

**LARIX SIBIRICA (PINACEAE) НА ВЕРХНЕЙ И НИЖНЕЙ ГРАНИЦАХ
СВОЕГО ПРОИЗРАСТАНИЯ (СЕВЕРО-ЧУЙСКИЙ ХРЕБЕТ, ГОРНЫЙ АЛТАЙ)**

А.Ю. Бочаров, Д.А. Савчук

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
634055, Томск, просп. Академический, 10/3, e-mail: bochar74@mail.ru*

На верхней (лесные массивы, приграничные с высокогорной тундрой) и нижней (с Курайской степью) границах произрастания лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на Северо-Чуйском хребте (Горный Алтай) описана возрастная структура лиственничных древостоев, проведен дендроклиматический анализ связи радиального прироста лиственницы сибирской с многолетним ходом среднемесячной температуры воздуха и сумм осадков. Показано, что новые возрастные поколения лиственницы сибирской появляются во внутривековые и вековые периоды улучшения лесорастительных условий, связанные с потеплением климата.

Ключевые слова: *Larix sibirica*, возрастная структура, радиальный прирост, верхняя и нижняя границы, Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай.

**LARIX SIBIRICA (PINACEAE) AT THE UPPER AND LOWER FOREST LINES
(THE SEVERO-CHUISKY RANGE, THE ALTAI MOUNTAINS)**

A.Yu. Bocharov, D.A. Savchuk

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS,
634055, Tomsk, Academichesky prosp., 10/3, e-mail: bochar74@mail.ru*

At the upper (forests near the high altitudinal tundra) and lower (forests near the Kuraisky steppe) limits of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) on the Severo-Chuisky Range (the Altai Mountains) the age structure of larch stands was described and the correlations between tree ring width chronologies and month temperature and precipitation sequences were analyzed. The new larch generations appeared during the century and decadal periods of temperature rise.

Key words: *Larix sibirica*, age structure, radial growth, upper and lower forest lines, Severo-Chuisky Range, Altai Mountains.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование экологии хвойных видов на границах своего произрастания (верхняя, нижняя, полярная, лесостепная, лесоболотная и т. п.) давно привлекает внимание научного сообщества (Шиятов, 1986; Хуторной и др., 2001; Горошкевич, Кустова, 2002; Забуга В.Ф., Забуга Г.А., 2007; Сизых, 2007; Тишин, 2008; Велисевич и др., 2013; Baig, Tranquillini, 1980; Laberge et al., 2001; и др.). Выявление реакций видов на пессимальные условия на этих границах позволяет оценить степень адаптации вида и возможности его существования.

На Северо-Чуйском хребте Горного Алтая преобладают кедровые и лиственнично-кедровые леса со сложной возрастной структурой. Пространственно-временная изменчивость таких лесов и взаимоотношение элементов леса, а также реакции хвойных видов на изменения факторов окружающей среды имеют важное фундаментальное значение для экологии. Эта проблема стано-

вится еще более актуальной в период глобальных климатических изменений (Briffa et al., 1998; Mann et al., 1999; IPCC, 2007). Леса высокогорий представляют собой четкий ландшафтно-климатический индикатор, который дает возможность оценить тенденции и региональные особенности реакции лесов на изменения климата.

Годичные кольца деревьев позволяют точно определить их возраст и исследовать динамику изменения прироста древесины. Сделать это удобно дендрохронологическими методами, использующими четкую датировку годичных колец с разрешением в один год (Ваганов и др., 1996), на лиственнице сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) – одном из лесообразующих видов в Горном Алтае (Крылов, Речан, 1967). В то же время изучение радиального прироста деревьев вместе с таксационным и, в частности, возрастным строением лесов с учетом существующих закономерностей хода роста древостоев позво-

ляет проследить развитие лесов в течение их жизни, охарактеризовать темпы и особенности их развития в условиях климатических изменений.

Цель работы – оценить возрастную структуру лиственничных древостоев и динамику радиаль-

ного прироста деревьев лиственницы сибирской на верхней и нижней границах произрастания в бассейне р. Актру (северный макросклон Северо-Чуйского хребта, Горный Алтай) в условиях изменяющегося климата.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования структуры хвойных древостоев и влияние климатических данных на радиальный рост лиственницы сибирской проводились на верхней и нижней границах леса в верхней и нижней частях лесного пояса, на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай). Для выполнения этой задачи в 2008–2010 гг. было заложено 18 постоянных пробных площадей (ПП): 8 ПП в коренных и 5 ПП в “производных” лиственничных и кедрово-лиственничных лесных массивах верхней части лесного пояса, в верховьях р. Актру на высоте 2250–2100 м, граничащих с высокогорной тундрой, и 5 ПП в лиственничных и смешанных массивах нижней части пояса, ниже по течению реки на высоте 1750–1650 м на границе с Курайской степью.

На каждой ПП проводили сплошной пересчет деревьев по возрастным поколениям, измеряли высоты и диаметры деревьев. Всю дальнейшую обработку материала выполняли по выделенным поколениям и древостою в целом. Разбиение древостоев на возрастные категории (поколения) и определение типов возрастной структуры высокогорных лесов производили по классификации И.В. Семечкина (1970). Образцами для анализа возрастной структуры и радиального прироста служили древесные керны, взятые по двум радиусам с более чем 220 модельных деревьев. На кернах

подсчитывали количество годичных колец для определения возраста деревьев и измеряли их ширину для анализа хронологий радиального прироста. Для деревьев с гнилью вносили возрастную поправку на ее величину (Семечкина, 1964).

Для построения древесно-кольцевых хронологий измеряли ширину древесных колец с помощью измерительного комплекса LINTAB-6 с пакетом компьютерных программ TSAP v. 3.5 с точностью 0.01 мм. После получения индивидуальных древесно-кольцевых рядов проводили их перекрестное датирование (Douglass, 1919; Holmes, 1983). Для выявления связей прироста с климатическими параметрами выполняли процедуру стандартизации этих хронологий с помощью программы CRONOL (Methods..., 1990; Holmes, 1992). Индивидуальные индексные серии затем усредняли в хронологии.

Для выявления климатического отклика деревьев использовали среднемесячные температуры и суммы осадков ближайшей метеостанции Актру, расположенной в верховьях р. Актру (в 8–10 км от пробных площадей, граничащих со степью). Корреляционный анализ остаточных хронологий прироста и рядов климатических переменных выполняли в специализированном пакете Statistica for Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ таксационной структуры изучаемых древостоев показал, что они обладают достаточно сложным строением: представлены одним-тремя видами и состоят из двух-трех полноценных возрастных поколений.

В верхней части лесного пояса в верховьях долины р. Актру на абсолютных высотах 2150–2350 м распространены приграничные с высокогорной тундрой коренные разнотравные кедрово-лиственничные леса с участием деревьев лиственницы сибирской до 30 % по запасу. Чистые лиственничные насаждения, где кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour) представлен единично, немногочисленны. Лесные массивы западного и восточного склонов долины близки по своей возрастной структуре. Лиственничные древостои, как правило, состоят из деревьев, относящихся к трем полноценным возрастным поколениям (рис. 1). Первое поколение представлено единичными деревьями (сохранившиеся остатки материнского полога), средний

возраст которых превышает 500 лет и может достигать 600 лет. Деревья второго (основного) поколения в разных лесных массивах имеют средний возраст от 330 до 370 лет. Возраст третьего (молодого) поколения лиственницы сибирской варьирует от 90 до 160 лет. Кедровые древостои также представлены деревьями трех поколений со средним возрастом основного яруса более 400 лет и остатками деревьев материнского полога возрастом более 500 лет; возраст самого молодого поколения кедра сибирского идентичен третьему поколению лиственницы сибирской.

Там же на высотах 2100–2200 м распространены “производные” древостои (пройденные пожарами) – древостои того же или близкого видового состава, которые появились после сильных пожаров в Горном Алтае на рубеже XVIII–XIX вв., последствия которых отмечал В.В. Сапожников (1949) во время своих экспедиций столетие назад. Они представлены в основном разнотравными

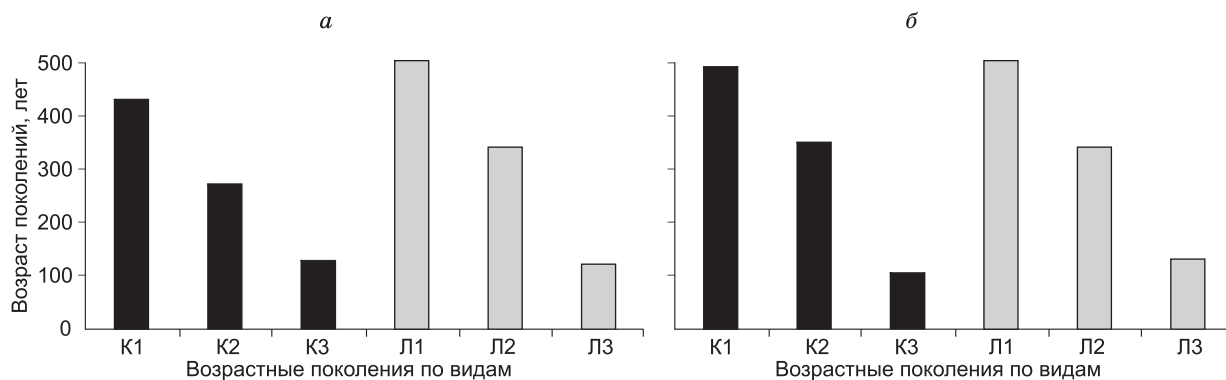


Рис. 1. Возрастная структура древостоев коренных лесов в верхней части лесного пояса Северо-Чуйского хребта (а – восточный, б – западный склоны).

Цифрами (1, 2, 3) обозначены возрастные поколения, буквами – названия видов деревьев (К – кедр сибирский, Л – лиственница сибирская, Е – ель сибирская).

смешанными лиственнично-кедровыми древостоями с участием лиственницы сибирской от 40 до 90 % по запасу. Лиственничные древостои – деревья одного-двух возрастных поколений. На восточном, более сухом, склоне долины они состоят из деревьев лиственницы сибирской и кедра сибирского, относящихся к двум возрастным поколениям (рис. 2, а). Первое поколение лиственницы сибирской в разных лесных массивах представлено деревьями со средним возрастом от 212 до 297 лет, второе – 120–181 год соответственно. Основное поколение деревьев кедра сибирского имеет средний возраст от 125 до 271 года, второе – 83–106 лет. На западном, более влажном, склоне лиственница сибирская представлена деревьями одного поколения со средним возрастом 218 лет (см. рис. 2, б). Второе поколение здесь не выделяется из-за крайней малочисленности молодых деревьев. Деревья кедра сибирского относятся к двум возрастным поколениям, средний возраст первого составляет 214 лет, второго – 140 лет.

Таким образом, коренные и “производные” леса верхней части лесного пояса представлены

кедрово-лиственничными древостоями, чистые лиственничные массивы немногочисленны. Возрастная структура коренных лиственничных древостоев обоих склонов долины сходна: выделены по три возрастных поколения деревьев лиственницы сибирской; “производных” древостоев, расположенных ниже по абсолютной высоте; она сходна по абсолютному возрасту основного поколения и различна по числу поколений.

В нижней части лесного пояса, вблизи поймы р. Актру, на высотах 1720–1750 м преобладают разнотравные кедрово-елово-лиственничные леса с участием в составе лиственницы сибирской до 21 % и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) до 23 % по запасу (рис. 3). Кедровый древостой как основной по запасу представлен деревьями трех возрастных поколений: средний возраст первого (основного) – 171 год, наиболее молодого – 60 лет. Лиственничный древостой также состоит из деревьев трех возрастных поколений. Первое и основное по запасу поколение – единичные деревья со средним возрастом 215 лет, второе и третье имеют близкий возраст с первым и третьим поко-

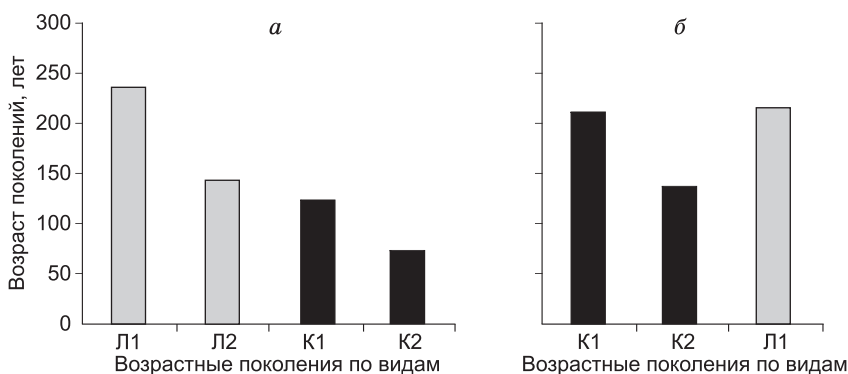


Рис. 2. Возрастная структура древостоев “производных” лесов в верхней части лесного пояса Северо-Чуйского хребта (а – восточный, б – западный склоны).

Ост. обозн. см. на рис. 1.

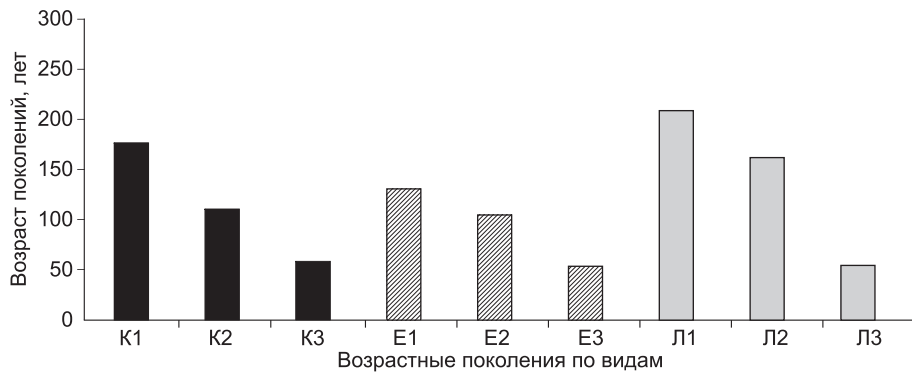


Рис. 3. Возрастная структура древостоев нижней части лесного пояса Северо-Чуйского хребта. Ост. обозн. см. на рис. 1.

лениями кедр сибирского – 162 и 53 года соответственно. Средний возраст деревьев первого поколения ели сибирской – 133 года, второго и третьего поколений близок к возрасту кедрового древостоя – 97 и 50 лет.

В пограничной полосе шириной 100–200 м между сомкнутыми вышеописанными лесами и Курайской степью распространены разнотравные лиственнично-кедрово-еловые леса с участием кедр сибирского 3–11 % по запасу и ели сибирской до 4 % (рис. 4). Лиственничный древостой состоит из деревьев трех поколений. Первое поколение представлено единичными деревьями со средним возрастом от 231 до 238 лет. Деревья второго основного поколения имеют средний возраст от 83 лет ближе к степи до 126 лет в верхней части этой полосы. Возраст наиболее молодого поколения лиственницы по пограничной полосе близок и составляет 53 года. Кедровый древостой представлен деревьями одного или двух поколений со средним возрастом основного яруса 89–128 лет и второго – 58 лет.

В степи на высоте 1650 м встречаются изолированные друг от друга группы деревьев лиственницы сибирской с достаточно высокой сомкнутос-

тью, где можно выделить два, реже три возрастных поколения (рис. 5). Первое поколение представлено единичными деревьями со средним возрастом 265 лет. Второе основное поколение имеет средний возраст от 184 до 189 лет. Наиболее молодое – третье поколение (от 69 до 73 лет).

Таким образом, в нижней части лесного пояса преобладают разнотравные кедрово-елово-лиственничные леса, которые при движении вниз к Курайской степи сменяются лиственничными. При этом видовой состав лесных массивов упрощается, количество возрастных поколений не изменяется, средний возраст деревьев сначала снижается (к пограничной полосе), а потом повышается (к степи).

При приближении к границам произрастания лесов, особенно к верхней, упрощение возрастной структуры древостоев отмечалось для Семинского хребта (Бочаров, 2011а), Приполярного Урала (Григорьев и др., 2012), Кузнецкого Алатау (Моисеев, 2002). На северном макросклоне Северо-Чуйского хребта эта закономерность нарушается из-за сохранившихся остатков материнского полога лиственницы сибирской, возраст таких единичных деревьев превышает 500 лет и может достигать 600 лет.

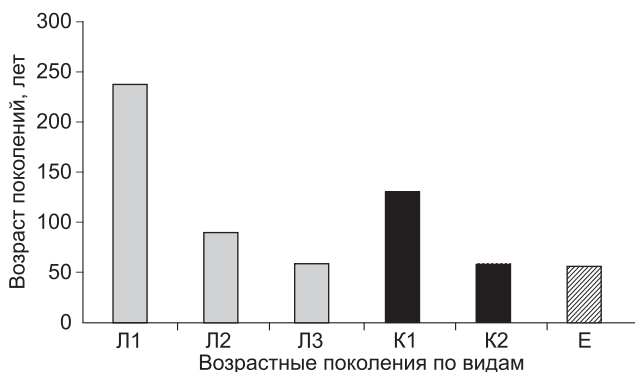


Рис. 4. Возрастная структура древостоев в пограничной полосе между нижней частью лесного пояса Северо-Чуйского хребта и Курайской степью. Ост. обозн. см. на рис. 1.

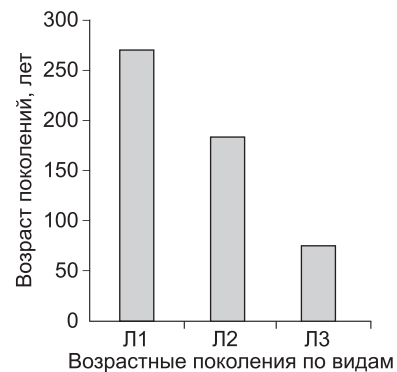


Рис. 5. Возрастная структура изолированных друг от друга групп деревьев в Курайской степи. Ост. обозн. см. на рис. 1.

В верхней части приграничных с высокогорной тундрой и степью лесных массивов преобладают кедрово-лиственничные древостой, в нижней – лиственничные. Возрастная структура коренных лесов уникальна и не имеет сходства со структурой остальных рассмотренных лесов: высокий средний возраст поколений, наличие очень старых деревьев (до 600 лет), редкая встречаемость молодых деревьев (младше 100 лет). Средний возраст деревьев первого поколения “производных” лесов на обоих склонах долины и приграничных со степью лесных массивов близок (220–260 лет), второго – находится в интервале от 100 до 200 лет. Третье поколение, выделенное в лиственничных древостоях нижней части лесного пояса (средний возраст 70 лет), отсутствует в “производных” и коренных лесах верхней части лесного пояса.

Для анализа радиального роста лиственницы сибирской были построены ее обобщенные стандартизированные древесно-кольцевые хронологии длительностью 539 лет для приграничных лесов верхней части лесного пояса и 234 года нижней (рис. 6). Коэффициенты корреляции индивидуальных рядов прироста, которые легли в основу каждой из двух обобщающих хронологий, показали хорошее качество исходных рядов (0.71 и 0.75 соответственно).

Амплитуда погодичных колебаний прироста деревьев с верхней границы выше, чем таковая с нижней. Хорошо выражена внутривековая цикличность прироста (4.9–5.1, солнечный цикл – 10.6–11.4, брикнеровский – 32–34 года и др.).

Сравнение полученных хронологий с погодичными среднемесячными климатическими переменными метеостанции Актру показало, что радиальный прирост лиственницы сибирской, произрастающей в приграничных с высокогорной тундрой лесах, лимитируется температурой воздуха вегетационного сезона: достоверно положительная связь выявлена с весенне-летними температурами (коэффициент корреляции с температурой мая – 0.55, июня и июля – 0.50). Также имеется слабая отрицательная зависимость прироста от суммы осадков июня (–0.34). Для формирования относительно широкого годичного кольца требуется теплая и сухая погода в начале и середине вегетационного сезона. В это время в почвенном горизонте достаточно влаги для роста деревьев, а ее избыток в виде дождя негативно сказывается на развитии клеток ксилемы. Термические условия сезона (преимущественно его начала) определяют радиальный рост лиственницы сибирской на верхней границе леса не только в соседних с исследуемой долинах Северо-Чуйского хребта (Овчинников и др., 2002; Мыглан и др., 2009), но и в горах Юго-Восточной Тывы (Ойдупаа и др., 2011).

Радиальный прирост лиственницы сибирской, произрастающей в приграничных со степью лесных массивах, лимитируется осадками в течение всего сезона (0.38–0.48 – с мая по июль, 0.41–0.43 – с июля по август). В то же время связь с температурой выявляется в течение отдельных месяцев (–0.38 для июля, –0.39 для июля–августа). Здесь требования к погодно-климатическим условиям у

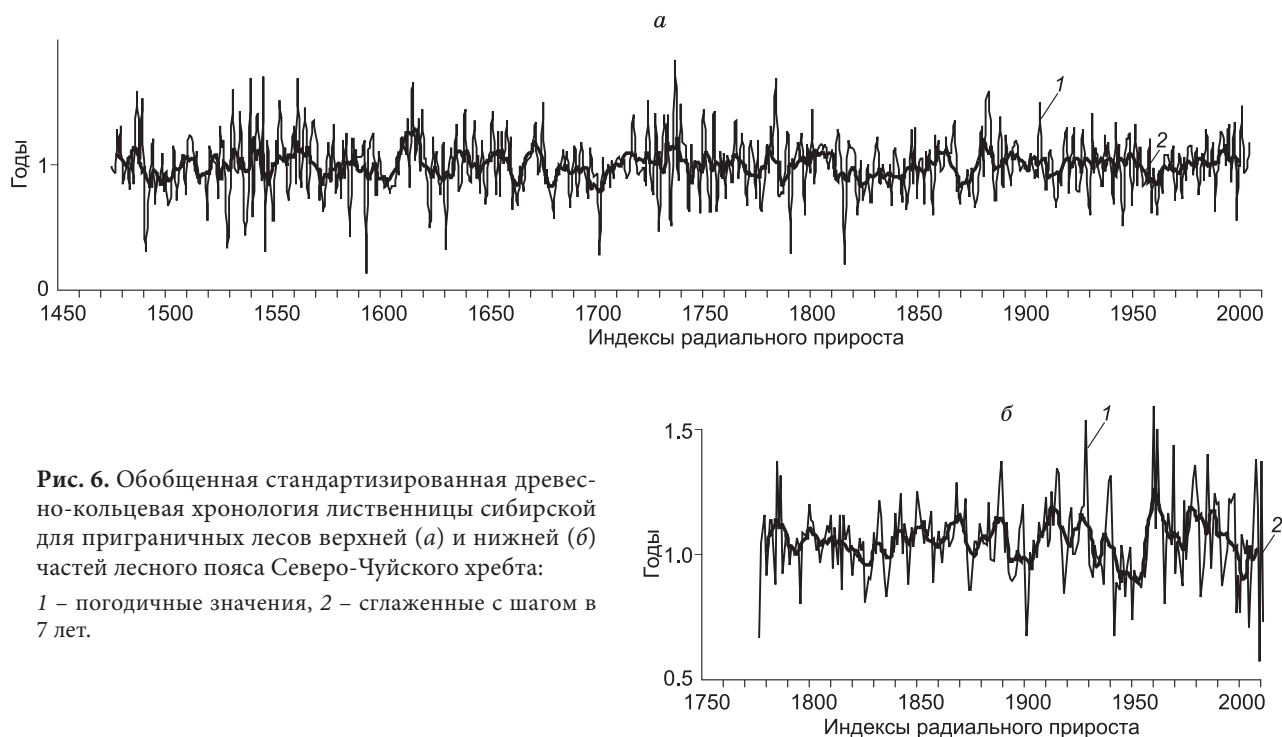


Рис. 6. Обобщенная стандартизированная древесно-кольцевая хронология лиственницы сибирской для приграничных лесов верхней (а) и нижней (б) частей лесного пояса Северо-Чуйского хребта:

1 – погодичные значения, 2 – сглаженные с шагом в 7 лет.

деревьев лиственницы сибирской противоположные: режим увлажнения является ограничивающим рост фактором, из-за близости сухой степи дереву необходима прохладная и влажная погода. Для радиального роста лиственницы сибирской режим увлажнения имеет решающее значение в зоне контакта леса и степи в Терехольской котловине Тывы (Кузнецова, Козлов, 2011). Более того, положительная реакция прироста на летние атмосферные осадки у лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) в приграничных со степью районах Южного Урала сохраняется в периоды как похолодания, так и потепления климата на протяжении всей второй половины XX в. (Кучеров, 2010). Хотя в условиях, приграничных к горным степям, может выявляться и нестабильный во времени климатический отклик радиального прироста деревьев (Магда, Ваганов, 2006; Магда и др., 2011).

Анализ вышеописанной возрастной структуры лиственничных древостоев и хода реконструированной температуры воздуха за последние 500 лет для верховьев р. Актру (Бочаров, 2011б) показал их сопряженную изменчивость.

Увеличение температуры весенне-летних месяцев в конце XV и начале XVI в. привело к улучшению лесорастительных условий и возникновению первого поколения лиственницы сибирской в коренных приграничных лесах верхней части лесного пояса. Это поколение на сегодня представле-

но единичными деревьями в виде сохранившихся остатков материнского полога. Следующее возрастное поколение (второе, основное) появилось в середине XVII в. (вековой период повышения температуры). Третье поколение связано с увеличением термического режима в середине XIX и на рубеже XIX–XX вв.

В “производных” приграничных лесах верхней части лесного пояса первое поколение возникло в период общего поднятия температуры на протяжении XVIII столетия, второе – на восходящей ветви векового цикла потепления в XIX в.

Периоды возникновения первого и второго возрастных поколений в приграничных со степью лесных массивах совпадают с периодами повышения температуры воздуха длительностью 10–15 лет и появлением тех же поколений в “производных” приграничных с тундрой лесах.

Появление новых возрастных групп деревьев лиственницы сибирской в периоды усиления режима теплообеспеченности отмечено не только на верхней границе ее произрастания на Полярном Урале (Шиятов, Мазепа, 2007; Григорьев и др., 2010), но и на полярной границе леса на Ямале (Хантемиров и др., 2008). Видимо, повышенная температура воздуха благоприятна для распространения семян лиственницы сибирской, появления ее всходов, развития и выживания ее подроста в таких суровых условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коренные и “производные” приграничные с тундрой леса верхней части лесного пояса Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай) в основном представлены кедрово-лиственничными древостоями, а в приграничных со степью лесах нижней части преобладают лиственничные. Возрастная структура коренных лесов уникальна и не имеет сходства со структурой всех остальных рассмотренных лесов: здесь средний возраст поколений выше, имеются очень старые деревья (до 600 лет), в то время как молодые (младше 100 лет) встречаются редко. Средний возраст деревьев первого поколения “производных” лесов на обоих склонах долины и приграничных со степью лесных массивах близок (220–260 лет), второго – находится в интервале от 100 до 200 лет. Третье поколение, выделенное в лиственничных древостоях нижней части лесного пояса (средний возраст 70 лет), отсутствует в “производных” и коренных лесах верхней части лесного пояса.

Радиальный прирост лиственницы сибирской приграничных с тундрой лесов лимитируется тем-

пературой воздуха вегетационного сезона, приграничных со степью – осадками.

Сравнение возрастной структуры лиственничных древостоев, динамики радиального прироста деревьев лиственницы сибирской и хода реконструированной температуры воздуха за последние 500 лет показало, что возрастные поколения в лесах появляются в периоды увеличения температуры.

Таким образом, радиальный прирост деревьев лиственницы сибирской в приграничных лесах верхней части лесного пояса Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай) лимитируется температурным режимом, нижней – режимом увлажнения. Появление возрастных поколений лиственничных древостоев имеет климатогенную природу и определяется внутривековыми и вековыми периодами повышенных температур начала вегетационного периода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № 13-05-00762.

ЛИТЕРАТУРА

- Бочаров А.Ю.** Высокогорные леса Центрального Алтая: Таксационная структура и радиальный рост. Saarbrücken, 2011a. 212 с.
- Бочаров А.Ю.** Структура и динамика высокогорных лесов Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай) в условиях изменений климата // Вестн. Том. гос. ун-та. 2011b. № 352. С. 203–206.
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С.** Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск, 1996. 246 с.
- Велисевич С.Н., Хуторной О.В., Горошкевич С.Н.** Морфогенез стелющихся и прямостоячих форм *Pinus sibirica* Du Tour (Pinaceae) на интразональных границах распространения // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Биология. 2013. Т. 6, № 3. С. 275–289.
- Горошкевич С.Н., Кустова Е.А.** Морфогенез жизненной формы стланика у кедра сибирского на верхнем пределе распространения в горах Западного Саяна // Экология. 2002. № 4. С. 243–249.
- Григорьев А.А., Моисеев П.А., Нагимов З.Я.** Влияние изменения климата на динамику верхней границы древесной растительности в горах Приполярного Урала // Вестн. Алт. гос. аграр. ун-та. 2010. № 12 (74). С. 34–40.
- Григорьев А.А., Моисеев П.А., Нагимов З.Я.** Формирование древостоев в высокогорьях Приполярного Урала в условиях современного потепления климата. Екатеринбург, 2012. 170 с.
- Забуга В.Ф., Забуга Г.А.** Особенности роста вегетативных органов сосны обыкновенной в лесостепном Предбайкалье // Экология. 2007. № 6. С. 409–416.
- Крылов А.Г., Речан С.П.** Типы кедровых и лиственничных лесов Горного Алтая. М., 1967. 224 с.
- Кузнецова Е.П., Козлов Д.Н.** Внутриландшафтная изменчивость радиальных приростов лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) Терехольской котловины Тывы в XX в. // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Биология. 2011. Т. 4, № 4. С. 325–337.
- Кучеров С.Е.** Реконструкция летних осадков на Южном Урале за последние 375 лет на основе анализа радиального прироста лиственницы Сукачева // Экология. 2010. № 4. С. 248–256.
- Магда В.Н., Блок Й., Ойдупаа О.Ч., Ваганов Е.А.** Выделение климатического сигнала на увлажнение из древесно-кольцевых хронологий в горных лесостепях Алтае-Саянского региона // Лесоведение. 2011. Вып. 1. С. 28–37.
- Магда В.Н., Ваганов Е.А.** Особенности климатического отклика радиального прироста деревьев в условиях горных лесостепей Алтае-Саянского региона // Изв. РАН. Сер. геогр. 2006. № 5. С. 92–100.
- Моисеев П.А.** Влияние изменений климата на радиальный прирост и формирование возрастной структуры высокогорных лиственничников Кузнецкого Алатау // Экология. 2002. № 1. С. 10–17.
- Мыглан В.С., Овчинников Д.В., Ваганов Е.А., Быков Н.И., Герасимова О.В., Сидорова О.В., Силкин П.П.** Построение 1772-летней древесно-кольцевой хронологии для территории Республики Алтай // Изв. РАН. Сер. геогр. 2009. № 6. С. 70–77.
- Овчинников Д.В., Панюшкина И.П., Адаменко М.Ф.** Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы Горного Алтая и ее использование для реконструкции летней температуры // География и природ. ресурсы. 2002. № 1. С. 102–108.
- Ойдупаа О.Ч., Баринов В.В., Сердобов В.Н., Мыглан В.С.** Построение и анализ 1104-летней древесно-кольцевой хронологии Тагус для Алтае-Саянского региона (Юго-Восточная Тыва) // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Биология. 2011. Т. 4, № 4. С. 368–377.
- Сапожников В.В.** По Русскому и Монгольскому Алтаю. М., 1949. 580 с.
- Семечкин И.В.** Динамика возрастной структуры древостоев и методы изучения // Вопросы лесоведения. Красноярск, 1970. Вып. 1. С. 422–445.
- Семечкина М.Г.** Пути повышения точности определения возраста кедра в разновозрастных древостоях Западного Саяна // Особенности устройства горных лесов Сибири. М., 1964. С. 92–102.
- Сизых А.П.** Пространственная изменчивость растительных сообществ зоны контакта “лес–степь” по аэрокосмическим снимкам разных лет съемки (западное побережье оз. Байкал) // Исследование Земли из космоса. 2007. № 3. С. 47–52.
- Тишин Д.В.** Дендроклиматические исследования ели финской (*Picea × fennica* (Regel) Kom.) на южной границе ареала // Учен. зап. Казан. гос. ун-та. Естеств. науки. 2008. Т. 150, кн. 4. С. 219–225.
- Хантемиров Р.М., Сурков А.Ю., Горланова Л.А.** Изменения климата и формирование возрастных поколений лиственницы на полярной границе леса на Ямале // Экология. 2008. Т. 5. С. 323–328.
- Хуторной О.В., Велисевич С.Н., Воробьев В.Н.** Экологическая изменчивость морфоструктуры кроны кедра сибирского на верхней границе распространения // Там же. 2001. № 6. С. 427–433.
- Шиятов С.Г.** Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М., 1986. 136 с.
- Шиятов С.Г., Мазепа В.С.** Климатогенная динамика лесотундровой растительности на Полярном Урале // Экология. 2007. № 6. С. 11–22.
- Baig M.N., Tranquillini W.** The effects of wind and temperature on cuticular transpiration of *Picea abies* and *Pinus cembra* and their significance in desiccation damage at the alpine treeline // Oecologia. 1980. V. 47, No. 2. P. 252–256.
- Briffa R.K., Jones Ph.D., Schweingruber F.H.** Summer temperature pattern over Europe: A reconstruction from 1750 A.D. based on maximum latewood density

- indices of conifers // Quaternary Res. 1998. V. 30. P. 36–52.
- Douglas A.E.** Climatic cycles and tree growth: A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington, 1919. V. 1. 127 p.
- Holmes R.L.** Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements // Tree-Ring Bull. 1983. V. 44. P. 69–75.
- Holmes R.L.** Program CRONOL. Tuscon, 1992.
- IPCC 2007.** Climate Change 2007. 4. Assessment report. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Chap. 6. P. 434–497.
- Laberge M.-J., Payette S., Pitre N.** Development of stunted black spruce (*Picea mariana*) clones in the subarctic environment: A dendroarchitectural analysis // Ecoscience. 2001. V. 8, No. 4. P. 489–498.
- Mann M.E., Bradley R.S., Huges M.K.** Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences and uncertainties, and limitations // Geophys. Res. Lett. 1999. V. 26, No. 6. P. 759–762.
- Methods** of dendrochronology: Applications in the environmental sciences / E.R. Cook, L.A. Kairukstis (eds.). Dordrecht; Boston; London, 1990. 394 p.