

Шимкевич В.А., Прокопьев М.Н., Касимов А.К. Пути повышения эффективности лесовосстановления в таежной зоне Предуралья // Рациональное использование лесов Урала и повышение их средообразующей роли. - Свердловск, 1976. - С. 44-46.

УДК 630*114: 630*182: 519.876

П.М. Мазуркин
(P.M. Mazurkin)

(Марийский государственный технический университет)



Мазуркин Петр Матвеевич, доктор технических наук, профессор, академик РАЕ (2009), академик РАЕН (1997), член Европейской Академии Естествознания (2008). Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, заслуженный деятель науки и техники Республики Марий Эл. Заведующий кафедрой природообустройства Марийского государственного технического университета, факультет природообустройства и водных ресурсов. Основатель научной школы «Биотехническое проектирование». Автор 614 основных публикаций, в том числе 44 научных изданий, 22 учебных пособия, 14 учебно-методических разработок, 216 авторских свидетельств и патентов на изобретения, 318 статей, а также 44 отчетов с госрегистрацией, 55 депонированных изданий и 298 тезисов докладов.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОМАССЫ СОСНЯКА ПО ПРОБНЫМ ПЛОЩАДЯМ (DISTRIBUTION PHYTOMASS A PINE FOREST ON THE TRIAL AREAS)

По данным проф. Э.А. Курбанова, по удельной растительной массе древесной растительности на 142 пробных площадях по соснякам Волго-Вятского региона представлены устойчивые статистические закономерности факторного анализа.

According to professor E.A. Kurbanov, to the specific forage tree for 142 sample plots in pine forests of the Volga-Vyatka region are stable statistical regularities of factor analysis.

Данные по удельной фитомассе древесной растительности на 142 пробных площадях по соснякам Волго-Вятского региона приведена в монографии [1, с.234-248, прил. П1].

Фрагмент табличной модели с дополнениями показан в табл. 1.

Таблица 1

Данные по удельной фитомассе сосняков в абсолютно сухом состоянии

№ п/п	Возраст \bar{A} , лет	Удельная фитомасса*, т га ⁻¹							Древесина Q_D , т га ⁻¹	Всего Q , т га ⁻¹	Доля древесины γ_D	Доля хвои γ_x	Доля детрита γ_∂
		стволов в коре Q_c^k	ветвей в коре Q_v^k	хвои Q_x	детрита Q_∂	подроста Q_n	подлеска $Q_{пл}$	ЖНП $Q_{жнт}$					
1	70	118	15.4	5.7	29.4	2.40	0.54	2.9	133.4	174.34	0.7652	0.0327	0.1686
2	105	158	17.9	5.2	6.9	3.20	0.48	3.4	175.9	195.08	0.9017	0.0267	0.0354
3	67	98	13.2	4.7	10.6	2.90	0.64	3.1	111.2	133.14	0.8352	0.0353	0.0796
4	61	75	10.2	5.1	11.8	2.20	0.72	2.2	85.2	107.22	0.7946	0.0476	0.1101
5	118	149	18.4	3.7	13.6	2.30	0.81	2.7	167.4	190.51	0.8787	0.0194	0.0714
...
138	86	138	15.2	5.0	20.8	2.30	0.42	3.3	153.2	185.02	0.8280	0.0270	0.1124
139	62	117	12.6	4.7	6.8	0.87	0.41	2.5	129.6	144.88	0.8945	0.0324	0.0469
140	54	92	10.6	4.7	15.6	0.58	0.45	2.8	102.6	126.73	0.8096	0.0371	0.1231
141	68	87	7.8	4.5	0.0	0.84	0.37	0.0	94.8	100.51	0.9432	0.0448	0.0000
142	110	262	18	4.4	24.8	5.70	1.20	4.2	280.0	320.30	0.8742	0.0137	0.0774

* Отсутствуют данные по пнекорневой древесине с корой; ЖНП – живой напочвенный покров; доли вычислены относительно общей удельной фитомассы.

Для моделирования [2-5] приняты следующие условные обозначения: \bar{A} – средний возраст деревьев на пробной площади, лет; Q_c^k – удельная фитомасса стволов деревьев в коре, т/га; Q_v^k – удельная фитомасса ветвей деревьев в коре, т/га; Q_x – удельная фитомасса хвои, т/га; Q_∂ – удельная фитомасса детрита, т/га; Q_n – удельная фитомасса подроста деревьев, т/га; $Q_{пл}$ – удельная фитомасса подлеска, т/га; $Q_{жнт}$ – удельная фитомасса живого напочвенного покрова, т/га; Q_D – удельная фитомасса древесины в коре, т/га; Q – общая удельная фитомасса сосняка, т/га; γ_D – доля древесины в удельной фитомассе сосняка; γ_x – доля хвои (живого вещества) в удельной фитомассе сосняка; γ_∂ – доля детрита (мортмассы) в фитомассе сосняка.

По определению [1, с.140]: «К древесному детриту, помимо традиционного сухостоя, валежа и ветровала, добавляется древесина от санитарных рубок и рубок ухода, которая в большинстве случаев остается в лесу на перегнивание». Иначе все эти компоненты называют мортмассой.

Косвенно динамика таксационных показателей определяется в зависимости от среднего возраста древостоя. На период измерений с 1990 по 2000 гг. искомые зависимости типа $T = f(\bar{A})$ определяют структурную динамику фитоценозов в виде множества из 142 лесных массивов.

Удельная фитомасса стволов деревьев в коре изменяется по биотехнической закономерности (рис. 1) в виде математической формулы

$$Q_c^k = 2,42665\bar{A}^{0,87141}. \quad (1)$$

По рис. 1 сумма квадратов отклонений S равна 40.1, а коэффициент корреляции r равен 0.6411, что достаточно для изучения лесных ценозов.

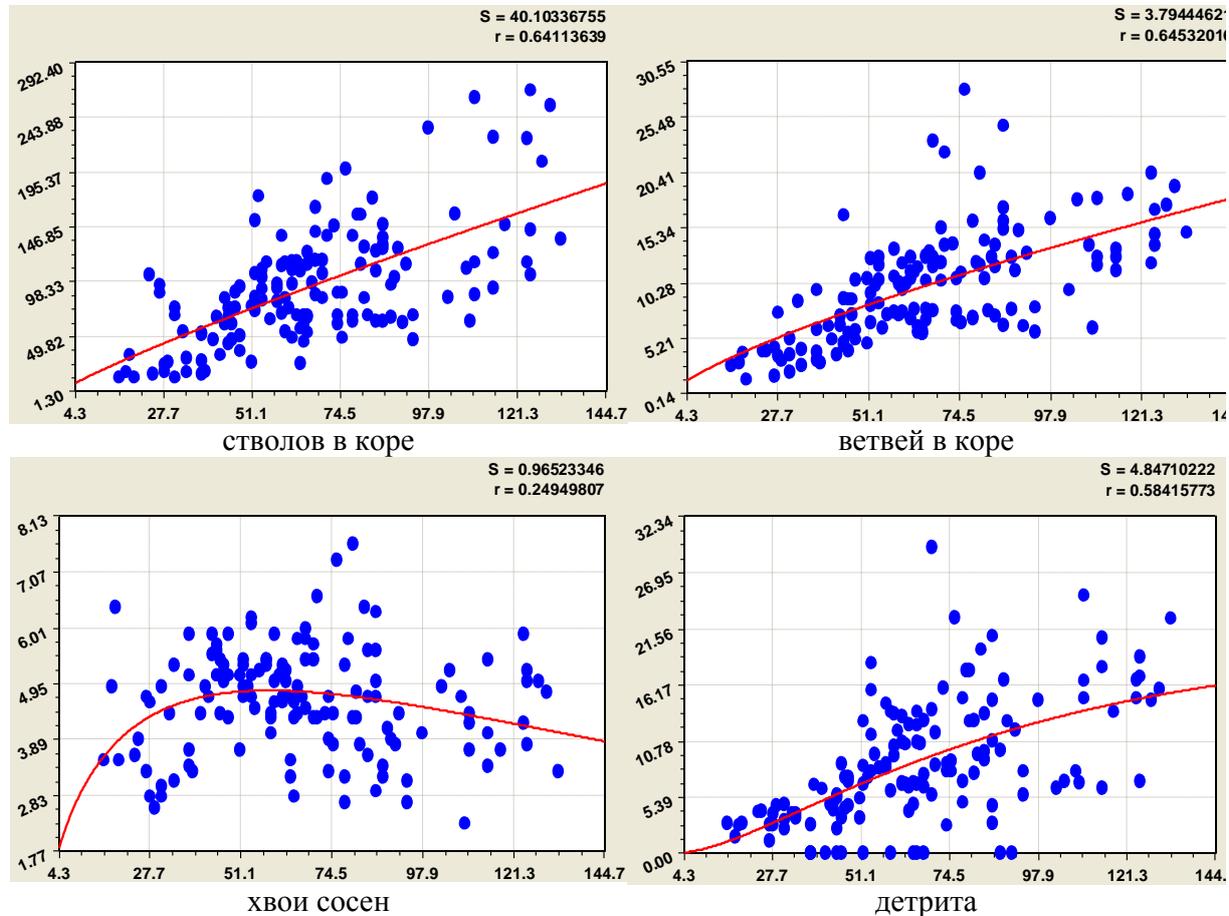


Рис. 1. Возрастная динамика удельной фитомассы сосняков на пробных площадях

Фитомасса ветвей в коре (см. рис. 1) менялась по уравнению

$$Q_e^k = 0,43866\bar{A}^{0,74698}. \quad (2)$$

С не меньшей адекватностью остатки меняются в зависимости от бонитета лесной почвы. Однако в данной статье приведены только однофакторные тренды (тенденции).

Удельная фитомасса хвои (см. рис. 1) имеет закономерность вида

$$Q_x = 0,79900\bar{A}^{0,75370} \exp(-0,11290\bar{A}^{0,59479}). \quad (3)$$

Максимум удельной растительной массы хвои у сосен наблюдается в 50-60 лет. Это указывает на неблагоприятные условия произрастания сосняков, которые с возрастом деградируют свои ассимиляционные и, по-видимому, регенеративные способности.

Удельная фитомасса детрита (см. рис. 1) показала выражение

$$Q_d = 59218,6\bar{A}^{5,47966} \exp(-17,63597\bar{A}^{0,14045}). \quad (4)$$

Максимум образования древесного детрита наблюдается после 140-летнего возраста сосняка.

Между процессами образования хвои и древесного детрита в лесных фитоценозах должна существовать адекватная связь.

Удельная фитомасса подроста деревьев (рис. 2) изменялась так:

$$Q_n = 0,00013020\bar{A}^{2,13827}. \quad (5)$$

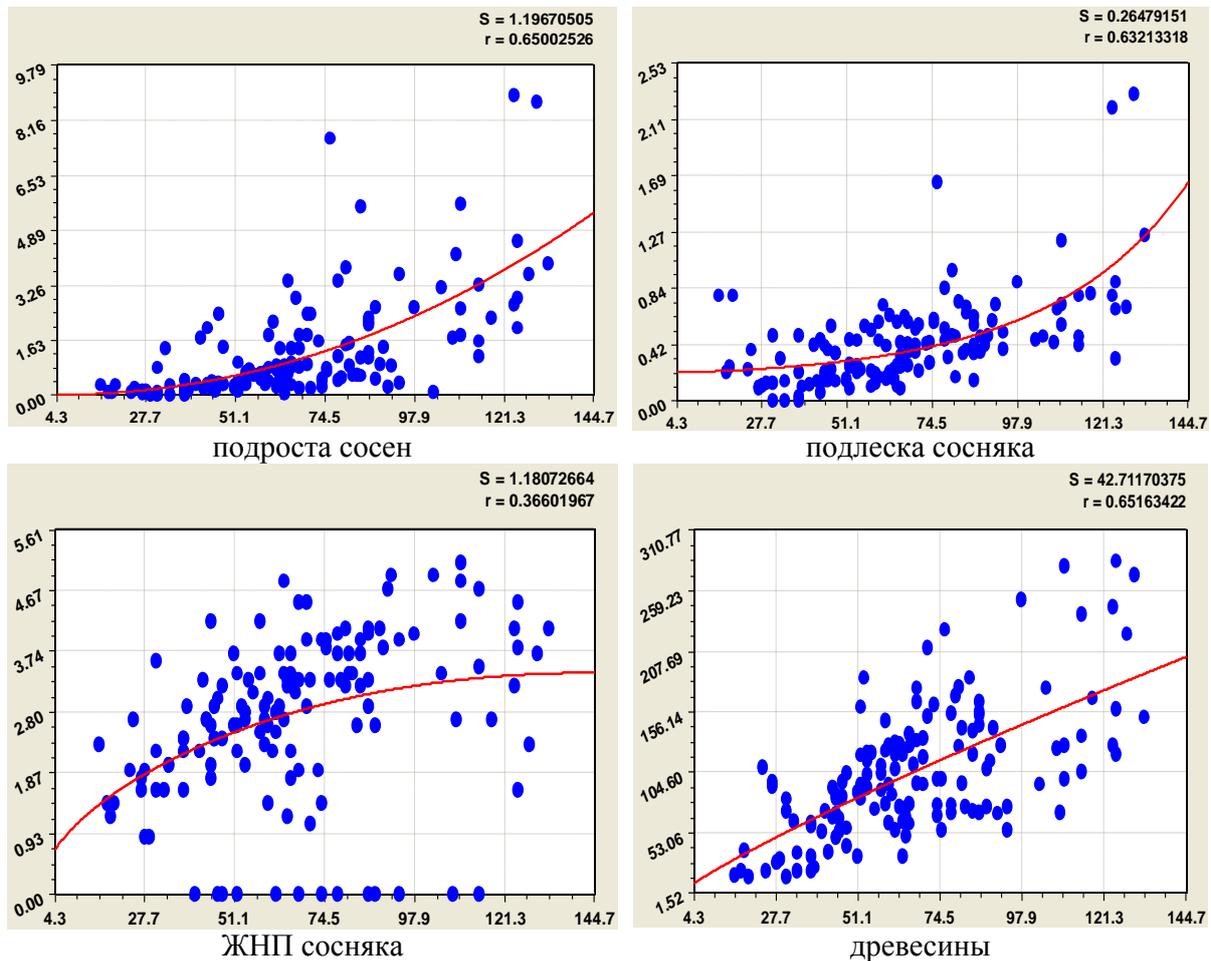


Рис. 2. Возрастная динамика удельной массы сосняков на пробных площадях

Формула (5) не имеет предела роста из-за малого интервала возраста. Максимум генерации у сосен ожидается в 200-250 лет, поэтому сплошные рубки сосен в пятом классе возраста «на корню» губят у фитоценозов способности к самовоспроизводству.

Удельная фитомасса подлеска (см. рис. 2) определилась выражением

$$Q_{nl} = 0,21561 \exp(0,00038996\bar{A}^{1,72003}). \quad (6)$$

Закон экспоненциального роста показывает, что в нулевом возрасте древостоя, когда нет сосен, уже наблюдается подлесок с удельной фитомассой 0.2156 т/га. Поэтому лесной фитоценоз является симбиотическим растительным покровом.

Фитомасса живого напочвенного покрова (см. рис. 2) имеет формулу

$$Q_{жнп} = 0,31811\bar{A}^{0,53440} \exp(-2,77509 \cdot 10^{-5} \bar{A}^{1,85814}). \quad (7)$$

Живой напочвенный покров в основном содержит траву, которая меняется с возрастом по тому же биотехническому закону [3-5], что и лесные деревья. На оси абсцисс расположились сосняки без ЖНП. В среднем наблюдается максимум фитомассы ЖНП в сосняках возрастом 120-160 лет.

Удельная фитомасса древесины в коре (см. рис. 2) менялась так:

$$Q_D = 2,83819\bar{A}^{0,85842}. \quad (8)$$

Ствол, ветви и сучья, пень и корни образуют древесинное тело конкретной пространственной формы. Вместе с тем с возрастом лесного дерева ствол начинает по массе и её доле преобладать над кронами из-за конкурентного развития и роста по сравнению с соседями.

Общая удельная фитомасса сосняка (рис. 3) получила формулу

$$Q = 3,68819\bar{A}^{0,83372} \quad (9)$$

Нет предела роста по массе живого и мертвого вещества (по В.И. Вернадскому) среди данного для моделирования множества сосняков. Как и в любой территориальной популяции фитоценозов [4], он должен быть.

Двухфакторная модель имеет вид (см. рис. 3) трехчастной формулы

$$Q = 3,68819\bar{A}^{0,83372} + 143,1599 \exp(-0,12902\bar{B}^{1,79940}) - 67,1719. \quad (9a)$$

Здесь плодородие лесной почвы влияет на удельную фитомассу сосняка с коэффициентом корреляции 0,7324.

Дальше можно определить влияние и других независимых переменных факторов древостоя.

Доля древесины в фитомассе сосняка (см. рис. 3) получила формулу

$$\gamma_D = 0,39499\bar{A}^{0,33157} \exp(-0,089952\bar{A}^{0,46124}). \quad (10)$$

Интересно отметить, что максимум формирования древесинного тела наблюдается в пределах 70-120 лет, а в дальнейшем начинают возрастать другие компоненты фитомассы сосняков.

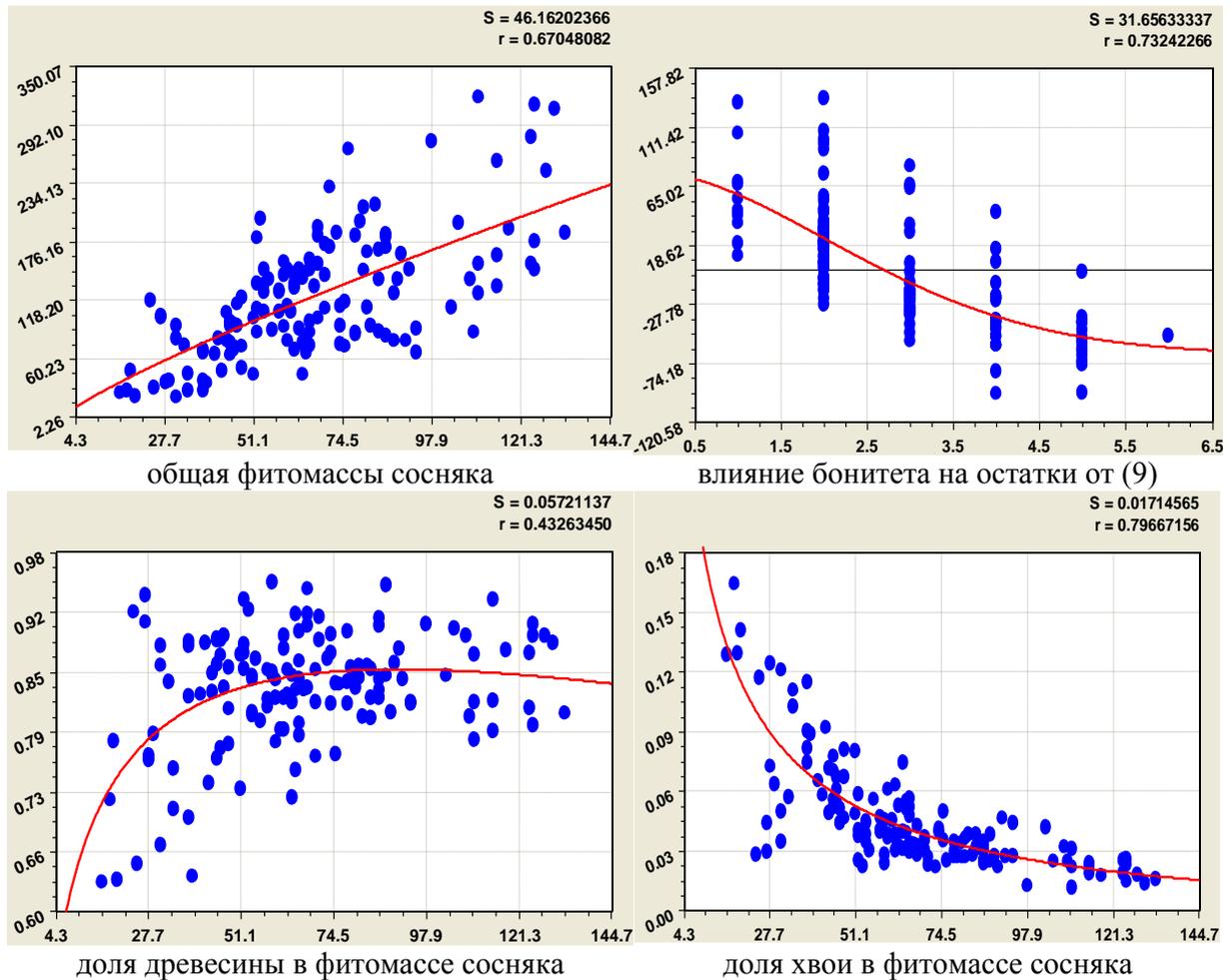


Рис. 3. Возрастная динамика и влияние бонитета на пробных площадях сосняков

Доля хвои (живого вещества) в фитомассе сосняка (см. рис. 3):

$$\gamma_x = \exp(-0,81618\bar{A}^{0,32321}). \quad (11)$$

Из-за высокой адекватности при коэффициенте корреляции 0,80 модель (11) может быть применена для биоиндикации лесной территории.

Доля детрита (мортмассы) в фитомассе получила формулу с коэффициентом корреляции всего 0,0877. Поэтому древесный детрит не может быть использован как индикатор экологического состояния фитоценоза.

В табл. 2 приведены адекватности при условии $r > 0,6$.

Из данных табл. 2 видно, что ранг бонитета влияет на удельную растительную массу значимее, чем средний возраст древостоя по пробной площади. Это происходит из-за разброса значений возраста лесных деревьев в одном и том же древостое, принятом за одновозрастной сосняк.

Таблица 2

Факторные связи по значимым коэффициентам корреляции 0,6 и выше

Влияющие факторы	Зависящие факторы соснового фитоценоза, т/га							
	Q_c^k	Q_b^k	Q_x	Q_n	Q_{nl}	Q_D	Q	γ_x
Возраст, лет	0,6411	0,6453	-	0,6500	0,6321	0,6516	0,6705	0,7967
Ранг бонитета	0,6922	0,7134	0,7308	-	-	0,7130	0,7324	-

Факторный анализ. Исключим из данных табл. 1 относительные показатели. Тогда по 10 абсолютным показателям возможны $10^2 - 10 = 90$ бинарных факторных связей, все подчиняющиеся закономерности вида

$$y = y_0 \exp(a_1 x^{a_2}) + a_3 x^{a_4} \exp(-a_5 x^{a_6}), \quad (12)$$

где y - зависимый фактор, y_0 - зависимый фактор при $x=0$, x - влияющий фактор, $a_1..a_6$ - параметры модели (12).

Результаты идентификации устойчивой закономерности (12) приведены в табл. 3 в виде матрицы коэффициентов корреляции.

Таблица 3

Корреляционная матрица связей между факторами фитомассы сосняков

Влияющие факторы фитомассы сосняков, т га-1	Зависимые факторы фитомассы сосняков, т га-1									
	Возраст \bar{A} , лет	стволы в коре Q_c^k	ветви в коре Q_b^k	хвои Q_x	детрит Q_d	подрост Q_n	подлесок Q_{nl}	ЖНП $Q_{жнп}$	Древесина Q_D	Всего Q
Возраст \bar{A} , лет	1	0,641	0,659	0,249	0,584	0,660	0,632	0,367	0,652	0,670
Стволы в коре Q_c^k	0,655	1	0,8215	0,446	0,638	0,656	0,619	0,258	0,9987	0,9933
Ветви в коре Q_b^k	0,688	0,8102	1	0,508	0,676	0,628	0,565	0,271	0,8391	0,8535
Хвоя Q_x	0,047	0,405	0,525	1	0,261	0,182	0,130	0,073	0,420	0,424
Детрит Q_d	0,608	0,649	0,652	0,258	1	0,535	0,401	0,261	0,659	0,7162
Подрост Q_n	0,7077	0,660	0,673	0,215	0,596	1	0,8672	0,336	0,666	0,695
Подлесок Q_{nl}	0,624	0,572	0,564	0,162	0,503	0,8570	1	0,304	0,580	0,606
ЖНП $Q_{жнп}$	0,474	0,310	0,314	0,156	0,369	0,351	0,345	1	0,315	0,347
Древесина	0,664	0,9987	0,8474	0,453	0,654	0,670	0,627	0,264	1	0,9961
Всего	0,681	0,9933	0,8609	0,452	0,7105	0,7076	0,666	0,326	0,9960	1

Принято, что сильные связи образуются при коэффициенте корреляции $R \geq 0,7$ (табл. 4). Однако с биологических позиций важны и слабые факторные связи, которые позволяют правильно ставить новые опыты.

Таблица 4

Корреляционная матрица сильных факторных связей фитомассы сосняков

Влияющие Факторы фитомассы сосняков, т га-1	Зависимые факторы фитомассы сосняков, т га-1							
	Возраст \bar{A} , лет	стволы в коре Q_c^k	ветви в коре Q_b^k	детрит Q_d	подрост Q_n	подлесок $Q_{пл}$	Древесина Q_D	Всего Q
Стволы в коре Q_c^k		1	0,8215				0,9987	0,9933
Ветви в коре Q_b^k		0,8102	1				0,8391	0,8535
Детрит Q_d				1				0,7162
Подрост Q_n	0,7077				1	0,8672		
Подлесок $Q_{пл}$					0,8570	1		
Древесина Q_D		0,9987	0,8474				1	0,9961
Всего Q		0,9933	0,8609	0,7105	0,7076		0,9960	1

Факторные связи. Из данных табл. 4 видно, что сверхсильные связи имеются по стволу древесине, являющейся накапливаемым в ходе развития и роста лесных деревьев веществом.

Рассмотрим несколько примеров сильных оригинальных связей.

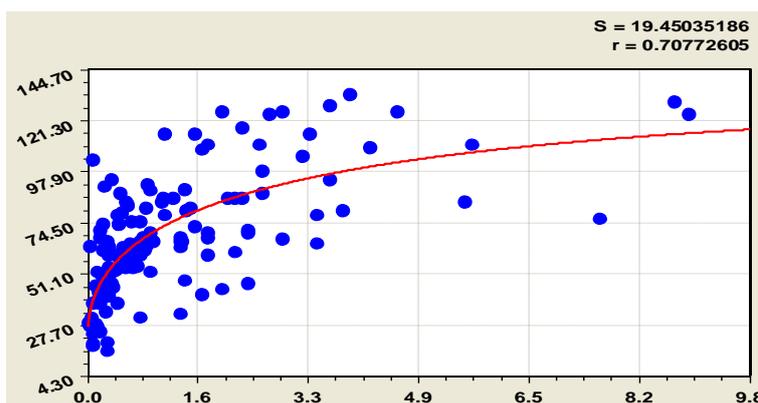


Рис. 4. Влияние растительной массы подростка сосняка на его возможно достижимый возраст

сосняка (возможного в среднем по аналогии с расчетом возможного среднего возраста людей) по формуле вида

$$\bar{A} = 25,8508 + 89,8021Q_n^{0,61590} \exp(-0,68900Q_n^{0,30685}). \quad (13)$$

Расчеты показали, что распределение общей фитомассы Q такое, что сосняки Волго-Вятского региона нашей страны имеют предельно возмож-

ный возраст в 22,5 тыс. лет. При этом устойчивость сосновые насаждения приобретают только через 16 лет после посадки саженцев.

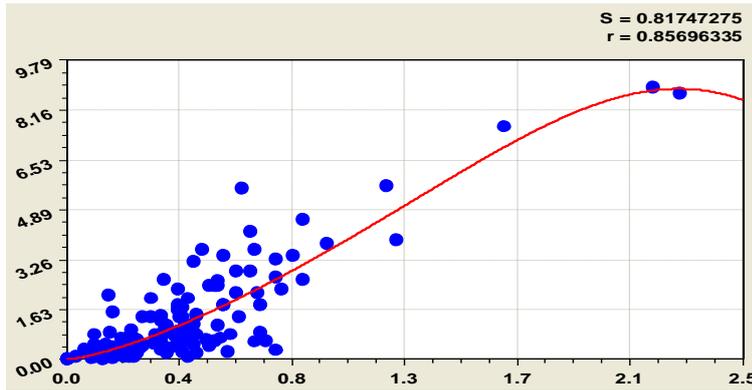


Рис. 5. Влияние подлеска на фитомассы подроста сосны

Из общей модели (12) эта модель (13) получается при условии $a_2 = 0$.

Между подростом и подлеском существуют взаимно обратимые связи.

Например, фитомасса подлеска влияет на возникновение растительной массы подроста главной породы лесных деревьев (рис. 5) по устойчивой закономерности вида

$$Q_n = 3,67440Q_{нл}^{1,38810} \exp(-0,0038464Q_{нл}^{5,13653}). \quad (14)$$

На графике имеется оптимум фитомассы подлеска, выше которого возникновение подроста сосны затрудняется.

Заметно влияние детрита с коэффициентом корреляции 0,7162 (см. табл. 4) на формирование всей растительной массы в популяции сосняков.

После параметрической идентификации модели (12) была получена двухчленная биотехническая закономерность (рис. 6) вида

$$Q = 70,5467 + 0,33647Q_0^{3,00266} \exp(-0,25003Q_0^{0,82789}). \quad (15)$$

Здесь без детрита образуется общая фитомасса сосняка в $70,55 \text{ т га}^{-1}$.

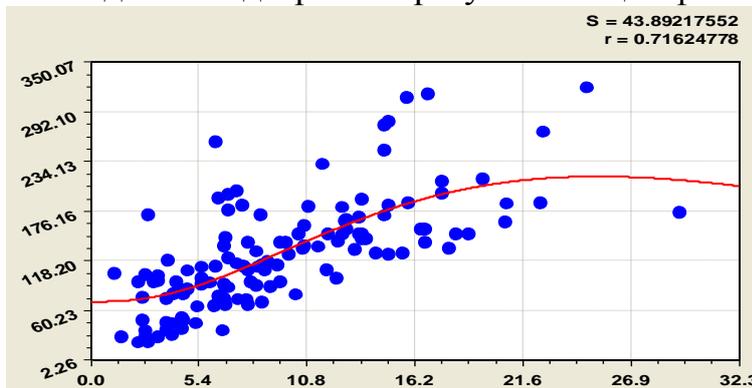


Рис. 6. Влияние детрита на общую фитомассу сосняка

Таким образом, морт-масса леса не является пассивным косным веществом. Она вызывает стрессовое возбуждение всего лесного фитоценоза.

При оптимуме детрита в $23-25 \text{ т га}^{-1}$ возникает в сосняке максимум общей растительной массы всего лесного фитоценоза в $212-217 \text{ т га}^{-1}$. Тогда получается, что оптимальный объем детрита вызывает прирост общей массы фитоценоза сосняка в $(212-217) / 70,55 \approx 3,0$ раза.

Особый интерес представляет также влияние с коэффициентом корреляции 0,8535 ветвей в коре на аккумуляцию общей фитомассы (рис. 7):

$$Q = 11,34607 Q_6^{1,05106} \exp(-1,28343 \cdot 10^{-5} Q_6^{3,14884}). \quad (16)$$

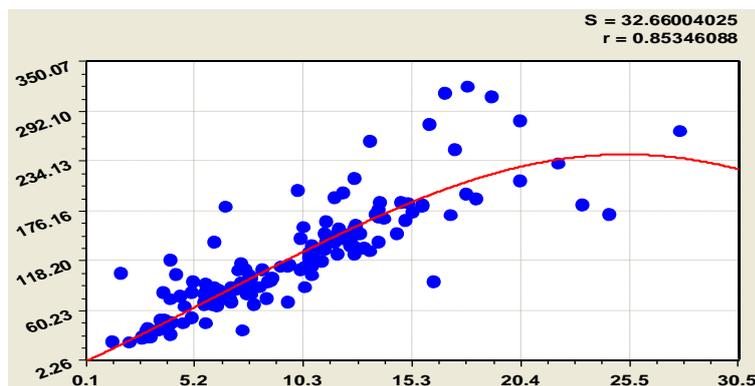


Рис. 7. Влияние удельной массы ветвей с корой на общую растительную удельную массу сосняка

Ветви с корой должны иметь в оптимальном случае 25,5 т га⁻¹, тогда достигается общая фитомасса сосняка в среднем до 240 т га⁻¹. С дальнейшим снижением удельной массы ветвей лесных сосен происходит снижение общей массы. Аналогичное влияние происходит и на накопление древесной массы.

Выводы. Закономерности распределения фитомассы по отдельным компонентам лесного фитоценоза возможно выявить, например, по множеству сосняков. Они представляют собой условную популяцию в виде множества пробных площадей, по которым вполне удастся выявить устойчивые закономерности взаимного влияния таксационных показателей.

Библиографический список

1. Курбанов Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. - 300 с.
2. Мазуркин П.М., Филонов А.С. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: учеб. пособие. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. - 292 с.
3. Мазуркин П.М., Михайлова С.И. Биотехническая оценка пойменного луга. М.: Изд-во «Академия естествознания», 2009. - 279 с.
4. Мазуркин П.М., Михайлова С.И., Автономов А.Н. Метод анализа территориального экологического неравновесия // Успехи современного естествознания. - 2008. - № 9. - С.81-85.
5. Мазуркин П.М., Степкина Е.А. Экологическое равновесие древо-стоя. - М.: Изд-во «Академия естествознания», 2009. - 240 с.