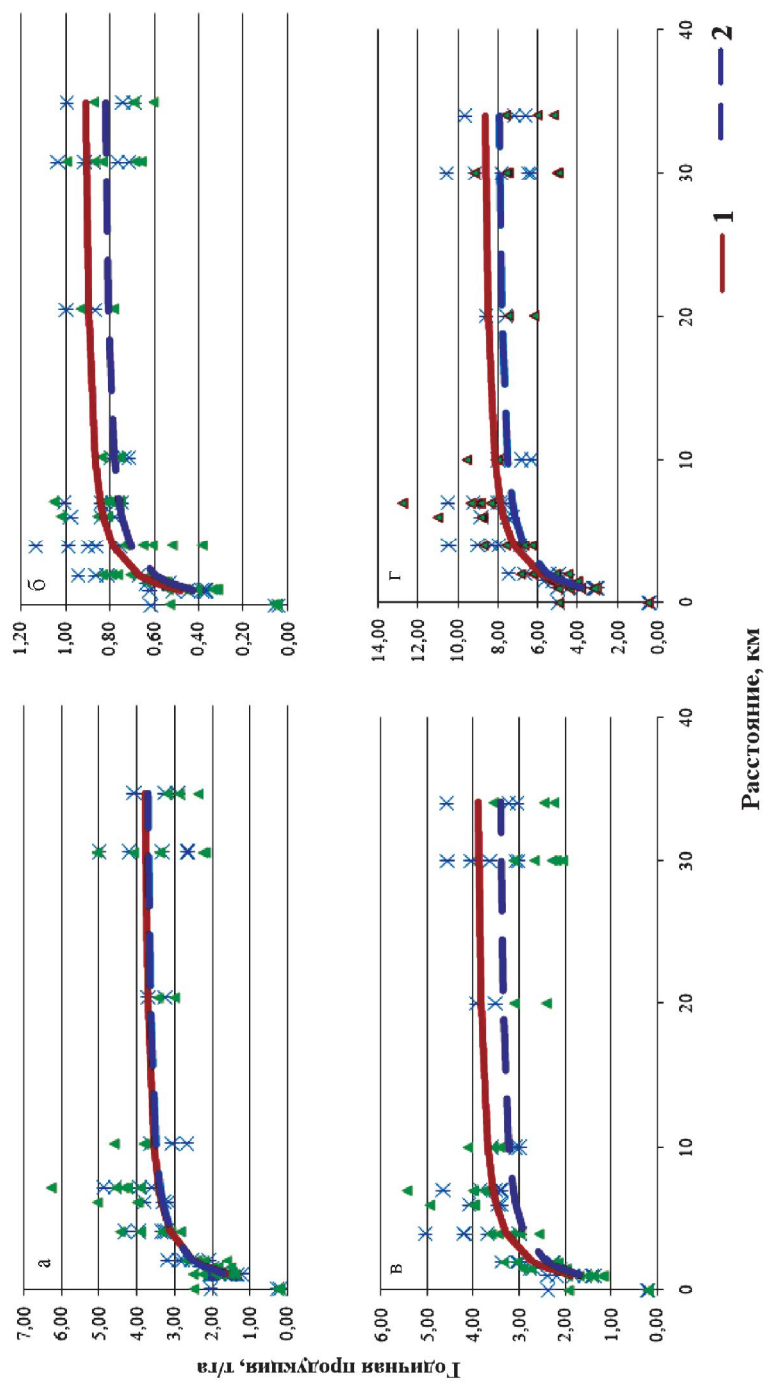


Рис. 7.1. Связь надземной ЧПП елово-пихтового древостоя с расстоянием от СУМЗ по уравнению (7.1) и ее соотношение с фактическими данными; 1 – кривая полученная на основе данных, рассчитанных с помощью обобщенного уравнения (см. табл. 7.2); 2 – кривая полученная на основе данных, рассчитанных с помощью локальных уравнений (см. табл. 7.1):
 а – хвой; б – ветви; в – ствол; г – общая надземная

Таблица 7.4

Характеристика уравнений (7.1)

lnZi	Константы и независимые переменные			Критерий Стьюдента для констант		R ²	SE
	a ₀	a ₁ (1/L)	a ₂ T	t (a ₁)	t (a ₂)		
lnZf	1,348	-0,843	0,0152	10,8	0,29	0,603	0,233
lnZbr	-0,075	-0,667	-0,102	10,6	2,42	0,606	0,188
lnZst	1,378	-0,750	-0,105	9,8	2,06	0,567	0,229
lnZa	2,171	-0,784	-0,042	11,5	0,92	0,634	0,234

Таблица 7.5

Характеристика уравнений (7.2)

lnZi	Константы и независимые переменные		Критерий Стьюдента для константы t (a ₁)	R ²	SE
	a ₀	a ₁ (1/L)			
lnZf	1,356	-0,843	10,9	0,602	0,232
lnZbr	-0,126	-0,667	10,3	0,576	0,194
lnZst	1,325	-0,750	9,6	0,543	0,233
lnZa	2,150	-0,784	11,5	0,630	0,204

Таким образом, в градиенте загрязнений фитомасса и ЧПП древостоев по мере удаления от СУМЗ резко увеличивается в диапазоне от 1 до 4 км, а при дальнейшем удалении стабилизируется (см. рис. 6.1 и 7.1).

7.2. Сосновые насаждения в градиенте загрязнений от КМК

Аналогичное сопоставление локальных и обобщенных аллометрических уравнений выполнено для ЧПП деревьев сосны. В табл. 7.6 дана сводка локальных аллометрических уравнений для ЧПП деревьев, специфичных для каждого удаления от КМК, а в табл. 7.7 приведены унифицированные уравнения, полученные расчетом по всей совокупности модельных деревьев (см. Прил. 4).

Результаты определения ЧПП древесного яруса на единице площади по локальным (см. табл. 7.6) и обобщенным (см. табл. 7.7) аллометрическим уравнениям ЧПП деревьев и инструментальной таксации древостоев 12 пробных площадей в градиенте загрязнений от КМК, приведены в табл. 7.8.

Данные ЧПП (см. табл. 7.8) аппроксимированы регрессионным уравнением

$$Z_i = a_0 + a_1 (1/L)^2. \quad (7.3)$$

Таблица 7.6

Характеристика зависимости ЧПП i -й фракции от диаметра ствола на высоте груди ($\ln Zi = a + b \ln D$) для деревьев сосны из разных зон загрязнения

L , км	Фракция	Константы		R^2	SE
		a	b		
4	Хвоя	-5,366	1,960	0,922	0,26
	Ветви	-6,338	2,064	0,943	0,23
	Ствол	-7,610	2,684	0,955	0,27
	Вся надземная	-5,374	2,268	0,975	0,17
7	Хвоя	-6,395	2,178	0,928	0,31
	Ветви	-6,984	2,127	0,868	0,42
	Ствол	-7,063	2,449	0,931	0,34
	Вся надземная	-5,757	2,294	0,943	0,29
8	Хвоя	-4,398	1,606	0,965	0,15
	Ветви	-4,809	1,449	0,831	0,33
	Ствол	-5,305	1,940	0,962	0,19
	Вся надземная	-3,732	1,690	0,964	0,16
10	Хвоя	-7,923	2,612	0,94	0,32
	Ветви	-7,717	2,308	0,808	0,49
	Ствол	-7,316	2,516	0,953	0,24
	Вся надземная	-6,605	2,519	0,955	0,24
14	Хвоя	-9,551	3,201	0,926	0,41
	Ветви	-7,140	2,178	0,830	0,45
	Ствол	-6,996	2,552	0,942	0,28
	Вся надземная	-6,717	2,669	0,952	0,27
32	Хвоя	-5,935	2,065	0,984	0,16
	Ветви	-6,517	2,044	0,914	0,37
	Ствол	-6,644	2,453	0,951	0,33
	Вся надземная	-5,315	2,240	0,968	0,24

Таблица 7.7

Характеристика обобщенных уравнений зависимости ЧПП i -й фракции от диаметра ствола на высоте груди ($\ln Zi = a + b \ln D$) для деревьев сосны

Фракция	Константы		R^2	SE
	a	b		
Хвоя	-6,529	2,248	0,858	0,40
Ветви	-6,397	1,952	0,784	0,43
Ствол	-6,825	2,432	0,913	0,32
Вся надземная	-5,579	2,277	0,914	0,30

Таблица 7.8

**Фактические показатели годичной первичной продукции сосновых древостоев
в градиенте загрязнений от КМК**

L, км	Годичная ЧПП, т/га							
	Рассчитана на основе локальных уравнений (см. табл. 7.6)				Рассчитана на основе обобщенных уравнений (см. табл. 7.7)			
	Хвоя	Ветви	Ствол	Вся надземная	Хвоя	Ветви	Ствол	Вся надземная
4	1,30	0,446	1,05	2,82	1,28	0,389	1,11	2,81
4	1,66	0,774	1,94	4,40	1,52	0,543	1,81	3,92
7	1,41	0,640	1,84	3,96	1,58	0,625	2,18	4,44
7	1,61	0,602	1,57	3,83	1,78	0,566	1,74	4,12
7	1,54	0,675	1,86	4,15	1,71	0,668	2,19	4,64
8	1,43	0,507	1,37	3,25	1,34	0,502	1,54	3,43
8	2,10	0,618	1,36	3,91	1,90	0,562	1,67	4,15
10	2,63	0,774	1,56	4,75	2,27	0,649	1,87	4,81
14	1,80	0,590	2,39	4,79	1,47	0,572	1,88	3,97
14	1,80	0,613	2,47	4,91	1,46	0,595	1,96	4,08
14	2,29	0,853	3,25	6,49	2,38	0,876	2,56	5,90
32	2,21	0,850	2,98	5,97	2,14	0,727	2,28	5,21

Результаты расчета уравнений (7.3) приведены в табл. 7.9 и в их графической интерпретации – на рис. 7.2. Согласно рис. 7.2, линии регрессии, рассчитанные для фракционного состава фитомассы, полученного по двум разным типам аллометрических уравнений – локальным и обобщенным – довольно близки, а в некоторых случаях сливаются.

Таблица 7.9

Характеристика уравнений (7.3)

Z _i	Константы и независимые переменные		R ²	SE
	a ₀	a ₁ (1/L) ²		
По локальным уравнениям				
Z _f	2,03	-10,6	0,291	0,26
Z _{br}	0,736	-5,11	0,441	0,10
Z _{st}	2,32	-17,4	0,289	0,60
Z _a	5,03	-28,9	0,335	0,89
По обобщенным уравнениям				
Z _f	2,08	-12,3	0,494	0,29
Z _{br}	0,680	-3,63	0,392	0,10
Z _{st}	2,12	-10,9	0,357	0,32
Z _a	4,77	-23,6	0,375	0,67

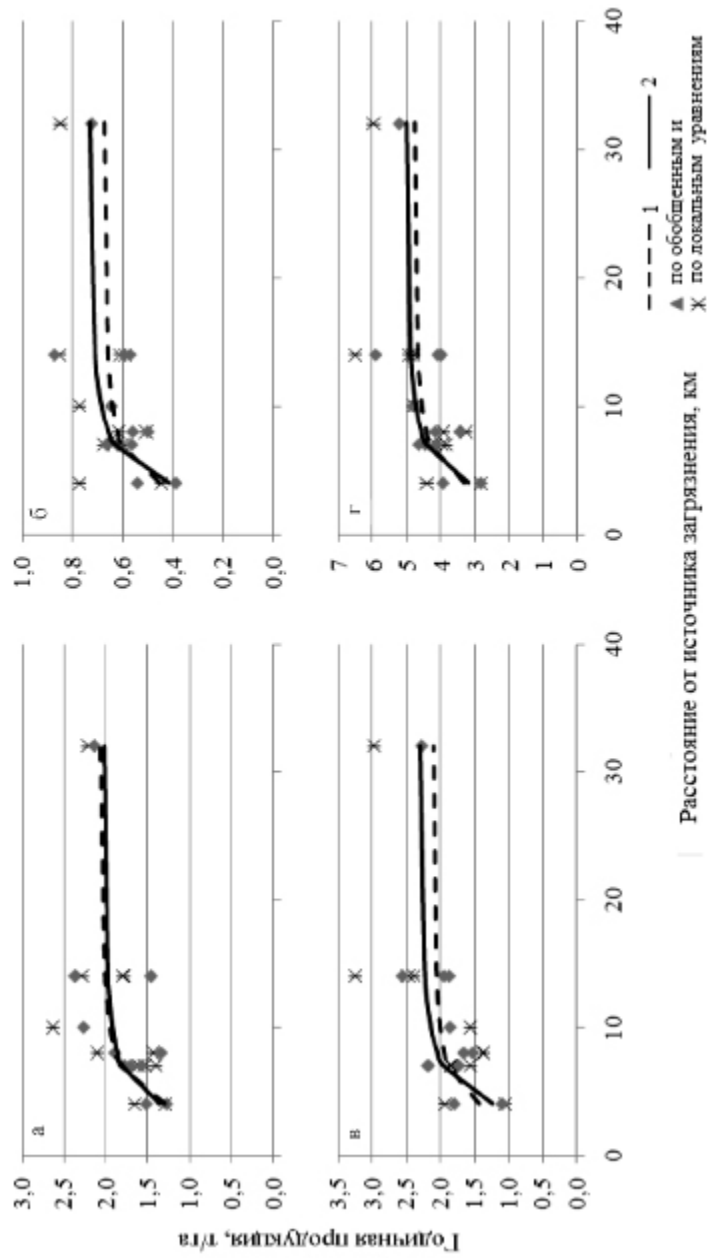


Рис. 7.2. Связь надземной ЧП древесностов сосны с расстоянием от КМЖ по уравнению (7.3) и ее соотношение с фактически данными. 1 – кривая полученная на основе данных, рассчитанных с помощью обобщенного уравнения (см. табл. 7.7); 2 – кривая полученная на основе данных, рассчитанных с помощью локальных уравнений (см. табл. 7.6); а – хвоя, б – ветви, в – ствол, г – общая надземная

Таблица 7.10

Характеристика уравнений (7.4)

Z_i	Константы и независимые переменные			Критерий Стьюдента для констант		R^2	SE
	a_0	$a_1(1/L)^2$	$a_2 T$	$t(a_1)$	$t(a_2)$		
Z_f	1,933	-9,716	0,079	2,80	0,57	0,280	0,34
Z_{br}	0,663	-2,786	0,056	2,41	1,21	0,258	0,11
Z_{st}	2,187	-14,15	0,071	2,93	0,37	0,293	0,47
Z_a	4,825	-26,31	0,146	3,34	0,46	0,351	0,77

Таблица 7.11

Характеристика обобщенных уравнений (7.3)

Z_i	Константы и независимые переменные		Значимость константы a_1 по t -критерию	R^2	SE
	a_0	$a_1(1/L)^2$			
Z_f	1,991	-11,40	3,0	0,299	0,33
Z_{br}	0,707	-4,260	3,8	0,411	0,10
Z_{st}	2,222	-14,15	3,0	0,288	0,46
Z_a	4,897	-26,31	3,4	0,344	0,76

Для установления значимости различия между линиями регрессии (7.3), рассчитанными по двум методам, введена бинарная переменная T по аналогии с уравнением (6.6):

$$Z_i = a_0 + a_1 (1/L)^2 + a_2 (T). \quad (7.4)$$

Характеристика (7.4) дана в табл. 7.10.

Статистический анализ показал (см. табл. 7.10), что различие между двумя названными линиями регрессии не значимо, поскольку критерий Стьюдента для константы a_2 изменяется в пределах от 0,37 до 1,21, что существенно ниже 2,0.

Поэтому мы исключаем переменную T из расчетов и рассчитываем унифицированные регрессии (7.3), характеризующие обобщенные тренды изменения фракционного состава ЧПП сосняков в градиенте расстояний от КМК. Характеристика обобщенных уравнений (7.3) дана в табл. 7.11.

Таким образом, в градиенте загрязнений фитомасса и ЧПП сосновых насаждений по мере удаления от КМК резко увеличивается в диапазоне от 4–5 до 10–12 км, а при дальнейшем удалении стабилизируется (см. рис. 6.2 и 7.2).

7.3. Березовые насаждения в градиенте загрязнений от КМК

Аналогичное сопоставление аллометрических уравнений выполнено для ЧПП деревьев в березовых древостоях. В табл. 7.12 дана сводка локаль-

ных аллометрических уравнений для ЧПП деревьев, специфичных для каждого удаления от КМК (см. Прил. 4).

Унифицированные уравнения, полученные расчетом по всей совокупности модельных деревьев, показаны в табл. 7.13.

Результаты определения ЧПП древесного яруса на единице площади по локальным (см. табл. 7.12) и обобщенным (см. табл. 7.13) аллометри-

Таблица 7.12

Характеристика зависимости ЧПП i -й фракции от диаметра ствола на высоте груди ($\ln Zi = a + b \ln D$) для деревьев березы из разных зон загрязнения

L, км	Фракция	Константы		R ²	SE
		a	b		
4	Листва	-6,037	2,433	0,965	0,18
	Ветви	-8,236	2,615	0,979	0,15
	Ствол	-6,619	2,401	0,982	0,13
	Вся надземная	-5,517	2,438	0,989	0,10
5	Листва	-5,440	2,294	0,929	0,29
	Ветви	-6,777	2,155	0,986	0,12
	Ствол	-3,996	1,484	0,930	0,19
	Вся надземная	-4,142	2,005	0,962	0,18
7	Листва	-5,803	2,363	0,933	0,27
	Ветви	-7,395	2,459	0,937	0,28
	Ствол	-5,428	2,110	0,978	0,14
	Вся надземная	-4,896	2,287	0,968	0,18
9	Листва	-6,149	2,557	0,940	0,28
	Ветви	-7,214	2,467	0,962	0,21
	Ствол	-4,780	1,851	0,955	0,18
	Вся надземная	-4,756	2,275	0,977	0,15
12	Листва	-5,983	2,467	0,988	0,11
	Ветви	-8,262	2,718	0,980	0,16
	Ствол	-4,263	1,696	0,941	0,17
	Вся надземная	-4,567	2,184	0,983	0,11
13	Листва	-5,321	2,140	0,914	0,32
	Ветви	-5,155	1,720	0,738	0,50
	Ствол	-6,172	2,416	0,996	0,07
	Вся надземная	-4,610	2,189	0,958	0,22
18	Листва	-6,042	2,490	0,974	0,17
	Ветви	-8,416	2,938	0,968	0,21
	Ствол	-4,409	1,801	0,973	0,13
	Вся надземная	-4,544	2,224	0,983	0,13
31	Листва	-4,854	2,141	0,956	0,18
	Ветви	-7,172	2,376	0,971	0,11
	Ствол	-5,639	2,250	0,982	0,12
	Вся надземная	-4,107	2,093	0,988	0,09

Таблица 7.13

Характеристика обобщенных уравнений зависимости ЧПП *i*-й фракции от диаметра ствола на высоте груди ($\ln Zi = a + b \ln D$) для деревьев березы

Фракция	Константы		R ²	SE
	<i>a</i>	<i>b</i>		
Листва	-5,719	2,366	0,925	0,25
Ветви	-6,868	2,271	0,831	0,38
Ствол	-5,217	2,024	0,895	0,26
Вся надземная	-4,671	2,223	0,948	0,19

ческим уравнениям ЧПП деревьев и инструментальной таксации древостоев 34 пробных площадей в градиенте загрязнений от КМК показаны в табл. 7.14.

Изменение ЧПП по мере удаления от КМК представлено на рис. 7.3. Для аналитического описания соответствующих зависимостей, полученных по локальным и обобщенным аллометрическим уравнениям ЧПП, принята структура регрессионной модели (7.3), аналогичная таковой для ЧПП сосняков.

Результаты расчета уравнений (7.3) для березовых древостоев показаны в табл. 7.15 и в их графической интерпретации – на рис. 7.3. Очевидно, что на рис. 7.3 линии регрессии, рассчитанные для фракционного состава ЧПП, полученного по двум разным типам аллометрических уравнений – локальным и обобщенным, довольно близки, а между импактной и буферной зонами, как и траектории для фитомассы на рис. 6.4, пересекаются.

Поэтому для сравнения значимости различий между двумя кривыми на рис. 7.3 мы использовали структуру регрессионного уравнения, аналогичную уравнению (6.8) для фитомассы древостоев:

$$Zi = a_0 + a_1 (1/L)^2 + a_2 (T) + a_3 (T \times L). \quad (7.5)$$

В результате расчета (7.5) (табл. 7.16) установлено, что различие между двумя названными линиями регрессии значимо. Это означает, что значения ЧПП, как и фитомассы листвы, ветвей, стволов и всей надземной (т/га), рассчитанные по обобщенным аллометрическим уравнениям, завышены для импактной зоны и занижены для контрольных пробных площадей, и следовательно, обобщенные аллометрические уравнения ЧПП деревьев (как и их фитомассы) нельзя использовать для определения ее фракционного состава на 1 га березняков по всему градиенту загрязнений. Поэтому для оценки ЧПП березняков на единице площади за основу необходимо брать локальные аллометрические уравнения, показанные в табл. 7.12.

Таким образом, в градиенте загрязнений фитомасса и ЧПП березовых древостоев по мере удаления от КМК резко увеличивается в диапазоне от 4–5 до 10–12 км, а при дальнейшем удалении стабилизируется.

Таблица 7.14

**Фактические показатели годичной первичной продукции березовых древостоев
в градиенте загрязнений от КМК**

№ п/п	L, км	ЧПП, т/га							
		Рассчитано на основе локальных уравнений (см. табл. 7.12)				Рассчитано на основе обобщенных уравнений (см. табл. 7.13)			
		Листва	Ветви	Ствол	Вся надземная	Листва	Ветви	Ствол	Вся надземная
1	3,5	1,32	0,224	0,810	2,34	1,49	0,324	1,11	2,93
2	3,5	1,73	0,310	1,05	3,09	1,92	0,408	1,32	3,65
3	3,5	2,10	0,387	1,27	3,76	2,31	0,481	1,48	4,28
4	3,8	1,66	0,280	1,02	2,96	1,88	0,413	1,43	3,74
5	3,8	1,92	0,332	1,17	3,43	2,16	0,461	1,53	4,18
6	3,8	1,59	0,271	0,970	2,83	1,80	0,389	1,32	3,52
7	3,8	1,87	0,329	1,14	3,34	2,09	0,448	1,46	4,01
8	4,8	1,85	0,314	0,934	3,09	1,71	0,396	1,20	3,32
9	8,5	2,18	0,685	1,60	4,46	2,39	0,684	1,56	4,67
10	9,1	2,21	0,582	1,52	4,31	1,98	0,474	1,60	4,05
11	9,2	2,34	0,641	1,45	4,43	1,87	0,466	1,66	4,05
12	9,1	2,57	0,657	1,85	5,08	2,15	0,499	2,05	4,69
13	9,2	2,69	0,652	2,10	5,45	2,32	0,511	2,28	5,07
14	10,6	3,73	0,969	2,13	6,82	3,17	0,747	2,35	6,32
15	10,6	3,37	0,871	1,74	5,99	2,77	0,650	1,97	5,51
16	10,6	3,80	0,991	2,28	7,07	3,27	0,775	2,48	6,58
17	12,3	3,23	0,841	2,15	6,22	3,03	0,788	2,36	6,36
18	12,3	2,03	0,475	1,78	4,29	1,98	0,526	1,73	4,32
19	12,3	2,70	0,659	2,09	5,45	2,58	0,679	2,15	5,53
20	13,1	1,85	0,566	2,31	4,72	2,54	0,577	1,75	4,94
21	17,5	2,90	0,484	1,53	4,91	2,68	0,258	1,39	4,31
22	18,5	4,28	1,16	2,83	8,27	3,96	0,624	2,59	7,26
23	18,5	3,79	1,01	2,49	7,29	3,49	0,537	2,28	6,40
24	18,5	4,53	1,20	2,93	8,65	4,17	0,634	2,70	7,59
25	25,8	4,01	0,698	2,90	7,61	3,43	0,680	2,18	6,52
26	25,7	4,16	0,719	3,21	8,09	3,64	0,693	2,36	7,02
27	25,8	4,22	0,720	3,07	8,01	3,64	0,699	2,29	6,89
28	28,7	4,05	0,652	2,97	7,68	3,57	0,626	2,17	6,69
29	28,7	4,41	0,713	3,23	8,36	3,88	0,686	2,36	7,28
30	28,7	2,70	0,453	1,97	5,13	2,35	0,438	1,46	4,43
31	31,0	2,88	0,537	2,05	5,45	2,40	0,529	1,58	4,60
32	31,7	4,28	0,764	3,40	8,44	3,73	0,738	2,51	7,30
33	31,7	4,74	0,799	3,45	8,99	4,11	0,774	2,56	7,76
34	31,7	5,37	0,928	3,89	10,19	4,60	0,903	2,92	8,74

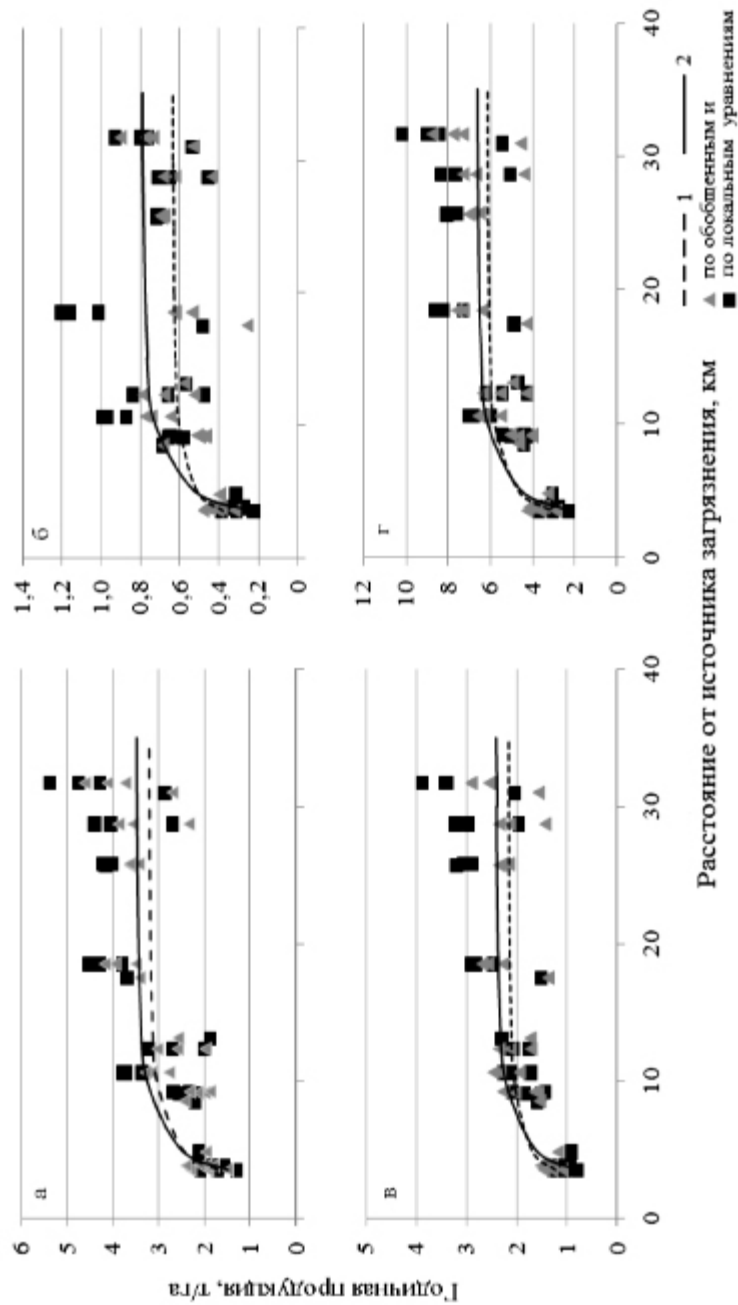


Рис. 7.3. Связь надземной ЧШ березового древостоя с расстоянием от КМК по уравнению (7.3) и ее соотношение с фактическими данными, 1 – кривая, полученная на основе обобщенных уравнений, 2 – кривая, полученная на основе данных локальных уравнений; а – листья; б – ветви, в – ствол, г – общая надземная

Таблица 7.15

Характеристика уравнений (7.3) для березовых древостоев

Z_i	Константы и независимые переменные		R^2	SE
	a_0	$a_1(1/L)^2$		
I По локальным уравнениям				
Z_f	3,510	-24,72	0,536	0,70
Z_{br}	0,797	-6,777	0,573	0,18
Z_{st}	2,426	-19,80	0,611	0,48
Z_{abo}	6,684	-51,32	0,612	1,25
II По обобщенным уравнениям				
Z_f	3,227	-18,41	0,411	0,65
Z_{br}	0,638	-3,109	0,354	0,12
Z_{st}	2,185	-11,61	0,459	0,37
Z_a	6,160	-35,42	0,449	1,15

Таблица 7.16

Характеристика уравнений (7.5)

Z_i	Константы и независимые переменные				Критерий Стьюдента для констант			R^2	SE
	a_0	$a_1(1/L)^2$	a_2T	$a_3(T \times L)$	$t(a_1)$	$t(a_2)$	$t(a_3)$		
Z_f	3,172	-15,73	-0,599	0,0541	4,9	2,3	4,1	0,570	0,65
Z_{br}	0,661	-3,650	-0,089	0,0055	6,9	2,1	2,5	0,638	0,10
Z_{st}	2,156	-10,186	-0,644	0,0520	5,3	4,2	6,6	0,696	0,39
Z_a	6,085	-31,800	-1,296	0,1072	5,5	2,8	4,6	0,624	1,16

Глава 8. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ И ЧПП НИЖНЕГО ЛЕСНОГО ЯРУСА ВБЛИЗИ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ЗАВОДОВ УРАЛА

При изучении влияния атмосферного загрязнения на продукционные процессы исследователи чаще всего анализируют реакцию древесного яруса; меньше работ посвящено анализу реакции подчиненных ярусов растительности (напр.: Freedman, Hutchinson, 1980; Воробейчик, Хантемирова, 1994; Трубина, Махнев, 1997; Salemaa et al., 2001; Kozlov et al., 2009), а описание изменений надземной биомассы и продуктивности всего растительного сообщества в градиентах промышленного загрязнения содержится лишь в немногих публикациях (Степанов и др., 1992; Черненькова, 2002). Недостаток такого рода информации – одна из наиболее важных причин, затрудняющих построение общей картины трансформации биоты под действием промышленного загрязнения (Zvereva, Kozlov, 2012).

8.1. Елово-пихтовые насаждения в градиенте загрязнений от СУМЗ

Рассмотрим закономерности изменения фитомассы и ЧПП нижнего яруса (табл. 8.1), куда вошли подрост, подлесок и живой напочвенный покров (ЖНП), которые определены в том же градиенте загрязнений, что и соответствующие показатели основного яруса (см. табл. 6.3 и 7.3). По каждой из зон загрязнений выделены средние значения фитомассы и ЧПП.

Данные табл. 8.1 свидетельствуют о наличии связи фитомассы и ЧПП с расстоянием от СУМЗ как основного, так и нижнего ярусов, но характер ее противоположный: положительный в первом случае и отрицательный – во втором. Данные фитомассы и ЧПП нижнего яруса (табл. 8.1) аппроксимированы с применением вышеупомянутой функции Г. Бакмана, скорректированной введением дополнительной переменной в 3-й степени, и получены уравнения:

$$\ln P_u = 1,675 - 0,417 (\ln L)^2 + 0,0998 (\ln L)^3; \quad R^2 = 0,383, \quad SE = 0,42; \quad (8.1)$$

$$\ln Z_u = -0,0825 - 0,294 (\ln L)^2 + 0,0681 (\ln L)^3; \quad R^2 = 0,468, \quad SE = 0,27; \quad (8.2)$$

здесь и далее: P_u и Z_u – соответственно фитомасса и ЧПП нижнего яруса, т/га. Уравнения (8.1) и (8.2) статистически значимы (несмотря на низкие коэффициенты детерминации), поскольку значения $t_{\text{факт}}$ констант при переменных $(\ln L)^2$ и $(\ln L)^3$ составили от 2,4 до 2,9, т.е. в обоих случаях больше $t_{05} = 2,0$. Уравнения (8.1) и (8.2) действительны только в пределах диапазона исходных данных в градиенте загрязнений от СУМЗ. Графическая интерпре-

Таблица 8.1

**Фактические значения надземной фитомассы и ЧПП основного
и нижнего яруса елово-пихтовых насаждений в градиенте загрязнений от СУМЗ**

Зона*	Фитомасса, т/га						Годичная продукция, т/га					
	L, км	Древесный ярус	Нижний ярус				Древесный ярус	Нижний ярус				
			Подрост	Подлесок	ЖНП	Итого		Подрост	Подлесок	ЖНП	Итого	
1	1	10,1	1,12	0	0,329	1,45	0,45	0,161	0	0,323	0,484	
		11,8	2,05	0	0,471	2,52	0,49	0,266	0	0,458	0,724	
		108,5	1,58	0	0,478	2,06	4,95	0,118	0	0,456	0,574	
	1	50,7	3,71	0,651	0,260	4,62	3,11	0,273	0,038	0,029	0,340	
		67,6	1,19	0,250	0,154	1,59	3,07	0,084	0,016	0,058	0,158	
		88,4	3,63	0,026	0,113	3,77	3,85	0,303	0,003	0,017	0,323	
	1,5	140,3	2,59	0,017	0,115	2,72	5,39	0,150	0,007	0,025	0,182	
		108,9	8,62	0,032	0,173	8,82	4,02	0,576	0,006	0,053	0,637	
		134,7	2,01	3,463	0,221	5,69	5,33	0,252	1,442	0,056	1,758	
	4	221,3	4,54	0,884	0,136	5,57	8,72	0,219	0,045	0,129	0,500	
		159,6	2,81	0,218	0,286	3,32	7,03	0,174	0,047	0,241	0,464	
		179,2	1,93	1,299	0,121	3,35	6,69	0,102	0,125	0,116	0,460	
Среднее	106,8	2,98	0,570	0,238	3,79	4,43	0,223	0,144	0,163	0,550		
2	6	194,3	4,67	0,001	0,037	4,71	8,75	0,212	0,001	0,018	0,232	
		197,9	3,27	0,151	0,090	3,51	8,85	0,149	0,027	0,025	0,202	
		256,7	3,33	0,052	0,010	3,40	11,0	0,149	0,011	0,007	0,166	
	7	211,3	0,74	0,466	0,206	1,41	9,05	0,039	0,099	0,181	0,319	
		207,7	3,44	0,61	0,431	4,48	8,37	0,156	0,222	0,355	0,733	
		267,6	0,76	0,544	0,073	1,38	12,8	0,033	0,147	0,060	0,240	
	10	198,4	1,05	0,046	0,219	1,32	9,57	0,058	0,016	0,200	0,274	
		157,2	1,10	0,045	0,380	1,53	8,02	0,082	0,028	0,336	0,446	
		162,6	2,28	0,073	0,253	2,60	8,00	0,132	0,033	0,236	0,370	
Среднее	206,0	2,29	0,221	0,189	2,70	9,38	0,112	0,065	0,158	0,331		
3	20	188,1	1,89	0,099	0,245	2,23	6,19	0,103	0,017	0,226	0,346	
		139,6	1,71	0,74	0,406	2,86	5,46	0,088	0,099	0,295	0,482	
		204,7	3,07	0,213	0,269	3,56	7,48	0,161	0,037	0,23	0,428	
	30	203,3	2,52	0,851	0,310	3,68	6,55	0,142	0,146	0,263	0,551	
		148,3	1,55	1,206	0,232	2,98	5,06	0,083	0,188	0,21	0,481	
		231,7	0,05	1,012	0,301	1,36	7,59	0,016	0,188	0,204	0,407	
	34	171,4	0,95	0,322	0,279	1,55	6,03	0,055	0,109	0,249	0,413	
		225,3	1,69	1,762	0,273	3,72	7,62	0,081	0,284	0,233	0,598	
		155,2	0,03	0,822	0,348	1,2	5,22	0,001	0,149	0,318	0,469	
Среднее	185,3	1,50	0,781	0,296	2,57	6,36	0,081	0,135	0,248	0,464		
Общее среднее	176,7	2,56	0,581	0,265	3,40	7,16	0,161	0,129	0,206	0,504		

* Здесь и далее: 1, 2 и 3 – зоны загрязнений, соответственно импактная, буферная и фоновая.

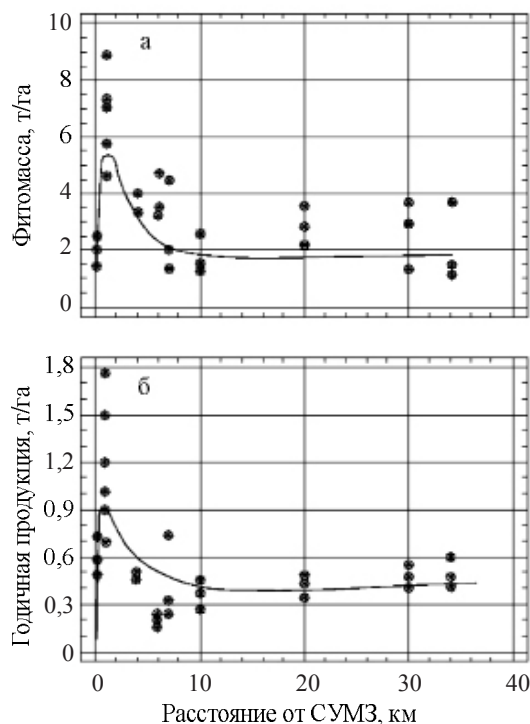


Рис. 8.1. Связь надземной фитомассы (а) и надземной ЧПП (б) нижнего яруса елово-пихтового древостоя с расстоянием от СУМЗ по уравнениям (8.1) и (8.2) и их соотношение с исходными данными

тация уравнений (8.1) и (8.2) на фоне полей распределения исходных данных представлена на рис. 8.1.

Таким образом, характер изменения продуктивности нижнего яруса принципиально отличается от закономерности, установленной для основного яруса: если фитомасса и ЧПП древесного яруса увеличивается по мере удаления от завода, то названные показатели нижнего яруса, напротив, снижаются. После резкого увеличения продуктивности на первых километрах удаления происходит не стагнация, а постепенное ее снижение. Возможно, это связано с тем, что по мере приближения к источнику загрязнений происходит выпадение пораженных деревьев и на освобождающейся площади происходит замена древесного яруса кустарничками и травяным покровом. Но при дальнейшем приближении к СУМЗ деградируют как основной, так и нижний ярус. По мере удаления от СУМЗ, кроме изменения уровня загрязнений, на продуктивность нижнего яруса влияет изменение морфоструктуры и продуктивности основного елово-пихтового яруса в градиенте, который конкурентно «изгоняет» нижний ярус из структуры насаждения.

При этом наблюдается некоторое перераспределение участия основных компонентов нижнего яруса – подроста, подлеска и ЖНП – в общей массе и ЧПП нижнего яруса. Наиболее отчетливо возрастание доли ЖНП в нижнем ярусе по мере удаления от СУМЗ (табл. 8.2).

Таблица 8.2
Изменение соотношения долевого участия подроста, подлеска и ЖНП в общей массе и ЧПП нижнего яруса елово-пихтовых насаждений в разных зонах загрязнений от СУМЗ, %

Зона	Фитомасса, %				Годичная продукция, %			
	Подрост	Подлесок	ЖНП	Итого	Подрост	Подлесок	ЖНП	Итого
1	79	15	6	100	41	26	30	100
2	85	8	7	100	34	20	48	100
3	58	30	12	100	17	29	53	100

8.2. Сосновые насаждения в градиенте загрязнений от КМК

Фитомасса и ЧПП нижнего яруса сосновых насаждений вблизи КМК определены в том же градиенте загрязнений, что и соответствующие показатели основного яруса (см. разд. 6.3 и 7.2). Результаты определений (табл. 8.3) показывают наличие связи фитомассы и ЧПП с расстоянием от КМК как основного, так и нижнего ярусов.

По мере удаления от КМК наблюдается резкое увеличение фитомассы и ЧПП в диапазоне расстояний от 4–5 до 10–12 с последующей стабилизацией. Эту закономерность можно описать той же функцией, что и для соответствующих трендов по основному ярусу (6.5) и (7.3). В результате расчета по фактическим данным табл. 8.3 получены уравнения:

$$Pu = 1,329 - 21,777 (1/L)^2; \quad R^2 = 0,832, \quad SE = 0,224; \quad (8.3)$$

$$Zu = 0,661 - 9,917 (1/L)^2; \quad R^2 = 0,908, \quad SE = 0,072. \quad (8.4)$$

Уравнения (8.3) и (8.4) статистически значимы, поскольку значение $t_{\text{факт}}$ константы при переменной $(1/L)^2$ составило в первом случае 4,5

Таблица 8.3

Фактические значения надземной фитомассы и ЧПП основного и нижнего ярусов сосновых насаждений в градиенте загрязнений от КМК

Зона	Фитомасса, т/га						Годичная продукция, т/га				
	L, км	Древесный ярус	Нижний ярус				Древесный ярус	Нижний ярус			
			Подрост	Подлесок	ЖНП	Итого		Подрост	Подлесок	ЖНП	Итого
1	4,2	112,9	0,002	0,007	0,111	0,12	1,73	0,0002	0,0008	0,111	0,112
	5,5	179,6	0,016	0,002	0,310	0,33	2,10	0,0018	0,0002	0,310	0,312
Среднее		146,2	0,009	0,0045	0,210	0,224	1,92	0,0010	0,0005	0,210	0,212
2	6,6	147,4	0,180	0,553	0,349	1,08	2,63	0,0187	0,0503	0,349	0,418
	8,3	217,0	0,195	0,577	0,433	1,21	1,98	0,0177	0,0523	0,433	0,503
	13,8	221,0	0,370	0,020	0,693	1,08	4,75	0,0307	0,0023	0,693	0,726
Среднее		195,1	0,248	0,383	0,492	1,12	3,12	0,0224	0,0350	0,492	0,549
3	32	252,4	0,193	0,542	0,515	1,25	4,86	0,0149	0,0431	0,515	0,573
Общее среднее		188,4	0,159	0,283	0,402	0,845	3,01	0,0140	0,0248	0,402	0,441

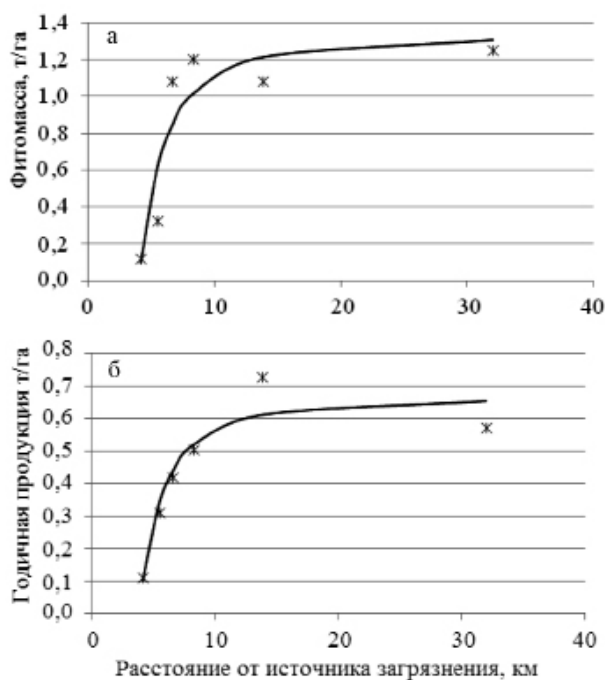


Рис. 8.2. Связь надземной фитомассы (а) и ЧПП (б) нижнего яруса сосновых насаждений с расстоянием от КМК по уравнениям (8.3) и (8.4)

и во втором 6,3, т.е. в обоих случаях больше $t_{05} = 2,0$. Графическая интерпретация уравнений (8.3) и (8.4) дана на рис. 8.2.

Установлено, что в отличие от градиента загрязнений еловых-пихтовых насаждений вблизи СУМЗ, где траектории изменения основного и нижнего яруса различались между собой, в сосновых насаждениях по мере удаления от КМК и пере-

хода от импактной зоны загрязнений к фоновой происходит увеличение фитомассы и ЧПП не только древесного, но и основных компонентов нижнего яруса – подроста, подлеска и ЖНП. При этом наблюдается перераспределение их участия в общей массе и ЧПП: возрастание доли подроста и подлеска и снижение доли ЖНП в совокупном нижнем ярусе (табл. 8.4).

Таблица 8.4

Изменение соотношения долевого участия подроста, подлеска и ЖНП в общей массе и ЧПП нижнего яруса сосновых насаждений в разных зонах загрязнений от КМК, %

Зона	Фитомасса, %				Годичная продукция, %			
	Подрост	Подлесок	ЖНП	Итого	Подрост	Подлесок	ЖНП	Итого
1	4	2	94	100	0,5	0,2	99,3	100
2	22	34	44	100	4	6	90	100
3	16	43	41	100	3	7	90	100

8.3. Березовые насаждения в градиенте загрязнений от КМК

Определения фитомассы и ЧПП нижнего яруса березовых насаждений выполнены в том же градиенте загрязнений, что и соответствующие показатели основного яруса (см. табл. 6.18 и 7.14). По мере удаления от КМК и перехода от импактной зоны загрязнений к фоновой происходит увеличение фитомассы и ЧПП не только древесного, но и основных компонентов нижнего яруса – подроста, подлеска и ЖНП (табл. 8.5). Характер изменения фракционного состава названных показателей по мере удаления от КМК следующий: резкое увеличение фитомассы и ЧПП в диапазоне расстояний от 4–5 до 10–12 с последующей стабилизацией.

Закономерность резкого возрастания биопродукционных показателей нижнего яруса с последующей стабилизацией можно описать той же функцией, что и для соответствующих трендов основного яруса. В результате расчета по фактическим данным табл. 8.3 получены уравнения:

$$Pu = 1,214 - 14,605 (1/L)^2; \quad R^2 = 0,700, \quad SE = 0,28; \quad (8.5)$$

$$Zu = 0,695 - 9,497 (1/L)^2; \quad R^2 = 0,742, \quad SE = 0,16. \quad (8.6)$$

Уравнения (8.5) и (8.6) статистически значимы, поскольку значение $t_{\text{факт}}$ для константы при переменной $(1/L)^2$ составило в первом случае 8,1 и во втором 9,0, т.е. в обоих случаях больше $t_{05} = 2,0$. Графическая интерпретация уравнений (8.5) и (8.6) представлена на рис. 8.3.

При этом происходит изменение структуры фитомассы и ЧПП нижнего яруса: с удалением от завода снижается доля подроста и подлеска и возрастает доля ЖНП (табл. 8.6).

Можно было бы предположить, что от выбросов сернистых соединений КМК в первую очередь поражается ЖНП, а подрост и подлесок лучше противостоят их воздействию. Однако в сосновых насаждениях, как отмечено выше, происходит прямо противоположное, т.е. увеличение доли подроста и подлеска и снижение – ЖНП.

Рис. 8.3. Связь надземной фитомассы (а) и ЧПП (б) нижнего яруса березовых насаждений с расстоянием от КМК по уравнениям (8.5) и (8.6)

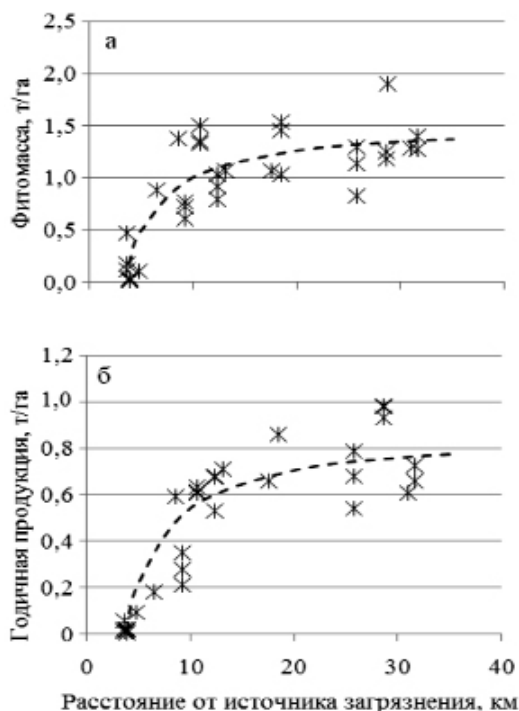


Таблица 8.5

**Фактические значения надземной фитомассы и ЧПП основного
и нижнего ярусов березовых насаждений в градиенте загрязнений от КМК**

Зона	Фитомасса, т/га						Годичная продукция, т/га				
	L, км	Древесный ярус	Нижний ярус				Древесный ярус	Нижний ярус			
			Подрост	Подлесок	ЖНП	Итого		Подрост	Подлесок	ЖНП	Итого
Импактная	3,5	79,7	0,02	0,44	0,021	0,481	2,34	0,002	0,049	0,008	0,059
	3,5	102,1	0,08	0,03	0,009	0,119	3,09	0,009	0,003	0	0,012
	3,5	121,7	0,17	0	0,008	0,178	3,76	0,019	0	0,004	0,023
	3,8	128,0	0,016	0,002	0,020	0,038	3,43	0,002	0,0002	0,018	0,02
	3,8	101,9	0,011	0,008	0,017	0,036	2,96	0,0020	0,0009	0,0118	0,0147
	3,8	96,0	0,002	0,007	0,023	0,032	2,83	0,0002	0,0008	0,014	0,015
	3,8	111,5	0,009	0,001	0,007	0,017	3,34	0,0009	0,0001	0,006	0,007
	4,7	87,7	0,016	0,002	0,091	0,109	3,09	0,002	0,0002	0,091	0,093
Среднее	103,6	0,041	0,061	0,025	0,126	3,11	0,0046	0,0068	0,019	0,0304	
Буферная	6,4	114,8	0,195	0,577	0,113	0,885	4,46	0,018	0,052	0,113	0,183
	8,5	126,1	0,436	0,425	0,514	1,375	4,31	0,039	0,039	0,514	0,592
	9,2	135,1	0,065	0,334	0,322	0,721	4,43	0,005	0,026	0,322	0,353
	9,2	151,8	0,134	0,221	0,255	0,610	5,08	0,010	0,017	0,255	0,282
	9,2	161,3	0,005	0,604	0,168	0,777	5,45	0	0,047	0,168	0,215
	10,6	214,3	0,195	0,577	0,566	1,338	6,82	0,018	0,052	0,538	0,608
	10,6	197,2	0,436	0,425	0,650	1,511	5,99	0,039	0,039	0,536	0,614
	10,6	216,9	0,373	0,380	0,599	1,352	7,07	0,034	0,034	0,569	0,637
	12,3	188,8	0,182	0,068	0,670	0,920	6,22	0,015	0,006	0,662	0,683
	12,3	123,6	0,027	0,363	0,651	1,041	4,29	0,002	0,031	0,642	0,675
	12,3	161,1	0,082	0,198	0,517	0,797	5,45	0,007	0,016	0,509	0,532
	13,1	163,2	0,370	0,02	0,678	1,068	4,72	0,031	0,002	0,678	0,711
	Среднее	162,9	0,208	0,349	0,475	1,033	5,36	0,0182	0,0301	0,459	0,5073
Фоновая	17,5	168,0	0,021	0,440	0,613	1,074	4,91	0,018	0,031	0,613	0,662
	18,5	247,2	0,051	0,119	0,863	1,033	8,27	0,004	0,008	0,848	0,86
	18,5	219,1	0	0,460	1,074	1,534	7,29	0	0,033	1,068	1,101
	18,5	261,3	0,370	0,020	1,074	1,464	8,65	0,027	0,001	1,046	1,074
	25,8	214,4	0	0,148	0,677	0,825	7,61	0	0,011	0,672	0,683
	25,8	232,0	0,089	0,541	0,511	1,141	8,09	0,007	0,041	0,496	0,544
	25,8	229,6	0	0,546	0,749	1,295	8,01	0	0,042	0,748	0,79
	28,7	231,7	0,153	0,140	0,955	1,248	7,68	0,011	0,011	0,955	0,977
	28,7	250,9	0,632	0,366	0,908	1,906	8,36	0,049	0,028	0,908	0,985
	28,7	150,3	0,173	0,101	0,916	1,190	5,13	0,013	0,008	0,913	0,934
	31,0	149,1	0,193	0,542	0,553	1,288	5,45	0,015	0,043	0,553	0,611
	31,7	238,6	0,181	0,548	0,675	1,404	8,44	0,014	0,042	0,672	0,728
	31,7	261,4	0,405	0,249	0,627	1,281	8,99	0,031	0,019	0,609	0,659
	31,7	288,6	1,340	0,271	0,616	2,227	10,2	0,103	0,021	0,599	0,723
Среднее	224,4	0,300	0,321	0,772	1,351	13,4	0,021	0,024	0,764	0,809	
Общее среднее	188,8	0,211	0,301	0,546	1,058	6,59	0,018	0,025	0,534	0,577	

Таблица 8.6

Изменение соотношения долевого участия подростка, подростка и ЖНП в общей массе и ЧПП нижнего яруса березовых насаждений в разных зонах загрязнений от КМК, %

Зона	Фитомасса, %				Годичная продукция, %			
	Подрост	Подросток	ЖНП	Итого	Подрост	Подросток	ЖНП	Итого
Импактная	32	48	20	100	15	22	63	100
Буферная	20	34	46	100	4	6	90	100
Фоновая	19	24	57	100	3	3	94	100

Возможно, это связано с различиями в видовом составе подчиненных ярусов сосняков и березняков. Впрочем, такая разнонаправленная динамика требует дополнительных исследований, особенно если учесть, что сосняки и березняки находятся в одном градиенте загрязнений в непосредственной близости друг от друга и отнесены к одному, разнотравно-злаковому типу.

Глава 9. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ И ЧПП ДРЕВОСТОЕВ В ГРАДИЕНТАХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ: ЗАВИСИМОСТИ «ДОЗА–ЭФФЕКТ»

Традиционное зонирование территории с выделением зон деградации (техногенной пустыни, импактной, буферной, фоновой зон), как это было выполнено, например, для Кольского полуострова В.В. Крючковым (1991) и в главах 4–8 нашего исследования, когда доза техногенной нагрузки подменяется расстоянием до источника загрязнений, позволяет получить лишь общее представление о трансформации экосистем. Для оценки устойчивости экосистем, прогнозирования их реакции на поллютанты, нахождения предельно допустимых нагрузок необходимо построение зависимостей «доза–эффект», аналогичных применяемым в классической токсикологии (Степанов, 1988; Арманд и др., 1991; Воробейчик, Хантемирова, 1994, Воробейчик, 2004б; Воробейчик и др., 1994).

Многолетнее аэрогенное поступление токсичных веществ (в данном случае только тяжелых металлов) от точечного источника промышленных выбросов, формирующее крупную геохимическую аномалию, рассматривается в качестве стрессового фактора. Степень проявления аномалии экспоненциально убывает с удалением от источника эмиссии поллютантов и, соответственно, на экосистемы накладывается градиент нагрузки. Величину нагрузки в конкретной точке пространства можно достаточно точно измерить по степени выраженности аномалии, например, по превышению фоновых концентраций элементов-маркеров в природных депонирующих средах.

Устойчивость экосистемы оценивается на основе анализа траектории ее реакции на действие стрессового фактора. Базируясь на принципе пространственно-временных аналогий, пространственный градиент нагрузки от центра аномалии до ее периферии в первом приближении можно интерпретировать как увеличение нагрузки во времени в конкретной точке пространства. Необходимо зарегистрировать параметры состояния экосистем в градиенте загрязнений так, чтобы полученная зависимость «доза–эффект» была пригодна для корректной аппроксимации уравнениями регрессии и количественного анализа. Это может быть достигнуто при наличии большого количества экспериментальных точек, достаточно репрезентативно представляющих весь градиент нагрузки.

Установлено, что реакция экосистем на техногенную нагрузку имеет нелинейный характер, поскольку комбинированное действие тяжелых металлов и сернистого ангидрида делает картину трансформации лесных экосистем очень контрастной, экосистемы реагируют на постепенное повышение дозы загрязнений не соответствующим постепенным изменением параметров, а резким срывом в иное состояние (Воробейчик, Хантемирова, 1994; Воробейчик, 2004б; Воробейчик и др., 1994). В простейшем случае такие зависимости описываются логистической кривой как нисходящей составляющей петли гистерезиса.

9.1. Елово-пихтовые насаждения в градиенте загрязнений от СУМЗ

В нашем анализе зависимостей «доза-эффект» в елово-пихтовых насаждениях вблизи СУМЗ в качестве «эффекта» регистрируются показатели биологической продуктивности (фитомассы и ее годичного прироста) насаждений в градиенте загрязнений, полученные нами на пробных площадях и приведенные в табл. 6.3 и 7.3. В качестве показателя «дозы» принят индекс токсичности, характеризующий уровень загрязнения участка и представляющей собой среднее (по рассматриваемым поллютантам) превышение фонового уровня загрязнения. При расчете индекса можно использовать все тяжелые металлы (index1) или только некоторые. Во втором случае мы выбрали три наиболее «техногенных» металла (index2); к ним отнесены металлы, у которых на трех самых «грязных» участках наибольшие превышения над минимальным уровнем, а на трех самых дальних от источника выбросов участках – наименьшие превышения. В данном случае index2 рассчитан для концентраций подвижных форм (экстрагирование 5%-ной азотной кислотой) Cu, Pb и Fe в лесной подстилке (табл. 9.1) по следующей формуле:

$$\text{index2} = \frac{1}{k} \cdot \sum \frac{X_{ij}}{X_{i \min}}, \quad (9.1)$$

где k – количество элементов (в нашем случае три); X_{ij} – концентрация i -го элемента на j -ом участке; $X_{i \min}$ – минимальная концентрация i -го элемента по всем участкам.

Аппроксимация зависимостей «доза-эффект», аналогично тому, как это реализуется в классической токсикологии, выполнена с помощью логистической кривой как нисходящей составляющей петли гистерезиса. Зависимость продукционных показателей древостоев от индекса токсической нагрузки аппроксимировали логистическим уравнением следующего вида:

$$P_i = \frac{(A - a_0)}{1 + \exp(b_0 + b_1 \cdot \text{index2})} + a_0, \quad (9.2)$$

где P_i – фитомасса или ее годичная продукция (ЧПП) i -ой фракции (эффект), т/га; A – максимальный уровень P_i ; a_0 – минимальный уровень P_i ; b_0 и b_1 – коэффициенты. Константы уравнения кривой (9.2) найдены нелинейным оцениванием.

Характеристика уравнения (9.2) представлена в табл. 9.2, а графическая интерпретация – на рис. 9.1 и 9.2.

Видно, что переход экосистем из одного состояния (фоновое) в другое (импактное) происходит в интервале индекса токсичности от 20 до 40. Имеет место «разрыв» тренда в 20 усл. ед. в узкой 1,5-километровой полосе на удалении от 2,6 до 4,2 км от СУМЗ. Значительный разброс экспериментальных точек объясняется высокой естественной изменчивостью морфоструктуры древостоев.

С середины 2010-х годов после существенных реконструкций СУМЗ выбросы токсических веществ в атмосферу резко снизились. Однако это не означает, что елово-пихтовые экосистемы импактной зоны в ближайшее время

Таблица 9.1

**Содержание поллютантов в лесной подстилке в градиенте загрязнения
в районе СУМЗ**

L, км	Зона*	Вариант	Концентрации металлов, мкг/г						pH	index1	index2
			Cu	Pb	Cd	Zn	Fe	Ni			
1,7	3	1	3294,2	2843,1	44,1	1882,6	5134,2	20,0	4,5	34,6	58,0
		2	2645,5	2898,4	41,1	1653,3	4321,6	18,0	4,7	30,0	50,0
		3	3790,4	3465,5	31,0	1236,4	10711,1	18,9	4,4	39,9	71,9
1,9	3	1	5362,1	2589,3	26,7	1045,4	10271,8	9,1	4,0	46,0	85,6
		2	5968,9	2599,6	22,5	915,0	17322,0	8,7	4,0	52,2	98,9
		3	5260,2	3153,9	35,0	1373,7	9682,7	16,5	4,2	47,7	86,8
2,6	3	1	3761,1	2970,8	31,6	1374,3	5362,7	33,0	4,4	36,6	64,4
		2	3336,9	2485,9	32,9	1305,9	5538,6	17,4	4,3	32,6	57,0
		3	3007,1	2576,5	34,4	1586,2	3734,9	45,8	4,7	31,1	52,1
4,2	2	1	999,6	993,0	10,2	438,6	1911,7	24,3	4,5	11,0	18,6
		2	977,3	991,1	10,5	455,5	2172,9	18,6	4,2	10,9	18,5
		3	1085,6	1422,9	15,4	710,3	1828,9	28,0	4,5	13,3	21,8
5,6	2	1	509,2	863,3	13,1	645,0	793,8	9,0	4,5	7,4	11,2
		2	649,7	758,0	17,0	867,1	885,7	9,5	4,8	8,5	12,4
		3	985,5	836,4	15,9	638,5	1424,8	7,9	4,6	10,6	17,2
7,4	2	1	389,8	510,3	13,3	670,5	991,6	20,1	5,0	6,1	8,1
		2	332,8	461,7	11,1	623,8	753,6	21,1	5,2	5,4	7,0
		3	390,2	611,7	12,4	657,6	784,7	14,5	4,8	6,1	8,4
9,6	2	1	183,3	324,6	8,4	592,4	651,1	13,1	5,0	3,7	4,4
		2	184,4	337,9	6,7	369,0	753,1	16,0	4,8	3,5	4,6
		3	325,9	373,1	7,6	354,8	1202,2	23,2	4,6	4,8	6,8
19,9	1	1	28,9	65,7	2,8	273,1	728,3	13,7	5,6	1,4	1,3
		2	57,0	96,7	3,5	231,4	886,2	29,6	5,3	2,1	1,9
		3	31,1	65,7	3,1	305,3	630,2	16,9	5,6	1,5	1,2
29,3	1	1	30,0	64,6	2,5	211,3	539,6	17,3	5,3	1,3	1,2
		2	29,6	68,4	2,9	229,9	695,7	18,1	5,4	1,5	1,3
		3	31,4	81,0	2,3	163,5	835,8	14,2	4,8	1,4	1,5
32,9	1	1	36,1	76,1	3,1	215,6	624,8	18,6	4,9	1,5	1,4
		2	30,5	67,3	2,5	217,4	562,2	16,9	4,7	1,4	1,2
		3	28,2	76,0	2,9	254,9	387,0	16,6	4,7	1,4	1,1

*Обозначения зон: 1 – фоновая; 2 – буферная; 3 – импактная.

Таблица 9.2

Характеристика уравнения (9.2)

Зависимая переменная	Независимые переменные		A	a ₀	R ²
	b ₀	b ₁			
Фитомасса древостоя, т/га					
<i>Pst</i>	-1,349	0,038	182,8	34,5	0,748
<i>Pbr</i>	-1,383	0,047	28,6	13,0	0,750
<i>Pf</i>	-0,968	0,037	23,4	6,3	0,594
<i>Pa</i>	-3,236	0,100	221,3	40,0	0,752
Годичная продукция фитомассы, т/га					
<i>Zst</i>	-1,039	0,029	4,13	1,0	0,428
<i>Zbr</i>	-2,099	0,050	0,87	0,47	0,745
<i>Zf</i>	-1,536	0,039	4,24	0,65	0,591
<i>Za</i>	-0,807	0,032	12,79	0,85	0,230

восстановятся до фонового уровня. Такого восстановления не будет, прежде всего, вследствие накопленного потенциала токсичности почвы. На основе модельных имитаций установлено, что до полного естественного восстановления, даже после полного прекращения выбросов, потребуется очень длительное время – порядка нескольких тысяч лет (Арманд и др., 1987).

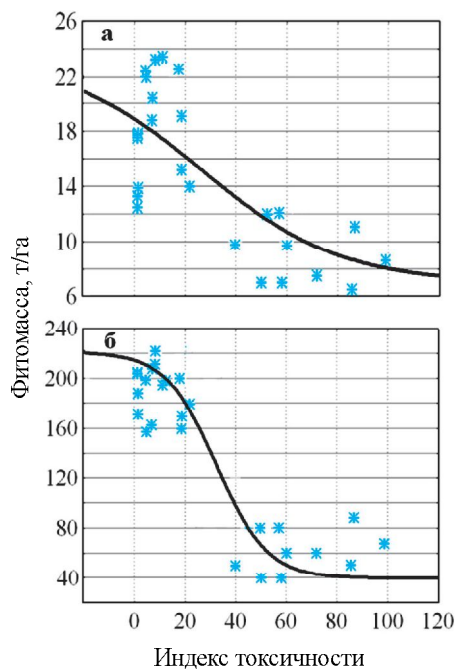


Рис. 9.1. Зависимости «доза-эффект» для фитомассы елово-пихтовых древостоев в градиенте загрязнений от СУМЗ. Здесь и далее: а – хвоя; б – надземная фитомасса

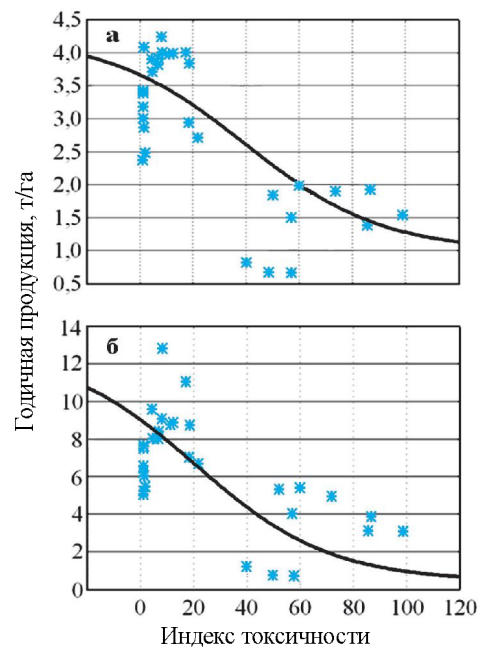


Рис. 9.2. Зависимость «доза-эффект» для надземной ЧПП елово-пихтовых древостоев в градиенте загрязнений от СУМЗ

Можно предположить, что при этом восстановление пойдет по восходящей линии гистерезиса как проявления нелинейности в среде с памятью, которая пройдет не по первоначальной, а по более низкой траектории (Ведюшкин, 1989). Аналогичное явление на экотоне «лес–степь», представленном сопряженными эдафическими фонами, было отмечено еще А.А. Завалишиным (1936). Критикуя «циклическую» гипотезу о взаимоотношении леса и степи, А.А. Завалишин писал, что при наступании леса на степь идет процесс деградации (оподзоливания) черноземов, но при обратном переходе – наступании степи на лес процесс регрессии почв идет по иной траектории, и чем сильнее оподзолена почва, тем меньше шансов на ее полное восстановление или, иными словами, процесс регрессии не может полностью стереть следы деградации.

9.2. Березовые насаждения в градиенте загрязнений от КМК

По аналогичной схеме были проанализированы зависимости «доза–эффект» в березовых насаждениях вблизи КМК. В качестве показателя «дозы» также принят индекс токсичности ($index_2$), рассчитанный для концентраций подвижных форм Cu, Pb и Fe в лесной подстилке (табл. 9.3) по формуле (9.1).

Характеристика уравнения (9.2) для березовых насаждений представлена в табл. 9.4, а графики полученных логистических зависимостей в исследуемом градиенте на рис. 9.3 и 9.4.

Как и для района СУМЗ, в районе КМК в дозовых зависимостях выделяются два состояния – фоновое (высокие значения продуктивности) и импактное (низкие значения). К сожалению, градиент нагрузки в нашем случае оказался «разорванным», так как отсутствуют точки в диапазоне значений индекса от 15 до 80 усл. ед. Этот достаточно большой «разрыв» индекса приходится на довольно узкую 4-километровую полосу, в интервале расстояний от КМК от 5 до 9 км (см. табл. 9.3), что накладывает существенные ограничения на возможность более детального анализа дозовых зависимостей. Кроме того, можно отметить значительный разброс экспериментальных точек, который объясняется высокой естественной изменчивостью морфоструктуры древостоев. Тем не менее, переход березовых насаждений из одного состояния в другое начинается при значениях индекса токсичности около 15–20 ед. при его максимальных значениях около 140, т.е. уже при умеренных уровнях загрязнения.

Таблица 9.3

Содержание поллютантов в лесной подстилке в градиенте загрязнения в районе КМК

L, км	Зона	Вариант	Концентрации металлов, мкг/г						pH	index1	index2
			Cu	Pb	Cd	Zn	Fe	Ni			
3,5	3	1	4335,1	2159,9	25,4	4075,6	5236,1	115,5	5,6	61,0	104,1
		2	3542,0	2003,0	23,3	3944,9	3971,9	114,5	5,7	51,6	86,2
		3	4106,7	1562,7	21,0	3347,9	5626,4	79,6	5,8	55,3	96,5
5,0	3	1	4457,3	2548,0	29,0	5397,4	15665,9	27,3	5,8	69,7	122,9
		2	4296,3	2036,6	26,1	5737,1	31054,2	38,2	5,8	77,0	137,3
		3	4395,9	2196,3	26,8	5717,9	29760,7	37,9	5,8	77,7	138,5
9,0	2	1	490,1	687,1	9,2	1620,3	782,9	20,4	6,6	10,2	14,8
		2	342,0	604,3	8,4	1396,1	688,2	18,6	6,6	8,2	11,3
		3	431,3	658,5	8,6	1508,6	832,3	18,4	6,5	9,4	13,6
10,8	2	1	247,4	412,4	5,8	1124,7	654,0	11,1	6,5	5,9	8,2
		2	158,7	330,8	5,1	961,5	415,4	7,5	6,3	4,4	5,7
		3	298,8	462,5	6,0	1177,6	796,2	10,2	6,4	6,7	9,7
11,9	2	1	101,9	254,1	4,3	709,1	570,4	19,5	6,6	3,7	4,3
		2	109,0	294,5	4,4	781,1	489,3	21,5	6,5	3,9	4,6
		3	102,8	277,7	4,2	701,9	549,7	19,7	6,6	3,7	4,5
18,4	2	1	83,0	179,3	2,8	525,8	570,3	7,2	6,3	2,6	3,5
		2	96,7	163,7	2,8	490,6	573,2	7,8	6,5	2,7	3,7
		3	89,4	175,8	2,9	513,7	449,0	7,1	6,3	2,6	3,4
25,5	1	1	23,6	73,2	1,6	284,4	427,4	19,0	6,8	1,6	1,5
		2	25,1	73,8	1,7	309,1	505,4	21,9	6,8	1,8	1,6
		3	25,1	80,2	1,6	293,4	354,8	20,0	6,7	1,6	1,5
26,6	1	1	19,1	56,7	1,5	244,3	347,8	16,9	6,6	1,4	1,2
		2	19,5	55,1	1,2	254,4	291,0	17,5	6,5	1,3	1,1
		3	17,3	53,1	1,5	283,3	248,3	13,6	6,7	1,2	1,0
32,0	1	1	36,8	74,0	1,8	268,6	685,4	13,4	6,3	1,8	2,1
		2	38,1	73,7	1,7	271,0	488,0	12,2	6,4	1,6	1,9
		3	37,3	68,3	1,7	256,7	725,1	13,4	6,4	1,8	2,1

Таблица 9.4

Характеристика уравнений (6.7)

Зависимая переменная	Независимые переменные		A	a ₀	R ²
	b ₀	b ₁			
Масса листвы, т/га	-1,411	0,3230	4,74	1,32	0,891
Надземная фитомасса, т/га	-1,620	0,0334	261,4	79,7	0,895
Годичная продукция (ЧПП), т/га	-1,8086	0,3680	8,99	2,34	0,943

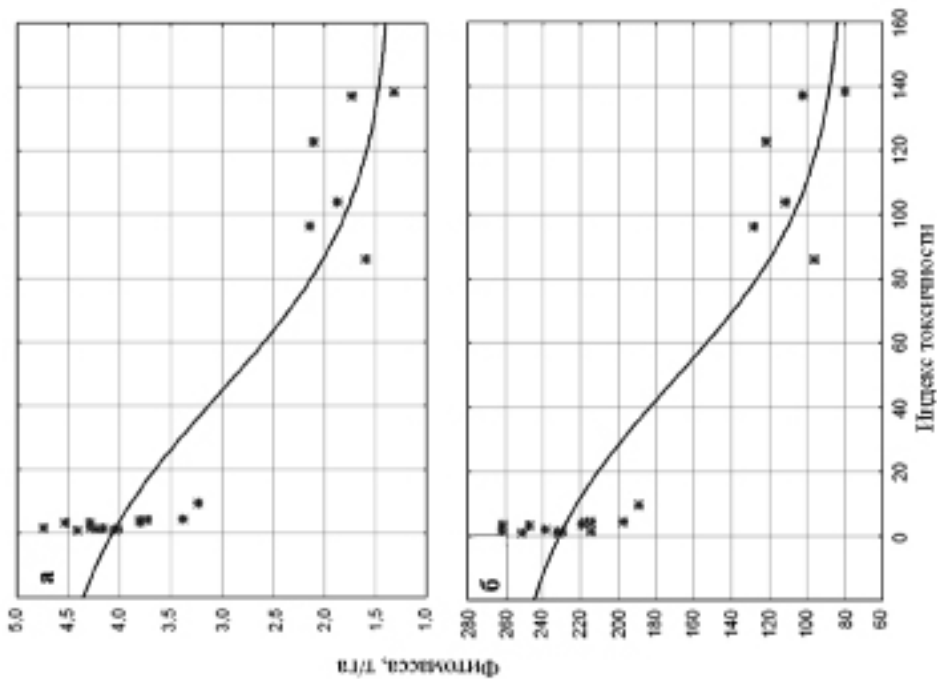


Рис. 9.3. Зависимость «доза-эффект» для фитомассы березовых древостоев в градиенте загрязнений от КМК: а – листья, б – надземная фитомасса

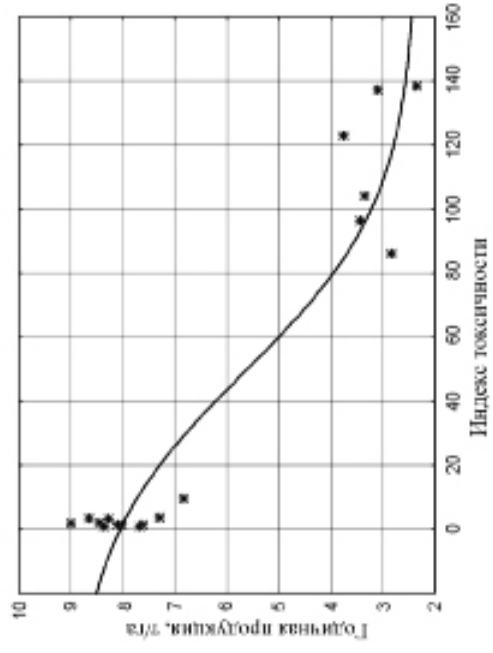


Рис. 9.4. Зависимость «доза-эффект» для надземной ЧПП березовых древостоев в градиенте загрязнений от КМК

Глава 10. ПЛОТНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ СУХОГО ВЕЩЕСТВА В ФИТОМАССЕ ДЕРЕВЬЕВ В ГРАДИЕНТАХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

10.1. Регрессионные модели и таблицы для оценки квалитетических показателей фитомассы деревьев ели и пихты в градиенте загрязнений от СУМЗ

Исследованы «ресурсоведческие» качественные (квалитетические) характеристики фитомассы ели и пихты в насаждениях, примыкающих к СУМЗ, с учетом расстояния от источника промвыбросов L . Фитомасса стволов модельных деревьев определяется в два этапа: вначале по значениям объема коры и древесины и их плотности определяется масса в свежем состоянии, а затем последняя по значениям содержания сухого вещества (ССВ) пересчитывается на абсолютно сухое состояние. Таким образом, для фитомассы стволов необходимы два квалитетических показателя – плотность и ССВ, которые проанализированы методом многофакторного регрессионного моделирования.

Наши объекты исследования характеризуются относительной однородностью морфоструктуры, т.е. небольшим диапазоном густоты и возраста, поэтому установленная расчетом структура уравнений для древесины и коры стволов включает сравнительно небольшое число независимых переменных:

$$S = a_0 + a_1D + a_2h + a_3L + a_4X, \quad (10.1)$$

где S – содержание сухого вещества (ССВ), %; D – диаметр ствола на высоте груди, см; h – относительная высота сечения ствола, в долях от общей высоты дерева; X – бинарная переменная, равная 1 и 0 соответственно для ели и пихты.

В процессе расчета уравнения (10.1) установлено, что бинарная переменная X статистически значима только для ССВ, а для плотности древесины и коры как ели, так и пихты, константа a_4 при переменной X значимо не отличается от нуля ($t_{\text{факт}}$ для $\rho_{\text{о}}$ древесины и коры составила соответственно 0,86 и 1,83, что меньше $t_{05} = 2$), и расчетная структура уравнения для плотности имеет вид:

$$\rho_{\text{о}} = a_0 + a_1D + a_2h + a_3L, \quad (10.2)$$

где $\rho_{\text{о}}$ – плотность каждой фракции в свежем состоянии, кг/м³. Характеристика уравнений, полученных по фактическим данным стволовых дисков приведена в табл. 10.1.

Все константы уравнений (10.1) и (10.2), приведенных в табл. 10.1, значимо отличаются от нуля на 5%-ном уровне. Уравнения протабулирова-

Таблица 10.1

Характеристика уравнений (10.1) и (10.2)

Зависимая переменная $\rho_{\text{дв}}$, кг/м ³	Константы и независимые переменные уравнений (10.1) и (10.2)					R^2	SE
	a_0	a_1D	a_2h	a_3L	a_4X		
– для древесины	763,7	–3,316	240,4	–1,131	–	0,496	67,1
– для коры	799,0	–2,789	125,6	1,376	–	0,205	77,0
Зависимая переменная S , %							
– для древесины	45,1	0,121	–12,13	0,0983	3,679	0,425	4,60
– для коры	48,0	–	–6,666	–	–1,915	0,265	3,15

ны по задаваемым значениям независимых переменных и получены соответствующие таблицы (табл. 10.2–10.3).

Таким образом, установлены зависимости изменения содержания сухого вещества в древесине деревьев ели и пихты сибирской от удаления от источника загрязнений. Если по показателю плотности как древесины, так и коры стволов, ель и пихта значимо не различаются, то по содержанию сухого вещества различия есть: по древесине названный показатель выше у ели, а по коре, наоборот, у пихты. Содержание сухого вещества в древесине повышается: у равновеликих деревьев по мере удаления от СУМЗ, а в пределах одной зоны загрязнения – по мере увеличения толщины ствола.

Содержание сухого вещества в древесине в диапазоне от 0,2 до 0,8 высоты дерева снижается у ели на 13–15% и у пихты на 15–17%, а в коре соответственно на 10 и на 9%.

Плотность древесины ели и пихты снижается по мере удаления от СУМЗ на 4–5%, тогда как плотность коры увеличивается на 4–5%. Вверх по стволу плотность, как древесины, так и коры увеличивается на 16–18% и 8–9% соответственно. С увеличением диаметра ствола с 8 до 40 см, плотность древесины и коры снижается на 14 и 10–11% соответственно.

Поскольку масса хвои и ветвей определяется непосредственным взвешиванием, для перевода их массы из свежего состояния в абсолютно сухое необходим лишь один квалитетический показатель – ССВ. Для его расчета принята следующая структура регрессионной модели:

$$S = a_0 + a_1D + a_2A + a_3L + a_4X, \quad (10.3)$$

где A – возраст дерева, лет.

Установлено, что расстояние от СУМЗ не оказывает влияния на содержание сухого вещества в ветвях и хвое ($t_{\text{факт}}$ равно соответственно 1,51 и 0,60, что меньше $t_{05} = 2$). Поэтому переменная L не включена в окончательный расчет констант уравнения (10.4):

$$S = a_0 + a_1D + a_2A + a_3X. \quad (10.4)$$

Характеристика уравнений, рассчитанных по фактическим данным пробных навесок, взятых в кроне, приведена в табл. 10.4.

Таблица 10.2

**Изменение содержания сухого вещества в древесине и коре ели и пихты
в градиенте загрязнений от СУМЗ (уравнение 10.1)**

L, км	h	Содержание сухого вещества (S,%) при диаметре ствола D, см					
		8	16	24	32	40	8-40
Ель							
		Древесина					Кора
1	0,2	47,5	48,4	49,4	50,4	51,3	44,8
	0,5	43,8	44,8	45,8	46,7	47,7	42,8
	0,8	40,2	41,1	42,1	43,1	44,0	40,8
7	0,2	48,0	49,0	50,0	50,9	51,9	44,8
	0,5	44,4	45,4	46,3	47,3	48,3	42,8
	0,8	40,8	41,7	42,7	43,7	44,6	40,8
30	0,2	50,3	51,3	52,2	53,2	54,2	44,8
	0,5	46,7	47,6	48,6	49,6	50,5	42,8
	0,8	43,0	44,0	45,0	45,9	46,9	40,8
Пихта							
		Древесина					Кора
1	0,2	43,8	44,7	45,7	46,7	47,6	46,7
	0,5	40,1	41,1	42,1	43,0	44,0	44,7
	0,8	36,5	37,5	38,4	39,4	40,4	42,7
7	0,2	44,4	45,3	46,3	47,3	48,2	46,7
	0,5	40,7	41,7	42,7	43,6	44,6	44,7
	0,8	37,1	38,1	39,0	40,0	41,0	42,7
30	0,2	46,6	47,6	48,6	49,5	50,5	46,7
	0,5	43,0	44,0	44,9	45,9	46,9	44,7
	0,8	39,4	40,3	41,3	42,3	43,2	42,7

Таблица 10.3

**Изменение плотности древесины и коры ели и пихты в градиенте загрязнений
от СУМЗ (уравнение 10.2)**

L, км	h	Плотность (ρ_{∞} , кг/м ³) при диаметре ствола D, см									
		8	16	24	32	40	8	16	24	32	40
		Древесина					Кора				
1	0,2	784	758	731	705	678	803	781	759	736	714
	0,5	856	830	803	777	750	841	819	796	774	752
	0,8	928	902	875	849	822	879	856	834	812	789
7	0,2	777	751	724	698	671	812	789	767	745	722
	0,5	850	823	796	770	743	849	827	805	782	760
	0,8	922	895	869	842	816	887	865	842	820	798
30	0,2	751	725	698	672	645	843	821	799	776	754
	0,5	824	797	770	744	717	881	859	836	814	792
	0,8	896	869	843	816	790	919	896	874	852	829

Таблица 10.4

Характеристика уравнений (10.4)

Зависимая переменная (S,%)	Константы и независимые переменные уравнения (10.4)				R ²	SE
	a ₀	a ₁ D	a ₂ A	a ₃ X		
– для ветвей	43,28	0,0945	0,0427	9,484	0,583	4,20
– для хвои	40,61	0,0650	0,0189	4,780	0,638	1,90

Все константы уравнений (10.4), приведенных в табл. 10.4, значимы на 5%-ном уровне. Рассчитанные уравнения протабулированы по задаваемым значениям независимых переменных и получена соответствующая таблица (табл. 10.5), согласно которой, у обеих пород содержание сухого вещества в ветвях существенно выше, чем в хвое, и величина этого превышения различается по породам. В ветвях названный показатель равновеликих деревьев выше у ели по сравнению с пихтой на 19–21%, а в хвое лишь на 11%.

Зарегистрировано некоторое повышение содержания сухого вещества в ветвях и хвое разновозрастных деревьев ели и пихты по мере увеличения толщины ствола и равновеликих деревьев – по мере увеличения возраста дерева. Поскольку уровень загрязнений в данном случае не оказывает на названный показатель существенного влияния, можно предполагать, что в основе выявленных закономерностей лежат физиологические процессы.

Для предварительных (ориентировочных) расчетов или в случаях, когда нет возможности для определения плотности и содержания сухого

Таблица 10.5

Изменение содержания сухого вещества в ветвях и хвое ели и пихты в градиенте загрязнений от СУМЗ (уравнение 10.4)

Древесная порода	Возраст, лет	Диаметр ствола, см								
		8	12	16	20	24	28	32	36	40
Ветви										
Ель	40	55,2	55,6	56,0	56,4	56,7	57,1	57,5	57,9	58,3
	100	57,8	58,2	58,5	58,9	59,3	59,7	60,1	60,4	60,8
	160	60,4	60,7	61,1	61,5	61,9	62,2	62,6	63,0	63,4
Пихта	40	45,7	46,1	46,5	46,9	47,3	47,6	48,0	48,4	48,8
	100	48,3	48,7	49,1	49,4	49,8	50,2	50,6	51,0	51,3
	160	50,9	51,2	51,6	52,0	52,4	52,8	53,1	53,5	53,9
Хвоя										
Ель	40	46,7	46,9	47,2	47,4	47,7	48,0	48,2	48,5	48,7
	100	47,8	48,1	48,3	48,6	48,8	49,1	49,4	49,6	49,9
	160	48,9	49,2	49,5	49,7	50,0	50,2	50,5	50,8	51,0
Пихта	40	41,9	42,1	42,4	42,7	42,9	43,2	43,4	43,7	44,0
	100	43,0	43,3	43,5	43,8	44,1	44,3	44,6	44,8	45,1
	160	44,2	44,4	44,7	44,9	45,2	45,5	45,7	46,0	46,2

Таблица 10.6

Средние значения содержания сухого вещества во фракциях надземной фитомассы (%) и плотности стволовой древесины и коры (кг/м³) и достоверность видовых различий показателя

Древесная порода	M	$\pm m$	$\pm \sigma$	n	$t_{\text{факт}}$	$t_{\text{таб}}$	Значимость различий
Содержание сухого вещества по фракциям							
Ствол							
Ель	46,2	0,84	7,72	85	3,63	3,07	Есть
Пихта	42,7	0,48	4,45	87			
Кора							
Ель	43,9	0,51	4,69	85	0,76	3,07	Нет
Пихта	44,4	0,41	3,87	87			
Ветви							
Ель	58,0	0,70	6,38	83	10,9	3,08	Есть
Пихта	49,0	0,43	3,86	80			
Хвоя							
Ель	48,0	0,32	2,96	83	10,5	3,08	Есть
Пихта	44,0	0,19	1,74	80			
Плотность древесины и коры стволов							
Древесина ствола							
Ель	803	10,7	98,6	85	0,11	3,07	Нет
Пихта	805	9,7	91,0	87			
Кора ствола							
Ель	871	22,4	206,3	85	0,86	3,07	Нет
Пихта	847	16,9	157,2	87			

Пр и м е ч а н и я . Здесь и далее: M – среднее значение показателя; m – ошибка; σ – среднеквадратическое отклонений; n – число наблюдений; $t_{\text{факт}}$ и $t_{\text{таб}}$ – критерии Стьюдента, соответственно фактическое и табличное значения.

вещества в фракциях фитомассы термовесовым методом при ее оценке на пробных площадях в древостоях ели и пихты, необходимы средние значения названных показателей. Результаты их расчета и оценки значимости различий между средними арифметическими значениями ели и пихты приведены в табл. 10.6.

Таким образом, показатели ССВ и плотности коры, а также плотности древесины ствола в свежем состоянии, можно использовать как значения, общие для ели и пихты, а по остальным квалиметрическим показателям существуют значимые видовые различия.

**10.2. Регрессионные модели и таблицы
для оценки кваллиметрических показателей фитомассы деревьев сосны
в градиенте загрязнений от КМК**

Для моделирования показателей ρ_w и S сосны использована структура уравнения (10.2), характеристика которого приведена в табл. 10.7.

Все константы уравнений, приведенных в табл. 10.7, значимы на 5%-ном уровне. Уравнения протабулированы по задаваемым значениям независимых переменных и получены соответствующие таблицы (табл. 10.8–10.9).

Образцы (навески) ветвей и хвои модельных деревьев брали из трех секций кроны, на которые она была разделена вдоль по стволу. Поэтому в структуру регрессионной модели для S кроме D и L включена третья независимая переменная U , представленная порядковым номером секции кро-

Таблица 10.7

Характеристика уравнений (10.2) для показателей S и ρ_w сосны

Зависимая переменная S , %	Константы и независимые переменные уравнений				R^2	SE
	a_0	$a_1 D$	$a_2 h$	$a_3 L$		
– для древесины	69,89	–0,246	–22,41	–0,0669	0,813	2,85
– для коры	40,03	0,192	15,50	0,308	0,560	4,53
Зависимая переменная ρ_w , кг/м ³						
– для древесины	642,5	2,527	192,0	–1,527	0,416	63,1
– для коры	652,9	–4,009	619,7	–4,288	0,528	152,5

Таблица 10.8

**Изменение содержания сухого вещества в древесине и коре сосны
в градиенте загрязнений от КМК**

L , км	h	Содержание сухого вещества S (%) при диаметре дерева D , см									
		8	16	24	32	40	8	16	24	32	40
		Древесина					Кора				
5	0,2	63,1	61,1	59,2	57,2	55,2	43,1	44,7	46,2	47,7	49,3
	0,5	56,4	54,4	52,4	50,5	48,5	47,8	49,3	50,8	52,4	53,9
	0,8	49,7	47,7	45,7	43,8	41,8	52,4	54,0	55,5	57,0	58,6
10	0,2	62,8	60,8	58,8	56,9	54,9	41,6	43,1	44,7	46,2	47,7
	0,5	56,0	54,1	52,1	50,1	48,2	46,2	47,8	49,3	50,8	52,4
	0,8	49,3	47,4	45,4	43,4	41,4	50,9	52,4	54,0	55,5	57,0
30	0,2	61,4	59,5	57,5	55,5	53,6	35,4	37,0	38,5	40,0	41,6
	0,5	54,7	52,7	50,8	48,8	46,8	40,1	41,6	43,2	44,7	46,2
	0,8	48,0	46,0	44,0	42,1	40,1	44,7	46,3	47,8	49,3	50,9

Таблица 10.9

Изменение плотности древесины и коры сосны в градиенте загрязнений от КМК

L, км	h	Плотность ρ_w (кг/м ³) при диаметре дерева D, см									
		8	16	24	32	40	8	16	24	32	40
		Древесина					Кора				
5	0,2	438	436	434	431	428	312	309	305	299	293
	0,5	423	420	415	410	404	434	433	430	426	421
	0,8	402	395	388	380	372	574	574	572	570	566
10	0,2	431	429	427	424	421	292	289	285	280	274
	0,5	417	413	408	403	397	410	409	406	402	398
	0,8	395	389	382	374	366	546	546	545	542	539
30	0,2	403	402	400	398	394	218	216	213	208	203
	0,5	390	387	382	378	372	321	320	318	315	311
	0,8	370	364	357	350	341	442	442	442	440	437

Таблица 10.10

Характеристика уравнений (10.5) для ССВ в ветвях и хвое сосны

Зависимая переменная S, %	Константы и независимые переменные уравнений				R ²	SE
	a ₀	a ₁ D	a ₂ L	a ₃ U		
– для ветвей	48,46	-0,0937	-0,119	1,109	0,538	1,46
– для хвои	46,48	0,103	-0,109	–	0,339	1,65

Таблица 10.11

Изменение содержания сухого вещества в ветвях и хвое сосны в градиенте загрязнений от КМК

L, км	U	Содержание сухого вещества S (%) при диаметре D, см									
		8	12	16	20	24	28	32	36	40	
Ветви											
5	1	48,2	47,9	47,5	47,1	46,7	46,4	46,0	45,6	45,2	
	2	49,3	49,0	48,6	48,2	47,8	47,5	47,1	46,7	46,3	
	3	50,4	50,1	49,7	49,3	48,9	48,6	48,2	47,8	47,4	
10	1	47,6	47,3	46,9	46,5	46,1	45,8	45,4	45,0	44,6	
	2	49,9	48,4	48,0	47,6	47,2	46,9	46,5	46,1	45,7	
	3	51,0	49,5	49,1	48,7	48,4	48,0	47,6	47,2	46,9	
30	1	45,3	44,9	44,5	44,1	43,8	43,4	43,0	42,6	42,3	
	2	49,9	46,0	45,6	45,2	44,9	44,5	44,1	43,8	43,4	
	3	51,0	47,1	46,7	46,4	46,0	45,6	45,2	44,9	44,5	
Хвоя											
5	–	46,8	47,2	47,6	48,0	48,4	48,8	49,2	49,6	50,1	
10	–	46,2	46,6	47,0	47,5	47,9	48,3	48,7	49,1	49,5	
30	–	44,0	44,5	44,9	45,3	45,7	46,1	46,5	46,9	47,4	

Таблица 10.12

Средние значения содержания сухого вещества во фракциях надземной фитомассы (%) и плотности стволовой древесины и коры (кг/м³) сосны

<i>M</i>	$\pm m$	$\pm \sigma$	<i>n</i>
Содержание сухого вещества			
Ствол			
52,5	0,605	6,63	120
Кора			
54,1	0,705	7,72	120
Ветви			
47,0	0,233	2,31	98
Хвоя			
47,6	0,288	2,85	98
Плотность древесины и ствола			
Древесина ствола			
762	9,08	99,4	120
Кора ствола			
846	23,9	262	120

ны в направлении от ее вершины к основанию. Принятая структура модели имеет вид:

$$S = a_0 + a_1 D + a_2 L + a_3 U, \quad (10.5)$$

а ее характеристика представлена в табл. 10.10. Для ССВ хвои переменная U оказалась статистически незначимой ($t_{\text{факт}} = 0,4 < t_{05} = 2,0$). Незначим также возраст дерева: для ветвей ($t_{\text{факт}} = 1,4 < t_{05} = 2,0$) и для хвои ($t_{\text{факт}} = 0,2 < t_{05} = 2,0$). Уравнения, приведенные в табл. 10.10, протабулированы по задаваемым значениям независимых переменных, и получены соответствующие таблицы (табл. 10.11). Средние значения квалитетических показателей фракций надземной фитомассы сосны показаны в табл. 10.12.

10.3. Регрессионные модели и таблицы для оценки квалитетических показателей фитомассы деревьев березы в градиенте загрязнений от КМК

Для моделирования показателей ρ_w и S березы использована та же структура уравнений (10.2), что и для сосны, и их характеристика приведена в табл. 10.13.

Таблица 10.13

Характеристика уравнений (10.2) для показателей S и ρ_{00} березы

Зависимая переменная S , %	Константы и независимые переменные уравнений				R^2	SE
	a_0	$a_1 D$	$a_2 h$	$a_3 L$		
– для древесины	64,49	-0,0958	-17,08	0,193	0,625	3,06
– для коры	34,90	-0,0289	3,146	-0,0495	0,120	2,46
Зависимая переменная ρ_{00} , кг/м ³						
– для древесины	819,9	2,067	158,1	-4,011	0,453	56,5
– для коры	991,2	-8,231	263,6	-3,735	0,342	119,3

Таблица 10.14

Изменение ССВ в древесине и коре березы в градиенте загрязнений от КМК

L , км	h	Содержание сухого вещества S (%) при диаметре дерева D , см															
		8				12				16				20			
		Древесина						Кора									
5	0,2	61,3	60,9	60,5	60,1	59,7	59,4	35,1	34,9	34,8	34,7	34,6	34,5				
	0,5	56,2	55,8	55,4	55,0	54,6	54,2	36,0	35,9	35,8	35,7	35,5	35,4				
	0,8	51,0	50,6	50,3	49,9	49,5	49,1	36,9	36,8	36,7	36,6	36,5	36,4				
10	0,2	62,2	61,9	61,5	61,1	60,7	60,3	34,8	34,7	34,6	34,5	34,3	34,2				
	0,5	57,1	56,7	56,4	56,0	55,6	55,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,2				
	0,8	52,0	51,6	51,2	50,8	50,5	50,1	36,7	36,6	36,5	36,3	36,2	36,1				
30	0,2	66,1	65,7	65,3	65,0	64,6	64,2	33,8	33,7	33,6	33,5	33,4	33,2				
	0,5	61,0	60,6	60,2	59,8	59,5	59,1	34,8	34,6	34,5	34,4	34,3	34,2				
	0,8	55,9	55,5	55,1	54,7	54,3	53,9	35,7	35,6	35,5	35,4	35,2	35,1				

Таблица 10.15

Изменение плотности древесины и коры березы в градиенте загрязнений от КМК

L , км	h	Плотность (ρ_{00} , кг/м ³) при диаметре дерева D , см															
		8				12				16				20			
		Древесина						Кора									
5	0,2	848	856	865	873	881	889	959	927	894	861	828	795				
	0,5	895	904	912	920	929	937	1039	1006	973	940	907	874				
	0,8	943	951	959	968	976	984	1118	1085	1052	1019	986	953				
10	0,2	828	836	845	853	861	869	941	908	875	842	809	776				
	0,5	875	884	892	900	908	917	1020	987	954	921	888	855				
	0,8	923	931	939	948	956	964	1099	1066	1033	1000	967	934				
30	0,2	748	756	764	773	781	789	866	833	800	767	734	701				
	0,5	795	803	812	820	828	837	945	912	879	846	813	781				
	0,8	843	851	859	867	876	884	1024	991	958	925	893	860				

Все константы уравнений, приведенных в табл. 10.13, значимы на 5%-ном уровне. Уравнения протабулированы по задаваемым значениям независимых переменных и получены соответствующие таблицы (табл. 10.14–10.15).

Анализ изменчивости показателя ССВ в ветвях и листе березы показал наличие двух значимых переменных, одна из которых – расстояние от КМК (L), а вторая – не диаметр ствола, как у сосны, а возраст дерева A . Рассчитаны уравнения, имеющие общий вид:

$$S = a_0 + a_1A + a_2L, \quad (10.6)$$

где A – возраст дерева, лет. Их характеристика дана в табл. 10.16, а результаты табулирования – в табл. 10.17. Средние значения квалиметрических показателей фракций наземной фитомассы березы показаны в табл. 10.18.

Сравнительный анализ квалиметрических показателей сосны и березы в градиенте загрязнений от КМК показал, что в свежем состоянии плотность как древесины, так и коры стволов, у сосны ниже, чем у березы. ССВ в коре стволов у сосны выше, чем у березы, а в древесине какой-либо закономерности по названному показателю не обнаружено. В направлении от основания к вершине ствола плотность как древесины ствола, так и его коры, возрастает у сосны и березы; ССВ в том же направлении, напротив, снижается в древесине и коре обоих пород.

Таблица 10.16

Характеристика уравнений (10.6)

Зависимая переменная S , %	Константы и независимые переменные уравнений			R^2	SE
	a_0	a_1A	a_2L		
– для ветвей	0,563	–0,00075	0,00057	0,350	0,017
– для листьев	0,409	–0,00033	–0,00073	0,215	0,015

Таблица 10.17

Изменение содержание сухого вещества в ветвях и листе березы в градиенте загрязнений от КМК

L , км	Содержание сухого вещества S (%) при возрасте дерева, лет						
	30	40	50	60	70	80	90
Ветви							
5	54,3	53,5	52,8	52,0	51,3	50,5	49,7
10	54,6	53,8	53,1	52,3	51,5	50,8	50,0
30	55,7	54,9	54,2	53,4	52,7	51,9	51,2
Листья							
5	39,5	39,2	38,8	38,5	38,2	37,9	37,5
10	39,1	38,8	38,5	38,1	37,8	37,5	37,2
30	37,7	37,3	37,0	36,7	36,3	36,0	35,7

Таблица 10.18

Средние значения содержания сухого вещества во фракциях надземной фитомассы (%) и плотности стволовой древесины и коры (кг/м³) березы

<i>M</i>	$\pm m$	$\pm \sigma$	<i>n</i>
Содержание сухого вещества			
Ствол			
57,1	0,441	5,72	168
Кора			
35,4	0,223	2,89	168
Ветви			
53,1	0,215	2,79	56
Листья			
38,4	0,200	2,60	56
Плотность древесины			
Ствол			
884	6,91	89,6	168
Кора			
959	12,35	160	168

По мере удаления от КМК плотность как древесины ствола, так и его коры в свежем состоянии, снижается у обеих пород. ССВ в том же направлении у сосны снижается как в древесине, так и в коре; у березы аналогичная закономерность наблюдается по коре, а по древесине закономерность противоположная.

С увеличением диаметра ствола у сосны ССВ в ветвях снижается, а в хвое возрастает; у березы по мере увеличения возраста названный показатель уменьшается в обеих фракциях.

По мере удаления от КМК ССВ в ассимиляционном аппарате обеих пород снижается; по ветвям березы наблюдается противоположная закономерность, а по ветвям сосны какой-либо закономерности не выявлено, но происходит увеличение названного показателя в направлении от вершины к основанию кроны.

ВЫВОДЫ

1. По мере удаления от СУМЗ с 1 до 30 км масса хвои равновеликих деревьев у ели снижается на 32, а у пихты – на 18%. По-видимому, известная тенденция увеличения охвоенности побегов по мере приближения к источнику загрязнений в данном случае перекрывает другую известную тенденцию – увеличение «прозрачности» крон в том же направлении.

2. При равном удалении от СУМЗ равновеликие и равновозрастные деревья ели обладают существенно большей фитомассой хвои по сравнению с пихтой. Различия в охвоенности ели и пихты при прочих равных условиях могут служить в качестве их специфических видовых характеристик.

3. Если на массу хвои и ее продуктивность удаление от СУМЗ оказывает существенное влияние, то на всю надземную фитомассу равновеликих деревьев ели и пихты влияние загрязнений отсутствует.

4. Установлены видовые различия и по структуре фитомассы деревьев: у пихты по сравнению с равновеликими деревьями ели масса ствола, ветвей и хвои соответственно на 8, 31 и 42% меньше.

5. На годичный прирост (ЧПП) равновеликих и равновозрастных деревьев ели и пихты удаление от СУМЗ не оказывает влияния, но имеются существенные межвидовые различия.

6. Установлено достоверное снижение продуктивности хвои по мере приближения к КМК и СУМЗ. Эта закономерность в градиентах загрязнения носит нелинейный характер: снижение продуктивности хвои ели (отношение прироста площади сечения ствола к массе хвои) в импактной зоне СУМЗ на 1 км расстояния составляет 14%, в буферной зоне 4% и в градиенте от буферной зоны до контроля – 1%. У пихты названные изменения существенно ниже, соответственно 8, 2 и 0,7%. Следовательно, на продуктивность хвои ели один и тот же уровень загрязнений оказывает значительно более сильное воздействие по сравнению с хвоей пихты. Снижение продуктивности хвои у сосны на 1 км расстояния в импактной зоне КМК составляет 3,4%, в буферной зоне 1,7% и в градиенте от буферной зоны до контроля –0,8%. У березы названные изменения несколько ниже, соответственно 2,2; 1,1 и 0,5%.

По косвенному показателю продуктивности хвои (отношение прироста площади сечения ствола к площади заболони) соответствующие значения составляют у ели 24, 7 и 2%, у пихты 18, 5 и 1,4%, у сосны 3,0; 1,5 и 0,7%, у березы 3,8; 1,7 и 0,85%. При использовании косвенного показателя продуктивности хвои для количественной оценки снижения продуктивности хвои (листвы) в градиентах загрязнений не требуется определения ее фитомассы у модельных деревьев на пробных площадях, а достаточно получить необходимое количество ядер у растущих деревьев, по ним рассчитать дендрометрические показатели, характеризующие ксилемный и флоэмный транспорт дерева, и по соотношению последних дать количественную характеристику снижения продуктивности ассимиляционного аппарата той или иной древесной породы в градиенте промышленных загрязнений.

7. В градиенте загрязнений от КМК на фитомассу и ЧПП равновеликих деревьев сосны не оказывают влияния не только возраст и высота дерева, но и расстояние от КМК.

8. В отличие от сосны, в том же градиенте загрязнений на фитомассу и ЧПП березы степень удаления от КМК оказывает существенное влияние: надземная фитомасса деревьев на контроле выше, чем в импактной зоне, на 12%, а ЧПП соответственно на 44%.

9. Фитомасса генеративных органов сосны у равновеликих и равновозрастных деревьев на контроле по сравнению с импактной зоной выше 4 раза, у равновеликих деревьев при одном и том же удалении от КМК в 130-летнем сосняке по сравнению с 50-летним она выше в 9 раз и у равновозрастных деревьев при одном и том же удалении от КМК в ступени толщины 34 см по сравнению с ступенью толщины 20 см – в 4,5 раза. У равновеликих и равновозрастных деревьев березы масса генеративных органов нарастает в диапазоне от 4 до 12 км, а затем снижается; у равновозрастных деревьев при равном удалении от КМК она снижается в ступени толщины 26 см по сравнению с ступенью толщины 12 см – в 2,5 раза, но у равновеликих деревьев при прочих равных условиях в возрасте 90 лет по сравнению с возрастом 50 лет – в 23–30 раз.

10. Максимальные значения массы генеративных органов на 1 га насаждений сосны и березы приходятся на буферную зону градиента загрязнений (расстояние от 9 до 18 км от КМК), в которой происходит переход лесных экосистем из одного стабильного состояния в другое. Возможно, пик семеношения в буферной зоне формируется за счет повышенной доли семеносящих деревьев в общей их численности на единице площади насаждений, и у сосны это большее долевое участие семеносящих деревьев выражено в большей степени, чем у березы. Резкое уменьшение массы семян на 1 га насаждений в направлении импактной зоны можно объяснить снижением жизненного состояния деревьев под влиянием токсикантов. Резкое же его снижение в направлении зоны фонового загрязнения объяснить пока не представляется возможным.

11. Сравнительный анализ фитомассы деревьев сосны и березы вблизи КМК с соответствующими показателями в других регионах показал, что в большинстве случаев смещения фитомассы равновеликих деревьев как сосны, так и березы, разных регионов относительно района КМК имеют разные знаки: по сосне имеют место более низкие значения в сравнении с соответствующими величинами для района КМК, а по березе – наоборот.

12. Если на уровне деревьев ели и пихты в градиенте загрязнения от СУМЗ не выявлено их влияния на надземную фитомассу и ее ЧПП, то на уровне древостоев такое влияние существенно: фитомасса и ЧПП древостоев по мере удаления от СУМЗ резко увеличивается в диапазоне от 1 до 4 км, а при дальнейшем удалении стабилизируется. Это означает, что на изменение биологической продуктивности древостоев в градиенте загрязнений влияет не структура фитомассы и ЧПП составляющих их деревьев, а таксационная структура древостоев.

13. Характер изменения продуктивности нижнего яруса в районе СУМЗа принципиально отличается от закономерности, установленной для

основного яруса: после резкого увеличения продуктивности на первых километрах удаления происходит не стабилизация, а постепенное ее снижение вследствие возрастающего подавления основным ярусом.

14. Надземная фитомасса и ее ЧПП в сосняках и березняках, прилегающих к КМК, имеют общую закономерность изменения: резкое увеличение в диапазоне от 4 до 10–12 км и затем постепенная стабилизация по мере последующего удаления от КМК.

15. Зависимость фитомассы и ЧПП древостоев в градиенте загрязнений от индекса токсичности описывается логистической кривой как нисходящей ветвью петли гистерезиса. Установлено, что переход елово-пихтовых экосистем из одного стабильного состояния (в фоновой зоне) в другое (в импактной зоне) происходит в градиенте загрязнения от СУМЗ в интервале индекса токсичности от 20 до 40, а березовых экосистем в градиенте загрязнения от КМК – в интервале индекса токсичности от 10 до 80.

16. Установлены зависимости изменения содержания сухого вещества (ССВ) в древесине деревьев ели и пихты от удаления от СУМЗ. Если по показателю плотности как древесины, так и коры стволов, ель и пихта не различаются, то по ССВ различия есть: по древесине названный показатель выше у ели, а по коре, наоборот, у пихты. ССВ в древесине повышается у равновеликих деревьев по мере удаления от СУМЗ, а в пределах одной зоны загрязнения – по мере увеличения толщины ствола. У ели и пихты ССВ в ветвях существенно выше, чем в хвое, и величина этого превышения различается по породам. В ветвях названный показатель равновеликих деревьев выше у ели по сравнению с пихтой на 19–21%, а в хвое лишь на 11%.

17. В градиенте загрязнений от КМК плотность и ССВ в древесине и коре сосны и березы существенно изменяется по мере удаления от КМК. Существенные изменения происходят по показателю ССВ в ветвях и хвое (листве) сосны и березы.

18. Полученные закономерности изменения биологической продуктивности древостоев в градиентах загрязнений по мере удаления от СУМЗ и КМК служат основой для корректного картографирования и зонирования продуктивности лесов вблизи загрязняющих производств.

Детальное представление наших исходных данных позволит другим исследователям проанализировать закономерности в иных аспектах. Наш анализ преследовал цель показать на основе лесотаксационных методов наиболее очевидные закономерности изменения продуктивности древостоев под действием промышленного загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абатуров Ю.Д.* Особенности взаимосвязи лесной растительности с почвами в сосново-березовых лесах Южного Урала: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск, 1962. 18 с.
- Абражко М.А.* Закономерности распределения и фракционный состав биомассы подземных частей // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Наука, 1973. С. 109–116.
- Агессе П.* Ключи к экологии. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 97 с.
- Агроклиматический справочник по Челябинской области.* Л.: Гидрометеиздат, 1960. 156 с.
- Адлер Ю.П., Горский В.Г.* Предисловие к русскому изданию // Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: в 2 кн. Кн. 1. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.
- Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П.* О квалитметрии. М.: Изд. стандартов, 1973. 172 с.
- Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Е.Д.* Прикладная статистика: Исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985. 487 с.
- Акимова Т.А., Хаскин В.В.* Экология. Человек-Экономика-Биота-Среда: учебник для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 566 с.
- Алексеев А.С.* Радиальный прирост деревьев и древостоев в условиях атмосферного загрязнения // Лесоведение. 1993. № 4. С. 66–70.
- Алексеев А.С., Лайранд Н.И., Поповичев Б.Г., Яценко-Хмелевский А.А.* Прогноз состояния древостоев, подверженных токсическому действию атмосферных загрязнителей // Бот. журнал. 1986. № 11. С. 1567–1580.
- Алексеев А.С., Тарасов Е.В.* Количественный анализ связи состояния древостоев ели и загрязнения снегового покрова // Экология и защита леса СПб.: ЛТА, 1990. С. 3–7.
- Алексеев А.С., Тарасов Е.В.* Состояние древостоев сосны в зоне промышленного загрязнения в связи с накоплением никеля и меди в биомассе хвои и напочвенного покрова // Экология и защита леса. СПб.: ЛТА, 1992. С. 10–15.
- Алексеев В.А.* Особенности описания древостоев в условиях атмосферного загрязнения // Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. Ч. 1. Таллин, 1982. С. 97–115.
- Алексеев В.А.* Атмосферное загрязнение и оценка состояния деревьев и древостоев // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. Пуцзино, 1984. С. 7–3.
- Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
- Алексеев В.А., Андреева Е.Н., Горшков В.В., Дружина В.Д., Меньшикова Г.П., Чертов О.Г., Ярмишко В.Т.* Влияние выбросов работающей на угле электростанции на заболоченные северотаежные сосняки // Бот. журн. 1986. Т. 71. № 5. С. 664–672.
- Алексеев В.А., Бердси Р.А.* (ред.). Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1994. 224 с.
- Алексеев В.А., Дочинжер Л.С.* Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение // Лесоведение. 1981. № 5. С. 64–71.
- Алексеев В.А., Старостина К.Ф., Ющенко Л.Н.* Закономерности распределения и фракционный состав надземной биомассы // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Наука, 1973. С. 102–108.
- Алексеев В.В.* Биогеоценозы – автогенераторы и триггеры // Журн. общей биологии. 1976. Т. XXXVII. № 5. С. 738–744.
- Алесенков Ю.М.* Экологический анализ первичной продукции горных темнохвойных лесов Среднего Урала: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Свердловск: ИЭРиЖ, 1983. 16 с.
- Альберт Э.* Избирательная токсичность. М.: Мир, 1971. 431 с.
- Амосов Н.М.* Кибернетика биологическая (Энциклопедия кибернетики). Киев: Главная ред. УСЭ, 1974.
- Аникеев Д.Р.* Изменения морфоструктур репродуктивной системы сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения на Среднем Урале: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТА, 1996. 24 с.
- Аннука Э., Раук Ю.* О визуальной оценке повреждения хвойных в промышленном ландшафте // Тез. докл. Всесоюз. науч.-практич. совещания «Влияние промышленных за-

грязнений на лесные экосистемы и мероприятия по повышению их устойчивости». Каунас, 1984. С. 66–67.

Антанайтис В.В. Особенности наблюдений за производительностью древостоев как элемента мониторинга состояния лесов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л., 1983. Т. 6. С. 33–45.

Антанайтис В.В. Мониторинг лесов и лесоустройство // Мониторинг лесных экосистем.: Тез. докл. науч. конф. Каунас-Академия, 1986. С. 5–6.

Антанайтис В.В., Загреев В.В. Прирост леса. М.: Лесная промышленность, 1981. 200 с.

Антанайтис В.В., Юкнис Р. Мониторинг продуктивности лесов // Изучение загрязнения окружающей природной среды и его влияния на биосферу. Материалы III заседания Международной рабочей группы по Проекту № 14 МАБ ЮНЕСКО 29 марта– 3 апреля 1985 г. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. С. 151–154.

Антипов В.Г. Отношение древесных растений к промышленным газам: Автореф. дис.... докт. биол. наук. Л., 1975. 50 с.

Антипов В.Г. Устойчивость древесных растений к промышленным газам. Минск: Наука и техника, 1979. 215 с.

Антомонов Ю.Г. Моделирование биологических систем: справочник. Киев: Наукова Думка, 1977. 260 с.

Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 512 с.

Арманд А.Д., Ведюшкин М.А., Тарко А.М. Модель воздействия промышленных загрязнений на лесной биогеоценоз // Воздействие промышленных предприятий на окружающую среду. М., 1987. С. 291–296.

Арманд А.Д., Кайдакова В.В., Кушнарёва Г.В., Добродеев В.Г. Определение пределов устойчивости геосистем на примере окрестностей Мончегорского металлургического комбината // Изв. АН СССР. Сер. географич. 1991. № 1. С. 93–104.

Арманд Д.Л. Функциональные и корреляционные связи в физической географии // Известия ВГО. 1949. № 1. С. 81–94.

Арманд Д.Л. Опыт математического анализа связи между типами растительности и климатом // Известия ВГО. 1950. № 1. С. 19–50.

Армолайтис К., Вайчис К. К вопросу оценки газоустойчивости и жизнеспособности древесных растений в зоне влияния заводов азотных удобрений // Тез. докл. научн. конф. «Мониторинг лесных экосистем». Каунас, 1986. С. 211–212.

Аткина Л.И., Петелина О.А. Структура надземной фитомассы естественных молодняков и культур сосны Челябинской области // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. Матер. конф. Брянск: БГИТА, 2002. С. 3–6.

Аугустайтис А.А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях загрязнения природной среды // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 12. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. С. 32–51.

Аугустайтис А.А. Закономерности роста сосновых древостоев при различном уровне загрязнения природной среды: Автореф. дис.... канд. биол. наук. М.: Ин-т глобального климата и экологии, 1992. 22 с.

Бабушкина Л. Г., Зуева Г.В., Марина Н.В. и др. Комплексная оценка состояния лесных биогеоценозов в зоне промышленных загрязнений // Анатомия, физиология и экология лесных растений: Материалы XXVI сессии комиссии им. Л.А. Иванова. Петрозаводск, 1992. С. 12 – 16.

Бабушкина Л.Г., Марина Л.Г., Новоселова Г.Н., Степанова И.П., Фалько Н.В., Хухарева Л.А., Симонова Л.И. Диагностика состояния сосны обыкновенной в зоне промышленных загрязнений по биохимическим показателям // Проблемы лесоведения и лесной экологии. Тез. докл. Ч. 2. М.: АН СССР, 1990. С. 536–538.

Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.

Базилевич Н.И., Родин Л.Е. Картограммы 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.

- Барахтенова Л.А.* Воздушные поллютанты и обмен серы у сосны обыкновенной: пороговые концентрации, эффекты защиты // Сиб. экол. журн. 1995. № 6. С. 478–494.
- Барткавичюс Э.* Некоторые закономерности роста сосновых древостоев при различном уровне загрязнения природной среды // Исследование и моделирование роста лесных насаждений, произрастающих в условиях загрязненной природной среды. Сб. научн. тр. Каунас-Академия, 1987. С. 16–28.
- Бахтин А.А.* О точности определения надземной фитомассы ели в древостое // Материалы отчетной сессии АИЛиЛХ по итогам НИР за 1990 год. Архангельск, 1991. С. 41–42.
- Бачурина А.В.* Влияние промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» на состояние прилегающих лесных насаждений: Дис... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛГУ, 2008. 188 с. (фонды УГЛГУ).
- Безель В.С.* Экологическая токсикология: популяционный и биоценологический аспекты. Екатеринбург: Изд-во «Глобальный», 2006. 279 с.
- Безель В.С., Большаков В.Н., Воробейчик Е.Л.* Популяционная экотоксикология. М.: Наука, 1994. 81 с.
- Биологическая продуктивность лесов Поволжья / Под ред. С.Э. Вомперского. М.: Наука, 1982. 282 с.*
- Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К.* Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 223 с.
- Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
- Бобкова К.С.* Еловые леса // Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. С. 52–68.
- Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность и компоненты баланса углерода в молодых сосны // Лесоведение. 2005. № 6. С. 30–37.
- Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность и компоненты баланса углерода в заболоченных коренных ельниках Севера // Лесоведение. 2007. № 6. С. 45–54.
- Бобкова К.С., Смоленцева Н.Л., Тужилкина В.В., Артемов В.А.* Круговорот азота и зольных элементов в сосново-еловом насаждении средней тайги // Лесоведение. 1982. № 5. С. 3–11.
- Бобкова К.С., Тужилкина В.В.* Углеродный цикл в еловых экосистемах // Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции. СПб.: Наука, 2006б. С. 265–288.
- Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Кузин С.Н.* Углеродный цикл в еловых экосистемах северной тайги // Экология. 2006а. № 1. С. 23–31.
- Будун А.С.* Влияние выбросов предприятий цветной металлургии на окружающую среду // Бюллетень почвенного института имени В.В. Докучаева. Загрязнение среды. Вып. 24. М., 1980. С. 22–24.
- Бусленко Н.И.* Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968. 148 с.
- Бужак А.В., Картов В.Г.* Сравнительный анализ динамики радиального прироста ели // Факторы регуляции экосистем еловых лесов. Л.: Наука, 1983. С. 65–78.
- Вакуров А.Д., Полякова А.Ф.* Круговорот азота и минеральных элементов в низкопродуктивных ельниках северной тайги // Круговорот химических веществ в лесу. М.: Наука, 1982. С. 20–43.
- Валетов В.В.* Биологическая продуктивность болотных ельников белорусского Поозерья // Лесоведение. 1988. № 3. С. 27–32.
- Валетова Е.А.* Влияние техногенного загрязнения на репродуктивную способность сосны обыкновенной: Автореф. дис... канд. биол. наук. Барнаул: Алтайский У, 2009. 19 с.
- Вальтер Г.* Растительность земного шара. Т. 3. М.: Прогресс, 1975. 429 с.
- Васильева Н.П., Гитарский М.Л., Карабань Р.Т. и др.* Мониторинг поврежденных загрязняющими веществами лесных экосистем России // Лесоведение. 2000. № 1. С. 23–31.
- Ватковский О.С.* Анализ формирования первичной продуктивности лесов. М.: Наука, 1976. 115 с.
- Ватковский О.С.* Оценка текущего состояния насаждений таксационными методами // Тез. докл. научн. конф. «Мониторинг лесных экосистем». Каунас, 1986. С. 9–10.

- Ведюшкин М.А.* Гистерезис в конкурентных системах // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М.: Ин-т географии АН СССР, 1989. С. 215–225.
- Венк Г.* Методы определения потерь прироста деревьев в районах, подвергнутых воздействию атмосферных загрязнителей // Биомониторинг лесных экосистем: Матер. Международной школы-семинара, Вильнюс, 17–18 марта 1987 г. Каунас-Академия, 1987. С. 34–36.
- Венчиков А.И.* Биотика. М.: Медгиз, 1962. 235 с.
- Веселкин Д.В.* Распределение тонких корней хвойных деревьев по почвенному профилю в условиях загрязнения выбросами медеплавильного производства // Экология. 2002. № 4. С. 250–253.
- Виленкин Б.Я.* Взаимодействующие популяции // Математическое моделирование в экологии. М.: Наука, 1978. С. 5–16.
- Власенко В.Э.* Особенности аккумуляции химических элементов в отдельных компонентах хвойных лесов Среднего Урала в условиях атмосферного загрязнения: Автореферат дис... канд. биол. наук. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 1999. 23 с.
- Власенко В.Э., Менищikov С.Л., Андреев Г.В.* К вопросу об изучении продуктивности сосновых лесов в условиях регионального промышленного загрязнения // Лесная таксация и лесоустройство. 2001. № 1. С. 145–147.
- Влияние загрязнений воздуха на растительность: Причины. Воздействие. Ответные меры. Под ред. Деслера Х.Г. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 184 с.
- Вомтерский С.Э., Иванов А.И.* Связь площади поперечного сечения заболони с массой хвой сосны обыкновенной // Лесоведение. 1984. № 3. С. 60–65.
- Воробейчик Е.Л.* Изменение мощности лесной подстилки в условиях химического загрязнения // Экология. 1995. № 4. С. 278–284.
- Воробейчик Е.Л.* Статическая аллометрия в случае существенно неоднородных выборок: опасность артефакта // Сибирский экологический журнал. 2001. № 5. С. 631–636.
- Воробейчик Е.Л.* Реакция лесной подстилки и ее связь с почвенной биотой при токсическом загрязнении // Лесоведение. 2003. № 2. С. 32–42.
- Воробейчик Е.Л.* Экология импактных регионов: перспективы фундаментальных исследований // Ученые записки Нижнетагильской государственной социально-педагогической академии. Матер. VI Всероссийского популяционного семинара «Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии». Нижний Тагил, 2004а. С. 36–45.
- Воробейчик Е.Л.* Экологическое нормирование токсических нагрузок на наземные экосистемы // Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Екатеринбург, 2004б. 48 с.
- Воробейчик Е.Л.* «Грязная» экология в ИЭРиЖ // Уральская экологическая школа: вехи становления и развития. Екатеринбург, 2005. С. 175–217.
- Воробейчик Е.Л., Козлов М.В.* Воздействие точечных источников эмиссии поллютантов на наземные экосистемы: методология исследований, экспериментальные схемы, распространенные ошибки // Экология. 2012. № 2. С. 83–91.
- Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
- Воробейчик Е.Л., Хантемирова Е.В.* Реакция лесных фитоценозов на техногенное загрязнение: зависимость «доза-эффект» // Экология. 1994. № 3. С. 31–43.
- Габделхаков А.К.* Первичная продуктивность липняков Башкирского Предуралья // Лесоведение. 2001. № 3. С. 38–45.
- Габделхаков А.К.* Фитомасса липняка в культурах // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 26. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 43–51.
- Габделхаков А.К., Арсланов А.А., Ситдииков М.Р.* Биопродуктивность искусственных древостоев липы мелколистной Башкирского Предуралья // Вестник Марийского ГИУ. 2009а. № 2(6). С. 77–82.
- Габделхаков А.К., Арсланов А.А.* Фракционная структура и продуктивность фитомассы лесных культур липы Башкирского Предуралья // ИВУЗ. Лесной журн. 2009б. № 6.
- Габеев В.Н.* Биологическая продуктивность лесов Приобья. Новосибирск: Наука, 1976. 171 с.
- Габукова В.В., Ивонис И.Ю., Козлов В.А. и др.* Метаболизм сосны в связи с интенсивностью роста. Петрозаводск: КарНЦ АН СССР, 1991. 162 с.

- Гальперин М.И., Фимушин Б.С.* Использование связи прироста деревьев по диаметру с размерами их крон для оценки жизнестойкости пригородных сосновых древостоев // Текущий прирост древостоев. Минск: Ураджай, 1975. С. 133–136.
- Георгиевский Н.И.* О развитии насаждений при рубках ухода // Развитие русского лесоводства. М.: Л.: Гос. лесотехнич. изд-во, 1948. С. 112–179.
- 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.
- Голиков В.В.* Плотность коры ветвей светлохвойных пород Сибири // Лиственница и ее использование в народном хозяйстве. Красноярск: СТИ, 1982. С. 23–25.
- Голиков Д.Ю.* Влияние фитотоксичности почв на состояние сосновых молодняков (в условиях Уральской горно-лесной области): Автореф. дис... канд. с.-х. наук. УГЛТА, Екатеринбург, 2000. 17 с.
- Головенко С.В., Герасимова М.И., Лазукова Г.Г., Шуйцев Ю.К.* Об оценке лесорастительных возможностей ландшафтов Валдая для прогнозирования продуктивности лесной растительности // Почвы и продуктивность растительных сообществ. Вып. 5. М.: Изд-во МГУ, 1981. С. 160–193.
- Горбатенко В.М.* Зависимости между таксационными и биометрическими показателями сосновых древостоев // Географ. аспекты горн. лесоведения и лесоводства. Чита: Изд. Забайкал. филиала Географ. общества СССР, 1971. Вып. 2. С. 70–73.
- Горбатенко В.М., Протопопов В.В.* О точности учета фитомассы крон и хвои сосновых древостоев // Лесное хоз-во. 1971. № 4. С. 39–41.
- Гортинский Г.Б.* Опыт причинного анализа факторов, определяющих погодичную динамику прироста древесины // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Наука, 1973. С. 204–222.
- Гортинский Г.Б., Картов В.Г.* Основные понятия и принципы определения первичной продукции // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Наука, 1973. С. 90–92.
- Горчаковский П.Л.* Растительность Свердловской области // Природа Свердловской области. Свердловгиз, 1958. С. 86–142.
- Горчаковский П.Л.* Темнохвойная тайга Среднего Урала и прилегающей части Среднего Урала // Материалы по классификации растительности Урала. Тезисы докл. Свердловск, 1959 (Ин-т биол. Уральского фил. АН СССР). С. 18–22.
- Горчаковский П.Л.* Некоторые вопросы классификации растительности Урала. – Вопросы классификации растительности. Тр. Ин-та биол. Уральского фил. АН СССР. Вып. 27. Свердловск, 1961. С. 61–70.
- Горчаковский П.Л., Андряшкина Н.И.* Изучение первичной продуктивности сообществ лесотундры на стационаре «Харп» // Ресурсы биосферы: Итоги советских исследований по Международной Биологической Программе. Л.: Наука, 1975. Вып. 1. С. 25–33.
- Горчаковский П.Л., Троценко Г.В.* Растительность стационара «Харп» в лесотундре Зауралья // Продуктивность биогеоценозов Субарктики. Свердловск, 1970. С. 100–101.
- Горшков В.В., Катютин П.Н., Ставрова Н.И.* Особенности радиального прироста ствола у *Picea obovata* (Pinaceae) и *Betula pubescens* (Betulaceae) при восстановлении лесных сообществ после пожаров // Растит. ресурсы. 2006. Т. 42. Вып. 1. С. 3–16.
- Государственная экологическая экспертиза. Заключение экспертной комиссии по рассмотрению материалов оценки степени экологического неблагополучия окружающей среды и состояния здоровья населения и проекта Федеральной целевой программы первоочередных неотложных мер на 1998–2000 гг. по выводу территории г. Карабаша Челябинской области из состояния экологического бедствия и оздоровлению населения. М.: 1996.
- Григорьев В.П., Юргенсон Н.А.* Адсорбционная способность соснового насаждения и его устойчивость к промышленным эмиссиям // Экология. 1982. № 6. С. 14–21.
- Гроздов Б.В.* Дендрология. М., Л.: Гослесбуиздат, 1952. 436 с.
- Гудериан Р.* Загрязнение воздушной среды. М.: Мир, 1979. 200 с.
- Гульбе Т.А., Гульбе Я.И., Рождественский С.Г.* Биологическая продуктивность и вертикальная структура фитомассы в культурах ели // Вертикально-фракционное распределение фитомассы в лесах. М.: Наука. 1986. С. 138–149.

- Давыдова М.В. Воздействие заводских дымов на травяные сосняки Южного Урала // Науч. докл. высшей школы. Биология. 1982. № 11. С. 71–74.
- Данилов М.Д. Закономерность развития чистых древостоев в связи с динамикой листовой массы // Лесн. хоз-во. 1953. № 6. С. 21–24.
- Дворецкий М.Л. Текущий прирост древесины ствола и древостоя. М.: Лесная промышленность, 1964. 125 с.
- Демаков Ю.П., Майшанова М.И., Швецов С.М. Использование метода тканевой абсорбции для оценки аэральных выпадений пыли // Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в XXI веке: сб. науч. тр. по материалам Междунар. заочной науч.-практич. конф. 31 января 2012 г. Ч. 2. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество». 2012а. С. 53–55.
- Демаков Ю.П., Швецов С.М., Майшанова М.И. Изменение зольного состава хвои, коры и древесины сосны в зоне выбросов завода силикатного кирпича // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер. «Лес. Экология. Природопользование». 2012б. Вып. 2 (в печати).
- Десслер Х.-Г. Влияние загрязнений воздуха на растительность. М.: Лесная промышленность, 1981. 180 с.
- Детри Ж. Атмосфера должна быть чистой: Загрязнители атмосферы и борьба с ними. М.: 1973. 279 с.
- Дрейтер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.
- Дылис Н.В., Носова Л.М. Фитомасса лесных биогеоценозов Подмосковья. М.: Наука. 1977. 143 с.
- Дюкарев В.Н., Розенберг В.А. Надземная фитомасса древостоев, подроста и подлеска в пихтово-еловых лесах Сихотэ-Алиня // Тр. биолого-почвенного ин-та ДВНЦ АН СССР. 1975. Т. 33(136). С. 30–50.
- Ермоленко П.М. Динамика надземной массы древесного яруса в производных фитоценозах Западного Саяна // Структурно-функциональные взаимосвязи и продуктивность фитоценозов. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1983. С. 32–40.
- Ермоленко П.М., Ермоленко Л.Г. Фитомасса производных лесных фитоценозов в черном подпоясе Западного Саяна // Формирование и продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1982. С. 60–71.
- Ефимович Е.А., Никитин К.Е. Выход пихтовой лапки в лесах Алтая Казахстана и производство пихтового масла // Труды по лесному опытному делу (отчёт). Семипалатинск: Казахская лесная опытная станция ВАСХНИИ – ВНИЛАМИ, 1934. 77 с.
- Забоева И.В., Русанова Г.В., Слобода А.В. Биопродуктивность ельников-зеленомошников средней и северной тайги Коми АССР // Растительные ресурсы. 1973. Т. 9. Вып. 1. С. 100–106.
- Завалишин А.А. Почвы Кузнецкой лесостепи // Тр. СОПС Академии наук. Сер. сибир., 1936. Т. 20. С. 165.
- Завьялов К.Е. Состояние искусственных насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнетитового загрязнения: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УИЛГУ, 2009. 16 с.
- Завьялова Н.С. Активность пероксидазы у сосны и лиственницы в зоне промышленного загрязнения // Техногенные воздействия на лесные сообщества и проблемы их восстановления и сохранения. Екатеринбург: Наука, 1992. С. 47–52.
- Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // Математика сегодня (сборник переводных статей). М.: Знание, 1974. С. 5–49.
- Залесов С. В., Астафьева О.М. Структура надземной фитомассы культур сосны на Среднем Урале в связи с прореживанием // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 24. Екатеринбург: УГЛПА, 2003. С. 170–181.
- Залесов С.В., Бачурина А.В. Изменение морфометрических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях аэропромвыбросов // Лесной вестник. 2008. № 3. С. 36–39.
- Зарубина И.А. Оценка состояния культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях аэротехногенного загрязнения (Усть-Илимский район Иркутской области): Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СибГУ, Красноярск, 2011. 17 с.

- Зверев В.Е.* Смертность и возобновление березы извилистой в зоне воздействия медно-никелевого комбината в период значительного сокращения выбросов: результаты 15-летнего мониторинга // *Экология*. 2009. № 4. С. 271–277.
- Зверев В.Е.* Влияние промышленного загрязнения на экологию березы Череланова (*Betula pubescens* ssp. *Czerepanovii* (Orlova) Hämet-Ahti) на Кольском полуострове: Автореф. дисс... канд. биол. наук. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2012. 19 с.
- Зинченко В.Ф.* Исследование способов учета запасов и кормовой ценности фитомассы крон осинников и березняков Ленинградской области: Автореф. дисс... канд. с.-х. наук. Брянск: БГИ, 1986. 21 с.
- Иванов А.И., Дубинин А.И.* Площадь сечений заболони и площадь зоны транзита влаги в ней у сосны обыкновенной // *Лесоведение*. 1992. № 5. С. 28–37.
- Иванов Ю.В., Савочкин Ю.В., Марченко С.И., Иванов В.П.* Анализ ростовых процессов *Pinus sylvestris* L. На ранних стадиях онтогенеза в условиях хронического действия цинка // *ИВУЗ. Лесной журнал*. 2011. № 2. С. 12–18.
- Иванова Е.Н.* Почвы южной тайги Зауралья // *Почвенно-географическое районирование СССР*. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 38–57.
- Иванчиков А.А.* Фитомасса сосняков Карелии и ее изменение с возрастом древостоев // *Лесные растительные ресурсы Карелии*. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1974. С. 37–51.
- Игнатенко И.В., Норин Б.Н., Рахманина А.Т.* Крутоворот зольных элементов и азота в некоторых биогеоценозах восточноевропейской лесотундры // *Почвы и растительность мерзлотных районов СССР*. Магадан: ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 335–350.
- Иевинь И.К., Дикельсон Э.О.* Масса крон осины, березы и ели в кисличниках Латвии // *Лесн. хоз-во*. 1962. №4. С. 20–23.
- Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
- Ильюшенко А.Ф.* Сезонное развитие листовой поверхности и биологическая продуктивность в березняках // *Лесоведение*. 1968. №2. С. 3–13.
- Илюшин И.Р.* Усыхание хвойных лесов от задымления. М., Л.: Гослесбумиздат, 1953. 40 с.
- Инсаров Г.Э., Филитова Л.М., Семенов С.М.* Методы оценки состояния эпифитной лишенофлоры в связи с фоновым загрязнением природной среды // *Изучение загрязнения окружающей природной среды и его влияния на биосферу. Материалы III заседания Международной рабочей группы по Проекту № 14 МАБ ЮНЕСКО 29 марта– 3 апреля 1985 г.* Л.: Гидрометеиздат, 1986. С. 123–127.
- Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И. и др.* Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // *Лесоведение*. 1993. № 5. С. 3–10.
- Исаева Л.Н.* Особенности распределения влаги в различных частях древесины стволов кедров сибирского // *Тр. Ин-та леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР*. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 77–82.
- Исаева Л.Н.* Метод расчета локальной и средней плотности абсолютно сухой древесины в стволах сосны и лиственницы // *Лесоведение*. 1978. № 4. С. 90–94.
- Казенс Д.* Введение в лесную экологию. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 142 с.
- Казимиров Н.И., Морозова Р.М.* Биологический крутоворот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 175 с.
- Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
- Кайбияйнен Л.К., Хари П., Сазонова Т.А.* Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. III. Площадь проводящей ксилемы и масса хвои // *Лесоведение*. 1986. № 1. С. 31–37.
- Калинин В.А., Крюк В.И., Луганский Н.А., Шавнин С.А.* Модель оценки состояния пораженных древостоев // *Экология*. 1991. № 3. С. 21–28.
- Каплина Н.Ф.* Межгодовая изменчивость аллометрических соотношений фитомассы листьев сосны южной тайги и дуба лесостепи // *Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и адаптационные технологии. Матер. междунар. конф. Йошкар-Ола: Марп 11У, 2010. С. 205–210 (url: <http://csfm.marstu.net/publications.html>).*
- Капралов А.В.* Повышение устойчивости сосновых насаждений в зоне действия фторсодержащих промышленных выбросов путем применения минеральных удобрений: Автореф. дисс... канд. с.-х. наук. Свердловск: УЛГИ, 1981. 28 с.

- Карасева М.А.* Рост, семеношение и качество семян лиственницы сибирской в Среднем Поволжье // Лесн. хоз-во. 2001. № 3. С. 44–45.
- Карманова И.В.* Математические методы изучения роста и продуктивности растений. М.: Наука, 1976. 222 с.
- Карпачевский Л.О.* Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 264 с.
- Карпенко А.Д.* Динамика поражения хвои ели сибирской в районе хронологического загрязнения двуокисью серы // Экология и защита леса. Л.: ЛТА, 1981. С. 39–42.
- Катютин П.Н., Горшков В.В.* Внутрипопуляционная дифференциация *Picea obovata* Ledeb. по радиальному приросту // Динамика лесных сообществ северо-запада России. СПб.: Изд-во «ВВМ», 2009. С. 185–197.
- Кирилл Ф.Я.* География Челябинской области. Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1969. 178 с.
- Ковалев Б.И.* Состояние лиственницы и его оценка в условиях аэротехногенного воздействия Норильского промышленного района // Проблемы лесоведения и лесной экологии. Тезисы докл. Ч. 2. М.: АН СССР, 1990. С. 580–582.
- Коженков Л.Л.* К методике оценки состояния лесных насаждений, подверженных воздействию промышленных выбросов // Повышение устойчивости и природоохранной роли лесов. М., 1983. С. 115–119.
- Кожухова Л.И.* Ассимиляционный ресурс России и его место среди приоритетов национальной лесной политики // Национальная лесная политика России / 1-й междунар. науч.-практ. конф. М.: МГУЛ, 2011. С. 154–156.
- Козлов М.В.* Мнимые повторности (pseudoreplications) в экологических исследованиях: проблема, не замеченная российскими учеными // Журнал общей биологии. 2003. Т. 64. № 4. С. 292–307.
- Козлов М.В., Воробейчик Е.Л.* Воздействие точечных источников эмиссии поллутантов на наземные экосистемы: представление результатов в публикациях // Экология. 2012. № 4. С. 243–251.
- Колесников Б.П.* Лесорастительные условия и лесорастительное районирование Челябинской области // Вопросы восстановления и повышения продуктивности лесов Челябинской области. Труды Ин-та биологии УФАН СССР. Вып. 26. Свердловск, 1961. С. 3–44.
- Колесников Б.П.* Леса Свердловской области // Леса СССР. Т. 4. М.: Наука, 1969. С. 64–124.
- Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П.* Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973 (1974). 176 с.
- Колтунова А.И., Усольцев В.А., Балицкий М.И. и др.* Фитомасса лесных культур в пойме р. Урал (Оренбургская область) // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 27. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. С. 215–217.
- Колтунова А.И., Усольцев В.А., Пальмова Н.В., Балицкий М.И., Кузьмин Н.И., Канунникова О.В.* Фитомасса лесных культур в Оренбургской области // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 17. Брянск: БГИТА, 2007. С. 176–179.
- Коновалов Н.А.* Типы хвойных лесов Урала и их хозяйственное значение. Украинское совещание по лесной типологии. Тез. докл. Харьков: УкрНИИЛХ, 1961. С. 9–11.
- Корепанов А.А., Дружинин Н.А., Данилов М.А.* Фитомасса сосновых молодняков на осушенных и удобренных торфяных почвах // Лесоведение. 1985. № 1. С. 26–31.
- Корепанов С.А., Насимов Р.Н.* Влияние осушения и удобрения на фитомассу сосняков // Лесоэкологические проблемы Поволжья. Сб. науч. тр. Нижний Новгород: Н-1. ГСХА, 2003. С. 170–171.
- Корняк В.С.* Биологическая продуктивность ели и березы при совместном произрастании // Вопросы лесовосстановления на европейском Севере. Архангельск: АИЛХ, 1976. С. 31–36.
- Корняк В.С., Чертовской В.Г.* Биомасса древесного полога сосняка сфагнового в преддундровой зоне // Материалы годичной сессии по итогам НИР за 1976 год. Архангельск: АИЛХ, 1977. С. 14–15.
- Коссович Н.Л.* Влияние рубок ухода на ассимиляцию, освещение и прирост ели в елово-лиственном древостое // Рубки ухода за лесом. Л.: ЦНИИЛХ, 1940. С. 90–135.
- Кофман Г.Б.* Рост и форма деревьев. Новосибирск: Наука, 1986. 211 с.

- Кравченко Г.Л.* Архитектоника древостоев сосны обыкновенной: Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу лесн. таксации. Брянск: Брянский технол. ин-т, 1977. 17 с.
- Красинский Н.П., Князева Е.И.* Дымоустойчивые ассортименты // Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты. М., Горький, 1950. С. 297–303.
- Краткий географический справочник. Челябинская область. Челябинск: Версия, 1995. 77 с.
- Крауклис А.А., Стрижак Т.И., Топоркова Г.П.* Запас фитомассы // Природные режимы и топогеосистемы приангарской тайги. Новосибирск: Наука, 1975. С. 177–200.
- Кричун В.М., Усольцев В.А.* Регрессионные модели надземной фитомассы белого саксаула // Вестн. с.-х. науки Казахстана. 1979. № 10. С. 53–56.
- Кругооборот веществ в природе. Киев: Наукова думка, 1971. 120 с.
- Крючков В.В.* Предельные антропогенные нагрузки и состояние экосистем Севера // Экология. 1991. № 3. С. 28–40.
- Крючков К.В.* Влияние факелов по сжиганию попутного газа на лесные насаждения: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТА, 2000. 20 с.
- Кузиков И.Е.* Изменение фитомассы в пихтарниках зеленомошного типа леса в различных климатических условиях Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск: СибГИ, 1979. 24 с.
- Кузьмичев В.В.* Оценка антропогенного воздействия на лесные экосистемы // Лесоведение. 1985. № 6. С. 3–11.
- Кулагин А.А., Шагьева Ю.А.* Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 190 с.
- Кулагин Ю.З.* О газоустойчивости сосны и березы // Охрана природы на Урале. IV. Растительность и промышленные загрязнения (материалы конференции). Свердловск, 1964. С. 115–122.
- Кулагин Ю.З.* Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 124 с.
- Кулагин Ю.З.* Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование. М.: Наука, 1980. 116 с.
- Кулагин Ю.З., Сергейчик С.А.* О газоаккумулирующей функции древесных растений // Экология. 1982. № 6. С. 9–14.
- Кулагина М.А.* Биологический круговорот веществ в ельнике сфагново-гилокомиевом // Гидроморфные лесо-болотные экосистемы. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1986. С. 71–83.
- Куль К., Оя Т.* Структура физиологических моделей роста деревьев // Известия АН ЭстССР. Биология. 1984. Т. 33. № 1. С. 33–41.
- Кучеров С.Е., Мулдашев А.А.* Радиальный прирост сосны обыкновенной в районе Карабашского медеплавильного комбината // Эколого-физиологические аспекты ксилогенеза хвойных. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1996. С. 67.
- Кучеров С.Е., Мулдашев А.А.* Радиальный прирост сосны обыкновенной в районе Карабашского медеплавильного комбината // Лесоведение. 2003. № 2. С. 43–49.
- Лазарева Н.П., Кучко А.А., Кравченко А.В. и др.* Влияние аэротехногенного загрязнения на состоянии сосновых лесов Северной Карелии. Петрозаводск: Институт леса, 1992. 52 с.
- Левчук Л.А.* Состояние березовых насаждений и вегетативное возобновление березы в условиях фтористых загрязнений: Автореф. дисс... канд. с.-х. наук. Свердловск: УЛТИ, 1991. 25 с.
- Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. 92 с.
- Лиена И.Я.* Динамика древесных запасов: прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 170 с.
- Лиена И.Я., Никодемус О.Э., Раман К.К., Скудра А.Я.* Временной ход реакции сосняков в условиях изменчивого загрязнения воздуха // Темпоральные аспекты моделирования и прогнозирования в экологии. Сб. научн. тр. Рига: Лат'У, 1986. С. 114–127.
- Ловеллус Н.В.* Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л.: Наука, 1979. 232 с.
- Ловеллус Н.В., Ярмишко В.Т.* Радиальный прирост сосны обыкновенной на Кольском полуострове // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 94–105.

- Лопатин К.И.* Влияние нефтегазодобычи на сосновые насаждения в условиях Ханты-Мансийского автономного округа: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. УГЛТА, Екатеринбург, 1998. 20 с.
- Луганская В.Д.* Особенности формирования сосновых молодняков на сплошных вырубках Среднего Урала: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Свердловск: УЛПИ, 1970. 27 с.
- Луганская В.Д., Луганский Н.А.* Надземная биомасса сосновых молодняков на Среднем Урале // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 4. Свердловск: УралЛЮС, 1970. С. 69–90.
- Лукина Н.В., Никонов В.В.* Изменение первичной продуктивности еловых древостоев под влиянием техногенных загрязнений на Кольском Севере // Лесоведение. 1991. № 4. С. 37–45.
- Лукьянец А.И.* Фитомасса естественных древостоев сосны на промышленных отвалах Урала // Экология. 1980. № 2. С. 51–59.
- Лянгузова И.В.* Содержание химических элементов в разных фракциях фитомассы сосны // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: БИН РАН, 1990. С. 48–54.
- Лянгузова И.В.* Промышленное загрязнение окружающей среды (краткий обзор проблемы) // Проблемы экологии растительных сообществ. СПб.: ООО «ЗВМ», 2005. С. 23–27.
- Магасумова А.Г.* Лесоводственно-экономическая эффективность рубки обновления в сосняках Среднего Урала: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УЛПИУ, 2004. 20 с.
- Мажейка Ю.Ф., Рупиис П.П.* Оценка состояния и степени сохранности лесных экосистем // Мониторинг лесных экосистем. Каунас, 1986. С. 19–20.
- Макаревский М.Ф.* Запасы и баланс органического углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии // Экология. 1991. № 3. С. 3–10.
- Макаренко Г.П.* Научное обоснование рубок ухода в березово-сосновых молодняках на вырубках Среднего Урала: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Свердловск: УЛПИ, 1975. 28 с.
- Макаренко Г.П., Луганский Н.А.* Влияние рубок ухода в березово-сосновых молодняках на накопление надземной фитомассы в условиях южной подзоны тайги Урала // Исследования молодых ученых: Тез. докл. республ. совещ. Алма-Ата: КазНИИЛХА, 1973. С. 70–72.
- Мак-Лоун Р.Р.* Математическое моделирование – искусство применения математики // Математическое моделирование. М.: Мир, 1979. С. 9–20.
- Маковская М.А., Земкова Е.И., Кругликов С.А.* Влияние промышленных загрязнителей на зольный состав листьев древесных растений и заселенность их членистоногими // Экология. 1984. № 3. С. 17–22.
- Макунина Г.С.* Антропогенная модификация низкогорного южнотаежного ландшафта в сфере влияния мелеплавильного производства // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. география. 1978. № 3. С. 61–68.
- Маланьин А.Н.* Почвенный покров песчаного массива Аман-Карагайского бора // Вестн. с.-х. науки Казахстана. 1975. № 3. С. 83–88.
- Манаков К.Н., Никонов В.В.* Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера. Л.: Наука, 1981. 196 с.
- Маркова Е.В., Лисенков А.Н.* Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. М.: Наука, 1973. 219 с.
- Мартынюк А.А.* Густота охвоения побегов как показатель степени ослабления деревьев сосны промышленными выбросами // Основы выращивания защитных насаждений на водосборных бассейнах малых рек. М., 1985. С. 115–121.
- Мартынюк А.А.* Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях техногенного загрязнения // Лесоведение. 2008. № 1. С. 39–45.
- Мартынюк А.А., Данилов Н.И.* Влияние промышленных выбросов на рост и производительность сосновых древостоев // Лесное хозяйство. 1989. № 4. С. 17–19.
- Марченко А.И., Карлов Е.М.* Минеральный обмен в еловых лесах северной тайги и лесотундры Архангельской области // Почвоведение. 1962. № 7. С. 52–66.
- Марченко А.И., Рокьянис Б.* Биологическая продуктивность ельников-зеленомошников и ельников-кисличников // Тр. Латвийск. СХА. Вып. 143. 1978. С. 56–65.
- Мауринь А.М.* Проблема биологического времени и функция Бакмана // Моделирование и прогнозирование в экологии. Рига: изд. Латв. ун-та, 1980. С. 3–22.
- Мауринь А.М.* Темпоральность как интегральный показатель тренда состояния лесных экосистем // Мониторинг лесных экосистем. Каунас: Райде, 1986. С. 21–22.

- Мауринь А.М., Раман К.К.* Оценка и прогнозирование эффекта воздействия загрязнения на лесные биоценозы // Изучение загрязнения окружающей природной среды и его влияния на биосферу. Материалы III заседания Международной рабочей группы по Проекту № 14 МАБ ЮНЕСКО 29 марта – 3 апреля 1985 г. Л.: Гидрометеоздат, 1986. С. 175–177.
- Махнев А.К., Любашевский Н.М.* О закономерностях динамики лесных биогеоценозов в районах функционирования предприятий цветной металлургии // Динамика лесных фитоценозов и экология насекомых вредителей в условиях антропогенного воздействия. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 5–14.
- Махнев, А.К., Трубина М.Р., Прямоносова С.А.* Лесная растительность в окрестностях предприятий цветной металлургии // Естественная растительность промышленных и урбанизированных территорий Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. С. 3–41.
- Мелентьев П.В.* Приближенные вычисления. М.: Гос. изд-во физ. мат. литературы, 1962.
- Мелехов В.И., Бабич Н.А., Корчагов С.А.* Качество древесины сосны в культурах. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. 110 с.
- Мелехов И.С.* Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 406 с.
- Менищikov С.Л.* Мониторинг загрязненных предтундровых лесов на юге Таймыра // Динамика лесных фитоценозов и экология насекомых вредителей в условиях антропогенного воздействия. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 15–25.
- Менищikov С.Л.* Влияние аэротехногенного загрязнения на лесотундровые экосистемы // Техногенные воздействия на лесные сообщества и проблемы их восстановления и сохранения. Екатеринбург: Ин-т леса УрО РАН, 1992. С. 81–86.
- Менищikov С.Л., Власенко В.Э.* Региональная шкала индексов повреждения сосновых древостоев в условиях аэротехногенного загрязнения (для Свердловской области) // Лесоводство Севера на рубеже столетий: Тр. XI съезда РГО. СПб., 2000. С. 236–238.
- Менищikov С.Л., Власенко В.Э., Евстюгин А.С.* Локальный мониторинг лесных экосистем в условиях разных типов загрязнения Урале // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Материалы международного совещания. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 184–192.
- Менищikov С.Л., Ившин А.П.* Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 295 с.
- Менищikov С.Л., Махнев А.К., Власенко В.Э.* Особенности аэротехногенного загрязнения лесотундровых биогеоценозов // Проблемы лесоведения и лесной экологии. Тезисы докл. Ч. 2. М.: АН СССР, 1990. С. 593–594.
- Методы изучения лесных сообществ (под ред. В.Т. Ярмишко и И.В. Лянгузовой). СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
- Мешковский З.Д.* Изменение динамики реакции древесных растений под влиянием антропогенного воздействия: Автореф. дис. канд. биол. наук. Ленинград: ЛГУ, 1984. 19 с.
- Мина Н.В., Клевезаль Г.А.* Рост животных. М.: Наука, 1976. 291 с.
- Митропольский А.К.* Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971. 576 с.
- Митрофанов Д.П.* Химический состав лесных растений Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. 120 с.
- Митрофанов Д.П.* Продуктивность лесов центральной Эвенкии // Структурно-функциональные взаимосвязи и продуктивность фитоценозов. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1983. С. 53–63.
- Митрофанов Д.П.* Оценка продуктивности северо-таежных лесов Сибири // Продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1984. С. 95–102.
- Митрофанов Д.П., Касапенко Л.Ф., Латицкая Л.С., Пашенных О.К.* Первичная продукция лесных фитоценозов среднего Енисея // Лесные растительные ресурсы Средней Сибири. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1986. С. 3–9.
- Михайлова И.Н., Воробейчик Е.Л.* Эпифитные лишайники в условиях химического загрязнения: зависимости доза–эффект // Экология. 1995. № 6. С. 455–460.
- Моисеев Н.Н.* Козволюция человека и биосферы: кибернетические аспекты // Кибернетика и ноосфера. М.: Наука, 1986. С. 68–81.
- Молчанов А.А.* Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 275 с.

- Молчанов А.А.* Продуктивность сосняков бруснично-мшистых в Прокудином бору Московской области // Продуктивность органической и биологической массы леса. М.: Наука, 1974. С. 78–140.
- Молчанов А.А., Смирнов В.В.* Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 100 с.
- Молчанов А.М.* О работе А. Я. Хинчина // Математическое моделирование биологических процессов. М.: Наука, 1979. С. 117–119.
- Морозов А.Е.* Состояние кедровых лесов в условиях воздействия нефтегазодобычи в Ханты-мансийском автономном округе: Автореф. дисс.... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТА, 1999. 21 с.
- Назимов З.Я., Моисеев П.А., Бартыш А.А., Рахманов И.В., Григорьев А.А.* Структура и фитомасса березовых древостоев на верхней границе леса в условиях Северного Урала // Лесной вестник. 2008. № 3(60). С. 61–67.
- Надуткин В.Д., Модянов А.Н.* Надземная фитомасса древесных растений в сосняках зеленомошных // Тр. Коми филиала АН СССР. 1972. № 24. С. 70–80.
- Назимов В.В.* Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 208 с.
- Нестеров В.Г., Кашлев В.Ф., Бобылев Б.Н., Зданевич Л.Б.* О биологической массе хвойных древесных пород // Докл. ТСХА. 1967. Вып. 124. С. 271–272.
- Низаметдинов Н.Ф.* Оценка состояния сосновых древостоев в условиях агропромышленного загрязнения атмосферы по цифровым фотографиям крон деревьев и спутниковым фотоснимкам: Автореф. дисс.... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. 19 с.
- Никитин К.Е., Швиденко А.З.* К вопросу о математическом моделировании в лесном хозяйстве // Тезисы докл. Всесоюз. науч.-произв. конф. 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.
- Николаевский В.С.* Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 280 с.
- Николаевский В.С.* Влияние техногенных выбросов на жизнь растений // Разработка и внедрение на комплексных фоновых станциях методов биологического мониторинга. Т. 1. Рига: Зинатне, 1983. С. 23–31.
- Николаевский В.С.* Лес и промышленные выбросы // Лесное хоз-во. 1987. №10. С. 63–65.
- Николаевский В.С.* Эколого-физиологические основы газоустойчивости растений. М.: МЛТИ, 1989. 65 с.
- Носырев В.И.* Вредное воздействие магнезитовой пыли на древесную растительность // Лесное хоз-во. 1962. № 1. С. 18–21.
- О'Трейди Э., Бидл Б., Раян М.* Изучение лесного полога и изменение климата // Устойчивое лесопользование. 2011. № 2(27). С. 76.
- Оленев А.М.* Урал и Новая земля. М.: Мысль, 1965. 215 с.
- Онучин А.А.* Трансформация твердых атмосферных осадков горными лесами Хамар-Дабана. Дисс.... канд. с.-х. наук. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР. 1986. 182 с. (фонды ИЛИД).
- Орлов Д.С., Малинина М.С., Мотузова Г.В. и др.* Химическое загрязнение почв и их охрана. Словарь-справочник. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
- Осколков В.А., Воронин В.И.* Репродуктивный процесс сосны обыкновенной в Верхнем Приангарье при техногенном загрязнении. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та. 2003. 138 с.
- ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесостроительные. Метод закладки. М.: Изд-во стандартов, (1983) 1984. 60 с.
- Оя Т.* Модели развития древостоя. Таллин: АН ЭстССР, 1985. 60 с.
- Павлов И.Н.* Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. 360 с.
- Палуметс Я. К.* Опыт моделирования распределения фитомассы ели // Лесоведение. 1990. № 3. С. 43–48.
- Паршевников А.Л.* Круговорот азота и зольных элементов в связи со сменой пород в лесах средней тайги // Тр. Ин-та леса и др. АН СССР. 1962. Т. 52. С. 196–209.

Пастернак П.С., Ворон В.П. Воздействие аэротехногенного загрязнения внешней среды на лесные экосистемы в условиях Украины // Проблемы лесоведения и лесной экологии. Тезисы докл. Ч. 2. М.: АН СССР, 1990. С. 596–598.

Пахарькова Н.В., Калякина О.П., Шубин А.А., Григорьев Ю.С., Пахарьков С.В., Сорокина Г.А. Различия в акклимационных стратегиях сосны обыкновенной и ели сибирской на загрязнение воздушной среды // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27. № 3–4. С. 232–237.

Перельгин А.М., Уголев Б.Н. Древесиноведение. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 318 с.

Петров В.В. Банк семян в почвах лесных фитоценозов Европейской части СССР. М.: МГУ, 1989. 176 с.

Писаренко А.И. Глобальная деградация лесов и проблемы лесного хозяйства // Лесн. хоз-во. 1989. № 10. С. 5–10.

Писаренко А.И., Мерзленко М.Д., Гурцев А.И. Фитомасса культур ели различной густоты // Формирование эталонных насаждений. Ч. 2. Каунас-Ирионис: ЛигНИИЛХ, 1979. С. 190–193.

Письмеров А.В., Письмерова Р.С., Воробей П.М. Продуктивность фитомассы хвойных и хвойно-лиственных молодняков // Лесоведение. 1979. № 1. С. 68–72.

Поздняков Л.К. Лесное ресурсоведение. Новосибирск: Наука, 1973. 120 с.

Поздняков Л.К. Продуктивность лесов Сибири // Ресурсы биосферы: Итоги советских исследований по Международной Биологической Программе. Л.: Наука, 1975. Вып. 1. С. 43–55.

Поздняков Л.К. Методические рекомендации по разработке таблиц для комплексного учета лесных растительных ресурсов Сибири. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1985. 50 с.

Поздняков Л.К., Протопопов В.В., Горбатенко В.М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск: Книжное изд-во, 1969. 120 с.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. Л.: ЛТА, 1973. 76 с.

Полубояринов О.И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины. Л.: ЛТА, 1974. 96 с.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесная пром-сть, 1976а. 160 с.

Полубояринов О.И. Квалиметрия древесного сырья в процессе лесовыращивания: Автореф. ... докт. с.-х. наук. Л.: ЛЛТА, 1976б. 46 с.

Полякова Н.Ф. Соотношения между массой листвы, приростом древесины и транспирацией // ДАН СССР. 1954. Т. 96. № 6. С. 1261–1263.

Пристова Т.А. Биологический круговорот веществ во вторичном лиственно-хвойном насаждении средней тайги // Экология. 2008. № 3. С. 189–195.

Проблемы экологии растительных сообществ. Отв. ред. В.Т. Ярмишко. СПб.: ООО «ВВМ», 2005. 450 с.

Программа и методика биогеоэкологических исследований / Н.В. Дылис. М.: Наука, 1974. 403 с.

Протопопов В.В. Некоторые особенности биофизического и биологического влияния лесов Западного Саяна на среду // Материалы науч. конф. по изучению лесов Сибири и Дальнего Востока. Красноярск: Изд. СибГИ, 1965. С. 140–153.

Растительный покров СССР. Пояснит. текст к «Геобот. карте СССР». Под ред. А.М. Лавренко и В.Н. Сочавы, ч. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 460 с.

Ремезов Н.П., Быкова Л.Н., Смирнова К.М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1959. 284 с.

Ровинский Ф.Я., Егоров В.И. Озон, окислы азота и серы в нижней атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 183 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.

Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.

Роднянский А.М., Смольянов А.Н. Исследование надземной фитомассы елово-пихтовых древостоев Пермской области // Лесн. журн. 1992. № 2. С. 31–35 (Изв. высш. учеб. заведений).

- Рожков А.А., Козак В.Т.* Устойчивость лесов. М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.
- Розанова И.М.* Кругооборот зольных веществ и изменение физико-химических свойств выщелоченных черноземов под хвойными и широколиственными насаждениями // Тр. Лаборатории лесоведения АН СССР. 1960. Т. 1. С. 5–60.
- 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.
- Рубцов В.И., Новосельцева А.И., Попов В.К., Рубцов В.В.* Биологическая продуктивность сосны в лесостепной зоне. М.: Наука, 1976. 223 с.
- Руднева Е.Н., Тонконогов В.Д., Дорохова К.Я.* Кругооборот зольных элементов и азота в ельнике зеленомошнике северной тайги бассейна р. Мезень // Почвоведение. 1966. № 3. С. 14–26.
- Рунова Е.М.* Влияние техногенного загрязнения на состояние хвойных древостоев: Автореф. дисс... докт. с.-х. наук. Красноярск: СибГТУ, 1999. 42 с.
- Рунова Е.М., Нежевец Г.М.* Некоторые аспекты влияния промвыбросов на состояние древостоев в условиях Братска // Науч. техн. разраб. пробл. лес. комплекса. СПб., 1992. С. 12–16.
- Рунова Е.М., Чжан С.А., Пузанова О.А.* Влияние промышленных выбросов на прирост хвойных насаждений // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 10. Брянск: БГИТА, 2005. С. 129–131.
- Рутисис П.П.* Взаимозаменяемость показателей оценки сохранности лесных экосистем // Мониторинг лесных экосистем. Каунас, 1986. С. 193–194.
- Русаленко А.И., Петров Е.Г.* Определение прироста фитомассы в сосновых насаждениях // Текущий прирост древостоев: матер. конф. Минск, 1975. С. 139–140.
- Рушнова Г.В., Слобода А.В.* Биологическая продуктивность сосняка лишайникового среднетаежной подзоны Коми АССР // Ботан. журнал. 1974. Т. 59. № 12. С. 1827–1833.
- Рыбинцева Д.А.* Охвоенность древостоев сосны в связи с возрастом в Боровском лесном массиве // Исслед. молодых ученых. Алма-Ата: Изд. КазНИИЛХА, 1973. С. 84–85.
- Савина А.В.* Изучение влияния рубок ухода на световой режим и энергию ассимиляции в сосновом насаждении // Труды ВНИИЛХ. 1941. Вып. 21. С. 5–29.
- Салеев А.В.* Моделирование воздействия атмосферных фитотоксикантов на растения – пространственный аспект // Основы биологического контроля загрязнения окружающей среды. М., 1988. С. 137–160.
- Санитарные правила в лесах СССР. М.: Лесная пром-сть, 1970. 16 с.
- Селиховкин А.В., Поповичев В.Г.* Лесное хозяйство и промышленное загрязнение // Научно-исследовательские работы за 1981–1985 гг.: Сб. науч. тр. М.: Лесн. пром-сть, 1985. С. 198–202.
- Семечкина М.Г.* Структура фитомассы сосняков. Новосибирск: Наука, 1978. 165 с.
- Серый В.С., Листов А.А.* Надземная фитомасса древостоев разной густоты и влияние удобрений на ее структуру в среднетаежных сосняках лишайниковых // Лесоводственные исследования на зонально-типологической основе. Архангельск: ИЛиЛХ, 1984. С. 78–87.
- Сидаравичюс Й. М.* Изменение биологической продуктивности деревьев при различном уровне атмосферного загрязнения // Закономерности роста и производительности древостоев. Каунас: ЛитСХА, 1985. С. 228–230.
- Сидаравичюс Й. М.* Анализ фитомассы и морфоструктуры крон сосновых древостоев при атмосферном загрязнении природной среды // Исследование и моделирование роста лесных насаждений, произрастающих в условиях загрязненной природной среды. Сб. науч. тр. Каунас: ЛитСХА, 1987. С. 45–55.
- Сидорович Е.А., Рупасова Ж.А., Бусько Е.Г.* Функционирование лесных фитоценозов в условиях антропогенных нагрузок. Минск.: Наука и техника, 1985. 205 с.
- Скотт П.* Предисловие к английскому изданию // Аллен Р. Как спасти Землю (Всемирная стратегия охраны природы). М.: Мысль, 1983. С. 10.

- Скудра П.Я.* Таксация производительности хвойных древостоев в зоне цемента-производственного загрязнения: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. БГИ, Брянск, 1983. 21 с.
- Скуодене Л.* Метод определения физиологического состояния деревьев по проницаемости клеточных мембран для ионов калия // Груды ЛитНИИЛХ. 1988. Т. 28. С. 26–33.
- Слемнев Н.Н.* Прирост фитомассы и фотосинтез хвои в сосновых древостоях различных полнот и типов леса: Автореф. дис... канд. биол. наук. Л., 1969. 20 с.
- Смирнов В.В.* Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР. М.: Наука, 1971. 362 с.
- Смит У.* Лес и атмосфера. М.: Прогресс, 1985. 430 с.
- Смоляк Л.П., Петров Е.Г., Русаленко А.И.* Объемный вес древесины и коры сосны в различных экологических условиях // Лесное хоз-во. 1978. № 4. С. 70–71.
- Соколов И.М.* Фракталы // Квант. 1989. № 5. С. 6–13.
- Соколов П.А.* Состояние и теоретические основы формирования лишайков. Йошкар-Ола, Марийское книжн. изд-во, 1978. 208 с.
- Сродных Т.Б.* Обоснование агротехники создания культур березы бородавчатой в условиях магнетитовых запылений на Южном Урале: Автореф. дис... канд. биол. наук. Свердловск: УЛПИ, 1986. 20 с.
- Сродных Т.Б., Менщиков С.Л.* Рост лесных культур в условиях загрязнения магнетитовой пылью // Техногенные воздействия на лесные сообщества и проблемы их восстановления и сохранения. Екатеринбург: Ин-т леса УрО РАН, 1992. С. 87–92.
- Степанов А.М.* Методология биоиндикации и фонового мониторинга экосистем суши // Экотоксикология и охрана природы. М., 1988. С. 28–108.
- Степанов А.М., Кабилов Р.Р., Черненко Т.Е., Садыков О.Ф., Ханисламова Г.М., Некрасова Л.С., Бутусов О.Я., Бальцевич Л.А.* Комплексная экологическая оценка техногенного воздействия на экосистемы южной тайги. М.: ВНИЦлесресурс, 1992. 246 с.
- Страхов В.В.* Состояние лесных ресурсов европейско-уральской части России // Леса русской равнины. М., 1993. С. 201–208.
- Судачкова Н.Е.* Состояние и перспективы изучения влияния стрессов на древесные растения // Лесоведение. 1998. № 2. С. 3–9.
- Сурина Е.А.* Антропогенные изменения в углеродном цикле лесных экосистем Нижнего Подвинья и система мероприятий по его оптимизации: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. АГТУ, Архангельск, 2003. 20 с.
- Суслов А.В.* Состояние сосновых насаждений в условиях автотранспортного загрязнения в районе г. Екатеринбурга: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. УЛГУ, Екатеринбург, 2011. 21 с.
- Сустапова О.В.* Структура и динамика сосновых древостоев искусственного происхождения в условиях степного Зауралья: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УЛГУ, 2004. 22 с.
- Тамаркин М.Л.* О весовом методе учета древесного сырья // Лесная пром-сть. 1968. № 7. С. 15.
- Тарбаева В.М.* Влияние аэротехногенного загрязнения на развитие семян сосны обыкновенной на ранних стадиях // Лесной журн. 1997. № 5. С. 103–107.
- Тарко А.М., Бакадыров А.В., Крючков В.В.* Моделирование действия атмосферных загрязнений на лесные экосистемы в регионе // ДАН. 1995. Т. 341. № 4. С. 571–573.
- Тарханов С.Н.* Состояние лесных экосистем в условиях атмосферного загрязнения на Европейском Севере: Автореф. дис... д-ра биол. наук. Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2011. 38 с.
- Татарников Д.В.* О методических аспектах постановки экологических экспериментов (реплика на статью М.В. Козлова) // Журнал общей биологии. 2005. Т. 66. № 1. С. 90–93.
- Теребова Е.Н., Сазонова Т.А., Шредерс С.М.* Количественные связи между содержанием азотных соединений сосны обыкновенной и ели сибирской и уровнем аэротехногенного загрязнения // Лесоводство Севера на рубеже столетий: Тр. XI съезда РГО. СПб., 2000. С. 179–181.
- Терехов Г.Г., Усольцев В.А.* Фитомасса 9-летних ельников искусственного происхождения в связи со способом их формирования на Среднем Урале // Экологические проблемы Севера. Межвуз. сб. научных тр. Вып. 8. Архангельск: АГТУ, 2005. С. 107–108.
- Терсков И.А., Терскова М.И.* Рост разновозрастных древостоев. Новосибирск: Наука, 1980. 206 с.

- Технеряднов А.В., Шоманов Ж.Ш.* Определение весового запаса стволов с помощью условной плотности древесины в культурах сосны Чалдайского лесхоза // Науч. тр. КазСХИ. 1976. Т.19. № 3. С. 93–100.
- Тонкасов А.В.* О накоплении зеленой массы в сосняках // Лесн. журнал. 1967. № 3. С. 45–48.
- Торлопова Н.В.* Сосновые леса // Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. С. 68–72.
- Торлопова Н.В., Робакидзе Е.А.* Влияние поллутантов на хвойные фитоценозы (на примере Сыктывкарского лесопромышленного комплекса). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 147 с.
- Трубина М.Р.* Направленность динамики лесных фитоценозов в районах действия предприятий цветной металлургии // Проблемы лесоведения и лесной экологии. Тезисы докл. Ч. 2. М.: АН СССР, 1990. С. 612–614.
- Трубина М.Р., Махнев А.К.* Динамика напочвенного покрова лесных фитоценозов в условиях хронического загрязнения фтором // Экология. 1997. № 2. С. 90–95.
- Тужилкина В.В.* Реакция пигментной системы хвойных на длительное азротехногенное загрязнение // Экология. 2009. № 4. С. 243–248.
- Туренков Н.И., Жигарев П.Ф., Сапун В.П.* Влияние отходов нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности на загрязнение почв и растительности // Влияние промышленного загрязнения на лесные экосистемы и мероприятия по повышению их устойчивости: Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. совещ. ЛитНИИЛХ 26–27 июня 1984. Каунас, 1984. С. 159–161.
- Тутубалин В.Н., Барабашева Ю.М., Григорян А.А., Девяткова Г.Н., Угер Е.Г.* Математическое моделирование в экологии: Историко-методологический анализ. М.: Языки русской культуры. 1999. 208 с.
- Тябера А.П.* Методические аспекты исследований и некоторые рекомендации по стабилизации деструкции сосновых молодняков в условиях локального загрязнения окружающей среды. Каунас: ЛитСХА, 1982. 12 с.
- Уварова С.С.* Динамика запасов фитомассы деревьев липы на примере Ачитского лесхоза Свердловской области // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 26. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 38–40.
- Уварова С.С.* Рост и фитомасса древостоев липы в Свердловской области: Дис... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. 239 с. (фонды УГЛТУ).
- Ужесова И.А., Капранов А.В., Коковкина Т.Ф., Патрушева Т.В.* Влияние промышленных выбросов криолитового завода на накопление фтора и серы в сосновых насаждениях // Проблемы лесоведения и лесной экологии. Тезисы докл. Ч. 2. М.: АН СССР, 1990. С. 614–616.
- Усольцев В.А.* Взаимосвязь некоторых таксационных элементов кроны и ствола у березы пушистой в Северном Казахстане // Вестник сельскохозяйственной науки (Алма-Ата). 1971а. № 2. С. 80–84.
- Усольцев В.А.* Березовые сучья – сырье для производства древесно-стружечных плит // Информатор ЛатНИИЛХИ: Обзоры текущих исследований. Рига: ЛатНИИЛХИ, 1971б. С. 78–83.
- Усольцев В.А.* Вес кроны березы и осины в насаждениях Северного Казахстана // Вестник с.-х. науки (Алма-Ата). 1972. № 4. С. 77–80.
- Усольцев В.А.* Элементы биологической продуктивности березово-осиновых лесов Северного Казахстана: Автореф. дис... канд. с.-х. наук. Свердловск: УЛПИ, 1973. 26 с.
- Усольцев В.А.* Фитомасса крон спелых березово-осиновых насаждений в Северном Казахстане // Лесоведение. 1974. № 2. С. 86–88.
- Усольцев В.А.* Тонкомерные сорпименты березы и осины для производства древесно-стружечных плит // Плиты и фанера: Реф. информация. 1975. № 10. С. 6–7.
- Усольцев В.А.* Формирование ствола у березы семенного и порослевого происхождения в аспекте аллометрического роста // Вестн. с.-х. науки Казахстана. 1976а. № 7. С. 83–88.
- Усольцев В.А.* Применение регрессионного анализа при исследовании возрастной динамики фитомассы березы и осины // Лесоведение. 1976б. № 1. С. 35–39.
- Усольцев В.А.* Высота замера диаметра ствола как дополнительный фактор при оценке объема дерева // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1983. № 3. С. 81–83.

- Усольцев В.А. О точности регрессионной оценки фитомассы древостоев // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 1984. № 8. С. 77–83.
- Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 1985а. 191 с.
- Усольцев В.А. Использование текущего прироста радиуса ствола в многомерной оценке фитомассы деревьев // Закономерности роста и производительности древостоев: Тез. докл. Каунас: ЛитСХА, 1985б. С. 95–97.
- Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы древостоев. Новосибирск: Наука, 1988. 253 с.
- Усольцев В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 216 с.
- Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: УрО РАН, 1998а. 540 с.
- Усольцев В. А. О вкладе российских ученых в формирование банка данных о фитомассе лесов // Лесная таксация и лесоустройство: Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: СибГТУ, 1998б. С. 50–55.
- Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 708 с.
- Усольцев В.А. Зарисовки с Байкала // Веси. 2007а. № 11. С. 58–60.
- Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007б. 637 с.
- Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.
- Усольцев В.А., Антропов А.И. Структура надземной фитомассы пихтарников травяно-зеленомошных на Среднем Урале // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. Сб. научн. статей. Вып. 1. Брянск: БГИТА, 2001. С. 29–31
- Усольцев В.А., Бачурина А.В., Бергман И.Е., Трубина М.Р. Биологическая продуктивность насаждений вблизи медеплавильных заводов Урала // Леса России и хозяйство в них. 2012а. № 1 (в печати).
- Усольцев В.А., Белоусов Е.В., Терехов Г.Г. Терентьев В.В., Платонов И.В., Терин А.А. Биологическая продуктивность культур сосны в Сухоложском лесхозе Свердловской области // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. научных трудов. Вып. 9. Брянск: БГИТА, 2004б. С. 57–60.
- Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е., Борников А.В., Жанабаева А.С. Влияние промышленных выбросов на биологическую продуктивность лесных экосистем Урала // Лесная таксация и лесоустройство. Межвуз. науч.-практ. журн. 2011а. № 1–2 (45–46). С. 58–69.
- Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Борников А.В., Жанабаева А.С., Бачурина А.В., Кох Е.В., Мезенцев А.Т., Крудышев В.В., Лазарев И.С. Реакция биопродуктивности насаждений на загрязнения от Карабапского медеплавильного комбината // Леса России и хозяйство в них. 2011б. № 3 (40). С. 33–44.
- Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Хантемирова Е.В., Бергман И.Е., Уразова А.Ф. Исследование биологической продуктивности насаждений по градиентам аэрозагрязнений: методический анализ и перспективы // Вестник MagI TУ (Йошкар-Ола). 2009. № 2(6). С. 67–76.
- Усольцев В.А., Канунникова О.В., Платонов И.В. Исследование ошибок при оценке углеродного пула лесов посредством аллометрических моделей // Современные проблемы устойчивого управления лесами, инвентаризации и мониторинга лесов. Матер. междунар. конф. С.-Петербург: СПбГЛТА, 2006. С. 363–370.
- Усольцев В.А., Кофман Г.Б., Кричун В.М. Применение логарифмического полинома при составлении таблиц хода роста насаждений // Экология лесных сообществ Северного Казахстана. Л.: Наука, 1984. С. 155–158.
- Усольцев В.А., Кративина О.А., Максимов С.В., Власенко В. Э. Фитомасса древесного яруса по высотному градиенту Конжаковского Камня // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 24. Екатеринбург: УЛГУ, 2004в. С. 144–147.
- Усольцев В.А., Крудышев В.В., Лазарев И.С. Первичная продукция кедровников на Урале // Актуальные научные вопросы: реальность и перспективы. Сб. науч. трудов. Ч. 2. Тамбов: «Бизнес-Наука-Общество», 2012б. С. 142–143.

Усольцев В.А., Марковский В.И., Максимов С.В., Ефименко О.А., Петелина О.А., Щукин А.В., Платонов И.В., Белоусов Е.В., Терентьев В.В. Распределение запасов органического углерода на территории Свердловской области // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 23. Екатеринбург: УГЛТА, 2002в. С. 104–115.

Усольцев В.А., Мельникова И.В., Нагимов З.Я., Теткин С.В. Оценка массы крон сосны с использованием биологически обусловленных взаимосвязей // Лесн. журн. 1994. № 2. С. 7–14.

Усольцев В.А., Нагимов З.Я., Фимушин А.Б., Логинов М.В., Азаренок М.В., Колтунова А.И., Галако В.А. Структура надземной фитомассы лиственничников в низовьях р. Пур // Лесная таксация и лесоустройство. Межвуз. сб. научн. трудов. Красноярск: СибГТУ, 1999. С. 24–28.

Усольцев В.А., Ненашев Н.С., Белоусов Е.В., Залесов С.В., Терин А.А., Терехов Г.Г., Терентьев В.В. Сравнительный анализ надземной фитомассы культур сосны Урала и Западной Сибири // Изв. вузов. Лесной журн. 2005б. № 3. С.34–42.

Усольцев В.А., Ненашев Н.С., Терентьев В.В., Белоусов Е.В., Платонов И.В. Биологическая продуктивность сосняков естественного и искусственного происхождения в Тургайском прогибе // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 10. Брянск: БГИТА, 2005а. С. 67–69.

Усольцев В.А., Сальников А.А., Горбунова С.А., Нагимов З.Я. Принципы формирования баз данных о фитомассе лесов России и Швейцарии // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 18. Екатеринбург: УГЛТА, 1995. С. 198–227.

Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Бирюкова А.М., Канунникова О.В., Семьшев М.М., Баранковских Е.В. Фракционное распределение углерода в фитомассе культур на Урале в связи со способами их создания и ухода // Актуальные проблемы лесного комплекса. Вып. 19. Брянск: БГИТА, 2007. С. 72–75.

Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Бирюкова А.М., Марковский В.И., Ефименко О.А. Структура фитомассы 20-летних еловых культур на Среднем Урале // Леса Европейского региона – устойчивое управление и развитие. Матер. конф. Ч. 1. Минск: БГТУ, 2002а. С. 81–84.

Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Бирюкова А.М., Марковский В.И., Крапивина О.А. Фитомасса еловых культур на Среднем Урале // Экология: Наука, образование, воспитание. Вып. 3. Брянск: БГИТА, 2002б. С. 48–51.

Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Бирюкова А.М., Марковский В.И., Ефименко О.А. Первичная продукция фитомассы 20-летних еловых культур на Среднем Урале // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. Матер. конфер. Брянск: БГИТА, 2003а. С. 43–46.

Усольцев В.А., Терехов Г.Г., Бирюкова А.М., Крапивина О.А. Биологическая продуктивность 20-летних еловых культур на Среднем Урале // Актуальные проблемы лесного комплекса. Сб. научных трудов. Вып. 9. Брянск: БГИТА, 2004а. С. 53–57.

Усольцев В.А., Усольцева Р.Ф. Аппроксимирование надземной фитомассы берёзы и осины по диаметру и высоте ствола // Вестн. с.-х. науки Казахстана. 1977. № 7. С. 83–89.

Усольцев В.А., Часовских В.П., Воронов М.П., Кох Е.В. Биологическая продуктивность лесов России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2011620380. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Москва. 23 мая 2011а.

Успенский В.В. Изменчивость плотности древесины сосны и ее использование в лесной таксации // Лесн. журнал. 1980. № 6. С. 9–12.

Уткин А.И. Основные направления в исследованиях по биологической продуктивности лесных фитоценозов за рубежом // Лесоведение. 1969. № 1. С. 63–83.

Уткин А.И. Исследования по первичной биологической продуктивности лесов в СССР // Лесоведение. 1970. № 3. С. 58–89.

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. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение. 1995. № 5. С. 3–20.

Уткин А.И., Дылис Н.В. Изучение вертикального распределения фитомассы в лесных биогеоценозах // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1966. Т. 71. Вып. 6. С. 79–91.

Уткин А.И., Ермолова Л.С. Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной в Ульяновском Заволжье // Лесоведение. 1979. № 3. С. 3–15.

Уткин А.И., Рождественский С.Г., Гульбе Я.И. Анализ продукционной структуры древостоев. М.: Наука, 1988. 240 с.

- Феклистов П.А., Тутыгин Г.С., Дрожжин Д.П.* Состояние сосновых древостоев в условиях аэротехногенного загрязнения атмосферы. Архангельск: АГТУ, 2005. 132 с.
- Фильрозе Е.М.* Лесорастительное районирование Миасского леспромхоза. Южный Урал. Челябинская область // Типы и динамика лесов Урала и Зауралья // Тр. Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР. Свердловск, 1965. Вып. 53. С. 89–118.
- Фимушин Б.С.* Особенности строения антропогенных сосновых древостоев // Лесное хозяйство. Сб. науч. тр. УЛГИ. Свердловск, 1976. № 32. С. 103–107.
- Фимушин Б.С.* Закономерности роста сосновых древостоев и методика оценки ущерба, наносимого им промышленными выбросами в условиях пригородной зоны Свердловска: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск: УЛГИ, 1979. 20 с.
- Фимушин Б.С.* Зависимость текущего прироста сосновых древостоев от размеров ассимилирующей поверхности в зоне промышленных выбросов на Урале // Мониторинг лесных экосистем. Каунас: Каунас-Академия, 1986. С. 247–248.
- Фирсова В.И., Павлова Т.С., Прокопович Е.В.* Круговой обмен веществ в еловых лесах в геохимически сопряженных ландшафтах Урала // Экология. 1993. № 4. С. 33–39.
- 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.
- Фоменко В.Н., Стрекалова Э.Е.* Мутагенное действие некоторых промышленных ядов в зависимости от концентрации и времени экспозиции // Токсикология новых промышленных химических веществ. М., 1973. Вып. 13. С. 51–57.
- Фомин В.В.* Морфофизиологическая оценка состояния сосновых молодняков в зоне действия атмосферных загрязнений Первоуральско-Ревдинского промышленного узла: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТА, 1998. 23 с.
- Фуксман И.Л., Ивонис И.Ю., Габукова В.В. и др.* Основные физиолого-биохимические показатели ранней диагностики состояния соснового древостоя в условиях техногенного загрязнения // Проблемы антропогенной трансформации лесных биогеоценозов Карелии. Петрозаводск: КарНЦ АН СССР, 1996. С. 40–52.
- Ханбеков Р.И.* Запасы надземной фитомассы в темнохвойно-лиственных молодняках Уфимского плато // Краткие тез. докл. научн. конф. молодых ученых. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972а. Вып. 2. С. 23–29.
- Ханбеков Р.И.* Лесовосстановительные процессы в темнохвойно-широколиственных лесах Уфимского плато: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск: УЛГИ, 1972б. 18 с.
- Харук В.И., Винтербергер К., Цибульский Г.М. и др.* Техногенное повреждение притундровых лесов норильской долины // Экология. 1996. № 6. С. 424–430.
- Храмов А.А., Валуцкий В.И.* Лесные и болотные фитоценозы Восточного Восточного Восточного (структура и биологическая продуктивность). Новосибирск: Наука, 1977. 221 с.
- Храмова Н.Ф., Храмов А.А.* Семенная продуктивность и фитомасса кедра сибирского // Биология семенного размножения хвойных Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. С. 95–105.
- Цветков В.Ф.* Повреждение лесов промышленными выбросами медно-никелевого комбината Мурманской области // Ботанические исследования за полярным кругом. Кировск, 1990а. С. 185–196.
- Цветков В.Ф.* Эколого-биогеоценотические аспекты техногенной деградации еловых лесов Кольского полуострова // Проблемы лесоведения и лесной экологии. Тез. докл. Ч. 2. М., 1990б. С. 618–621.
- Цветков В.Ф., Цветков И.В.* Лес в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск: ОГУП «Соломбальская типография», 2003. 354 с.
- Чазов Б.А.* Восточный (горный) лесной естественно-исторический район Молотовской области. Уч. зап. Пермского ун-та, 1956. Т. 10. № 2.
- Челядинова А.И.* Количество и характер развития хвои в сосновом насаждении // Труды ВНИИЛХ. 1941. Вып. 21. С. 30–50.
- Чепурко Н.Л.* Структура и годовой баланс биомассы в лесах Хибинского горного массива // Почвы и продуктивность растительных сообществ. Вып. 1. М.: Изд-во МГУ, 1972. С. 94–116.
- Черненко Т.В.* Результаты системного подхода к исследованию лесных экосистем в окрестностях источника химического загрязнения // Мониторинг лесных экосистем. Тез. докл. Каунас-Академия, 1986. С. 205–206.

- Черненкова Т.В.* Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.
- Чертковской В.Г., Елизаров Ф.П., Семенов Б.А., Корняк В.С.* Лесорастительные условия и продуктивность предтундровых лесов // Экология таежных лесов. Архангельск: АИЛИЛХ, 1978. С. 32–42.
- Чиллингуорт Д.* Структурная устойчивость математических моделей. Значение методов теории катастроф // Математическое моделирование. Под ред. Дж. Эндрюса и Р. Мак-Лоуна. М.: Мир, 1979. С. 249–276.
- Чуваев П.П., Кулагин Ю.З., Гетко Н.В.* Вопросы индустриальной экологии и физиологии растений. Минск: Наука и техника, 1973. 53 с.
- Шавнин С.А.* Морфофизиологическая диагностика состояния древостоев хвойных в экологическом мониторинге: Автореф. дис... докт. биол. наук. ИЭРиЖ УрО РАН, Екатеринбург, 1994. 32 с.
- Шавнин С.А., Калинин В.А., Свешников В.А., Бойкова Е.И.* Оценка состояния сосновых молодняков в зоне атмосферных загрязнений Ревдинско-Первоуральского промышленного узла // Лесной журн. 1996. № 4–5. С. 58–68.
- Шадрина Н.И.* Продуктивность надземной биомассы болотных лесов Тавдинского Зауралья // Лесоведение. 1968. № 4. С. 39–47.
- Шамурин В.Ф.* Запасы фитомассы в некоторых тундровых сообществах района Воркуты // Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар, 1970. С. 25–29.
- Шелуха В.И.* Изменение сосновых биогеоценозов зоны широколиственных лесов при хроническом воздействии веществ щелочного типа: Автореф. дис.... докт. с.-х. наук. Брянск: БГИТА, 2003. 34 с.
- Шелуха В.И.* Состояние спелых и перестойных ельников в районе техногенеза // ИВУЗ. Лесной журнал. 2011. № 2. С. 23 – 29.
- Швиденко А.З., Нильссон С.* Динамика лесов России в 1961–1993 годах и глобальный углеродный бюджет // Лесная таксация и лесоустройство. Межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: КГТА, 1997. С. 15–23.
- Шиятов С.Г.* Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
- Шиятов С.Г.* Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Южного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 216 с.
- Шмальгаузен И.И.* Определение основных понятий и методика исследования роста // Рост животных. М., Л.: Гбс. изд-во биолог. и мед. лит., 1935. С. 8–60.
- Шмальгаузен И.И.* Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука, 1968. 224 с.
- Штибе У.Л.* Количественные показатели элементов крон ели в спелых ельниках-кисличниках Латвийской ССР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Елгава: ЛатСХА, 1967. 23 с.
- Шяптеня Я.* Антропоустойчивость сосняков к локальному загрязнению воздуха // Исследование и моделирование роста лесных насаждений, произрастающих в условиях загрязненной природной среды. Сб. научн. тр. Каунас-Академия, 1987. С. 66–73.
- Шяптеня Я., Вяцкус Л.* Методика оценки состояния хвойных лесов в процессе лесоустройства при локализованном загрязнении среды // Лесн. хоз-во. 1986. № 10. С. 47–49.
- Щербатов Н.М., Зайцева Н.Л.* Биометрическая характеристика спелых ельников юга Карелии // Лесные растительные ресурсы южной Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1971. С. 22–40.
- Юкнис Р.* Закономерности динамики одновозрастных древостоев в условиях загрязненной природной среды // Исследование и моделирование роста лесных насаждений, произрастающих в условиях загрязненной природной среды. Сб. научн. тр. Каунас-Академия, 1987. С. 74–95.
- Юсунов И. А.* Состояние и устойчивость искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов на Среднем Урале : дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛТА, 1996. 107 с. (фонды УИЛГУ).
- Юсунов И.А., Залесов С.В., Луганский Н.А.* Надземная фитомасса искусственных молодняков сосны в условиях аэропромвыбросов на Среднем Урале // Биологическая ре-

- культивация нарушенных земель. Матер. междунар. совещ. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 266–278.
- Юсунов И.А., Луганский Н.А., Залесов С.В. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов. Екатеринбург: УГЛТА, 1999. 185 с.
- Яблоков А.С. Культура лиственницы и уход за насаждениями. М.: Гослесбуиздат, 1934. 128 с.
- Ярмишко В.Т. Формирование фитомассы хвои в сосновых молодняках Кольского полуострова // Ботан. журн. 1989. Т. 74. № 9. С. 1376–1386.
- Ярмишко В.Т. Состояние ассимиляционного аппарата сосны // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: БИН им. В.Л. Комарова АН СССР, 1990а. С. 55–64.
- Ярмишко В.Т. Особенности роста и формирования надземной фитомассы сосны // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: БИН им. В.Л. Комарова АН СССР, 1990б. С. 65–78.
- Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 1997. 210 с.
- Ярмишко В.Т. Из истории экологических исследований в Ботаническом институте им. В.Л. Комарова РАН // Проблемы экологии растительных сообществ. СПб.: ООО «ВВМ», 2005. С. 9–19.
- Ярмишко В.Т. Крона дерева как индикатор его состояния в условиях техногенного загрязнения окружающей среды // Динамика лесных сообществ северо-запада России. СПб.: Изд-во «ВВМ», 2009. С. 28–57.
- Ярмишко В.Т., Борисова О.В., Ярмишко М.А. Многолетняя динамика состояния южнотаежных лесов в условиях промышленного атмосферного загрязнения // Динамика лесных сообществ северо-запада России. СПб.: Изд-во «ВВМ», 2009. С. 120–156.
- Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А. Радиальный прирост *Pinus sylvestris* (*Pinaceae*) на северном пределе распространения // Ботан. журн. 2004. Т. 89. Вып. 7. С. 1092–1111.
- Ågren G.I. Problems involved in modelling tree growth // *Studia forestalia suecica*. 1981. No. 160. P. 7–18.
- Alban D.H., Laidly P.R. Generalized biomass equations for jack and red pine in the Lake States // *Can. J. For. Res.* 1982. Vol. 12. P. 913–921.
- Alberti M., Parker J.D. Indices of environmental quality. The search for credible measures // *Environmental Impact Assessment Review*. 1991. Vol. 11. P. 771–775.
- Albrektsen A. Relations between tree biomass fractions and conventional silvicultural measurements // *Ecol. Bull.* 1980. No. 32. P. 315–327.
- Aldred A.H., Alemdag I.S. Guidelines for forest biomass inventory. Information Report PI-X-77. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, 1988. 133 p.
- Alemdag I.S. Aboveground-mass equations for six hardwood species from natural stands of the research forest at Petawawa // *Can. For. Service, Petawawa Inst.* 1981. Inf. Rep. PI-X-6. 9 p.
- Alemdag I.S., Horton K.W. Single-tree equations for estimating biomass of trembling aspen, largetooth aspen and white birch in Ontario // *For. Chron.* 1981. Vol. 57. P. 169–173.
- Antonovics J., Bradshaw A.D., Turner R.G. Heavy metal tolerance in plants // *Adv. Ecol. Res.* 1971. No. 7. P. 1–85.
- Ares A., Fownes J.H. Comparisons between generalized and specific tree biomass functions as applied to tropical ash (*Fraxinus uhdei*) // *New Forests*. 2000. Vol. 20. P. 277–286.
- Assmann E. Waldertragskunde: Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. München, Bonn, Wien: BLV Verlagsgesellschaft, 1961. 492 s.
- Athari S., Kramer H. Zur Problematik der Erfassung von umweltbedingten Zuwachsverlusten in Fichtenbeständen // *Forst-und Holzwirt.* 1983. Bd. 38. H. 8. S. 204–206.
- Attwill P.M. Estimating branch dry weight and leaf area from measurements of branch girth in *Eucalyptus* // *Forest Sci.* 1962. Vol. 8. No 2. P. 132–141.
- Attwill P.M. A method for estimating crown weight in *Eucalyptus* and some other implications of relationships between crown weight and stem diameter // *Ecology*. 1966. Vol. 47. P. 795–804.
- Bache D.H. Particulate transport within canopies. Prediction of deposition velocity // *Atmos. Environ.* 1979. Vol. 13. No 12. P. 1681–1687.
- Backman G. Drei Wachstumsfunktionen (Verhulst's, Gompertz', Backman's.). *Wilhelm Roux'Arch. Entwicklungsmechanik der Organismen*. 1938. No 138. S. 37–58.

- Baldini S., Berti S., Cutini A., Mannucci M., Mercurio R., Spinelli R.* Prove sperimentali di primo diradamento in un soprassuolo di pino maritimo (*Pinus pinaster* Ait.) originato da incendio: aspetti selvicolturali, di utilizzazione e caratteristiche della biomassa (Preliminary results of the first thinning in a Maritime pine's (*Pinus pinaster* Ait.) stand originated from fire) // *Annali dell' Istituto sperimentale per la selvicoltura*. 1989. Vol. 20. P. 385–436 (in Ital.).
- Barnsley M.* Fractals everywhere. Boston: Academic Press Inc., 1988. 396 p.
- Bartelink H.H.* Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir // *For. Ecol. Manage.* 1996. Vol. 86. P. 193–203.
- Bartelink H.H.* Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L.) // *Ann. Sci. Forest.* 1997. Vol. 54. P. 39–50.
- Baskerville G.L.* Dry-matter production in immature balsam fir stands // *Forest Sci. Monograph*. 1965a. No. 9. P. 1–42.
- Baskerville G.L.* Estimation of dry weight of tree components and total standing crop in conifer stands // *Ecology*. 1965. Vol. 46. P. 867–869.
- Baskerville G.L.* Use of logarithmic regressions in the estimation of plant biomass // *Can. J. For. Res.* 1972. Vol. 2. P. 49–53.
- Baskerville G.L.* Balsam fir foliage regressions are age dependent. *Can. J. For. Res.* 1983. Vol. 13. P. 1248–1251.
- Beauchamp J.J., Olson J.S.* Corrections for bias in regression estimates after logarithmic transformation // *Ecology*. 1973. Vol. 54. P. 1403–1407.
- Ben Brahim M., Gavaland A., Cabanettes A.* Generalized allometric regression to estimate biomass of *Populus* in short-rotation coppice // *Scand. J. For. Res.* 2000. Vol. 15. P. 171–176.
- Berezovskaya F.S., Karev G.P., Kisliuk O.F., Khlebopros R.G., Tsel'niker Yu. L.* Fractal approach to computer-analytical modeling of tree crown // *Internal Report IC/92/267*. Miramare-Trieste, 1993. 12 p.
- Berezovskaya, F.S., Karev, G.P., Kisliuk, D.S., Khlebopros, R.G., Tsel'niker, Y.L.* A fractal approach to computer-analytical modelling of trees crowns. *Trees*. 1997. Vol. 11. P. 323–327.
- Bickelhaupt D.H., Leaf A.L., Richards N.A.* Effect of branching habit on above-ground dry weight estimates of *Acer saccharum* stands // *IUFRO biomass studies*. University of Maine, Orono, 1973. P. 221–230.
- Blanche C.A., Hodges J.D., Nebeker T.E.* A leaf area – sapwood area ratio developed to rate loblolly pine tree vigor // *Can. J. For. Res.* 1985. Vol. 15. P. 1181–1184.
- Bonnor G.M.* Inventory of forest biomass in Canada // *Can. For. Service*. Petawawa Nat. Forestry Inst., 1985. 63 p.
- Bortitz S.* Einflüsse industrieller Immissionen auf die Vegetation // *Biol.* 1974. Vol. 93. P. 341–349.
- Bradshaw A.D., McNeilly T.* Evolution and pollution. The Institute of Biology, Studies in Biology. London, 1981. No. 130. 127 p.
- Brassel P., Schwyzer A.* Ergebnisse der Waldschadeninventur 1992 // *Sanasilva – Waldschadenbericht* 1992. Bern und Birmensdorf: WSL, 1992. S. 7–18.
- Brown J.K.* Estimating shrub biomass from basal stem diameters // *Can. J. For. Res.* 1976. Vol. 6. P. 153–158.
- Bucher J.B.* Waldsterben – was verstehen wir darunter, wie ist die Situation in der Schweiz? // *Schweiz. Zeitschrift Forstwes.* 1984. Vol. 135. No. 11. P. 905–914.
- Buech R.R., Rugg D.J.* Biomass relations of shrub components and their generality // *Forest Ecol. Manage.* 1989. Vol. 26. P. 257–264.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. I. Mitteilung: die Weymouthsföhre // *Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen*. 1929. Bd. XV. H. 2. S. 243–292.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. II. Mitteilung: die Douglasie // *Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen*. 1935. Bd. XIX. H. 1. S. 20–72.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. III. Mitteilung: Nadelmenge und Zuwachs bei Föhren und Fichten verschiedener Herkunft // *Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen*. 1937. Bd. XX. H. 1. S. 100–114.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. IV. Mitteilung: Ein 80 jähriger Buchenbestand // *Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen*. 1940. Bd. XXI. H. 2. S. 306–348.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. V. Mitteilung: Fichten und Föhren verschiedener Herkunft auf verschiedenen Kulturorten // *Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen*. 1941. Bd. XXII. H. 1. S. 9–62.

- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. VI. Mitteilung: Ein Plenterwald mittlerer Standortsgüte. Der bernische Staatswald Toppwald im Emmental // Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen. 1942. Bd. XXII. H. 2. S. 376–445.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. VII. Mitteilung: Die Lärche // Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen. 1945. Bd. XXIV. H. 1. S. 7–103.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. VIII. Mitteilung: Die Eiche // Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen. 1947. Bd. XXV. H. 1. S. 210–279.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. IX. Mitteilung: Die Föhre // Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen. 1948. Bd. XXV. H. 2. S. 432–493.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. X. Mitteilung: Die Buche // Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen. 1950. Bd. XXVI. H. 2. S. 418–468.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. XI. Mitteilung: Die Tanne // Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen. 1951. Bd. XXVII. S. 246–286.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. XII. Mitteilung: Fichten im Plenterwald // Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen. 1952. Bd. XXVIII. S. 108–156.
- Burger H.* Holz, Blattmenge und Zuwachs. XIII. Mitteilung: Fichten in gleichaltrigen Hochwald // Mitt. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen. 1953. Bd. XXIX. S. 38–130.
- Busse W.* Baumkrone und Schaftzuwachs // Forstwissenschaft. Centralblatt. 1930. Bd. 52. S. 310–318.
- Bussotti F., Calderisi M., Cenni E. et al.* Status and change of tree crown condition at the CONECOFOR plots, 1996–2005 // *Annali C.R.A.-SEL*, 2005–2006, 34: 21–28 (Special Issue – Ecological condition of selected forest ecosystems in Italy. Status and changes 1995–2005).
- Cannell M.G.R.* World forest biomass and primary production data. London: Academic Press, 1982. 391 p.
- Cantiani M.* Tavola di produttività della biomassa arborea // Ricerche Sperimentale di Dendrometria e di Auxometria. Fascicolo V. Prime indagini sulla biomassa dell' abete bianco. Istituto di Assestamento Forestale, Facoltà di Agraria, Università degli studi di Firenze, Florence. 1974. P. 41–57 (in Ital.).
- Cemy J., Cudlin P., Sefma L., Buzek F., Havel M., Krejci R., Paces P., Novak M., Groscheova H., Moravcik P., Novak F.* Tree biomass data (CD-ROM Database) // Schulze E.D. (ed.). Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems // *Ecological Studies*. Springer, Berlin. 2000. Vol. 142.
- Chave J., Riera, B., Dubois, M.A.* Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability. *J. Trop. Ecol.* 2001. Vol. 17. P. 79–96.
- Chave J., Condit R., Aguilar S. et al.* Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates // *Phil. Trans. Royal Soc. London B.* 2004. Vol. 359. P. 409–420.
- Chibisov G.A.* Bioproductivity of spruce stands in northern European Russia // *Water, Air and Soil Pollution*. 1995. Vol. 82. No. 1–2. P. 87–96.
- Chiyenda, S., Kozak, A.* Some comments on choosing regression models for biomass prediction equations. *For. Chron.* 1982. Vol. 58. P. 203–204.
- Ciesia W.M., Donaubauer E.* Decline and dieback of trees and forests: a global overview // *FAO Forestry Paper*. Rome, 1994. Vol. 120. 90 p.
- Claesson S., Sahlen K., Lundmark T.* Functions for biomass estimation of young *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula spp.* from stands in Northern Sweden with high stand densities // *Scand. J. For. Res.* 2001. Vol. 16. P. 138–146.
- Cochran W.G.* Sampling techniques. 3. Ed. New York: John Wiley & Sons, 1977. 428 p.
- Coughtrey P.J., Jones C.H., Martin M.H., Shales S.W.* Litter accumulation in woodlands contaminated by Pb, Zn, Cd and Cu // *Oecologia (Berl.)*. 1979. Vol. 39. No. 1. P. 51–60.
- Crow T.R.* Estimation of biomass in even-aged stand – regression and “mean tree” techniques // *Forest biomass studies. XV-th IUFRO Congress. University of Florida, USA, 1971.* P. 35–48.
- Crow T.R.* Common regressions to estimate tree biomass in tropical stands // *Forest Science*. 1978. Vol. 24. No. 1. P. 110–114.
- Crow T.R.* Comparing biomass regressions by site and stand age for red maple // *Can. J. For. Res.* 1983. Vol. 13. P. 283–288.
- Cunia T.* On sampling trees for biomass tables construction: some statistical comments // *Forest Resource Inventories Workshop Proceedings. Vol. 2. Colorado State University, 1979.* P. 643–664.

- Cunia T.* Construction of tree biomass tables by linear regression techniques // Estimating tree biomass regressions and their error: Proc. of the workshop on tree biomass regression functions and their contribution to the error of forest inventory estimates. USFA Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station. 1987. NE-GTR-117. P. 27–36.
- De Candolle A.* Géographie botanique raisonnée. Paris, 1855.
- 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.
- Denne M.P., Dodd R.S.* Control of variation in wood quality within hardwood and soft trees // Mitt. Bundesforschungsanstalt Forst und Holzwirtschaft. 1980. No. 131. S. 7–30.
- Diaz E., Madrid L., Cabrera F., Contreras M.C.* Comparison of two methods of sample preparation for determination by atomic absorption spectrophotometry of heavy metals in soils and sediments // Commun. Soil Sci. Plant anal. 1991. Vol. 22. No. 15–16. P. 1559–1568.
- Donaubauer E.* Historical perspectives and international concerns about air pollution effects on forests // Symposium on effects of air pollutants on Mediterranean and temperate forest ecosystems. P.R. Miller, ed. USDA Forest Service. Report PSW-43. 1980. P. 10–12.
- Doucet R., Berglund J.V., Farnsworth C.E.* Dry matter production in 40-year-old *Pinus banksiana* stands in Quebec // Can. J. For. Res. 1976. Vol. 6. P. 357–367.
- Eckstein D., Krause C., Bauch J.* Dendroecological investigation of spruce trees (*Picea abies* (L.) Karst.) of different damage and canopy classes // Holzforschung. 1989. Vol. 43. No. 6. P. 411–417.
- Elfvig B., Tegnhammur L.* Trends of tree growth in Swedish forests 1953–1992: An analysis based on sample trees from the National Forest Inventory // Scand. J. For. Res. 1996. Vol. 11. P. 26–37.
- Enquist B.J., Niklas K.J.* Invariant scaling relations across tree-dominated communities // Nature. 2001. Vol. 410. P. 655–660.
- Evert F.* Système national d'équations pour évaluer la masse anhydre du peuplier faux-tremble *Populus tremuloides* Michx. // Can. For. Service. Petawawa Inst. Inf. Rep. PI-X-24F. 1984. 26 p.
- Feller M.C.* Generalized versus site-specific biomass regression equations for *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* and *Thuja plicata* in Coastal British Columbia // Biores. Technol. 1992. Vol. 39. P. 9–16.
- Fiedler F.* Die Dendromasse eines hiebsreifen Fichtenbestanden // Beitr. Forstwirtschaft. 1986. H. 20. N 4. S. 171–180.
- Finney, D.J.* On the distribution of a variate whose logarithm is normally distributed. J. Roy. Stat. Soc. 1941. Vol. 70. P. 155–161.
- Flury Ph.* Untersuchungen über das Verhältniss der Reissigmasse zur Derbholzmasse // Mitt. Schweiz. Centralanstalt Forstl. Versuchswesen. 1892. Bd. 2. S. 25–32.
- Forest condition in a changing environment – the finnish case // Eino Malkonen, ed. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. 378 p.
- Forest damage and air pollution. Report of the 1988 forest damage survey in Europe. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. Global Environment Monitoring System. Geneva. 1989. 87 p.
- Forward D.F., Nolan N.J.* Growth and morphogenesis in the Canadian forest species. IV. Radial growth in branches and main axis of *Pinus resinosa*. Ait under conditions of open growth, suppression and release // Can. J. Botany. 1961. Vol. 39. P. 385–409.
- Freedman B.* The relationship between the aboveground dry weight and diameter for a wide size range of erect land plants // Can. J. Botany. 1984. Vol. 62. P. 2370–2374.
- Freedman B., Hutchinson T.C.* Long-term effects of smelter pollution at Sudbury, Ontario, on forest community composition // Can. J. Bot. 1980. V. 58. № 19. P. 2123–2140.
- Freer-Smith P.H.* The influence of SO₂ and NO₂ on the growth, development and gas exchange of *Betula pendula* Roth. // New Phytologist. 1985. Vol. 99. P. 417–430.
- Gartside D.W., McNeilly T.* The potential for evolution of heavy metal tolerance in normal populations of different plant species // Heredity. 1974. Vol. 32. No. 3. P. 335–348.
- Goldsmith, L.J., Hocker, H.W., Jr.* Preliminary small-tree above-ground biomass tables for five northern hardwoods. N.H. Agric. Exp. Stn. Res. 1978. Rep. 68.
- Götze H., Günther B., Luthard H., Schulze-Dewitz G.* Eigenschaften und Verwertung des Astholzen von Kiefer (*Pinus silvestris* L.) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*): 2. Mitt. // Holztechnologie. 1972. Bd 13. H.1. S. 20–27.

- Gould S. Allometry and size in ontogeny and phylogeny // *Biol. Rev.* 1966. Vol. 41. P. 587–640.
- Grigal D.F., Kernik L.K. Generality of black spruce biomass estimation equations // *Can. J. For. Res.* 1984. Vol. 14. P. 468–470.
- Hakkila P. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood // *Commun. Inst. Forest. Fenn.* 1966. Vol. 61. No. 5. P. 1–98.
- Harris W.F., Goldstein R.A., Henderson G.S. Analysis of forest biomass pools, annual primary production and turnover of biomass for a mixed deciduous forest watershed // *IUFRO biomass studies*. University of Maine, Orono. 1973. P. 43–64.
- Hartig R. Wachstumsuntersuchungen an Fichten // *Forstlich-naturwissenschaftl. Zeitschrift*. 1896. Bd. 5. S. 1–15, 33–45.
- Hegyfi F. Dry matter distribution in jack pine stands in northern Ontario // *For. Chron.* 1972. Vol. 48. P. 193–197.
- Hoffman C.W., Usoltsev V.A. Tree-crown biomass estimation in forest species of the Ural and of Kazakhstan // *For. Ecol. Manage.* 2002. Vol. 158. P. 59–69.
- Horntvedt R. Crown density of spruce trees related to needle biomass // *Forest Ecol. Manage.* 1993. Vol. 59. P. 225–235.
- Horntvedt R., Christiansen E. Gammelskog og grantorke // *Norsk Skogbruk*. 1979. Vol. 25. P. 21–23.
- Houghton R.A., Hall F., Goetz S.J. Importance of biomass in the global carbon cycle // *J. of Geophysical Research*. 2009. V. 114. P. 1 – 13 (G00E03, doi:10.1029/2009JG000935).
- Huber B. Die physiologische Leistungsfähigkeit des Wasserleitungssystems der Pflanze // *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*. 1925. Bd. 43. S. 410–418.
- Huber B. Aus der Biologie der Baumkrone // *Mitteil. der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft*. 1927. Bd. 38. S. 60–64.
- Huber B. Weitere quantitative Untersuchungen über das Wasserleitungssystem der Pflanze // *Jahrbuch Wiss. Bot.* 1928. H. 67. S. 877–959.
- Hurlbert S.H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments // *Ecological Monographs*. 1984. Vol. 54. P. 187–211.
- Huxley J. Problems of relative growth. Methuen & Co., London, 1932. 296 p.
- Innes J.L. Forest condition and air pollution in the United Kingdom // *Forest Ecol. Manage.* 1992. Vol. 51. P. 17–27.
- Innes J.L., Boswell R.C. Reliability, presentation and relationships among data from inventories of forest condition // *Can. J. For. Res.* 1990. Vol. 20. P. 790–799.
- Jaccard P. Eine neue Auffassung über die Ursachen des Dickenwachstums der Bäume // *Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Forst- und Landwirtschaft*. 1913. Bd. 11. H. 5–6. S. 241–279.
- Jaccard P. Neue Untersuchungen über die Ursachen des Dickenwachstums der Bäume // *Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Forst- und Landwirtschaft*. 1915. Bd. 13. H. 8–9. S. 321–360.
- Jacobs M.W., Monteith D.B. Feasibility of developing regional weight tables // *J. Forestry*. 1981. Vol. 79. P. 676–677.
- Jenkins J.C., Chojnacky D.C., Heath L.S., Birdsey R. National-scale biomass estimators for United States tree species // *Forest Sci.* 2003. Vol. 49. P. 12–35.
- Jenkins J.C., Chojnacky D.C., Heath L.S., Birdsey R.A. Comprehensive database of diameter-based regressions for North American tree species // *USDA Forest Service Northeastern Research Station. General Technical Report NE-319*. 2004. 45 p.
- Johnston R.S., Bartos D.L. Summary of nutrient and biomass data from two aspen sites in western United States // *U. S. For. Service. Interm. For. Range Exp. Stn. Res. Note INT-227*. 1977. 15 p.
- Jokela E.J., Shannon C.A., White E.H. Biomass and nutrient equation for mature *Betula papyrifera* Marsh. // *Can. J. For. Res.* 1981. Vol. 11. P. 298–304.
- Jordan C.F. Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage // *J. Ecology*. 1971. Vol. 59. P. 127–142.
- Kandler O. No relationship between fir decline and air pollution in the Bavarian forest // *Forest Sci.* 1992. Vol. 38. P. 866–869.
- Kaufmann M.R., Watkins R.K. Characteristics of high- and low vigor lodge pole pine trees in old-growth stands // *Tree Physiology*. 1990. Vol. 7. P. 239–246.

- Kauppi P.E., Mielikäinen K., Kuusela K.* Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990 // *Science*. 1992. Vol. 256. P. 70–74.
- Keane M.G., Weetman G.F.* Leaf area – sapwood cross-sectional area relationships in repressed stands of lodgepole pine // *Can. J. For. Res.* 1987. Vol. 17. P. 205–209.
- Keller T.* Auswirkungen niedriger SO₂-Konzentrationen auf junge Fichten // *Schweiz. Z. Forstwesen*. 1980. No. 127. S. 237–251.
- Kenk G.K.* Zum Problemkreis Walderkrankung und Wachstumsforschung // *Forst- und Holzwirt*. 1984. No. 39. S. 435–438.
- Kenk G.K., Kremer W., Brandl H., Burgbacher H.* Die Auswirkungen der Walderkrankung auf Zuwachs und Reinertrag in einem Plenterwaldbetrieb des mittleren Schwarzwaldes // *Allgem. Forstzeitschrift*. 1988. H. 39. S. 692–695.
- Ketterings Q.M., Noordwijk C.M.Y., Ambagau R., Palm C.A.* Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests // *For. Ecol. Manage.* 2001. Vol. 146. P. 199–209.
- Kinerson, R.S., Bartholomew I.* Biomass estimation equations and nutrient N.H. *Agric. Exp. Stn. Res. Rep.* 62. 1977. 8 p.
- Kira, T., Shidei T.* Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific // *Jpn. J. Ecol.* 1967. Vol. 17. P. 70–87.
- Kittredge J.* Estimation of amount of foliage of trees and stands // *J. of Forestry*. 1944. Vol. 42. No. 11. P. 905–912.
- Kiviste A., Korjus H.* Forest scenario modelling for optimal adaptation to possible climate change in Estonia // *Proc. Conf. «Forest scenario modelling at landscape level»*. Wageningen, Netherlands, 1997. P. 1–10.
- Koerper G.J., Richardson C.J.* Biomass and net annual primary production regressions for *Populus grandidentata* on three sites in northern lower Michigan // *Can. J. For. Res.* 1980. Vol. 10. P. 92–101.
- Kolchugina T.P., Vinson T.S.* Equilibrium analysis of carbon pools and fluxes of forest biomes in the former Soviet Union // *Can. J. For. Res.* 1993a. Vol. 23. P. 81–88.
- Kolchugina T.P., Vinson T.S.* Comparison of two methods to assess the carbon budget of forest biomes in the former Soviet Union // *Water, Air and Soil Pollution*. 1993b. Vol. 70. P. 207–221.
- Korsun F.* Život normalniho porostu ve vzorcich // *Lesnicka prace*. 1935. Vol. 14. P. 289–300.
- Kozlov M.V., Zvereva E.L., Zverev V.E.* Impacts of point pollutants on terrestrial biota: Comparative analysis of 18 contaminated areas. Dordrecht: Springer, 2009. 466 p.
- Kozłowski T. T., Keller T.* Food relations of woody plants // *Bot. Rev.* 1966. Vol. 32. P. 293–382.
- Lakida P., Nilsson S., Shvidenko A.Z.* Estimation of forest phytomass for selected countries of the former European USSR // *Working Paper WP-95-79*. IIASA. Laxenburg, Austria. 1995. 33 p.
- Lanly J.P.* Foreword // *Ciesia W.M., Donaubauer E.* Decline and dieback of trees and forests: a global overview // *FAO Forestry Paper*. Rome, 1994. Vol. 120. 90 p.
- Lee D.K., Kim G.T.* Tree form and biomass allocation of *Quercus* species, *Larix leptolepis* Gordon and *Pinus koraiensis* Sieb. Et Zucc. in Kwangju-Gun, Kyunggi-Do // *J. Korean Forest Soc.* 1997. Vol. 86. P. 208–213 (in Korean).
- Le Goff N., Ottorini J.-M.* Leaf development and stem growth of ash (*Fraxinus excelsior*) as affected by tree competitive status // *Journal of Applied Ecology*. 1996. Vol. 33. P. 793–802.
- Lehtonen A., Vayred J.* Biomass expansion factors for Scots pine (*Pinus sylvestris*), comparison between Catalonia and Finland // *COST E21, WG-1 workshop on biomass*, 4–5 July 2002, Besalú, Spain. 5 p.
- Lim M.T.* Nutrient uptake and internal cycling in a mature pine stand. Ph.D. Thesis. Univer. of Edinburgh. 1979.
- Liski J., Perruchoud D., Karjalainen T.* Increasing carbon stocks in the forest soils of Western Europe // *For. Ecol. Manage.* 2002. Vol. 169. P. 163–179.
- Lux H.* Ergebnisse von Zuwachsuntersuchungen (Bohrspananalysen) in Rauchschädensgebiet Dübener Heide // *Archiv für Forstwesen*. 1965. Bd. 14. H. 10. S. 1103–1121.
- Madgwick H.A.I.* Biomass and productivity models of forest canopies. In: Reichle, D.E. (Ed.), *Ecological Studies 1. Analysis of Temperate Forest Ecosystems*. Springer, New York, 1970. P. 47–54.

- Madgwick H.A.I.* Mensuration of forest biomass // Oslo Biomass Studies. Orono: Univ. Maine, 1976. P. 13–27.
- Madgwick H.A.I.* Above-ground weight of forest plots – comparison of seven methods of estimation // N.Z.J. For. Res. 1983. Vol. 13. P. 100–107.
- Madgwick H.A.I., Satoo T.* Aboveground weights of tree stands // Ecology. 1975. Vol. 56. P. 1446–1450.
- Mäkelä A., Vanninen P.* Impacts of size and competition on tree form and distribution of aboveground biomass in Scots pine // Can. J. For. Res. 1998. Vol. 28. P. 216–227.
- Mandelbrot B.B.* The fractal geometry of nature. New York: W.N. Freeman, 1983. 468 p.
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part V: Estimation of growth and yield. UNECE, 2004. 40 p.
- Marklund L.G.* Biomass functions for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Sweden // Department of Forest Survey, Swedish Univ. Agric. Sci., Umeå, Sweden, 1987. 132 p.
- Masera O.R., Garza Caligaris J.F., Kanninen M. et al.* Modelling carbon sequestration in afforestation, agroforestry and forest management projects: the CO2FIX V.2 approach // Ecol. Model. 2003. Vol. 164. P. 177–199.
- McLaughlin S.B.* Effects of air pollution on forests: a critical review // Journal of the Air Pollution Control Association (JAPCA). 1985. Vol. 35. No. 5. P. 512–534.
- McMahon, T.A., Kronauer, R.E.* Tree structure deducing the principle of mechanical design // J. Theor. Biol. 1976. Vol. 59. P. 443–466.
- Menguzzato G., Tabacchi G.* Prove di diradamento su *Pseudotsuga menziesii* in Calabria. Ambiente, tavole di cubatura e della biomassa epigea // Ann. Ist. Sper. Selvicoltura. 1986. Vol. 17. P. 255–293 (in Ital.).
- Menguzzato G., Tabacchi G.* Modelli di previsione del peso fresco, della biomassa e del volume per pino insigne ed eucalitti nell' Azienda Massanova (Salerno) // Ann. Ist. Sper. Selvicoltura. 1988. Vol. 19. P. 323–354 (in Ital.).
- Methven I.R.* Tree biomass equations for young plantation-grown red pine (*Pinus resinosa*) in the Maritime lowlands ecoregion // Can. For. Service, Marit. For. Res. Centre. 1983. Inf. Rep. M-X-147. 15 p.
- Meyer F.N.* Die Rolle des Wurzelsystems beim Waldsterben // Forst- und Holzwirt. 1985. Bd. 40. H. 13. S. 351–358.
- Monk C.D., Child G.I., Nicholson S.A.* Biomass, litter and leaf surface area estimates of an oak-hickory forest // Oikos. 1970. Vol. 21. P. 138–141.
- Morikawa Y.* Sap flow in *Chamaecyparis obtusa* in relation to water economy of woody plants // Bull. Tokyo Univ. Forests. 1974. Vol. 66. P. 251–297 (япон.).
- Mountford M.D., Bunce R.G.H.* Regression sampling with allometrically related variables with particular reference to production studies. Forestry. 1973. Vol. 46. P. 203–212.
- Muhlbaier D.J.* Measurement of dry deposition to surfaces in deciduous and pine canopies // Environ. Pollut. 1987. Vol. 44. No. 4. P. 261–277.
- 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.
- Neumann M., Pollanschütz J.* Untersuchungen über Auswirkungen gasformiger Immissionen auf Waldbestände im Raum Gailitz-Arnoldstein // Carinthia, 1982. Bd. 92. S. 265–288.
- Neumann M., Schieler K.* Vergleich spezieller Methoden zuwachskundlicher Schadensabschätzung // Mitt. Forst. Bundesversuchsanst. Wien. 1981. Bd. 139. S. 49–65.
- Niklas K.J.* Plant allometry. The scaling of form and process. The University of Chicago Press, Chicago, 1994.
- Nilsson S., Blauberg K., Samarskaya E., Kharuk V.* Pollution stress of Siberian forests // Air Pollution in the Ural Mountains. Linkov I. and Wilson R. (eds.). Kluwer Academic Publishers, 1998. P. 31–54.
- Nöjd P., Kauppi P.* Growth of Scots pine in a changing environment // Kola peninsula pollutants and forest ecosystems in Lapland: Final report of the Lapl. forest damage project, 1995. P. 61–65.
- Ogawa H., Shidei T., Kira T.* Principles and methods of estimating primary production in forests // Primary productivity in Japanese forests. JIBP Synthesis: Univ. Tokyo Press. 1977. Vol. 16. P. 29–37.
- Olson J.S., Watts J.A., Allison L.J.* Carbon in live vegetation of major world ecosystems. ORNL-5862. Oak Ridge National Laboratory. Tennessee, 1983. 152 p.

- Osawa A.* Inverse relationship of crown fractal dimension to self-thinning exponent of tree populations: a hypothesis // *Can. J. For. Res.* 1995. Vol. 25. P. 1608–1617.
- Paine T.D., Malinoski M.K., Scriven G.T.* Rating *Eucalyptus* vigor and the risk of insect infestation: leaf surface area and sapwood: heartwood ratio // *Can. J. For. Res.* 1990. Vol. 20. P. 1485–1489.
- Palumets J.K.* Analysis of phytomass partitioning in Norway spruce. Tartu: Univ. Press. VIII Scripta Botanica. 1991. 95 p.
- Pardé J.* Forest biomass // *Forestry Abstracts.* 1980. Vol. 41. No. 8. P. 343–362.
- Parresol B.R.* Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons // *Forest Science.* 1999. Vol. 45. No. 4. P. 573–593.
- Pastor J., Aber J.D., Melillo J.M.* Biomass prediction using generalized allometric regressions for some Northeast tree species // *Forest Ecology and Management.* 1984. Vol. 7. P. 265–274.
- Pastor J., Bockheim J.G.* Biomass and production of an aspen mixed hardwood-spodosol ecosystem in northern Wisconsin // *Can. J. For. Res.* 1981. Vol. 11. P. 132–138.
- Payandeh B.* Choosing regression models for biomass prediction equations. *For. Chron.* 1981. Vol. 57. P. 229–232.
- Peitgen H.O., Saupe D.* The science of fractal images. New York: Springer-Verlag, 1988. 312 p.
- Penner M.* Canada's biomass inventory: deriving biomass from volume // Petawawa Nat. Forestry Inst. IBFRA paper, 1997. 9 p.
- Perala D.A., Alban D.H.* Allometric biomass estimators for aspen-dominated ecosystems in the upper Great Lakes. USDA For. Service. North Central Forest Experiment Station. Res. Paper NC-314. 1993. 38 p.
- Petráš R., Košút M., Oszlányi J.* Listová biomasa stromov smreka, borovice a buka // *Le-snícky Časopis (Bratislava).* 1985. Vol. 31. No. 2. P. 121–136.
- Pielou E.C.* The usefulness of ecological models: a stock-taking // *Quart. Rev. Biol.* 1981. Vol. 56. No. 1. P. 17–31.
- Quellet D.* Biomass prediction equations for twelve commercial species in Quebec // *Canadian Forest Service. Laurentian Forest Research Centre. Inf. Rep. LAU-X-62E.* 1983. 27 p.
- Reeve E., Huxley J.* Some problems in the study of allometric growth // *Essays on growth and form.* Oxford: Univ. Press, 1945. P. 121–156.
- Ribe J.H.* A study of multi-stage sampling and dimensional analysis of puckerbrush stands. The Complete Tree Institute, University of Maine, Orono, ME. Bull. No. 1. 1979.
- Ribe J.H.* Puckerbrush weight tables. Misc. Rep. 152, Life Sciences and Agricultural Experiment Station, University of Maine, Orono, MN, 1973. 92 p.
- Roger L.* Performance of different species and seed origins in the industrial pennines of Northern Britain // *Arch. Ochr. Srodov.* 1981. No. 2–4. P. 107–120.
- Ruark G.A., Martin G.L., Bockheim J.G.* Comparison of constant and variable allometric ratios for estimating *Populus tremuloides* biomass // *Forest Science.* 1987. Vol. 33. No. 2. P. 294–300.
- Salemaa M., Vanha-Majamaa I., Derome J.* Understorey vegetation along a heavy-metal pollution gradient in SW Finland // *Environ. Pollut.* 2001. V. 112. № 3. P. 339–350.
- Santa Regina I., Tarazona T.* Nutrient pools to the soil through organic matter throughfall under a Scots pine plantation in the Sierra de la Demanda, Spain // *Eur. J. S. Biol.* 2001a. Vol. 37. P. 125–133.
- Santa Regina I., Tarazona T.* Organic matter and nitrogen dynamics in a mature forest of common beech in the Sierra de la Demanda, Spain // *Ann. Sci. For.* 2001b. Vol. 58. P. 301–314.
- Satoo T.* Notes on Kittredge method of estimation of amount of leaves of forest stand // *J. Japan. For. Soc.* 1962. Vol. 44. P. 267–272.
- Satoo T.* A synthesis of studies by the harvest method: primary production relations in the temperate deciduous forests of Japan // *Ecological Studies: Analysis and synthesis.* N.Y.; Heidelberg: Berlin: Springer Verl., 1970. Vol. 1: Analysis of temperate forest ecosystems. P. 55–72.
- Satoo T., Kumugi R., Kumekawa A.* Materials for the studies of growth in forest stands. III. Amount of leaves and production of wood in an aspen (*Populus davidiana*) second growth in Hokkaido // *Bull. Tokyo Univ. For.* 1956. Vol. 52. P. 33–51.
- Satoo T., Senda M.* Materials for the studies of growth in stands. 4. Amount of leaves and production of wood in a young plantation of (*Chamaecyparis obtusa*) // *Bull. Tokyo Univ. Forests.* 1958. Vol. 54. P. 71–100 (япон.).

- Savva Y., Berlinger F. Sulphur deposition causes a large-scale growth decline in boreal forests in Eurasia // *Global Biogeochemical Cycles*. 2010. Vol. 24 (GB3002, doi:10.1029/2009GB003749).
- Schlaegel B.E. Boxelder (*Acer negundo* L.) biomass component regression analysis for the Mississippi Delta // *Forest Sci.* 1982. Vol. 28. No 2. P. 355–358.
- Schläpfer R. (ed.). Long-term implications of climate change and air pollution on forest ecosystems. Progress report of the IUFRO Task Force «Forest, Climate Change and Air Pollution». Vienna, IUFRO; Birmensdorf, WSL. IUFRO World Series, 1993. Vol. 4. 133 p.
- Schmitt M.D.C., Grigal D.F. Generalized biomass estimation equations for *Betula papyrifera* Marsh. // *Can. J. For. Res.* 1981. Vol. 11. P. 837–840.
- Schulze E.D., Lang O.L., Oren R. (Eds.) Forest decline and air pollution. A study of spruces (*Picea abies*) on acid soils. Berlin: Springer Verlag, 1989. 475 p.
- Schütt P., Cowling E.B. Waldsterben, a general decline of forests in Central Europe: symptoms, development and possible causes // *Plant Disease*. 1985. Vol. 69. No. 7. P. 548–558.
- Shavnin S.A., Fomin V.V., Marina N.V. Application of the generalized state index determination to ecological monitoring of forests in polluted areas // *Measurements and Modelling in Environmental Pollution*. First Int. Conf. on Measurements and Modelling in Environmental Pollution (MMEP 97). Southampton, USA. 1997. P. 399–407.
- Shinozaki K., Yoda K., Hozumi K. and Kira T. A quantitative analysis of plant form – the pipe model theory // *Japanese Journal of Ecology*. Vol. 14. No. 3, 1964; – 1: Basic analysis. P. 97–105. Vol. 14. No. 4, 1964; – 2: Further evidence of the theory and its application in forest ecology. P. 133–139.
- Siegfried F. Forest damage – a status report on effects via the leaves // *Rapp. Ingenjörsvetenskapsakad.* 1986. No. 310. P. 27.
- Singh T. Biomass equations for ten major tree species of the prairie provinces // *Canadian Forest Service, Northern Forest Research Centre. Inf. Rep. NOR-X-242*. 1982. 35 p.
- Singh T. Biomass equations for six major tree species of the Northwest territories // *Canadian Forest Service, Northern Forest Research Centre. Inf. Rep. NOR-X-257*. 1984. 22 p.
- Singh T. Generalizing biomass equations for the boreal forest region of west-central Canada // *Forest Ecol. Manage.* 1986. Vol. 17. P. 97–107.
- Soderberg U. The relation between increment and defoliation for Scots pine and Norway spruce in Sweden // *IUFRO Workshop on monitoring air pollution impact on permanent sample plots, data processing and results interpretation*. Prachatice (CSFR), 1991. P. 119–127.
- Son Y., Hwang J.W., Kim Z.S., Lee W.K., Kim J.S. Allometry and biomass of Korean pine (*Pinus koraiensis*) in central Korea // *Bioresource Technology*. 2001. Vol. 78. P. 251–255.
- Sprugel D.G. Correcting for bias in log-transformed allometric equations // *Ecology*. 1983. Vol. 64. P. 209–210.
- Sterba H. Forest decline and increasing increments: a simulation study // *Forestry*. 1995. Vol. 68. No. 2. P. 153–163.
- Stern A.C., Boubel R.W., Turner D.B., Fox D.L. *Fundamentals of air pollution*. Orlando (Florida): Academic Press Inc., 1984. 513 p.
- Strand L. Crown density and fractal dimension // *Commun. of the Norwegian Forest Res. Institute*. 1990. Vol 43. No. 6. P. 1–11.
- Tahvanainen L. Allometric relationships to estimate aboveground dry mass and height in *Salix* // *Scand. J. For. Res.* 1996. Vol. 11. P. 233–241.
- Taras M.A. Aboveground biomass of Choctawhatchee sand pine in northwest Florida. Southeast. Forestry Experimental Station. F.S. Research Paper SE-210. 1980. 10 p.
- The notebooks of Leonardo da Vinci. Compiled and edited by J.P. Richter. N.Y.: Dover Publications, 1970. Vol. 1. 369 p.
- Tritton L.M., Hornbeck J.W. Biomass estimation for northeastern forests // *Ecol. Soc. Am. Bull.* 1981. Vol. 62. P. 106–107.
- Ulrich B. Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: SO₂, alkali and earth alkali cations and chloride // *Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems* (May 16–18, 1982, Göttingen, West Germany). Proc. of Workshop. Dordrecht-London, 1983. P. 33–46.
- Unsworth M.H. Air pollution and vegetation: hypothesis, field exposure and experiment // *Proc. of Royal Society of Edinburgh*. 1991. Vol. 97. P.139–153.
- Usoltsev V.A., Melnikova I.V., Nagimov Z.Ya. et al. Crown biomass estimation based on the biologically conditioned relationships in Scots pine // *Advancement in Forest Inventory and Forest Manage. Sci. Proc. IUFRO Seoul Conf.* 1993. P. 218–226.

- Vanninen P., Ylitalo H., Sievänen R., Mäkelä A.* Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Trees*. 1996. Vol. 10. P. 231–238.
- Vihera A., Kellomäki S.* Havaintoja nuortern mäntyjen latvusten hienorakenteesta ja kasvusta // *Silva fennica*. 1983. Bd. 17. No. 3. S. 225–243.
- Visser H., Molenaar J.* Estimating trends and stochastic response functions in dendroecology with an application to fir decline // *Forest Sci.* 1992. Vol. 38. P. 221–234.
- Waring R.H.* Characteristics of trees predisposed to die // *BioScience*. 1987. Vol. 37. P. 569–574.
- Waring R.H., Thies W.G., Muscato D.* Stem growth per unit of leaf area: a measure of tree vigor // *Forest Science*. 1980. Vol. 26. P. 112–117.
- Webster R., Rigling A., Walthert L.* An analysis of crown condition of *Picea*, *Fagus* and *Abies* in relation to environment in Switzerland // *Forestry*. 1996. Vol. 69. No. 4. P. 347–355.
- West G.B., Brown J.H., Engquist B.J.* A general model for the structure and allometry of plant vascular system // *Nature*. 1999. Vol. 400. P. 664–667.
- West P.W., Wells K.F.* Estimation of leaf weight of standing trees of *Eucalyptus regnans* // *Can. J. For. Res.* 1990. Vol. 20. P. 1732–1738.
- White D.A.* Relationships between foliar number and the cross-sectional areas of sapwood and annual rings in red oak (*Quercus rubra*) crowns // *Can. J. For. Res.* 1993. Vol. 23. P. 1245–1251.
- White J.F., Gould S.J.* Interpretation of the coefficient in the allometric equation // *Am. Nat.* 1965. Vol. 904. P. 5–18.
- Whitehead D., Edwards W.R.N., Jarvis P.G.* Conducting sapwood area, foliage area and permeability in mature trees of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta* // *Can. J. For. Res.* 1984. Vol. 14. P. 940–947.
- Whitfield J.* All creatures great and small // *Nature*. 2001. Vol. 413. P. 342–344.
- Whittaker R.H., F.H. Bormann, G.E. Likens, T.G. Siccama.* The Hubbard Brook ecosystem study: forest biomass and production // *Ecol. Monogr.* 1974. Vol. 44. P. 233–252.
- Whittaker, R.H., Woodwell G.M.* Surface area relations of woody plants and forest communities // *Am. J. Bot.* 1967. Vol. 54. P. 931–939.
- Whittaker, R.H., Woodwell G.M.* Dimension and reproduction relations of trees and shrubs in the Brookheaven forest, New York // *J. Ecol.* 1968. Vol. 56. P. 1–25.
- Wiant H.V. Jr.* Are separate weight equations needed for Appalachian hardwoods? // *West Virginia For. Notes*. 1979. Vol. 7. P. 20.
- Widlowski J.-L., Verstraete M., Pinty B., Gobron N.* Allometric relationships of selected European tree species: parametrizations of tree architecture for the purpose of 3-D canopy reflectance models used in the interpretation of remote sensing data. Italy, Ispra (VA): EC Joint Research Centre, TP 440, I-21020. 2003. 61 p. (<http://europa.eu.int>).
- Wirth C., Schumacher J., Schulze E.-D.* Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe – a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation // *Tree Physiology*. 2004. Vol. 24. P. 121–139.
- Woodin S.J.* Environmental effects of air pollution in Britain // *J. of Appl. Ecol.* 1989. No. 26. P. 749–761.
- Woods K.D., Feiveson A.H., Botkin D.B.* Statistical error analysis for biomass density and leaf area index estimation // *Can. J. For. Res.* 1991. Vol. 21. P. 974–989.
- Yamaoka Y.* Measurement of the total transpiration from a forest // *Bull. Govern. Forest Exper. Station*. 1952. Vol. 54. P. 187–206.
- Yamaoka Y.* The total transpiration from a forest // *Trans. Amer. Geophys. Union*. 1958. Vol. 39. P. 266–272.
- Yandle D.O., Wiant H.V.* Estimation of plant biomass based on the allometric equation. *Can. J. For. Res.* 1981. Vol. 11. P. 833–834.
- Yang R.C., Kozak A., Smith J.H.G.* The potential of Weibull-type functions as flexible growth curves // *Can. J. For. Res.* 1978. Vol. 11. P. 833–834.
- Yang X., Cunia T.* Construction and application of biomass regressions to size-classes of trees // *State-of-the-art methodology of forest inventory: A symposium proceedings*. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Oregon. General Technical Report PNW-GTR-263. 1990. P. 254–259.
- Young H.E.* A balanced view of the forest as a source of energy material // *Proc. “Joint IEA/IUFRO Forestry Energy Workshop” in Garpenberg, Sweden*. October 2. 1980. Information from project *Forestry Energy*. 1981. No. 20. P. 59–63.

- Young H.E., Stand L., Allenberger R.* Preliminary fresh and dry weight tables for seven tree species in Maine. Maine Agric. Exp. Stn. Tech. Bull. 12, 1964. 76 p.
- Zar J.N.* Calculation and miscalculation of the allometric equation as a model in biological data // Biol. Sci. 1968. Vol. 18. P. 1118–1120.
- Zar J.N.* Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1996.
- Zeide B.* Fractal geometry in forestry applications // Forest Ecol. Management. 1991. Vol. 46. P. 179–188.
- Zeide B.* Primary unit of the tree crown // Ecology. 1993. Vol. 74. P. 1598–1602.
- Zeide B.* Fractal analysis of foliage distribution in loblolly pine crowns // Can. J. For. Res. 1998. Vol. 28. P. 106–114.
- Zeide B., Gresham, C.A.* Fractal dimensions of tree crowns in three loblolly pine plantations of coastal South Carolina // Can. J. For. Res. 1991. Vol. 21. P. 1208–1212.
- Zeide B., Pfeifer P.* A method for estimation of fractal dimension of tree crowns // For. Sci. 1991. Vol. 37. P. 1253–1265.
- Zianis D., Mencuccini M.* On simplifying allometric analyses of forest biomass // For. Ecol. Manage. 2004. Vol. 187. P. 311–332.
- Zvereva E.L., Kozlov M.V.* Changes in the abundance of vascular plants under the impact of industrial air pollution: a meta-analysis // Water, Air, Soil Pollut. 2012. DOI 10.1007/s11270-011-1050-z.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Сводная таблица параметров a и b уравнений (1.25),
рассчитанных по 107 пробным площадям

№ блока	№ пробной площади	a	b	R^2
<i>Бор Аман-Карагай, сухая степь, естественные сосняки</i>				
1	1	-2,32	2,26	0,993
	2	-1,47	1,86	0,927
	3	-2,29	2,39	0,992
	4	-2,61	2,48	0,984
	5	-2,46	2,39	0,970
	6	-2,47	2,39	0,999
	7	-2,12	2,19	0,991
	8	-2,25	2,37	0,993
	9	-2,07	2,27	0,997
	10	-1,96	1,96	0,942
	11	-1,59	1,80	0,962
	12	-1,66	1,82	0,939
<i>Бор Ара-Карагай, сухая степь, естественные сосняки</i>				
2	1	-2,07	2,03	0,987
	2	-2,51	2,38	0,982
	3	-2,53	2,37	0,992
	4	-2,04	2,13	0,989
	5	-1,16	1,35	0,904
	6	-1,57	1,81	0,980
	7	-2,21	2,23	0,993
	8	-2,28	2,26	0,982
	9	-2,27	2,30	0,997
	10	-1,19	1,49	0,981
	11	-2,36	2,43	0,910
	12	-2,01	2,09	0,972
	13	-2,31	2,27	0,985
	14	-2,72	2,52	0,967
	15	-2,40	2,31	0,971
	16	-2,61	2,34	0,982
	17	-1,38	1,80	0,983
	18	-1,39	1,72	0,969
	19	-2,87	2,52	0,952
	20	-2,53	2,43	0,984
	21	-2,41	2,31	0,976

Продолжение прил. 1

№ блока	№ пробной площади	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²
<i>Казахский Мелкосопочник, сухая степь, естественные сосняки</i>				
3	1	-2,06	2,16	0,995
	2	-2,23	2,19	0,961
	3	-2,83	2,49	0,988
	4	-2,93	2,56	0,988
	5	-2,11	2,32	0,939
<i>Бор Аман-Карагай, сухая степь, культуры сосны</i>				
4	1	-2,33	2,22	0,955
	2	-2,57	2,35	0,983
	3	-2,37	2,32	0,984
	4	-2,31	2,40	0,986
	5	-2,20	2,33	0,983
	6	-2,77	2,56	0,958
	7	-2,72	2,46	0,960
	8	-1,57	2,29	0,972
	9	-1,82	2,07	0,979
<i>Сухой Лог, предлесостепь, культуры сосны</i>				
5	1	-2,41	2,36	0,984
	2	-2,11	2,12	0,965
	3	-2,04	2,19	0,996
	4	-2,85	2,48	0,967
	5	-2,54	2,39	0,998
	6	-2,47	2,38	0,994
	7	-2,82	2,55	0,980
	8	-2,66	2,45	0,967
	9	-1,93	2,19	0,970
	10	-2,71	2,51	0,989
	11	-2,20	2,39	0,988
	12	-2,35	2,36	0,989
	13	-2,81	2,52	0,984
	14	-2,34	2,41	0,981
<i>Саргатское, лесостепь, культуры сосны</i>				
6	1	-2,48	2,41	0,984
	2	-1,51	2,12	0,951
	3	-2,78	2,56	0,993
	4	-2,69	2,51	0,987

Продолжение прил. 1

№ блока	№ пробной площади	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²
6	5	-2,34	2,36	0,982
	6	-1,78	2,27	0,986
	7	-1,49	2,05	0,987
	8	-2,71	2,48	0,979
<i>Красноярско-Канская лесостепь, естественные сосняки</i>				
7	1	-2,43	2,33	0,944
	2	-2,72	2,51	0,957
	3	-2,83	2,54	0,987
	4	-0,87	1,96	0,975
	5	-0,77	1,91	0,981
	6	-2,68	2,47	0,985
	7	-3,11	2,62	0,997
	8	-3,20	2,60	0,990
<i>Архангельская область, северная тайга, естественные сосняки</i>				
8	1	-1,42	1,71	0,980
	2	-1,92	2,30	0,997
	3	-3,13	2,75	0,955
	4	-2,40	2,40	0,999
	5	-1,74	2,22	0,992
	6	-2,15	2,32	0,998
	7	-1,39	2,11	0,998
	8	-2,98	2,77	0,993
	9	-2,56	2,47	0,999
	10	-3,42	2,73	0,996
	11	-2,21	2,34	0,989
	12	-1,40	1,99	0,991
	13	-3,19	2,59	0,864
	14	-1,83	2,20	0,992
	15	-1,47	2,05	0,982
	16	-1,87	2,19	0,995
	17	-1,57	2,10	0,995
	18	-1,67	2,13	0,991
	19	-2,37	2,35	0,992

Окончание прил. 1

№ блока	№ пробной площади	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²
<i>Южная Карелия, средняя тайга, естественные сосняки</i>				
9	1	-2,75	2,53	0,999
	2	-2,86	2,66	0,999
	3	-2,49	2,43	0,998
	4	-2,59	2,46	0,990
	5	-2,49	2,45	0,991
	6	-2,06	2,32	0,991
	7	-2,37	2,44	0,989
<i>Московская область, хвойно-широколиственные леса, естественные сосняки</i>				
10	1	-2,12	2,31	0,999
	2	-2,14	2,32	0,999
	3	-2,25	2,38	0,999
	4	-2,10	2,33	0,999
	5	-2,11	2,33	0,999
	6	-2,21	2,35	0,999
	7	-2,18	2,33	0,999

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Квалиметрические показатели древесины и коры, полученные по вышкам ствола при
взятии модельных деревьев в градиентах загрязнения от СУМЗ и КМК

Расстояние от СУМЗ (<i>L</i> , км)	Относительная высота (<i>h</i>)	Диаметр ствола на высоте груди (<i>D</i> , см)	Возраст дерева (<i>A</i> , лет)	Плотность (ρ_w , кг/м ³)		Содержание сухого вещества (<i>S</i> %)	
				в древе- сине	в коре	в древе- сине	в коре
<i>Ель (СУМЗ)</i>							
1	0,2	10,4	44	749	719	52,6	44,0
	0,5	10,4	44	828	873	46,4	42,1
	0,8	10,4	44	870	717	36,7	37,2
	0,2	14,9	46	828	714	41,6	41,1
	0,5	14,9	46	905	811	34,1	42,1
	0,8	14,9	46	916	860	48,1	45,8
	0,8	20,3	76	869	1310	48,1	45,8
	0,2	27,8	130	743	627	58,3	54,4
	0,5	27,8	130	724	844	55,8	52,6
	0,8	27,8	130	780	1029	51,4	46,1
	0,5	37,9	97	759	597	52,5	46,3
	0,8	37,9	97	860	811	49,5	35,0
	0,5	6,1	53	682	767	52,1	45,5
2	0,2	7,8	50	781	845	43,0	39,3
	0,5	7,8	50	986	1150	36,7	39,2
	0,8	7,8	50	795	656	34,3	56,6
	0,2	30,0	49	692	622	49,9	41,7
	0,5	30,0	49	705	830	46,8	39,8
	0,8	30,0	49	786	617	44,3	40,7
	0,2	19,8	111	696	889	54,2	49,6
	0,8	19,8	111	978	938	44,4	48,3
	0,2	27,1	48	690	824	41,7	43,5
	0,5	27,1	48	755	785	43,8	42,6
	0,8	27,1	48	948	880	38,5	46,9
	0,2	14,6	120	689	771	66,8	48,7
	0,8	14,6	120	1055	811	55,6	46,6
	0,2	9,6	84	757	609	53,9	47,1
	0,5	9,6	84	858	726	51,1	45,9
0,8	9,6	84	875	711	45,8	42,7	
4	0,2	35,9	95	746	623	50,1	46,0
	0,5	35,9	95	693	755	50,1	41,3
	0,8	35,9	95	804	1009	41,3	41,5
	0,2	29,1	123	681	1162	60,1	48,3

Продолжение прил. 2

Расстояние от СУМЗ (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность ($\rho_{\text{вп}}$, кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
4	0,8	29,1	123	804	918	57,7	60,0
	0,2	18,5	87	636	793	57,4	49,0
	0,5	18,5	87	781	748	47,7	46,6
	0,8	18,5	87	932	791	43,3	43,5
	0,5	12,0	90	966	872	39,9	41,7
	0,8	12,0	90	1032	1410	35,1	36,1
	0,2	10,7	58	795	854	40,1	41,6
	0,5	10,7	58	942	817	33,8	38,0
	0,2	27,0	132	584	1108	46,0	43,2
	0,5	27,0	132	698	877	35,0	40,1
	0,8	27,0	132	782	919	33,7	35,3
	0,2	23,9	83	709	1646	45,8	42,8
	0,5	23,9	83	816	942	32,2	40,7
	0,8	23,9	83	893	936	33,9	35,0
7	0,2	26,6	76	839	897	45,6	44,6
	0,5	26,6	76	852	864	42,4	40,6
	0,8	26,6	76	933	753	38,7	37,5
	0,5	24,0	84	756	950	44,7	39,1
	0,8	24,0	84	887	533	35,6	41,6
	0,2	9,0	53	762	1079	47,4	42,9
	0,5	9,0	53	820	883	37,2	39,9
	0,8	9,0	53	813	1139	35,2	36,0
	0,2	34,3	76	753	1011	46,4	42,0
	0,5	34,3	76	835	516	48,3	43,3
	0,8	34,3	76	875	723	44,4	42,7
	0,2	19,6	66	712	933	41,2	42,0
	0,5	19,6	66	874	721	37,9	43,4
	0,8	19,6	66	889	1147	35,0	40,7
	0,2	17,0	61	821	567	50,8	50,4
	0,5	17,0	61	759	881	42,8	42,3
	0,8	17,0	61	842	1261	34,7	40,1
0,2	6,4	37	657	642	57,8	43,9	
0,5	6,4	37	728	882	53,4	51,5	
0,8	6,4	37	893	1392	45,4	47,7	
30	0,2	33,8	134	631	723	63,5	51,1
	0,5	33,8	134	630	840	54,4	48,0
	0,8	33,8	134	715	771	51,2	49,3

Продолжение прил. 2

Расстояние от СУМЗ (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность (ρ_{60} , кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
30	0,2	29,6	107	741	869	56,5	43,6
	0,5	29,6	107	740	839	52,9	42,0
	0,8	29,6	107	884	827	48,0	46,7
	0,2	30,7	82	700	758	50,2	42,8
	0,5	30,7	82	760	860	45,5	42,0
	0,8	30,7	82	942	1234	47,9	49,3
	0,2	15,7	64	727	899	49,3	43,5
	0,5	15,7	64	813	861	42,1	41,3
	0,2	14,4	70	710	591	56,2	43,2
	0,5	14,4	70	871	1009	52,0	50,8
	0,8	14,4	70	934	708	41,9	43,5
	0,2	6,4	67	883	715	53,7	46,5
	0,2	18,8	78	708	1049	50,7	41,1
	0,5	18,8	78	821	1042	47,5	43,0
0,8	18,8	78	917	1165	39,3	40,0	
Итого по ели: 85 определений							
<i>Пихта (СУМЗ)</i>							
1	0,2	15,8	96	753	774	46,6	50,3
	0,5	15,8	96	696	613	46,9	47,6
	0,8	15,8	96	976	885	45,6	44,5
	0,2	24,5	83	835	611	45,0	52,2
	0,5	24,5	83	830	641	41,3	49,5
	0,8	24,5	83	819	1020	43,0	44,1
	0,2	11,7	71	782	852	45,7	41,6
	0,5	11,7	71	823	889	40,6	39,8
	0,8	11,7	71	898	730	37,2	34,7
	0,2	19,1	74	793	622	40,3	49,8
	0,5	19,1	74	882	704	39,6	49,4
	0,8	19,1	74	899	807	40,7	44,3
	0,2	26,8	66	748	770	42,6	42,0
	0,5	26,8	66	851	785	39,7	42,7
	0,8	26,8	66	881	898	42,3	39,9
	0,5	7,8	49	816	1199	40,9	41,4
0,8	7,8	49	963	1184	35,2	37,0	
2	0,2	31,8	52	741	1014	40,8	45,0
	0,5	31,8	52	761	685	41,1	41,2
	0,8	31,8	52	805	667	40,0	40,7
	0,2	26,0	67	748	1017	44,8	44,6

Продолжение прил. 2

Расстояние от СУМЗ (L , км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D , см)	Возраст дерева (A , лет)	Плотность (ρ , кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S ,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
2	0,5	26,0	67	731	1022	46,8	46,7
	0,8	26,0	67	790	748	45,6	43,1
	0,2	21,7	90	843	727	44,7	41,2
	0,5	21,7	90	871	817	41,3	43,5
	0,8	21,7	90	905	666	40,8	43,9
	0,2	16,2	90	682	838	49,6	51,3
	0,5	16,2	90	735	834	42,7	50,5
	0,8	16,2	90	957	957	42,0	51,1
	0,2	6,1	63	761	835	49,0	48,3
	0,5	6,1	63	937	904	40,9	47,4
	0,8	6,1	63	920	624	40,8	40,2
	0,2	9,7	65	852	808	42,2	47,3
	0,5	9,7	65	983	747	38,6	45,3
	0,8	9,7	65	898	910	36,0	42,0
4	0,5	31,1	164	859	853	45,2	48,6
	0,8	31,1	164	730	797	49,1	47,5
	0,2	26,5	95	843	966	39,4	48,9
	0,5	26,5	95	825	835	40,1	46,2
	0,2	21,2	96	692	778	48,4	50,0
	0,5	21,2	96	729	909	45,6	47,8
	0,8	21,2	96	831	845	43,5	45,3
	0,2	15,4	82	786	874	43,1	44,3
	0,5	15,4	82	762	595	44,4	41,3
	0,8	15,4	82	961	513	39,2	42,0
	0,2	24,2	62	765	918	43,9	53,2
	0,5	24,2	62	719	821	42,9	47,9
	0,8	24,2	62	926	642	37,9	42,8
	0,2	6,7	53	907	663	39,1	45,5
0,5	6,7	53	888	769	36,4	39,3	
0,8	6,7	53	976	978	36,5	33,3	
7	0,5	28,1	125	715	1113	44,7	44,2
	0,8	28,1	125	872	738	37,7	40,9
	0,2	27,9	121	676	804	45,9	45,7
	0,5	27,9	121	776	871	43,4	44,9
	0,8	27,9	121	762	843	41,1	43,5
	0,2	18,5	60	673	1171	44,0	45,7

Продолжение прил. 2

Расстояние от СУМЗ (L , км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D , см)	Возраст дерева (A , лет)	Плотность ($\rho_{\text{в}}$, кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S ,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
7	0,5	18,5	60	702	855	42,0	43,2
	0,8	18,5	60	823	964	35,7	41,0
	0,2	24,0	125	683	799	52,8	46,1
	0,5	24,0	125	723	846	52,0	44,8
	0,8	24,0	125	878	742	38,7	44,8
	0,2	17,3	95	650	798	47,8	45,5
	0,5	17,3	95	645	896	41,7	41,7
	0,8	17,3	95	888	879	34,7	37,4
	0,2	12,0	128	799	1043	45,4	47,4
	0,5	12,0	128	765	801	37,5	42,0
	0,8	12,0	128	935	756	32,3	35,7
	0,2	7,9	61	878	869	39,5	43,7
	0,5	7,9	61	905	821	38,6	41,3
	30	0,2	23,7	105	716	705	41,4
0,5		23,7	105	750	755	43,1	42,9
0,8		23,7	105	878	770	39,6	39,9
0,2		4,3	108	715	832	45,4	46,1
0,5		4,3	108	778	839	44,6	46,2
0,2		30,7	129	745	729	49,1	45,9
0,5		30,7	129	708	1301	48,1	45,8
0,8		30,7	129	905	916	44,2	45,9
0,5		30,9	93	852	1379	41,5	46,3
0,2		13,2	91	614	913	51,5	48,6
0,5		13,2	91	669	799	57,2	46,3
0,2		26,7	113	713	767	47,8	41,7
0,5		26,7	113	705	1175	46,5	43,6
0,8		26,7	113	906	881	41,3	42,9
0,2		8,0	84	674	804	48,7	49,1
0,5		8,0	84	775	808	38,6	43,5
0,8		8,0	84	832	1106	36,8	40,1
Итого по пихте: 87 определений							

Продолжение прил. 2

Расстояние от СУМЗ (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность ($\rho_{\text{в}}$, кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S, %)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
<i>Сосна (КМК)</i>							
4,2	0,2	31,5	78	705	1052	59,0	48,6
	0,5	31,5	78	818	1439	48,0	42,6
	0,8	31,5	78	975	1463	46,2	43,6
	0,2	29,2	74	846	776	53,8	44,0
	0,5	29,2	74	823	1213	48,5	41,1
	0,8	29,2	74	662	950	46,9	59,7
	0,2	23,7	78	689	820	60,8	51,5
	0,5	23,7	78	737	1188	52,7	58,3
	0,8	23,7	78	795	1144	46,8	59,8
	0,2	15,2	70	594	416	63,5	50,1
	0,5	15,2	70	588	895	64,7	55,0
	0,8	15,2	70	584	1304	61,7	52,9
	0,2	20,5	78	681	1174	63,3	47,4
	0,5	20,5	78	720	1372	53,2	46,2
	0,8	20,5	78	735	1259	45,1	40,1
	0,2	13,2	53	580	781	63,8	43,4
	0,5	13,2	53	625	656	59,3	52,8
	0,8	13,2	53	713	725	57,5	52,4
	0,2	10,3	63	731	1378	54,6	45,4
	0,5	10,3	63	783	1143	48,1	52,3
0,8	10,3	63	955	1340	50,5	48,8	
6,6	0,2	33,7	89	763	621	48,8	41,7
	0,5	33,7	89	781	668	46,9	61,9
	0,8	33,7	89	831	700	41,8	63,0
	0,2	29,1	87	733	555	48,7	42,8
	0,5	29,1	87	812	384	43,7	61,6
	0,8	29,1	87	873	1309	41,8	44,4
	0,2	20,8	85	765	629	57,5	50,2
	0,5	20,8	85	786	880	51,3	57,8
	0,8	20,8	85	919	988	43,7	61,6

Продолжение прил. 2

Расстояние от СУМЗ (L , км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D , см)	Возраст дерева (A , лет)	Плотность ($\rho_{вр}$, кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S ,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
<i>Сосна (КМК)</i>							
6,6	0,2	22,6	84	776	625	60,1	47,1
	0,5	22,6	84	779	742	56,2	57,5
	0,8	22,6	84	940	1016	47,4	57,8
	0,2	16,1	76	714	662	57,4	53,6
	0,5	16,1	76	715	628	53,4	57,3
	0,8	16,1	76	725	615	50,6	56,3
8,3	0,2	33,6	101	720	710	56,1	44,8
	0,5	33,6	101	724	410	57,1	60,5
	0,8	33,6	101	741	1073	48,7	47,3
	0,2	28,0	103	771	857	58,0	41,8
	0,5	28,0	103	745	1390	52,4	44,7
	0,8	28,0	103	943	1113	43,0	48,2
	0,2	21,7	89	646	496	59,2	49,2
	0,5	21,7	89	683	885	53,5	60,2
	0,8	21,7	89	858	853	43,3	54,3
	0,2	26,6	98	749	557	61,2	46,2
	0,5	26,6	98	660	1272	53,4	43,8
	0,8	26,6	98	777	935	48,2	59,2
	0,2	15,6	65	847	560	46,5	44,1
	0,5	15,6	65	838	1143	41,1	47,9
	0,8	15,6	65	950	835	42,2	65,0
	0,2	13,0	68	842	516	47,3	46,0
	0,5	13,0	68	843	713	42,3	55,3
	0,8	13,0	68	891	822	42,5	60,3
	0,2	10,1	64	774	878	47,4	46,4
	0,5	10,1	64	843	1116	44,4	59,4
0,8	10,1	64	727	1393	43,9	38,6	
9,5	0,2	31,2	126	841	589	52,1	49,4
	0,5	31,2	126	676	840	54,9	57,9
	0,8	31,2	126	925	723	43,6	58,0

Продолжение прил. 2

Расстояние от СУМЗ (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность (ρ_w , кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
9,5	0,2	12,2	75	556	640	60,0	37,0
	0,5	12,2	75	574	705	56,7	55,6
	0,8	12,2	75	683	1053	49,9	52,5
	0,2	25,8	104	676	670	59,6	49,3
	0,5	25,8	104	701	688	53,6	60,2
	0,8	25,8	104	844	868	43,1	61,9
	0,2	23,1	105	785	336	56,0	62,4
	0,5	23,1	105	762	826	51,1	56,9
	0,8	23,1	105	823	778	42,9	70,5
	0,2	18,2	72	617	605	64,0	54,8
	0,5	18,2	72	629	900	62,3	62,2
	0,8	18,2	72	741	840	59,7	60,7
	0,2	10,4	63	872	771	59,5	46,1
	0,5	10,4	63	811	867	52,2	62,1
	0,8	10,4	63	955	864	47,4	60,4
	0,2	15,4	69	601	545	60,9	51,8
	0,5	15,4	69	615	495	57,2	63,5
	0,8	15,4	69	849	709	46,9	60,7
13,8	0,2	30,3	97	867	651	54,9	55,0
	0,5	30,3	97	793	967	54,0	56,4
	0,8	30,3	97	986	1023	53,8	57,8
	0,2	27,1	98	771	682	54,8	44,7
	0,5	27,1	98	803	802	53,3	60,6
	0,8	27,1	98	861	875	43,1	61,3
	0,2	20,7	85	851	350	60,6	54,6
	0,5	20,7	85	747	1007	57,1	60,8
	0,8	20,7	85	902	1192	54,6	46,1
	0,2	24,1	90	763	760	61,9	47,2
	0,5	24,1	90	807	899	52,1	59,9
	0,8	24,1	90	964	1221	42,0	56,0
	0,2	16,1	81	804	647	60,5	50,2

Продолжение прил. 2

Расстояние от КМК (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность (ρ_{02} , кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
13,8	0,5	16,1	81	767	647	61,6	53,2
	0,8	16,1	81	820	746	51,4	56,2
	0,2	14,0	44	557	433	66,5	49,4
	0,5	14,0	44	584	826	59,8	54,8
	0,8	14,0	44	708	1156	50,0	54,9
	0,2	9,4	48	697	929	61,5	46,9
	0,5	9,4	48	687	1006	59,6	47,7
	0,8	9,4	48	722	1322	51,2	49,9
32,0	0,2	33,6	72	736	580	52,3	60,4
	0,5	33,6	72	744	703	47,8	66,2
	0,8	33,6	72	819	703	41,4	68,2
	0,2	28,3	68	676	795	60,8	54,3
	0,5	28,3	68	693	733	50,9	69,2
	0,8	28,3	68	817	980	43,8	66,9
	0,2	24,8	65	637	729	57,4	61,6
	0,5	24,8	65	665	755	53,4	55,6
	0,8	24,8	65	747	1174	42,5	46,4
	0,2	21,1	52	734	833	54,2	65,4
	0,5	21,1	52	852	833	47,7	68,3
	0,8	21,1	52	851	1003	43,6	67,0
	0,2	17,6	65	634	339	58,6	55,2
	0,5	17,6	65	678	668	52,2	61,3
	0,8	17,6	65	805	966	48,2	60,5
	0,2	12,5	54	719	637	53,3	46,0
	0,5	12,5	54	758	703	58,5	64,7
	0,8	12,5	54	926	680	50,3	65,9
	0,2	7,0	60	689	687	58,9	43,3
	0,5	7,0	60	672	759	54,6	58,5
0,8	7,0	60	780	813	44,2	62,0	
Итого по сосне: 126 определений							

Продолжение прил. 2

Береза (КМК)							
Расстояние от КМК (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность ($\rho_{\text{в}}$, кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
3,8	0,2	23,4	70	881	1079	63,4	32,0
	0,5	23,4	70	912	803	55,9	32,9
	0,8	23,4	70	894	972	53,1	35,5
	0,2	20,1	63	889	692	61,1	33,7
	0,5	20,1	63	955	918	60,2	32,9
	0,8	20,1	63	873	1252	54,6	37,1
	0,2	17,5	75	972	848	57,8	35,8
	0,5	17,5	75	953	813	53,0	35,1
	0,8	17,5	75	973	1036	51,4	35,8
	0,2	15,3	78	922	1114	56,7	34,2
	0,5	15,3	78	1017	940	50,9	34,3
	0,8	15,3	78	914	999	49,5	33,2
	0,2	11,4	47	991	1004	58,4	34,9
	0,5	11,4	47	987	927	53,9	35,9
	0,8	11,4	47	1007	967	50,5	34,1
	0,2	10,8	45	895	1205	57,7	37,9
	0,5	10,8	45	950	919	53,1	37,2
	0,8	10,8	45	937	1509	48,4	35,9
	0,2	8,6	38	908	958	56,5	34,0
	0,5	8,6	38	974	1093	52,6	33,3
0,8	8,6	38	1258	828	55,5	35,0	
4,8	0,2	22,4	80	939	738	54,1	38,5
	0,5	22,4	80	1035	877	51,0	37,3
	0,8	22,4	80	1001	919	51,3	39,0
	0,2	18,7	78	859	1069	56,4	35,0
	0,5	18,7	78	971	1113	50,2	34,0
	0,8	18,7	78	996	921	50,7	34,9
	0,2	15,9	70	961	948	55,1	37,0
	0,5	15,9	70	981	859	54,3	34,1
	0,8	15,9	70	955	1157	53,7	34,8

Продолжение прил. 2

Расстояние от КМК (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность ($\rho_{дв}$, кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
4,8	0,2	14,0	57	938	857	57,5	32,1
	0,5	14,0	57	941	882	55,9	33,0
	0,8	14,0	57	827	1145	55,6	34,0
	0,2	12,1	45	847	776	66,0	28,9
	0,5	12,1	45	940	938	55,6	30,5
	0,8	12,1	45	846	1071	52,2	33,9
	0,2	8,4	42	928	967	59,1	32,2
	0,5	8,4	42	939	1193	55,2	33,0
	0,8	8,4	42	962	1563	54,0	34,1
	0,2	7,0	35	914	1237	56,0	35,0
	0,5	7,0	35	931	1019	52,5	35,3
	0,8	7,0	35	919	1568	55,1	34,4
6,8	0,2	8,4	33	810	821	61,0	30,5
	0,5	8,4	33	896	1156	56,0	30,3
	0,8	8,4	33	915	969	58,0	30,8
	0,2	10,0	47	771	903	60,6	32,3
	0,5	10,0	47	849	995	53,8	33,6
	0,8	10,0	47	848	1129	54,0	34,9
	0,2	12,7	55	791	993	68,5	33,8
	0,5	12,7	55	891	959	55,6	35,1
	0,8	12,7	55	930	1044	51,2	36,0
	0,2	24,5	73	815	586	63,6	33,5
	0,5	24,5	73	961	714	55,5	39,0
	0,8	24,5	73	863	1105	54,2	35,6
	0,2	21,9	62	771	893	67,6	31,7
	0,5	21,9	62	883	866	54,8	32,6
	0,8	21,9	62	742	2968	59,1	35,4
	0,2	17,8	47	878	750	56,2	36,4
	0,5	17,8	47	979	922	52,5	36,6
	0,8	17,8	47	908	1269	50,9	37,7
	0,2	13,3	49	885	963	62,1	32,8
	0,5	13,3	49	946	1139	54,5	37,1
0,8	13,3	49	945	950	55,8	35,4	

Продолжение прил. 2

Расстояние от КМК (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность ($\rho_{вв}$, кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
8,5	0,2	24,1	86	842	1033	52,9	37,9
	0,5	24,1	86	971	1059	51,7	39,0
	0,8	24,1	86	970	931	52,9	37,6
	0,2	18,8	75	1014	900	55,2	40,8
	0,5	18,8	75	975	853	53,2	39,6
	0,8	18,8	75	845	2637	51,6	38,9
	0,2	15,9	60	827	916	58,2	40,8
	0,5	15,9	60	915	896	51,8	38,7
	0,8	15,9	60	934	1141	48,8	39,4
	0,2	14,4	52	846	923	58,8	39,9
	0,5	14,4	52	981	873	54,2	41,3
	0,8	14,4	52	972	794	53,9	43,1
	0,2	11,5	45	817	896	63,9	38,2
	0,5	11,5	45	895	744	55,8	38,9
	0,8	11,5	45	837	812	52,4	39,0
	0,2	8,5	32	760	1012	65,1	37,0
	0,5	8,5	32	872	995	55,5	38,0
	0,8	8,5	32	867	1070	54,2	41,7
0,2	8,3	31	824	938	65,0	41,4	
0,5	8,3	31	974	979	55,7	41,8	
0,8	8,3	31	884	1668	51,0	39,5	
12,3	0,2	23,8	80	689	1092	69,7	35,2
	0,5	23,8	80	889	950	50,5	34,0
	0,8	23,8	80	842	1298	51,2	34,7
	0,2	19,3	65	861	865	65,0	30,0
	0,5	19,3	65	838	848	55,5	34,1
	0,8	19,3	65	934	902	50,4	35,9
	0,2	16,2	58	712	818	67,5	37,1
	0,5	16,2	58	776	877	65,2	38,4
	0,8	16,2	58	903	988	51,0	37,9
	0,2	13,8	54	710	929	67,9	46,1
	0,5	13,8	54	889	1014	56,7	33,9

Продолжение прил. 2

Расстояние от КМК (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность (ρ_{sp} , кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
12,3	0,8	13,8	54	863	977	52,0	35,8
	0,2	12,3	53	708	686	66,0	35,7
	0,5	12,3	53	875	1052	52,9	36,7
	0,8	12,3	53	901	1096	47,7	33,1
	0,2	10,9	40	1287	1816	67,0	33,5
	0,5	10,9	40	845	1412	56,8	35,1
	0,8	10,9	40	843	1637	52,2	37,5
	0,2	8,0	32	1056	1136	67,4	35,3
	0,5	8,0	32	908	1162	53,5	38,6
	0,8	8,0	32	786	868	50,7	36,0
13,1	0,2	23,7	70	751	810	66,8	35,8
	0,5	23,7	70	860	911	62,1	36,8
	0,8	23,7	70	1004	869	54,9	37,6
	0,2	22,5	54	759	765	67,0	31,9
	0,5	22,5	54	935	910	54,9	34,5
	0,8	22,5	54	819	1066	58,5	36,0
	0,2	17,1	57	942	956	57,4	34,4
	0,5	17,1	57	820	941	61,4	34,7
	0,8	17,1	57	975	993	55,9	37,7
	0,2	14,3	47	801	817	63,6	32,6
	0,5	14,3	47	886	1094	56,2	32,7
	0,8	14,3	47	918	1077	51,1	34,9
	0,2	9,3	38	764	764	65,0	33,3
	0,5	9,3	38	875	999	55,9	35,1
	0,8	9,3	38	861	1417	58,5	36,2
	0,2	12,0	41	807	803	66,3	31,4
	0,5	12,0	41	876	1112	56,8	34,2
	0,8	12,0	41	936	1252	52,6	33,6
	0,2	7,2	32	788	1388	58,1	33,6
	0,5	7,2	32	820	1377	56,4	37,3
0,8	7,2	32	902	1355	55,9	39,5	

Продолжение прил. 2

Расстояние от КМК (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность (ρ_{02} , кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S,%)	
				в древесине	в коре	в древесине	в коре
17,5	0,2	26,3	80	768	864	66,5	32,8
	0,5	26,3	80	845	1046	54,5	32,0
	0,8	26,3	80	894	1216	49,8	36,3
	0,2	18,3	55	740	786	64,2	31,5
	0,5	18,3	55	1018	542	49,9	36,0
	0,8	18,3	55	886	932	52,6	32,2
	0,2	13,7	50	786	847	66,6	42,8
	0,5	13,7	50	921	790	54,5	33,7
	0,8	13,7	50	829	1129	52,5	35,2
	0,2	19,9	67	775	774	67,1	32,0
	0,5	19,9	67	926	984	55,4	31,1
	0,8	19,9	67	912	1106	54,0	36,1
	0,2	8,6	35	730	906	68,4	32,3
	0,5	8,6	35	928	1393	54,9	36,9
	0,8	8,6	35	892	1139	53,2	40,3
	0,2	10,6	41	817	830	63,3	35,6
	0,5	10,6	41	836	1247	57,3	37,3
	0,8	10,6	41	942	979	52,8	38,9
	0,2	11,6	43	823	978	60,7	33,3
	0,5	11,6	43	912	1226	53,8	34,0
0,8	11,6	43	989	1491	52,7	34,1	
31	0,2	24,2	77	719	552	67,9	32,5
	0,5	24,2	77	922	707	51,2	33,9
	0,8	24,2	77	952	853	50,1	36,5
	0,2	20,6	70	845	900	60,7	35,2
	0,5	20,6	70	915	864	51,9	35,7
	0,8	20,6	70	946	908	49,5	36,1
	0,2	18,6	66	768	679	69,5	33,0
	0,5	18,6	66	841	791	62,8	34,0
	0,8	18,6	66	935	1013	53,5	36,0
	0,2	14,2	58	785	690	71,1	34,3

Окончание прил. 2

Расстояние от КМК (L, км)	Относительная высота (h)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Плотность (ρ_{02} , кг/м ³)		Содержание сухого вещества (S,%)	
				в древесине	В коре	в древесине	В коре
31	0,5	14,2	58	799	690	62,4	35,8
	0,8	14,2	58	826	1073	53,4	39,3
	0,2	15,9	63	687	685	68,1	30,6
	0,5	15,9	63	759	875	60,8	31,6
	0,8	15,9	63	880	736	58,7	36,8
	0,2	8,4	40	775	1113	70,2	31,9
	0,5	8,4	40	769	869	63,6	28,7
	0,8	8,4	40	811	1765	53,4	36,0
	0,2	12,7	56	748	599	70,9	32,4
	0,5	12,7	56	802	744	60,5	32,5
	0,8	12,7	56	882	1162	52,5	33,0
	Итого по березе: 168 определений						
Всего: 466 определений							

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Квалиметрические показатели хвои и ветвей (скелета кроны), полученные при взятии модельных деревьев в градиенте аэрозагрязнений от СУМЗ и КМК

Расстояние от СУМЗ (L, км)	Положение взятого образца в кроне* (U)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Содержание сухого вещества, %	
				в хвое (Sf)	в ветвях (Sbr)
<i>Ель (СУМЗ)</i>					
1	1	10,4	44	49	58
	2	10,4	44	50	57
	3	10,4	44	47	57
	1	14,9	46	50	49
	2	14,9	46	48	55
	3	14,9	46	48	53
	1	20,3	76	47	61
	2	20,3	76	47	55
	3	20,3	76	46	54
	1	27,8	130	50	59
	2	27,8	130	54	60
	3	27,8	130	48	59
	1	37,9	97	51	59
	2	37,9	97	52	56
	3	37,9	97	48	58
	1	6,1	53	47	55
	2	6,1	53	48	55
	2	1	7,8	50	42
2		7,8	50	45	53
1		30,0	49	49	56
2		30,0	49	48	57
3		30,0	49	47	57
1		19,8	111	47	58
2		19,8	111	47	59
3		19,8	111	47	55
1		27,1	48	46	56

Продолжение прил. 3

Расстояние от СУМЗ (L, км)	Положение взятого образца в кроне* (U)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Содержание сухого вещества, %	
				в хвое (Sf)	в ветвях (Sbr)
2	3	27,1	48	44	55
	1	14,6	120	47	58
	2	14,6	120	46	58
	1	9,6	84	44	57
	2	9,6	84	49	60
4	1	35,9	95	50	74
	2	35,9	95	49	55
	3	35,9	95	49	59
	1	29,1	123	54	59
	2	29,1	123	53	64
	3	29,1	123	50	62
	1	18,5	87	44	58
	3	18,5	87	48	60
	1	12,0	90	40	52
	2	12,0	90	42	50
	1	10,7	58	41	47
	2	10,7	58	46	52
	1	27,0	132	54	73
	2	27,0	132	50	71
	1	23,9	83	46	51
2	23,9	83	47	45	
3	23,9	83	47	47	
7	1	26,6	74	47	458
	2	26,6	74	47	65
	1	24,0	84	49	58
	2	24,0	84	44	60
	3	24,0	84	49	68
	1	9,0	53	42	53
	2	9,0	53	48	56
	1	34,3	76	49	57

Продолжение прил. 3

Расстояние от СУМЗ (L, км)	Положение взятого образца в кроне* (U)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Содержание сухого вещества, %	
				в хвое (Sf)	в ветвях (Sbr)
7	2	34,3	76	51	58
	3	34,3	76	51	60
	2	19,6	66	47	57
	3	19,6	66	48	59
	1	17,0	61	48	56
	2	17,0	61	49	58
	3	17,0	61	52	62
	1	6,4	37	50	58
30	1	33,8	134	52	57
	2	33,8	134	52	60
	3	33,8	134	49	73
	1	29,6	107	49	73
	2	29,6	107	52	60
	3	29,6	107	46	55
	1	30,7	82	53	58
	2	30,7	82	48	56
	3	30,7	82	46	81
	1	15,7	64	48	63
	2	15,7	64	47	68
	3	15,7	64	46	60
	2	14,4	70	46	77
	3	14,4	70	52	56
	1	6,4	67	41	55
	2	6,4	67	47	57
	1	18,8	78	49	55
	2	18,8	78	50	58
3	18,8	78	49	57	
Итого по ели: 83 определения					

Продолжение прил. 3

Расстояние от СУМЗ (L, км)	Положение взятого образца в кроне* (U)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Содержание сухого вещества, %	
				в хвое (Sf)	в ветвях (Sbr)
<i>Пихта (СУМЗ)</i>					
1	1	15,8	96	45	48
	2	15,8	96	47	50
	3	15,8	96	46	50
	1	24,5	83	43	52
	2	24,5	83	44	50
	3	24,5	83	43	49
	1	11,7	71	42	48
	2	11,7	71	42	46
	1	19,1	74	43	47
	2	19,1	74	43	48
	3	19,1	74	44	49
	1	26,8	66	42	46
	2	26,8	66	44	45
	3	26,8	66	45	49
	1	7,8	49	41	42
	2	7,8	49	44	49
2	1	31,8	52	43	49
	2	31,8	52	43	52
	3	31,8	52	43	49
	1	26,0	67	45	50
	2	26,0	67	45	53
	3	26,0	67	44	50
	1	21,7	90	43	51
	2	21,7	90	45	50
	3	21,7	90	45	49
	1	16,2	90	42	56
	1	6,1	63	36	50
	2	6,1	63	43	50
	1	9,7	65	39	47
	2	9,7	65	42	46

Продолжение прил. 3

Расстояние от СУМЗ (L, км)	Положение взятого образца в кроне* (U)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Содержание сухого вещества, %	
				в хвое (Sf)	в ветвях (Sbr)
4	1	31,1	164	47	52
	2	31,1	164	49	49
	3	31,1	164	47	47
	1	26,5	95	48	48
	2	26,5	95	48	48
	3	26,5	95	48	48
	1	21,2	96	48	48
	2	21,2	96	45	45
	3	21,2	96	50	50
	1	15,4	82	49	49
	2	15,4	82	51	51
	3	15,4	82	48	48
	1	24,2	62	50	50
	2	24,2	62	49	49
	3	24,2	62	48	48
	7	1	6,7	53	52
2		6,7	53	42	45
1		28,1	125	51	50
2		28,1	125	46	51
3		28,1	125	45	49
1		27,9	121	46	48
2		27,9	121	44	49
3		27,9	121	45	50
1		18,5	60	44	51
2		18,5	60	44	47
1		24,0	125	45	46
2		24,0	125	43	48
1		17,3	95	44	49
2		17,3	95	45	50
1		12,0	128	42	42
2		12,0	128	43	48
1	7,9	61	44	44	

Продолжение прил. 3

Расстояние от СУМЗ (L, км)	Положение взятого образца в кроне* (U)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Содержание сухого вещества, %	
				в хвое (Sf)	в ветвях (Sbr)
30	1	23,7	105	43	44
	2	23,7	105	42	59
	3	23,7	105	41	43
	1	4,3	108	45	65
	2	4,3	108	45	49
	3	4,3	108	46	59
	1	30,7	129	43	58
	2	30,7	129	42	56
	3	30,7	129	42	43
	1	30,9	93	45	49
	2	30,9	93	44	48
	3	30,9	93	45	53
	1	13,2	91	42	44
	2	13,2	91	43	43
	1	26,7	113	47	52
	2	26,7	113	46	55
	3	26,7	113	43	48
	1	8,0	84	45	54
Итого по пихте: 80 определений					
Расстояние от КМК (L, км)	Положение взятого образца в кроне* (U)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Содержание сухого вещества, %	
				в хвое (Sf)	в ветвях (Sbr)
<i>Сосна (КМК)</i>					
4,2	1	31,5	78	48	50
	2	31,5	78	51	50
	3	31,5	78	49	50
	1	29,2	74	48	46
	2	29,2	74	59	49
	3	29,2	74	47	48
	1	23,7	78	50	49
	2	23,7	78	56	49

Продолжение прил. 3

Расстояние от КМК (L, км)	Положение взятого образца в кроне* (U)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Содержание сухого вещества, %	
				в хвое (Sf)	в ветвях (Sbr)
4,2	3	23,7	78	47	52
	1	15,2	70	48	53
	2	15,2	70	48	51
	3	15,2	70	47	50
	1	20,5	78	46	48
	2	20,5	78	48	49
	3	20,5	78	49	53
	1	13,2	53	47	51
	2	13,2	53	48	48
	1	10,3	63	49	50
6,6	1	33,7	89	49	44
	2	33,7	89	48	46
	3	33,7	89	48	47
	1	29,1	87	48	44
	2	29,1	87	49	46
	3	29,1	87	50	48
	1	20,8	85	49	45
	2	20,8	85	49	48
	1	22,6	84	49	45
	2	22,6	84	48	48
	3	22,6	84	48	49
	1	16,1	76	47	48
	2	16,1	76	46	43
8,3	1	33,6	101	48	46
	2	33,6	101	46	48
	3	33,6	101	49	47
	1	28,0	103	51	46
	2	28,0	103	48	43
	3	28,0	103	48	47
	1	21,7	89	46	47
	2	21,7	89	46	47
	3	21,7	89	44	48
	1	26,6	98	47	46
	2	26,6	98	47	46

Продолжение прил. 3

Расстояние от КМК (L, км)	Положение взятого образца в кроне* (U)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Содержание сухого вещества, %	
				в хвое (Sf)	в ветвях (Sbr)
8,3	3	26,6	98	46	45
	1	15,6	65	44	45
	2	15,6	65	45	45
	1	13,0	68	48	46
	2	13,0	68	47	47
	1	10,1	64	45	45
	2	10,1	64	45	45
9,5	1	31,2	126	53	47
	2	31,2	126	47	46
	3	31,2	126	48	47
	1	12,2	75	42	49
	3	12,2	75	48	49
	1	25,8	104	49	46
	2	25,8	104	49	48
	3	25,8	104	49	48
	1	23,1	105	48	45
	3	23,1	105	48	47
	1	18,2	72	46	46
	3	18,2	72	47	47
	1	10,4	63	48	47
	3	10,4	63	49	48
1	15,4	69	46	47	
3	15,4	69	46	50	
13,8	1	30,3	97	49	44
	2	30,3	97	50	47
	3	30,3	97	50	50
	1	27,1	98	49	46
	2	27,1	98	47	47
	3	27,1	98	48	46
	1	20,7	85	52	46
	2	20,7	85	40	46
	3	20,7	85	52	49

Продолжение прил. 3

Расстояние от КМК (L, км)	Положение взятого образца в кроне* (U)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Возраст дерева (A, лет)	Содержание сухого вещества, %	
				в хвое (Sf)	в ветвях (Sbr)
13,8	1	24,1	90	52	48
	2	24,1	90	52	47
	3	24,1	90	50	48
	1	16,1	81	49	47
	2	16,1	81	48	49
	1	14,0	44	48	49
	1	9,4	48	47	48
32,0	1	33,6	72	44	41
	2	33,6	72	46	44
	3	33,6	72	46	43
	1	28,3	68	45	43
	2	28,3	68	47	44
	3	28,3	68	47	46
	1	24,8	65	50	44
	2	24,8	65	47	45
	3	24,8	65	47	47
	1	21,1	52	41	41
	2	21,1	52	43	46
	3	21,1	52	45	47
	1	17,6	65	45	45
	2	17,6	65	45	51
	1	12,5	54	47	45
	2	12,5	54	38	47
	1	7,0	60	43	45
Итого по сосне: 102 определения					

* U – номер секции кроны в направлении от вершины к основанию.

Продолжение прил. 3

Расстояние от КМК (L, км)	Возраст дерева (А, лет)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Содержание сухого вещества, %	
			в листьях	в ветвях
<i>Береза (КМК)</i>				
3,8	70	23,4	38	53
	63	20,1	40	53
	75	17,5	40	54
	78	15,3	39	48
	57	11,4	38	54
	45	10,8	39	51
	42	8,6	40	54
4,8	80	22,4	41	49
	78	18,7	36	50
	70	15,9	38	53
	57	14,0	42	53
	45	12,1	40	54
	42	8,4	50	54
	35	7,0	42	59
6,8	33	8,4	40	61
	47	10,0	39	54
	55	12,7	39	55
	73	24,5	39	51
	62	21,9	38	51
	47	17,8	40	54
	49	13,3	39	53
8,5	86	24,1	35	49
	75	18,8	37	51
	60	15,9	36	45
	52	14,4	36	52
	45	11,5	35	51
	32	8,5	37	51
	31	8,3	40	54

Окончание прил. 3

Расстояние от КМК (L, км)	Возраст дерева (A, лет)	Диаметр ствола на высоте груди (D, см)	Содержание сухого вещества, %	
			в листе	в ветвях
12,3	80	23,8	36	53
	65	19,3	36	50
	58	16,2	36	55
	54	13,8	38	56
	53	12,3	37	52
	40	10,9	34	52
	32	8,0	38	52
13,1	70	23,7	40	59
	54	22,5	40	52
	57	17,1	40	50
	47	14,3	39	52
	38	9,3	40	54
	41	12,0	39	57
	32	7,2	37	55
17,5	80	26,3	38	49
	55	18,3	39	57
	50	13,7	41	54
	67	19,9	31	54
	35	8,6	38	56
	41	10,6	37	54
	43	11,6	37	57
31	77	24,2	40	54
	70	20,6	39	52
	66	18,6	36	53
	58	14,2	38	53
	63	15,9	38	52
	40	8,4	35	55
	56	12,7	38	54
Итого по березе: 56 определений				
Всего: 321 определение				

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Фактические данные модельных деревьев пихты, ели, сосны и березы, взятых на пробных площадях в градиентах загрязнений от СУМЗ и КМЖ*

L	A	AK	D	H	LK	Doksw	Dobk	Pbr	Pf	Pf	Pa	Za	Zst	Zbr	Zf	Zr	Zg	Gz
<i>Ель (СУМЗ)</i>																		
1	44	39	10,4	8,7	8,0	10,4	9,7	15,5	6,2	5,0	26,8	2,07	0,78	0,31	0,98	1,0	2,75	29,1
	46	34	14,9	12,2	9,8	14,4	13,6	37,0	13,8	16,6	67,4	5,46	2,74	0,79	1,93	2,4	9,74	92,5
	76	63	20,3	16,1	12,8	18,0	17,4	109,8	28,8	30,5	169,1	13,3	6,57	0,90	5,85	2,5	14,0	143,8
	130	103	27,8	16,2	14,1	27,2	25,9	206,5	86,7	45,0	338,2	11,0	2,73	1,67	6,59	0,7	12,0	104,3
	97	82	37,9	19,0	15,5	30,7	29,4	329,5	166,0	69,7	565,2	26,1	8,59	4,00	13,5	2,1	22,5	576,4
53	46	6,05	4,70	3,60	6,00	6,00	5,60	4,05	2,05	1,89	7,99	0,67	0,13	0,09	0,45	0,6	0,96	8,8
2	50	30	7,8	7,7	6,8	8,0	7,4	7,28	2,98	2,94	13,2	1,18	0,53	0,19	0,46	1,2	2,36	17,8
	49	43	30,0	21,3	19,3	28,6	27,6	247,0	118,5	69,3	434,7	25,8	12,3	5,38	8,21	2,8	23,6	236,9
	111	95	19,8	14,5	11,0	17,6	16,5	92,4	22,6	14,8	129,8	5,53	3,02	0,47	2,04	1,2	6,74	76,9
	48	36	27,1	19,9	15,1	22,9	22,0	174,3	35,2	37,1	246,6	15,1	8,14	1,90	5,05	2,4	18,9	165,8
	120	67	14,6	17,0	13,3	14,0	13,5	80,3	11,4	8,69	100,4	3,47	1,83	0,34	1,30	0,5	2,03	34,5
84	48	9,6	8,0	5,0	8,8	8,1	14,0	6,55	4,17	24,7	1,37	0,43	0,27	0,67	0,5	1,31	22,1	
4	95	73	35,9	24,1	19,0	27,5	26,0	314,2	60,1	36,3	410,6	19,0	8,20	1,62	9,20	2,4	26,6	319,4
	123	113	29,1	23,3	19,0	22,6	21,6	229,9	30,2	18,9	279,0	9,59	3,43	0,53	5,66	1,1	9,86	206,7
	87	79	18,5	16,3	12,6	17,5	16,6	82,2	32,0	28,1	142,3	11,9	3,11	0,80	7,98	1,6	8,72	77,9
	90	69	12,0	9,2	12,6	11,4	11,2	26,6	12,7	7,19	46,5	2,45	1,04	0,36	1,09	0,9	2,90	27,4
	58	40	10,7	9,3	7,9	10,6	9,8	13,5	8,87	5,31	27,7	2,39	0,98	0,43	0,96	1,4	4,14	19,8
83	69	23,9	22,7	20,5	21,1	20,1	130,7	34,1	33,6	198,3	10,4	5,72	0,97	3,68	2,5	17,2	136,3	
124	89	17,5	17,7	12,6	15,2	14,3	84,9	12,2	11,7	108,8	4,09	2,02	0,27	1,80	0,6	3,23	40,1	

Продолжение прил. 4

L	A	Ак	D	H	Lк	Dokw	Dobk	Pbr	Pf	Pf	Pα	Zα	Zst	Zbr	Zf	Zr	Zg	Gz
	74	53	26,6	19,6	16,1	23,0	21,7	156,8	58,3	46,9	261,9	19,9	7,35	2,16	10,6	2,3	17,3	63,5
	84	61	24,0	20,7	18,2	22,3	21,6	156,1	32,6	28,0	216,6	20,2	6,82	1,05	6,62	2,3	16,1	52,4
	53	33	9,0	9,3	7,6	8,7	8,3	10,8	3,90	2,70	17,4	2,30	0,76	0,23	0,75	1,4	3,42	10,4
7	76	63	34,3	23,8	21,3	28,7	27,7	304,1	92,5	80,1	476,6	47,3	17,7	2,89	9,67	4,6	46,2	103,3
	66	49	19,6	16,2	13,0	17,9	17,4	76,3	23,9	28,8	129,0	16,5	5,12	0,96	7,55	2,9	16,2	36,1
	61	38	17,0	16,4	12,5	15,4	14,6	72,7	17,5	21,4	111,6	14,7	5,21	0,90	4,81	2,5	12,1	28,1
	37	35	6,4	4,1	2,5	6,1	5,7	3,70	2,00	0,90	6,60	0,50	0,18	0,11	0,23	0,9	1,60	7,02
	134	65	33,8	23,6	14,7	23,3	22,2	312,6	67,7	37,0	417,3	13,1	5,00	2,05	4,86	1,9	19,9	100,4
	107	71	29,6	25,1	17,8	21,9	21,0	280,6	59,4	35,0	375,0	18,2	7,47	1,65	3,81	1,6	14,5	77,8
	82	58	30,7	22,2	17,7	25,4	24,3	248,0	56,0	34,2	338,1	19,6	7,30	1,90	6,44	2,0	18,1	83,5
30	64	44	15,7	18,3	14,1	14,4	13,7	62,9	11,3	11,0	85,1	9,50	3,89	0,50	1,71	1,9	8,50	24,4
	70	42	14,4	12,4	9,3	12,9	12,2	44,1	16,0	9,10	69,2	3,90	1,64	0,74	1,23	1,1	4,68	21,1
	67	45	6,4	5,0	2,8	5,8	5,3	5,80	3,40	1,30	10,5	0,60	0,40	0,15	0,23	0,9	1,58	7,02
	78	37	18,8	19,5	12,4	14,9	14,1	91,8	11,4	10,4	113,5	11,8	4,35	0,60	1,70	2,0	11,4	33,5
Итого по ели: 34 модельных дерева																		
<i>Пихта (СММБ)</i>																		
	96	61	15,8	10,1	7,6	14,0	12,7	38,4	7,21	5,92	51,5	1,90	0,73	0,23	0,94	0,6	2,45	36,4
	83	73	24,5	17,7	14,8	22,8	21,6	144,3	33,9	16,7	194,9	7,04	3,83	0,92	2,29	1,4	9,63	235,9
1	71	60	11,7	9,5	8,4	11,9	10,9	17,9	3,85	2,95	24,7	1,37	0,72	0,13	0,52	1,0	3,11	18,4
	74	64	19,1	15,5	13,5	18,8	17,5	79,5	20,4	15,1	115,1	4,76	2,08	0,63	2,05	1,0	5,23	110,5
	66	59	26,8	19,6	17,7	26,3	24,7	171,1	52,7	28,6	252,4	10,6	4,55	1,76	4,26	1,2	8,90	91,8
	49	38	7,8	9,2	6,05	7,5	6,9	10,8	1,65	2,13	14,6	0,95	0,49	0,08	0,38	0,7	1,53	9,83

2	52	38	31,8	20,4	16,7	27,6	26,1	224,1	75,1	43,5	342,7	14,6	6,74	3,85	3,97	1,6	14,2	106,5
	67	59	26,0	21,8	15,1	23,6	22,0	187,9	40,6	23,2	251,7	11,9	4,26	1,35	6,31	0,9	7,05	66,4
	90	70	21,7	19,0	15,4	20,1	18,8	133,5	17,0	11,9	162,4	4,76	2,27	0,48	2,01	0,7	4,45	45,9
	90	67	16,2	11,3	9,4	15,4	14,5	42,1	10,9	6,43	59,5	1,66	0,66	0,32	0,68	0,4	1,76	22,5
	63	46	6,1	5,5	3,9	5,8	5,3	3,58	1,59	0,93	6,1	0,28	0,10	0,07	0,11	0,3	0,47	8,75
	65	48	9,7	10,3	5,1	7,1	6,5	15,6	3,27	3,12	22,0	0,83	0,37	0,13	0,33	0,5	1,28	17,9
4	164	118	31,1	24,1	18,4	24,6	22,7	232,7	35,5	19,7	288,0	5,47	2,91	0,60	1,96	0,7	6,22	246,9
	95	70	26,5	20,1	13,5	21,6	20,4	177,9	38,3	23,1	239,3	10,9	6,59	1,08	3,22	1,5	11,6	64,3
	96	81	21,2	19,5	12,7	16,5	15,5	112,9	16,6	10,3	139,7	4,18	2,34	0,40	1,44	1,1	6,65	49,6
	82	62	15,4	13,0	8,9	13,2	12,3	42,8	11,9	6,24	61,0	2,30	1,33	0,38	0,59	0,9	3,91	35,4
	62	54	24,2	17,9	16,0	23,8	22,6	128,2	14,3	16,8	159,2	8,30	5,04	0,52	2,74	1,8	12,8	59,7
	53	45	6,7	7,0	6,1	6,9	6,5	4,68	2,49	2,40	9,57	0,68	0,30	0,11	0,27	0,8	1,48	10,8
7	125	81	29,8	22,9	13,6	23,2	21,6	291,6	53,4	36,6	381,5	15,5	8,13	1,30	6,06	1,7	14,5	83,0
	121	94	27,9	21,9	13,9	21,2	19,8	198,9	35,1	27,0	261,0	8,16	4,20	0,74	3,22	1,1	8,46	71,0
	60	47	18,5	15,0	9,7	14,6	13,7	63,1	12,3	9,83	85,3	3,87	2,03	0,51	1,32	1,1	5,93	41,7
	125	52	24,0	19,4	7,9	14,9	14,0	151,0	21,5	13,0	185,5	6,71	2,82	0,81	3,08	0,8	5,70	39,3
	95	42	17,3	17,4	12,0	14,5	13,8	62,1	10,1	9,34	81,5	4,51	2,50	0,47	1,54	1,3	6,26	27,1
	128	52	12,0	13,5	8,9	9,7	9,1	26,2	5,92	4,28	36,4	1,87	0,77	0,22	0,88	0,6	2,04	18,4
30	61	27	7,9	9,0	4,5	6,0	5,6	8,51	2,02	1,66	12,2	0,75	0,32	0,14	0,29	0,5	1,04	6,57
	105	79	23,7	21,1	17,9	20,9	19,9	123,5	23,5	11,4	158,5	5,08	2,38	0,59	2,11	0,8	5,48	51,2
	108	73	40,3	26,2	16,8	28,0	26,5	427,7	86,9	47,2	561,7	19,2	6,41	2,35	10,4	1,4	16,5	141,2
	129	97	30,7	23,1	18,1	25,3	24,2	268,0	64,3	36,2	368,5	16,1	4,55	1,31	10,2	1,0	9,27	83,5
	93	59	30,9	23,1	17,0	24,5	23,0	265,9	62,9	42,8	371,7	15,1	5,70	2,10	7,32	1,4	13,1	84,5
	91	45	13,2	15,1	5,4	7,5	7,0	36,8	3,26	2,38	42,4	1,17	0,53	0,14	0,50	0,3	1,26	18,3
Итого по пицге: 32 модельных дерева	113	72	26,7	22,8	15,0	19,8	18,7	189,7	30,3	14,2	234,2	7,46	2,55	0,83	4,08	0,7	5,37	64,0
	84	71	8,0	7,6	4,6	6,9	6,6	7,56	1,54	0,87	9,97	0,40	0,20	0,04	0,16	2,0	0,93	8,97

Продолжение прил. 4

L	A	Ак	D	H	Lк	Dокв	Dобк	Pбр	Pf	Pf	Pa	Za	Zst	Zbr	Zf	Zr	Zg	Gz
<i>Сосна (КМК)</i>																		
	78	58	31,5	23,2	15,3	26,2	25,8	390,7	80,57	18,77	490,0	10,90	5,124	2,778	3,000	8,80	39,39	236,3
	74	48	29,2	24,5	11,4	20,8	20,5	355,8	51,54	23,02	430,3	12,68	5,529	2,148	5,000	9,50	39,64	281,2
	78	50	23,7	21,5	15,3	18,0	17,6	166,7	21,46	9,90	198,1	5,040	2,381	0,858	1,800	5,68	19,17	146,9
4,2	70	48	15,2	10,8	3,2	12,0	11,8	35,23	10,61	4,22	50,07	1,920	0,478	0,442	1,000	4,00	8,57	73,8
	78	53	20,5	18,2	10,9	16,0	15,7	134,7	20,00	9,96	164,7	4,324	1,469	0,755	2,100	6,08	17,74	86,9
	53	35	13,2	10,1	6,0	9,5	9,3	27,29	7,48	3,89	38,66	1,738	0,511	0,427	0,800	4,98	9,45	31,5
	63	38	10,3	9,6	4,6	8,2	7,4	19,84	4,15	2,58	26,57	0,987	0,350	0,237	0,400	4,43	6,59	28,2
	89	56	33,7	25,9	13,0	24,3	23,6	401,5	56,67	19,71	477,9	9,264	3,339	2,024	3,901	4,80	23,44	310,8
	87	46	29,1	24,2	8,5	18,3	17,8	292,0	43,07	14,92	350,0	8,299	4,197	1,873	2,229	5,83	24,20	168,7
6,6	85	51	20,8	24,3	10,2	12,8	12,4	167,6	12,00	5,96	185,5	3,730	1,671	0,471	1,589	3,05	8,91	92,2
	84	47	22,6	25,6	8,5	13,3	12,9	256,0	11,89	6,28	274,1	4,874	2,558	0,506	1,810	3,63	11,62	120,7
	76	45	16,1	19,1	9,5	10,9	10,6	82,84	5,67	1,54	90,04	1,309	0,583	0,252	0,474	2,33	5,49	64,8
	101	71	33,6	26,7	13,3	24,5	24,0	478,0	67,96	22,78	568,8	11,31	5,089	1,914	4,306	8,38	41,00	179,4
	103	63	28,0	25,7	8,6	14,7	14,4	332,8	14,94	8,03	355,8	6,429	3,439	0,474	2,515	5,33	21,60	138,2
	89	61	21,7	19,0	13,8	17,7	17,3	112,7	15,47	7,83	136,0	3,491	1,450	0,507	1,534	4,80	14,59	102,5
8,3	98	65	26,6	20,3	8,1	16,8	16,3	241,5	22,56	10,34	274,4	5,478	2,661	0,694	2,123	5,95	22,75	164,6
	65	31	15,6	15,4	9,4	11,1	10,7	49,8	7,55	5,58	62,93	2,810	1,310	0,487	1,013	7,58	16,08	80,5
	68	31	13,0	12,8	7,5	9,7	9,3	31,5	6,88	3,78	42,15	1,795	0,674	0,444	0,677	6,13	10,72	52,4
	64	27	10,1	11,4	6,7	7,2	6,9	18,7	2,82	2,52	24,05	1,242	0,444	0,209	0,589	4,65	6,66	20,3

	126	62	31,2	23,0	12,0	22,1	21,6	355,7	77,48	14,31	447,5	9,321	3,753	2,499	3,068	5,60	26,00	254,8
	75	36	12,2	10,4	6,8	9,6	9,7	19,9	3,89	1,72	25,49	0,882	0,333	0,216	0,333	4,80	8,45	34,7
	104	62	25,8	22,2	10,4	18,6	18,2	226,6	20,35	7,36	254,3	5,274	2,465	0,656	2,152	6,03	22,51	172,5
9,5	105	59	23,1	23,1	9,0	13,9	13,5	178,1	13,03	5,41	196,5	3,631	1,995	0,442	1,194	6,30	20,81	140,2
	72	58	18,2	16,8	4,6	10,7	10,3	89,3	5,54	1,26	96,10	1,595	1,142	0,191	0,262	5,63	14,90	65,4
	63	46	10,4	10,9	6,5	7,6	7,7	21,7	2,52	1,56	25,75	0,596	0,307	0,110	0,179	3,33	4,72	31,7
	69	40	15,4	10,7	5,0	10,5	10,2	71,6	4,77	1,64	78,03	0,922	0,413	0,239	0,271	4,98	10,62	28,4
	97	60	30,3	25,1	11,3	19,3	18,6	378,6	41,56	22,52	442,7	10,24	5,391	1,385	3,465	8,50	36,60	171,7
	98	48	27,1	21,5	10,7	24,8	24,3	273,6	42,29	16,57	332,4	8,269	3,262	1,762	3,245	6,80	27,07	199,8
	85	57	20,7	22,5	10,6	14,2	13,9	190,0	18,30	9,83	218,1	5,919	3,200	0,642	2,077	6,75	20,15	105,3
13,8	90	50	24,1	22,9	9,7	15,3	14,9	230,2	14,87	9,29	254,3	5,681	3,416	0,595	1,670	7,43	26,55	156,4
	81	50	16,1	18,0	6,0	9,4	9,1	90,3	4,18	2,28	96,74	1,644	1,114	0,167	0,363	4,85	11,16	67,3
	44	31	14,0	13,3	4,0	8,0	7,7	39,1	3,87	1,99	44,98	0,985	0,527	0,250	0,209	4,23	8,02	22,5
	48	34	9,4	10,0	4,7	7,8	7,4	17,5	2,54	0,995	21,03	0,587	0,311	0,149	0,127	3,83	5,11	21,2
	72	49	33,6	26,4	15,1	24,2	23,6	393,3	35,82	15,90	445,0	10,63	6,045	1,462	3,124	11,80	54,11	206,5
	68	43	28,3	22,3	9,0	17,8	17,2	279,2	38,99	12,30	330,5	8,125	3,470	1,813	2,842	7,18	29,84	144,5
	65	41	24,8	24,2	11,2	15,8	15,3	220,6	19,45	7,920	248,0	6,548	3,612	0,949	1,987	7,68	26,77	107,9
32,0	52	40	21,1	23,7	15,2	16,8	16,5	170,4	19,46	9,615	199,5	7,007	4,156	0,973	1,878	13,05	38,31	96,71
	65	43	17,6	21,0	9,4	12,3	12,0	103,3	7,43	3,846	114,6	2,617	1,368	0,346	0,904	5,20	13,26	75,4
	54	28	12,5	13,5	7,5	9,0	8,7	32,5	5,88	3,062	41,46	1,607	0,730	0,420	0,457	4,55	7,91	39,8
	60	48	7,0	8,3	3,8	4,8	4,5	7,26	1,51	0,645	9,412	0,334	0,126	0,063	0,145	2,28	2,28	10,1
Итого по сосне: 42 модельных дерева																		

Продолжение прил. 4

L	A	AK	D	H	LK	Dokw	Dobk	Pbr	Pf	Pf	Pa	Za	Zst	Zbr	Zf	Zr	Zg	Gz
<i>Береза (КМК)</i>																		
	70	52	23,4	22,2	13,6	18,0	16,5	221,7	5,82	27,3	254,8	9,13	2,28	5,82	1,03	4,55	14,2	317,2
	63	43	20,1	22,4	13,0	14,5	13,0	151,2	3,69	17,8	172,7	6,24	1,74	3,69	0,808	4,25	11,5	237,7
	75	56	17,5	21,6	11,0	13,5	12,2	113,5	2,17	13,0	128,7	4,07	1,44	2,17	0,457	2,90	7,26	203,5
3,8	78	59	15,3	19,0	7,50	12,0	11,1	86,6	1,91	8,31	96,8	3,20	1,02	1,91	0,277	3,98	8,74	158,3
	57	42	11,4	18,9	10,5	8,5	7,7	54,2	0,760	2,83	57,8	1,43	0,541	0,760	0,132	3,28	5,16	81,7
	45	46	10,8	15,2	10,3	9,0	8,1	37,2	0,655	3,15	41,0	1,15	0,365	0,655	0,134	2,15	3,34	78,5
	42	57	8,6	12,7	9,00	7,7	7,0	19,5	0,585	2,53	22,7	0,88	0,211	0,585	0,087	1,65	2,00	47,8
	80	50	22,4	21,0	10,0	14,8	13,8	182,0	4,95	24,8	211,8	7,76	1,84	4,95	0,973	5,03	15,2	298,5
	78	50	18,7	20,0	11,4	14,0	12,9	126,6	3,32	14,2	144,1	4,95	1,08	3,32	0,556	2,95	7,71	221,6
	70	37	15,9	19,9	8,70	10,6	9,8	103,0	2,36	8,32	113,7	4,28	1,49	2,36	0,438	2,95	6,74	169,6
4,8	57	33	14,0	17,0	7,10	9,0	8,0	71,6	2,46	5,54	79,6	3,72	0,943	2,46	0,326	4,53	8,93	128,6
	45	30	12,1	15,7	9,20	9,1	8,4	44,1	1,21	4,36	49,6	2,26	0,770	1,21	0,281	3,60	6,09	94,1
	42	28	8,4	13,5	9,10	7,4	6,9	20,0	0,861	1,82	22,7	1,44	0,456	0,861	0,126	4,68	5,55	47,8
	35	22	7,0	10,9	6,60	5,4	5,0	10,2	0,256	0,76	11,2	0,62	0,295	0,256	0,066	4,18	4,06	32,2
	33	24	8,4	13,5	9,70	7,1	6,5	17,1	0,470	1,81	19,4	1,02	0,405	0,470	0,145	4,25	4,93	45,4
	47	31	10,0	15,6	11,3	8,5	8,1	28,2	0,928	3,06	32,2	1,63	0,513	0,928	0,191	4,90	6,93	67,2
	55	35	12,7	17,1	8,80	8,4	7,8	52,2	1,18	5,26	58,7	2,42	0,941	1,18	0,292	4,95	8,78	104,7
6,8	73	45	24,5	25,8	14,5	19,5	18,0	307,1	7,46	45,3	359,8	13,78	4,36	7,46	1,97	6,10	25,2	413,5
	62	39	21,9	24,7	12,0	15,0	13,8	224,7	4,95	30,5	260,1	9,05	2,58	4,95	1,52	5,18	16,2	321,1
	47	30	17,8	23,3	9,40	9,4	8,8	119,6	1,80	7,61	129,0	3,98	1,68	1,80	0,491	4,83	12,1	204,8
	49	28	13,3	18,6	6,50	7,1	6,6	59,8	1,10	3,96	64,8	2,59	1,22	1,10	0,273	5,63	10,5	116,8

8,5	86	44	24,1	24,8	11,0	16,6	15,6	271,0	6,71	46,7	324,4	12,03	3,25	6,71	2,08	6,45	20,4	404,5
	75	28	18,8	24,3	6,80	10,3	9,2	180,9	3,84	18,1	202,8	7,14	2,06	3,84	1,25	4,98	13,3	233,6
	60	35	15,9	21,5	7,00	8,2	7,6	90,5	2,61	8,73	101,9	4,27	1,17	2,61	0,485	3,53	7,73	157,2
	52	31	14,4	20,8	6,30	6,6	6,0	77,3	1,77	7,40	86,5	3,25	1,01	1,77	0,462	3,20	6,30	126,6
	45	33	11,5	17,7	11,5	9,7	8,8	45,8	1,58	5,56	53,0	2,86	0,957	1,58	0,327	4,50	7,47	91,6
	32	23	8,5	12,7	8,60	6,7	6,5	17,5	0,639	2,10	20,2	1,19	0,375	0,639	0,175	4,28	4,99	45,9
	31	24	8,3	13,5	8,60	6,7	6,3	20,5	0,307	1,56	22,3	0,91	0,482	0,307	0,125	4,45	4,41	45,9
12,3	80	53	23,8	24,5	12,0	16,0	15,0	231,4	5,46	34,9	271,8	9,56	2,80	5,46	1,29	5,93	20,9	408,1
	65	40	19,3	21,9	10,7	13,3	12,2	154,0	4,40	17,1	175,5	7,62	2,38	4,40	0,834	5,83	15,6	236,3
	58	32	16,2	22,0	11,1	11,0	10,0	108,5	2,48	9,33	120,3	5,04	1,99	2,48	0,566	5,98	13,9	178,9
	54	35	13,8	17,7	9,50	9,3	8,5	54,6	1,52	6,02	62,2	2,84	0,984	1,52	0,335	6,00	11,1	113,9
	53	31	12,3	19,1	12,3	10,2	9,6	50,6	1,34	4,36	56,3	2,57	0,960	1,34	0,272	4,88	8,50	101,1
	40	32	10,9	14,4	10,9	9,8	9,0	44,2	0,904	2,15	47,3	1,74	0,708	0,904	0,130	5,08	7,65	76,2
	32	21	8,0	14,7	9,35	6,3	5,9	22,9	0,407	0,85	24,1	1,02	0,538	0,407	0,077	4,15	4,78	44,8
13,1	70	45	23,7	24,2	12,3	17,4	16,0	258,7	6,89	67,1	332,7	14,15	4,35	6,89	2,92	8,23	27,6	371,4
	54	35	22,5	24,6	11,0	12,4	11,5	220,6	2,98	13,6	237,2	7,61	3,87	2,98	0,757	7,98	26,2	309,3
	57	35	17,1	22,3	9,80	10,0	9,0	113,1	1,49	8,11	122,7	3,76	1,82	1,49	0,451	5,68	13,5	186,2
	47	28	14,3	21,0	9,70	10,1	9,3	77,2	1,23	7,09	85,5	3,18	1,46	1,23	0,489	5,98	12,2	139,9
	38	23	9,3	10,7	6,90	8,0	7,3	16,9	0,611	4,04	21,5	1,38	0,429	0,611	0,336	5,18	6,57	54,7
	41	25	12,0	15,5	12,0	6,9	6,3	40,9	1,28	6,60	48,8	2,65	0,863	1,28	0,508	5,25	8,73	92,4
	32	20	7,2	9,1	10,8	5,9	5,5	8,3	0,332	1,68	10,3	0,74	0,248	0,332	0,160	4,80	4,87	35,3

Окончание прил. 4

L	A	Ак	D	H	Lк	Dокв	Dок	Pbr	Pf	Pf	Pf	Pa	Za	Zst	Zbr	Zf	Zr	Zg	Gz
	80	41	26,3	25,8	12,0	19,3	18,2	333,2	8,97	8,97	68,8	411,0	17,30	5,06	8,97	3,28	8,58	32,5	475,1
	55	38	18,3	24,6	8,90	11,9	10,9	130,3	3,11	17,8	17,8	151,2	6,19	2,16	3,11	0,912	6,10	15,9	224,2
	50	23	13,7	19,1	9,60	9,6	8,9	74,2	1,22	7,88	7,88	83,3	3,11	1,24	1,22	0,657	5,10	10,0	127,6
17,5	67	25	19,9	23,3	11,5	10,3	9,4	158,5	4,54	20,6	20,6	183,6	8,46	2,34	4,54	1,58	6,00	16,6	252,9
	35	18	8,6	13,7	7,00	6,2	5,9	20,8	0,631	2,79	2,79	24,3	1,50	0,571	0,631	0,294	5,30	6,52	51,5
	41	30	10,6	18,3	6,15	9,0	8,3	44,1	0,796	3,48	3,48	48,3	2,05	1,03	0,796	0,225	5,00	7,73	80,1
	43	26	11,6	17,7	5,90	8,4	7,9	43,7	1,04	3,39	3,39	48,1	2,26	0,970	1,04	0,251	5,98	9,72	89,9
	77	44	24,2	25,0	13	16,7	15,2	256,7	9,09	37,2	37,2	303,1	14,84	4,09	9,09	1,66	7,70	25,4	359,5
	70	40	20,6	25,8	13,0	14,0	13,0	212,2	4,60	17,6	17,6	234,4	8,77	3,31	4,60	0,857	7,28	21,6	292,4
	66	43	18,6	25,4	10,2	12,1	10,9	183,8	3,06	17,2	17,2	204,0	6,61	2,77	3,06	0,782	6,03	16,2	237,7
31	58	37	14,2	19,6	13,2	12,0	11,3	87,4	2,42	7,87	7,87	97,7	4,38	1,55	2,42	0,414	5,85	11,9	136,8
	63	38	15,9	20,5	10,2	10,6	9,6	87,0	3,08	11,6	11,6	101,7	5,29	1,62	3,08	0,597	5,33	12,1	169,6
	40	25	8,4	11,1	5,90	6,0	5,3	15,4	0,774	4,04	4,04	20,3	1,47	0,384	0,774	0,310	5,18	5,27	43,6
	56	32	12,7	18,1	6,60	7,9	7,4	60,7	1,78	5,32	5,32	67,8	3,31	1,21	1,78	0,323	5,28	9,47	107,5
Итого по березе: 56 модельных дерева																			
Всего: 164 модельных дерева																			

* L – расстояние от источника загрязнения, км; A – возраст дерева, лет; Ак – возраст живой кроны, лет; D – диаметр ствола на высоте груди, см; H – высота дерева, м; Lк – длина живой кроны, м; Док – диаметр ствола у основания живой кроны в коре, см; Докк – диаметр ствола у основания живой кроны без коры, см; Pst – фитомасса ствола, кг; Pbr – фитомасса ветвей дерева, кг; Pf – фитомасса хвои дерева, кг; Pa и Za – соответственно общая надземная фитомасса и общая первичная продукция дерева, кг; Zst – первичная продукция ствола, кг; Zbr – первичная продукция ветвей дерева, кг; Zf – первичная продукция хвои дерева, кг; Zr – радиальный прирост ствола на высоте груди, средний за последние пять лет, мм; Zg – годичный прирост поперечного сечения ствола, средний за последние 5 лет, см²; Gz – площадь сечения заболони ствола, см².

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Фактические данные модельных растений подроста и подлеска в градиентах загрязнения в районе СУМЗ и КМК

L, км	Элемент насаждения	Вид	Количество, экз.	Площадь сечений*, см ²	Фитомасса*, кг			Годичная продукция*, кг		
					Скелет	Листва	Итого	Скелет	Листва	Итого
<i>Елово-лиственновые насаждения (СУМЗ)</i>										
1	Подрост	Ель	6	91,33	7,599	2,244	9,844	0,374	0,145	0,519
		Пихта	6	50,25	4,283	1,749	6,033	0,292	0,107	0,400
		Сосна	2	34,30	3,096	1,087	4,183	0,362	0,120	0,483
		Береза	5	27,02	2,286	0,162	2,448	0,162	0,081	0,243
	Подлесок	Ива	2	13,48	1,247	0,110	1,357	0,110	0,104	0,214
		Рябина	3	28,58	3,442	0,089	3,531	0,089	0,112	0,201
		Можжевельник	3	3,03	0,151	0,057	0,208	0,019	0,007	0,026
		Ракитник	1	0,28	0,012	0,002	0,014	0,002	0,003	0,005
		Пихта	6	40,77	3,226	1,107	4,333	0,185	0,087	0,272
		Ель	6	50,86	3,883	1,881	5,764	0,314	0,132	0,446
1,5	Подрост	Береза	5	22,65	1,547	0,193	1,740	0,188	0,054	0,242
		Можжевельник	3	6,26	0,298	0,081	0,379	0,027	0,010	0,037
	Подлесок	Шиповник	3	0,78	2,581	0,423	3,005	0,423	0,985	1,408
		Рябина	3	5,67	0,366	0,023	0,388	0,023	0,033	0,055
		Калина	1	1,13	0,029	0,003	0,032	0,003	0,010	0,013
	Ракитник	2	0,67	0,024	0,010	0,035	0,010	0,007	0,017	
	Ива	1	1,54	0,049	0,030	0,079	0,030	0,007	0,037	

Продолжение прил. 5

L, км	Элемент насаждения	Вид	Количество экз.	Площадь сечений*, см²	Фитомасса*, кг			Годичная продукция*, кг		
					Скелет	Листья	Итого	Скелет	Листья	Итого
<i>Елово-пихтовые насаждения (СУМЗ)</i>										
7	Подрост	Пихта	6	46,48	5,132	0,983	6,115	0,165	0,093	0,258
		Ель	5	18,41	1,259	0,406	1,664	0,068	0,049	0,117
		Береза	3	0,60	0,011	0,004	0,015	0,004	0,002	0,006
		Осина	4	2,12	0,048	0,008	0,056	0,008	0,010	0,018
	Подлесок	Лица	4	3,18	0,050	0,015	0,065	0,015	0,009	0,023
		Рябина	6	6,15	0,273	0,032	0,305	0,032	0,029	0,061
		Малина	3	0,61	0,007	0,004	0,011	0,004	0,007	0,011
		Жимолость	3	1,64	0,094	0,021	0,115	0,021	0,015	0,036
		Черемуха	3	4,66	0,215	0,044	0,259	0,043	0,026	0,068
		Бузина	3	2,68	0,091	0,014	0,105	0,014	0,016	0,030
Подрост	Пихта	5	46,61	4,369	1,686	6,055	0,268	0,077	0,345	
	Ель	5	42,14	4,462	0,472	4,934	0,079	0,121	0,200	
	Береза	1	0,071	0,001	0,0005	0,001	0,0005	0,0005	0,0010	
	Осина	1	0,28	0,004	0,002	0,006	0,0015	0,0014	0,0030	
34	Подрост	Пиложник	4	1,91	0,107	0,033	0,139	0,033	0,049	0,081
		Рябина	5	30,81	3,545	0,301	3,846	0,301	0,179	0,480
		Малина	3	0,75	0,010	0,005	0,015	0,005	0,010	0,015
	Подлесок	Жимолость	2	0,76	0,043	0,005	0,049	0,005	0,008	0,013
		Черемуха	2	3,60	0,209	0,015	0,224	0,015	0,026	0,042
		Смородина	3	0,58	0,017	0,004	0,021	0,004	0,009	0,012
		Бузина	3	3,60	0,072	0,044	0,116	0,044	0,043	0,087
Итого в елово-пихтовых насаждениях (СУМЗ): 132 модельных растения										

Основные насаждения (КМКУ)										
4,2	Подрост	Сосна	1	0,120	0,032	0,035	0,067	0,004	0,014	0,018
		Береза	3	0,900	0,007	0,009	0,016	0,001	0,007	0,008
5,5	Подлесок	Ракитник	3	0,600	0,010	0,033	0,044	0,004	0,010	0,014
		Сосна	7	1,390	0,349	0,443	0,792	0,049	0,154	0,202
		Береза	7	1,050	0,072	0,464	0,536	0,051	0,072	0,123
		Ольха	7	1,650	0,139	1,056	1,195	0,116	0,139	0,255
7,3		Сосна	7	2,740	0,396	1,063	1,459	0,117	0,174	0,291
		Береза	3	0,890	0,081	0,630	0,711	0,069	0,081	0,150
		Осина	7	0,670	0,132	0,213	0,345	0,023	0,132	0,156
		Ракитник	5	0,130	0,007	0,043	0,049	0,005	0,007	0,012
		Кизильник	6	0,380	0,023	0,230	0,250	0,025	0,023	0,049
8,3		Черемуха	6	1,420	0,133	0,947	1,080	0,104	0,133	0,237
		Рябина	5	0,831	0,131	0,366	0,497	0,040	0,131	0,171
		Сосна	7	3,730	0,676	2,463	3,138	0,271	0,297	0,568
		Береза	2	0,210	0,027	0,116	0,144	0,013	0,027	0,040
		Осина	7	1,360	0,215	1,240	1,455	0,136	0,215	0,351
13,8		Ракитник	4	0,210	0,013	0,098	0,111	0,011	0,013	0,024
		Рябина	5	2,570	0,445	2,639	3,084	0,290	0,445	0,735
		Сосна	7	3,272	0,721	1,606	2,327	0,177	0,317	0,494
		Береза	3	0,189	0,013	0,043	0,056	0,005	0,013	0,017
13,8		Ольха	4	0,870	0,120	0,470	0,590	0,052	0,120	0,172
		Ракитник	6	0,590	0,045	0,292	0,337	0,032	0,045	0,077
		Рябина	6	0,861	0,131	0,366	0,497	0,040	0,131	0,171
		Черемуха	6	1,420	0,133	0,947	1,080	0,104	0,133	0,237
		Кизильник	6	0,511	0,058	0,008	0,231	0,001	0,058	0,059

Продолжение прил. 5

L, км	Элемент насаждения	Вид	Количество, экз.	Площадь сечений*, см ²	Фитомасса*, кг			Годичная продукция*, кг		
					Скелет	Листья	Итого	Скелет	Листья	Итого
32	Подрост	Сосна	7	2,740	0,396	1,063	1,459	0,117	0,174	0,291
		Береза	2	0,320	0,024	0,110	0,134	0,012	0,024	0,036
	Подлесок	Осина	7	1,430	0,235	1,402	1,647	0,154	0,235	0,389
		Ракитник	5	0,240	0,012	0,890	0,902	0,098	0,012	0,110
	Подлесок	Лица	7	1,390	0,225	1,240	1,465	0,136	0,225	0,361
		Рябина	5	1,020	0,074	0,474	0,548	0,052	0,074	0,126
		Черемуха	6	1,630	0,233	0,987	1,220	0,109	0,233	0,341

Итого в основных насаждениях (КМК): 169 модельных растений

Березовые насаждения (КМК)

L, км	Элемент насаждения	Вид	Количество, экз.	Площадь сечений*, см ²	Фитомасса*, кг			Годичная продукция*, кг		
					Листья	Скелетная часть	Итого	Листья	Скелетная часть	Итого
3,5	Подрост	Сосна	1	0,120	0,032	0,035	0,067	0,014	0,004	0,018
		Береза	3	0,900	0,007	0,009	0,016	0,007	0,001	0,008
	Подлесок	Ракитник	3	0,600	0,010	0,033	0,044	0,010	0,004	0,014
4,8	Подрост	Сосна	7	1,390	0,349	0,443	0,792	0,154	0,049	0,202
		Береза	7	1,050	0,072	0,464	0,536	0,072	0,051	0,123
	Подлесок	Ольха	7	1,650	0,139	1,056	1,195	0,139	0,116	0,255

6,8	Подрост	Сосна	7	2,740	0,396	1,063	1,459	0,174	0,117	0,291
		Береза	3	0,890	0,081	0,630	0,711	0,081	0,069	0,150
8,5	Подлесок	Осина	7	0,670	0,132	0,213	0,345	0,132	0,023	0,156
		Ракитник	5	0,130	0,007	0,043	0,049	0,007	0,005	0,012
		Кизильник	3	0,380	0,023	0,230	0,250	0,023	0,025	0,049
		Черемуха	6	1,420	0,133	0,947	1,080	0,133	0,104	0,237
		Рябина	5	0,831	0,131	0,366	0,497	0,131	0,040	0,171
12,3	Подрост	Сосна	7	3,730	0,676	2,463	3,138	0,297	0,271	0,568
		Береза	2	0,210	0,027	0,116	0,144	0,027	0,013	0,040
		Осина	7	1,360	0,215	1,240	1,455	0,215	0,136	0,351
		Ракитник	4	0,210	0,013	0,098	0,111	0,013	0,011	0,024
		Рябина	5	2,570	0,445	2,639	3,084	0,445	0,290	0,735
13,8	Подлесок	Сосна	7	2,726	0,382	1,050	1,445	0,160	0,103	0,277
		Береза	7	1,070	0,074	0,444	0,586	0,072	0,051	0,123
		Осина	3	1,388	0,193	1,360	1,605	0,193	0,112	0,347
		Рябина	6	0,861	0,161	0,396	0,527	0,161	0,070	0,201
		Ракитник	5	0,150	0,007	0,044	0,049	0,007	0,005	0,012
13,8	Подрост	Кизильник	3	0,255	0,029	0,0039	0,116	0,029	0,0004	0,029
		Сосна	7	3,272	0,721	1,606	2,327	0,317	0,177	0,494
		Береза	3	0,189	0,013	0,043	0,056	0,013	0,005	0,017
		Ольха	4	0,870	0,120	0,470	0,590	0,120	0,052	0,172
		Ракитник	6	0,590	0,045	0,292	0,337	0,045	0,032	0,077
13,8	Подлесок	Рябина	6	0,861	0,131	0,366	0,497	0,131	0,040	0,171
		Черемуха	3	1,420	0,133	0,947	1,080	0,133	0,104	0,237
		Кизильник	3	0,255	0,029	0,004	0,116	0,029	0,001	0,031

Окончание прил. 5

L, км	Элемент насаждения	Вид	Количество, экз.	Площадь сечения* см ²	Фитомасса*, кг			Годичная продукция*, кг		
					Листья	Скелетная часть	Итого	Листья	Скелетная часть	Итого
17,5	Подрост	Сосна	6	2,715	0,371	1,039	1,434	0,149	0,092	0,266
		Береза	5	0,509	0,037	0,153	0,190	0,037	0,017	0,054
		Осина	4	1,392	0,197	1,364	1,609	0,197	0,116	0,351
	Подлесок	Ракитник	6	1,200	0,021	0,067	0,088	0,021	0,007	0,028
		Шиповник	3	0,117	0,015	0,043	0,057	0,015	0,002	0,006
		Черемуха	3	1,420	0,133	0,947	1,080	0,133	0,104	0,237
32	Подрост	Кизильник	3	0,255	0,029	0,004	0,116	0,029	0,0012	0,029
		Сосна	7	2,740	0,396	1,063	1,459	0,174	0,117	0,291
		Береза	2	0,320	0,024	0,110	0,134	0,024	0,012	0,036
	Подлесок	Осина	7	1,430	0,235	1,402	1,647	0,235	0,154	0,389
		Ракитник	5	0,240	0,012	0,890	0,902	0,012	0,003	0,015
		Липа	7	1,390	0,225	1,240	1,465	0,225	0,136	0,361
		Рябина	5	1,020	0,074	0,474	0,548	0,074	0,052	0,126
		Черемуха	6	1,630	0,233	0,987	1,220	0,233	0,109	0,341

Итого в березовых насаждениях (КМК): 214 модельных растений.
Всего: 515 модельных растений.

* Суммарные показатели для всей совокупности модельных деревьев.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Фактические значения массы генеративных органов у модельных деревьев сосны и березы в градиенте загрязнений от КМК*

Сосна				Береза			
<i>L</i> , км	<i>A</i> , лет	<i>D</i> , см	<i>Pgen</i> , кг	<i>L</i> , км	<i>A</i> , лет	<i>D</i> , см	<i>Pgen</i> , кг
4,2	74	29,2	0,87	3,8	70	23,4	0,15
4,2	78	23,7	0,28	3,8	63	20,1	0,11
6,6	89	33,7	0,91	3,8	75	17,5	0,78
6,6	87	29,1	2,04	3,8	78	15,3	0,23
6,6	84	22,6	0,95	4,8	80	22,4	0,50
8,3	101	33,6	3,48	4,8	78	18,7	0,24
8,3	103	28,0	0,98	4,8	70	15,9	0,30
8,3	98	26,6	1,17	8,5	86	24,1	2,20
9,5	126	31,2	5,95	8,5	75	18,8	0,55
9,5	104	25,8	0,30	8,5	60	15,9	0,03
9,5	105	23,1	0,27	6,8	73	24,5	0,37
13,8	97	30,3	4,43	6,8	62	21,9	0,28
13,8	98	27,1	2,21	17,5	80	26,3	0,50
13,8	85	20,7	0,60	17,5	55	18,3	0,05
13,8	90	24,1	1,46	17,5	67	19,9	0,16
32,0	52	21,1	0,44	13,1	70	23,7	0,71
–	–	–	–	13,1	57	17,1	0,04
–	–	–	–	13,1	47	14,3	0,06
–	–	–	–	12,3	80	23,8	0,83
–	–	–	–	12,3	58	16,2	0,04
–	–	–	–	12,3	54	13,8	0,29
–	–	–	–	31,0	77	24,2	0,72
–	–	–	–	31,0	70	20,6	0,21
–	–	–	–	31,0	56	12,7	0,04

* *L* – расстояние пробной площади от КМК; *A* – возраст дерева; *D* – диаметр ствола на высоте груди; *Pgen* – масса генеративных органов модельного дерева в абсолютно сухом состоянии, кг.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Фактические данные фитомассы модельных деревьев сосны обыкновенной и березы белой по регионам (обозначения в тексте)*

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
Сосна обыкновенная по регионам												
1. Карабаш, естественные сосняки (наши вновь полученные данные)												
1	78	31,5	23,2	390,7	80,57	18,77	490,0	0	0	0	0	0
2	74	29,2	24,5	355,8	51,54	23,02	430,3	0	0	0	0	0
3	78	23,7	21,5	166,7	21,46	9,90	198,1	0	0	0	0	0
4	70	15,2	10,8	35,2	10,61	4,22	50,07	0	0	0	0	0
5	78	20,5	18,2	134,7	20,00	9,96	164,7	0	0	0	0	0
6	53	13,2	10,1	27,3	7,48	3,89	38,66	0	0	0	0	0
7	63	10,3	9,6	19,8	4,15	2,58	26,57	0	0	0	0	0
8	53	8,9	9,6	11,4	3,25	3,77	18,47	0	0	0	0	0
9	89	33,7	25,9	401,5	56,67	19,71	477,9	0	0	0	0	0
10	87	29,1	24,2	292,0	43,07	14,92	350,0	0	0	0	0	0
11	85	20,8	24,3	167,6	12,00	5,96	185,5	0	0	0	0	0
12	84	22,6	25,6	256,0	11,89	6,28	274,1	0	0	0	0	0
13	76	16,1	19,1	82,8	5,67	1,54	90,04	0	0	0	0	0
14	63	12,8	12,8	50,8	2,02	0,83	53,63	0	0	0	0	0
15	101	33,6	26,7	478,0	67,96	22,78	568,8	0	0	0	0	0
16	103	28,0	25,7	332,8	14,94	8,03	355,8	0	0	0	0	0
17	89	21,7	19,0	112,7	15,47	7,83	136,0	0	0	0	0	0
18	98	26,6	20,3	241,5	22,56	10,34	274,4	0	0	0	0	0
19	65	15,6	15,4	49,8	7,55	5,58	62,93	0	0	0	0	0
20	68	13,0	12,8	31,5	6,88	3,78	42,15	0	0	0	0	0
21	64	10,1	11,4	18,7	2,82	2,52	24,05	0	0	0	0	0
22	126	31,2	23,0	355,7	77,48	14,31	447,5	0	0	0	0	0
23	75	12,2	10,4	19,9	3,89	1,72	25,49	0	0	0	0	0
24	104	25,8	22,2	226,6	20,35	7,36	254,3	0	0	0	0	0
25	105	23,1	23,1	178,1	13,03	5,41	196,5	0	0	0	0	0
26	72	18,2	16,8	89,3	5,54	1,26	96,10	0	0	0	0	0
27	63	10,4	10,9	21,7	2,52	1,56	25,75	0	0	0	0	0
28	69	15,4	10,7	71,6	4,77	1,64	78,03	0	0	0	0	0
29	97	30,3	25,1	378,6	41,56	22,52	442,7	0	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
30	98	27,1	21,5	273,6	42,29	16,57	332,4	0	0	0	0	0
31	85	20,7	22,5	190,0	18,30	9,83	218,1	0	0	0	0	0
32	90	24,1	22,9	230,2	14,87	9,29	254,3	0	0	0	0	0
33	81	16,1	18,0	90,3	4,18	2,28	96,74	0	0	0	0	0
34	44	14,0	13,3	39,1	3,87	1,99	44,98	0	0	0	0	0
35	48	9,4	10,0	17,5	2,54	0,99	21,03	0	0	0	0	0
36	72	33,6	26,4	393,3	35,82	15,90	445,0	0	0	0	0	0
37	68	28,3	22,3	279,2	38,99	12,30	330,5	0	0	0	0	0
38	65	24,8	24,2	220,6	19,45	7,92	248,0	0	0	0	0	0
39	52	21,1	23,7	170,4	19,46	9,62	199,5	0	0	0	0	0
40	65	17,6	21,0	103,3	7,43	3,85	114,6	0	0	0	0	0
41	54	12,5	13,5	32,5	5,88	3,06	41,46	0	0	0	0	0
42	60	7,0	8,3	7,26	1,51	0,64	9,41	0	0	0	0	0
2. Аман-Карагайский бор, естественные сосняки (Усольцев, 1997)												
1	21	12,7	9,2	23,03	5,02	3,78	31,83	1	0	0	0	0
2	21	11,7	9,9	23,12	3,14	2,32	28,58	1	0	0	0	0
3	21	9,6	8,7	13,48	2,55	1,49	17,52	1	0	0	0	0
4	21	8,4	6,7	8,08	1,16	1,11	10,35	1	0	0	0	0
5	21	7,5	7,9	7,6	0,35	0,75	8,7	1	0	0	0	0
6	21	5,2	6,0	2,85	0,24	0,30	3,4	1	0	0	0	0
7	21	4,5	5,7	2,26	0,3	0,58	3,13	1	0	0	0	0
8	21	4,0	5,6	1,19	0,18	0,24	1,61	1	0	0	0	0
9	21	2,1	3,8	0,47	0,02	0,05	0,53	1	0	0	0	0
10	21	1,2	2,1	0,13	0,01	0,03	0,17	1	0	0	0	0
11	32	1,8	3,8	0,37	0,02	0,05	0,44	1	0	0	0	0
12	32	2,0	5,3	1,32	0,07	0,10	1,49	1	0	0	0	0
13	32	5,3	7,6	3,99	0,16	0,25	4,4	1	0	0	0	0
14	32	6,4	8,3	6,34	0,31	0,54	7,19	1	0	0	0	0
15	32	7,6	8,9	8,82	0,41	0,77	10,0	1	0	0	0	0
16	32	11,0	12,0	19,97	0,54	1,95	22,46	1	0	0	0	0
17	32	4,3	7,1	2,84	0,98	0,35	4,17	1	0	0	0	0
18	32	4,0	6,7	2,02	0,2	0,25	2,47	1	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
19	32	3,5	6,0	1,26	0,24	0,11	1,60	1	0	0	0	0
20	32	2,4	4,6	0,62	0,81	0,15	1,57	1	0	0	0	0
21	40	13,5	16,0	48,46	2,14	1,91	52,51	1	0	0	0	0
22	40	11,6	15,8	38,4	1,43	1,04	40,87	1	0	0	0	0
23	40	9,1	12,6	17,58	0,47	0,39	18,44	1	0	0	0	0
24	40	6,4	11,6	8,38	0,21	0,13	8,72	1	0	0	0	0
25	40	7,6	11,4	11,54	0,3	0,40	12,24	1	0	0	0	0
26	40	5,9	10,3	5,63	0,12	0,09	5,85	1	0	0	0	0
27	40	6,2	11,3	6,95	0,23	0,21	7,39	1	0	0	0	0
28	40	6,9	12,1	9,33	0,13	0,08	9,54	1	0	0	0	0
29	40	4,4	7,7	3,12	0,23	0,18	3,52	1	0	0	0	0
30	40	2,8	7,1	1,23	0,06	0,05	1,34	1	0	0	0	0
31	110	34,5	26,1	436,2	34,8	12,16	483,2	1	0	0	0	0
32	110	27,0	24,2	274,9	21,5	6,96	303,4	1	0	0	0	0
33	110	27,2	25,1	240,4	12	6,31	258,7	1	0	0	0	0
34	110	24,1	19,8	124,2	6	2,24	132,4	1	0	0	0	0
35	110	19,6	19,2	103,5	4,76	1,98	110,2	1	0	0	0	0
36	110	18,1	19,1	92,4	4,86	2,09	99,35	1	0	0	0	0
37	110	14,9	19,0	71,46	3,81	1,30	76,57	1	0	0	0	0
38	110	14,3	15,4	55,45	2,63	0,90	58,98	1	0	0	0	0
39	110	7,1	7,1	6,42	0,9	0,47	7,80	1	0	0	0	0
40	110	6,3	8,7	6,91	0,4	0,13	7,44	1	0	0	0	0
41	40	24,5	17,4	143,1	22,3	12,70	178,1	1	0	0	0	0
42	40	21,3	17,7	119,5	19	9,84	148,3	1	0	0	0	0
43	40	18,4	17,5	80,7	4,78	5,27	90,75	1	0	0	0	0
44	40	16,4	14,6	44,8	5,03	2,26	52,09	1	0	0	0	0
45	40	13,9	17,0	49,15	1,97	1,78	52,9	1	0	0	0	0
46	40	12,6	16,1	34,4	1,08	1,18	36,66	1	0	0	0	0
47	40	11,8	13,8	24,4	1,16	1,73	27,29	1	0	0	0	0
48	40	10,9	15,3	27,3	0,81	1,42	29,53	1	0	0	0	0
49	40	9,4	12,3	20,1	0,7	0,40	21,2	1	0	0	0	0
50	40	8,7	11,7	12,46	0,53	0,34	13,33	1	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
51	40	22,1	17,4	113,5	13,2	9,13	135,8	1	0	0	0	0
52	40	22,1	16,6	113,7	18,71	11,10	143,5	1	0	0	0	0
53	40	18,7	16,1	78,84	14,24	7,08	100,2	1	0	0	0	0
54	40	15,5	15,0	52,31	3,23	2,67	58,21	1	0	0	0	0
55	40	7,4	10,4	8,77	0,44	0,27	9,48	1	0	0	0	0
56	40	5,8	9,0	4,85	0,35	0,21	5,41	1	0	0	0	0
57	40	3,6	5,0	1,30	0,31	0,11	1,72	1	0	0	0	0
58	40	2,7	4,9	0,90	0,08	0,04	1,01	1	0	0	0	0
59	40	14,1	14,7	44,0	6,10	6,38	56,48	1	0	0	0	0
60	40	10,9	13,8	25,06	1,09	0,91	27,06	1	0	0	0	0
61	40	21,0	17,0	88,35	12,1	5,19	105,6	1	0	0	0	0
62	40	16,0	13,9	46,34	5,35	3,07	54,76	1	0	0	0	0
63	40	15,9	15,0	46,53	4,19	4,19	54,91	1	0	0	0	0
64	40	12,9	14,5	35,23	2,53	2,02	39,78	1	0	0	0	0
65	40	12,0	12,3	24,64	1,29	0,80	26,73	1	0	0	0	0
66	40	9,2	10,8	14,1	0,75	0,55	15,40	1	0	0	0	0
67	40	8,2	11,9	12,6	0,41	0,43	13,44	1	0	0	0	0
68	40	6,3	8,2	4,26	0,14	0,18	4,58	1	0	0	0	0
69	40	4,9	6,9	2,67	0,23	0,14	3,04	1	0	0	0	0
70	40	0,8	2,1	0,08	0,01	0,01	0,09	1	0	0	0	0
71	42	10,8	14,7	30,94	1,56	1,48	33,98	1	0	0	0	0
72	42	8,0	12,0	12,71	0,37	0,57	13,65	1	0	0	0	0
73	42	7,6	10,9	10,12	0,35	0,47	10,94	1	0	0	0	0
74	42	5,5	10,5	6,0	0,12	0,18	6,31	1	0	0	0	0
75	42	3,4	7,4	1,79	0,13	0,10	2,02	1	0	0	0	0
76	42	3,0	7,4	1,54	0,05	0,02	1,61	1	0	0	0	0
77	42	3,0	6,4	1,38	0,11	0,07	1,56	1	0	0	0	0
78	42	2,4	5,7	0,57	0,06	0,02	0,65	1	0	0	0	0
79	42	2,0	4,3	0,43	0,04	0,02	0,49	1	0	0	0	0
80	42	1,8	5,0	0,39	0,02	0,01	0,42	1	0	0	0	0
81	42	1,6	5,1	0,34	0,02	0,01	0,37	1	0	0	0	0
82	42	5,5	7,2	5,52	0,36	0,49	6,37	1	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
83	42	3,8	6,5	2,17	0,09	0,16	2,42	1	0	0	0	0
84	42	2,9	6,4	1,25	0,03	0,04	1,32	1	0	0	0	0
85	42	3,0	5,2	1,36	0,08	0,12	1,56	1	0	0	0	0
86	42	2,2	5,1	0,63	0,04	0,03	0,70	1	0	0	0	0
87	42	1,3	3,5	0,22	0,01	0,02	0,25	1	0	0	0	0
88	42	1,6	4,6	0,36	0,02	0,02	0,40	1	0	0	0	0
89	42	1,7	4,3	0,37	0,04	0,03	0,44	1	0	0	0	0
90	42	0,9	3,2	0,09	0,003	0,00	0,10	1	0	0	0	0
91	42	0,9	2,9	0,08	0,003	0,00	0,09	1	0	0	0	0
92	20	3,2	3,6	1,07	0,22	0,22	1,50	1	0	0	0	0
93	20	3,0	3,0	0,65	0,11	0,37	1,13	1	0	0	0	0
94	20	2,3	3,0	0,40	0,06	0,05	0,51	1	0	0	0	0
95	20	3,0	2,7	0,70	0,11	0,16	0,96	1	0	0	0	0
96	20	3,2	2,9	0,86	0,27	0,37	1,50	1	0	0	0	0
97	20	1,7	2,6	0,21	0,03	0,07	0,32	1	0	0	0	0
98	20	1,8	2,3	0,24	0,05	0,15	0,44	1	0	0	0	0
99	20	1,2	1,9	0,16	0,06	0,09	0,30	1	0	0	0	0
100	20	4,9	5,1	2,54	0,24	0,60	3,38	1	0	0	0	0
101	20	5,0	4,8	2,61	0,46	0,95	4,02	1	0	0	0	0
102	20	6,4	5,9	4,52	1,11	1,96	7,59	1	0	0	0	0
103	20	5,4	4,9	2,97	0,80	1,36	5,13	1	0	0	0	0
104	20	4,6	5,4	2,36	0,49	0,59	3,44	1	0	0	0	0
105	20	3,6	4,7	1,45	0,23	0,37	2,05	1	0	0	0	0
106	20	3,5	4,2	1,10	0,19	0,56	1,84	1	0	0	0	0
107	20	3,1	4,4	0,86	0,11	0,19	1,16	1	0	0	0	0
108	20	2,5	4,2	0,68	0,10	0,16	0,93	1	0	0	0	0
109	20	1,3	2,8	0,15	0,01	0,04	0,20	1	0	0	0	0
110	20	0,5	1,6	0,04	0,01	0,03	0,09	1	0	0	0	0
111	20	8,5	8,1	9,5	0,97	1,38	11,85	1	0	0	0	0
112	20	6,9	7,1	5,17	0,88	0,89	6,93	1	0	0	0	0
113	20	3,4	4,8	1,58	0,12	0,21	1,91	1	0	0	0	0
114	20	2,7	3,8	0,73	0,07	0,13	0,93	1	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
115	20	1,8	3,7	0,38	0,03	0,05	0,46	1	0	0	0	0
116	20	1,0	2,5	0,11	0,01	0,03	0,15	1	0	0	0	0
117	20	0,9	2,4	0,08	0,01	0,01	0,09	1	0	0	0	0
118	20	0,6	1,9	0,05	0,003	0,01	0,06	1	0	0	0	0
119	20	0,6	1,9	0,04	0,13	0,05	0,22	1	0	0	0	0
3. Ара-Карагайский бор, естественные сосняки (Усольцев, 1997)												
1	25	1,8	4,4	0,35	0,01	0,08	0,45	0	1	0	0	0
2	25	2,4	4,8	0,51	0,02	0,02	0,54	0	1	0	0	0
3	25	2,4	4,6	0,53	0,02	0,04	0,59	0	1	0	0	0
4	25	2,7	5,5	0,86	0,02	0,04	0,92	0	1	0	0	0
5	25	3,5	5,7	1,44	0,13	0,18	1,75	0	1	0	0	0
6	25	4,0	6,6	2,19	0,13	0,25	2,57	0	1	0	0	0
7	25	4,5	8,0	3,2	0,15	0,30	3,65	0	1	0	0	0
8	25	5,0	7,3	3,22	0,56	0,28	4,06	0	1	0	0	0
9	25	6,0	7,6	5,23	0,37	0,68	6,28	0	1	0	0	0
10	25	7,7	8,4	7,45	1,51	0,95	9,91	0	1	0	0	0
11	27	0,8	2,1	0,08	0,02	0,02	0,12	0	1	0	0	0
12	27	1,7	2,9	0,16	0,01	0,02	0,19	0	1	0	0	0
13	27	1,8	4,0	0,35	0,02	0,04	0,41	0	1	0	0	0
14	27	2,1	4,6	0,52	0,03	0,05	0,59	0	1	0	0	0
15	27	2,3	4,6	0,59	0,04	0,05	0,68	0	1	0	0	0
16	27	3,5	6,1	1,46	0,09	0,11	1,66	0	1	0	0	0
17	27	4,5	6,4	2,32	0,20	0,28	2,80	0	1	0	0	0
18	27	5,7	8,2	4,41	0,26	0,60	5,27	0	1	0	0	0
19	27	5,7	8,6	4,67	0,23	0,52	5,42	0	1	0	0	0
20	27	7,3	9,1	7,55	0,53	0,86	8,94	0	1	0	0	0
21	31	1,0	3,0	0,12	0,03	0,01	0,15	0	1	0	0	0
22	31	1,8	5,0	0,43	0,02	0,02	0,47	0	1	0	0	0
23	31	1,9	4,2	0,42	0,04	0,02	0,48	0	1	0	0	0
24	31	2,8	5,5	0,98	0,06	0,02	1,06	0	1	0	0	0
25	31	3,1	7,2	1,50	0,11	0,07	1,68	0	1	0	0	0
26	31	3,8	7,6	2,49	0,10	0,07	2,66	0	1	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
27	31	4,1	7,4	2,49	0,16	0,15	2,8	0	1	0	0	0
28	31	5,7	9,1	5,24	0,37	0,32	5,93	0	1	0	0	0
29	31	6,9	10,0	8,10	0,59	0,56	9,25	0	1	0	0	0
30	31	7,1	9,6	8,31	0,49	0,63	9,43	0	1	0	0	0
31	35	2,2	5,3	0,54	0,04	0,02	0,60	0	1	0	0	0
32	35	3,8	5,3	1,09	0,10	0,04	1,23	0	1	0	0	0
33	35	5,0	7,4	1,69	0,17	0,11	1,97	0	1	0	0	0
34	35	5,9	7,8	3,59	0,16	0,12	3,87	0	1	0	0	0
35	35	7,7	10,2	10,18	1,26	0,65	12,09	0	1	0	0	0
36	35	9,1	11,9	14,9	0,76	0,99	16,65	0	1	0	0	0
37	35	9,5	1,4	14,66	0,66	0,74	16,06	0	1	0	0	0
38	35	10,3	10,4	16,66	1,34	0,71	18,71	0	1	0	0	0
39	35	11,7	11,2	22,63	2,37	2,09	27,09	0	1	0	0	0
40	35	13,1	10,9	25,5	4,61	2,75	32,86	0	1	0	0	0
41	35	3,1	4,0	1,01	0,16	0,07	1,24	0	1	0	0	0
42	35	3,5	4,4	1,07	0,22	0,13	1,42	0	1	0	0	0
43	35	4,6	7,1	2,84	0,22	0,12	3,18	0	1	0	0	0
44	35	5,3	7,8	4,16	0,28	0,23	4,67	0	1	0	0	0
45	35	7,3	11,1	7,93	0,25	0,13	8,31	0	1	0	0	0
46	35	7,8	10,4	10,09	0,54	0,29	10,92	0	1	0	0	0
47	35	8,4	10,8	11,91	0,75	0,71	13,37	0	1	0	0	0
48	35	9,6	12,5	15,92	1,22	0,66	17,8	0	1	0	0	0
49	35	12,9	13,2	30,79	4,32	1,70	36,81	0	1	0	0	0
50	35	13,3	12,9	31,18	4,24	2,31	37,73	0	1	0	0	0
51	35	2,2	4,5	0,52	0,06	0,04	0,62	0	1	0	0	0
52	35	3,8	6,2	1,70	0,15	0,05	1,90	0	1	0	0	0
53	35	5,0	7,9	3,04	0,53	0,14	3,71	0	1	0	0	0
54	35	5,9	9,4	4,77	0,45	0,36	5,58	0	1	0	0	0
55	35	7,7	9,6	9,82	0,75	0,18	10,75	0	1	0	0	0
56	35	9,1	11,1	12,42	0,56	0,42	13,40	0	1	0	0	0
57	35	9,5	11,6	17,0	1,27	0,77	19,04	0	1	0	0	0
58	35	10,3	12,8	20,76	1,80	1,07	23,63	0	1	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
59	35	11,7	12,9	30,53	3,01	1,30	34,84	0	1	0	0	0
60	35	13,1	13,1	29,63	4,76	2,90	37,29	0	1	0	0	0
61	54	4,5	5,9	1,93	0,34	0,27	2,54	0	1	0	0	0
62	54	5,5	8,8	4,64	0,22	0,19	5,05	0	1	0	0	0
63	54	6,4	7,6	4,50	0,26	0,17	4,93	0	1	0	0	0
64	54	8,3	13,7	16,36	0,72	0,64	17,72	0	1	0	0	0
65	54	8,4	9,8	11,32	1,33	1,04	13,69	0	1	0	0	0
66	54	11,7	15,8	31,95	2,14	1,79	35,88	0	1	0	0	0
67	54	12,6	15,4	36,56	3,1	2,84	42,5	0	1	0	0	0
68	54	14,7	15,8	51,76	6,24	4,10	62,1	0	1	0	0	0
69	54	17,1	16,8	69,26	7,83	4,24	81,33	0	1	0	0	0
70	54	19,7	13,3	76,84	12,21	5,22	94,27	0	1	0	0	0
71	65	8,7	9,0	11,12	1,22	1,20	13,54	0	1	0	0	0
72	65	10,0	10,0	12,49	2,12	1,65	16,26	0	1	0	0	0
73	65	11,1	13,8	25,02	1,44	1,13	27,59	0	1	0	0	0
74	65	11,6	14,4	27,49	1,11	1,09	29,69	0	1	0	0	0
75	65	14,5	15,9	51,53	3,26	2,82	57,61	0	1	0	0	0
76	65	15,8	14,7	43,6	6,24	2,80	52,64	0	1	0	0	0
77	65	17,8	17,2	82,86	12,31	7,10	102,3	0	1	0	0	0
78	65	18,8	16,4	71,04	8,06	3,78	82,88	0	1	0	0	0
79	65	21,3	16,3	87,59	9,50	5,81	102,9	0	1	0	0	0
80	65	22,3	16,5	112,6	19,91	11,19	143,7	0	1	0	0	0
81	68	6,3	9,1	6,33	1,30	0,35	7,98	0	1	0	0	0
82	68	6,7	9,1	7,18	1,27	0,72	9,17	0	1	0	0	0
83	68	7,3	10,8	10,41	1,17	0,64	12,22	0	1	0	0	0
84	68	8,7	13,2	15,03	0,66	0,89	16,58	0	1	0	0	0
85	68	9,6	13,9	20,16	0,91	0,54	21,61	0	1	0	0	0
86	68	10,3	13,9	23,98	2,81	1,95	28,74	0	1	0	0	0
87	68	12,8	13,8	26,87	2,00	1,54	30,41	0	1	0	0	0
88	68	13,3	14,3	35,18	2,26	1,98	39,42	0	1	0	0	0
89	68	13,5	14,8	34,35	2,30	1,99	38,64	0	1	0	0	0
90	68	17,8	16,0	80,79	10,45	6,02	97,26	0	1	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
91	70	11,3	13,7	25,29	1,86	0,73	27,88	0	1	0	0	0
92	70	13,0	14,9	35,57	2,15	0,89	38,61	0	1	0	0	0
93	70	16,2	16,1	61,76	4,39	0,84	66,99	0	1	0	0	0
94	70	17,7	20,2	100,7	3,76	2,99	107,4	0	1	0	0	0
95	70	19,7	21,0	107,9	9,02	3,99	120,9	0	1	0	0	0
96	70	21,0	20,8	127,0	5,63	2,90	135,5	0	1	0	0	0
97	70	25,7	23,1	204,3	22,81	8,90	236,0	0	1	0	0	0
98	70	26,2	21,3	191,9	19,74	9,31	220,9	0	1	0	0	0
99	70	27,5	24,1	249,9	25,83	11,80	287,5	0	1	0	0	0
100	70	31,0	20,9	272,6	36,54	13,30	322,4	0	1	0	0	0
101	102	9,6	11,8	21,37	1,83	5,40	28,6	0	1	0	0	0
102	102	10,7	11,6	22,6	4,09	3,39	30,08	0	1	0	0	0
103	102	16,5	16,2	72,5	5,72	3,58	81,8	0	1	0	0	0
104	102	1,7	17,0	87,32	7,16	2,70	97,18	0	1	0	0	0
105	102	22,7	18,5	138,4	14,63	3,82	156,8	0	1	0	0	0
106	102	23,4	22,5	208,9	10,74	4,96	224,6	0	1	0	0	0
107	102	26,6	22,7	215,7	18,92	6,75	241,3	0	1	0	0	0
108	102	27,2	23,8	280,3	16,89	5,21	302,4	0	1	0	0	0
109	102	34,7	25,4	486,9	68,14	17,08	572,1	0	1	0	0	0
110	102	35,3	24,1	507,2	87,61	15,66	610,4	0	1	0	0	0
111	101	10,9	12,7	23,55	3,13	1,20	27,88	0	1	0	0	0
112	101	13,9	11,9	32,89	3,61	1,57	38,07	0	1	0	0	0
113	101	14,8	13,9	46,99	7,17	2,55	56,71	0	1	0	0	0
114	101	16,2	12,8	44,49	15,39	5,48	65,36	0	1	0	0	0
115	101	22,3	18,8	137,1	14,64	4,57	156,3	0	1	0	0	0
116	101	25,3	21,5	192,5	16,93	7,33	216,8	0	1	0	0	0
117	101	27,5	22,0	233,9	31,33	13,65	278,9	0	1	0	0	0
118	101	29,7	21,4	242,8	36,09	13,47	292,3	0	1	0	0	0
119	101	37,2	21,7	350,6	73,11	20,68	444,4	0	1	0	0	0
120	101	46,3	24,6	600,7	90,21	25,74	716,7	0	1	0	0	0
121	110	9,9	12,5	19,27	1,91	0,62	21,8	0	1	0	0	0
122	110	11,4	10,6	16,57	1,93	1,06	19,56	0	1	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
123	110	15,9	17,3	58,62	7,66	3,72	70,0	0	1	0	0	0
124	110	18,1	19,1	82,32	8,61	2,53	93,46	0	1	0	0	0
125	110	21,8	20,6	121,6	10,14	4,03	135,8	0	1	0	0	0
126	110	23,2	22,4	188,1	15,73	6,90	210,7	0	1	0	0	0
127	110	26,7	21,4	212,4	32,5	7,13	252,0	0	1	0	0	0
128	110	28,3	21,5	233,5	21,19	5,02	259,7	0	1	0	0	0
129	110	45,4	23,7	612,3	106,3	20,52	739,1	0	1	0	0	0
130	110	47,8	25,6	828,0	207,8	39,80	1076	0	1	0	0	0
131	106	10,4	12,0	21,64	1,82	0,81	24,27	0	1	0	0	0
132	106	11,5	14,9	32,59	1,35	0,37	34,31	0	1	0	0	0
133	106	14,9	18,6	75,63	4,06	1,87	81,56	0	1	0	0	0
134	106	14,9	19,6	60,69	1,60	0,43	62,72	0	1	0	0	0
135	106	17,9	20,1	105,4	4,04	3,47	112,9	0	1	0	0	0
136	106	19,3	19,2	115,1	7,11	2,65	124,8	0	1	0	0	0
137	106	20,8	19,1	117,6	8,88	3,36	129,8	0	1	0	0	0
138	106	22,2	21,9	147,2	6,68	5,00	158,9	0	1	0	0	0
139	106	24,2	20,9	181,9	17,2	7,26	206,4	0	1	0	0	0
140	106	26,5	22,4	235,2	16,57	7,62	259,4	0	1	0	0	0
4. Казахский мелкосопочник, естественные сосняки (Усолицев, 1997)												
1	66	22,9	18,8	136,4	23,88	9,31	169,6	0	0	1	0	0
2	66	22,8	20,4	156,4	30,69	9,54	196,6	0	0	1	0	0
3	66	18,6	17,2	87,13	17,72	5,73	110,6	0	0	1	0	0
4	66	18,0	15,8	75,03	7,52	5,55	88,1	0	0	1	0	0
5	66	13,9	14,1	41,2	3,60	2,09	46,89	0	0	1	0	0
6	66	12,9	14,0	31,86	2,09	0,97	34,92	0	0	1	0	0
7	66	11,1	13,1	20,72	1,71	0,97	23,4	0	0	1	0	0
8	66	10,0	9,1	16	1,99	1,16	19,15	0	0	1	0	0
9	66	9,4	9,0	11,34	1,66	0,87	13,88	0	0	1	0	0
10	66	7,2	9,5	8,95	1,05	0,50	10,5	0	0	1	0	0
11	66	5,3	7,2	4,09	0,49	0,31	4,89	0	0	1	0	0
12	66	4,6	7,0	3,4	0,57	0,28	4,25	0	0	1	0	0
13	70	23,2	21,1	178,9	18,69	4,53	202,1	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
14	70	11,5	14,6	32,14	12,6	1,09	45,83	0	0	1	0	0
15	70	26,9	18,8	212,2	20,68	6,25	239,1	0	0	1	0	0
16	70	21,5	17,6	128,4	10,59	4,21	143,2	0	0	1	0	0
17	70	19,9	15,8	117,0	6,53	2,68	126,2	0	0	1	0	0
18	70	17,9	19,6	95,45	5,70	2,81	104,0	0	0	1	0	0
19	70	15,1	15,4	50,86	1,37	1,78	54,01	0	0	1	0	0
20	70	2,2	16,7	106,4	13,49	4,70	124,6	0	0	1	0	0
21	70	14,8	16,4	55,19	7,23	2,78	65,2	0	0	1	0	0
22	70	13,8	14,9	44,14	3,99	1,37	49,5	0	0	1	0	0
23	70	11,5	13,4	29,16	1,77	0,81	31,74	0	0	1	0	0
24	70	21,8	18,5	141,5	21,53	7,00	170,0	0	0	1	0	0
25	70	18,4	15,8	98,67	10,29	5,26	114,2	0	0	1	0	0
26	70	15,7	16,3	54,55	4,27	1,84	60,66	0	0	1	0	0
27	70	8,5	12,4	13,16	1,42	0,65	15,23	0	0	1	0	0
28	70	8,5	10,5	13,12	1,30	0,53	14,95	0	0	1	0	0
29	80	34,0	25,8	402,7	23,47	9,84	436,0	0	0	1	0	0
30	80	32,5	23,6	336,1	43,06	11,66	390,8	0	0	1	0	0
31	80	31,0	21,9	304,4	51,55	9,70	365,7	0	0	1	0	0
32	80	27,0	20,0	210,7	42,0	9,98	262,7	0	0	1	0	0
33	80	24,5	20,3	166,5	22,27	8,11	196,9	0	0	1	0	0
34	80	24,4	21,0	185,8	11,33	8,59	205,8	0	0	1	0	0
35	80	23,0	20,6	154,2	11,7	4,62	170,5	0	0	1	0	0
36	80	22,6	20,4	168,4	19,1	6,00	193,5	0	0	1	0	0
37	80	21,6	20,8	141,9	10,55	4,33	156,8	0	0	1	0	0
38	80	20,7	18,4	113,4	17,95	8,11	139,5	0	0	1	0	0
39	80	17,9	19,2	96,57	11,02	3,76	111,4	0	0	1	0	0
40	80	16,1	14,8	49,95	14,65	2,87	67,47	0	0	1	0	0
41	80	13,7	17,8	54,12	3,62	2,42	60,17	0	0	1	0	0
42	80	12,0	16,3	30,02	2,60	1,72	34,34	0	0	1	0	0
43	80	10,5	14,0	20,23	1,14	0,83	22,19	0	0	1	0	0
44	80	12,2	13,9	26,01	1,91	1,02	28,94	0	0	1	0	0
45	90	28,2	17,1	183,0	36,19	10,13	229,3	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
46	90	25,6	16,0	162,9	48,62	11,18	222,7	0	0	1	0	0
47	90	22,4	15,4	143,8	20,69	5,33	169,8	0	0	1	0	0
48	90	17,8	15,4	81,04	11,62	3,98	96,64	0	0	1	0	0
49	90	14,1	14,5	48,58	3,46	2,11	54,15	0	0	1	0	0
50	90	14,0	15,0	44,96	2,54	1,73	49,23	0	0	1	0	0
51	90	25,8	17,1	178,0	35,86	10,37	224,2	0	0	1	0	0
52	90	28,0	15,8	151,7	20,88	9,17	181,7	0	0	1	0	0
53	90	13,0	13,8	42,66	4,18	2,64	49,48	0	0	1	0	0
54	90	19,8	15,6	104,2	22,8	8,50	135,5	0	0	1	0	0
55	90	18,9	15,6	88,45	8,21	3,17	99,83	0	0	1	0	0
56	90	17,9	14,4	71,48	6,00	2,50	79,98	0	0	1	0	0
57	90	15,1	14,2	49,57	4,27	2,26	56,1	0	0	1	0	0
58	90	14,9	14,4	49,7	7,54	3,02	60,26	0	0	1	0	0
59	90	11,8	13,2	30,34	1,78	1,06	33,17	0	0	1	0	0
60	90	8,4	9,2	12,82	0,86	0,53	14,21	0	0	1	0	0
61	90	8,4	10,6	12,06	0,72	0,62	13,40	0	0	1	0	0
62	90	6,6	9,3	10,11	1,30	0,43	11,84	0	0	1	0	0
63	90	6,0	6,9	4,30	0,34	0,24	4,88	0	0	1	0	0
64	90	4,4	6,0	2,24	0,62	0,24	3,10	0	0	1	0	0
65	90	4,4	5,7	1,91	0,62	0,29	2,82	0	0	1	0	0
66	92	38,7	27,4	567,5	90,62	21,67	679,8	0	0	1	0	0
67	92	36,7	24,3	455,1	48,74	14,05	517,9	0	0	1	0	0
68	92	35,4	24,7	447,3	49,87	15,75	512,9	0	0	1	0	0
69	92	34,2	27,2	449,3	47,19	13,96	510,5	0	0	1	0	0
70	92	28,7	24,0	323,5	41,22	10,06	374,8	0	0	1	0	0
71	92	27,3	24,8	290,9	35,02	9,49	335,4	0	0	1	0	0
72	92	25,5	23,6	234,7	28,53	7,19	270,5	0	0	1	0	0
73	92	25,0	24,9	250,7	17,11	5,88	273,7	0	0	1	0	0
74	92	24,1	24,8	213,1	19,13	6,86	239,1	0	0	1	0	0
75	92	22,4	21,6	156,0	10,2	4,18	170,4	0	0	1	0	0
76	92	21,0	23,7	156,6	11,16	4,21	171,9	0	0	1	0	0
77	92	19,3	22,6	129,8	5,47	3,46	138,7	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
78	92	17,0	21,6	106,9	6,17	3,28	116,4	0	0	1	0	0
79	92	14,6	19,8	70,53	1,74	1,12	73,4	0	0	1	0	0
80	92	13,8	18,3	52,07	3,31	1,16	56,54	0	0	1	0	0
81	92	21,9	17,0	118,6	16,61	5,47	140,7	0	0	1	0	0
82	92	18,3	15,0	74,88	8,54	3,55	86,97	0	0	1	0	0
83	92	16,1	14,8	59,09	4,03	2,11	65,23	0	0	1	0	0
84	92	11,4	13,5	26,11	1,97	1,10	29,18	0	0	1	0	0
85	92	9,4	13,0	17,63	1,49	0,82	19,93	0	0	1	0	0
86	92	6,4	9,5	10,84	0,58	0,34	11,75	0	0	1	0	0
87	90	24,6	15,8	143,1	44,21	11,57	198,8	0	0	1	0	0
88	90	23,9	15,5	129,7	25,87	6,38	162,0	0	0	1	0	0
89	90	23,4	14,1	123,3	20,69	4,90	148,9	0	0	1	0	0
90	90	21,6	15,6	104,6	18,62	6,19	129,4	0	0	1	0	0
91	90	13,2	15,6	34,9	9,12	4,03	48,05	0	0	1	0	0
92	90	17,8	14,7	79,2	9,02	3,36	91,59	0	0	1	0	0
93	90	14,9	14,5	59,98	6,24	2,16	68,38	0	0	1	0	0
94	90	17,9	13,0	77,65	3,55	1,63	82,84	0	0	1	0	0
95	90	8,3	9,5	10,7	0,86	0,58	12,14	0	0	1	0	0
96	90	10,8	11,2	18,29	1,10	0,53	19,93	0	0	1	0	0
5. Красноярско-Канская лесостепь, естественные сосняки (Семечкина, 1978)												
1	20	2,7	5,2	0,62	0,09	0,04	0,76	0	0	0	1	0
2	20	3,0	6,2	0,99	0,06	0,09	1,13	0	0	0	1	0
3	20	2,4	5,2	0,82	0,06	0,09	0,96	0	0	0	1	0
4	20	3,0	5,3	1,07	0,05	0,07	1,20	0	0	0	1	0
5	20	2,6	4,8	0,56	0,09	0,06	0,72	0	0	0	1	0
6	20	3,0	4,8	0,78	0,07	0,04	0,89	0	0	0	1	0
7	20	3,0	5,8	0,91	0,05	0,05	1,01	0	0	0	1	0
8	22	2,8	6,4	0,91	0,10	0,06	1,07	0	0	0	1	0
9	22	3,0	5,9	0,91	0,03	0,04	0,98	0	0	0	1	0
10	19	3,1	5,7	1,2	0,15	1,11	2,46	0	0	0	1	0
11	21	5,1	7,5	3,79	0,23	0,30	4,32	0	0	0	1	0
12	20	3,5	5,8	1,31	0,10	0,11	1,52	0	0	0	1	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
13	22	4,0	6,1	2,12	0,12	0,14	2,38	0	0	0	1	0
14	21	3,4	6,0	1,19	0,10	0,06	1,35	0	0	0	1	0
15	21	4,0	7,0	1,18	0,05	0,27	1,50	0	0	0	1	0
16	22	3,3	5,9	1,66	0,16	0,34	2,15	0	0	0	1	0
17	22	3,9	7,7	2,33	0,10	0,15	2,58	0	0	0	1	0
18	22	4,4	7,2	2,85	0,06	0,11	3,01	0	0	0	1	0
19	21	3,1	5,8	1,04	0,12	0,08	1,24	0	0	0	1	0
20	22	3,4	6,2	1,45	0,15	0,16	1,76	0	0	0	1	0
21	22	3,5	7,2	2,01	0,34	0,23	2,57	0	0	0	1	0
22	21	3,9	7,0	2,08	0,27	0,18	2,53	0	0	0	1	0
23	20	3,9	6,8	1,90	0,13	0,48	2,51	0	0	0	1	0
24	22	4,1	6,9	2,2	0,13	0,20	2,53	0	0	0	1	0
25	22	4,7	7,0	1,66	0,13	0,23	2,02	0	0	0	1	0
26	22	4,9	7,9	3,78	0,22	0,36	4,36	0	0	0	1	0
27	21	2,8	4,6	0,74	0,05	0,09	0,88	0	0	0	1	0
28	20	4,8	7,0	1,62	0,07	0,16	1,85	0	0	0	1	0
29	21	3,8	5,8	1,54	0,17	0,13	1,85	0	0	0	1	0
30	21	5,0	6,6	3,61	0,28	0,36	4,25	0	0	0	1	0
31	20	3,5	7,2	1,81	0,09	0,19	2,09	0	0	0	1	0
32	22	4,2	6,4	2,15	0,30	0,29	2,73	0	0	0	1	0
33	20	4,0	6,0	1,54	0,19	0,14	1,87	0	0	0	1	0
34	20	4,5	7,3	1,76	0,24	0,34	2,34	0	0	0	1	0
35	21	3,6	5,8	1,24	0,07	0,09	1,4	0	0	0	1	0
36	20	3,1	6,0	1,11	0,11	0,12	1,33	0	0	0	1	0
37	20	3,5	7,4	1,67	0,15	0,10	1,91	0	0	0	1	0
38	22	4,3	7,6	2,63	0,16	0,26	3,05	0	0	0	1	0
39	21	4,2	6,0	2,31	0,30	0,53	3,13	0	0	0	1	0
40	21	4,6	7,0	2,69	0,25	0,28	3,21	0	0	0	1	0
41	22	4,2	6,7	2,01	0,23	0,17	2,41	0	0	0	1	0
42	20	3,3	6,7	1,21	0,09	0,10	1,4	0	0	0	1	0
43	23	4,9	8,0	3,86	0,34	0,08	4,28	0	0	0	1	0
44	21	4,5	6,6	1,38	0,18	0,31	1,86	0	0	0	1	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
45	22	4,0	5,9	1,56	0,13	0,20	1,88	0	0	0	1	0
46	22	4,0	6,5	1,98	0,18	0,32	2,49	0	0	0	1	0
47	22	4,5	6,6	2,06	0,20	0,34	2,6	0	0	0	1	0
48	22	3,3	6,9	1,20	0,15	0,10	1,45	0	0	0	1	0
49	21	3,5	6,0	1,16	0,07	0,11	1,34	0	0	0	1	0
50	22	4,7	6,1	1,07	0,10	0,11	1,29	0	0	0	1	0
51	21	4,5	6,7	1,82	0,31	0,30	2,42	0	0	0	1	0
52	22	3,2	6,8	0,85	0,06	0,11	1,01	0	0	0	1	0
53	21	3,1	5,4	0,92	0,08	0,11	1,11	0	0	0	1	0
54	20	3,2	5,7	1,07	0,17	0,13	1,37	0	0	0	1	0
55	20	3,8	6,7	1,09	0,23	0,08	1,40	0	0	0	1	0
56	22	6,4	8,3	6,30	0,43	0,69	7,42	0	0	0	1	0
57	22	7,0	8,2	5,80	0,30	0,49	6,59	0	0	0	1	0
58	21	6,3	7,9	5,03	0,38	0,62	6,02	0	0	0	1	0
59	22	6,0	7,6	4,62	0,32	0,48	5,42	0	0	0	1	0
60	22	6,9	7,9	7,51	0,55	0,54	8,6	0	0	0	1	0
61	23	5,2	8,5	4,62	0,28	0,36	5,26	0	0	0	1	0
62	21	7,0	7,8	5,26	0,82	0,39	6,47	0	0	0	1	0
63	23	5,5	8,3	5,08	0,29	0,35	5,72	0	0	0	1	0
64	22	7,5	8,9	7,01	0,55	0,54	8,10	0	0	0	1	0
65	22	5,9	8,2	5,08	0,48	0,52	6,08	0	0	0	1	0
66	22	5,9	8,1	6,03	0,62	0,49	7,14	0	0	0	1	0
67	22	6,5	7,3	5,62	0,28	0,36	6,26	0	0	0	1	0
68	21	5,2	7,8	4,50	0,81	0,37	5,67	0	0	0	1	0
69	22	7,0	7,9	7,59	0,78	1,29	9,66	0	0	0	1	0
70	21	6,1	8,0	5,12	0,49	0,75	6,35	0	0	0	1	0
71	22	5,1	7,1	4,50	0,34	0,28	5,12	0	0	0	1	0
72	22	6,1	7,6	5,75	0,54	0,63	6,92	0	0	0	1	0
73	22	6,1	8,2	6,18	0,52	0,79	7,49	0	0	0	1	0
74	21	7,0	8,1	5,19	0,77	0,35	6,31	0	0	0	1	0
75	22	5,6	8,1	4,73	0,61	0,58	5,92	0	0	0	1	0
76	22	5,8	8,0	4,29	0,56	0,68	5,52	0	0	0	1	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
77	22	6,4	7,9	4,89	0,42	0,83	6,14	0	0	0	1	0
78	21	6,6	8,4	5,57	1,42	1,67	8,66	0	0	0	1	0
79	22	7,9	8,4	11,16	1,23	1,43	13,81	0	0	0	1	0
80	22	8,6	8,9	12,19	1,67	0,87	14,73	0	0	0	1	0
81	22	8,7	9,2	11,77	2,05	1,80	15,61	0	0	0	1	0
82	22	7,8	8,4	7,08	1,00	0,64	8,71	0	0	0	1	0
83	22	7,7	8,8	8,25	1,65	0,40	10,3	0	0	0	1	0
84	22	7,2	8,2	6,82	0,75	1,02	8,6	0	0	0	1	0
85	22	9,0	9,8	12,64	1,59	1,32	15,55	0	0	0	1	0
86	22	7,8	9,4	9,48	1,11	1,20	11,79	0	0	0	1	0
87	22	7,3	9,2	6,58	0,46	0,47	7,51	0	0	0	1	0
88	22	8,6	8,7	11,15	0,95	1,46	13,56	0	0	0	1	0
89	21	7,5	8,4	6,82	0,58	0,51	7,91	0	0	0	1	0
90	21	8,0	9,4	13,87	1,67	0,87	16,42	0	0	0	1	0
91	21	9,0	8,8	10,44	1,04	1,07	12,55	0	0	0	1	0
92	23	7,5	8,0	6,88	1,17	1,03	9,07	0	0	0	1	0
93	22	8,7	7,8	10,01	1,40	1,18	12,58	0	0	0	1	0
94	22	8,7	8,9	13,87	1,61	1,62	17,1	0	0	0	1	0
95	22	8,3	8,7	9,46	1,22	1,43	12,11	0	0	0	1	0
96	22	8,0	8,0	6,8	1,09	1,00	8,89	0	0	0	1	0
97	22	10,6	9,5	13,79	3,09	1,94	18,83	0	0	0	1	0
98	22	9,2	9,0	10,64	1,27	1,44	13,35	0	0	0	1	0
99	23	9,5	10,2	15,04	2,89	1,94	19,87	0	0	0	1	0
100	22	9,6	9,1	12,60	1,71	1,69	16,0	0	0	0	1	0
101	23	9,8	9,0	14,91	2,89	2,67	20,47	0	0	0	1	0
102	23	9,8	9,5	15,03	2,49	2,51	20,04	0	0	0	1	0
103	22	9,1	9,5	12,13	1,33	1,44	14,9	0	0	0	1	0
104	23	10,9	9,9	18,61	2,99	3,87	25,47	0	0	0	1	0
105	67	13,5	16,2	51,4	5,2	2,20	58,8	0	0	0	1	0
106	63	10,4	12,3	22,0	2,5	0,40	24,9	0	0	0	1	0
107	57	13,8	18,4	65,1	9,9	3,10	78,1	0	0	0	1	0
108	64	10,5	12,9	20,1	1,5	0,50	22,1	0	0	0	1	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
109	64	12,0	14,0	27,4	2,3	1,20	30,9	0	0	0	1	0
110	60	12,5	12,8	24,0	2,4	0,70	27,1	0	0	0	1	0
111	68	13,0	11,1	21,3	2,1	1,10	24,5	0	0	0	1	0
112	61	18,0	12,6	49,0	6,0	1,50	56,5	0	0	0	1	0
113	64	15,4	14,7	55,4	6,7	2,20	64,3	0	0	0	1	0
114	56	14,5	16,2	48,0	1,8	0,50	50,3	0	0	0	1	0
115	63	14,6	18,1	31,6	3,6	1,20	36,4	0	0	0	1	0
116	62	19,3	20,9	105,4	6,9	3,10	115,4	0	0	0	1	0
117	67	19,5	21,4	121,1	6,5	2,90	130,5	0	0	0	1	0
118	69	18,1	13,4	74,3	22,2	5,60	102,1	0	0	0	1	0
119	70	21,6	23,5	219,9	13,2	6,80	239,9	0	0	0	1	0
120	67	22,0	14,7	99,7	30,8	7,20	137,7	0	0	0	1	0
121	60	20,5	22,6	120,4	4,60	0,80	125,8	0	0	0	1	0
122	66	23,0	23,6	199,7	19,5	4,50	223,7	0	0	0	1	0
123	76	25,6	24,8	206,4	21,8	7,60	235,8	0	0	0	1	0
124	65	24,0	24,0	227,9	8,7	6,90	243,5	0	0	0	1	0
125	66	25,4	24,4	208,1	20,4	9,80	238,3	0	0	0	1	0
126	63	24,4	24,4	190,6	20,6	7,90	219,1	0	0	0	1	0
127	68	25,2	23,0	235,6	19,4	10,50	265,5	0	0	0	1	0
128	69	22,2	24,5	160,5	13,2	3,60	177,3	0	0	0	1	0
129	63	23,3	22,2	145,6	10,2	7,90	163,7	0	0	0	1	0
130	66	23,8	24,1	173,4	12,5	4,10	190,0	0	0	0	1	0
131	66	26,8	26,1	262,0	18,9	12,30	293,2	0	0	0	1	0
132	61	27,5	21,6	231,1	34,1	11,00	276,2	0	0	0	1	0
133	66	29,3	24,5	321,1	42,4	11,50	375,0	0	0	0	1	0
134	63	28,0	23,2	292,0	22,5	7,60	322,1	0	0	0	1	0
135	66	29,4	25,0	278,9	56	16,70	351,6	0	0	0	1	0
136	67	27,0	24,5	266,2	14,5	10,20	290,9	0	0	0	1	0
137	66	26,7	25,7	306,2	23,8	9,30	339,3	0	0	0	1	0
138	66	29,5	26,1	320,4	47,3	18,50	386,2	0	0	0	1	0
139	66	27,7	24,7	232,6	20,2	11,30	264,1	0	0	0	1	0
140	67	26,1	25,4	243,6	15,6	6,00	265,2	0	0	0	1	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
141	64	29,9	23,8	276,2	51,1	22,00	349,3	0	0	0	1	0
142	65	28,0	23,4	247,6	30,6	14,00	292,2	0	0	0	1	0
143	68	28,0	24,3	250,7	13,8	7,70	272,2	0	0	0	1	0
144	66	26,9	20,9	176,3	22,4	5,80	204,5	0	0	0	1	0
145	71	28,5	24,7	260,1	36,6	10,60	307,3	0	0	0	1	0
146	69	29,7	25,9	333,9	71,6	11,60	417,1	0	0	0	1	0
147	67	26,2	25,5	265,3	22,4	9,40	297,1	0	0	0	1	0
148	69	27,5	22,4	245,1	29,8	5,60	280,5	0	0	0	1	0
149	69	28,8	23,4	251,1	20,8	6,70	278,6	0	0	0	1	0
150	60	26,2	21,9	189,2	11,2	6,70	207,1	0	0	0	1	0
151	69	28,7	24,9	284,6	33,8	10,90	329,3	0	0	0	1	0
152	68	32,2	22,2	388,0	104,9	25,40	518,3	0	0	0	1	0
153	67	30,5	25,2	411,7	57,4	17,10	486,2	0	0	0	1	0
154	66	30,7	22,1	290,5	37,0	12,20	339,7	0	0	0	1	0
155	65	30,5	24,0	317,0	51,6	23,30	391,9	0	0	0	1	0
156	65	32,4	24,5	398,9	56,2	17,10	472,2	0	0	0	1	0
157	66	32,0	25,0	347,8	50,6	22,30	420,7	0	0	0	1	0
158	69	31,4	23,2	301,5	49,9	12,90	364,3	0	0	0	1	0
159	66	32,6	24,9	377,4	48,0	18,10	443,5	0	0	0	1	0
160	66	30,5	25,5	334,3	57,5	12,80	404,6	0	0	0	1	0
161	65	31,4	26,0	354	37,5	18,70	410,2	0	0	0	1	0
162	64	30,9	25,8	331,5	32,8	15,20	379,5	0	0	0	1	0
163	65	31,4	23,8	297,4	31,9	9,00	338,3	0	0	0	1	0
164	66	32,0	24,0	327,9	20,3	9,00	357,2	0	0	0	1	0
165	74	30,5	25,0	311,4	40,4	7,40	359,2	0	0	0	1	0
166	68	32,2	25,6	333,2	33,8	12,90	379,9	0	0	0	1	0
167	69	32,0	23,1	331,2	39,4	12,80	383,4	0	0	0	1	0
168	67	30,2	24,3	305,6	52,3	8,70	366,6	0	0	0	1	0
169	68	33,4	23,2	336,5	44,6	11,50	392,6	0	0	0	1	0
170	64	33,2	24,7	304,9	82,0	16,90	403,8	0	0	0	1	0
171	68	33,2	23,9	346,1	72,9	17,80	436,8	0	0	0	1	0
172	67	31,1	23,0	311,0	83,0	14,80	408,8	0	0	0	1	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
173	67	32,6	25,2	348,7	22,3	9,00	380,0	0	0	0	1	0
174	65	33,5	23,3	353,0	90,1	17,80	460,9	0	0	0	1	0
175	68	32,4	23,5	298,3	36,2	11,50	346,0	0	0	0	1	0
176	65	33,5	23,8	352,3	58,7	18,90	429,9	0	0	0	1	0
177	68	31,0	26,3	333,1	44,5	10,90	388,5	0	0	0	1	0
178	65	34,5	25,5	445,3	127,8	30,90	604,0	0	0	0	1	0
179	66	37,6	25,4	414,0	59,8	19,20	493,0	0	0	0	1	0
180	66	34,7	25,7	386,0	60,4	25,40	471,8	0	0	0	1	0
181	67	35,5	25,3	494,4	65,9	29,50	589,8	0	0	0	1	0
182	64	35,3	23,7	400,6	90,4	21,90	512,9	0	0	0	1	0
183	64	34,4	26,1	418,6	56,5	14,10	489,2	0	0	0	1	0
184	66	36,1	26,5	423,1	54,1	19,00	496,2	0	0	0	1	0
185	65	35,0	22,9	401,5	89,2	26,00	516,7	0	0	0	1	0
186	67	34,8	24,1	375,0	131,6	26,40	533,0	0	0	0	1	0
187	65	37,5	26,1	439,4	62,2	23,30	524,9	0	0	0	1	0
188	68	35,5	26,8	416,5	60,2	12,10	488,8	0	0	0	1	0
189	71	34,8	22,9	299,7	74,8	20,30	394,8	0	0	0	1	0
190	70	36,5	26,0	423,5	67,3	15,00	505,8	0	0	0	1	0
191	69	34,7	24,6	363,9	77,9	16,60	458,4	0	0	0	1	0
192	68	35,2	25,3	374,4	95,8	36,60	506,8	0	0	0	1	0
193	67	36,4	24,1	354,7	80,2	20,90	455,8	0	0	0	1	0
194	69	36,2	25,7	403,2	75,8	18,80	497,8	0	0	0	1	0
195	72	41,0	24,7	524,4	107,5	25,70	657,6	0	0	0	1	0
196	74	40,1	23,3	482,5	122,9	33,00	638,4	0	0	0	1	0
197	74	41,5	23,4	487	131,8	26,40	645,2	0	0	0	1	0
198	77	42,0	25,6	546,2	58,1	13,20	617,5	0	0	0	1	0
199	69	40,5	25,9	509,9	168,3	35,70	713,9	0	0	0	1	0
200	69	39,0	25,1	642,1	124,1	29,60	795,8	0	0	0	1	0
201	68	38,5	23,7	501,1	149,6	32,30	683,0	0	0	0	1	0
202	65	39,2	25,1	433,2	101,3	35,50	570,0	0	0	0	1	0
203	61	40,4	24,8	557,1	98,5	21,60	677,2	0	0	0	1	0
204	65	38,7	22,4	368,9	95,6	20,40	484,9	0	0	0	1	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
205	67	42,2	26,0	600,9	129,7	32,40	763,0	0	0	0	1	0
206	30	3,8	6,8	1,7	0,3	0,10	2,1	0	0	0	1	0
207	32	6,6	12,6	6,5	0,3	0,20	7,0	0	0	0	1	0
208	33	7,3	13,1	10,2	0,6	0,30	11,1	0	0	0	1	0
209	32	7,4	11,6	6,7	0,1	0,10	6,9	0	0	0	1	0
210	33	10,0	13,9	15,7	0,9	0,50	17,1	0	0	0	1	0
211	31	10,6	14,7	22,2	1,0	1,20	24,4	0	0	0	1	0
212	32	11,1	14,6	23,2	1,6	1,10	25,9	0	0	0	1	0
213	33	12,0	15,5	32,4	1,7	1,60	35,7	0	0	0	1	0
214	33	12,6	14,6	30,3	3,6	2,00	35,9	0	0	0	1	0
215	34	13,0	15,4	35,2	1,4	1,50	38,1	0	0	0	1	0
216	33	15,0	15,7	49,5	5,1	3,20	57,8	0	0	0	1	0
217	33	15,4	17,3	52,5	4,7	3,00	60,2	0	0	0	1	0
218	34	15,6	16,7	52,3	4,6	3,30	60,2	0	0	0	1	0
219	33	18,1	18,0	98,4	11,1	6,90	116,4	0	0	0	1	0
220	33	18,6	17,8	93,4	19,8	7,40	120,6	0	0	0	1	0
221	34	19,7	17,6	95,1	15,1	7,80	118,0	0	0	0	1	0
222	34	28,0	17,7	182,4	53,4	24,30	260,1	0	0	0	1	0
223	52	24,5	22,2	185,3	19,5	9,60	214,4	0	0	0	1	0
224	64	30,8	23,1	282,4	54,1	18,40	354,9	0	0	0	1	0
225	64	34,3	21,3	367	62,0	25,10	454,1	0	0	0	1	0
226	65	35,3	22,0	279,7	99,9	28,00	407,6	0	0	0	1	0
227	65	42,7	24,6	570,4	88,1	30,00	688,5	0	0	0	1	0
228	63	47,9	21,6	555,6	256,4	60,30	872,3	0	0	0	1	0
229	69	47,4	23,9	521,7	134,3	57,00	713,0	0	0	0	1	0
230	54	19,8	22,1	120,2	9,50	8,40	138,1	0	0	0	1	0
231	69	24,2	23,1	202,8	10,8	7,00	220,6	0	0	0	1	0
232	68	30,1	21,2	227,5	28,2	10,20	265,9	0	0	0	1	0
233	64	35,4	23,4	343,1	58,3	17,80	419,2	0	0	0	1	0
234	66	35,5	23,9	318,2	64,1	20,50	402,8	0	0	0	1	0
235	62	39,9	23,6	428,1	85,4	21,00	534,5	0	0	0	1	0
236	66	43,5	26,3	515,3	103,3	33,00	651,6	0	0	0	1	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
237	56	9,3	13,2	15,9	0,9	0,20	17,0	0	0	0	1	0
238	69	14,7	16,8	54,7	3,8	2,10	60,6	0	0	0	1	0
239	73	16,9	17,6	58,6	1,7	0,90	61,2	0	0	0	1	0
240	77	17,6	18,4	70,0	4,7	2,20	76,9	0	0	0	1	0
241	76	21,0	19,0	114,1	6,8	3,90	124,8	0	0	0	1	0
242	76	21,8	19,0	125,1	5,2	3,30	133,6	0	0	0	1	0
243	76	27,8	21,2	227,3	27,8	14,30	269,4	0	0	0	1	0
244	66	16,0	19,2	57,7	4,0	1,30	63,0	0	0	0	1	0
245	67	20,0	20,6	106,2	7,5	3,80	117,5	0	0	0	1	0
246	66	23,8	21,6	165,0	10,3	4,10	179,4	0	0	0	1	0
247	66	25,6	24,2	208,4	18,4	8,00	234,8	0	0	0	1	0
248	67	28,2	21,7	242,9	30,2	9,70	282,8	0	0	0	1	0
249	67	30,8	22,5	304,4	33,4	8,50	346,3	0	0	0	1	0
250	56	9,6	10,1	10,9	1,50	0,30	12,7	0	0	0	1	0
251	60	17,3	17,2	61,1	14,1	2,80	78,0	0	0	0	1	0
252	60	26,7	20,0	193,3	41,7	16,40	251,4	0	0	0	1	0
253	62	30,4	21,3	236,0	43,8	20,00	299,8	0	0	0	1	0
254	63	35,5	21,0	294,6	98,6	20,80	414	0	0	0	1	0
255	65	42,2	21,2	430,0	135,2	29,20	594,4	0	0	0	1	0
6. Средний Урал, естественные сосняки (Усольцев и др., 2006)												
1	75	16,1	19,1	71,4	7,70	2,90	82,00	0	0	0	0	1
2	75	11,8	17,6	38,1	1,50	1,20	40,80	0	0	0	0	1
3	67	14,3	19,8	68,8	5,20	2,70	76,70	0	0	0	0	1
4	76	21,9	21,1	154,3	17,10	6,90	178,3	0	0	0	0	1
5	75	7,6	11,3	9,20	0,60	0,30	10,10	0	0	0	0	1
6	75	15,0	19,6	75,9	4,00	1,90	81,80	0	0	0	0	1
7	79	28,4	22,8	250,8	45,70	13,70	310,2	0	0	0	0	1
8	76	20,1	21,7	127,9	8,60	5,20	141,7	0	0	0	0	1
9	74	12,6	14,9	37,0	3,00	1,90	41,90	0	0	0	0	1
10	88	18,5	20,2	89,6	6,80	3,50	99,90	0	0	0	0	1
11	83	23,8	25,1	205,2	6,30	4,60	216,1	0	0	0	0	1
12	82	27,8	23,5	280,7	19,10	9,70	309,5	0	0	0	0	1

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
13	70	16,9	21,4	97,9	6,20	3,30	107,4	0	0	0	0	1
14	89	36,2	25,9	491,2	57,00	20,80	569	0	0	0	0	1
15	85	20,0	19,1	113,3	10,60	5,00	128,9	0	0	0	0	1
16	90	17,6	20,7	79,5	2,80	1,50	83,80	0	0	0	0	1
17	97	25,5	24,1	195,7	17,20	4,80	217,7	0	0	0	0	1
18	94	11,4	13,4	30,5	1,80	0,80	33,10	0	0	0	0	1
19	96	28,8	23,4	259,2	24,80	8,60	292,6	0	0	0	0	1
20	95	21,0	23,6	160,0	9,40	3,70	173,1	0	0	0	0	1
21	97	23,8	22,6	199,7	14,20	3,90	217,8	0	0	0	0	1
22	96	36,0	24,6	411,2	54,50	11,00	476,7	0	0	0	0	1
23	47	19,2	18,5	109,9	8,26	4,80	123,0	0	0	0	0	1
24	45	17,3	16,6	78,6	9,40	5,00	93,00	0	0	0	0	1
25	47	14,4	16,1	52,2	4,90	2,90	60,00	0	0	0	0	1
26	47	12,1	15,0	35,8	2,50	1,60	39,90	0	0	0	0	1
27	47	10,5	14,0	30,7	2,70	1,60	35,00	0	0	0	0	1
28	50	8,5	12,1	15,0	1,00	0,70	16,70	0	0	0	0	1
29	47	6,8	8,9	7,5	0,70	0,50	8,70	0	0	0	0	1
30	47	8,7	11,4	15,8	1,50	1,00	18,30	0	0	0	0	1
31	108	12,3	15,4	42,0	2,30	1,20	45,50	0	0	0	0	1
32	115	16,0	18,0	69,7	2,40	1,00	73,10	0	0	0	0	1
33	115	27,5	22,7	287,9	14,00	5,80	307,7	0	0	0	0	1
34	116	19,8	20,7	140,1	9,10	3,90	153,1	0	0	0	0	1
35	121	24,3	21,6	191,1	11,90	3,70	206,7	0	0	0	0	1
36	119	27,4	23,6	255,2	16,60	7,40	279,2	0	0	0	0	1
37	115	36,0	24,5	447,5	37,20	10,30	495,0	0	0	0	0	1
38	110	39,3	26,9	563,5	47,90	14,40	625,8	0	0	0	0	1
39	27	5,4	8,9	4,1	0,54	0,35	4,99	0	0	0	0	1
40	27	7,0	10,1	9,2	0,90	1,00	11,10	0	0	0	0	1
41	24	4,0	7,6	1,7	0,16	0,09	1,95	0	0	0	0	1
42	28	11,6	10,7	21,6	3,34	2,64	27,58	0	0	0	0	1
43	26	10,2	11,1	18,4	1,38	1,36	21,14	0	0	0	0	1
44	31	15,2	11,7	21,78	9,14	5,31	36,23	0	0	0	0	1

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
45	28	4,1	9,4	3,00	0,17	0,13	3,30	0	0	0	0	1
46	27	7,6	10,3	10,2	0,54	0,79	11,53	0	0	0	0	1
47	27	1,8	4,6	0,39	0,03	0,01	0,43	0	0	0	0	1
48	50	28,3	22,0	226,6	40,80	13,20	280,6	0	0	0	0	1
49	53	23,4	22,1	163,7	21,30	8,30	193,3	0	0	0	0	1
50	105	20,0	23,8	138,9	10,50	5,20	154,6	0	0	0	0	1
51	105	25,8	24,8	222,5	29,00	9,60	261,1	0	0	0	0	1
52	107	18,5	21,6	107,8	8,80	4,90	121,5	0	0	0	0	1
53	105	12,1	14,8	32,80	2,70	1,40	36,90	0	0	0	0	1
54	107	32,4	23,8	378,5	43,30	9,90	431,7	0	0	0	0	1
55	109	35,7	24,8	427,6	62,50	15,70	505,8	0	0	0	0	1
56	106	24,6	21,3	163,1	26,74	9,20	199,0	0	0	0	0	1
57	106	37,6	25,9	455,9	47,50	14,70	518,1	0	0	0	0	1
58	180	54,0	28,9	890,3	133,3	15,20	1039	0	0	0	0	1
59	207	36,0	24,7	390,1	43,50	9,00	442,6	0	0	0	0	1
60	199	44,5	30,2	905,3	115,4	13,40	1034	0	0	0	0	1
61	203	31,9	27,8	342,9	17,20	4,80	364,9	0	0	0	0	1
62	202	27,0	27,0	304,3	20,00	3,50	327,8	0	0	0	0	1
63	46	11,3	11,5	19,10	2,80	2,00	23,90	0	0	0	0	1
64	40	6,6	10,2	7,70	0,60	0,70	9,00	0	0	0	0	1
65	42	7,2	11,1	11,36	0,91	1,25	13,52	0	0	0	0	1
66	83	23,0	17,9	144,2	23,10	8,85	176,1	0	0	0	0	1
67	83	17,0	17,2	98,78	7,76	3,55	110,1	0	0	0	0	1
68	85	13,7	15,0	48,22	3,26	1,93	53,41	0	0	0	0	1
69	85	10,2	14,3	24,85	1,10	0,58	26,53	0	0	0	0	1
70	85	11,0	14,8	37,88	2,17	1,03	41,08	0	0	0	0	1
71	85	15,5	18,5	84,14	3,56	2,78	90,48	0	0	0	0	1
72	86	16,5	17,3	86,87	7,48	3,39	97,74	0	0	0	0	1
73	50	7,8	13,1	15,13	0,81	0,82	16,76	0	0	0	0	1
74	49	12,1	15,8	38,02	2,20	1,82	42,04	0	0	0	0	1
75	49	15,8	17,6	70,96	5,10	4,07	80,13	0	0	0	0	1
76	49	22,0	20,6	166,3	13,34	7,84	187,5	0	0	0	0	1

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
77	25	4,3	6,9	2,32	0,16	0,16	2,64	0	0	0	0	1
78	24	6,2	7,9	4,71	0,45	0,28	5,44	0	0	0	0	1
79	31	8,1	9,8	11,12	1,06	0,84	13,02	0	0	0	0	1
80	83	19,3	18,3	123,5	8,00	3,42	134,9	0	0	0	0	1
81	83	24,5	20,1	195,2	25,92	8,34	229,5	0	0	0	0	1
82	87	12,4	16,7	43,75	2,04	1,07	46,85	0	0	0	0	1
83	67	8,0	15,5	17,97	0,59	0,16	18,72	0	0	0	0	1
84	85	12,3	17,5	39,67	2,64	1,39	43,70	0	0	0	0	1
85	52	20,2	16,5	83,14	17,18	9,61	109,9	0	0	0	0	1
86	46	15,8	14,9	59,66	11,07	6,29	77,02	0	0	0	0	1
87	48	12,5	12,7	30,79	4,74	2,58	38,11	0	0	0	0	1
88	46	9,6	12,3	18,04	2,23	1,87	22,13	0	0	0	0	1
89	48	10,2	12,0	18,89	2,65	1,79	23,34	0	0	0	0	1
90	48	7,8	9,3	9,94	2,44	1,32	13,71	0	0	0	0	1
91	46	8,2	11,6	14,06	1,90	1,43	17,39	0	0	0	0	1
92	70	20,7	16,8	104,5	14,28	4,60	123,4	0	0	0	0	1
93	73	16,5	16,4	67,13	8,45	3,19	78,77	0	0	0	0	1
94	72	14,5	15,6	49,93	3,80	2,06	55,79	0	0	0	0	1
95	70	16,6	16,4	73,50	5,11	2,63	81,24	0	0	0	0	1
96	70	14,0	15,4	48,62	3,17	1,56	53,35	0	0	0	0	1
97	70	12,0	14,1	33,17	2,20	0,96	36,34	0	0	0	0	1
98	70	8,8	11,9	15,90	1,09	0,34	17,32	0	0	0	0	1
99	71	17,9	16,4	77,67	5,91	3,37	86,94	0	0	0	0	1
100	44	21,0	16,3	96,31	18,92	6,92	122,2	0	0	0	0	1
101	44	16,0	15,6	57,53	8,63	3,49	69,66	0	0	0	0	1
102	48	12,5	14,1	35,00	3,29	2,46	40,75	0	0	0	0	1
103	44	10,0	13,4	20,51	1,83	1,32	23,65	0	0	0	0	1
104	42	8,1	12,0	14,46	1,19	0,86	16,51	0	0	0	0	1
105	45	7,8	11,9	13,80	0,96	0,90	15,66	0	0	0	0	1
106	35	6,6	11,5	9,77	1,08	0,58	11,42	0	0	0	0	1
107	41	6,0	10,1	7,28	0,39	0,23	7,90	0	0	0	0	1
108	39	13,7	13,2	38,83	5,90	3,47	48,20	0	0	0	0	1

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
109	35	6,0	10,6	8,02	0,37	0,74	9,14	0	0	0	0	1
110	33	4,2	9,0	3,12	0,16	0,11	3,38	0	0	0	0	1
111	55	20,5	18,4	112,2	12,11	6,29	130,6	0	0	0	0	1
112	53	16,1	16,4	58,57	4,72	1,56	64,85	0	0	0	0	1
113	50	14,0	16,9	55,79	5,36	2,49	63,64	0	0	0	0	1
114	55	12,3	15,8	39,15	2,78	1,96	43,89	0	0	0	0	1
115	51	11,1	16,3	34,07	1,69	1,10	36,86	0	0	0	0	1
116	51	8,2	13,5	17,04	0,87	0,58	18,49	0	0	0	0	1
117	52	8,1	13,3	15,27	0,88	0,69	16,85	0	0	0	0	1
118	53	6,0	10,0	6,74	0,27	0,19	7,19	0	0	0	0	1
119	39	6,2	11,8	8,84	0,43	0,19	9,46	0	0	0	0	1
120	44	4,3	8,0	3,13	0,28	0,09	3,49	0	0	0	0	1
121	96	28,1	22,6	245,0	26,57	10,93	282,5	0	0	0	0	1
122	90	21,0	22,1	148,8	11,23	7,04	167,1	0	0	0	0	1
123	83	13,5	17,3	50,10	2,03	1,43	53,55	0	0	0	0	1
124	62	20,5	19,5	119,0	14,03	4,97	138,0	0	0	0	0	1
125	44	18,3	17,7	86,71	7,37	3,41	97,48	0	0	0	0	1
126	58	22,5	22,8	160,7	17,95	6,80	185,5	0	0	0	0	1
127	59	13,2	18,9	50,58	2,82	2,40	55,79	0	0	0	0	1
128	52	9,8	13,6	23,20	1,37	0,85	25,42	0	0	0	0	1
129	56	19,3	18,1	105,2	12,24	7,21	124,6	0	0	0	0	1
130	49	11,0	14,4	31,50	1,67	1,97	35,13	0	0	0	0	1
131	47	6,4	12,6	9,85	0,56	0,46	10,87	0	0	0	0	1
132	52	22,5	18,8	129,0	19,25	8,30	156,5	0	0	0	0	1
133	55	17,6	17,9	95,25	6,74	3,87	105,9	0	0	0	0	1
134	45	14,5	16,0	53,87	2,77	2,49	59,13	0	0	0	0	1
135	45	13,8	15,4	44,14	2,58	2,61	49,33	0	0	0	0	1
136	47	7,6	12,0	11,89	0,52	0,41	12,82	0	0	0	0	1
137	49	3,9	14,7	42,98	6,90	5,11	54,98	0	0	0	0	1
138	57	29,3	12,7	14,28	0,68	0,78	15,74	0	0	0	0	1
139	47	18,9	7,7	2,30	0,15	0,10	2,55	0	0	0	0	1
140	91	29,3	24,2	294,4	27,20	12,03	333,6	0	0	0	0	1

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
141	89	31,5	21,7	119,4	7,27	5,11	131,8	0	0	0	0	1
142	87	24,2	16,5	42,57	1,84	1,32	45,73	0	0	0	0	1
143	75	21,5	25,7	361,7	54,55	7,84	424,1	0	0	0	0	1
144	71	20,2	22,8	164,5	14,65	3,27	182,5	0	0	0	0	1
145	75	16,4	22,2	134,2	8,42	2,55	145,2	0	0	0	0	1
146	71	12,5	22,0	129,5	10,20	2,92	142,6	0	0	0	0	1
147	71	16,4	19,2	63,32	2,72	0,62	66,66	0	0	0	0	1
148	71	12,5	20,5	48,39	1,40	0,49	50,28	0	0	0	0	1
149	79	16,2	20,9	73,46	3,75	1,76	78,96	0	0	0	0	1
150	87	31,2	26,9	343,2	32,05	9,71	385,0	0	0	0	0	1
151	85	27,4	26,3	266,5	15,63	4,10	286,2	0	0	0	0	1
152	88	24,1	24,8	183,9	17,81	10,19	211,9	0	0	0	0	1
153	77	24,3	24,5	190,4	15,95	5,26	211,7	0	0	0	0	1
154	75	20,2	23,9	125,4	4,17	2,51	132,0	0	0	0	0	1
155	94	32,2	26,1	350,8	39,57	13,52	403,9	0	0	0	0	1
156	92	28,5	26,2	278,0	22,95	10,31	311,2	0	0	0	0	1
157	98	23,5	22,2	177,9	13,97	9,16	201,0	0	0	0	0	1
158	93	20,5	24,4	113,9	11,77	5,67	131,3	0	0	0	0	1
159	60	22,6	22,5	160,2	16,81	13,66	190,7	0	0	0	0	1
160	58	18,1	18,7	93,50	13,73	7,49	114,7	0	0	0	0	1
161	57	13,9	16,4	50,63	3,55	2,13	56,31	0	0	0	0	1
162	61	10,5	15,6	28,12	1,08	1,09	30,28	0	0	0	0	1
163	55	12,5	16,8	42,84	2,06	1,40	46,29	0	0	0	0	1
164	57	8,1	11,2	12,67	0,75	0,53	13,95	0	0	0	0	1
165	42	6,4	10,5	7,84	0,35	0,20	8,39	0	0	0	0	1
166	60	19,0	18,0	103,4	7,57	7,08	118,0	0	0	0	0	1
167	60	10,3	14,8	27,09	1,67	1,12	29,89	0	0	0	0	1
168	60	6,4	12,6	9,56	0,40	0,28	10,25	0	0	0	0	1
169	43	6,0	9,6	6,86	0,75	0,72	8,33	0	0	0	0	1
170	46	8,1	10,7	12,11	1,21	0,80	14,12	0	0	0	0	1
171	51	10,2	13,9	23,20	2,10	1,08	26,39	0	0	0	0	1
172	50	9,9	15,0	25,31	1,90	1,02	28,23	0	0	0	0	1

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
173	49	12,1	16,8	37,76	2,72	2,22	42,70	0	0	0	0	1
174	49	16,7	17,5	73,08	7,44	4,42	84,94	0	0	0	0	1
175	49	19,3	18,8	97,96	16,96	5,74	120,7	0	0	0	0	1
176	41	4,2	6,9	2,033	0,45	0,19	2,67	0	0	0	0	1
177	88	25,3	22,1	187,9	13,67	4,39	206,0	0	0	0	0	1
178	89	23,3	23,4	151,1	7,66	2,65	161,4	0	0	0	0	1
179	84	32,2	24,1	311,6	29,85	7,32	348,8	0	0	0	0	1
180	86	28,9	24,0	268,5	35,62	9,67	313,7	0	0	0	0	1
181	82	20,0	21,9	111,3	7,77	3,73	122,8	0	0	0	0	1
182	81	16,8	17,9	74,52	7,36	2,42	84,30	0	0	0	0	1
183	83	11,9	14,1	30,74	2,24	0,60	33,57	0	0	0	0	1
Всего 835 модельных деревьев												
Береза белая по регионам												
№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
1. Карабаш (наши вновь полученные данные)												
1	70	23,4	22,2	221,7	27,3	5,82	254,8	0	0	0	0	0
2	63	20,1	22,4	151,2	17,8	3,69	172,7	0	0	0	0	0
3	75	17,5	21,6	113,5	13,0	2,17	128,7	0	0	0	0	0
4	78	15,3	19,0	86,6	8,31	1,91	96,8	0	0	0	0	0
5	57	11,4	18,9	54,2	2,83	0,760	57,75	0	0	0	0	0
6	45	10,8	15,2	37,2	3,15	0,655	41,01	0	0	0	0	0
7	42	8,6	12,7	19,5	2,53	0,585	22,65	0	0	0	0	0
8	80	22,4	21,0	182,0	24,8	4,95	211,8	0	0	0	0	0
9	78	18,7	20,0	126,6	14,2	3,32	144,1	0	0	0	0	0
10	70	15,9	19,9	103,0	8,32	2,36	113,7	0	0	0	0	0
11	57	14,0	17,0	71,6	5,54	2,46	79,63	0	0	0	0	0
12	45	12,1	15,7	44,1	4,36	1,21	49,64	0	0	0	0	0
13	42	8,4	13,5	20,0	1,82	0,861	22,70	0	0	0	0	0
14	35	7,0	10,9	10,2	0,76	0,256	11,22	0	0	0	0	0
15	33	8,4	13,5	17,1	1,81	0,470	19,40	0	0	0	0	0
16	47	10,0	15,6	28,2	3,06	0,928	32,18	0	0	0	0	0
17	55	12,7	17,1	52,2	5,26	1,18	58,65	0	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
18	73	24,5	25,8	307,1	45,3	7,46	359,8	0	0	0	0	0
19	62	21,9	24,7	224,7	30,5	4,95	260,1	0	0	0	0	0
20	47	17,8	23,3	119,6	7,61	1,80	129,0	0	0	0	0	0
21	49	13,3	18,6	59,8	3,96	1,10	64,84	0	0	0	0	0
22	86	24,1	24,8	271,0	46,7	6,71	324,4	0	0	0	0	0
23	75	18,8	24,3	180,9	18,1	3,84	202,8	0	0	0	0	0
24	60	15,9	21,5	90,5	8,73	2,61	101,9	0	0	0	0	0
25	52	14,4	20,8	77,3	7,40	1,77	86,48	0	0	0	0	0
26	45	11,5	17,7	45,8	5,56	1,58	52,96	0	0	0	0	0
27	32	8,5	12,7	17,5	2,10	0,639	20,24	0	0	0	0	0
28	31	8,3	13,5	20,5	1,56	0,307	22,32	0	0	0	0	0
29	80	23,8	24,5	231,4	34,9	5,46	271,8	0	0	0	0	0
30	65	19,3	21,9	154,0	17,1	4,40	175,5	0	0	0	0	0
31	58	16,2	22,0	108,5	9,33	2,48	120,3	0	0	0	0	0
32	54	13,8	17,7	54,6	6,02	1,52	62,17	0	0	0	0	0
33	53	12,3	19,1	50,6	4,36	1,34	56,30	0	0	0	0	0
34	40	10,9	14,4	44,2	2,15	0,904	47,28	0	0	0	0	0
35	32	8,0	14,7	22,9	0,85	0,407	24,12	0	0	0	0	0
36	70	23,7	24,2	258,7	67,1	6,89	332,7	0	0	0	0	0
37	54	22,5	24,6	220,6	13,6	2,98	237,2	0	0	0	0	0
38	57	17,1	22,3	113,1	8,11	1,49	122,7	0	0	0	0	0
39	47	14,3	21,0	77,2	7,09	1,23	85,54	0	0	0	0	0
40	38	9,3	10,7	16,9	4,04	0,611	21,50	0	0	0	0	0
41	41	12,0	15,5	40,9	6,60	1,28	48,80	0	0	0	0	0
42	32	7,2	9,1	8,3	1,68	0,332	10,33	0	0	0	0	0
43	80	26,3	25,8	333,2	68,8	8,97	411,0	0	0	0	0	0
44	55	18,3	24,6	130,3	17,8	3,11	151,2	0	0	0	0	0
45	50	13,7	19,1	74,2	7,88	1,22	83,3	0	0	0	0	0
46	67	19,9	23,3	158,5	20,6	4,54	183,6	0	0	0	0	0
47	35	8,6	13,7	20,8	2,79	0,631	24,27	0	0	0	0	0
48	41	10,6	18,3	44,1	3,48	0,796	48,35	0	0	0	0	0
49	43	11,6	17,7	43,7	3,39	1,04	48,12	0	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
50	77	24,2	25,0	256,7	37,2	9,09	303,1	0	0	0	0	0
51	70	20,6	25,8	212,2	17,6	4,60	234,4	0	0	0	0	0
52	66	18,6	25,4	183,8	17,2	3,06	204,0	0	0	0	0	0
53	58	14,2	19,6	87,4	7,87	2,42	97,67	0	0	0	0	0
54	63	15,9	20,5	87,0	11,6	3,08	101,7	0	0	0	0	0
55	40	8,4	11,1	15,4	4,04	0,774	20,26	0	0	0	0	0
56	56	12,7	18,1	60,7	5,32	1,78	67,77	0	0	0	0	0
2. Ара-Карагайский бор (Усольцев, 1997)												
1	5	0,5	1,7	0,05	0,04	0,05	0,14	1	0	0	0	0
2	5	1,0	2,2	0,17	0,07	0,08	0,32	1	0	0	0	0
3	5	1,4	2,5	0,30	0,12	0,14	0,56	1	0	0	0	0
4	5	2,0	3,0	0,54	0,28	0,20	1,02	1	0	0	0	0
5	5	2,7	3,9	0,89	0,36	0,26	1,51	1	0	0	0	0
6	5	3,0	3,6	1,06	0,41	0,24	1,71	1	0	0	0	0
7	8	1,9	3,7	0,39	0,06	0,02	0,47	1	0	0	0	0
8	10	3,0	5,0	1,11	0,16	0,12	1,39	1	0	0	0	0
9	12	4,0	6,2	2,14	0,45	0,32	2,91	1	0	0	0	0
10	13	4,8	7,4	3,17	0,72	0,50	4,39	1	0	0	0	0
11	15	5,6	8,2	4,53	1,24	0,70	6,47	1	0	0	0	0
12	18	7,1	8,8	7,67	1,33	0,86	9,86	1	0	0	0	0
13	17	8,5	9,1	11,3	3,36	1,36	16,0	1	0	0	0	0
14	5	1,2	2,5	0,24	0,08	0,04	0,36	1	0	0	0	0
15	8	2,0	3,6	0,60	0,17	0,10	0,87	1	0	0	0	0
16	12	2,5	4,7	0,89	0,25	0,10	1,24	1	0	0	0	0
17	9	3,7	5,6	1,78	0,57	0,16	2,51	1	0	0	0	0
18	13	5,5	6,9	3,59	1,04	0,72	5,35	1	0	0	0	0
19	15	6,8	7,2	5,29	1,04	1,36	7,69	1	0	0	0	0
20	8	1,9	3,9	0,43	0,06	0,09	0,58	1	0	0	0	0
21	10	2,7	5,2	0,94	0,13	0,13	1,20	1	0	0	0	0
22	15	3,5	6,4	1,70	0,18	0,20	2,08	1	0	0	0	0
23	16	5,0	7,4	3,83	0,72	0,43	4,98	1	0	0	0	0
24	17	5,7	8,3	5,17	0,89	0,55	6,61	1	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
25	19	7,0	8,8	8,30	0,86	0,65	9,81	1	0	0	0	0
26	17	8,9	9,5	14,4	1,61	0,98	17,0	1	0	0	0	0
27	30	4,6	6,4	1,47	0,33	0,25	2,05	1	0	0	0	0
28	33	6,9	8,4	5,00	1,39	0,59	6,98	1	0	0	0	0
29	34	10,0	11,4	15,3	2,66	0,82	18,8	1	0	0	0	0
30	31	12,0	12,9	26,6	5,61	1,49	33,7	1	0	0	0	0
31	36	16,0	15,1	63,5	8,77	2,03	74,3	1	0	0	0	0
32	35	19,5	16,2	115,6	13,60	3,13	132,3	1	0	0	0	0
33	50	18,4	18,1	100,7	13,90	4,50	119,1	1	0	0	0	0
34	50	22,1	17,5	131,4	40,30	8,30	180,0	1	0	0	0	0
35	50	7,4	10,2	7,94	0,59	0,34	8,87	1	0	0	0	0
36	50	29,7	17,4	202,4	33,90	6,70	243,0	1	0	0	0	0
37	50	13,7	14,7	46,00	6,40	2,20	54,6	1	0	0	0	0
38	50	22,8	17,4	143,0	40,90	5,80	189,7	1	0	0	0	0
39	50	13,6	13,9	35,20	4,20	1,60	41,0	1	0	0	0	0
40	50	11,7	12,1	25,10	2,70	1,20	29,0	1	0	0	0	0
41	50	23,3	18,4	159,8	41,60	8,60	210,0	1	0	0	0	0
42	50	7,7	10,2	10,10	1,38	0,41	11,9	1	0	0	0	0
43	25	12,8	13,3	45,00	8,50	3,30	56,8	1	0	0	0	0
44	25	10,2	11,8	24,10	4,00	2,50	30,6	1	0	0	0	0
45	25	8,1	10,6	12,10	2,40	1,00	15,5	1	0	0	0	0
46	25	4,2	6,4	2,36	0,34	0,27	2,97	1	0	0	0	0
47	25	5,7	8,0	5,48	1,09	0,55	7,12	1	0	0	0	0
48	25	15,3	13,1	49,30	19,30	7,40	76,0	1	0	0	0	0
49	25	5,5	6,2	4,47	0,86	0,27	5,60	1	0	0	0	0
50	25	5,8	7,3	4,38	0,81	0,20	5,39	1	0	0	0	0
51	25	9,1	10,7	17,50	4,00	1,90	23,4	1	0	0	0	0
52	25	11,7	11,8	29,00	5,20	2,70	36,9	1	0	0	0	0
53	47	22,3	17,1	139,8	28,70	6,30	174,8	1	0	0	0	0
54	47	17,8	16,5	101,5	13,6	3,3	118,4	1	0	0	0	0
55	47	23,4	18,2	151,2	27,1	4,6	182,9	1	0	0	0	0
56	47	17,8	16,2	101,4	18,0	3,0	122,4	1	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
57	47	15,0	15,3	56,0	5,4	1,4	62,8	1	0	0	0	0
58	47	28,1	17,5	223,0	62,0	8,4	293,4	1	0	0	0	0
59	47	31,5	19,5	281,9	98,2	16,4	396,5	1	0	0	0	0
60	47	24,2	15,4	154,9	32,8	5,4	193,1	1	0	0	0	0
61	47	13,4	14,4	48,5	7,2	1,8	57,5	1	0	0	0	0
62	47	11,8	13,3	32,8	6,2	1,4	40,4	1	0	0	0	0
63	68	33,2	20,2	341,7	60,4	12,8	414,9	1	0	0	0	0
64	68	36,1	18,9	375,8	150,6	18,1	544,5	1	0	0	0	0
65	68	37,1	18,8	389,9	134,3	11,8	536,0	1	0	0	0	0
66	68	17,1	16,1	86,6	22,8	4,3	113,7	1	0	0	0	0
67	68	26,8	19,0	215,3	36,1	6,7	258,1	1	0	0	0	0
68	68	19,8	16,7	111,4	25,1	4,8	141,3	1	0	0	0	0
69	68	13,7	15,0	56,0	3,7	1,5	61,2	1	0	0	0	0
70	68	12,2	13,8	43,6	3,4	1,0	48,0	1	0	0	0	0
71	68	28,5	18,1	230,3	67,9	11,3	309,5	1	0	0	0	0
72	68	10,4	8,8	18,2	4,1	1,0	23,3	1	0	0	0	0
73	68	28,8	17,1	246,2	26,7	6,2	279,1	1	0	0	0	0
74	54	11,5	11,7	32,7	2,8	0,9	36,4	1	0	0	0	0
75	54	20,3	16,1	95,7	6,6	1,9	104,2	1	0	0	0	0
76	54	18,6	14,5	75,3	8,5	2,0	85,8	1	0	0	0	0
77	54	25,3	13,8	155,7	88,7	11,2	255,6	1	0	0	0	0
78	54	23,7	15,4	150,2	40,9	6,1	197,2	1	0	0	0	0
79	54	28,9	16,0	224,7	104,0	11,8	340,5	1	0	0	0	0
80	54	25,7	14,8	141,4	45,9	5,9	193,2	1	0	0	0	0
81	54	15,8	15,2	65,5	8,6	2,0	76,1	1	0	0	0	0
82	54	14,0	11,6	34,2	3,1	0,8	38,0	1	0	0	0	0
83	44	16,4	13,3	60,3	9,9	1,8	72,0	1	0	0	0	0
84	44	14,7	13,9	57,5	9,4	2,6	69,5	1	0	0	0	0
85	44	18,2	15,1	92,6	16,2	3,2	112,0	1	0	0	0	0
86	44	17,2	13,2	85,6	20,9	5,2	111,7	1	0	0	0	0
87	44	11,9	10,7	26,5	4,2	1,0	31,7	1	0	0	0	0
88	44	9,8	9,6	18,2	2,7	1,1	22,0	1	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
89	44	11,7	13,3	34,7	4,3	1,5	40,5	1	0	0	0	0
90	44	10,9	13,1	28,0	3,5	1,1	32,6	1	0	0	0	0
91	44	9,2	11,2	17,6	0,98	0,41	19,0	1	0	0	0	0
92	44	7,8	11,8	15,7	1,21	0,53	17,4	1	0	0	0	0
93	44	6,7	8,4	7,53	0,56	0,22	8,31	1	0	0	0	0
94	22	13,5	10,6	34,1	5,7	2,2	42,0	1	0	0	0	0
95	22	9,7	9,4	19,0	4,2	2,0	25,2	1	0	0	0	0
96	22	7,8	9,4	11,3	1,79	1,1	14,2	1	0	0	0	0
97	22	6,3	8,3	7,01	1,44	0,78	9,23	1	0	0	0	0
98	22	4,8	6,8	3,44	0,4	0,26	4,10	1	0	0	0	0
99	22	6,4	8,7	7,07	1,27	0,59	8,93	1	0	0	0	0
100	22	6,3	8,1	6,56	0,98	0,50	8,04	1	0	0	0	0
101	22	3,2	4,5	1,68	0,23	0,11	2,02	1	0	0	0	0
102	22	8,8	9,9	15,1	1,55	0,81	17,5	1	0	0	0	0
103	55	27,2	18,1	193,2	61,5	9,2	263,9	1	0	0	0	0
104	55	21,7	17,5	135,9	19,8	5	160,7	1	0	0	0	0
105	55	20,2	17,9	111,7	30,6	5,2	147,5	1	0	0	0	0
106	55	18,4	18,2	109,0	21,6	4,5	135,1	1	0	0	0	0
107	55	16,5	16,2	74,4	11,7	3,1	89,2	1	0	0	0	0
108	55	13,8	15,7	59,7	3,8	1,7	65,2	1	0	0	0	0
109	55	12,1	11,9	31,8	4,9	1,2	37,9	1	0	0	0	0
110	55	8,0	9,3	11,2	1,8	0,6	13,6	1	0	0	0	0
111	55	10,3	11,9	25,4	4,4	1,3	31,1	1	0	0	0	0
112	11	1,3	2,8	0,16	0,02	0,02	0,20	1	0	0	0	0
113	11	1,6	4,7	0,36	0,03	0,03	0,42	1	0	0	0	0
114	11	2,1	6,0	0,72	0,08	0,11	0,92	1	0	0	0	0
115	11	3,0	6,7	1,48	0,19	0,11	1,78	1	0	0	0	0
116	11	3,5	7,1	2,04	0,21	0,27	2,52	1	0	0	0	0
117	11	4,1	7,4	2,78	0,56	0,36	3,70	1	0	0	0	0
118	11	5,0	7,6	4,03	0,90	0,53	5,46	1	0	0	0	0
119	23	5,2	9,8	6,33	0,71	0,34	7,38	1	0	0	0	0
120	27	6,4	11,0	9,54	0,51	0,19	10,2	1	0	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
121	28	7,0	12,1	11,4	0,9	0,4	12,7	1	0	0	0	0
122	26	8,0	12,8	14,8	1,14	0,55	16,5	1	0	0	0	0
123	27	8,9	13,4	18,3	2,74	0,99	22,0	1	0	0	0	0
124	30	10,1	14,0	23,5	3,13	1,22	27,8	1	0	0	0	0
125	29	11,7	14,7	31,4	5,15	1,6	38,2	1	0	0	0	0
126	30	12,7	15,0	37,0	7,27	2,01	46,2	1	0	0	0	0
127	28	15,2	15,4	52,7	3,05	1,52	57,3	1	0	0	0	0
128	33	17,3	15,8	68,1	9,37	2,45	79,9	1	0	0	0	0
129	28	4,1	6,4	3,54	0,22	0,22	3,98	1	0	0	0	0
130	28	6,4	8,6	8,94	0,69	0,33	9,96	1	0	0	0	0
131	30	7,4	9,6	12,1	0,56	0,31	13,0	1	0	0	0	0
132	32	8,7	11,2	16,9	2,16	1,56	20,7	1	0	0	0	0
133	33	9,7	11,7	21,3	2,05	1,29	24,6	1	0	0	0	0
134	38	11,8	12,5	32,0	5,38	2,19	39,5	1	0	0	0	0
135	31	12,4	12,5	35,4	6,77	2,66	44,9	1	0	0	0	0
136	23	5,4	7,5	6,28	0,28	0,35	6,91	1	0	0	0	0
137	25	2,8	4,5	1,07	0,28	0,16	1,51	1	0	0	0	0
138	27	4,5	7,3	3,12	0,44	0,18	3,74	1	0	0	0	0
139	26	5,8	8,4	5,54	0,69	0,41	6,64	1	0	0	0	0
140	31	7,5	9,8	9,93	0,75	0,74	11,4	1	0	0	0	0
141	31	8,2	9,8	12,2	1,5	0,78	14,5	1	0	0	0	0
142	36	9,6	10,7	17,5	1,83	1,25	20,5	1	0	0	0	0
143	38	12,3	11,2	30,8	6,72	2,15	39,7	1	0	0	0	0
3. Североказахстанская колючая лесостепь (Усольцев, 1997)												
1	56	7,6	11,2	12,38	1,7	0,72	14,8	0	1	0	0	0
2	57	10,4	13,2	24,72	6,6	1,08	32,4	0	1	0	0	0
3	64	11,8	14,1	36,32	4,6	1,28	42,2	0	1	0	0	0
4	59	14,3	15,7	57,29	12,3	3,51	73,1	0	1	0	0	0
5	65	14,0	14,2	47,1	4,1	1,4	52,6	0	1	0	0	0
6	55	16,6	18,6	90,0	12,3	3,4	105,7	0	1	0	0	0
7	60	15,8	16,9	74,96	14,8	3,24	93,0	0	1	0	0	0
8	55	17,8	19,5	105,2	19,7	4,14	129,0	0	1	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
9	61	19,1	19,1	120,8	16,7	5,76	143,3	0	1	0	0	0
10	76	19,3	20,1	128,8	24,3	4,5	157,6	0	1	0	0	0
11	73	21,2	21,5	170,1	25,6	6,39	202,1	0	1	0	0	0
12	79	22,4	19,0	150,4	31,3	5,04	186,7	0	1	0	0	0
13	68	22,4	20,7	180,5	36,4	6,84	223,7	0	1	0	0	0
14	73	24,4	20,9	185,7	43,3	6,05	235,0	0	1	0	0	0
15	70	25,6	20,2	221,9	64,9	8,01	294,8	0	1	0	0	0
16	84	29,0	21,0	272,1	112,2	12,84	397,1	0	1	0	0	0
17	75	30,5	20,0	283,3	208,0	13,48	504,8	0	1	0	0	0
18	85	32,0	21,6	384,9	114,1	13,18	512,2	0	1	0	0	0
19	88	35,8	22,2	462,0	148,6	19,17	629,8	0	1	0	0	0
20	70	42,0	23,0	601,0	230,2	23,28	854,5	0	1	0	0	0
21	47	8,3	12,6	16,95	2,7	0,85	20,5	0	1	0	0	0
22	51	10,6	15,7	34,08	6,6	1,82	42,5	0	1	0	0	0
23	50	10,0	14,6	26,26	1,6	0,74	28,6	0	1	0	0	0
24	52	12,0	17,0	43,65	3,6	0,95	48,2	0	1	0	0	0
25	55	12,1	17,8	53,69	10,2	1,91	65,8	0	1	0	0	0
26	50	13,4	16,4	54,43	8,5	2,07	65,0	0	1	0	0	0
27	61	13,9	16,9	58,29	12,5	1,71	72,5	0	1	0	0	0
28	50	15,0	15,2	60,11	18,1	2,59	80,8	0	1	0	0	0
29	84	16,1	19,0	93,2	15,9	3,4	112,5	0	1	0	0	0
30	61	16,0	19,4	88,2	16,5	2,7	107,4	0	1	0	0	0
31	62	16,4	19,0	96,4	12,9	2,0	111,3	0	1	0	0	0
32	61	18,1	18,0	103,8	34,9	4,27	143,0	0	1	0	0	0
33	62	17,8	19,1	102,0	28,0	2,72	132,7	0	1	0	0	0
34	69	20,1	19,6	143,6	25,2	4,97	173,8	0	1	0	0	0
35	69	19,9	20,0	141,5	19,4	3,89	164,8	0	1	0	0	0
36	68	20,5	20,4	170,5	23,5	5,08	199,1	0	1	0	0	0
37	71	22,0	19,1	160,3	26,4	5,94	192,6	0	1	0	0	0
38	83	22,5	20,0	187,6	71,9	8,55	268,0	0	1	0	0	0
39	84	24,7	20,0	216,4	74,3	9,49	300,2	0	1	0	0	0
40	73	26,0	21,2	277,2	60,5	9,69	347,4	0	1	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
41	79	31,0	21,5	333,8	95,3	13,6	442,7	0	1	0	0	0
42	53	8,6	13,5	18,94	1,3	0,56	20,8	0	1	0	0	0
43	53	7,4	11,5	12,69	2,0	0,61	15,3	0	1	0	0	0
44	36	9,0	11,6	15,4	2,3	0,5	18,2	0	1	0	0	0
45	70	10,4	13,2	27,87	5,1	1,03	34,0	0	1	0	0	0
46	54	9,7	12,7	23,03	3,1	0,67	26,8	0	1	0	0	0
47	65	10,6	15,2	32,19	2,4	0,81	35,4	0	1	0	0	0
48	70	14,1	19,2	73,08	6,3	1,82	81,2	0	1	0	0	0
49	71	16,1	19,3	80,0	9,5	2,2	91,7	0	1	0	0	0
50	75	19,6	20,3	145,5	31,2	5,38	182,1	0	1	0	0	0
51	80	24,5	21,3	212,8	46,0	9,83	268,6	0	1	0	0	0
52	81	28,0	21,4	253,2	49,3	10,33	312,8	0	1	0	0	0
53	29	8,5	10,2	14,74	1,9	0,56	17,2	0	1	0	0	0
54	26	9,5	9,6	26,05	1,2	0,45	27,7	0	1	0	0	0
55	43	12,0	14,7	37,27	6,0	1,73	45,0	0	1	0	0	0
56	39	12,3	16,7	52,42	7,8	1,78	62,0	0	1	0	0	0
57	46	13,2	16,5	58,24	6,6	1,76	66,6	0	1	0	0	0
58	33	14,0	16,8	60,2	8,3	1,6	70,1	0	1	0	0	0
59	42	15,3	14,2	63,6	19,3	3,1	86,0	0	1	0	0	0
60	47	15,6	19,4	86,74	11,3	3,06	101,1	0	1	0	0	0
61	74	18,9	20,2	127,1	18,0	4,3	149,4	0	1	0	0	0
62	83	18,4	20,8	131,5	25,4	3,78	160,7	0	1	0	0	0
63	58	18,0	18,2	110,4	11,7	3,44	125,5	0	1	0	0	0
64	55	20,0	19,8	145,7	13,5	2,3	161,5	0	1	0	0	0
65	52	20,0	19,1	143,7	22,8	6,43	172,9	0	1	0	0	0
66	60	20,8	21,7	168,9	34,3	4,37	207,6	0	1	0	0	0
67	50	22,3	21,1	170,3	30,6	4,9	205,8	0	1	0	0	0
68	47	22,5	20,3	155,8	19,4	3,6	178,8	0	1	0	0	0
69	64	23,4	20,2	207,3	42,1	5,94	255,3	0	1	0	0	0
70	65	26,3	21,2	250,5	27,5	6,05	284,0	0	1	0	0	0
71	56	27,2	20,3	261,3	57,2	9,04	327,5	0	1	0	0	0
72	69	30,5	21,4	277,9	88,2	9,47	375,6	0	1	0	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
73	63	31,5	21,4	372,8	119,1	10,44	502,3	0	1	0	0	0
74	42	7,2	10,9	12,88	2,1	0,52	15,5	0	1	0	0	0
75	57	10,0	13,7	28,37	4,4	1,53	34,3	0	1	0	0	0
76	54	10,9	15,1	30,55	3,6	1,15	35,3	0	1	0	0	0
77	54	10,0	14,0	27,71	1,9	0,79	30,4	0	1	0	0	0
78	54	12,5	14,6	44,95	8,7	1,85	55,5	0	1	0	0	0
79	47	12,5	15,4	42,65	9,3	1,55	53,5	0	1	0	0	0
80	66	13,8	17,2	62,59	9,8	1,71	74,1	0	1	0	0	0
81	67	13,9	19,0	72,15	10,4	2,05	84,6	0	1	0	0	0
82	65	14,5	18,1	73,72	10,2	1,78	85,7	0	1	0	0	0
83	62	16,1	17,1	76,05	12,1	2,95	91,1	0	1	0	0	0
84	66	16,2	19,8	97,65	21,4	2,75	121,8	0	1	0	0	0
85	60	16,0	16,3	75,0	7,7	1,4	84,1	0	1	0	0	0
86	67	17,8	19,2	121,1	25,2	4,7	151,0	0	1	0	0	0
87	68	17,5	18,2	91,03	12,5	3,47	107,0	0	1	0	0	0
88	70	20,1	22,1	174,8	21,8	5,08	201,7	0	1	0	0	0
89	72	19,4	19,6	137,4	25,8	5,15	168,3	0	1	0	0	0
90	61	22,0	20,8	190,2	34,6	5,65	230,4	0	1	0	0	0
91	68	24,6	21,7	228,9	42,9	7,33	279,1	0	1	0	0	0
92	68	25,9	22,2	268,0	56,4	7,15	331,5	0	1	0	0	0
93	75	28,2	21,0	285,4	40,2	6,59	332,2	0	1	0	0	0
94	77	30,0	20,4	307,6	50,1	6,97	364,7	0	1	0	0	0
95	87	32,3	21,1	335,3	111,5	14	460,8	0	1	0	0	0
96	88	34,0	21,3	435,1	163,1	17,61	615,8	0	1	0	0	0
4. Североказахстанская южная лесостепь (Усолыцев, 1997)												
1	19	1,5	3,1	0,209	0,023	0,02	0,252	0	0	1	0	0
2	19	2,0	4,4	0,644	0,04	0,05	0,734	0	0	1	0	0
3	19	1,9	4,8	0,489	0,023	0,02	0,532	0	0	1	0	0
4	19	2,9	6,0	1,021	0,179	0,07	1,27	0	0	1	0	0
5	19	3,1	7,5	1,738	0,202	0,09	2,03	0	0	1	0	0
6	19	4,1	7,4	2,756	0,704	0,4	3,86	0	0	1	0	0
7	19	4,0	7,1	2,417	0,323	0,16	2,90	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
8	19	5,2	9,6	5,549	0,721	0,35	6,62	0	0	1	0	0
9	19	5,5	9,5	5,239	0,941	0,47	6,65	0	0	1	0	0
10	19	5,8	9,6	6,258	0,692	0,26	7,21	0	0	1	0	0
11	19	5,8	8,9	6,45	1,04	0,45	7,94	0	0	1	0	0
12	19	7,0	10,9	12,03	1,44	0,83	14,3	0	0	1	0	0
13	19	7,1	10,0	10,7	1,56	1,04	13,3	0	0	1	0	0
14	19	8,4	10,6	13,08	3,12	1,2	17,4	0	0	1	0	0
15	19	8,0	9,6	10,41	1,96	0,83	13,2	0	0	1	0	0
16	19	9,3	10,8	18,45	3,39	1,46	23,3	0	0	1	0	0
17	19	9,3	11,0	18,05	4,1	1,65	23,8	0	0	1	0	0
18	19	10,6	11,3	21,28	7,33	2,29	30,9	0	0	1	0	0
19	19	13,5	11,2	33,0	9,58	3,42	46,0	0	0	1	0	0
20	12	1,4	3,2	0,282	0,08	0,02	0,382	0	0	1	0	0
21	12	1,3	3,2	0,169	0,05	0,02	0,239	0	0	1	0	0
22	12	2,3	4,5	0,846	0,1	0,04	0,986	0	0	1	0	0
23	12	2,1	4,3	0,79	0,12	0,06	0,97	0	0	1	0	0
24	12	2,1	4,7	0,621	0,12	0,06	0,801	0	0	1	0	0
25	12	2,8	5,7	1,129	0,19	0,11	1,429	0	0	1	0	0
26	12	2,8	5,6	1,129	0,14	0,08	1,349	0	0	1	0	0
27	12	3,5	5,8	1,693	0,29	0,17	2,153	0	0	1	0	0
28	12	4,0	7,0	2,538	0,77	0,25	3,558	0	0	1	0	0
29	12	4,4	7,0	2,595	0,44	0,15	3,185	0	0	1	0	0
30	12	3,9	7,1	2,595	0,52	0,3	3,415	0	0	1	0	0
31	12	5,0	7,5	4,23	1,0	0,42	5,650	0	0	1	0	0
32	12	5,1	8,2	4,794	1,38	0,46	6,634	0	0	1	0	0
33	12	6,1	8,2	5,639	0,75	0,46	6,849	0	0	1	0	0
34	12	5,7	7,9	5,639	1,59	0,84	8,069	0	0	1	0	0
35	12	6,4	8,4	7,781	1,73	0,67	10,18	0	0	1	0	0
36	12	8,0	9,0	14,09	2,77	1,12	17,98	0	0	1	0	0
37	11	1,0	2,6	0,169	0,02	0,02	0,209	0	0	1	0	0
38	11	1,2	2,7	0,226	0,04	0,04	0,306	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
39	11	1,7	3,4	0,339	0,06	0,07	0,469	0	0	1	0	0
40	11	2,2	4,5	0,621	0,06	0,07	0,751	0	0	1	0	0
41	11	2,8	5,4	1,241	0,15	0,15	1,541	0	0	1	0	0
42	11	3,2	4,8	1,241	0,25	0,2	1,691	0	0	1	0	0
43	11	4,2	6,0	3,667	0,94	0,45	5,057	0	0	1	0	0
44	11	3,9	5,4	2,933	0,72	0,51	4,163	0	0	1	0	0
45	11	5,3	5,9	4,117	1,40	0,69	6,207	0	0	1	0	0
46	11	4,9	6,0	3,44	1,18	0,51	5,13	0	0	1	0	0
47	11	6,0	6,7	5,413	1,27	0,73	7,413	0	0	1	0	0
48	36	2,0	4,8	0,558	0,042	0,04	0,64	0	0	1	0	0
49	36	4,1	7,2	2,76	0,34	0,17	3,27	0	0	1	0	0
50	36	6,0	10,5	7,55	0,97	0,28	8,80	0	0	1	0	0
51	36	7,8	11,0	15,0	2,74	0,96	18,7	0	0	1	0	0
52	36	8,0	12,9	18,42	2,13	0,45	21,0	0	0	1	0	0
53	36	9,8	13,2	25,84	3,98	1,28	31,1	0	0	1	0	0
54	36	10,0	11,9	25,66	1,19	0,45	27,3	0	0	1	0	0
55	36	12,1	14,8	43,45	12,4	2,05	57,9	0	0	1	0	0
56	36	11,4	14,3	38,57	5,9	1,73	46,2	0	0	1	0	0
57	36	13,5	14,0	48,03	17,4	2,67	68,1	0	0	1	0	0
58	36	16,8	15,2	94,9	22,6	4,7	122,2	0	0	1	0	0
59	22	2,0	3,9	0,452	0,225	0,18	0,857	0	0	1	0	0
60	22	3,8	5,9	2,254	0,906	0,23	3,39	0	0	1	0	0
61	22	5,5	8,5	5,24	1,67	0,45	7,36	0	0	1	0	0
62	22	7,5	10,0	12,86	2,42	0,72	16,0	0	0	1	0	0
63	22	7,8	12,0	15,7	2,42	0,88	19,0	0	0	1	0	0
64	22	10,0	13,1	28,67	4,96	1,47	35,1	0	0	1	0	0
65	22	10,3	13,5	30,23	4,39	1,58	36,2	0	0	1	0	0
66	22	11,9	14,0	39,87	6,69	2,14	48,7	0	0	1	0	0
67	22	12,3	13,6	42,12	12,8	2,28	57,2	0	0	1	0	0
68	22	14,1	13,5	54,13	14,8	3,27	72,2	0	0	1	0	0
69	22	13,7	13,3	45,41	19,4	2,59	67,4	0	0	1	0	0
70	22	16,3	15,1	75,77	18,5	4,63	98,9	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
71	24	2,4	4,5	0,675	0,052	0,022	0,749	0	0	1	0	0
72	24	4,0	7,3	3,267	0,733	0,22	4,22	0	0	1	0	0
73	24	5,8	7,9	6,429	0,981	0,25	7,66	0	0	1	0	0
74	24	8,1	11,3	19,49	3,06	0,65	23,2	0	0	1	0	0
75	24	8,9	14,1	24,83	2,31	0,56	27,7	0	0	1	0	0
76	24	9,8	13,5	26,82	2,6	0,78	30,2	0	0	1	0	0
77	24	9,8	14,7	30,71	2,71	0,78	34,2	0	0	1	0	0
78	24	12,0	17,0	61,33	8,94	2,13	72,4	0	0	1	0	0
79	24	11,8	16,0	50,67	5,14	1,59	57,4	0	0	1	0	0
80	24	14,5	16,2	63,58	8,71	2,71	75,0	0	0	1	0	0
81	24	14,5	17,6	81,72	13,8	3,18	98,7	0	0	1	0	0
82	24	16,0	17,8	93,11	11,5	2,69	107,3	0	0	1	0	0
83	24	18,6	18,0	134,9	23,6	4,7	163,2	0	0	1	0	0
84	24	21,2	17,3	145,1	21,1	4,77	171,0	0	0	1	0	0
85	29	4,4	7,3	3,222	0,808	0,25	4,28	0	0	1	0	0
86	29	4,1	8,4	3,608	0,692	0,29	4,59	0	0	1	0	0
87	29	5,9	11,6	8,909	0,421	0,2	9,53	0	0	1	0	0
88	29	5,7	9,5	6,307	0,923	0,38	7,61	0	0	1	0	0
89	29	7,2	9,2	10,77	1,27	0,65	12,69	0	0	1	0	0
90	29	8,6	13,6	22,49	3,12	0,83	26,44	0	0	1	0	0
91	29	10,2	14,2	32,46	3,35	1,54	37,35	0	0	1	0	0
92	29	10,4	13,8	33,39	3,75	1,14	38,28	0	0	1	0	0
93	29	13,2	16,6	60,11	6,29	2,14	68,54	0	0	1	0	0
94	29	12,5	15,8	54,44	9,06	2,36	65,86	0	0	1	0	0
95	29	14,6	15,7	72,78	11,66	3,39	87,83	0	0	1	0	0
96	29	16,0	17,5	90,87	10,67	3,16	104,7	0	0	1	0	0
97	49	6,7	10,0	8,62	1,04	0,54	10,2	0	0	1	0	0
98	49	8,5	12,3	17,1	1,62	0,88	19,6	0	0	1	0	0
99	49	9,7	12,5	23,41	2,65	0,54	26,6	0	0	1	0	0
100	49	9,5	10,6	19,19	4,67	1,24	25,1	0	0	1	0	0
101	49	11,5	17,6	40,65	2,25	0,8	43,7	0	0	1	0	0
102	49	13,8	16,5	57,9	10,04	2,56	70,5	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
103	49	16,2	19,1	95,5	10,1	2,2	107,8	0	0	1	0	0
104	49	17,1	20,5	107,7	13,91	2,71	124,3	0	0	1	0	0
105	49	20,0	18,4	123,7	20,71	3,35	147,8	0	0	1	0	0
106	49	22,0	20,8	174,3	54,24	6,42	235,0	0	0	1	0	0
107	35	7,1	10,3	9,77	2,19	0,54	12,5	0	0	1	0	0
108	35	5,1	8,1	4,35	0,81	0,12	5,28	0	0	1	0	0
109	35	8,4	10,6	14,07	2,19	0,44	16,7	0	0	1	0	0
110	35	7,8	12,6	15,07	1,67	0,56	17,3	0	0	1	0	0
111	35	10,5	16,3	31,88	2,94	0,98	35,8	0	0	1	0	0
112	35	10,0	16,5	32,19	2,13	0,98	35,3	0	0	1	0	0
113	35	11,4	17,0	42,00	5,08	1,22	48,3	0	0	1	0	0
114	35	12,0	16,3	44,19	3,81	1,10	49,1	0	0	1	0	0
115	35	13,6	18,4	62,44	11,14	3,22	76,8	0	0	1	0	0
116	35	14,6	18,4	71,41	12,29	2,2	85,9	0	0	1	0	0
117	35	15,3	19,8	83,13	11,25	2,32	96,7	0	0	1	0	0
118	35	16,2	20,0	95,35	10,04	2,81	108,2	0	0	1	0	0
119	35	18,0	21,1	111,8	20,14	5,25	137,2	0	0	1	0	0
120	35	20,3	22,8	167,2	25,56	6,18	198,9	0	0	1	0	0
121	35	21,8	21,0	177,1	33,24	7,10	217,4	0	0	1	0	0
122	36	5,6	9,4	5,73	1,62	0,32	7,67	0	0	1	0	0
123	36	6,1	10,2	7,79	1,27	0,27	9,33	0	0	1	0	0
124	36	8,6	13,6	19,24	3,17	0,49	22,9	0	0	1	0	0
125	36	7,1	11,0	10,59	2,65	0,76	14,0	0	0	1	0	0
126	36	10,4	15,2	25,24	2,6	0,66	28,5	0	0	1	0	0
127	36	8,7	12,3	18,14	1,73	0,73	20,6	0	0	1	0	0
128	36	11,3	15,0	34,21	5,14	1,15	40,5	0	0	1	0	0
129	36	12,3	17,7	50,10	3,92	1,98	56,0	0	0	1	0	0
130	36	14,4	17,8	61,96	10,91	1,83	74,7	0	0	1	0	0
131	36	14,1	18,9	67,91	6,98	1,71	76,6	0	0	1	0	0
132	36	16,2	20,4	92,48	11,14	2,68	106,3	0	0	1	0	0
133	36	16,0	19,2	91,26	12,69	3,05	107,0	0	0	1	0	0
134	36	18,2	18,7	105,5	15,98	4,44	125,9	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
135	36	20,2	20,0	131,6	31,62	4,05	167,3	0	0	1	0	0
136	35	5,7	10,1	7,61	0,63	0,18	8,42	0	0	1	0	0
137	35	6,2	10,0	9,43	1,62	0,4	11,45	0	0	1	0	0
138	35	8,7	13,4	20,42	2,08	0,45	22,95	0	0	1	0	0
139	35	9,1	14,7	25,21	3,35	0,51	29,07	0	0	1	0	0
140	35	10,0	15,5	29,77	2,25	0,45	32,47	0	0	1	0	0
141	35	11,8	16,0	44,16	8,66	1,54	54,36	0	0	1	0	0
142	35	11,4	16,5	45,32	6,12	1,27	52,71	0	0	1	0	0
143	35	13,6	17,8	66,43	6,4	1,72	74,55	0	0	1	0	0
144	35	12,5	16,6	55,42	7,33	2,23	64,98	0	0	1	0	0
145	35	16,3	19,8	93,22	11,14	2,72	107,1	0	0	1	0	0
146	35	15,7	18,0	95,48	13,33	2,74	111,6	0	0	1	0	0
147	35	18,0	18,2	113,5	36,75	6,75	157,0	0	0	1	0	0
148	35	19,6	18,5	131,3	45,99	7,13	184,4	0	0	1	0	0
149	71	7,5	10,9	10,58	0,37	0,26	11,21	0	0	1	0	0
150	71	12,8	15,4	46,22	8,02	1,32	55,56	0	0	1	0	0
151	71	13,5	19,1	66,44	7,39	1,10	74,93	0	0	1	0	0
152	71	16,0	19,8	87,49	13,1	1,63	102,2	0	0	1	0	0
153	71	17,6	20,6	103,8	10,44	3,31	117,6	0	0	1	0	0
154	71	20,0	22,7	151,3	15,81	2,65	169,7	0	0	1	0	0
155	71	23,6	19,5	173,1	32,49	4,41	210,0	0	0	1	0	0
156	71	26,0	21,0	216,4	44,26	4,04	264,7	0	0	1	0	0
157	71	28,0	22,0	281,2	71,2	6,84	359,2	0	0	1	0	0
158	71	29,2	23,1	303,3	119,3	7,52	430,1	0	0	1	0	0
159	71	30,0	22,9	308,8	113,1	7,79	429,7	0	0	1	0	0
160	65	8,9	9,5	13,53	6,12	0,95	20,6	0	0	1	0	0
161	65	12,5	13,9	38,53	6,64	1,43	46,6	0	0	1	0	0
162	65	17,5	19,4	117,2	17,89	3,52	138,6	0	0	1	0	0
163	65	16,4	18,1	92,41	21,75	3,64	117,8	0	0	1	0	0
164	65	20,0	18,9	127,4	21,46	3,71	152,6	0	0	1	0	0
165	65	22,6	20,8	177,0	52,8	5,82	235,6	0	0	1	0	0
166	65	24,0	20,0	196,8	53,66	8,8	259,3	0	0	1	0	0
167	65	26,3	20,4	236,0	49,45	6,78	292,2	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
168	65	29,0	22,8	302,2	74,14	9,56	385,9	0	0	1	0	0
169	65	32,1	22,3	401,8	165,4	16,91	584,1	0	0	1	0	0
170	86	19,0	18,2	117,0	12,98	5,3	135,3	0	0	1	0	0
171	86	23,7	17,8	170,3	37,1	8,7	216,1	0	0	1	0	0
172	86	28,5	19,1	278,2	55,68	10,2	344,1	0	0	1	0	0
173	86	36,5	21,5	533,3	188,0	13,1	734,4	0	0	1	0	0
174	86	44,0	20,2	565,8	147,5	18,1	731,4	0	0	1	0	0
175	86	46,0	21,7	665,1	211,7	20,9	897,7	0	0	1	0	0
176	71	12,7	18,5	46,45	12,41	2,94	61,8	0	0	1	0	0
177	71	16,0	16,8	73,36	7,44	0,9	81,7	0	0	1	0	0
178	71	16,8	20,1	102,2	17,77	4,0	124,0	0	0	1	0	0
179	71	19,8	21,2	167,8	38,83	7,4	214,0	0	0	1	0	0
180	71	26,2	20,6	212,2	84,82	6,7	303,7	0	0	1	0	0
181	71	28,5	21,8	268,6	92,2	11,8	372,6	0	0	1	0	0
182	71	32,8	22,6	364,5	63,47	11,7	439,7	0	0	1	0	0
183	71	36,0	23,4	528,1	48,64	10,3	587,0	0	0	1	0	0
184	71	40,0	23,7	475,2	59,6	9,7	544,5	0	0	1	0	0
185	71	48,0	23,2	689,1	207,7	13,9	910,7	0	0	1	0	0
186	64	9,8	13,3	29,24	2,25	1,11	32,6	0	0	1	0	0
187	64	11,6	15,6	49,94	3,35	1,11	54,4	0	0	1	0	0
188	64	14,5	17,5	85,13	10,04	1,43	96,6	0	0	1	0	0
189	64	15,2	17,7	79,92	10,44	1,14	91,5	0	0	1	0	0
190	64	17,7	22,6	147,9	10,1	2,72	160,7	0	0	1	0	0
191	64	18,5	18,8	125,3	34,33	5,7	165,3	0	0	1	0	0
192	64	23,1	22,4	245,6	66,24	6,95	318,8	0	0	1	0	0
193	64	25,0	22,0	273,7	50,08	8,4	332,2	0	0	1	0	0
194	64	25,0	21,9	274,1	29,95	6,93	311,0	0	0	1	0	0
195	64	26,5	21,1	326,3	59,26	7,62	393,2	0	0	1	0	0
196	64	31,0	23,2	414,5	55,33	9,38	479,2	0	0	1	0	0
197	64	26,0	23,0	304,3	43,51	5,7	353,5	0	0	1	0	0
198	73	8,4	12,2	20,7	1,33	0,67	22,7	0	0	1	0	0
199	73	9,8	8,8	17,8	7,15	1,85	26,8	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
200	73	10,9	15,4	44,55	3,81	0,94	49,3	0	0	1	0	0
201	73	16,3	20,9	120,7	8,83	2,23	131,8	0	0	1	0	0
202	73	19,7	20,7	186,9	29,43	3,62	219,9	0	0	1	0	0
203	73	22,0	22,8	197,3	31,27	5,87	234,4	0	0	1	0	0
204	73	24,8	21,7	237,7	26,83	4,38	268,9	0	0	1	0	0
205	73	26,6	24,1	359,6	61,8	7,41	428,8	0	0	1	0	0
206	73	27,5	24,8	373,9	74,49	12,54	460,9	0	0	1	0	0
207	73	30,5	24,1	435,8	98,55	9,93	544,3	0	0	1	0	0
208	73	32,0	25,0	532,7	119,0	15,67	667,4	0	0	1	0	0
209	73	12,6	15,9	52,41	4,1	1,09	57,6	0	0	1	0	0
210	73	23,6	24,7	286,3	32,89	5,22	324,4	0	0	1	0	0
211	23	1,7	4,4	0,34	0,023	0,02	0,383	0	0	1	0	0
212	23	1,0	2,8	0,141	0,023	0,02	0,184	0	0	1	0	0
213	23	1,0	3,0	0,141	0,012	0,01	0,163	0	0	1	0	0
214	23	1,0	3,1	0,141	0,012	0,01	0,163	0	0	1	0	0
215	23	2,2	5,0	0,678	0,063	0,07	0,811	0	0	1	0	0
216	23	2,1	4,7	0,735	0,087	0,09	0,912	0	0	1	0	0
217	23	3,0	6,7	1,523	0,087	0,09	1,70	0	0	1	0	0
218	23	3,0	7,7	1,917	0,063	0,07	2,05	0	0	1	0	0
219	23	3,0	6,0	1,413	0,127	0,13	1,67	0	0	1	0	0
220	23	4,1	9,0	3,949	0,231	0,25	4,43	0	0	1	0	0
221	23	4,1	8,6	3,553	0,127	0,13	3,81	0	0	1	0	0
222	23	4,1	7,6	2,93	0,15	0,16	3,24	0	0	1	0	0
223	23	5,0	10,0	6,136	0,294	0,31	6,74	0	0	1	0	0
224	23	5,0	9,9	6,366	0,294	0,31	6,97	0	0	1	0	0
225	23	5,8	9,5	8,01	1,08	0,47	9,56	0	0	1	0	0
226	23	6,1	11,5	10,0	0,785	0,4	11,19	0	0	1	0	0
227	23	6,9	12,0	13,4	1,34	0,56	15,3	0	0	1	0	0
228	23	8,1	12,0	17,5	1,67	0,67	19,84	0	0	1	0	0
229	23	8,9	13,6	24,6	2,88	1,09	28,57	0	0	1	0	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
5. Южный Урал (Усолецев, 1997)												
1	39	17,4	19,9	173,2	36,95	11,71	221,9	0	0	0	1	0
2	35	13,9	12,9	40,10	3,18	2,13	45,41	0	0	0	1	0
3	36	16,0	15,6	76,61	15,04	6,75	98,39	0	0	0	1	0
4	35	14,0	15,0	68,34	13,11	5,06	86,51	0	0	0	1	0
5	36	17,3	18,3	101,7	19,28	7,14	128,1	0	0	0	1	0
6	46	17,5	15,3	83,44	6,99	3,01	93,44	0	0	0	1	0
7	64	21,5	20,6	195,4	16,41	6,85	218,7	0	0	0	1	0
8	64	17,6	14,4	85,37	9,87	3,18	98,42	0	0	0	1	0
9	64	19,4	19,8	142,7	30,35	6,09	179,1	0	0	0	1	0
10	56	19,8	18,2	125,5	18,38	4,47	148,3	0	0	0	1	0
11	51	19,1	13,8	87,74	10,42	2,63	100,8	0	0	0	1	0
12	15	8,1	4,1	2,33	0,23	0,09	2,64	0	0	0	1	0
13	8	6,1	2,6	0,59	0,07	0,04	0,69	0	0	0	1	0
14	23	12,6	10,3	23,60	3,59	2,37	29,56	0	0	0	1	0
15	21	11,4	8,0	13,87	2,99	1,40	18,26	0	0	0	1	0
16	24	10,2	5,9	7,34	0,43	0,28	8,06	0	0	0	1	0
17	19	9,1	4,7	3,92	0,24	0,21	4,38	0	0	0	1	0
18	13	8,4	4,0	2,59	0,23	0,11	2,93	0	0	0	1	0
19	8	5,4	2,4	0,45	0,04	0,09	0,58	0	0	0	1	0
20	29	11,8	7,8	20,36	2,11	0,86	23,32	0	0	0	1	0
21	40	22,4	17,2	152,2	16,02	4,14	172,4	0	0	0	1	0
22	47	22,4	19,7	185,2	36,74	7,18	229,1	0	0	0	1	0
23	49	14,1	18,8	118,4	33,67	5,54	157,7	0	0	0	1	0
24	27	9,9	6,5	8,72	1,46	0,67	10,85	0	0	0	1	0
25	38	16,3	14,2	61,42	7,89	3,24	72,55	0	0	0	1	0
26	38	16,5	19,4	106,5	22,72	5,98	135,2	0	0	0	1	0
27	31	13,4	10,6	27,91	2,68	1,95	32,55	0	0	0	1	0
28	32	18,3	14,6	91,41	11,29	4,23	106,9	0	0	0	1	0
29	44	14,7	11,3	31,81	2,62	0,53	34,95	0	0	0	1	0
30	67	18,7	15,6	118,5	16,22	4,42	139,2	0	0	0	1	0
31	26	11,6	8,2	15,05	2,10	1,19	18,34	0	0	0	1	0

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
32	24	11,0	10,4	22,53	6,45	1,79	30,78	0	0	0	1	0
33	38	16,7	14,4	78,62	9,96	3,36	91,94	0	0	0	1	0
34	27	9,9	6,1	6,42	0,71	0,43	7,56	0	0	0	1	0
35	63	23,2	21,4	213,0	22,08	5,46	240,6	0	0	0	1	0
36	39	12,2	11,6	43,38	10,55	3,66	57,60	0	0	0	1	0
37	58	16,5	12,6	51,96	2,96	1,18	56,09	0	0	0	1	0
38	64	22,3	25,8	296,2	46,41	10,30	352,9	0	0	0	1	0
39	62	22,5	24,8	278,6	43,47	13,77	335,9	0	0	0	1	0
40	53	16,3	13,9	64,34	7,56	2,06	73,97	0	0	0	1	0
41	36	16,8	17,8	119,2	30,61	5,24	155,0	0	0	0	1	0
42	52	13,1	10,1	28,61	2,81	1,61	33,04	0	0	0	1	0
43	43	14,7	12,8	50,70	10,37	2,30	63,37	0	0	0	1	0
44	32	16,2	12,2	48,70	6,97	2,40	58,07	0	0	0	1	0
45	45	20,8	18,0	122,0	14,38	4,91	141,3	0	0	0	1	0
46	44	20,7	15,7	98,98	10,52	3,36	112,9	0	0	0	1	0
6. Средний Урал (Усольцев, 1997)												
1	12	3,2	1,4	0,195	0,113	0,081	0,389	0	0	0	0	1
2	34	18,1	11,1	42,0	2,239	0,341	44,6	0	0	0	0	1
3	42	20,8	13,4	78,8	5,899	0,976	85,7	0	0	0	0	1
4	41	19,3	13,9	79,8	9,521	1,424	90,8	0	0	0	0	1
5	51	21,7	14,9	93,2	6,613	0,506	100,3	0	0	0	0	1
6	62	22,2	18,5	121,9	13,37	1,654	136,9	0	0	0	0	1
7	34	12,7	8,2	14,47	1,307	0,229	16,01	0	0	0	0	1
8	17	6,1	3,8	2,307	0,336	0,084	2,727	0	0	0	0	1
9	52	23,6	28,0	423,0	52,9	5,875	481,8	0	0	0	0	1
10	71	23,9	25,2	263,6	49,3	2,921	315,8	0	0	0	0	1
11	61	23,3	18,0	159,0	17,726	1,750	178,5	0	0	0	0	1
12	11	4,6	2,7	0,914	0,188	0,117	1,219	0	0	0	0	1
13	12	4,9	2,3	0,634	0,194	0,072	0,900	0	0	0	0	1
14	13	4,4	2,4	0,478	0,095	0,135	0,708	0	0	0	0	1
15	6	2,7	1,0	0,124	0,060	0,063	0,247	0	0	0	0	1
16	13	4,9	3,6	1,487	0,674	0,376	2,537	0	0	0	0	1

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
17	27	14,7	8,9	20,1	1,692	0,204	22,0	0	0	0	0	1
18	58	11,5	10,5	29,5	2,784	0,404	32,7	0	0	0	0	1
19	15	9,3	6,7	8,244	3,397	0,915	12,56	0	0	0	0	1
20	38	19,5	17,0	143,0	21,29	1,373	165,6	0	0	0	0	1
21	53	22,6	24,0	184,9	14,86	4,314	204,1	0	0	0	0	1
22	15	8,6	6,6	7,205	2,236	0,383	9,824	0	0	0	0	1
23	48	17,8	19,0	103,0	36,69	3,822	143,5	0	0	0	0	1
24	59	26,0	34,5	467,9	76,12	7,247	551,3	0	0	0	0	1
25	45	11,2	13,8	37,8	7,256	0,676	45,71	0	0	0	0	1
26	31	10,5	12,1	27,4	2,766	0,370	30,53	0	0	0	0	1
28	25	11,6	7,7	11,62	1,195	0,238	13,05	0	0	0	0	1
29	11	6,8	4,0	2,528	0,149	0,129	2,806	0	0	0	0	1
30	53	22,2	19,7	161,3	9,709	1,441	172,5	0	0	0	0	1
31	25	11,5	9,0	19,6	1,413	0,178	21,2	0	0	0	0	1
32	25	8,5	7,1	9,140	1,590	0,374	11,104	0	0	0	0	1
33	18	8,9	5,7	6,931	1,063	0,150	8,144	0	0	0	0	1
34	10	3,3	2,0	0,433	0,202	0,081	0,716	0	0	0	0	1
35	14	8,1	5,3	4,557	1,333	0,261	6,151	0	0	0	0	1
36	55	22,8	15,7	127,6	12,3	1,951	141,8	0	0	0	0	1
37	23	11,8	8,2	16,6	2,1	0,292	19,0	0	0	0	0	1
38	75	25,0	27,0	296,8	44,3	3,932	345,1	0	0	0	0	1
39	11	4,6	1,8	0,382	0,129	0,044	0,555	0	0	0	0	1
40	22	15,5	10,3	23,4	2,359	0,205	25,91	0	0	0	0	1
41	13	6,2	3,6	1,856	0,366	0,238	2,460	0	0	0	0	1
42	12	5,3	3,3	1,598	0,638	0,156	2,392	0	0	0	0	1
43	14	5,9	3,5	1,668	0,381	0,165	2,214	0	0	0	0	1
44	12	5,1	2,6	1,002	0,258	0,169	1,429	0	0	0	0	1
45	27	9,5	8,3	10,52	1,459	0,244	12,22	0	0	0	0	1
46	49	22,2	17,6	132,6	11,87	2,567	147,0	0	0	0	0	1
47	55	21,3	14,9	79,36	7,168	0,934	87,46	0	0	0	0	1
48	18	12,3	7,0	8,333	0,843	0,294	9,470	0	0	0	0	1
49	82	24,9	31,0	360,6	31,881	5,885	398,3	0	0	0	0	1

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
50	27	11,9	11,0	26,98	8,094	0,910	35,98	0	0	0	0	1
51	67	22,5	20,0	182,9	14,61	2,232	199,8	0	0	0	0	1
52	58	23,1	18,1	119,1	10,48	0,731	130,3	0	0	0	0	1
53	11	7,3	4,5	4,989	1,120	0,179	6,288	0	0	0	0	1
54	65	24,3	22,3	169,5	26,10	0,969	196,6	0	0	0	0	1
55	92	24,1	31,0	344,7	42,42	1,964	389,1	0	0	0	0	1
56	54	22,7	22,3	190,6	20,93	1,400	212,9	0	0	0	0	1
57	46	21,5	14,7	91,5	5,310	0,740	97,52	0	0	0	0	1
58	39	15,0	10,0	28,80	2,359	0,866	32,03	0	0	0	0	1
59	53	26,4	24,0	261,3	31,90	4,235	297,4	0	0	0	0	1
60	15	6,4	5,1	3,381	0,261	0,057	3,699	0	0	0	0	1
61	57	23,5	17,5	156,2	8,419	0,910	165,5	0	0	0	0	1
62	12	5,8	2,1	0,899	0,139	0,051	1,089	0	0	0	0	1
63	56	23,9	18,5	161,7	9,770	3,069	174,5	0	0	0	0	1
64	49	23,2	21,2	178,1	14,2	4,675	197,0	0	0	0	0	1
65	35	20,8	13,4	60,5	2,260	0,677	63,5	0	0	0	0	1
66	56	19,4	12,5	70,8	4,021	0,732	75,60	0	0	0	0	1
67	49	19,3	14,5	73,8	6,326	2,650	82,74	0	0	0	0	1
68	25	10,2	4,7	6,418	0,636	0,157	7,211	0	0	0	0	1
69	26	10,4	6,7	9,358	1,075	0,246	10,68	0	0	0	0	1
70	29	14,0	9,9	25,0	3,357	0,725	29,1	0	0	0	0	1
71	30	15,1	11,3	39,4	3,249	2,118	44,80	0	0	0	0	1
72	34	17,3	14,6	55,7	4,957	1,090	61,8	0	0	0	0	1
73	31	18,8	16,5	85,08	8,719	3,026	96,83	0	0	0	0	1
74	5	2,2	0,7	0,059	0,009	0,012	0,080	0	0	0	0	1
75	5	2,4	1,1	0,132	0,048	0,040	0,220	0	0	0	0	1
76	4	3,0	1,2	0,239	0,044	0,065	0,348	0	0	0	0	1
77	7	3,6	2,3	0,735	0,122	0,146	1,003	0	0	0	0	1
78	6	3,6	2,4	0,665	0,141	0,187	0,993	0	0	0	0	1
79	5	3,1	2,0	0,412	0,148	0,116	0,676	0	0	0	0	1

Продолжение прил. 7

№ п/п	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Pst</i>	<i>Pbr</i>	<i>Pf</i>	<i>Pa</i>	X1	X2	X3	X4	X5
80	5	2,0	1,3	0,126	0,036	0,058	0,220	0	0	0	0	1
81	5	3,1	1,8	0,371	0,109	0,114	0,594	0	0	0	0	1
82	6	3,0	2,3	0,665	0,168	0,145	0,978	0	0	0	0	1
83	38	11,8	8,7	17,08	1,463	0,521	19,06	0	0	0	0	1
Всего: 653 модельных дерева.												
Всего по двум породам 1488 модельных деревьев.												

* *A* – возраст дерева, лет; *D* – диаметр ствола на высоте груди, см; *H* – высота дерева, м; *Pst* – фитомасса ствола, кг; *Pbr* – фитомасса ветвей дерева, кг; *Pf* – фитомасса хвои (листвы) дерева, кг; *Pa* – общая надземная фитомасса, кг.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ	7
1.1. Общие неопределенности	7
1.2. Краткая история изучения биологической продуктивности лесов и его актуальность в современном мире	9
1.3. Основы регрессионного моделирования фитомассы деревьев и древостоев	22
1.3.1. Общие положения	22
1.3.2. Аллометрические уравнения фитомассы и возможности их унификации	26
1.3.2.1. Выбор структуры модели фитомассы	28
1.3.2.2. Проблема применения аллометрической модели и возможности ее унификации ..	33
1.3.2.3. Фрактальная модель Г. Веста	43
1.3.2.4. Зависимость ошибки аллометрической модели фитомассы дерева от уровня обобщения исходных данных (на примере сосны обыкновенной)	53
1.3.3. Физиологически обусловленные дендрометрические методы оценки биопро- дуктивности деревьев в условиях атмосферного загрязнения	59
1.4. Техногенное загрязнение окружающей среды и лесные экосистемы	68
1.4.1. Некоторые экологические аспекты техногенного загрязнения среды	68
1.4.2. Дендрометрические методы оценки влияния загрязнений на древостои	73
1.4.3. Зависимости «доза-эффект»	84
1.5. Изменение биологической продуктивности насаждений в градиентах аэрозагрязнений: методический анализ	87
1.6. Методы и результаты оценки квалитетических показателей фитомассы деревьев ...	95
Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	100
2.1. Билимбасовское лесничество Свердловской области	101
2.2. Нижнесергинское лесничество Свердловской области	108
2.3. Кыштымское лесничество Челябинской области	109
Глава 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ, ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ	123
3.1. Выбор и обоснование метода исследований	123
3.2. Объекты исследований	124
3.3. Методика полевых работ при закладке пробных площадей	127
3.4. Объем выполненных работ	134
Глава 4. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ В ГРАДИЕНТАХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ: АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И СОСТАВЛЕНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ТАБЛИЦ	136
4.1. Расчет и сравнительный анализ аллометрических уравнений фитомассы деревьев ели и пихты в градиенте загрязнений от СУМЗ. Составление таксационных таблиц	136
4.2. Расчет аллометрических уравнений фитомассы деревьев сосны и березы в градиенте загрязнений от КМК. Составление таксационных таблиц	144
4.2.1. Сосновые насаждения	144
4.2.2. Березовые насаждения	148
4.3. О фитомассе генеративных органов сосны и березы	151
4.4. Сравнительный анализ аллометрических уравнений фитомассы деревьев сосны и березы вблизи КМК и в «чистых» регионах	155
4.5. Изменение продуктивности ассимиляционного аппарата деревьев в градиентах загрязнений от металлургических заводов Урала	159
Глава 5. СТРУКТУРА ЧПП ДЕРЕВЬЕВ В ГРАДИЕНТАХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ: АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И СОСТАВЛЕНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ТАБЛИЦ	165
5.1. Расчет и сравнительный анализ аллометрических уравнений ЧПП деревьев ели и пихты в градиенте загрязнений от СУМЗ и составление таблиц	165
5.2. Расчет аллометрических уравнений ЧПП деревьев сосны обыкновенной в градиенте загрязнений от КМК и составление таблиц	167

5.3. Расчет аллометрических уравнений ЧПП деревьев березы в градиенте загрязнений от КМК и составление таблиц	171
Глава 6. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ НАСАЖДЕНИЙ И АНАЛИЗ ЕЕ СВЯЗИ С РАССТОЯНИЕМ ОТ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАЛА	173
6.1. Елово-пихтовые насаждения в градиенте загрязнений от СУМЗ	173
6.2. Фракционная структура фитомассы естественных ельников и пихтарников средней тайги Урала в условиях фонового загрязнения	179
6.3. Сосновые насаждения в градиенте загрязнений от КМК	182
6.4. Березовые насаждения в градиенте загрязнений от КМК	187
Глава 7. СТРУКТУРА ЧПП НАСАЖДЕНИЙ И АНАЛИЗ ЕЕ СВЯЗИ С РАССТОЯНИЕМ ОТ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАЛА	193
7.1. Елово-пихтовые насаждения в градиенте загрязнений от СУМЗ	193
7.2. Сосновые насаждения в градиенте загрязнений от КМК	198
7.3. Березовые насаждения в градиенте загрязнений от КМК	202
Глава 8. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ И ЧПП НИЖНЕГО ЛЕСНОГО ЯРУСА ВБЛИЗИ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ЗАВОДОВ УРАЛА	208
8.1. Елово-пихтовые насаждения в градиенте загрязнений от СУМЗ	208
8.2. Сосновые насаждения в градиенте загрязнений от КМК	211
8.3. Березовые насаждения в градиенте загрязнений от КМК	213
Глава 9. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ И ЧПП ДРЕВОСТОЕВ В ГРАДИЕНТАХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ: ЗАВИСИМОСТИ «ДОЗА–ЭФФЕКТ»	216
9.1. Елово-пихтовые насаждения в градиенте загрязнений от СУМЗ	217
9.2. Березовые насаждения в градиенте загрязнений от КМК	220
Глава 10. ПЛОТНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ СУХОГО ВЕЩЕСТВА В ФИТОМАССЕ ДЕРЕВЬЕВ В ГРАДИЕНТАХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ	223
10.1. Регрессионные модели и таблицы для оценки квалиметрических показателей фитомассы деревьев ели и пихты в градиенте загрязнений от СУМЗ	223
10.2. Регрессионные модели и таблицы для оценки квалиметрических показателей фитомассы деревьев сосны в градиенте загрязнений от КМК	228
10.3. Регрессионные модели и таблицы для оценки квалиметрических показателей фитомассы деревьев березы в градиенте загрязнений от КМК	230
ВЫВОДЫ	234
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	237
ПРИЛОЖЕНИЯ	269
Приложение 1	271
Приложение 2	275
Приложение 3	290
Приложение 4	301
Приложение 5	309
Приложение 6	315
Приложение 7	316