



УДК 630*52:674.032.475.8(470.5)

В.А. Усольцев^{1,2}, Н.В. Хабибуллина¹, Г.Г. Терехов²

¹Уральский государственный лесотехнический университет

²Ботанический сад Уральского отделения РАН

Усольцев Владимир Андреевич родился в 1940 г., окончил в 1963 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Уральского государственного лесотехнического университета, главный научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН, заслуженный лесовод России. Имеет около 550 печатных работ по проблемам оценки и моделирования биологической продуктивности лесов.
E-mail: Usoltsev50@mail.ru



Хабибуллина Наталья Валерьевна окончила в 2011 г. Уральский институт государственной пожарной службы МЧС России, аспирант УГЛТУ. Имеет 10 печатных работ в области оценки продуктивности лесов.
E-mail: Natys9i@mail.ru



Терехов Геннадий Григорьевич родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Уральский государственный лесотехнический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом лесоведения Ботанического сада УрО РАН, заслуженный лесовод России. Имеет более 100 печатных работ по вопросам создания, формирования и оценки биопродуктивности лесных культур.
Тел.: 8-912-203-68-61



СТРУКТУРА И ГЕОГРАФИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОМАССЫ КЕДРОВЫХ СОСЕН В АЗИИ

На основе сформированной базы данных о фитомассе кедровников *Pinus sibirica* Du Tour, *P. koraiensis* S. et Z. и *P. pumila* (Pall.) Regel рассчитаны регрессионные зависимости фитомассы от возраста и таксационных показателей насаждений. На основе географического анализа расчетных значений установлено, что фитомасса кедров сибирского и корейского в возрасте 100 лет снижается в направлении с юга на север (зональный градиент) и от Урала и побережья Тихого океана к полюсу континентальности в центре Сибири (провинциальный градиент).

Ключевые слова: фитомасса кедровников, *Pinus sibirica* Du Tour, *P. koraiensis* S. et Z., *P. pumila* (Pall.) Regel, географические закономерности, структура фитомассы.

В основе функционирования биосферы лежит продуцирование и потребление органического вещества. Жизнь человека и всех гетеротрофных организмов зависит от биологической продуктивности биосферы. Биологическая продуктивность – одна из специфичных характеристик древесной породы, и ее оценка в географическом и глобальном аспектах является приоритетной для лесоведения.

Наше исследование посвящено реализации подобной задачи на примере кедровых сосен, произрастающих на азиатском материке. Для среднетаежной подзоны Урала какие-либо данные о фитомассе кедровников отсутствуют. Чистых кедровников на Урале практически нет. Заложенные нами 13 пробных площадей представлены смешанными древостоями с участием кедра сибирского (от 6 до 8 единиц в составе), ели, пихты, сосны и березы. По ранее опубликованной методике [4, 5] было взято 14-15 модельных деревьев каждой породы и рассчитана фитомасса древостоев на 1 га.

С целью исследовать межвидовые и региональные (зонально-провинциальные) различия в распределении фитомассы кедровых сосен (кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) и корейского (*P. koraiensis* S. et Z.), кедрового стланика (*P. pumila* (Pall.) Regel)) в их азиатских ареалах была сформирована база данных из 194 определений фракционного состава фитомассы насаждений (рис. 1). В нее, кроме собственных 13 пробных площадей, заложенных на Среднем Урале, включены данные 98 пробных площадей, заложенных в древостоях кедра сибирского (Зауралье, Западная и 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 кедрового стланика (Дальний Восток, Забайкалье и Япония), взятые из литературных источников.

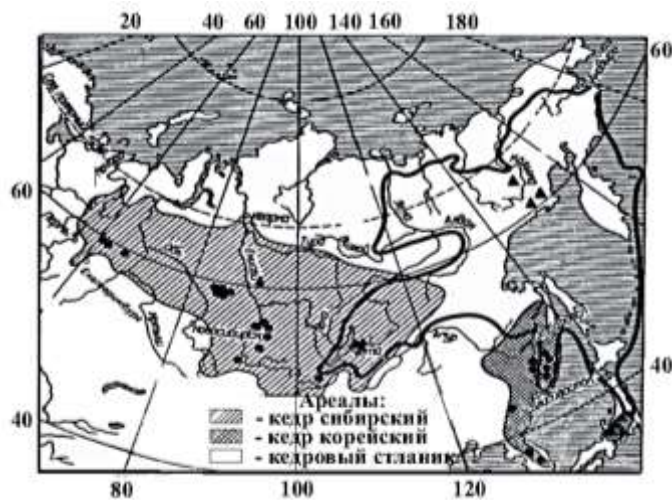


Рис. 1. Местоположение пробных площадей для определения по И.Ю. Коропачинскому [3] фитомассы кедровых сосен в их ареалах: • – кедры сибирский и корейский, ▲ – кедровый стланик

В начале эксперимента выполнено сравнение фитомассы древостоев кедров сибирского и корейского, но не по общим совокупностям данных, а по многофакторным уравнениям, включающим основные таксационные показатели. Для выявления межвидовых различий в фитомассе кедров сибирского и корейского в уравнение введена, кроме массоопределяющих переменных, еще одна бинарная переменная X , представляющая собой простейшую модификацию фиктивной переменной [2, 4]:

$$\ln(P_i/M) = f(\ln A, \ln H, \ln D, \ln N, X), \quad (1)$$

где P_i – фитомасса в абс. сухом состоянии стволов с корой, коры стволов, скелета ветвей, хвои, корней и нижнего яруса (соответственно $P_S, P_{SB}, P_B, P_F, P_R$ и P_U), т/га;

M – запас стволовой древесины, м³/га;

A – возраст древостоя, лет;

H – средняя высота деревьев, м;

D – средний диаметр, см;

N – число стволов, тыс. экз./га.

Для кедра сибирского $X = 0$; для кедра корейского $X = 1$.

Таким образом, выявление биологически обусловленных различий в фитомассе двух видов кедра нами выполнено при «гармонизированных» показателях морфоструктуры.

Установлено, что по совокупности пробных площадей древостои кедров сибирского и корейского относятся к разным классам бонитета: соответственно IV и V. Средняя высота кедра сибирского на 11 % выше по отношению к корейскому, средняя густота, напротив, на 13 % ниже, а запас стволовой древесины на 33 % выше. Накопление запасов общей фитомассы и составляющих ее фракций в древостоях кедров сибирского и корейского происходит на всем исследованном возрастном интервале (от 20 до 380 лет). Фитомасса стволов на 11 % выше, хвои и ветвей – соответственно на 16 и 55 % ниже.

В результате компенсации противоположных трендов суммарная надземная фитомасса различается всего на 4 %, общая – на 2 %. Различие показателей фитомассы древостоев кедров сибирского и корейского, полученное на пробных площадях в пределах их ареалов, можно считать статистически недостоверным, но в структуре фитомассы, т.е. в соотношениях ее фракций, расхождения между двумя породами существенные. При учете особенностей морфоструктуры и структуры фитомассы, что обеспечивается использованием блоковых фиктивных переменных [2] при регрессионном анализе фитомассы кедров сибирского и корейского, эти две древесные породы могут анализироваться совместно в составе объединенного массива исходных данных.

Более детальный географический анализ фитомассы древостоев кедров сибирского и корейского выполнен на основе данных, стратифицированных по восьми экорегионам, согласно схеме зонально-провинциального деления территории Азии (табл. 1), с кодировкой блоковыми фиктивными переменными [2].

Таблица 1

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

Регион	Порода	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Уральская провинция, средняя тайга	<i>Pinus sibirica</i>	0	0	0	0	0	0	0
Западно-Сибирская равнинная провинция, южная тайга	«	1	0	0	0	0	0	0
Средне-Сибирская плоскогорная провинция, средняя тайга	«	0	1	0	0	0	0	0
Алтае-Саянская горная провинция, южная тайга	«	0	0	1	0	0	0	0
Забайкальская провинция, южная тайга	«	0	0	0	1	0	0	0
Дальний Восток, хвойно-широколиственные леса	<i>P. koraiensis</i>	0	0	0	0	1	0	0
Северо-Восточный Китай	«	0	0	0	0	0	1	0
Южная Корея	«	0	0	0	0	0	0	1

Выделенные регионы, закодированные блоковыми фиктивными переменными X_0, \dots, X_7 , включены в уравнения для установления степени отличия показателей фитомассы каждого региона от базового, соответствующего насаждениям кедров сибирского подзона средней тайги на Урале:

$$\ln(P_i/M) = f(X_0, \dots, X_7, \ln A, \ln H, \ln D, \ln N). \quad (2)$$

Полученная расчетом характеристика уравнений подтверждает их достаточную адекватность фактическим данным ($R^2 = 0,82 \dots 0,89$). Уравнения (2) протабулированы для каждого экорегиона по задаваемым значениям возраста, полученные значения для возраста 100 лет подвергнуты географическому анализу.

Путем наложения расчетных данных фитомассы кедровников в возрасте 100 лет на схемы изотерм [6] и изоконт [1] составлена двухвходовая таблица для фитомассы, в которой входами служат значения континентальности климата (IC) и среднемесячной суммы эффективных температур (T) выше 5°C за вегетационный период, значения которых взяты с соответствующих схем.

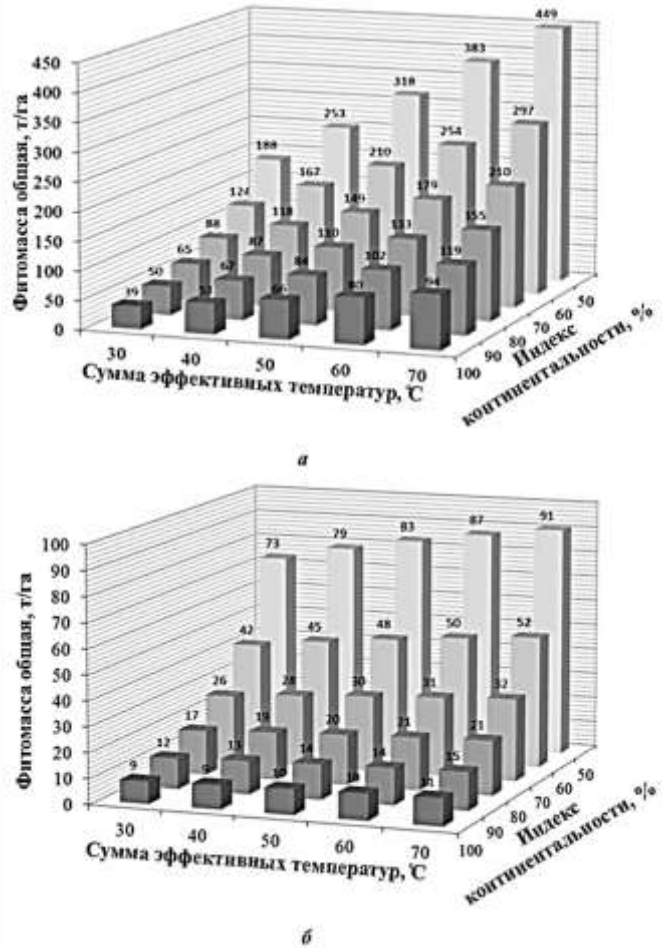
По цифровым данным таблицы рассчитаны следующие уравнения:

$$\ln P_{abo} = 6,704 - 1,791(\ln IC) + 1,453(\ln T), \quad R^2 = 0,684; \quad SE = 0,46; \quad (3)$$

$$\ln P_{tot} = 10,574 - 2,259(\ln IC) + 1,028(\ln T), \quad R^2 = 0,761; \quad SE = 0,34, \quad (4)$$

где P_{abo} и P_{tot} – расчетные значения соответственно надземной и общей фитомассы кедровников в возрасте 100 лет, т/га.

Рис. 2. Связь расчетных показателей общей (надземной и подземной) (а) и подземной (б) фитомассы кедровников (*Pinus sibirica* и *P. koraiensis*) в возрасте 100 лет с индексом континентальности климата и суммой эффективных температур



Анализ многофакторных регрессионных моделей фитомассы (3) и (4) и результатов их табулирования (рис. 2) показал наличие профилей продуктивности по зональному и провинциальному градиентам.

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 от 110 т/га в Забайкалье до 137 т/га в Приморье.

Исследование региональных различий фитомассы кедрового стланика выполнено на основе сформированной для этого базы данных. В нее включены 35 определений фитомассы в зарослях кедрового стланика, в том числе 12 – для северной тайги Дальнего Востока, 9 – для южной тайги в подголь-

цовом поясе Забайкалья и 14 – для подгольцового пояса в зоне хвойно-широколиственных лесов Японии. Для выявления региональных различий фитомассы кедрового стланика упомянутые три региона закодированы блоковыми фиктивными переменными X_1, X_2 (табл. 2).

Таблица 2

Схема кодирования блоковыми фиктивными переменными региональных массивов данных о фитомассе кедрового стланика

Регион	X_1	X_2
Дальний Восток, северная тайга	0	0
Забайкальская горная провинция, южная тайга	1	0
Японские острова, хвойно-широколиственные леса	0	1

Рассчитаны уравнения

$$\ln P_i = f(X_1, X_2, \ln H, \ln M). \quad (5)$$

Уравнения (5) объясняют от 92,0 до 99,9 % изменчивости надземной и подземной фитомассы кедровых стлаников и 79,0 % изменчивости фитомассы нижнего яруса. Уравнение (5) совмещено с возрастными трендами средней высоты и запаса стволовой древесины кедровых стлаников следующим уравнением (6):

$$\ln H = f(X_1, X_2, \ln A) \rightarrow \ln M = f(X_1, X_2, \ln A, \ln H). \quad (6)$$

Последовательным табулированием рекурсивных систем уравнений (6) и (5) по задаваемым значениям возраста кедрового стланика получены возрастные тренды показателей фитомассы по каждому региону. Запасы общей фитомассы в 100-летнем возрасте закономерно возрастают по зональному градиенту в следующей последовательности: северная тайга Дальнего Востока (Колыма), южная тайга Забайкалья, субтропики Японии (рис. 3).

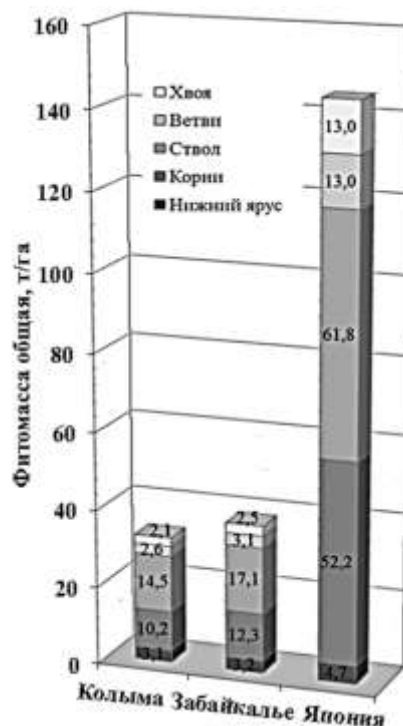


Рис. 3. Структура фитомассы 100-летних кедровых стлаников в трех регионах на востоке Азии

Выводы

1. Установлены достоверная положительная связь фитомассы с суммой эффективных температур выше 5 °С (по Тукканену) и отрицательная связь с индексом континентальности климата (по А.А. Борисову). Фитомасса кедров сибирского и корейского снижается в направлении с юга на север (зональный градиент) и от Урала и побережья Тихого океана к полюсу континентальности в центре Сибири (провинциальный градиент).

2. Исследование региональных различий фитомассы кедрового стланика, выполненное на основе сформированной базы данных из 35 определений показало, что в возрасте 100 лет их общая фитомасса возрастает по зональному градиенту в следующей последовательности: северная тайга Дальнего Востока (32 т/га), южная тайга Забайкалья (38 т/га), субтропики Японии (145 т/га).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов А.А. Климаты СССР. М.: Просвещение, 1967. 296 с.
2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.
3. Коропачинский И.Ю. Древесные растения Сибири. Новосибирск: Наука, 1983. 383 с.
4. Сравнительный анализ надземной фитомассы культур сосны Урала и Западной Сибири / В.А. Усольцев [и др.] // Лесн. журн. 2005. № 3. С. 34–42. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
6. Tuhkanen S. A circumboreal system of climatic-phytogeographical regions // Acta Bot. Fennica. 1984. Vol. 127. P. 1–50.

Поступила 05.04.13

V.A. Usoltsev^{1,2}, N.V. Habibullina¹, G.G. Terekhov²

¹The Ural State Forest Technical University

²Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Structure and Geography of Cedar Pine Phytomass Distribution in Asia

Based on the compiled database of *Pinus sibirica* Du Tour, *P. koraiensis* S. et Z. and *P. pumila* (Pall.) Regel phytomass, the regression relationships between the phytomass (stems, needles, branches, roots and understory) and the forest age and inventory data were calculated. A geographical analysis of the calculated values of 100-year-old phytomass was carried out. *Pinus sibirica* and *P. koraiensis* phytomass decreases from south to north (zonal gradient) and from the Urals and the Pacific coast to the pole of continentality in central Siberia (provincial gradient).

Keywords: phytomass of *Pinus sibirica* Du Tour, *P. koraiensis* S. et Z., *P. pumila* (Pall.) Regel, geographical patterns, phytomass structure.