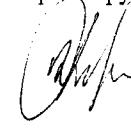


A
Электронный архив УГЛТУ
K84

4-1731

На правах рукописи



Крудышев Владимир Валерьевич

**Структура и географические закономерности
распределения фитомассы кедровых сосен в Азии**

06.03.02 - лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Екатеринбург – 2013

Электронный архив УГЛТУ

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор Усольцев Владимир Андреевич;

Официальные оппоненты: Аткина Людмила Ивановна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», кафедра ландшафтного строительства, заведующая;

Галако Вадим Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБУ науки «Ботанический сад» УрО РАН, лаборатория экспериментальной экологии и акклиматизации растений, старший научный сотрудник;

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет», г. Барнаул

Защита состоится 12 апреля 2013 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

Автореферат разослан 6 марта 2013 г.



Маг

Магасумова Альфия Гаптуафовна

Ученый секретарь
диссертационного
совета

ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В основе функционирования биосферы лежит производство и потребление органического вещества, и жизнь человека и всех гетеротрофных организмов зависит от биологической продуктивности биосферы. По мнению П. Дювино и М. Танга (1968), "леса представляют собой наиболее надежный источник пропитания все возрастающего населения" (с. 110). Биологическая продуктивность является также одной из специфических характеристик древесной породы, и ее оценка составляет приоритетную задачу лесоведения. Для обоснования актуальности постановки проблемы исследования представляется ключевым утверждение Д. М. Будвелла и Р. Э. Хафтона (1997): «Самая большая неопределенность существует в отношении запасов углерода на суше, особенно в северных лесах и их почвах» (с. 40). Изучение биологической продуктивности и угледородепонирующей способности лесов в географическом аспекте является одним из наиболее приоритетных направлений. Реализации подобной задачи на примере кедровых сосен, произрастающих на азиатском материке, посвящено настоящее исследование. Оно выполнялось в 2009-2013 гг. (грант РФФИ № 09-05-00508).

Степень разработанности темы исследования. Диссертация является законченным научным исследованием.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы - изучение структуры фитомассы кедровых сосен на двух уровнях – локальном и глобальном. В первом случае исследуется фракционная структура фитомассы деревьев и древостоев естественных кедровников в условиях темнохвойной средней тайги Урала, а во втором - на основе сформированной базы данных о фитомассе кедровых сосен – кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour), корейского (*P. koraiensis* S. et Z.) и кедрового стланика (*P. pumila* (Pall.) Regel) в Азии - разрабатывается система регрессионных моделей и устанавливаются географические закономерности распределения фитомассы названных древесных пород.

В связи с поставленной целью конкретными задачами исследования были:

- изучить особенности фракционной структуры надземной фитомассы деревьев кедра сибирского и других пород (кг) в условиях темнохвойной средней тайги Урала и составить справочно-нормативные таблицы для ее оценки;
- определить фракционную структуру надземной фитомассы (т/га) темнохвойных насаждений с преобладанием или участием кедра сибирского в условиях средней тайги Урала;
- сформировать базу данных о фитомассе (т/га) кедров сибирского, корейского и кедрового стланика, произрастающих на азиатской территории.

рии России, на юге Корейского полуострова, Японских островах и северо-востоке Китая;

- исследовать межвидовые различия в структуре фитомассы (т/га) кедров сибирского и корейского;
- построить систему многофакторных регрессионных моделей, отражающих взаимосвязь фракционной структуры фитомассы кедров сибирского и корейского, а также кедрового стланика (т/га) с морфоструктурой древостоев на территории Азии;
- по материалам сформированной базы данных составить таблицы возрастной динамики фитомассы (т/га) кедровых сосен на территории Азии;
- исследовать географические закономерности распределения фитомассы кедров сибирского и корейского, а также кедрового стланика (т/га) на территории Азии;
- составить таблицы биологической продуктивности (ТБП) насаждений кедровых сосен, совмещенные с традиционными таблицами хода роста (TXP) древостоев, и проанализировать ее географию.

Научная новизна. Впервые изучены особенности структуры надземной фитомассы деревьев и древостоев темнохвойной тайги Урала с преобладанием или участием кедра сибирского. Собрана наиболее полная коллекция экспериментальных данных о фитомассе насаждений кедровых сосен, существенно превышающая объем известных сводок подобных данных. Это позволило впервые для кедровых сосен разработать систему региональных моделей динамики фитомассы и проанализировать на их основе географические закономерности распределения ее показателей: а) полученных непосредственно по материалам пробных площадей и б) взятых из составленных таблиц биопродуктивности, совмещенных с традиционными TXP.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке нормативных материалов, необходимых при реализации систем лесоводственных мероприятий, направленных на повышение продуктивности и комплексное освоение кедровых лесов в Азии. Результаты работы могут быть использованы при разработке лесного кадастра, осуществлении лесного мониторинга и экологических программ разного уровня, а также при расчетах углеродного бюджета лесных экосистем Азии.

Методология и методы исследования. В основу исследования положен метод пробных площадей и модельных деревьев. Пробные площади заложены с учетом ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки». Для определения фитомассы деревьев и древостоев взяты модельные деревья. После рубки измерялись длина дерева, 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. На относительных высотах 20, 50 и 80% от общей высоты дерева у дисков опреде-

лена масса с точностью до 0,1 г и объем древесины и коры. Определена плотность каждой фракции в свежем состоянии, а также термовесовым способом – содержание сухого вещества (CCB).

Фитомасса крон и их структурных частей определялась после деления крон на три одинаковые по длине секции. После взвешивания каждой секции кроны с точностью до 50 г производилось деление их на охвоенные и неохвоенные ветви. Из охвоенной части каждой секции отбиралась проба (около 1 кг) для установления соотношения хвои и скелетной части. Хвоя отделялась от ветвей и взвешивалась масса тех и других компонентов с точностью до 1 г. Взяты навески хвои и скелета ветвей для определения CCB термовесовым методом (Усольцев, 2007). По полученным значениям рассчитывали абсолютно сухую массу хвои и ветвей дерева.

Положения, выносимые на защиту:

- закономерности изменения квадратиметрических и количественных показателей фитомассы деревьев кедра сибирского, ели сибирской, пихты сибирской, сосны обыкновенной и березы пушистой по определяющим показателям;
- таблицы для оценки квадратиметрических и количественных показателей фитомассы деревьев кедра сибирского, ели сибирской, пихты сибирской, сосны обыкновенной и березы пушистой по определяющим показателям;
- система многофакторных регрессионных моделей, отражающих взаимосвязь фракционной структуры фитомассы кедров сибирского и корейского, а также кедрового стланика с морфоструктурой древостоев на территории Азии;
- географические закономерности распределения фитомассы кедров сибирского и корейского, а также кедрового стланика (т/га) на территории Азии;
- таблицы биологической продуктивности насаждений кедровых сосен, совмещенные с традиционными TXP древостоев, и их география.

Степень достоверности и апробация результатов. Использование обширного экспериментального материала и современных методов статистического анализа, системный подход при содержательном анализе и интерпретации полученных результатов, реализация поставленных задач на уровне многофакторных регрессионных моделей определяют обоснованность приведенных в диссертации выводов и предложений.

Все виды работ по теме диссертации от сбора экспериментального материала до обработки и анализа полученных результатов выполнены автором или при его участии.

Основные результаты исследований доложены на международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы лесного комплекса» (Брянск, 2011); II научно-технической конференции с международным участием «Математическое моделирование в экологии» (Пущино, 2011); международном научно-практическом семинаре «Лесные экосистемы

станционный мониторинг» (Йошкар-Ола, 2011); международной конференции «Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах boreальной зоны» (Сыктывкар, 2011); VIII и IX всероссийских научно-технических конференциях студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России» (Екатеринбург, 2012, 2013); международной научно-практической конференции «Актуальные научные вопросы: реальность и перспективы» (Тамбов, 2012); IX международной научно-технической конференции «Лесные технопарки – дорожная карта инновационного лесного комплекса: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса» (Екатеринбург, 2013).

Основное содержание диссертации изложено в 15 печатных работах, в том числе 3 опубликованы в рецензируемых журналах (список ВАК).

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 185 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения и 6 приложений. Список использованной литературы включает 297 наименований, в том числе 50 иностранных. Текст иллюстрирован 28 таблицами и 47 рисунками.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Дано описание биологических особенностей, экологии и географических аспектов продуктивности насаждений кедровых сосен (Кеппен, 1885; Литвинов, 1913; Нат, 1915; Городков, 1916; Барышевцев, 1917; Сочава, 1927; Самбуц, 1932; Овсянников, 1934; Сукачев, 1938; Дылпис, 1946; Тихомиров, 1949; Петров, 1949; Ткаченко, 1955; Григорьев, Будыко, 1956; Горчаковский, 1956; Васильев, 1964; Луганский, 1964; Базилевич, Родин, 1967; Назимова и др., 1969; Семечкин, 1971; Мишуков, 1971; Некрасова, 1971; Котляров, 1973; Курнаев, 1973; Непомилуева, 1974; Моложников, 1975; Кирсанов, 1975; Бобров, 1978; Таланцев и др., 1978; Крылов и др., 1983; Ирошиников, 1985; Воробьев, 1983; Игнатенко, 1988; Смолоногов, 1990; Назимова, 1995; Усольцев, 1998; Уткин и др., 2001; Смолоногов, Залесов, 2002; Матвеева и др., 2003; Бех и др., 2004; Титов, 2007).

ГЛАВА 2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА И ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено в темнохвойных насаждениях на территории Новолялинского лесничества Свердловской области, которые отнесены к Западно-Сибирской равнинной лесной области (С), Зауральской холмисто-предгорной провинции (VI), среднетаежному округу (б) (Колесников и др., 1973). В диссертации рассмотрены природные условия и растительный покров. Кедр сибирский на Среднем Урале встречается во всех типах темнохвойных лесов, и кедровники составляют в лесопокрытой

тельный покров. Кедр сибирский на Среднем Урале встречается во всех типах темнохвойных лесов, и кедровники составляют в лесопокрытой площасти лесничества около 6% (Ильин, 1936; Игошина, 1943, 1961; Горчаковский, 1958, 1961; Колесников, 1969; Проект организации..., 1989).

На заложенных 14 пробных площадях в естественных кедровниках в возрасте от 70 до 118 лет (таблица 1) взято более 70 модельных деревьев (14-15 модельных деревьев по каждой породе, участвующей в составе древостоя). Из крон модельных деревьев взято 248 навесок, в том числе 44 – кедра сибирского, 52 – ели, 50 – пихты, 60 – сосны и 42 – березы. Общее количество выпилов из стволов модельных деревьев – 295, в том числе кедра сибирского – 33, ели – 50, пихты – 50, сосны – 75 и березы – 87.

С целью исследования межвидовых и региональных (географических) особенностей распределения фитомассы кедровых сосен в пределах их ареалов нами сформирована база данных из 194 определений фракционного состава фитомассы насаждений. В нее включены наши 14 пробных площадей, а также взятые из 60 литературных источников данные 98 пробных площадей, заложенных в древостоях кедра сибирского (Урал, Западная Сибирь, Средняя Сибирь, Алтай и Забайкалье), 47 пробных площадей, заложенных в древостоях кедра корейского (Дальний Восток России, Северо-Восточный Китай и Южная Корея) и 35 пробных площадей для кедрового стланика (Дальний Восток, Забайкалье и Япония). В базу данных включены показатели фитомассы не только древостоя, но и нижнего яруса как совокупности подлеска, подроста и напочвенного покрова.

ГЛАВА 3. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД В ТЕМНОХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ СРЕДНЕГО УРАЛА С УЧАСТИЕМ КЕДРА СИБИРСКОГО: АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И СОСТАВЛЕНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ТАБЛИЦ

Квадиметрические показатели деревьев (CCB и плотность в свежем состоянии), рассчитанные путем обмеров, взвешивания и сушки образцов фитомассы основных фракций деревьев кедра сибирского, ели, пихты, сосны и березы, характеризуется определенной изменчивостью. Для CCB фракций кроны она в большинстве случаев объясняется ценотическим положением дерева в пологе древостоя и описывается зависимостью от диаметра ствола. CCB и плотность древесины и коры ствола зависят не только от диаметра ствола, но от относительной высоты сечения ствола, выраженной в долях от общей высоты дерева H . Для их оценки по каждой породе составлены двухходовые таблицы. Для предварительных расчетов получены средние значения названных показателей.

Регрессионным анализом наших фактических данных фитомассы (кг) деревьев кедра сибирского, ели, пихты, сосны и березы установлено,

Таксационные показатели и фитомассы кедровников, полученные на пробных площадях*

| № | Породный состав | A, лет | Б** | N, тыс. экз/га | D, см | H, м | M, м ³ /га | Фитомасса P _i , т/га | | | |
|----|-----------------|--------|-----|----------------|-------|------|-----------------------|---------------------------------|----------------|----------------|-------|
| | | | | | | | | P _S | P _B | P _F | Всего |
| 1 | 3К2С2П2Б1Ос | 70 | IV | 0,558 | 16,5 | 12,9 | 107 | 47,0 | 5,95 | 2,66 | 55,6 |
| 2 | 7К2П1Б+Е | 107 | III | 1,471 | 20,4 | 21,2 | 567 | 195,0 | 22,6 | 11,5 | 229,1 |
| 3 | 6К3П1Б+С+Е | 118 | III | 0,916 | 20,3 | 24,4 | 313 | 111,1 | 14,9 | 8,23 | 134,2 |
| 4 | 8К1П1С+Е+Б | 90 | III | 1,121 | 22,2 | 17,7 | 430 | 151,5 | 16,8 | 9,05 | 177,4 |
| 5 | 6К2П1С1Б+Е | 99 | III | 0,282 | 42,7 | 20,2 | 473 | 170,6 | 19,5 | 9,43 | 199,5 |
| 6 | 6К2С2Б+П | 82 | IV | 1,257 | 18,0 | 15,8 | 297 | 174,1 | 25,0 | 14,3 | 213,4 |
| 7 | 8К2Б+П | 87 | IV | 0,678 | 20,0 | 16,9 | 243 | 87,5 | 9,67 | 4,61 | 101,8 |
| 8 | 7К2П1Б+С+Е | 103 | III | 1,045 | 20,6 | 21,1 | 400 | 141,5 | 16,3 | 8,30 | 166,1 |
| 9 | 6К2П1С1Ос | 109 | I | 0,875 | 24,0 | 29,6 | 482 | 165,8 | 19,3 | 10,1 | 195,2 |
| 10 | 7К2П1Б+Ес | 93 | III | 1,483 | 19,4 | 21,3 | 548 | 188,1 | 20,9 | 9,89 | 218,9 |
| 11 | 6К2П2Б+Е | 103 | II | 0,967 | 22,3 | 23,3 | 449 | 165,1 | 19,8 | 8,87 | 193,7 |
| 12 | 5К3Б2П+Е | 87 | III | 1,083 | 21,6 | 17,7 | 478 | 179,2 | 22,3 | 9,74 | 211,2 |
| 13 | 8К1П1Б+Е | 101 | IV | 1,358 | 18,5 | 16,8 | 506 | 164,4 | 17,0 | 7,90 | 189,3 |
| 14 | 7К2П1Б+Е+С | 90 | III | 1,258 | 18,6 | 19,8 | 394 | 139,7 | 15,8 | 7,85 | 163,3 |

*Здесь и далее: A, N, D, H и M – соответственно возраст, густота, средний диаметр, средняя высота и запас стволовой древесины; P_S, P_B, P_F – масса стволов, ветвей, хвои; **Б – класс бонитета.

Для выявления межвидовых различий в фитомассе кедров сибирского и корейского мы модифицировали уравнение (2) путем введения бинарной переменной X, представляющей простейшую модификацию фиктивной переменной (Дрейпер, Смит, 1973):

$$\ln(P_i/M) = f(\ln A, \ln H, \ln D, \ln N, X). \quad (3)$$

В уравнении (3) бинарная переменная X = 0 для кедра сибирского и X=1 – для кедра корейского; R² варьирует от 0,70 до 0,91. Их константы здесь и далее значимы на уровне t_{0,05} и выше. Реализован рекурсивный принцип, согласно которому уравнение (3) совмещается с возрастными трендами маскообразующих показателей и запаса древостоя:

$$\begin{aligned} \ln H &= f(\ln A, X) \rightarrow \ln D = f(\ln A, \ln H, X) \rightarrow \ln N = f(\ln A, \ln H, \ln D, X) \rightarrow \\ &\rightarrow \ln M = f(\ln H, \ln D, \ln N, X), \end{aligned} \quad (4)$$

в которых R² превышал 0,95, за исключением уравнения для N (0,47). Рекурсивный принцип и блоковые фиктивные переменные обеспечили последовательное накопление региональных различий в возрастной динамике маскообразующих показателей и запасов стволовой древесины по цепочке взаимозависимых уравнений. Путем табулирования уравнений (4) и затем – (3) составлена таблица возрастной динамики морфометрических показателей и фитомассы кедров сибирского и корейского. Установлено, что различие показателей как надземной, так и общей фитомассы древостоев кедров сибирского и корейского, полученной на пробных площадях

что основная доля ее изменчивости объясняется линейным размером дерева – диаметром на высоте груди, и рассчитаны аллометрические уравнения

$$\ln P_i = a_0 + a_1 \ln D, \quad (1)$$

где Pi – масса i-ой фракции (хвоя или листва, ветви, ствол) в абсолютно сухом состоянии, кг; D – диаметр ствола на высоте груди, см. Коэффициенты детерминации в уравнениях (1) во всех случаях превышают 90%, за исключением массы кроны кедра (около 70%). На основе уравнений (1) составлена справочно-нормативная таблица, которую можно использовать при оценке фитомассы древостоев в темнохвойных лесах Урала с предварительным перечетом деревьев по степеням толщины.

ГЛАВА 4. СТРУКТУРА И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОМАССЫ НАСАЖДЕНИЙ КЕДРОВ СИБИРСКОГО И КОРЕЙСКОГО

Структура надземной фитомассы древостоев кедра сибирского на Среднем Урале. По рассчитанным уравнениям (1) и данным перечета деревьев по породному составу и степеням толщины получены фактические значения надземной фитомассы кедровников на пробных площадях Новолялинского лесничества (таблица). Установлено, что в Новолялинском лесничестве в приспевающих и спелых древостоях с преобладанием кедра сибирского в возрастном диапазоне от 70 до 118 лет продукционные показатели находятся в довольно широких пределах: запасы стволовой древесины 107-567 м³/га, масса хвои и листвы 2,7-14,3, ветвей 6-25, стволов 47-195 и вся надземная 56-229 т/га. Доля хвои и листвы в надземной фитомассе древостоев изменяется в пределах от 4,2 до 6,7%, а доля стволов – от 82 до 87%.

Исследование межвидовых различий в структуре фитомассы древостоев кедров сибирского и корейского. Поскольку кедры сибирский и корейский, с одной стороны, близки по своей морфоструктуре, а с другой – произрастают в разных природных зонах и имеют отдельные, взаимно не перекрывающиеся ареалы, мы поставили задачу выяснить, есть ли различия в структуре фитомассы кедров сибирского и корейского, экспериментально оцененной на заложенных пробных площадях. Для этого использована сформированная нами база данных.

Учитывая, что совокупность показателей биопродуктивности в пределах региона сильно варьирует в связи с различиями возраста, добротности произрастания и морфологии полога, для обеспечения корректности сопоставлений анализируются не обезличенные совокупности наблюдений, а многофакторные уравнения, объясняющие изменчивость переводных коэффициентов фитомассы (P_i/M) в пределах региона посредством включенных в них переменных:

$$\ln(P_i/M) = f(\ln A, \ln H, \ln D, \ln N). \quad (2)$$

Электронный архив УГЛТУ

в пределах их ареалов, статистически не достоверно, но в соотношениях ее фракций расхождения между двумя породами существенные.

Изменение фитомассы древостоев кедров сибирского и корейского по зональному и провинциальному градиентам. Хотя по общим совокупностям данных о фитомассе кедров сибирского и корейского достоверного различия по общей фитомассе не выявлено, мы попытались выяснить, будут ли иметь место различия, если данные по обеим породам стратифицировать в географическом аспекте. Экспериментальные данные после нанесения на схему зонально-провинциального деления территории Азии нами распределены по 8 экорегионам, закодированным соответствующими блоковыми фиктивными переменными (таблица 2). Каждый блок переменных (X_0, \dots, X_7), представляет группу пробных площадей, приходящуюся на данный экорегион.

Таблица 2

Схема кодирования блоковыми переменными региональных массивов данных о фитомассе кедров сибирского и корейского

| Экорегион* | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| УРср (<i>Pinus sibirica</i>) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ЗСюж (<i>P. sibirica</i>) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ССср (<i>P. sibirica</i>) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| АСюж (<i>P. sibirica</i>) | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ЗБюж (<i>P. sibirica</i>) | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| ДВхш (<i>P. koraiensis</i>) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Кит (<i>P. koraiensis</i>) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| ЮК (<i>P. koraiensis</i>) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

*Обозначения экорегионов в таблице 2: УРср – Уральская провинция, средняя тайга; ЗСюж – Западно-Сибирская равнинная провинция, южная тайга; ССср – Среднесибирская плоскогорная провинция, средняя тайга; АСюж – Алтай-Саянская горная провинция, южная тайга; ЗБюж – Забайкальская провинция, южная тайга; ДВхш – Дальний Восток, хвойно-широколиственные леса; Кит – Северо-Восточный Китай; ЮК – Южная Корея.

Выделенные регионы, закодированные блоковыми фиктивными переменными X_0, \dots, X_7 (Дрейпер, Смит, 1973), включены в уравнения (2) с целью установления степени отличия показателей фитомассы каждого региона от базового, соответствующего насаждениям кедра сибирского подзоны средней тайги на Урале:

$$\ln(P_i/M) = f(X_0, \dots, X_7, \ln A, \ln H, \ln D, \ln N). \quad (5)$$

Полученная расчетом характеристика уравнений (5) подтверждает их достаточную адекватность фактическим данным ($R^2 = 0,82-0,89$). Уравнения (5), как и полученные выше (3), «работают» по принципу “Что будет, если...?” и обеспечивают сопоставимость фракционного состава фитомассы разных регионов, если в эти уравнения подставить соответствующие характеристики насаждений: A , H , D , N и M , определяемые рекурсивной цепочкой взаимозависимых уравнений:

10

$$\begin{aligned} \ln H &= f(X_0, \dots, X_7, \ln A, (\ln A)^2) \rightarrow \ln D = f(X_0, \dots, X_7, \ln A, \ln H) \rightarrow \\ &\rightarrow \ln N = f(X_0, \dots, X_7, \ln A, \ln H, \ln D) \rightarrow \ln M = f(X_0, \dots, X_7, \ln H, \ln D, \ln N). \quad (6) \end{aligned}$$

Последовательным табулированием систем уравнений (6) и (5) по задаваемым значениям возраста получены возрастные тренды всех массообразующих показателей и запасов фитомассы кедровников по каждому экорегиону. Анализ фитомассы кедровников подтверждает наличие профиля продуктивности по зональному градиенту. Запасы фитомассы кедров сибирского и корейского в возрасте 100 лет закономерно возрастают в направлении от Сибири до Корейского полуострова, составляя в средней тайге 78, в южной тайге Западной Сибири и Забайкалья 110-176, в хвойно-широколиственных лесах Приморья 137-197 и в широколиственных лесах Южной Кореи 537 т/га. По провинциальному градиенту (в направлении с запада на восток) названный показатель последовательно снижается от 207 т/га на Урале до 78 т/га в Средней Сибири, а затем возрастает с 110 т/га в Забайкалье до 137 т/га в Приморье.

Путем наложения расчетных данных фитомассы кедровников с известными координатами на схемы изоконт (по А.А. Борисову, 1967) и изотерм (Tuhkanen, 1984) составлена двухходовая таблица, в которой входами служат значения индекса континентальности климата (IC) и среднемесячной суммы эффективных температур (T), и по данным этой таблицы рассчитаны уравнения

$$\ln P_{abo} = 6,704 - 1,791(\ln IC) + 1,453(\ln T), R^2 = 0,684; SE = 0,46; \quad (7)$$

$$\ln P_{tot} = 10,574 - 2,259(\ln IC) + 1,028(\ln T), R^2 = 0,761; SE = 0,34; \quad (8)$$

где P_{abo} и P_{tot} – расчетные значения соответственно надземной и общей фитомассы кедровников в возрасте 100 лет, т/га. Установлена статистически достоверная закономерность снижения фитомассы кедровников в направлении с юга на север (зональный градиент) и от Урала и тихоокеанского побережья – к полюсу континентальности в центре Сибири (провинциальный градиент). Отношение подземной фитомассы к общей существенно снижается по мере увеличения индекса континентальности от 50 до 90%: например, при $T = 50^\circ\text{C}$ названное отношение изменяется с 26 до 16%.

Географические закономерности распределения фитомассы насаждений кедрового стланика. Исследование региональных различий фитомассы кедрового стланика выполнено на основе сформированной для этого базы данных, включающей 35 определений, в том числе 12 – для северной тайги Дальнего Востока, 9 – для южной тайги в подгольцовом поясе Забайкалья и 14 – для хвойно-широколиственных лесов в подгольцовом поясе Японии. Для выявления региональных различий фитомассы кедрового стланика упомянутые три региона закодированы блоковыми фиктивными переменными (X_1, X_2) и рассчитаны уравнения

$$\ln P_i = f(X_1, X_2, \ln H, \ln M), \quad (9)$$

где H – средняя высота, м; M – запас стволовой древесины, $\text{m}^3/\text{га}$. Уравнения (9) объясняют от 92 до 99,9% изменчивости надземной и подземной фито-

массы кедровостлаников и 79% изменчивости фитомассы нижнего яруса. Уравнение (9) совмещено с возрастными трендами средней высоты и запаса стволовой древесины кедровостлаников согласно уравнений (10):

$$\ln H = f(X_1, X_2, \ln A) \rightarrow \ln M = f(X_1, X_2, \ln A, \ln H). \quad (10)$$

Последовательным табулированием рекурсивных систем уравнений (10) и (9) по задаваемым значениям возраста кедрового стланика получены возрастные тренды показателей фитомассы по каждому региону. Запасы общей фитомассы закономерно возрастают по зональному градиенту в последовательности: северная тайга Дальнего Востока, южная тайга Забайкалья, субтропики Японии, составляя соответственно 32, 38 и 145 т/га.

Поскольку определение возраста кедровостланика, как уже упоминалось, связано с некоторыми трудностями, рассчитано упрощенное вспомогательное уравнение, в котором возраст стланика не участвует в качестве независимой переменной:

$$\ln M = 3,1192 - 0,1875 X_1 + 1,4447 X_2 + 1,1826 \ln H; \quad R^2 = 0,633; SE = 0,56. \quad (11)$$

Табулированием уравнений (11) и (9) по задаваемым значениям средней высоты кедрового стланика составлены справочно-нормативные таблицы для каждого из трех экорегионов.

ГЛАВА 5. ТАБЛИЦЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ НАСАЖДЕНИЙ КЕДРОВЫХ СОСЕН СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ И ИХ ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Составление таблиц биологической продуктивности насаждений кедровых сосен. При составлении пакета нормативов для оценки фитомассы кедровых сосен, или таблиц биологической продуктивности (ТБП) в азиатских ареалах их произрастания за основу взяты традиционные TXP древостоев, дополненные показателями фитомассы путем совмещения TXP с регрессионными моделями (2). Это совмещение выполнено путем табулирования моделей (2) по значениям A , H , D , N и M традиционных TXP при соответствующих значениях блоковых фиктивных переменных (см. таблицу 2). В результате получены 25 ТБП, которые подразделены на два уровня: сравнительно лучших (I) и сравнительно худших (II) условий произрастания.

Географические закономерности распределения нормативных показателей фитомассы кедровых сосен. Для географического анализа фитомассы кедровых сосен из полученных ТБП взяты показатели подземной (P_{root} т/га) и общей (P_{tot} т/га) фитомассы насаждений в возрасте 100 лет и проанализированы в связи со среднемесячными показателями суммы эффективных температур (T), снятыми со схемы изотерм (Tuhkanen, 1984) и с индексами континентальности климата (IC), снятыми со схемы изоконт (Борисов, 1967). Получены уравнения:

$$\begin{aligned} \ln P_{abo} &= 4,6334 - 1,2771(\ln IC) + 1,3057(\ln T) + 0,9809 X; R^2 = 0,637; SE = 0,38 \quad (12) \\ \ln P_{tot} &= 5,9004 - 1,6055(\ln IC) + 1,3883(\ln T) + 1,0631 X; R^2 = 0,659; SE = 0,37, \quad (13) \end{aligned}$$

где P_{abo} – надземная фитомасса как разность ($P_{tot} - P_{root}$); X – бинарная переменная, принятая равной 1 для древостоев лучших условий произрастания и равной 0 – для худших. Уравнения (12) и (13) действительны при IC от 50 до 80% и при T от 30 до 70°C.

В результате установлено, что нормативные (согласно ТБП) показатели надземной и общей фитомассы кедровых сосен в возрасте 100 лет по мере увеличения индекса континентальности (по Ценкеру) с 50 до 80% существенно снижаются. Это снижение составило как в лучших, так и в худших условиях произрастания по надземной фитомассе 45% и по общей 53%. Однако по абсолютному значению надземная и общая фитомасса (т/га) в худших условиях произрастания по сравнению с лучшими ниже соответственно на 62 и 65%. По мере снижения T с 70 до 30°C в направлении с юга на север происходит существенное снижение нормативных показателей надземной и общей фитомассы как в лучших, так и в худших условиях произрастания – в среднем на 70%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кедровники, составляющие в лесопокрытой площади Среднего Урала около 6%, представлены смешанными древостоями с участием ели, пихты, сосны и березы. Поэтому для определения их фитомассы (т/га) исследованы на уровне деревьев квадратиметрические и количественные показатели надземной фитомассы пяти лесообразующих древесных пород. Составлены справочно-нормативные таблицы для оценки плотности и содержания сухого вещества в фракциях фитомассы и для оценки фитомассы стволов, хвои (листвы) и ветвей по диаметру ствола дерева.

На их основе впервые на 14 пробных площадях выполнены определения структуры фитомассы произрастающих на Урале древостоев кедра сибирского с долей кедра в породном составе от 30 до 80%. Древостои представлены широким диапазоном лесорастительных условий в возрасте от 70 до 118 лет. Масса хвои (листвы) составила 2,7-14,3, ветвей 6-25, стволов 47-195 и вся надземная 56-229 т/га. Доля хвои (листвы) в надземной фитомассе древостоев изменяется в пределах от 4,2 до 6,7%, а доля стволов – от 82 до 87%.

Сравнительный анализ структуры фитомассы кедров сибирского и корейского, отраженной в сформированной базе данных из 159 определений и представленной в виде многофакторных зависимостей от основных массообразующих показателей древостоев, показал, что различие как надземной, так и общей фитомассы древостоев кедров сибирского и корейского, полученных на пробных площадях в пределах их ареалов, статистиче-

Электронный архив УГЛТУ

чески не достоверно, но в соотношениях ее фракций расхождения между двумя породами существенные.

Географический анализ фитомассы древостоев кедров сибирского и корейского, выполненный на основе стратифицированных по восьми экорегионам данных, показал наличие профиля продуктивности по зональному и провинциальному градиентам: фитомасса кедровников снижается в направлении с юга на север и от Урала и тихоокеанского побережья – к полюсу континентальности в центре Сибири.

В возрасте 100 лет общая фитомасса (т/га) кедрового стланика возрастает по зональному градиенту в последовательности: северная тайга Дальнего Востока, южная тайга Забайкалья, субтропики Японии, составляя соответственно 32, 38 и 145 т/га. Для оценки фитомассы кедровостлаников для каждого из трех экорегионов составлены справочно-нормативные таблицы двух типов: по известному возрасту и по известной средней высоте.

Надземная и общая фитомасса составленных 25 таблиц биологической продуктивности (ТБП) для 100-летних древостоев подразделена на два уровня - соответственно высокой и низкой продуктивности. Нормативные показатели надземной и общей фитомассы (т/га) кедровых сосен в возрасте 100 лет по мере увеличения индекса континентальности с 50 до 80% снижаются как в лучших, так и в худших условиях произрастания. По мере снижения среднемесячной суммы эффективных температур с 70 до 30°C в направлении с юга на север происходит 70%-ное снижение нормативных показателей надземной и общей фитомассы как в лучших, так и в худших условиях произрастания.

Закономерности изменения фитомассы кедровых сосен по зональному (в связи с величиной T) и провинциальному (в связи с индексом IC) градиентам примерно одинаковые при расчете фитомассы как по данным пробных площадей, так по традиционным ТХР.

Комплект из 25 составленных ТБП кедровников служит исходной основой при разработке различного рода экологических региональных и глобальных проектов. Они дают основу для расчета углеродного баланса по наиболее доступному сегодня «бухгалтерскому» методу (Швиденко, Нильссон, 1997): при известных количествах углерода в основных его пулах на начало и конец некоторого периода разница между ними дает результат «углерододепонирующей работы» лесного покрова за упомянутый период.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

По списку ВАК

1. Крудышев, В.В. Таблицы биопродуктивности кедров сибирского и корейского и их география / В.В. Крудышев, В.А. Сопига // Естественные и технические науки. - 2011. - № 2. - С. 65-66.

2. Усольцев, В.А. О возможности использования унифицированных аллометрических уравнений фитомассы деревьев / В.А.Усольцев, А.Т. Мезенцев, Е.В. Кох, В.В. Крудышев, И.С. Лазарев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2012. - № 3(89). - С. 37-40.

3. Усольцев, В.А. Межвидовые и региональные особенности фитомассы пятихвойных сосен на востоке Евразии / В.А. Усольцев, В.В. Крудышев, И.С. Лазарев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2013. - № 1(99). - С. 57-60.

В прочих изданиях

4. Усольцев, В.А. Изменение фитомассы и ее прироста у деревьев лесообразующих пород вблизи Карабашского медеплавильного комбината / В.А. Усольцев, А.В. Борников, А.С. Жанабаева, А.В. Бачурина, Е.В. Кох, А.Т. Мезенцев, В.В. Крудышев, И.С. Лазарев // Леса России и хоз-во в них. - 2011. - № 4 (41). - С. 12-21.

5. Усольцев, В.А. Реакция биопродуктивности насаждений на загрязнения от Карабашского медеплавильного комбината / В.А. Усольцев, Е.Л. Воробейчик, А.В. Борников, А.С. Жанабаева, А.В. Бачурина, Е.В. Кох, А.Т. Мезенцев, В.В. Крудышев, И.С. Лазарев // Леса России и хозяйство в них. - 2011. - № 3 (40). - С. 33-44.

6. Усольцев, В.А. Об экологии и географии кедра сибирского / В.А. Усольцев, В.В. Крудышев // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2011. - Вып. 28. - С. 147-153.

7. Усольцев, В.А. Количественная и квадиметрическая составляющие биологической продуктивности кедровников Урала / В.А. Усольцев, И.С. Лазарев, В.В. Крудышев, Н.В. Сенчило // Сборник научных трудов ученых и специалистов факультета экономики и управления УГЛТУ. Вып. 3. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - С. 261-270.

8. Усольцев, В.А. Совмещение баз данных лесоинвентаризации и первичной продукции лесов на основе статистических моделей и картирование результатов / В.А. Усольцев, М.П. Воронов, Е.В. Кох, И.Е. Бергман, А.Ф. Уразова, А.В. Борников, А.С. Жанабаева, А.Т. Мезенцев, В.В. Крудышев // Математическое моделирование в экологии: Материалы Второй национальной конференции с международным участием, 23 - 27 мая 2011 г. – Пущино: ИФХИБПП РАН, 2011. - С. 275-277.

9. Усольцев, В.А. Неопределенности при оценке углерододепонирующей способности лесов и перспективы их устранения / В.А. Усольцев, М.П. Воронов, Е.В. Кох, А.В. Борников, А.С. Жанабаева, А.Т. Мезенцев, В.В. Крудышев, И.С. Лазарев // Материалы Междунар. конфер. «Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны». - Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2011. - С. 111-113.

10. Воронов, М.П. Оценка и картирование биологической продуктивности лесного покрова в среде Natural (на примере Уральского региона) / М.П. Воронов, В.А. Усольцев, Е.В. Кох, А.Т. Мезенцев, В.В. Крудышев,

И.С. Лазарев, Д.В. Чендарев, Н.В. Сенчило // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: Биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. Материалы международного научно-практического семинара. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. - С. 109-114.

11. Усольцев, В.А. Первичная продукция кедровников на Урале / В.А. Усольцев, **В.В. Крудышев**, И.С. Лазарев // Актуальные научные вопросы: реальность и перспективы. Сб. науч. трудов. Ч. 2. - Тамбов: «Бизнес-Наука-Общество», 2012. - С. 142-143.

12. **Крудышев, В.В.** Плотность и содержание сухого вещества в фракциях надземной фитомассы кедра сибирского на Урале / **В.В. Крудышев**, И.С. Лазарев, В.А. Усольцев // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России. Матер. VIII всерос. н.-т. конф. Ч. 2. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - С. 91-93.

13. Лазарев, И.С. Кедровники Новоялинского лесничества: таксономическая характеристика и фитомасса древостое / И.С. Лазарев, **В.В. Крудышев**, В.А. Усольцев // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России. Матер. VIII всерос. н.-т. конф. Ч. 2. - Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. - С. 101-103.

14. Усольцев, В.А. Межвидовые различия фитомассы кедров сибирского и корейского в Евразии / В.А. Усольцев, А.Т. Мезенцев, **В.В. Крудышев**, И.С. Лазарев, Н.В. Сенчило, В.В. Терентьев, Г.Г. Терехов // Леса России и хоз-во в них. - 2013. - № 2 (45). - С. 94-97.

15. **Крудышев, В.В.** Региональные различия фитомассы кедрового стланика на Дальнем Востоке / **В.В. Крудышев**, И.С. Лазарев, А.Т. Мезенцев, Н.В. Сенчило, В.А. Усольцев // Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России». - Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. - С. 98-102.

Отзывы на автореферат просим направлять в трех экземплярах по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УГЛТУ, ученому секретарю Магасумовой А.Г. Факс: (343) 262-96-38; e-mail: dissovvet.usfeu@mail.ru.

A-1729

Подписано в печать 01.03.2013. Объем 1,0 п. л. Заказ № 40. Тираж 100.
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. УГЛТУ. Отдел оперативной полиграфии.