

СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*450:582.475

Д.А. Демидко¹, С.А. Кривец², Э.М. Бисирова²

¹Алтайская государственная академия образования (г. Бийск)

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)

СВЯЗЬ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА И ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ У ДЕРЕВЬЕВ КЕДРА СИБИРСКОГО

*Исследована связь между жизненным состоянием дерева и величиной радиального прироста у кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour в припоселковом кедровнике. Показаны четкие различия радиального прироста ствола у деревьев с разным состоянием кроны. Снижение радиального прироста у ослабленных и сильно ослабленных деревьев обусловлено более выраженной реакцией на дефолиацию кроны рыжим сосновым пилильщиком. Прочие факторы (гнилевые болезни, конкуренция, погода, возраст) в условиях исследованного насаждения влияния на жизненное состояние и радиальный прирост кедра сибирского не оказали.*

Ключевые слова: кедр сибирский; жизненное состояние; радиальный прирост.

В качестве одной из важнейших характеристик состояния деревьев при мониторинге лесных экосистем в настоящее время широко используется поврежденность кроны, проявляющаяся в ее изреженности, снижении густоты (увеличении прозрачности, «ажурности») [1]. Использование этого признака позволяет оперативно оценивать поврежденность лесов природными и антропогенными факторами. Однако недостаточно ясно, как изменение состояния кроны дерева соотносится с изменением его метаболизма. Кроме того, указывается на зависимость оценки состояния от субъективного понимания «здорового дерева» [2]. Поэтому интерес представляют исследования, в которых совместно рассматриваются результаты визуального оценивания состояния деревьев и инструментального измерения физиологических показателей.

Одним из последствий воздействия стресса на дерево нередко является снижение ассимиляции и, как следствие, радиального прироста ствола. Так, широко известен факт уменьшения радиального прироста под воздействием засухи [3–8]. Не менее широко обсуждается влияние на радиальный прирост объедания кроны филофагами [9–10] и заболеваний, вызванных патогенными грибами [11–13]. Из антропогенных факторов, влияющих на прирост, лучше всего изучены азротехногенные загрязнения [4–5, 14]. В то же время связь радиального прироста ствола и состояния кроны рассмотрена в немногочисленных работах, хотя указывается, что прирост и прозрачность могут взаимно дополнять друг друга [9]. Так, зависимость снижения радиального

прироста от возрастания изреженности кроны обсуждалась в статьях Торелли с соавт. [15], Дитмара и Эллинга [16]. Хорошую корреляцию с состоянием кроны показали такие связанные с радиальным приростом характеристики, как прирост ствола по объёму [17] и диаметру [18], отношение площади ранней заболони к общей площади сечения ствола [2].

Основной целью данной работы является анализ связи между жизненным состоянием дерева, определённым по степени изреженности кроны, и величиной радиального прироста у кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour. Оценивались различия величины радиального прироста между деревьями различного жизненного состояния. Дополнительно анализировалась роль некоторых факторов в формировании этих различий.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в припоселковом кедровнике вблизи с. Белоусово Томского района Томской области (56°18' с.ш., 85°10' в.д.), в 18 км южнее Томска. Район исследований находится в южной части южно-таежной подзоны Западно-Сибирской равнины, вне зоны интенсивного атмосферного загрязнения. Климат исследуемого региона характеризуется как влажный с умеренно теплым летом и умеренно суровой снежной зимой [19].

На пробной площади, заложенной в чистом разнотравном кедровом насаждении, в первой декаде июня 2007 г. проведён сплошной пересчёт деревьев. У всех деревьев был измерен диаметр ствола на высоте груди (1,3 м). Высота была измерена у 64 деревьев, возраст определён у 48. Характеристика древостоя приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1
Таксационные характеристики изученного древостоя кедровника сибирского

Площадь, га	Диаметр*, см	Высота*, м	Возраст*, лет	Сумма площадей сечений, м ² /га	Количество деревьев, шт./га
0,5	44 ± 13	23,9 ± 3,5	140 ± 27	47,5	286

* Среднее ± стандартное отклонение.

Для всех деревьев оценивали напряженность конкуренции со стороны соседей по уровню затенения кроны. Для этого деревья, в зависимости от их положения в древостое, делились на свободнорастущие (перекрывание с кронами соседних деревьев отсутствует), полукуртинные (кроны частично перекрываются) и куртинные (кроны перекрываются полностью или почти полностью).

Жизненное состояние деревьев определяли с использованием шкалы, предложенной В.А. Алексеевым [20]: здоровое дерево – снижение густоты кроны незначительно, менее 10%; ослабленное – густота кроны снижена на 30% по сравнению со здоровой; сильно ослабленное – на 60%; отмирающее – более чем на 80%; мертвое (сухостой) – прозрачность кроны 100%. Состояние всех деревьев на пробной площади было оценено независимо каждым из соавторов данной статьи. После этого итоговая оценка для каждого дерева

определялась с помощью системы обработки экспертной информации СПРР-Прототип [21]. Распределение по категориям жизненного состояния оценивали как по числу стволов, так и по сумме площадей поперечных сечений деревьев.

Отбор кернов для определения возраста и измерения радиального прироста производили с тех деревьев, которые были отнесены к одной категории жизненного состояния всеми тремя наблюдателями. Поскольку погибшие деревья регулярно убираются из древостоя, а отмирающие немногочисленны (см. рис. 1), керны брали только с деревьев первых трёх категорий. С каждого из них было взято два керна с противоположных сторон ствола как можно ближе к его основанию. При взятии кернов одновременно оценивали наличие гнили. Для более точного определения возраста вводилась поправка на высоту взятия керна [22]. Всего проанализировано 96 кернов.

Дендрохронологическая обработка материала

Ширину колец измеряли с помощью полуавтоматической установки LINTAB с программным обеспечением TSAP с точностью до 0,01 мм. Согласованность хода радиального прироста оценивали с помощью коэффициента синхронности (Gleichläufigkeit) [23]. Результаты измерений стандартизировались с помощью сплайн-функции, негативной экспоненты и линейной регрессии при использовании программы CRONOL (Tuscon, Arizona, USA). Реперные (с экстремально низкими значениями радиального прироста) годы выделялись с помощью метода, предложенного Ньюиртом с соавт. [24]. Дополнительным условием выделения реперных лет было наличие синхронного спада или подъёма прироста, по крайней мере, у 70% деревьев [16, с изменениями].

Статистическая обработка

Первым этапом статистической обработки была отбраковка деревьев, возраст которых был значительно выше или ниже среднего. Для этого нами было использовано правило Томпсона [25]. Поскольку распределение данных отличалось от нормального, к ним было предварительно применено преобразование Бокса–Кокса [26]. Для решения других задач были выбраны непараметрические критерии, которые могут быть корректно использованы в обработке данных, распределение которых отличается от нормального.

Для оставшихся после отбраковки деревьев было проведено сравнение значений радиального прироста с 1906 по 2006 г. с помощью непараметрического аналога дисперсионного анализа – метода Краскала–Уоллиса [27]. В качестве группирующей переменной принята категория состояния. Сравнение приростов представляло собой проверку множественных гипотез, поэтому для коррекции уровня значимости использовалась процедура Саймса [28]. Парные сравнения между категориями состояния проводились по методу Манна–Уитни [29]. При проведении сравнений использовались данные без преобразования, т.к. детрендинг (минимизация возрастного тренда) приводит к ослаблению связи между прозрачностью кроны и приростом [16].

Сравнение других количественных признаков также проводилось с помощью методов Краскала–Уоллиса и Манна–Уитни. В качестве зависимых признаков выступали высота дерева, диаметр на высоте груди, возраст и средние приросты за 1906–2006 гг. Группирующими переменными служили: 1) категория состояния (зависимые – высота, диаметр, возраст); 2) поражённость гнилями и уровень конкуренции (зависимая – прирост).

Анализ сопряжённости качественных признаков (с одной стороны, категория состояния, с другой – положение в древостое и наличие гнили) проводился с помощью коэффициента Крамера [29]. При оценке силы связи состояния кроны и положения в древостое куртинные деревья из-за их малочисленности (рис. 1) из расчёта исключались.

Корреляция между характеристиками климата и индексами радиального прироста оценивалась с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена [29]. В качестве нулевой гипотезы рассматривалось отсутствие корреляции. Для снижения риска ошибочного принятия альтернативной гипотезы использовалась процедура Саймса [28]. Доверительные интервалы для долей строились с использованием бутстреп-метода с коррекцией смещения [30]. Разброс значений количественных признаков характеризовался с помощью стандартного отклонения.

Результаты исследования и обсуждение

Большинство деревьев в изученном насаждении ослаблено в той или иной степени (рис. 1). Отмирающие и погибшие деревья составляют в древостое небольшую долю, не оказывая значительного влияния на состояние насаждения в целом. Для здоровых и ослабленных деревьев характерно превышение значения доли по сумме площадей сечений над долей по количеству стволов. Это свидетельствует о том, что менее крупные деревья в целом ослаблены сильнее.

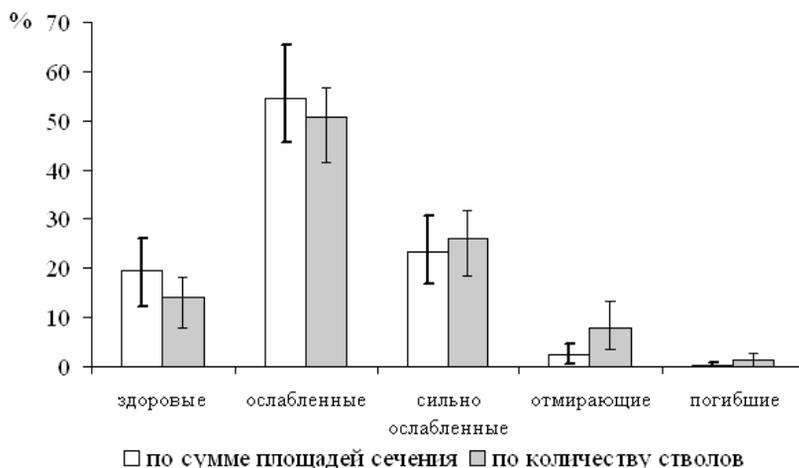


Рис. 1. Распределение в насаждении деревьев кедра сибирского с различным жизненным состоянием. В виде «усов» представлен 95%-ный доверительный интервал

Средний возраст и средняя высота деревьев всех рассматриваемых категорий состояния значимо друг от друга не отличаются ($p = 0,185$ и $0,377$ соответственно). Статистически значимые различия ($p = 0,014$) отмечены только для диаметра (табл. 2). При этом диаметр здоровых деревьев значимо превышает диаметр как ослабленных ($p = 0,002$), так и сильно ослабленных ($p = 0,023$).

Т а б л и ц а 2

Характеристика деревьев с разным жизненным состоянием

Показатель	Категория состояния		
	Здоровые	Ослабленные	Сильно ослабленные
Возраст*, лет	139±14 а**	132±19 а	141±23 а
Диаметр*, см	54± 6 а	46±8 б	47 ±11 б
Высота*, м	25,3 ±1,5 а	24,6±1,9 а	23,7±0,1 а

* Среднее ± стандартное отклонение.

** Буквами обозначены результаты парных сравнений по методу Манна–Уитни. Одинаковые буквы обозначают отсутствие статистически значимых различий.

Доля деревьев, поражённых комлевыми гнилями, приблизительно одинакова во всех категориях состояния (рис. 2). Свободно растущие деревья преобладают среди здоровых, полукуртинные – среди ослабленных в разной степени (рис. 3). Однако связь жизненного состояния деревьев отсутствует как с положением в древостое, так и с поражённостью гнилью (коэффициент Крамера $0,130$ и $0,065$, $p = 0,806$ и $0,671$ соответственно). Различия по радиальному приросту (среднее значение за 1906–2006 гг.) между свободно растущими и полукуртинными деревьями статистически незначимы ($p = 0,518$), как и между поражёнными комлевой гнилью и здоровыми деревьями ($p = 0,460$).

Чувствительность радиального прироста изменяется в зависимости от жизненного состояния от $0,197$ до $0,247$. Величины коэффициентов корреляции радиального прироста и характеристик погоды не превышают по модулю $0,273$. После коррекции полученных коэффициентов по методу Саймса ни один из них не был признан статистически значимым.

Прирост деревьев разных категорий состояния изменяется согласованно (рис. 4). Значение коэффициента синхронности при сравнении усреднённых хронологий здоровых, ослабленных и сильно ослабленных деревьев составляет 85–86.

Погодичное сравнение приростов деревьев разных категорий состояния (табл. 3) показало, что статистически значимые различия ($\alpha < 0,05$, метод Краскала–Уоллиса в сочетании с методом Саймса) отмечены для 50 лет из 101. Следует отметить, что с 1977 г. значимые различия отмечены для всех лет (кроме 1999). Парные сравнения по методу Манна–Уитни показали, что в 41 случае имеются значимые различия между приростом здоровых и ослабленных деревьев, в 35 – между приростом ослабленных и сильно ослабленных. Средние значения радиального прироста за рассматриваемый период также различаются у деревьев рассматриваемых категорий состояния.

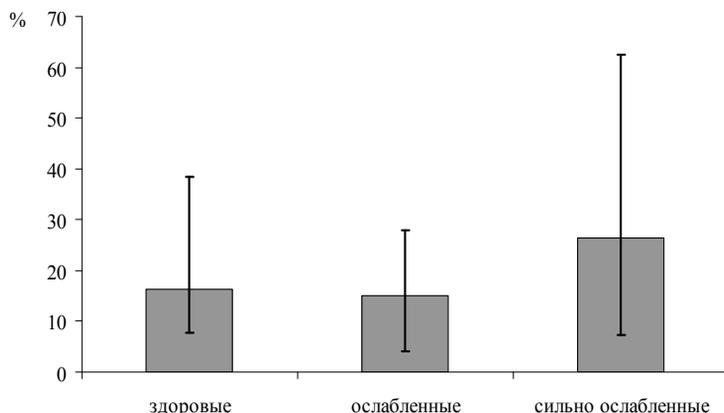


Рис. 2. Доля в насаждении деревьев различного жизненного состояния с комлевой гнилью. В виде «усов» представлен 95%-ный доверительный интервал

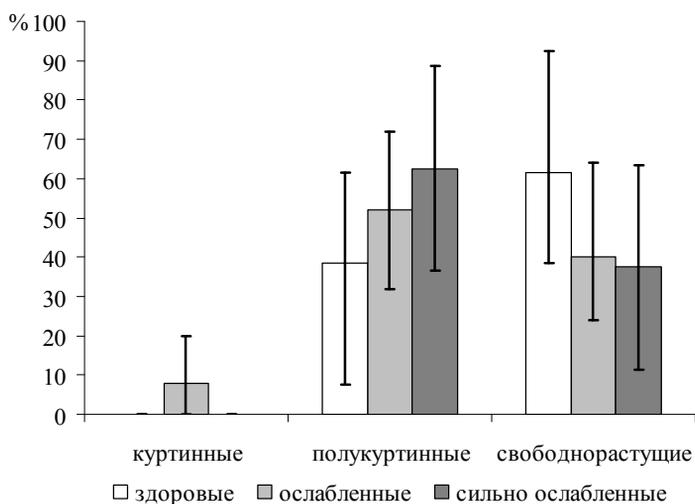


Рис. 3. Доля в насаждении деревьев с различной степенью затенения кроны и жизненным состоянием. В виде «усов» представлен 95%-ный доверительный интервал

Т а б л и ц а 3

Радиальный прирост деревьев разного жизненного состояния

Год	Категория состояния*			Уровень значимости различий**
	Здоровые	Ослабленные	Сильно ослабленные	
1	2	3	4	5
1924	353±69 a***	273±110 b	230±116 b	0,017
1925	321±72 a	234±97 b	225±125 b	0,016
1926	290±65 a	193±90 b	177±112 b	0,010
1927	287±91 a	199±110 b	149±112 b	0,010
1928	343±109 a	245±113 b	196±123 b	0,013
1929	257±85 a	180±86 b	139±89 b	0,012

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
1930	323±104 a	248±95 b	172±110 c	0,006
1931	226±90 a	169±78 b	131±110 c	0,022
1932	283±103 a	208±98 b	155±122 b	0,024
1933	317±101 a	238±91 b	173±97 b	0,008
1935	301±83 a	226±83 b	160±73 c	0,005
1936	281±99 a	198±83 b	150±96 c	0,010
1937	245±84 a	176±71 b	156±107 c	0,024
1938	293±113 a	206±83 b	184±148 b	0,023
1955	167±83 a	155±76 a	78±34 b	0,022
1956	140±77 a	131±73 a	57±26 b	0,010
1957	153±90 a	131±62 a	67±29 b	0,012
1958	127±78 a	107±53 a	57±22 b	0,019
1963	156±80 a	128±58 a	80±31 b	0,019
1965	127±75 a	99±53 a	56±23 b	0,019
1966	169±84 a	122±54 b	81±32 c	0,010
1977	176±79 a	124±46 b	92±25 c	0,019
1978	210±110 a	137±66 b	88±34 c	0,014
1979	199±106 a	134±75 b	77±26 c	0,022
1980	152±71 a	115±62 a	70±21 b	0,012
1981	188±94 a	130±74 b	82±27 b	0,012
1982	166±77 a	116±61 b	75±28 c	0,008
1983	152±77 a	89±48 b	57±21 c	0,001
1984	180±82 a	113±54 b	67±23 c	< 0,001
1985	158±67 a	103±47 b	71±29 c	0,001
1986	151±82 a	98±54 b	59±25 c	0,003
1987	190±85 a	145±83 b	74±39 c	0,003
1988	199±82 a	150±80 b	75±30 c	0,002
1989	167±66 a	117±70 b	51±19 c	< 0,001
1990	202±97 a	129±96 b	66±28 c	0,002
1991	198±85 a	134±72 b	69±24 c	0,001
1992	219±91 a	147±76 b	76±38 c	0,001
1993	152±87 a	98±58 b	59±25 c	0,003
1994	187±79 a	130±72 b	91±36 b	0,005
1995	168±75 a	140±91 a	76±37 b	0,009
1996	159±62 a	103±55 b	58±21 c	< 0,001
1997	124±64 a	99±72 a	62±18 b	0,016
1998	155±58 a	112±61 b	75±32 b	0,004
2000	124±53 a	88±57 b	62±23 b	0,004
2001	139±63 a	93±55 b	63±28 b	0,004
2002	193±100 a	125±76 b	84±49 b	0,008
2003	181±98 a	99±48 b	77±49 c	0,004
2004	152±74 a	99±48 b	70±41 c	0,004
2005	134±72 a	77±42 b	44±17 c	< 0,001
2006	75±30 a	51±29 b	27±15 c	< 0,001
Среднее	238±60 a	187±46 b	100±16 c	< 0,001

* Средний годовой прирост ($\text{см} \times 10^{-3}$) ± стандартное отклонение.

** По методу Краскала–Уоллиса.

*** Буквами обозначены результаты парных сравнений по методу Манна–Уитни. Одинаковые буквы обозначают отсутствие статистически значимых различий.

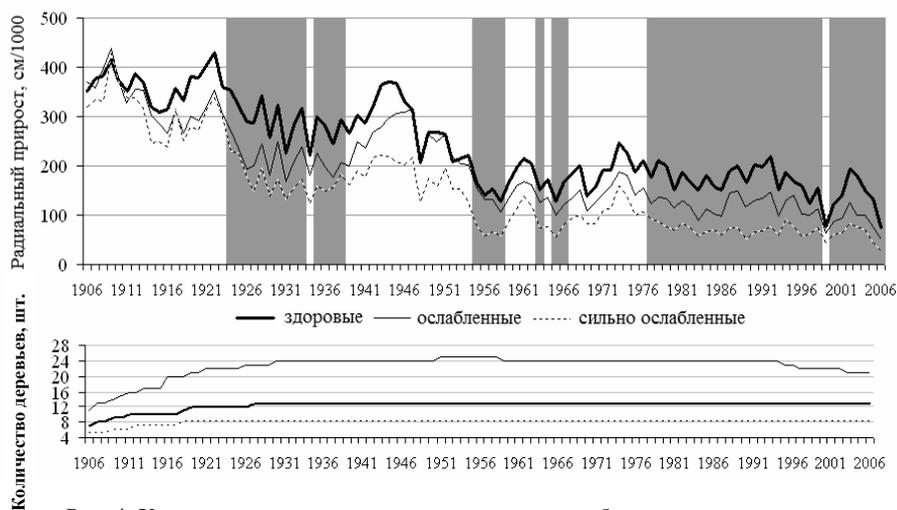


Рис. 4. Ход радиального прироста деревьев кедра сибирского различного жизненного состояния. Годы со значительно различающимся (метод Краскала–Уоллиса) радиальным приростом выделены серой заливкой

Полученные результаты позволяют утверждать, что радиальный прирост и жизненное состояние кедра сибирского достоверно связаны между собой. На это указывают как различия между средним радиальным приростом за 1906–2006 гг., так и результаты сравнения радиального прироста для отдельных лет. Величина радиального прироста увеличивается по мере снижения изреживания кроны. Характерно, что годы, в которые были отмечены значимые различия между радиальным приростом деревьев разного состояния, располагаются группами (см. рис. 4). Другая важная особенность – нарастание частоты появления таких лет с течением времени. Можно утверждать, таким образом, что дифференциация по радиальному приросту деревьев разных категорий состояния по мере увеличения их возраста усиливается. Превышение радиального прироста здоровых деревьев над ослабленными вполне объясняет их более высокий диаметр, а также превышение доли здоровых деревьев по сумме площадей сечений над долей по числу стволов.

Из факторов, потенциально способных повлиять как на радиальный прирост, так и на состояние кроны, были рассмотрены возраст деревьев, корневые гнили, вспышки численности филлофагов, конкуренция, погодные условия. Такой фактор, как механические повреждения – раны, нанесенные в результате околачивания стволов при орехопромысле, в изученном насаждении сравнительно невелики и не оказывают влияния на состояние деревьев.

Сведения о связи возраста и состояния кроны противоречивы, хотя большинство авторов указывают на значительную роль возраста в изменении жизненного состояния древесных пород. Так, у кедра сибирского редукция первичной кроны под влиянием снеголомов начинается с возраста 100–120 лет и в дальнейшем прогрессирует вплоть до полной замены вторичными элементами кроны [31]. На основе данных мониторинга за 10 лет Солбергом

[32] было выявлено уменьшение плотности кроны ели европейской с возрастом. Эта связь также показана в работах Клапа с соавт. [33] и Эвалда для *Picea abies* [34].

С другой стороны, влияние внешних факторов на жизненное состояние может привести к тому, что с помощью возраста объяснить снижение плотности кроны становится невозможно [32]. В изученном нами насаждении возраст большинства деревьев кедра близок к среднему, обособленные поколения отсутствуют, что типично для припоселковых кедровников [35]. В таких условиях отсутствие значимых различий по возрасту между деревьями разных категорий состояния ожидаемо и наблюдаемые различия их радиального прироста возрастом объяснены быть не могут.

Влияние гнилей на прирост и жизненное состояние деревьев рассмотрено достаточно подробно [12, 36]. Из возбудителей гнилей в Белоусовском кедровнике наиболее широко распространен трутовик Швейница (*Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat.), вызывающий комлевую гниль. Поражённость комлевой гнилью деревьев разных категорий состояния значимо не отличается. Это позволяет исключить влияние гнилей на ухудшение состояния кроны в данных условиях. Не оказало влияния наличие гнили и на радиальный прирост.

Уменьшение радиального прироста в результате объедания хвои насекомыми – хорошо известный феномен [8, 9, 10, 37–39]. Массовым видом филлофагов в припоселковых кедровниках в отдельные годы является рыжий сосновый пилильщик *Neodiprion sertifer* Geoffr. [40, 41]. В исследуемом древостое часть его вспышек была подавлена с использованием пестицидов, часть затухла по естественным причинам. Однако некоторые вспышки привели к сильному объеданию крон.

Анализ появления реперных лет (табл. 4) показывает, что деревья, оцененные как здоровые, слабее реагируют на массовое размножение этого филлофага. Достоверно связанное с дефолиацией снижение радиального прироста было отмечено у них только трижды. Пять раз дефолиация приводила к формированию узкого кольца у ослабленных деревьев, четыре – у сильно ослабленных. Это может объяснить превышение прироста здоровых деревьев над приростом ослабленных после 1965 г., когда лесопатологи стали официально регистрировать вспышки массового размножения рыжего соснового пилильщика на территории Томской области.

Таблица 4

Реперные годы, выделенные у деревьев с разным жизненным состоянием (жирным шрифтом помечены годы с документированными вспышками массового размножения рыжего соснового пилильщика)

Категория состояния	Год										
	1929	1931	1934	1948		1965				1999	2006
Здоровые											
Ослабленные	1929	1931	1934	1948		1965	1983		1993	1999	2006
Сильно ослабленные	1929	1931	1934	1948	1956	1965		1989		1999	2006

Однако с помощью этих данных невозможно интерпретировать более частое появление реперных лет у ослабленных деревьев по сравнению с сильно ослабленными, несмотря на более высокий прирост ослабленных деревьев (см. рис. 4). Практически непрерывную серию годов (1924–1938), когда приросты деревьев разных категорий состояния значимо отличались друг от друга (см. табл. 3), видимо, можно объяснить тем, что в этот период в припоселковых кедровниках Томской области также происходили вспышки массового размножения пилильщика, которые не были документально зафиксированы [42].

Состояние кроны также зависит от напряжённости конкуренции [43], хотя имеются и обратные данные [44]. Влияние конкурентного статуса дерева на прирост ствола показано, в частности, на примере сосны обыкновенной [45, 46]. В условиях однородного по таксационным характеристикам исследованного древостоя кедра сибирского без разделения по поколениям конкуренция в дифференциации деревьев по жизненному состоянию играет незначительную роль. Об этом свидетельствует низкое значение коэффициента Крамера. По радиальному приросту куртинные и полукуртинные деревья также не отличаются.

Связь погоды и радиального прироста деревьев исследована во многих работах [9, 23, 47]. Известно, что ширина годичных колец показывает наивысшие корреляции с погодными условиями тогда, когда какой-либо фактор находится в дефиците [47]. Большое количество осадков и относительно низкая обеспеченность теплом региона исследований соответствует предпочтениям кедра, который характеризуется как «древесная порода холодного и влажного климата тайги» [35]. Условия местопроизрастания также близки к оптимальным [48]. Поэтому, несмотря на относительно высокую чувствительность, здоровые и ослабленные деревья кедра не показали значимой корреляции радиального прироста с климатическими условиями.

Таким образом, проведенные исследования показали, что между визуальным определенным жизненным состоянием дерева и радиальным приростом кедра сибирского существует чёткая связь. Деревья, отличающиеся более высокой прозрачностью кроны, имеют меньшую среднюю ширину колец. Ход прироста во времени у деревьев разного состояния близок друг к другу.

Снижение радиального прироста у ослабленных и сильно ослабленных деревьев до некоторой степени можно объяснить более выраженной реакцией на дефолиацию рыжим сосновым пилильщиком. Влияние прочих факторов (гнилевые болезни, конкуренция, погода, возраст) в условиях исследованного насаждения на жизненное состояние и радиальный прирост кедра сибирского достоверно не подтверждено.

Литература

1. *Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests.* Hamburg, Prague: BFH and Sachsische Zeitung, 1994. 177 p.
2. *Eckmüller O., Sterba H.* Crown condition, needle mass, and sapwood area relationships of Norway spruce (*Picea abies*) // *Canadian Journal of Forest Research.* 2000. Vol. 30. № 10. P. 1646–1654.

3. Innes J.L. Observations on the Condition of Beech (*Fagus sylvatica* L.) in Britain in 1990 // Forestry. 1992. Vol. 65, № 1. P. 35–60.
4. Webster K.L., Creed I.F., Nicholas N.S., Miegroet H. van. Exploring interactions between pollutant emissions and climatic variability in growth of red spruce in the Great Smoky Mountains National Park // Water, Air, & Soil Pollution. 2004. Vol. 159, № 1. P. 225–248.
5. Nellemann C., Thomsen M.G. Long-term changes in forest growth: potential effects of nitrogen deposition and acidification // Water, Air, & Soil Pollution. 2001. Vol. 128, № 3–4. P. 197–205.
6. Eilmann B., Weber P., Rigling A., Eckstein D. Growth reactions of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pubescens* Willd. to drought years at a xeric site in Valais, Switzerland // Dendrochronologia. 2006. Vol. 23. P. 121–132.
7. Haavik L.J., Stephen F.M., Fierke M.K., Salisbury V.B., Leavitt S.W., Billings S.A. Dendrochronological parameters of northern red oak (*Quercus rubra* L. (Fagaceae)) infested with red oak borer (*Enaphalodes rufulus* (Haldeman) (Coleoptera: Cerambycidae)) // Forest Ecology and Management. 2008. Vol. 255. P. 1501–1509.
8. Levanič T., Eggertsson O. Climatic effects on birch (*Betula pubescens* Ehrh.) growth in Fnjoskadalur valley, northern Iceland // Dendrochronologia. 2008. Vol. 25. P. 135–143.
9. Dobbertin M. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review // European Journal of Forest Research. 2005. Vol. 124, № 4. P. 319–333.
10. Пальникова Е.Н., Свищерская И.В., Суховольский В.Г. Сосновая пяденица в лесах Сибири: экология, динамика численности, влияние на насаждения. Новосибирск: Наука, 2002. 232 с.
11. Filip G.M., Rosso P.H. Cypress mortality (mal del cipres) in the Patagonian Andes: comparisons with similar forest diseases and declines in North America // Forest Pathology. 1999. Vol. 29, № 2. P. 89–96.
12. Cherubini P., Fontana G., Rigling D., Dobbertin M., Brang P., Innes J.L. Tree-life history prior to death: two fungal root pathogens affect tree-ring growth differently // Journal of Ecology. 2002. Vol. 90, № 5. P. 839–850.
13. Solla A., Sánchez-Miranda Á., Camarero J.J. Radial-growth and wood anatomical changes in *Abies alba* infected by *Melampsorella caryophyllacearum*: a dendroecological assessment of fungal damage // Annals of Forest Science. 2006. Vol. 63. P. 293–300.
14. Алексеев А.С. Анализ экологической структуры популяций *Picea abies* (Pinaceae) в условиях атмосферного загрязнения // Ботанический журнал. 1990. Т. 75, № 9. С. 1277–1284.
15. Torelli N., Shortle W.C., Cufar K., Ferlin F., Smith K.T. Detecting changes in tree health and productivity of silver fir in Slovenia // Forest Pathology. 1999. Vol. 29, № 3. P. 189–197.
16. Dittmar C., Elling W. Dendroecological investigation of the vitality of Common Beech (*Fagus sylvatica* L.) in mixed mountain forests of the Northern Alps (South Bavaria) // Dendrochronologia. 2007. Vol. 25, № 1. P. 37–56.
17. Standovár T., Somogyi Z. Corresponding patterns of site quality, decline and tree growth in a sessile oak stand // Forest Pathology. 1998. Vol. 28, № 2. P. 133–144.
18. Solberg S. Crown condition and growth relationships within stands of *Picea abies* // Scandinavian Journal of Forest Research. 1999a. Vol. 14, № 4. P. 320–327.
19. Григорьев А.А., Будыко М.И. Классификация климатов СССР // Известия АН СССР. Сер. географ. 1959. № 3. С. 25–34.
20. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
21. Горский П. Система поддержки принятия решений. М.: Прототип, 2000. 15 с.
22. Семечкин И.В. Структура и динамика кедровников Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 253 с.
23. Schweingruber F.-H. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Holland, 1988. 276 p.

24. *Neuwirth B., Schweingruber F.-H., Winiger M.* Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971 // *Dendrochronologia*. 2007. Vol. 24. P. 79–89.
25. *Мюллер П., Нойман П., Шторм Р.* Таблицы по математической статистике. М.: Финансы и статистика, 1982. 278 с.
26. *Цыплаков А.А.* Некоторые эконометрические методы. Метод максимального правдоподобия в эконометрии: Методическое пособие. Новосибирск: НГУ, 1997. 129 с.
27. *Kruskal W.H., Wallis W.A.* Use of ranks in one-criterion variance analysis // *Journal of the American Statistical Association*. 1952. Vol. 47, № 260. P. 583–621.
28. *Simes R.J.* An improved Bonferroni procedure for multiple test of significance // *Biometrika*. 1986. Vol. 73, № 3. P. 751–754.
29. *Кендалл М., Стьюарт А.* Статистические выводы и связи. М.: Наука, 1973. 899 с.
30. *Efron B.* The jackknife, the bootstrap and other resampling Plans. Philadelphia, Pa.: SIAM, 1982.
31. *Скорыходов С.Н.* Некоторые экологические аспекты формирования крон кедра сибирского // *Проблемы кедра*. 1992. Вып. 5. С. 131–137.
32. *Solberg S.* Crown density changes of Norway spruce and the influence from increased age on permanent monitoring plots in Norway during 1988–1997 // *Forest Pathology*. 1999b. Vol. 29, № 3. P. 219–230.
33. *Klap J.M., Voshaar J.H.O., Vries W.De, Erisman J.W.* Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe. Part IV: Statistical analysis of relationships // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2000. Vol. 119, № 1–4. P. 387–420.
34. *Ewald J.* Ecological background of crown condition, growth and nutritional status of *Picea abies* (L.) Karst. in the Bavarian Alps // *European Journal of Forest Research*. 2005. Vol. 124. P. 9–18.
35. *Бех И.А.* Кедровники южного Приобья. Новосибирск: Наука, 1974. 210 с.
36. *Kelsey Rick G., Joseph Gladwin, Thies Walter G.* Sapwood and crown symptoms in ponderosa pine infected with black-stain and annosum root disease // *Forest Ecology and Management*. 1998. Vol. 111, № 2–3. P. 181–191.
37. *Плещанов А.С., Пиндора Е.С.* Патология кедра в очагах сибирского шелкопряда // Влияние антропогенных и природных факторов на хвойные деревья (патология и резистентность). Иркутск, 1975. С. 215–240.
38. *Camarero J.J., Martin E., Gil-Pelegrin E.* The impact of a needleminer (*Epinotia subsequana*) outbreak on radial growth of silver fir (*Abies alba*) in the Aragón Pyrenees: A dendrochronological assessment // *Dendrochronologia*. 2003. Vol. 21, № 1. P. 3–12.
39. *Krause C., Gionest F., Morin H., MacLean D.A.* Temporal relation between defoliation caused by spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* Clem.) and growth of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) // *Dendrochronologia*. 2003. Vol. 21, № 1. P. 23–31.
40. *Коломиец Н.Г., Стадницкий Г.В., Воронцов А.И.* Рыжий сосновый пилильщик (распространение, биология, вред, естественные враги, меры борьбы). Новосибирск: Наука, 1972. 145 с.
41. *Хоничев Н.В., Кривец С.А., Бисирова Э.М.* Массовые размножения рыжего соснового пилильщика в припоселковых кедровниках Томской области // Популяционная экология животных: Материалы междунар. конф. Томск: Изд-во ТГУ, 2006. С. 70–72.
42. *Демидко Д.А., Кривец С.А., Бисирова Э.М.* Связь радиального прироста кедра сибирского со вспышками массового размножения рыжего соснового пилильщика в южной тайге Западной Сибири // Материалы науч. конф. «Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса». Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2009. С. 373–376.
43. *Bert G.D.* Impact of ecological factors, climatic stresses, and pollution on growth and health of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Jura Mountains: an ecological and dendrochronological study // *Acta Oecologica*. 1993. Vol. 14, № 2. P. 229–246.
44. *Solberg S., Moshaug E.* Crown condition of Norway spruce: within stand relationships and competition // *Forestry*. 1999. Vol. 72, № 4. P. 329–336.

45. Vanninen P., Mäkelä An. Needle and stem wood production in Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees of different age, size and competitive status // *Tree Physiology*. 2000. Vol. 20, № 8. P. 527–533.
46. García-Abril An., Martín-Fernández S., Grande M.An., Manzanera J.A. Stand structure, competition and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in a Mediterranean mountainous environment // *Annals of Forest Science*. 2007. Vol. 64. P. 825–830.
47. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
48. *Справочное пособие по таксации лесов Сибири* / Под ред. Э.Н. Фалалеева. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1974. Т. 1. 155 с.

Поступила в редакцию 07.08.2010 г.

Denis A. Demidko¹, Svetlana A. Krivets², Elvina M. Bisirova²

¹Altai State education academy, Biysk, Russia

²Institute of monitoring of climatic and ecological systems of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

CONNECTION BETWEEN RADIAL INCREMENT AND TREE VITALITY OF SIBERIAN STONE PINE

*The connection between tree vitality and radial increment of Siberian stone pine was studied. Clear-cut distinctions between crown transparency and stem radial increment were established. The decreasing of radial increment of the weakened and extremely weakened trees is conditioned by the reaction to crown defoliation by European pine sawfly *Neodiprion sertifer* Geoffr. Other factors (rots, concurrence, climatic characteristics and tree age) in an investigated stand did not influence tree vitality and radial increment of Siberian stone pine.*

Key words: Siberian stone pine; tree vitality; radial increment.

Received August 7, 2010