

УДК 630*228 (23)

ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ
ЧЕРНЕВЫХ КЕДРОВНИКОВ ЗАПАДНОГО САЯНА

© 2004 г. В. И. Поляков, И. В. Семечкин

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН**660036 Красноярск, Академгородок*

Поступила в редакцию 18.04.2003 г.

По данным наблюдений с 1960 г. по 2002 г. на четырех постоянных пробных площадях в Западном Саяне исследовали динамику и устойчивость древостоев кедр. Кедровники северного макросклона Саян формируются в условиях влажного и теплого климата. Насаждения являются смешанными, сложными и разновозрастными. Древостой состоит их четырех поколений кедр и двух-трех поколений пихты. Примесь березы и осины незначительна. Производительность кедр высокая (II класс бонитета). Преобладают спелые поколения кедр. За время наблюдений поколения кедр потеряли: старшее (400-448 лет) - 26% деревьев, перестойное (307-317 лет) - 30, спелое (228-249 лет) - 20 и младшее (131-148 лет) - 53% деревьев. Возрастная структура кедр упростилась. Разновозрастные кедровники в трех случаях из четырех стали условно-разновозрастными. Снижение запаса началось в 250-270 лет, что свидетельствует о наступлении естественной спелости в этом возрасте. В структуре отпада кедр преобладает ветровал (32% деревьев и 42% запаса отпада, учтенного за годы наблюдений). Усыхают угнетенные деревья, в том числе молодые (37 и 20% соответственно). Вероятность выживания кедр (p_a) определяли по 20-летним классам возраста. В 60-140 лет она минимальна ($p_a = 0.69-0.73$), а в 200-220 лет становится максимальной (0.90-0.89). Снижение устойчивости начинается с 220-240 лет и продолжается до 340 лет. С 340-380 лет до 440 лет отмечается ее рост, а с 460 лет новое снижение. По p_a оценили порядок изреживания кедр, его среднюю и предельную продолжительность жизни (в 129 лет и в 600 лет соответственно). Рекомендуется ведение выборочных рубок, целесообразность которых вытекает из необходимости ухода за подростом и молодняком кедр.

Возрастная структура древостоев, поколение, отпад, вероятность выживания, устойчивость.

Длительные натурные исследования - традиционная основа изучения лесов, естественные и антропогенные смены которых невозможно точно восстановить на основе маршрутных и других разовых исследований. Только результаты многолетних наблюдений на постоянных объектах позволяют глубже понять комплексную природу лесных сообществ, дать прогноз их будущего состояния, выработать пути хозяйственного освоения и устойчивого развития. Материалы постоянных пробных площадей позволяют корректировать общие представления о динамике и устойчивости лесов, в том числе и таких сложных объектов таксации, как разновозрастные кедровники.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Мониторинг горно-черневых кедровников Западного Саяна осуществляется Институтом леса СО РАН с 1960 г. Объекты мониторинга - постоянные пробные площади (пр. пл.) в старовозрастных древостоях немногочисленны (сохранилось 4 пробные площади.). Наблюдения до 1990-1993 гг. велись по пятилетиям. Последние учеты про-

ведены в 1999, 2002 гг. и только в кедровой части древостоев. Таким образом, период наблюдений за кедром составил: 42 года на пр. пл. 1 (с 1960 г. по 2002 г. выполнено 8 учетов); 34 года на пр. пл. 2 (1965-1999 гг. - 7 учетов); 39 лет на пр. пл. 3 (1960-1999 гг. - 8 учетов) и 33 года на пр. пл. 5 (1960-1993 гг. - 7 учетов).

Учитывали и нумеровали все деревья с $d_{1,3} \geq 6$ см. У каждого дерева измеряли таксационный диаметр, высоту, параметры кроны и другие показатели. Возраст определяли глазомерно и в последствии уточняли возрастным буравом (с 1999 г. проанализировано свыше 460 радиальных кернов кедр и пихты). Отпад учитывали по причинам гибели дерева (бурелом, ветровал, усыхание и др.). Вне пробных площадей было взято 105 модельных деревьев кедр и 65 пихты.

Материалы учетов систематизированы в базе данных управляемой СУБД¹ Access пакета MS Office PRO, что существенно облегчает доступ к данным, их обработку и анализ, а встроенные

¹ СУБД - система управления базами данных.

Таблица 1. Местоположение и условия произрастания кедр на пробных площадях

Пр. пл.	Площадь, га	Местность	Положение в рельефе	Почва	Класс бонитета	Тип леса
1	2.15	Бассейн р. М. Кебеж, среднегорье	Средняя часть склона северо-западной экспозиции, крутизна 25°, 700-750 м над ур. моря.	Бурая лесная на хлоритовых сланцах.	II	К. вейниково-щитовниковый
2	2.13	Та же	Нижняя часть склона западной экспозиции, крутизна 20°, 600-650 м над ур. моря.	Та же	II	К. крупнотравно-папоротниковый
3	1.56	»	Нижняя часть склона юго-западной экспозиции, крутизна 22°, 600-650 м над ур. моря.	»	II	К. осочково-крупнотравно-папоротниковый
5	2.89	Бассейн р. Б. Кебеж, низкогорье	Нижняя часть (шлейф) склона северо-западной экспозиции, крутизна 7°, 400-420 м над ур. моря.	Бурая лесная	II	К. крупнотравно-папоротниковый

средства программирования позволяют автоматизировать и унифицировать все расчетные операции вплоть до составления таксационной характеристики насаждений.

Наблюдения на пробных площадях это своеобразная "перепись древесного населения". Для изучения населения демографы составляют таблицы смертности, по которым определяют среднюю и предельную продолжительность жизни [2]. Аналогичным образом мы попытались оценить устойчивость² и долголетие кедр.

Другим нетрадиционным приемом, использованным в настоящей работе, является "непараметрическое сглаживание" [11]. Это непараметрический способ оценки наиболее вероятных значений зависимой переменной. Суть его вкратце состоит в следующем. Сглаживание зависимой переменной (y) производится по заданным градациям (ступеням) независимого признака (x), т.е. по x_j ; $j = 1, \dots, k$. Параметр сглаживания (w) или ширина вклада в терминологии [11, 12] определяется как максимальная разность между реализациями x_i в ранжированном ряду x :

$$w = \max(x_{i+1} - x_i); \quad i = 1, \dots, n - 1. \quad (1)$$

Вклады (веса) x_i в x_j оцениваются по формуле:

$$P_{ij} = w_{ij}/w, \quad (2)$$

где P_{ij} - вклад i -й реализации x в ее j -ю ступень; w_{ij} - величина перекрытия j -й ступени x с интервалом $[x_i - w/2; x_i + w/2]$.

Наиболее вероятные значения y_j вычисляются как средневзвешенные по ступеням x_j :

$$y_j = \sum (y_i P_{ij}) / \sum P_{ij}, \quad (3)$$

где y_i - i -я реализация y , парно связанная с x_i , имеющей перекрытие шириной w_{ij} интервала $[x_i - w/2; x_i + w/2]$ со ступенью x_j .

Прием эффективен при обработке выборок малого объема, с переменными, про распределение которых мало или ничего не известно, в случаях, когда возникают трудности при аппроксимации данных и т.п.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Черневые кедровники северного макросклона Западного Саяна формируются в условиях влажного и теплого климата [9, 10]. Краткая характеристика условий местопроизрастания кедр приводится в табл. 1.

По составу и строению наблюдаемые насаждения являются смешанными, сложными и разновозрастными³. Первый ярус образуют старшие поколения кедр и отчасти пихты, второй ярус складывается в основном за счет младших поколений последней. Доля молодняка кедр и лиственных - березы и осины незначительна. Преобладают спелые поколения кедр со средним возрастом в 1999, 2002 гг. 228-249 лет (за исключением пр. пл. 1, где преобладает перестойное поколение кедр в возрасте 317 лет). Разница в средних возрастах поколений кедр в разновозрастном древостое составляет более 60 лет и пихты более 40 лет. Са-

³ Разновозрастными кедровники были до 1990 г. Диагностика поколений производилась по И.В. Семечкину [14]. В древостоях выделено четыре поколения кедр и два, три поколения пихты. Статистические методы классификации - кластерный и дискриминантный анализ дают те же результаты.

² Способность деревьев противостоять воздействию внутренних (ценотических) и внешних разрушительных факторов. Характеристикой их устойчивости может служить, например, вероятность выживания за время t .

Таблица 2. Динамика состава и строения древостоев по ярусам

Пр. пл.	Ярус	Год	Состав	Средняя высота, м	Запас, м ³ га ⁻¹	Полнота	Густота, шт. га ⁻¹	
							кедр	пихта
1	I	1960	5КII(274)3КIII(207)2КI(402)	30.7	369	0.51	115	-
	I	1965	5КII(279)3КIII(212)2КI(407)	30.8	386	0.53	114	-
	II	1965	9ПI(99)1КIV(131) + Б(64) ед. ПII(43)	17.7	49	0.14	7	228
	I	1993	4КII(307)4КIII(240)2КI(443)	31.2	354	0.49	89	-
	II	1993	8ПI(119)1ПII(56)1Б(73) + КIV(148)	17.7	46	0.14	4	273
	I	2002	4КII(317)4КIII(249)2КI(448)	31.3	341	0.47	81	-
2	I	1965	4КIII(199)3КII(277)2КI(404)1ПI(137)	29.1	419	0.6	103	63
	II	1965	5ПII(87)3Б(83)1КIV(103)1О(58) ед. ПII(38)	17.3	38	0.12	12	179
	I	1990	5КIII(225)3КII(299)1КI(430)1ПI(161)	29.9	359	0.5	78	26
	II	1990	6ПII(104)2Б(90)1КIV(131)1ПIII(56) + О(61)	17.7	56	0.18	8	221
	I	1999	5КIII(234)3КII(308)2КI(448)	30.5	323	0.45	72	-
	3	I	1960	6КIII(188)4КII(277) + КI(365)	27.7	430	0.63	164
I		1965	6КIII(193)3КII(282)1ПI(136) + КI(370) ед. Б(101)	27.5	486	0.71	164	44
II		1965	9ПII(87)1КIV(115)1ПIII(43)	13.9	27	0.13	13	269
I		1990	7КIII(219)3КII(306) + ПI(155) + КI(395)	28.1	457	0.65	135	15
II		1990	8ПII(107)2ПIII(57) + КIV(136) ед. Б(63)	16.4	45	0.17	8	297
I		1999	7КIII(228)3КII(315) + КI(404)	28.4	462	0.65	135	-
5	I	1960	5КIII(195)4КII(274)1КI(369)	29.4	292	0.41	99	-
	I	1965	5КIII(200)4КII(279)1КI(373) ед. О(104)	29.5	304	0.43	98	-
	II	1965	9ПI(118)1ПII(67) + Б(75) + КIV(121)	18.9	94	0.23	10	348
	I	1993	5КIII(229)4КII(307)1КI(400) Ед О(134)	30.1	307	0.43	81	-
	II	1993	9ПI(142)1ПII(89) + Б(109)ЕдКIV(143)	20.7	103	0.23	4	385

Примечание. Полностью таксация древостоев была закончена в 1965 г.

ми же поколения являются условно-разновозрастными [15]. Наличие всех поколений кедр на каждой пробной площади и близость их средних возрастов указывают на тождественность происхождения и формирования исследуемых древостоев (табл. 2).

Изменения древостоев на пробных площадях протекали синхронно. Доля преобладающих (III) поколений кедр в трех случаях возросла и в одном случае не изменилась. Доля перестойных (II) поколений кедр в двух случаях снизилась и в двух осталась неизменной. Участие крупномерных кедров старших (I) поколений оказалось стабильным. Число деревьев и доля запаса молодняка (четвертых поколений кедр) не возросли. Поколения кедр потеряли: I - 26%; II - 30; III - 20 и IV - 53% деревьев. Наименее устойчивыми оказались малочисленные молодые (IV) поколения кедр, возникшие в результате возрастных смен. Полнота I яруса двух более старых (за счет высокой доли перестойных деревьев) древостоев на пр. пл. 1 и 2 упала с 0.51-0.60 до 0.47-0.45 и в двух

других случаях практически не изменилась. Полнота II яруса возросла лишь на пр. пл. 2 и 3.

Обновление древостоев идет преимущественно пихтой (табл. 2). Вростание кедр из подроста в полог II яруса крайне затруднено и не превысило 1-4 экз. на пробную площадь. Тенденция к смене старовозрастного кедр менее ценными, но более теневыносливыми породами отмечена и в других регионах. Так, в кедровниках Уссурийского заповедника с 240 лет начинается ослабление позиции главного лесобразователя - кедр корейского, а к 300 годам он теряет свое господство в сообществе [8].

В процессе экогенеза морфологический облик разновозрастного кедровника меняется. Возрастная структура популяции кедр упрощается, разновозрастные древостои становятся более однородными - условно-разновозрастными, причем в большей мере за счет элиминации молодых особей. Если в начале наблюдений по величине коэффициента вариации возраста кедр анализируемые кедровники относились к разновозрастным ($CV_A > 24\%$) [15], то теперь их в большинстве слу-

чаев, исключая пр. пл. 2, следует таксировать без выделения возрастных поколений [6, 15] (табл. 3).

За годы наблюдений в ходе естественного изреживания древостои потеряли в среднем $140 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, в том числе $95 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ кедр. В то же время уцелевший древостой кедр увеличил запас на $90 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Текущий среднепериодический прирост кедр составил $2.33 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ и общий - $4.84 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. С 1985 г. текущее изменение запаса кедр на пробных площадях, за исключением пр. пл. 3, становится отрицательным. Снижение запаса началось в возрасте 250-270 лет, что свидетельствует о наступлении естественной спелости в этом возрасте. Процесс протекает неравномерно, медленнее в густых и полных древостоях (рис. 1).

Всего на пробных площадях из 1107 деревьев кедр выпало 289 с запасом 824 м^3 , в том числе 85 экз. (255 м^3) на пр. пл. 1; 76 экз. (260 м^3) на пр. пл. 2; 54 экз. (128 м^3) на пр. пл. 3 и 74 экз. (181 м^3) на пр. пл. 5. Наименьшее число деревьев выпало в более густом и молодом древостое на пр. пл. 3. Динамика и структура отпада кедр исследовалась нами ранее [13]. С учетом последних данных структура его отпада существенно не изменилась (рис. 2).

Бурелом по числу деревьев и по запасу занимает 12 и 13% от всего учтенного отпада кедр. Следовательно, бурелом в кедровнике явление нечастое, и ему в равной степени подвержены как крупные, так и мелкие деревья, встречаемые на пути падения крупных. Усыхают в основном угнетенные деревья, в том числе молодые (37% деревьев по запасу составили 20%). Ветровал - наиболее весомая причина гибели кедр. Сильный ветер вываливает крупномерную часть древостоя (32% деревьев, или 42% запаса). С большой вероятностью к ветровалу можно причислить 13% деревьев (17% запаса), погибших от не установленных причин. Некоторое количество (5% деревьев и 8% запаса) вырубается самовольно.

В среднем с 1 га в год выпадало 0.91 ± 0.12 экз. кедр с запасом $2.61 \pm 0.77 \text{ м}^3$. Наибольший урон древостоям нанес сильный ветер осенью 1990 г., в результате которого выпало до половины запаса отпада, учтенного за годы наблюдений. Были повреждены даже отдельные здоровые 220-240-летние деревья. Массовые ветровалы в перестойных кедровниках случаются, по-видимому, не чаще, чем раз в 30-40 лет и подготавливают условия для появления новых жизнеспособных поколений кедр. Замечено, что из-за конкуренции с травяной растительностью подрост кедр чаще поселяется на старом валеже, выворотнях и пнях, что объясняет образование группировок деревьев в виде линейчатых и кольцевых структур [4, 5], а также длительность и механизм формирования условно-разновозрастных поколений кедр.

Таблица 3. Изменение типа возрастной структуры кедровников

Пр. пл.	Тип структуры			
	1960-1965 гг.	СИ ^x	1993-2002 гг.	СИ ^x
1	Разновозрастный	27	Условно-разновозрастный	23
2	»	34	Разновозрастный	28
3	»	25	Условно-разновозрастный	20
5	»	28	То же	22

^x Коэффициент вариации, %.

Анализ устойчивости кедр выполнялся безотносительно к структуре отпада. Эмпирические оценки вероятностей отпада (q_a) получены отдельно для каждой пробной площади группировкой деревьев по 20-летним классам возраста (на 1960-1965 гг.) и делением числа выпавших из каждого класса деревьев на их начальное число с приведением к масштабу 20-летних временных интервалов:

$$q_a = N_a^0 \times 20 / N_a T, \quad (4)$$

где N_a - начальное число деревьев в классе возраста A ; N_a^0 - число деревьев, выпавших из класса возраста A за время наблюдений T на конкретной пробной площади.

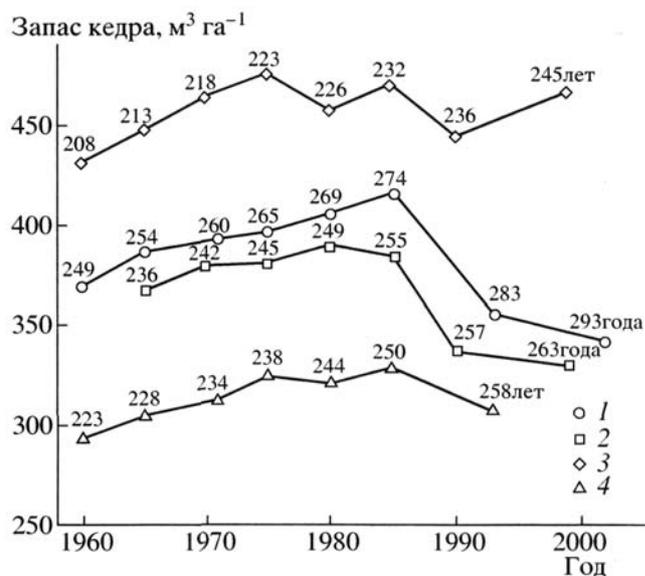


Рис. 1. Динамика запаса кедр на пробных площадях. Средний возраст кедр определялся по линейному тренду возраста деревьев на их диаметр через средний диаметр всего древостоя: 1 - пр. пл. 1; 2 - пр. пл. 2; 3 - пр. пл. 3; 4 - пр. пл. 5.

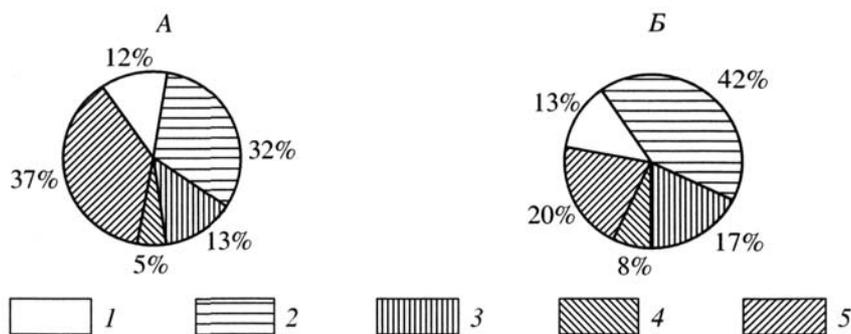


Рис. 2. Структура отпада кедр на пробных площадях за период наблюдений 1960–2002 гг.

(А - отпад по числу деревьев, Б - отпад по запасу). Причина отпада: 1 - бурелом; 2 - ветровал; 3 - не установлена; 4 - самовольная рубка; 5 - усыхание.

От вероятностей отпада q_a легко перейти к вероятностям выживания (p_a):

$$p_a = 1 - q_a. \quad (5)$$

Обычно времена жизни описываются распределением Вейбулла [1]. Однако особенностью кривой выживания кедр с возрастом является ее двухмодальность [13] (табл. 4).

Из табл. 4 видно, что число выпадающих деревьев уменьшается при расстановке поколений кедр в следующем порядке: IV, II, I, III. Тестирование данных табл. 4 методом дисперсионного анализа (ANOVA в версии STATISTICA 6) показало достоверность этой тенденции ($F_{\text{выч}} = 8.83 > F_{\text{табл}} = 3.86$ при $\alpha < 0.05$, где F - критерий Р. Фишера с числом степеней свободы 3 и 9).

В этой связи средние по пробным площадям оценки p_a сглаживали с помощью описанного выше непараметрического приема. Параметр интерполяции составил $w = 39$ лет, стандартные отклонения выровненных значений p_a от опытных $\sigma = 7\%$ и коэффициент детерминации $R^2 = 0.71$ (рис. 3).

Изменчивость p_a является высокой, особенно по краям возрастных распределений. Тем не менее кривые, особенно в центре, группируются в пучок параллельных линий. В среднем устойчивость 60–140-летних деревьев кедр минимальна ($p_a = 0.69-0.73$). С возрастом устойчивость кедр

повышается и в 200–220 лет становится максимальной ($p_a = 0.90-0.89$). Снижение начинается с 220–240 лет и продолжается до 340 лет. С 340–380 лет до 440 лет намечается тенденция к росту устойчивости, которая с 460 лет завершается новым спадом. Однако из-за малочисленности деревьев самой старшей группы эти данные уже мало надежны.

Для поколений кедр характерно быстрое изреживание в стадии подроста, падение темпа изреживания по мере вставания поколения в верхний полог, затем незначительное изреживание до наступления естественной спелости, после чего наступает быстрое нарастание темпов отпада [14]. Снижение вероятности выживания кедр с 240-летнего возраста объясняется началом массового распространения гнилей. По данным сплошного кернения кедр на пр. пл. 2 и 3 встречаемость ядровых гнилей в этих кедровниках составляет 71 и 37% соответственно. Она растет с увеличением возраста и размера дерева. Для оценки этой закономерности в первом приближении мы воспользовались логитрегрессией:

$$p_{\text{гн}} = \exp(-3.53 + 0.011 \cdot A + 0.007d_{1.3}) / (1 + \exp(-3.53 + 0.011 \cdot A + 0.007d_{1.3})), \quad (6)$$

где A - возраст кедр (лет) и $d_{1.3}$ - его таксационный диаметр.

В выражении (6) коэффициент при диаметре оказался недостоверным ($t_d = 0.96$ при $\alpha = 0.33$). Следовательно, распространенность гнилей в кедровнике связана, в основном, с возрастом слагающих древостой деревьев. В возрасте 240–360 лет встречаемость гнили по (6) составляет 0.40–0.70. Диаметр гнили достигает 2/3 диаметра ствола в комле, а высота распространения - 4 м (обычная длина дровяной откомлевки). Центр тяжести дерева смещается вверх, что определяет потерю устойчивости и повышенную ветровальность. Наблюдается пик отпада. С возрастом, изреживанием кроны и распространением гнили по всему

Таблица 4. Процент сохранившихся на пробных площадях деревьев кедр

Поколение	Начальный средний возраст, лет	Пробная площадь				В среднем
		1	2	3	5	
I	385 ± 21	77	61	100	79	78
II	276 ± 2	65	63	74	77	70
III	197 ± 8	73	75	84	83	79
IV	114 ± 0	32	59	60	36	47

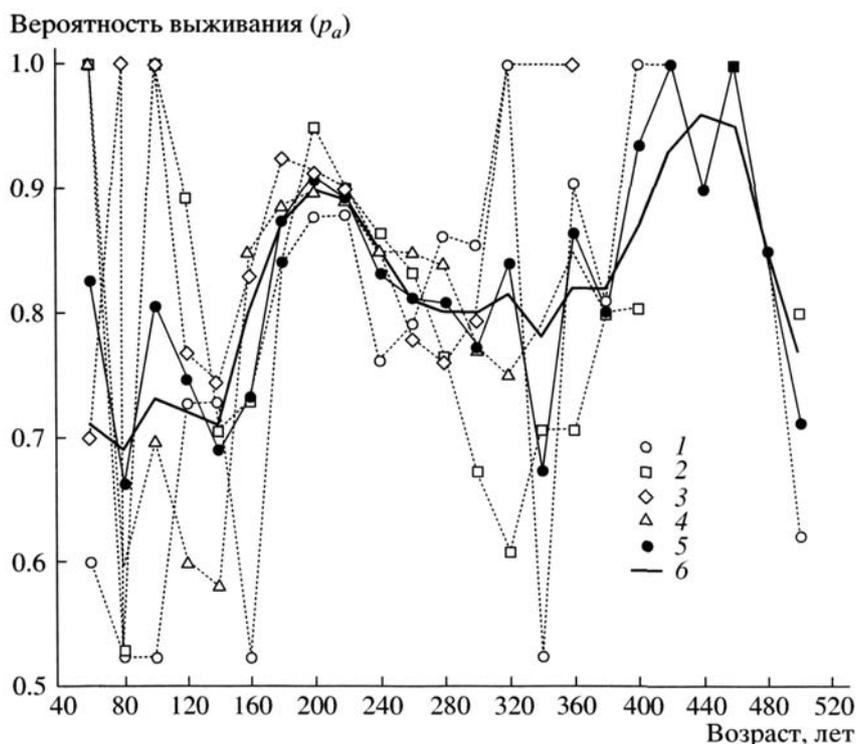


Рис. 3. Эмпирические, среднеарифметические и непараметрические оценки вероятности выживания кедров с возрастом. Вероятности выживания кедров (p_a) определены по 20-летним классам возраста: 1 - пр. пл. 1; 2 - пр. пл. 2; 3 - пр. пл. 3; 4 - пр. пл. 5; 5 - средние p_a ; 6 - непараметрические оценки p_a .

стволу, центр тяжести дерева возвращается на прежнее место. Несмотря на гниль (в 400 лет она встречается у 80-90% деревьев) устойчивость кедров к ветру повышается. Поэтому уцелевшие старые дуплистые кедровники живут еще неопределенно долгое время, продолжают прирастать в толщину и создают иллюзию исключительного долголетия этой породы.

Определив вероятности выживания кедров в интервале изменения возраста от 60 до 500 лет, мы составили таблицу, иллюстрирующую порядок изреживания кедров в смешанных разновозрастных и условно-разновозрастных черневых кедровниках Западного Саяна (табл. 5).

Для возрастов свыше 500 лет вероятность выживания получена экстраполяцией тренда на отрезке 460-500 лет. Согласно полученной таблице, из 1000 кедров достигших 60-летнего возраста к возрасту 200 лет останется 127 деревьев, к 300 годам - 56, к 400 - 20, к 500 - 12 и до 600 лет доживет только одно дерево. Для оценки доверительных интервалов можно воспользоваться работой [3]. Тогда, при $\alpha = 0.05$ из 1000 60-летних кедров до 600 лет доживет одно $\pm 2\sqrt{(1000-1)} = \pm 64$ дерева. Для 200-летних кедров получаются другие интервалы и т. д. Число растущих в классе возраста A_i кедров (L_a) определяется как среднее между числами доживших (l_a) до возрастов A_i

и A_{i+1} . Средняя продолжительность жизни кедров после вхождения в полог II яруса по достижении 60 лет равна продолжительности предстоящей жизни ($e_{60} = 69$ лет) плюс 60 уже прожитых лет, т.е. 129 лет; 200-летних - 318 лет и т.д. Продолжительность предстоящей жизни это своего рода показатель "запаса прочности" деревьев данного возраста. Для возраста A она определяется делением суммы прожитых деревьями лет T_a на число достигших этого возраста l_a (T_a равна сумме накопленных произведений L_a 20, начиная с максимального возраста). Наибольшим запасом прочности в разновозрастных древостоях обладают 180-200-летние кедровники ($e_a = 121-118$ лет). Далее продолжительность предстоящей жизни убывает, но прибывает вновь к 360-400 годам. Оценка максимального долголетия кедров (600 лет) зависит от исходного числа деревьев и порядка изреживания древостоя (для сравнения по Г. В. Крылову [7] отдельные кедровники Западного Саяна и Алтая достигают возраста 650-850 лет). Полученный порядок изреживания не реализуется ни для какого реального поколения, а является условным построением, отражающим отпад всех возрастов, и в силу этого может считаться адекватной оценкой сложившейся экологической обстановки, пока неблагоприятной для кедров.

Таблица 5. Порядок изреживания кедр в разновозрастных и условно-разновозрастных черневых кедровниках Западного Саяна

Возраст (A), лет	Вероятность выживания, P_a	Число деревьев, доживающих до класса возраста A, l_a	Число деревьев, отпадающих в классе возраста A, d_a	Число деревьев, растущих в классе возраста A, L_a	Число лет, прожитых деревьями, T_a	Средняя продолжительность предстоящей жизни	
						e_a , лет	e_k , классов возраста
60	0.71	1000*	290	855	69160	69	3
80	0.69	710	220	600	52060	73	4
100	0.73	490	132	424	40060	82	4
120	0.72	358	100	308	31580	88	4
140	0.71	258	75	221	25420	99	5
160	0.80	183	37	165	21000	115	6
180	0.87	146	19	137	17700	121	6
200	0.90	127	13	121	14960	118	6
220	0.89	114	13	108	12540	110	6
240	0.85	101	15	94	10380	103	5
260	0.81	86	16	78	8500	99	5
280	0.80	70	14	63	6940	99	5
300	0.80	56	11	51	5680	101	5
320	0.81	45	8	41	4660	104	5
340	0.78	37	8	33	3840	104	5
360	0.82	29	5	27	3180	110	6
380	0.82	24	4	22	2640	110	6
400	0.87	20	3	19	2200	110	6
420	0.93	17	1	17	1820	107	5
440	0.96	16	1	16	1480	93	5
460	0.95	15	1	15	1160	77	4
480	0.85	14	2	13	860	61	3
500	0.77	12	3	11	600	50	3
520	0.67	9	3	8	380	42	2
540	0.58	6	2	5	220	37	2
560	0.49	4	2	3	120	30	2
580	0.40	2	1	2	60	30	2
600	0.31	1	1	1	20	20	1

* Стартовое число 1000 взято произвольно.

Очевидно, что хозяйственное вмешательство в виде несплошных рубок спелого и перестойного кедр и пихты должно быть направлено на уход за подростом и молодняком кедр с целью повысить его среднюю продолжительность жизни, укрепить хозяйственные позиции кедр и предотвратить нежелательную смену пород.

Заключение. Кедровники влажных горных местообитаний развиваются в основном по пути возрастных смен, когда в результате естественного отпада, чаще ветровала и реже пожара, погибает только часть древостоя, а в образовавшихся окнах и на замоховелых полуистлевших стволах валежа поселяется новое поколение кедр. С его

появлением кедровник становится разновозрастным и остается таковым вплоть до наступления естественной спелости основного поколения. При дальнейшем саморазвитии кедровника возрастная структура кедр упрощается, возобновление кедр под пологом леса ухудшается, а появляющийся малочисленный молодняк усыхает и не обеспечивает смены старых отмирающих поколений. Доля примеси пихты прибывает и кедрово-пихтовое сообщество постепенно трансформируется в пихтово-кедровое. В этот период организация выборочного лесопользования будет способствовать укреплению хозяйственной позиции кедр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. СПб.: Питер. 2001. 650 с.
2. Боярский А.Я., Валентей Д.И., Волков А.Г., Дарский Л.Е., Кваша А.Я., Павлов Г.А., Сифман Р.И., Смулевич Б.Я. Курс демографии. М.: Статистика, 1967. 400 с.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1991. 383 с.
4. Ермоленко П.М. Пространственно-временная структура древостоев темнохвойных лесов Западного Саяна // Продуктивность и структура лесных сообществ. Красноярск: Красноярское кн. изд-во, 1985. С. 59-70.
5. Ермоленко П.М., Ермоленко Л.Г. Высотно-поясные особенности роста кедра и пихты в Западном Саяне // Формирование и продуктивность древостоев. Новосибирск: Наука, 1981. С. 19-53.
6. Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. М.: Типография № 6 Воениздата, 1995. Ч. 1. 175 с. Ч. 2. 112 с.
7. Крылов Г.В., Таланцев Н.К., Козакова Н.Ф. Кедр. М.: Лесная пром-сть, 1983. 216 с.
8. Кудинов А.И. Динамика кленово-грабовых кедровников с пихтой и другими темнохвойными породами в Уссурийском заповеднике // Антропогенная и естественная динамика лесов Дальнего Востока. Владивосток: Биол.-почв. ин-т. ДВО АН СССР, 1989. С. 33-36.
9. Поликарпов Н.П. Горные кедровые леса Сибири и научные основы лесоводственных мероприятий в них. Красноярск: Красноярское кн. изд-во, 1966. 34 с.
10. Поликарпов Н.П., Назимова Д.И. Темнохвойные леса северной части Западного Саяна // Лесоводственные исследования в лесах Сибири. Тр. Ин-та леса и древесины. Красноярск, 1963. Т. 57. С. 103-147.
11. Поляков В.И. Непараметрическое сглаживание // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: СибГТУ, 2000. С. 88-98.
12. Поляков В.И., Михайлов А.С. Малая выборка в таксационных исследованиях // Лесоведение. 1994. № 3. С. 62-69.
13. Поляков В.И., Семечкин И.В. Биогенная динамика кедровников Западного Саяна // Сиб. экологический журн. 2001. № 6. С. 667-673.
14. Семечкин И.В. Динамика таксационных показателей и возрасты спелости циклично-разновозрастных кедровников // Совершенствование методов таксации и устройства лесов Сибири. М.: Наука, 1967. С. 28-61.
15. Семечкин И.В. Структура и динамика кедровников Сибири. Новосибирск: Наука, 2002. 253 с.

Dynamics and Stability of Uneven-Aged Siberian Pine Stands in the Western Sayan Mountains

V. I. Polyakov and I. V. Semechkin

The dynamics and stability of Siberian pine (*Pinus sibirica* Mayr) stands (cedar stands) were studied from 1960 to 2002 on four permanent areas in the western Sayan Mountains. These mixed, complex, and uneven stands are formed in humid and warm climatic conditions. They consist of four cedar generations and two or three fir ones with a small admixture of birch and aspen. The productivity of cedar is rather high. Mature 230-250-year-old cedar generations predominate. For the last 42 years, the cedar generations lost 26, 30, 20, and 53% of 400-450-, 300-, 230-250-, and 150-year-old trees, respectively. Regeneration of cedar trees is unsatisfactory and replaced for that of fir trees. The age structure of the cedar stands is simplified. An age of 250-270 years is considered as a beginning of natural maturity in trees, since from this time the wood stock is reduced. Dieback of cedar trees mainly occurs due to wind; young trees die due to drying up. The probability of survival (p_a) in cedar trees was determined as a ratio of the fallen trees to their initial amount in 20-year-old age classes. The stability was minimal ($p_a = 0.69-0.73$) in 60-140-year-old trees and maximal ($p_a = 0.89-0.90$), in 200-220-year-old ones. The reduction in stability starts in trees from the age of 220-240 years and continues up to 340 years. From an age of 340-380 years to 440 years, p_a increases but from 460 years it decreases again. An order of thinning in cedar forests is determined. The mean duration of life in cedar trees is 129 years and limited by 600 years. Selective felling is expedient to raise the stability of cedar forests.