УДК 630.566

АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТПАДА ПИХТОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ СИБИРИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА

Котов А.В.

аспирант,

Сибирский государственный университет науки и технологии им. академика М.Ф. Решетнева,

Красноярск, Россия

Вайс А.А.

профессор, доктор сельскохозяйственных наук, доцент,

Сибирский государственный университет науки и технологии им. академика М.Ф. Решетнева,

Красноярск, Россия.

Соклаков Н.А.

аспирант,

Сибирский государственный университет науки и технологии им. академика М.Ф. Решетнева,

Красноярск, Россия

Аннотация

Естественный отпад деревьев является важным процессом формирования лесных насаждений. Его интенсивность влияет на количество стволов, запас древесины и образование сухостоя. Оценка отпада необходима для изучения возрастной динамики лесов и определения запасов мёртвой древесины.

Ключевые слова: пихтовые насаждения, отпад древесины, таблицы хода роста

ANALYSIS OF THE DECAY RATES OF FIR FORESTS IN SIBERIA DEPENDING ON AGE

Kotov A.V.
graduate student,
Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev,
Krasnoyarsk, Russia

Vais A.A.
Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev,
Krasnoyarsk, Russia

Soklakov N.A.
graduate student,
Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev,
Krasnoyarsk, Russia

Abstract

Natural tree mortality is an important process in the formation of forest stands. Its intensity affects the number of stems, timber stock, and the formation of deadwood. Assessing mortality is necessary to study the age dynamics of forests and to determine the stocks of deadwood.

Keywords: fir stands, wood mortality, growth tables.

Цель работы – исследовать изменение коэффициента отпада по запасу и по количеству древесины в зависимости от возраста пихтовых насаждений Сибири.

Моделирование отпада, отражающего процессы самоизреживания и естественной смертности, рассматривалось в различных публикациях наших соотечественников и их последователей. В последние десятилетия особое внимание уделяется влиянию биотических факторов, в частности инвазии уссурийского полиграфа (Polygraphus proximus), на состояние пихты сибирской (Abies sibirica) [1].

В качестве исходных данных использованы таблицы хода роста пихтовых насаждений Сибири № 1-8. Они содержат сведения о возрасте древостоев, количестве стволов на гектар и запасе живой древесины и характеризуют насаждения различных лесохозяйственных районов и типов леса [2].

В работе использованы следующие показатели: A – возраст насаждения, лет; N – количество стволов на гектар, шт./га; M – запас древесины, м³/га; $\Delta N_{отп}$ – количество отпавших стволов за межвозрастной период, шт./га; $M_{отп}$ – запас древесины отпада, м³/га; $K_{от}N$ – коэффициент отпада по числу стволов; $K_{от}M$ – коэффициент отпада по запасу древесины.

Данные сведены в общую таблицу 1 для сопоставления возрастных изменений показателей в разных насаждениях.

Расчёт коэффициентов отпада выполняется для каждой возрастной группы в пределах соответствующей таблицы хода роста. Исключение составляет младшая возрастная группа, для которой отсутствуют данные о предыдущем возрасте, необходимые для определения отпада за межвозрастной период. Поэтому расчёт коэффициентов начинается со следующей возрастной группы, относительно которой доступны данные о предшествующем возрасте.

Средний объём дерева определяется как отношение запаса древесины к количеству стволов и рассчитывается по формуле 1.

$$V_i = M_i / N_i, \quad (1)$$

где V_A – средний объём одного дерева в A-ом возрасте, м³;

M_A – запас древесины в A-ом возрасте, м³/га;

N_A – количество стволов в A-ом возрасте, шт/га.

Количество отпада за межвозрастной A-ый период определяется как разность количества стволов между последовательными возрастными древостоями и рассчитывается по формуле 2.

$$\Delta N_{отп\,A} = N_{A-1} - N_A \quad , \quad (2)$$

где $\Delta N_{отп\ A}$ – количество отпавших стволов за межвозрастной A-ый период, шт/га;

N_{A-1} – количество стволов в предыдущем возрастном периоде, шт/га;

N_A – количество стволов в A-ом рассматриваемом возрасте, шт/га.

Если разность отрицательная, отпад принимается равным нулю. Высокая численность деревьев в младших возрастных группах может быть связана с особенностями естественного возобновления пихты под пологом старшего поколения древостоя.

Запас отпавшей древесины рассчитывается как произведение количества отпавших стволов на средний объём дерева (формула 3).

$$M_{отп} = \Delta N_{отп\,A} \times V_A \quad , \quad (3)$$

где $M_{отп}$ – запас древесины отпада, м³/га;

$\Delta N_{отп\ A}$ – количество отпавших стволов за межвозрастной A-ый период, шт/га;

V_A – средний объём дерева, соответствующий принятому A возрасту расчёта, м³.

Коэффициент отпада по числу стволов характеризует долю отпавших деревьев относительно количества стволов в начале периода (формула 4).

$$K_{отA}N = \Delta N_{отп\,A} / N_A \ , \qquad (4)$$

где $\Delta N_{отп\,A}$ – количество отпавших стволов за межвозрастной A–ый период, шт/га;

N_A – количество стволов в начале рассматриваемого периода A, шт/га.

Коэффициент отпада по запасу древесины характеризует долю запаса древесины отпада относительно запаса живого древостоя в начале периода и рассчитывается по формуле 5.

$$K_{отA}M = M_{отп\,A} / M_{A-1} \quad , \qquad (5)$$

где $M_{отп\,A}$ – запас древесины отпада A–го периода, м³/га; M_{A-1} – запас живой древесины в начале периода, м³/га.

Для оценки возрастной динамики коэффициентов отпада был выполнен регрессионный анализ данных таблиц хода роста пихтовых насаждений. Для подробного анализа отобраны таблицы № 1-8, содержащие данные по нескольким возрастным группам. Исходные данные и рассчитанный коэффициент отпада по запасу представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные и рассчитанный коэффициент отпада по запасу

A, лет	*N*, шт./га	*M*, м³/га	$N_{отп}$, шт./га	*V*, м³	$M_{отп}$, м³/га	$K_{отп}$ *M*	$K_{отп}$ *N*
1	2	3	4	5	6	7	8
Таблица 1: Средне – Сибирская низкогорно – плоскогорная лесохозяйственная область (II), южнотаежный лесохозяйственный район (8). Тип леса – мшисто–ягодный, III класс бонитета							
30	3080	75	–	0,02	–	–	–
40	1885	105	1195	0,06	67	0,89	0,39

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
50	1285	130	600	0,10	61	0,58	0,32
60	945	150	340	0,16	54	0,42	0,26
70	775	169	170	0,22	37	0,25	0,18
80	635	188	140	0,30	41	0,25	0,18
90	585	204	50	0,35	17	0,09	0,08
100	525	219	60	0,42	25	0,12	0,10
110	500	234	25	0,47	12	0,05	0,05
120	470	247	30	0,53	16	0,07	0,06
130	450	255	20	0,57	11	0,05	0,04
140	435	260	15	0,60	9	0,04	0,03
150	430	264	5	0,61	3	0,01	0,01
160	425	267	5	0,63	3	0,01	0,01
170	420	269	5	0,64	3	0,01	0,01
Таблица 2: Средне – Сибирская низкогорно–плоскогорная лесохозяйственная область (II), среднетаежный лесохозяйственный район (7). Тип леса – мшисто–ягодный. III класс бонитета.							
30	2575	73	–	0,03	–	–	–
40	1930	108	645	0,06	36	0,49	0,25
50	1545	139	385	0,09	35	0,32	0,20
60	1220	164	325	0,13	44	0,31	0,21
70	1040	185	180	0,18	32	0,20	0,15
80	890	201	150	0,23	34	0,18	0,14
90	785	215	105	0,27	29	0,14	0,12
100	680	224	105	0,33	35	0,16	0,13
110	605	229	75	0,38	28	0,13	0,11
120	540	234	65	0,43	28	0,12	0,11
130	510	236	30	0,46	14	0,06	0,06
140	445	237	65	0,53	35	0,15	0,13
150	410	237	35	0,58	20	0,09	0,08
160	390	235	20	0,60	12	0,05	0,05
170	375	230	15	0,61	9	0,04	0,04
Таблица 3: Южно – Сибирская горная лесохозяйственная область (III). Восточно – Саянский горнотаежный лесохозяйственный район (11). Тип леса – мшистый. III класс бонитета							

50	725	160	–	0,22	–	–	–
60	630	187	95	0,30	28	0,18	0,13
70	555	207	75	0,37	28	0,15	0,12
80	500	222	55	0,44	24	0,12	0,10
90	470	234	30	0,50	15	0,07	0,06
100	430	243	40	0,57	23	0,10	0,09
110	410	251	20	0,61	12	0,05	0,05
120	385	257	25	0,67	17	0,07	0,06
130	370	263	15	0,71	11	0,04	0,04
140	360	266	10	0,74	7	0,03	0,03
150	355	269	5	0,76	4	0,01	0,01
Таблица 4: Южно – Сибирская горная лесохозяйственная область (III). Восточно–Саянский горнотаежный лесохозяйственный район (11). Тип леса – мшистый. III класс бонитета							
40	1505	100	–	0,07	–	–	–
50	975	149	530	0,15	81	0,81	0,35
60	810	185	165	0,23	38	0,25	0,17
70	675	215	135	0,32	43	0,23	0,17
80	570	235	105	0,41	43	0,20	0,16
90	515	250	55	0,49	27	0,11	0,10
100	460	260	55	0,57	31	0,12	0,11
110	440	268	20	0,61	12	0,05	0,04
120	410	275	30	0,67	20	0,08	0,07
130	390	279	20	0,72	14	0,05	0,05
140	380	283	10	0,74	7	0,03	0,03
150	370	286	10	0,77	8	0,03	0,03
Таблица 5: Средне – Сибирская низкогорно – плоскогорная лесохозяйственная область (III) Кузнецко – Алтае – Саянская горночерновой лесохозяйственный район (10)							
20	0	20	–	–	–	–	–
30	0	65	–	–	–	–	–
40	5041	100	–	0,02	–	–	–
50	2941	176	2100	0,06	126	1,26	0,42
60	2100	250	841	0,12	100	0,57	0,29
70	1678	322	422	0,19	81	0,32	0,20
80	1347	380	331	0,28	93	0,29	0,20
90	1163	425	184	0,37	67	0,18	0,14
100	1029	446	134	0,43	58	0,14	0,12
110	825	474	204	0,57	117	0,26	0,20
120	852	501	–	0,59	–	–	–
130	793	525	59	0,66	39	0,08	0,07
140	752	548	41	0,73	30	0,06	0,05
150	712	564	40	0,79	32	0,06	0,05
160	675	575	37	0,85	32	0,06	0,05
170	656	585	19	0,89	17	0,03	0,03
180	641	594	15	0,93	14	0,02	0,02
190	628	602	13	0,96	12	0,02	0,02

200	618	607	10	0,98	10	0,02	0,02
Таблица 6: Южно – Сибирская горная лесохозяйственная область (III) Алтае – Тувино–Саянская горнотаежный лесохозяйственный район (9), тип леса разнотравный							
30	2955	52	–	0,02	–	–	–
40	1140	88	1815	0,08	140	2,69	0,61
50	785	122	355	0,16	55	0,63	0,31
60	620	140	165	0,23	37	0,31	0,21
70	550	155	70	0,28	20	0,14	0,11
80	500	163	50	0,33	16	0,11	0,09
90	455	170	45	0,37	17	0,10	0,09
100	435	177	20	0,41	8	0,05	0,04
110	410	182	25	0,44	11	0,06	0,06
120	400	187	10	0,47	5	0,03	0,02
130	390	194	10	0,50	5	0,03	0,03
140	380	197	10	0,52	5	0,03	0,03
150	375	198	5	0,53	3	0,01	0,01
160	365	202	10	0,55	6	0,03	0,03
Таблица 7: Южно – Сибирская горная лесохозяйственная область (III) Алтае – Тувино–Саянская горнотаежный лесохозяйственный район (9), тип леса мшистый							
30	2945	80	–	0,03	–	–	–
40	1190	123	1755	0,10	181	2,27	0,60
50	860	160	330	0,19	61	0,50	0,28
60	645	177	215	0,27	59	0,37	0,25
70	530	193	115	0,36	42	0,24	0,18
80	475	205	55	0,43	24	0,12	0,10
90	425	214	50	0,50	25	0,12	0,11
100	405	220	20	0,54	11	0,05	0,05
110	375	227	30	0,61	18	0,08	0,07
120	360	230	15	0,64	10	0,04	0,04
130	350	236	10	0,67	7	0,03	0,03
140	340	241	10	0,71	7	0,03	0,03
150	330	243	10	0,74	7	0,03	0,03
160	325	244	5	0,75	4	0,02	0,02
Таблица 8: Тип леса – разнотравный							
30	3000	52	–	0,02	–	–	–
40	1147	88	1853	0,08	142	2,73	0,62
50	787	122	360	0,16	56	0,63	0,31
60	620	140	167	0,23	38	0,31	0,21
70	552	155	68	0,28	19	0,14	0,11
80	503	163	49	0,32	16	0,10	0,09
90	457	170	46	0,37	17	0,10	0,09
100	437	177	20	0,41	8	0,05	0,04
110	412	182	25	0,44	11	0,06	0,06
120	400	187	12	0,47	6	0,03	0,03
130	393	194	7	0,49	3	0,02	0,02

140	383	197	10	0,51	5	0,03	0,03
150	370	198	13	0,54	7	0,04	0,03
160	365	202	5	0,55	3	0,01	0,01

Для выявления общих закономерностей возрастной динамики отпада пихтовых насаждений выполнен экспоненциальный регрессионный анализ объединённой выборки из восьми таблиц хода роста, включающей 103 наблюдения. Рассмотрены зависимости коэффициента отпада по запасу древесины и коэффициента отпада по числу стволов от возраста насаждения.

Исследована возрастная динамика коэффициента отпада по запасу древесины, показанная на рисунке 1.

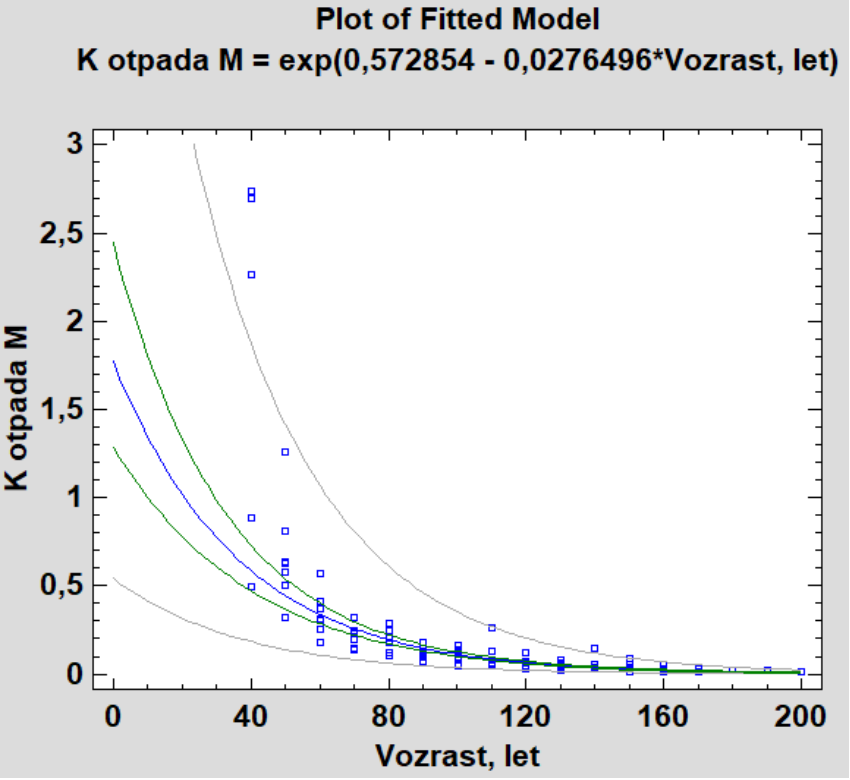


Рис. 1 – Экспоненциальная регрессионная модель возрастной динамики коэффициента отпада по запасу древесины в пихтовых насаждениях по объединённой выборке восьми таблиц хода роста (n=103) [Составлено авторами]

По результатам регрессионного анализа получена экспоненциальная модель:

$$K_{отМ}=exp(0,572854–0,0276496A)$$

где A – возраст насаждения, лет.

Коэффициент корреляции составил (r = – 0,89), коэффициент детерминации (R^2 = 78,6 %). Модель статистически значима (p < 0,001), что свидетельствует о выраженной отрицательной связи между возрастом насаждения и расчётным коэффициентом отпада по запасу древесины.

Далее представлена зависимость коэффициента отпада по числу стволов от возраста насаждения (рисунок 2).

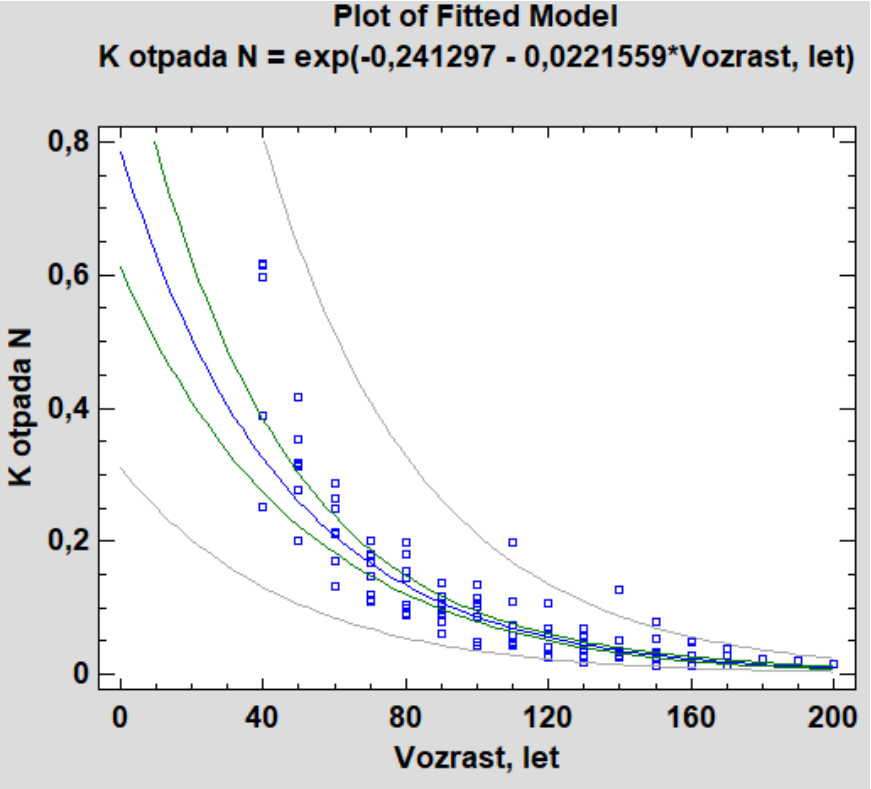


Рис. 2 – Экспоненциальная регрессионная модель возрастной динамики коэффициента отпада по числу стволов в пихтовых насаждениях по объединённой выборке восьми таблиц хода роста (n=103) [Составлено авторами]

Получена следующая экспоненциальная модель:

$$K_{отN} = exp(–0,241297–0,0221559A)$$

где A – возраст насаждения, лет.

Коэффициент корреляции составил (r = – 0,89), коэффициент детерминации (R^2 = 79,4 %). Модель также статистически значима (p < 0,001). Полученные результаты указывают на выраженную отрицательную связь между возрастом насаждения и коэффициентом отпада по числу стволов.

Сопоставление регрессионных зависимостей (рисунки 1 и 2) показывает, что оба коэффициента имеют тенденцию к снижению с увеличением возраста насаждения. Такая динамика может быть связана с изменением густоты и структуры древостоя в процессе роста, усилением внутривидовой конкуренции и естественным изреживанием. По мере развития насаждения часть деревьев выпадает из древостоя, а сохранившиеся древостои продолжают рост. При этом изменение числа стволов и запаса древесины происходит неодинаково, что отражается в различиях между моделями.

Коэффициенты детерминации обеих моделей составляют около 79 %, то есть возрастная зависимость описывает значительную часть вариации расчётных коэффициентов в объединённой выборке. Рассеяние наблюдений относительно регрессионных кривых указывает на неоднородность исследуемых насаждений и наличие факторов, не учитываемых моделями.

Для оценки взаимосвязи коэффициентов отпада по числу стволов и по запасу древесины выполнен экспоненциальный регрессионный анализ объединённой выборки из восьми таблиц хода роста, включающей 103 наблюдения, показанный на рисунке 3.

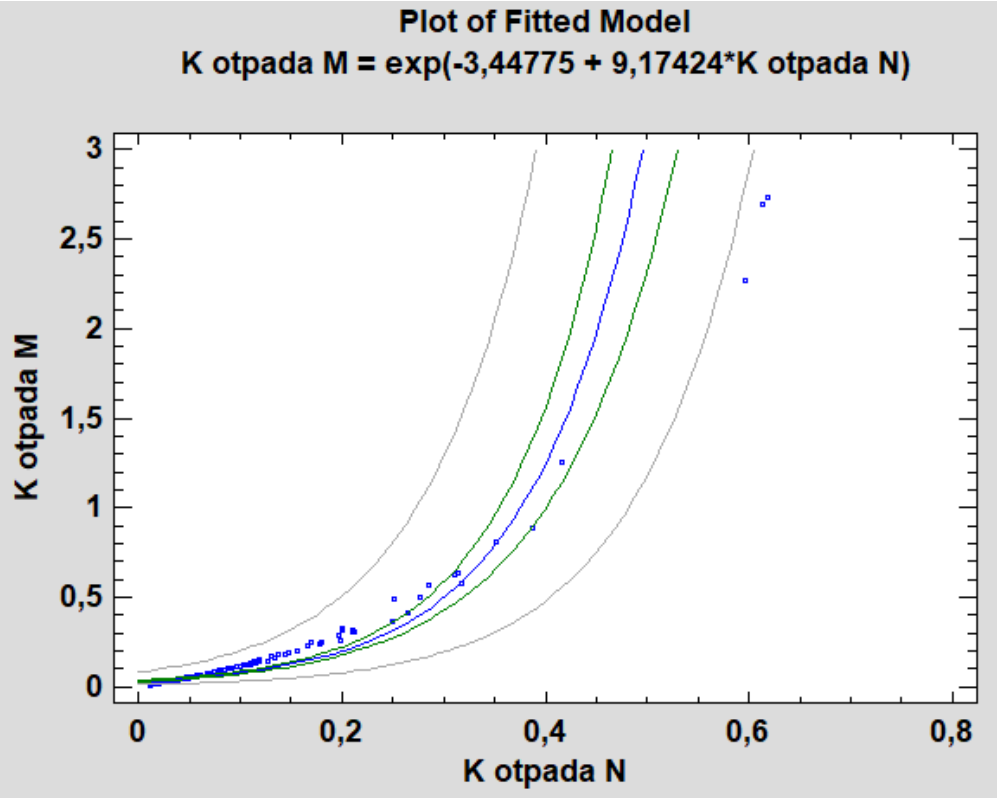


Рис. 3 – Экспоненциальная регрессионная модель зависимости коэффициента отпада по запасу древесины от коэффициента отпада по числу стволов в пихтовых насаждениях по объединённой выборке восьми таблиц хода роста (n=103) [Составлено авторами]

По результатам анализа получена следующая модель:

$$K_{отM} = exp(–3{,}44775 + 9{,}17424K_{отN})$$

где $K_{отM}$ – коэффициент отпада по запасу древесины; $K_{отN}$ – коэффициент отпада по числу стволов.

Коэффициент корреляции составил (r = 0,93), коэффициент детерминации (R^2 = 85,8 %). Модель статистически значима (p < 0,001), что свидетельствует о выраженной положительной связи между рассматриваемыми показателями.

Полученная зависимость характеризуется нелинейным увеличением коэффициента отпада по запасу древесины при повышении коэффициента отпада по числу стволов. На графике (рисунок 5) видно, что при относительно низких значениях $K_{отN}$ коэффициент $K_{отM}$ увеличивается сравнительно медленно, тогда как при более высоких значениях первого показателя наблюдается более резкий рост второго. Такая форма зависимости указывает на то, что увеличение доли отпавших стволов сопровождается непропорциональным изменением коэффициента отпада по запасу древесины.

Закономерность связана с различиями в размерах деревьев, выпадающих из древостоя. Количество отпавших стволов характеризует численную сторону процесса, тогда как запас отпавшей древесины зависит также от объёма отдельных деревьев. Поэтому одинаковая доля отпада по числу стволов может соответствовать различным значениям отпада по запасу древесины в зависимости от структуры древостоя и размеров отпавших деревьев.

Регрессионный анализ выявил положительную нелинейную связь между коэффициентом отпада по числу стволов и коэффициентом по запасу древесины в объединённой выборке. Полученная модель может использоваться для описания статистической взаимосвязи этих показателей в пределах исследованных таблиц хода роста.

В результате исследования возрастной динамики коэффициентов отпада пихтовых насаждений Сибири по данным таблиц хода роста установлены закономерности изменения отпада по числу стволов и по запасу древесины в зависимости от возраста древостоев.

При анализе объединённой выборки из восьми таблиц хода роста, включающей 103 наблюдения, установлена отрицательная зависимость коэффициентов отпада от возраста. Коэффициент детерминации составил 78,6 % для отпада по запасу древесины и 79,4 % для отпада по числу стволов.

Между коэффициентами отпада по числу стволов и по запасу древесины выявлена выраженная положительная нелинейная связь. Коэффициент

корреляции составил 0,93, а коэффициент детерминации – 85,8 %. Зависимость отражает взаимосвязь количественной и объёмной характеристик отпада и может использоваться для описания их совместного изменения в пределах исследованной выборки.

Выявленные закономерности согласуются с изменением густоты и структуры древостоя в процессе роста, а также с процессами естественного изреживания деревьев. При этом наблюдаемая динамика может зависеть от условий произрастания, типа леса, исходной густоты и особенностей естественного возобновления.

Экспоненциальные регрессионные модели описывают основные тенденции изменения коэффициентов отпада пихтовых насаждений с возрастом и взаимосвязь отпада по числу стволов и по запасу древесины. Полученные результаты могут служить основой для дальнейшего изучения возрастной динамики отпада и улучшения его расчётной оценки по данным таблиц хода роста.

Библиографический список:

1. Бисирова Э. М., Керчев И. А., Кривец С. А., Пац Е. Н. Состояние пихтовых лесов Таштагольского района Кемеровской области, поврежденных уссурийским полиграфом Polygraphus proximus Blandf. (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О. А. Катаева) : материалы Всероссийской конференции с международным участием. – СПб. : СПбГЛТУ, 2020. – С. 84 – 85.

2. Фалалеев Э. Н. Таблицы хода роста лесных насаждений Сибири. – Красноярск : СибТИ, 1975. – 236 с.