

3. Могильницкий Г.М., Жукова С.В., Сапожникова Г.А. Микрофлора грунтов и методы изучения биостойкости подземных трубопроводов. М.: ВНИИОЭНГ, 1980. 253 с.
4. Чугунов В.А., Жиглецова С.К., Холоденко В.П. Химико-микробиологические аспекты стресс-коррозионных разрушений магистральных трубопроводов и способы их профилактики. М.: ИРЦ Газпром, 2002. 32 с.
5. Гусев М.В., Минеева Л.А. Микробиология. М.: Академия, 2003. 464 с.
6. ГОСТ 9.085-78. Единая система защиты от коррозии и старения. Жидкости смазочно-охлаждающие. Методы испытаний на биостойкость. М.: Издательство стандартов, 1978. 10 с.
7. Аристовская Т.В., Владимирская М.Е. и др. Большой практикум по микробиологии / Под ред. Г.Л. Селибера. М.: Высшая школа, 1962. 490 с.
8. ГОСТ 9.506-87. Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности. М.: Издательство стандартов, 1987. 13 с.
9. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.

Александр Александрович КОНОВАЛОВ —
главный научный сотрудник лаборатории
устойчивости биогеоценозов учреждения
Института проблем освоения Севера РАН
konov7@rambler.ru

Мария Николаевна КАЗАНЦЕВА —
доцент кафедры экологии и генетики
Тюменского государственного университета
mnkazantseva@yandex.ru

УДК 630*52

К ОБОБЩЕНИЮ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

GENERALISING THE PARAMETERS OBSERVATIONS OF WOOD PLANTS

АННОТАЦИЯ. Предложен способ анализа связей между параметрами древесных растений по их обобщенным (безразмерным) показателям, изменяющимся в интервале 0...1. Установлены, исследованы и количественно оценены связи между фитомассой и продуктивностью с одной стороны и размерами ствола, возрастом и плотностью насаждений с другой. Показан преимущественно квадратичный или степенной характер этих связей, причем численные коэффициенты расчетных формул близки к пропорциям золотого сечения.

SUMMARY. The article offers the way to analyse the relationships between the parameters of wood plants upon their generalised (non-dimensional) factors, changing in the interval 0...1. The relations between the phytomass and efficiency on the one hand, and sizes of stem, age and forest density on the other hand are determined, researched and given a quantitative evaluation. Mainly square-law or power-mode nature of these relationships is shown, moreover numeric coefficient of calculating formulas is close to proportions of gild section.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Древесные растения, размеры ствола, продуктивность, золотое сечение.

KEY WORDS. wood plants, sizes of stem, efficiency, gild section.

Введение. Эффективным способом обобщения результатов наблюдений за различными природными объектами является приведение их к относительному (безразмерному) виду:

$$j = (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}), \quad (1)$$

где x , x_{max} и x_{min} — текущее, максимальное и минимальное размерное значение наблюдаемого показателя, причем часто $x_{min} \approx 0$; j — его текущее значение в относительном виде.

При таком обобщении все множество возможных показателей заключается в наглядно представимый интервал 0...1. Это резко сокращает объем фактических данных, необходимый для установления количественных связей между ними и, что особенно важно, позволяет корректно сравнивать разнородные и разноразмерные величины и делает решение, полученное для каких-нибудь одних условий, универсальным, пригодным для всех.

Целью статьи является демонстрация предлагаемого способа и создаваемых им аналитических возможностей на примере обобщения параметров древесных растений.

1. Материалы и методы. Для исследования использован ранее опубликованный [1], [2], [3], [4], [5] репрезентативный фактический материал о связях размерных показателей древесных растений, в первую очередь производительных — фитомассы и продуктивности, определение которых требует больших объемов работ, с относительно простыми величинами — диаметром, высотой, возрастом и густотой насаждений, на обширных территориях таежной зоны: северо-западе России, севере Западной Сибири, Приангарье, на Аляске.

Размерные величины исследуемых параметров с помощью формулы (1) пересчитывались в безразмерные, изменяющиеся в пределах от 0 до 1. Затем по стандартной компьютерной программе EXCEL опреялся графический вид двухсторонних связей (взаимозависимостей) между ними, аппроксимационные формулы графиков и их достоверность (R^2). Общий методологический подход к осмыслению полученных взаимозависимостей заключался в рассмотрении их как дихотомий — абстрактных систем из двух компонентов (противоположностей, оппозиций), существующих в режиме единства и борьбы. Первое состоит в равенстве суммы компонентов единице; второе, при условии первого, означает, что увеличение одного компонента может происходить только за счет уменьшения другого и наоборот. Наиболее устойчивое равновесное состояние в подобных системах определяется по *золотому сечению*. Насколько известно авторам, до сих пор это понятие не использовалось в теоретическом лесоведении.

Напомним, что золотым сечением называют иррациональное число $\varphi = 0,618033...$ или обратное ему $1/0,618033... = 1,618033...$ [6]. Оно соответствует решению квадратного уравнения $x^2+x=1$ ($x_1=x=0,618$, $x_2=(1-x)=0,382$) и делит единичный отрезок на две части так, что его отношение к большей части равно отношению большей части к меньшей ($1/0,618=0,618/0,382=1,618$). Или, что то же, большая часть (x) одновременно является и средним геометрическим из целого (единицы) и меньшей части $|1(1-x)|^{0,5} = x$. Это наиболее распространенное соотношение близких к устойчивому равновесию оппозиций во многих системах мироздания (например, климатических [7]), обеспечивающее их гармонию и длительное существование. Чем оно ближе к φ , тем выше равновесность и устойчивость (но и неподвижность, стагнация) системы. Абсолютно устойчивое равновесие, как и абсолютная стагнация, недостижимы,

т.к. φ — число с бесконечным количеством знаков (разрядов). Приведенные ниже результаты показывают, что этот подход оправдался.

2. Результаты и обсуждение. Зеленая масса и диаметр. К.С. Бобкова и др. [2] установили количественный вид зависимости массы (m) древесной зелени (хвои и неодревесневших побегов) и отдельно хвои сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris*) от ее диаметра (d) на высоте 1,3 м в северной и средней подзонах тайги на территории Республики Коми для всех встречающихся там типов леса. Максимальные и минимальные значения размерных параметров, по их данным, необходимые для расчетов по формуле (1) сведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные и минимальные величины безразмерных диаметра ствола — d_{max}, d_{min} (см), массы зелени (z) и хвои (x) сосны — m_{max}, m_{min} (кг/дерево)

Подзона	d_{min}	m_{min}	$d_{max} (z)$	$m_{max} (z)$	$d_{max} (x)$	$m_{max} (x)$
Северная тайга-1	0	0	40	91	40	63
Средняя тайга-2	0	0	40	76	40	46

На рис. 1 приведены построенные нами по этим данным графики зависимости безразмерной массы древесной зелени и хвои $j_m = m/m_{max}$ сосны от безразмерного диаметра ствола $j_d = d/d_{max}$ в северной и средней тайге и найдены их аппроксимации в форме полинома 2-й степени:

$$j_m = A \cdot j_d^2 + B \cdot j_d. \quad (2)$$

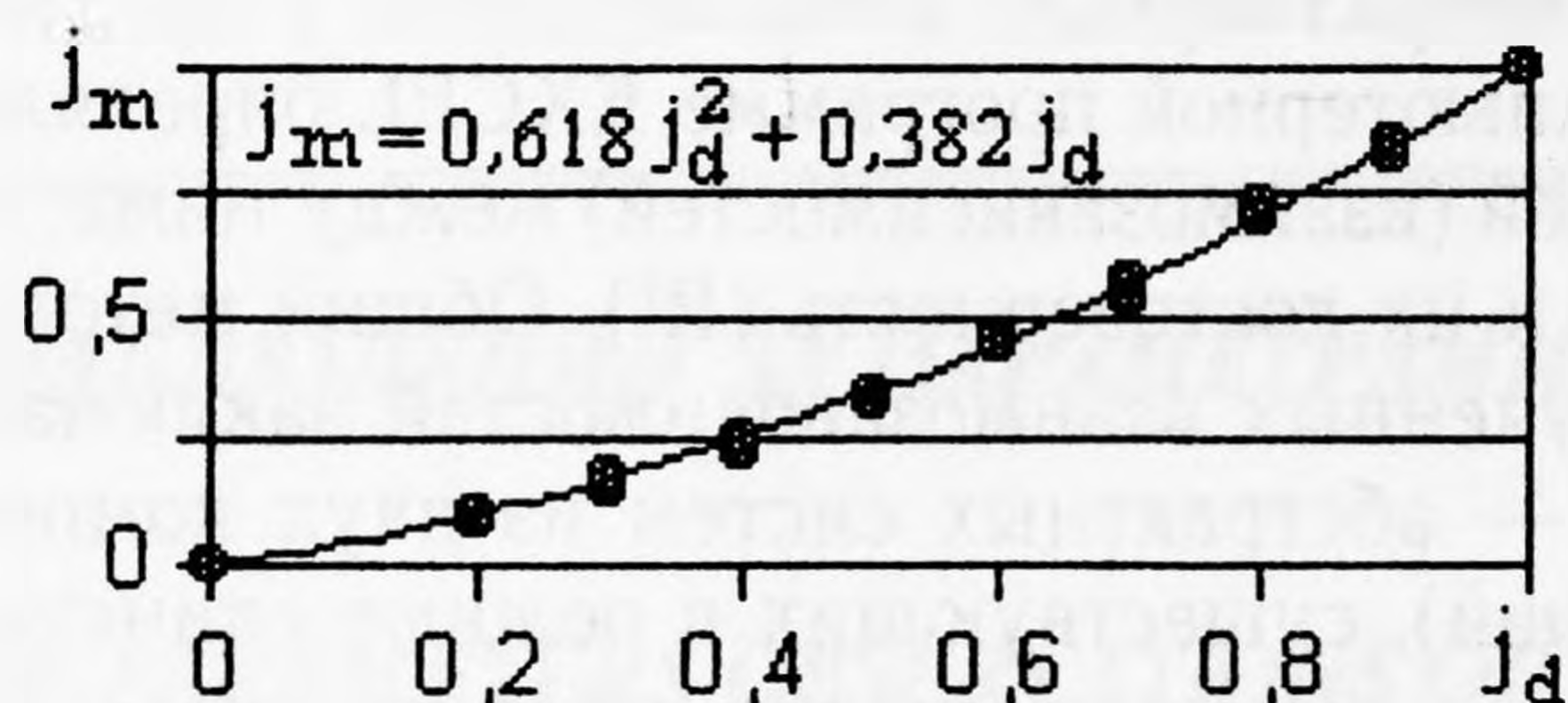


Рис. 1. График зависимости $j_m(j_d)$ и формула кривой (значки — экспериментальные точки)

Значения коэффициентов A и B в формуле (2) для массы зелени и хвои в северной (1z, 1x) и средней (2z, 2x) тайге даны в табл. 2. При всех значениях исходных данных кривые зависимости $j_m(j_d)$ практически сливаются друг с другом, т.е. эта зависимость инвариантна (имеет одинаковый вид) для всех условий. Входящие в формулу j_d^2 и j_d — безразмерные площадь ствольного круга и длину ограничивающей ее окружности (кору) можно трактовать как две самостоятельные части (*оппозиции*) единой системы, существующие в режиме единства и борьбы (кора защищает внутренность ствола, но и в определенной степени препятствует ее радиальному разрастанию). Численные коэффициенты перед ними, отражающие уровень их взаимодействия (противодействия), в сумме примерно равны 1. Обращает на себя внимание близость соотношения коэффициентов A и B к пропорции золотого сечения — ЗС (последний столбец в табл. 2); кривая на рис. 1 построена по формуле (2) при этих значениях A и B .

Таблица 2

Значения коэффициентов в формуле (2)

Индекс	1з	1х	2з	2х	3С
А	0,610	0,648	0,651	0,673	0,618
В	0,393	0,357	0,340	0,329	0,382

В первых пяти столбцах табл. 3, детализирующей рис. 1, приведены результаты расчетов j_m по формуле (2) для выделенных в табл. 2 вариантов (в двух последних — расчеты по формулам (6) и (6)', обсуждаемым ниже). Из табл. 3 видно, что во всех случаях получаются близкие величины j_m , примерно равные таковой, рассчитанной при значениях $A=0,618$ и $B=0,382$, отвечающих за пропорции 3С (столбец № 5).

Хорошее совпадение с фактическими данными дает и формула степенного вида с показателем степени, равным $1/\varphi$:

$$j_m = j_d^{1,618}. \quad (3)$$

Это также видно из табл. 3, в столбце № 6 которой приведены значения $j_m = j_{m.3c}$, рассчитанные по формуле (3).

Учитывая универсальность 3С, формулы (3) и (2) при $A=0,618$ и $B=0,382$ можно рекомендовать для приближенного определения обобщенной массы древесной зелени хвойных деревьев в пределах всей таежной зоны. Порода дерева и условия произрастания отражаются в величинах соответственных пар d_{max} и m_{max} .

Таблица 3

Зависимость j_m от j_d

№	1	2	3	4	5	6	7	8
j_d	$j_{m.1з}$	$j_{m.1х}$	$j_{m.2з}$	$j_{m.2х}$	$j_{m.3с}$	$j_{m.3с}'$	$j_{\tau}(6)$	$j_{\tau}(6)'$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	0,08	0,09	0,09	0,09	0,1	0,07	0,30	0,37
0,3	0,17	0,16	0,15	0,16	0,17	0,14	0,43	0,47
0,4	0,25	0,24	0,24	0,23	0,25	0,23	0,55	0,57
0,5	0,36	0,35	0,35	0,33	0,35	0,33	0,65	0,65
0,6	0,46	0,45	0,46	0,45	0,45	0,44	0,75	0,73
0,7	0,58	0,57	0,54	0,55	0,57	0,56	0,83	0,80
0,8	0,71	0,69	0,72	0,72	0,70	0,70	0,90	0,87
0,9	0,84	0,85	0,83	0,83	0,84	0,84	0,96	0,94
1	1	1	1	1	1	1	1	1

Для перехода от безразмерной массы зелени к размерной необходимо знать величину m_{max} для конкретной породы дерева в конкретных биотопических условиях. Тогда зеленая масса рассчитывается просто: $m = m_{max} \cdot j_m$. Но здесь мы располагаем такими данными в репрезентативном объеме только для сосны в пределах Республики Коми (табл. 1). Однако и эти данные можно использовать для приближенной оценки размерной массы зелени других пород, если известна их плотность.

Как известно, свойства древесных пород, как и всех физических тел, часто почти однозначно определяются их плотностью ρ . Нет оснований не относить это и к параметру m_{max} , контролирующему производство зеленой массы. Анализ

справочного материала по плотности древесины [8] показывает, что она зависит, в основном, только от влажности, причем эта зависимость линейна, а отношение плотностей любых двух древесных пород практически постоянно при любой влажности. Это видно из табл. 4, в которой приведены отношения плотности древесины распространенных пород — базисной и при влажностях 0, 12, 50% — к соответствующей плотности, например, сосны ($k_{c.6}$, $k_{c.0}$, $k_{c.12}$, $k_{c.50}$) и кедра ($k_{к.6}$, $k_{к.0}$, $k_{к.12}$, $k_{к.50}$), а также средней величины этого отношения (k_c и $k_к$).

Таблица 4

Переходные коэффициенты $k_{c.i}$ (жирный шрифт) и $k_{к.i}$ (курсив) и их осредненные (расчетные) значения k_c и $k_к$

Породы	$k_{c.6}$	$k_{c.0}$	$k_{c.12}$	$k_{c.50}$	k_c	$k_{к.6}$	$k_{к.0}$	$k_{к.12}$	$k_{к.50}$	$K_к$
Лиственница	1,29	1,34	1,32	1,31	1,32	1,5	1,53	1,53	1,5	1,52
Сосна	1	1	1	1	1	1,17	1,15	1,16	1,15	1,16
Кедр	0,89	0,87	0,86	0,87	0,87	1	1	1	1	1
Ель	0,89	0,89	0,88	0,89	0,89	1	1,02	1,02	1,02	1,01
Пихта	0,71	0,74	0,76	0,73	0,73	0,83	0,85	0,88	0,83	0,85
Береза	1,24	1,27	1,26	1,24	1,25	1,44	1,46	1,46	1,43	1,45
Осина	0,98	1	0,98	0,98	0,98	1,14	1,15	1,14	1,13	1,14

Как показывают расчеты, в том числе и для других пород, не только сосны и кедра, разница между отношениями коэффициентов k , рассчитанных при разных влажностях, редко превышает 3%.

Примем в первом приближении, что отношение массы зелени данной древесной породы и сосны при каждом значении d равно отношению их плотностей — k_c . Тогда максимальная масса зелени в общем случае $m_{max.об}$ равна произведению максимальной массы зелени сосны — $m_{max.c}$, найденной по табл. 1, на k_c , а общая формула m , например, для северной тайги, где $m_{max.c} = 91$ кг, приобретает вид:

$$m = m_{max.об} \cdot j_m = k_c m_{max.c} \cdot j_m = k_c \cdot 91 \cdot j_m \quad (4)$$

Таким образом, при одинаковом относительном диаметре ствола (j_d) безразмерная масса зелени (j_m) у всех хвойных пород тоже одинакова, а размерная масса (m) зависит от породы дерева и условий среды через посредство k_c и $m_{max.c}$.

Полученные формулы зависимости зеленой массы от диаметра в относительном виде справедливы как для крупных биосистем — биоценоза, биома, природной подзоны, — так и для отдельных деревьев, для продуктивности которых большое значение имеет возраст.

Диаметр ствола и возраст. Ранее было показано, что многолетний ход относительного диаметра деревьев разной породы тоже хорошо описывается полиномом 2-й степени типа $y = Ax^2 + Bx$ [3] в двух модификациях, различающихся знаком коэффициента A : в формуле для светолюбивых растений (сосны, лиственницы...) он имеет знак минус, в формуле для теневыносливых (пихты, ели...) — знак плюс. На рис. 2а, характерном для светолюбивых растений, и рис. 2б — для теневыносливых, приведены примеры зависимости безразмерного диаметра j_d от безразмерного времени $j_\tau = \tau / \tau_{max}$ (τ — текущее время, годы; τ_{max} — возраст дерева на период наблюдений) для двух старых деревьев: сосны в северной тайге (район оз. Нумто) по наблюдениям С.П. Арефьева и пихты на Аляске в условиях, близких к северной тайге [9].

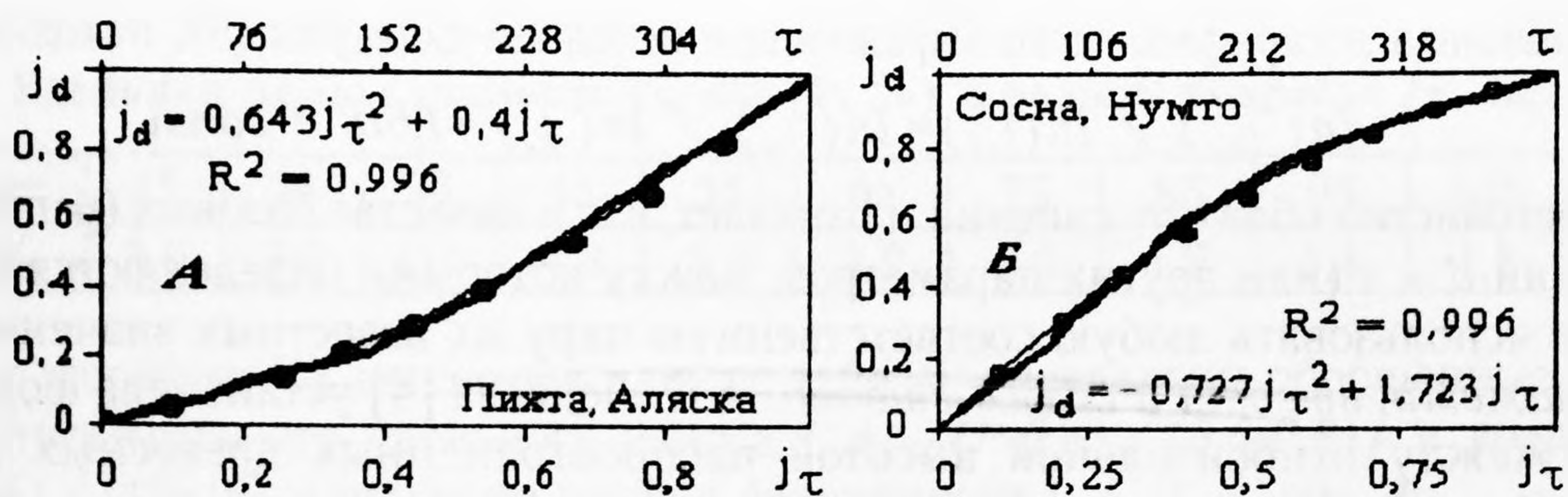


Рис. 2. Зависимость j_d от j_τ для пихты на Аляске (а) и сосны в Нумто (б)

Величины безразмерного диаметра отложены на оси ординат, безразмерного времени — на оси абсцисс, размерного времени — на верхней горизонтальной оси. Начало отсчета на графике 2а — 1578 г., на графике 2б — 1579 год. Кривыми показан многолетний ход j_d по данным наблюдений (изображены кружками) — толстые линии, и его аппроксимации — тонкие линии. Из-за высокой достоверности аппроксимационных формул — $R^2 > 0,99$ и те и другие почти сливаются. Как и в выражениях зависимости j_m от j_d , коэффициенты перед слагаемыми в выражении функции $j_d(j_\tau)$ в сумме примерно равны единице и делят ее в пропорции, близкой к ЗС. Кружками на рис. 2 обозначены j_d , вычисленные по формуле (5) — на рис. 2а, и по формуле (6) — на рис. 2б, коэффициенты которых точно соответствуют пропорции ЗС.

$$j_d = 0,618 (j_\tau)^2 + 0,382 j_\tau, \quad (5)$$

$$j_d = -0,618 (j_\tau)^2 + 1,618 j_\tau. \quad (6)$$

Из рис. 2 видно, что и в формулах зависимости j_d от j_τ в «нормальных» условиях функционирования (при отсутствии резких переломов кривых на графиках) численные коэффициенты также являются частями единицы, делящими ее в пропорции, близкой к ЗС.

Анализ показал, что квадратичные формулы (5) и (6), как и раньше — см. формулы (2) и (3) — с приемлемой погрешностью можно заменить степенными с показателями степени: 1,618 для вогнутых кривых (теневыносливые деревья — ель, пихта...) или 0,618 для выпуклых (светолюбивые — сосна, лиственница...):

$$j_d = j_\tau^{1,618}, \quad (5')$$

$$j_d = j_\tau^{0,618}. \quad (6')$$

Это следует из сравнения результатов расчетов по формулам (6) и (6)', приведенных в 7-м и 8-м столбцах табл. 2 — они мало отличаются друг от друга.

Степенная функция типа (5)' или (6)' по точности, по-видимому, несколько уступает квадратичному аналогу, зато в ней в качестве исходных размерных величин можно использовать любую пару соответственных значений аргумента и функции, необязательно максимальных. Распишем, например, формулу (5)' согласно (1) для определения размерных диаметров d_1 и d_2 в возрасте τ_1 и τ_2 соответственно:

$$d_1 / d_{max} = (\tau_1 / \tau_{max})^{1,618},$$

$$d_2 / d_{max} = (\tau_2 / \tau_{max})^{1,618}.$$

Разделив эти выражения друг на друга, получаем:

$$j_{d,i} = j_{\tau,i}^{1,618},$$

где $j_{d,i} = d_1 / d_2$; $j_{\tau,i} = \tau_1 / \tau_2$.

Сравнивая логарифмы этого выражения и исходной формулы (5)', находим, что

$$\ln(j_{d,i}) / \ln(j_{\tau,i}) = \ln(j_d) / \ln(j_\tau) = 1,618 = \text{const.}$$

Постоянство обоих отношений и означает, что в качестве базовых (реперных) значений d и τ (или других параметров, между которыми определяются связи) можно использовать любую соответствующую пару их известных значений.

Диаметр, высота и объем ствола. А.С. Ледяева [4] установила формулы связи между относительной высотой распространенных древесных пород $j_h = h/h_{max}$ (h и h_{max} — текущая и максимальная высота дерева) и их относительными диаметрами $j_d = d/d_{max}$ для всех разрядов высот I, II, III и IV бонитетов в условиях Ленинградской области. Анализ результатов расчетов по этим формулам показал, что их можно заменить одной обобщенной формулой. На рис. 3а даны: график зависимости j_h от j_d (фактические данные [4] обозначены кружками, сверху вниз — для сосны, ели, березы и осины; для сосны и ели они почти сливаются), формула, аппроксимирующая эту зависимость (полином 3-й степени), а также, для сравнения, кривая устойчивого равновесия, рассчитанная по степенной формуле ЗС с показателем степени 0,618. Из рисунка видно, что значения j_h , рассчитанные по обобщенной и частным формулам, отличаются мало. В то же время сравнение кривых показывает, что взаимосвязь j_h и j_d , в отличие от j_h и j_d или j_τ и j_d , довольно далека от устойчивого равновесия.

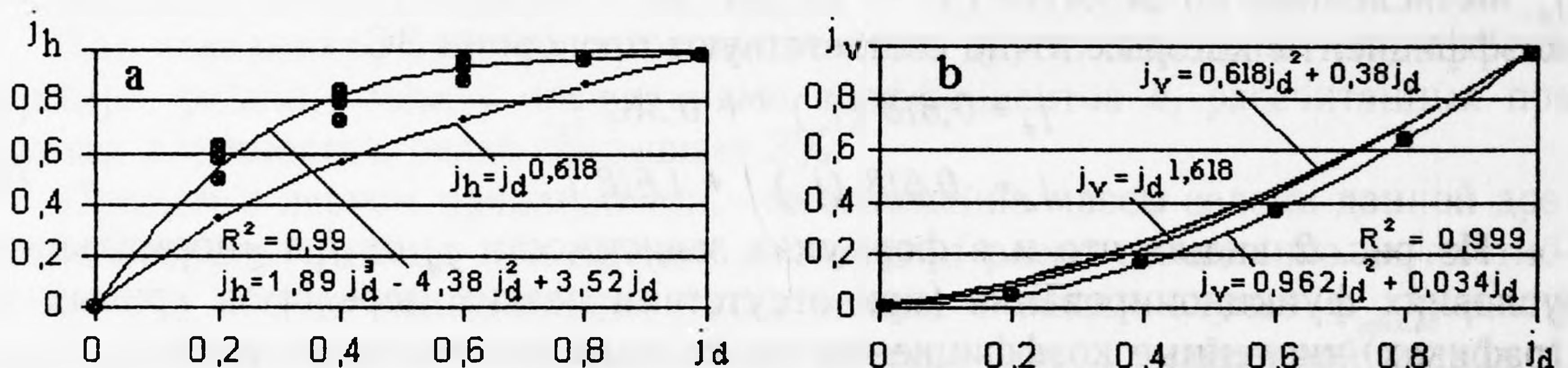


Рис. 3. Графики и формулы зависимости j_h от j_d (а) и j_v от j_d (б)

При известных диаметре j_d и высоте j_h ствола несложно вычислить его объем j_v и найти зависимость $j_v(j_d)$. Эта зависимость и ее аппроксимация показаны на рис. 3б и здесь же приведены две формулы этой связи с учетом ЗС — квадратичная типа (5) и степенная типа (5)' и их кривые. Кривая, построенная по фактическим данным (помеченных кружками), довольно близка к этим кривым. Площадь между этой кривой и кривыми, рассчитанными по формулам (5) и (5)', очевидно, характеризует степень неустойчивости в системе диаметр-объем ствола. Рис. 3б показывает также, что формулы ЗС квадратичного и степенного вида дают практически одинаковые результаты.

Удельная продуктивность и возраст. В табл. 5 приведена удельная продуктивность сосны (P , %) в разном возрасте в Иркутском Приангарье по данным Н.В. Артемьева и др. [1].

Под удельной продуктивностью дерева (или насаждения) понимается ежегодный прирост объема, приходящийся на 1 м³ ствола (или древостоя). Как видно из табл. 5, эта величина со временем убывает. Соответственно возрастает износ дерева (I) — параметр, обратный продуктивности, равный разнице между ее максимальным и текущим значениями. В данном примере $I=8,6-P$ максимальное значение I достигается в возрасте 115 лет, минимальное — в 15 лет.

Таблица 5

Удельная продуктивность сосны (P, %) в разном возрасте (τ , лет)

τ , лет	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115
P, %	8,6	7,6	6,1	4,8	3,9	3,2	2,5	1,9	1,4	1,1	0,8

По формуле (1), используя данные табл. 5, определены обобщенные значения относительного удельного износа $j_u = 1 - |(P - 0,8) / (8,6 - 0,8)|$ и возраста $j_\tau = (\tau - 15) / (115 - 15)$ и построен график зависимости $j_u(j_\tau)$ — рис. 4.

Как и в других разобранных случаях, эта зависимость близка к квадратичной и степенной формулам ЗС, соответствующих максимально возможной устойчивости. Характерно, что выражения возрастной зависимости относительного износа и диаметра ствола практически совпадают (ср. с рис. 2), т.е. с увеличением размеров дерева его относительная продуктивность уменьшается, а относительный износ увеличивается.

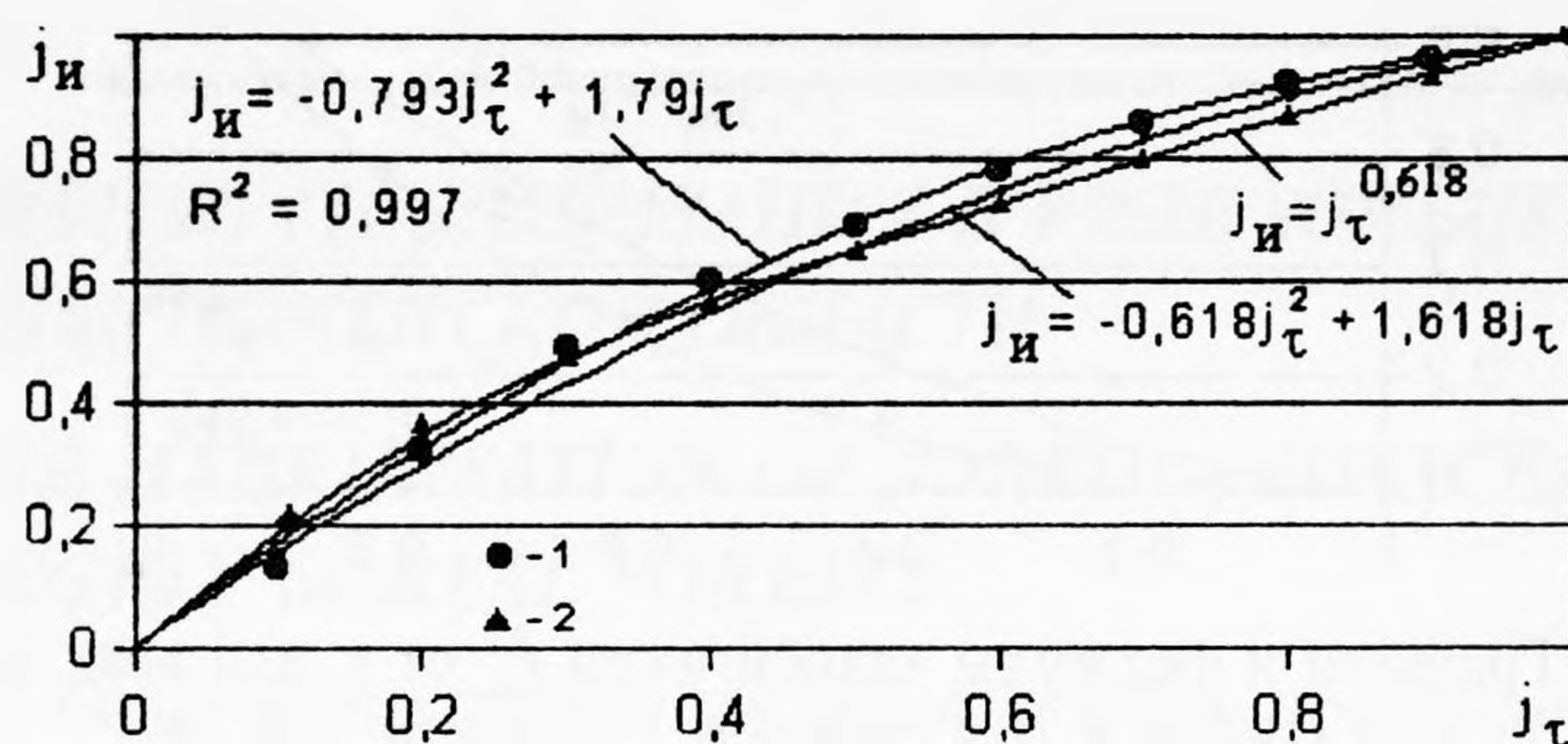


Рис. 4. Графики и формулы зависимости j_u от j_τ
(1 — фактические данные, 2 — расчет по степенной формуле)

Густота насаждений, фитомасса и диаметр ствола. Взаимозависимости между размерными величинами этих параметров в сосновых молодняках Приангарья детально исследованы Л.С. Пшеничниковой [5]; ею получены количественные выражения связей, в частности фитомассы и диаметра в степенном и квадратичном виде, найдены значения численных коэффициентов в этих выражениях для дерева в целом и его фракций (ствола, ветвей, хвои, корней) при разной густоте насаждений ($G = 100 \dots 900$ тыс. стволов на гектар). Установлено, что при любой густоте фитомасса, в отличие от продуктивности (см. выше), с увеличением диаметра растет; максимальный запас фитомассы (оптимум) наблюдается при $G \approx 700$, с понижением и повышением густоты относительно этой величины фитомасса убывает. Примеры графиков зависимости относительной фитомассы j_{vm} от относительного диаметра ствола j_d и густоты насаждений G , рассчитанной по этим данным нашим методом, представлены на рис. 5-6. Верхняя кривая на этих рисунках построена по степенной формуле ЗС с показателем степени 1,618, нижняя — по фактическим данным.

Из них следует, что при всех G , а особенно при его оптимуме ($G = 700$), связь фитомассы соснового молодняка с диаметром в данном регионе в общем довольно близка к устойчивому равновесию, определяемому формулами ЗС. В то же время кривые на графиках рис. 5-6 дальше отстоят от кривой ЗС (лежат ниже), чем на графиках рис. 1-4, что, по-видимому, связано с большей неустойчивостью молодых деревьев (рис. 5-6) по сравнению со старыми. Выражения зависимости j_{vm} от j_d инвариантны для всех четырех древесных фракций и де-

рева в целом — экспериментальные точки, соответствующие разным фракциям, практически накладываются друг на друга (рис. 6).

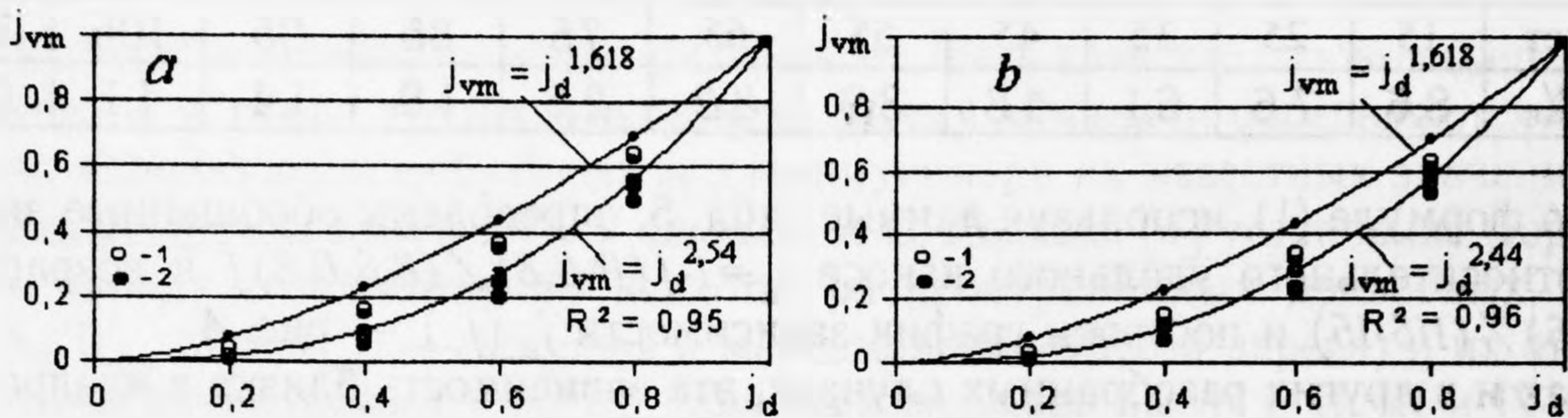


Рис. 5. Графики и формулы зависимости j_{vm} от j_d при $G=700$ (1) и $G=100...500, 900$ (2) для хвойной фракции (а) и всего дерева (б)

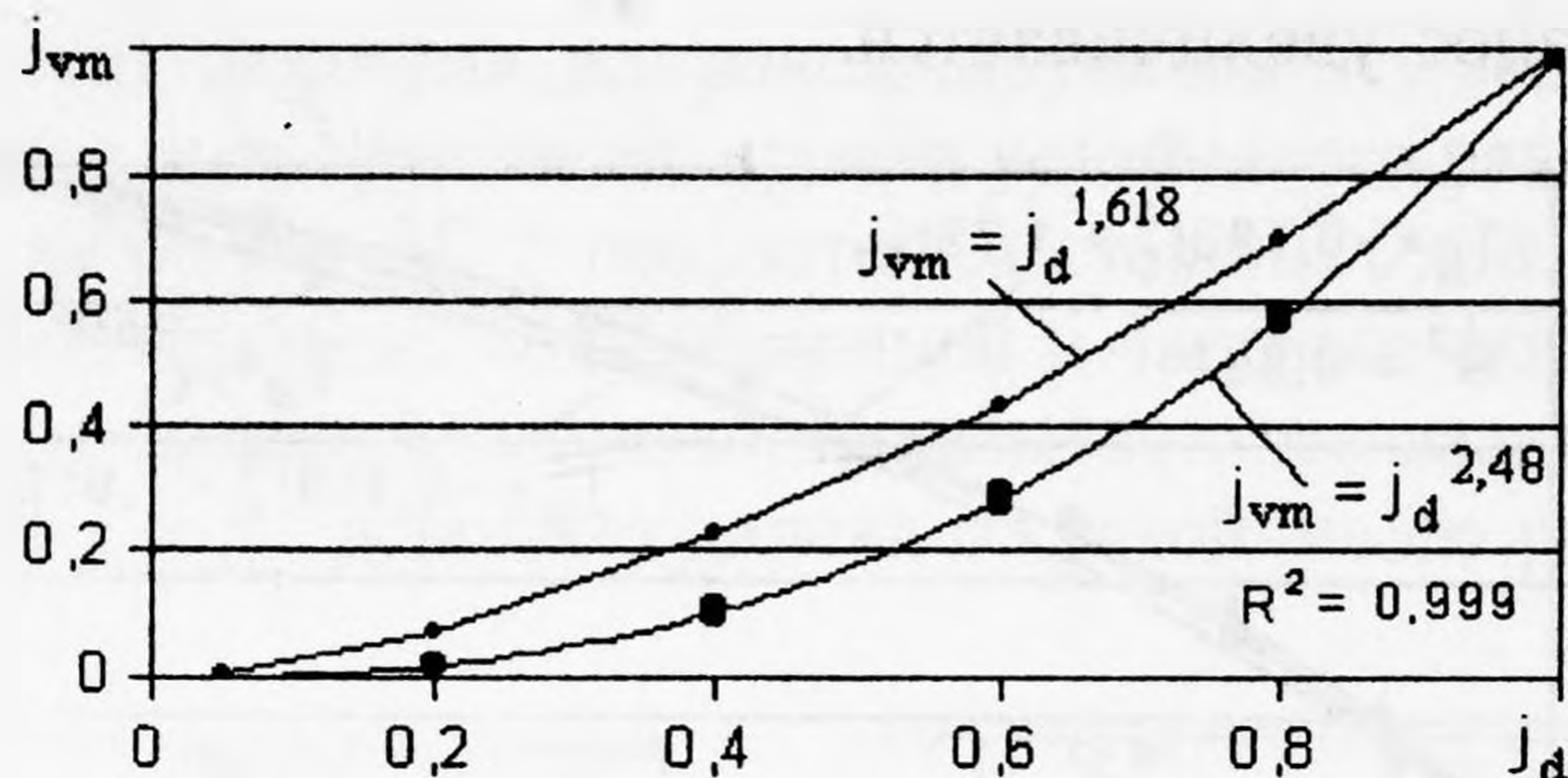


Рис. 6. Графики и формулы зависимости j_{vm} от j_d для всех фракций при $G=700$ и G в среднем диапазоне $100...900$

В заключение отметим, что изложенный способ обобщения данных универсален, но основанные на его использовании формулы в полной мере пригодны только для конкретных параметров и условий, в которых они получены (фитомасса, продукция, размеры и возраст хвойных пород в таежной зоне). Для других параметров и условий, возможно, понадобится корректировка с учетом фактических данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемьева Н.В., Бузыкин А.И., Исмагилов А.М., Кофман Г.Б. Оценка продуктивности древостоя // Факторы продуктивности леса. Новосибирск: Наука, 1989. С. 129.
2. Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Робакидзе Е.А. Ресурсная характеристика древесной зелени *Pinus Silvestris* (Pinaceae) в лесах северо-востока европейской России // Растительные ресурсы, 2008. Т. 44. Вып. 1. С. 51.
3. Коновалов А.А., Арефьев С.П. Деформационная модель радиального роста древесных растений // Мат-лы межд. конф. «Биоразнообразие». Пенза, 2008. Т. 1. С. 75.
4. Ледяева А.С. Обоснование оптимального раскрытия хлыстов методом линейного программирования. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2007. 29 с.
5. Пшеничникова Л.С. Продуктивность сосновых молодняков разной густоты // Факторы продуктивности леса. Новосибирск: Наука, 1989. С. 36.
6. Сороко Э.М. Структурная гармония систем. Минск: Наука и техника, 1984. 264 с.
7. Коновалов А.А., Иванов С.Н. Климат, фитопродуктивность и палиноспектры: связи, распределение и методика палеорекопструкций. Новосибирск: Гео, 2007. 130 с.
8. Михайличенко А.Л., Сметанин И.С. Практикум по древесиноведению и лесному товароведению, М.: Лесная промышленность, 1989. 114 с.
9. Карлстром Т.В. История оледенения Аляски и ее значение для теории палеоклимата // Солнечная активность и изменения климата. Л.: Гидрометеиздат, 1966. С. 119.