ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 630.574.4.2

ПРИРОСТ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ (LARIX SIBIRICA LDB.) НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ ЛЕСА В РЕСПУБЛИКЕ АЛТАЙ¹

© 2015 г. А.В. Тайник*, В.С. Мыглан*, В.В. Баринов*, А.Н. Назаров*, А.Р. Агатова**; ***, Р.К. Непоп**; ****

*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
**Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия
***Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
****Новосибирский государственный университет, Россия
e-mail: tainik anna@mail.ru; agatr@mail.ru

Поступила в редакцию 14.01.2015 г.

В статье представлены результаты анализа древесно-кольцевых хронологий Коксу, Chind, Ak-ha, Jelo, Tute, Tara, Sukor по лиственнице сибирской (Larix sibirica Ldb.) на верхней границе леса в Республике Алтай. Показано, что прирост всех хронологий (расположенных на высоте 2200 м и выше) тесно связан между собой. Расчет функции отклика между приростом древесно-кольцевых хронологий и данными по среднемесячной приземной температуре воздуха выявил, что основное влияние на радиальный прирост оказывают температуры июня и июля. Полученные древесно-кольцевые хронологии хорошо согласуются с хронологиями, построенными по соседним регионам (Республика Тыва – хронология Мопдип; Республика Монголия – хронология Кhalzam Khamar), т. е. содержат сильный межрегиональный климатический сигнал и могут быть использованы для построения региональной обобщенной древесно-кольцевой хронологии. Наибольшим потенциалом для построения тысячелетних древесно-кольцевых хронологий и проведения реконструкции температур июня и июля обладают участки Коксу и Аk-ha.

Ключевые слова: верхняя граница леса, климат, дендроклиматология, древесно-кольцевая хронология, ширина годичного кольца, лиственница сибирская, прирост деревьев, температура воздуха, региональные особенности, Алтай.

Введение. В последние годы заметное место в исследовании региональных и глобальных изменений климата и сопутствующих изменений в экосистемах занимает изучение процессов, происходящих на верхней границе леса [16, 19, 20, 24, 26, 34 и др.]. Применительно к Алтае-Саянскому региону актуальность исследований обусловливает тот факт, что компоненты горных экосистем на верхней границе распространения не испытывают значимого влияния антропогенных факторов [1, 15, 28 и др.], а изменчивость прироста древесных растений содержит сильный климатический сигнал, обусловленный коротким вегетационным сезоном. Это позволяет привлекать годичные кольца в качестве источника палеоклиматической информации с высоким (год, сезон) разрешением [12, 27 и др.].

В настоящее время для территории Республики Алтай по верхней границе леса построен ряд древесно-кольцевых хронологий (ДКХ): 1105-летняя для долины Актру [13] и 1896-летняя хронология для долины Джело [8] по лиственнице сибирской (Larix sibirica Ldb.), 1241-летняя хронология для долин Актру, Корумду, Маашей [10] по сосне сибирской (Pinus sibirica Du Tour). Все эти хронологии характеризуют условия роста древесной растительности на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта. В 2011-2013 гг. для расширения территориального охвата и улучшения качества ДКХ были выполнены работы по закладке новых пробных площадей, пригодных для построения тысячелетних хронологий, и обновлению ранее собранных коллекций образцов. Проведенная работа позволила оценить пространственную изменчивость прироста древесной растительности на верхней границе леса, проанализировать ее отклик на температуру и провести предварительный анализ участков с целью выявления ДКХ,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 12-06-33040 и № 13-05-00555, гос. задания Министерства образования России ФГАОУ ВПО СФУ на 2014 г. (ГВ-1)).

Метеостанция	Коорд	инаты	Высота, м над	Годы наблюдений
метеостанция	широта	долгота	у. м.	тоды наолюдении
Усть-Кокса	50°16′	85°37′	977	1940–2006
Кара-Тюрек	50°02′	86°27′	2601	1940-2004
Ак-Кем	49°55′	86°32′	2056	1961-1995
Алтай	47°73′	88°08′	737	1954-2009
Кош-Агач	50°02′	86°27′	1759	1933-2013
Улгий	48°93′	89°93′	1715	1959-2009

Таблица 1. Параметры метеорологических станций

перспективных для региональных климатических реконструкций.

Материал и методы. Современный климат Алтая с его сложной широтно-меридиональной зональностью сложился под влиянием западного (атлантического) и, в меньшей степени, северного влагопереносов и их взаимодействия с воздушными массами Монгольского антициклона. В рассматриваемой юго-восточной части Алтая на днищах Чуйской и Курайской впадин выпадает 100-200 мм осадков в год [17]. По хребтам на высоте снеговой линии количество осадков резко возрастает, но их абсолютное значение убывает с запада на восток от 2000 до 500 мм/год и менее [11]. Характер распространения лесной растительности - сплошной в северной и северо-западной и островной в юго-восточной части российской территории Алтая - также отражает аридизацию климата в юго-восточном направлении. В условиях более аридного климата определяющее влияние на произрастание леса оказывают локальные ороклиматические факторы, в первую очередь, экспозиция склонов. Это приводит к мозаичности корреляций с температурой и количеством осадков, зафиксированных метеостанциями, расположенных во впадинах и долинах, с параметрами годичного кольца деревьев, произрастающих на верхней границе леса.

В 2011–2013 гг. на верхней границе леса было заложено семь пробных площадей (их количественные характеристики даны в табл. 1). Территориально участки отбора образцов образуют две группы: юго-западная группа включает участки Коксу, Chind, Ak-ha; северо-восточная — участки Jelo, Tute, Tara и Sukor (рис. 1). Удаленность участков в пределах группы не превышает 40 км в юго-западной группе и 15–36 км в северо-восточной, за исключением участка Тага, отстоящего от остальных участков этой группы на 43–54 км. Минимальное расстояние между группами составляет 65–75 км, удаленность крайних участков достигает 125 км в юго-западном — северо-вос-

точном направлении и 90 км в широтном направлении. Кроме самого южного участка Chind, принадлежащего бассейну р. Бухтарма, остальные участки расположены в верховьях бассейна р. Катунь. Согласно ботанико-географическому районированию Алтая [5, 14], кроме верховьев бассейна Бухтармы, относящихся к Западно-Алтайской подпровинции, вся исследуемая территория входит в Чуйско-Аргутский таежно-лесостепной район Центрально-Алтайской подпровинции.

Юго-западная группа участков. Участок Kokcy – самый западный из рассматриваемых, расположен на северо-западном макросклоне Кара-Алахинского хребта, по тектонической границе которого с Катунским хребтом выработана долина р. Коксу (бассейн р. Джазатор). Место отбора образцов представляет собой субгоризонтальную выровненную поверхность на склоне северной экспозиции, расположенную на расстоянии 1.5-2 км ниже скальной стенки кара, отмечающего нижний предел альпинотипного рельефа гребневой части хребта. Образцы отбирались с одиночно стоящих деревьев, произрастающих выше верхней границы леса, сформированной сомкнутым древостоем. Наличие небольших заросших сфагнумом (Sphagnum sp.) водоемов, лиственнично-кедрового леса с густым березово-ивовым подлеском свидетельствует о достаточном увлажнении. Участок Chind - самый южный, расположен в пределах плоскогорья Укок, на правом пологом склоне ледниковой долины р. Чиндагатуй (бассейн р. Бухтарма). Образцы отбирались на склоне северо-восточной экспозиции на выположенном участке в лиственничном редколесье. Наличие произрастающего ниже по склону кедрово-лиственничного древостоя с развитым березово-ивовым подлеском указывает на то, что древесная растительность не испытывает недостатка влаги. Участок Ак-ha также расположен на плоскогорье Укок, на левом пологом склоне северо-восточной экспозиции долины р. Ак-Алаха (бассейн р. Джазатор). Лиственничным лесом покрыто днище древнего трога, в ко-



Рис. 1. Схема расположения участков сбора образцов. Кружками отмечены ДКХ: Коксу, Chind, Ak-ha, Jelo, Tute, Tara, Sukor, Mongun, KK (Khalzam Khamar); звездочками обозначены метеостанции: Усть-Кокса, Кара-Тюрек, Ак-Кем, Алтай (Китай), Кош-Агач, Улгий (Монголия).

торое современная врезка составляет 90–120 м, при этом на субширотном отрезке долины лесная растительность приурочена к склонам северных румбов, которые достаточно хорошо увлажнены. Таким образом, все пробные площади, входящие в состав юго-западной группы участков, расположены на склонах северной и северо-восточной экспозиции, не испытывают недостатка влаги и заложены примерно на одной высоте (2200 м над у. м. и выше). Керны отбирались с отдельно стоящих экземпляров и рассеянных групп деревьев выше сформировавшейся верхней границы леса, представленной лиственнично-кедровым (Kokcy, Chind) или лиственничным (Ak-ha) древостоями.

Северо-восточная группа участков. Участок Jelo расположен на границе Северо- и Южно-Чуйского хребтов, восточнее наиболее высокой части Северо-Чуйского хребта - массива Биш-Иирду (максимальная высота 4173 м над у. м.), ограничивающего дальнейшее проникновение западного влагопереноса. Правый склон троговой долины Джело (бассейн р. Чуя) в месте отбора образцов сложен грубообломочными моренными отложениями и имеет северо-восточную экспозицию. Однако несмотря на это, вследствие положения участка в ветровой тени орографического барьера древесная растительность испытывает недостаток влаги. Керны отбирались с отдельно стоящих деревьев и в сомкнутом лиственничном древостое на верхней границе леса. Участок Tute расположен в восточной части Северо-Чуйского хребта, у подножия левого склона троговой долины р. Тюте (бассейн р. Чуя). Слабонаклоненный к центру долины участок днища сложен крупнообломочными отложениями палеосейсмообвалов.

Образцы отбирались выше современной верхней границы леса с отдельно стоящих экземпляров и групп деревьев. Наличие лиственнично-кедрового леса на склонах не только северной, но и южной экспозиции указывает на обильное увлажнение, которое обусловлено расположением долины в узле сочленения вытянутого в субширотном направлении Северо-Чуйского хребта и Чаган-Узунского массива (максимальная высота 2926 м над у. м.), служащего орографическим барьером на пути западного влагонасыщенного воздушного потока. Участок отбора образцов Тага расположен на южном макросклоне Южно-Чуйского хребта в его восточной оконечности и приурочен к лиственничному массиву на склоне юго-западной экспозиции в устьевой части левого притока р. Тара (бассейн р. Джазатор). В троговой долине Тары лиственничный лес испытывает недостаток влаги и имеет островное распространение на затененных склонах северо-западной экспозиции, дольше сохраняющих снежный покров и влагу. Отбор кернов был проведен ниже верхней границы леса в сомкнутом древостое. Участок Sukor является самым северным из анализируемой выборки и расположен на северном макросклоне Чаган-Узунского массива. Отбор образцов был проведен на склоне северо-восточной экспозиции с отдельно стоящих групп деревьев и в сомкнутом лиственнично-кедровом древостое. Пробная площадь была заложена на поверхности каменных глетчеров на наименьшей, по сравнению с остальными участками абсолютной высоте (2100 м над у. м.). Продвижение деревьев вверх на данном участке ограничено крутой скальной стенкой отрыва сейсмообвалов. Северный макросклон масси-

	у. м.	дре-	, шт.	Протяж	енность ДКХ	' '	дуальной серии ста, лет	ших	откло-	ость
Участок	Высота, м над	Сомкнутость, востоя	Кол-во кернов	Длина, лет	Интервал, годы	Средняя	Максимальная	Кол-во выпавших колец, %	Стандартное о ^о нение	Чувствительность
Kokcy	2200	0.2	27	739	1273–2011	351	736	1.1	0.31	0.32
Chind	2250	0.2	19	528	1483-2010	424	528	0.2	0.28	0.24
Ak-ha	2200	0.4	34	619	1394–2012	327	619	0.9	0.25	0.25
Jelo	2250	0.4	27	529	1483-2011	314	524	0.8	0.15	0.29
Tute	2250	0.4	19	525	1488–2012	337	525	0.4	0.24	0.25
Tara	2250	0.6	29	542	1470–2011	293	539	0.5	0.24	0.29
Sukor	2100	0.3	23	860	1153–2012	465	765	0.6	0.09	0.18

Таблица 2. Параметры участков и полученных по ним ДКХ

ва густо залесен, тогда как противоположный южный макросклон Курайского хребта лесной растительностью освоен значительно меньше. Это связано с тем, что субширотный грабен Чуи, разделяющий Чаган-Узунский массив и Курайский хребет, является коридором, по которому уже ослабевающие влагонасыщенные атмосферные потоки поступают в западную часть Чуйской впадины. Таким образом, для северо-восточной группы участков экспозиция пробных площадей была различна: если на участках Jelo и Sukor образцы отбирались на склонах северо-восточной экспозиции, то на участках Tute и Tara - юго-восточной и юго-западной экспозиций соответственно. По степени увлажненности участки условно можно разделить на две группы: первая - Tute и Sukor, где деревья не испытывают недостатка почвенной влаги; вторая включает участки Jelo и Tara, которые характеризуются недостаточным увлажнением. Верхний предел распространения древесной растительности на участках Jelo, Tute, Tara обусловлен климатическим, а на участке Sukor – орографическим факторами. Кроме того, различия между участками просматриваются по такому показателю как сомкнутость древостоя: на участке Tute все образцы отбирались с одиночно стоящих экземпляров, на участках Jelo и Sukor с одиночных деревьев и в сомкнутом древостое, на участке Tara в сомкнутом древостое ниже верхней границы леса.

Сомкнутость древостоя на пробных площадях определялась по [6], керны с деревьев отбирались по стандартной методике [21]. Измерения ширины годичных колец были выполнены на полуавтоматической установке LINTAB (с точностью 0.01 мм). Серии датировались посредством

сочетания графической перекрестной датировки [25] и кросс-корреляционного анализа (в пакете специализированных программ для дендрохронологических исследований – DPL [29] и TSAP V3.5 [32]. Возрастной тренд был удален классическим способом [12] с использованием негативной экспоненты и сплайна в $^{2}/_{3}$ длины от каждой серии в программе ARSTAN [23]. Выделение длительных колебаний в анализируемых древесно-кольцевых хронологиях достигалось путем сглаживания низкочастотным 22-летним фильтром в программе PsiPlot. Качество построенной хронологии оценивалось на основе традиционных дендрохронологических показателей: стандартное отклонение характеризует амплитуду погодичной изменчивости прироста; EPS характеризует, как конкретная ограниченная выборка отражает сигнал популяции или генеральной совокупности; RBAR – среднее значение коэффициента корреляции между отдельными сериями [22, 33].

Для сопоставления индексов прироста с климатическими параметрами были привлечены среднемесячные данные наиболее близко расположенных к участкам исследования метеорологических станций по приземной температуре воздуха и осадкам (рис. 1, табл. 1).

Для сравнительного анализа статистической оценки согласованности прироста полученных хронологий были привлечены ДКХ, построенные для прилегающих территорий: Тывы (Mongun, 2280 м над у. м.) [9] и Монголии (Khalzam Khamar, далее КК, 2500 м над у. м.) [31].

Результаты и обсуждение. Статистические характеристики хронологий приведены в табл. 2. Из ее материалов видно, что все пробные пло-

щади, за исключением участка Sukor, были заложены на высоте 2200 м и более. Самая большая сомкнутость древостоя наблюдается на участке Tara. Количество образцов, отобранных для анализа (без учета отбракованных кернов, содержащих креневую древесину), по всем участкам составило 178 шт. Всего по каждому участку было проанализировано от 19 до 34 кернов. Зависимости между протяженностью хронологий и географическим расположением участков отбора образцов не прослеживается. Возраст отдельных деревьев на участках варьирует от 525 до 765 лет, что свидетельствует о перспективности участков для построения длительных хронологий. Наибольшее количество выпавших колец отмечается на ДКХ Коксу (более 1%). Наименьшие значения показателя чувствительности наблюдается у ДКХ Sukor (меньше порогового значения 0.2 [33]), в связи с чем данная хронология не пригодна для проведения климатических реконструкций.

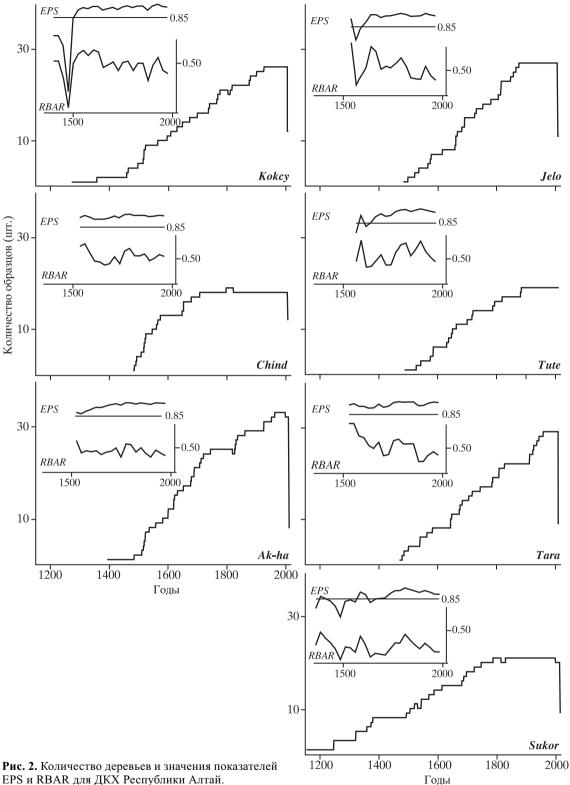
Анализ степени обеспеченности образцами ДКХ показал, что их количество на одинаковых временных интервалах различно (рис. 2). В первую очередь, это характерно для начальных периодов хронологий и наблюдается в XXI в. (последнее связано с выполнением работ по добору минимально необходимого числа кернов при обновлении хронологий). По этой причине для проведения корректного сравнения ДКХ между собой на основе привлечения показателя EPS был проведен поиск общего периода. Из материалов рис. 2А видно, что хронология Коксу пригодна на интервале с 1506 по 2012 гг., хронология Chind, Ak-ha, Tara – на всем временном интервале (рис. 2Б, В, Е), хронология Jelo - с 1595 по 2011 гг. (рис. 2Γ), хронология Tute – с 1636 по 2012 гг. (рис. 2Д), хронология Sukor – с 1662 по 2012 гг. (рис. 2Ж). Таким образом, общий период для построенных хронологий составляет 350 лет (c $1662 \text{ no } 2012 \text{ rr., EPS} \ge 0.85$).

С целью оценки климатического сигнала были рассчитаны коэффициенты корреляции между древесно-кольцевыми хронологиями и инструментальными рядами измерений приземной температуры воздуха (табл. 3). Проведенный анализ значений коэффициентов корреляции между ДКХ и данными о количестве осадков показал их случайный характер, несмотря на то, что ряд исследуемых участков испытывает недостаток увлажнения. Скорее всего это связано с тем, что в отличие от температурного поля, демонстрирующего свою однородность на большой территории, распределение осадков в горах носит мозаичный характер (это хорошо видно при сравнении рядом расположенных участков, имеющих разную экс-

позицию). Отсутствие данных инструментальных измерений о количестве осадков по заложенным пробным участкам не позволяет снять имеющиеся противоречия, по этой причине данный аспект в работе не затрагивался.

Анализ коэффициентов корреляции (Пирсона) с данными метеостанций (Усть-Кокса, Кара-Тюрек, Ак-Кем, Алтай, Кош-Агач, Улгий) показал, что у всех хронологий фиксируется значимая связь с температурами июня, а у ДКХ Коксу и Ak-ha – июля. Кроме того, невысокая, но значимая связь фиксируется с температурами марта: у ДКХ Коксу (метеостанции Ак-Кем, Алтай, Кош-Агач, Улгий), ДКХ Chind (метеостанция Кош-Агач), ДКХ Ak-ha (метеостанции Усть-Кокса, Кош-Агач, Улгий); с температурами мая: у ДКХ Kokcy, Chind, Ak-ha (метеостанции Усть-Кокса, Кара-Тюрек, Алтай, Кош-Агач). Значимые коэффициенты корреляции с температурой августа фиксируются только у ДКХ Ak-ha (метеостанции Усть-Кокса, Кара-Тюрек. Кош-Агач. Улгий). Таким образом, из данных табл. 3 видно, что только две хронологии Коксу и Ak-ha наиболее сильно реагируют на изменение температур на периоде с марта по сентябрь, т.е. на данных участках прирост лиственницы находится под жестким контролем лимитирующего фактора – температуры [21]. Высокие значения коэффициентов корреляции с температурами июня-июля (раннелетними температурами) у ДКХ Kokcy и Ak-ha позволяют предположить, что, как и на северной границе леса, продукция клеток древесины и ширина годичного кольца в основном определяются климатическими условиями первой половины сезона роста [3]. Полученные данные хорошо согласуются с результатами, опубликованными ранее: А.Ю. Бочаровым (коэффициенты корреляции 0.48 и 0.37 с температурами июня и июля по данным метеостанции Онгудай для периода наблюдений в 57 лет) [2], Д.В. Овчинниковым (0.72 и 0.41 соответственно, с метеостанцией Актру за период в 29 лет) [13], О.Ч. Ойдупаа (коэффициенты корреляции 0.62-0.67 со среднемесячной температурой июня для метеостанций Ак-Кем и Ulaangom, за период наблюдения 29 и 45 лет соответственно) [15]. Исходя из полученных результатов и собранных коллекций образцов палеодревесины, наиболее перспективными для реконструкции летних температур за последние два тысячелетия выглядят хронологии Kokcy и Ak-ha.

Для оценки согласованности изменчивости прироста хронологий был проведен расчет коэффициентов корреляции за последние 350 лет (табл. 4). Из представленных в таблице данных видно, что у всех хронологий за исключением



EPS и RBAR для ДКХ Республики Алтай.

ДКХ Sukor, прирост тесно связан между собой (средние значения коэффициентов корреляции 0.64-0.75). Таким образом, все ДКХ, заложенные выше высоты 2200 м над у. м., фиксируют сильный общий дендроклиматический сигнал, при этом снижение высоты закладки пробной площади в пределах 100 м приводит к его существенному ослаблению. Сопоставление полученных результатов с таким показателем как сомкнутость древостоя выявило, что в данном случае он не

Габлица 3. Коэффициенты корреляции (Пирсона) индексов прироста ДКХ Коксу, Chind, Ak-ha, Jelo, Tute, Tara, Sukor со среднемесячной температурой марта-сентября по данным метеостанций

				YCTB-KC	Усть-Кокса, N=68							Kapa-T	Кара-Тюрек, N=64	=64		
	III	N	Λ	IA	VII	VIII	XI	VI-VII	III	IV	>	IN	VII	VIII	XI	VI-VII
Kokcy	0.23	-0.20	0.31	09.0	0.33	0.23	0.02	0.62	0.09	-0.20	0.31	0.58	9:36	0.15	-0.05	0.64
Chind	0.15	-0.11	0.27	0.58	0.20	0.11	0.00	0.53	0.00	-0.20	0.31	0.59	0.25	0.12	-0.08	0.58
Ak-ha	0.28	-0.04	0.32	0.56	0.27	0.27	0.10	0.55	0.20	-0.10	0.35	09.0	0.33	0.25	0.08	0.64
Jelo	0.00	-0.11	0.16	0.50	0.22	0.05	0.17	0.48	0.13	-0.07	0.13	0.45	0.21	-0.03	0.00	0.46
Tute	-0.09	-0.14	0.08	0.39	0.08	-0.14	-0.07	0.31	-0.05	-0.10	0.00	0.41	0.14	-0.07	-0.15	0.39
Tara	0.08	-0.26	0.12	0.51	0.10	0.10	0.01	0.41	0.17	-0.25	0.12	0.47	0.11	0.03	0.01	0.41
Sukor	0.18	-0.22	0.14	0.61	0.11	0.23	0.13	0.48	0.05	-0.28	0.12	0.59	0.16	0.28	0.04	0.53
				Aĸ-Ke	Ак-Кем, N=35							Алтай (І	Алтай (Китай), N=52	√ =52		
	III	ΛI	Λ	IA	VII	VIII	IX	IIV-IV	III	VI	>	IA	ΠΛ	VIII	ΙΧ	VI-VII
Kokcy	0.45	-0.28	0.29	0.57	0.44	-0.01	-0.15	0.70	0.30	-0.24	0.36	09.0	0.36	0.14	-0.08	0.64
Alr bo	0.00	4.0	0.0	0.30	0.11	00.00	0.0	0.49	0.00	0.00	0.23	0.00	0.15	0.02	00.0	05.0
Jelo	0.16	-0.05	0.12	0.43	0.01	0.02	-0.15	0.31	0.10	0.21	0.08	0.55	0.07	90.0-	0.03	00 44.0
Tute	90.0	-0.21	0.07	99.0	0.20	-0.11	0.00	09.0	0.03	-0.18	0.14	0.64	0.23	0.04	-0.09	09.0
Tara	0.43	-0.17	0.19	0.50	0.20	0.18	-0.12	0.49	0.11	-0.34	0.04	0.57	0.17	0.16	-0.09	0.51
Sukor	0.04	-0.03	0.08	0.59	0.27	0.14	-0.09	0.60	0.03	-0.19	0.18	0.51	0.14	0.09	-0.08	0.45
				Кош-А	Кош-Агач, N=75						y.	лгий (Мо	Улгий (Монголия), N=34	N=34		
	Ħ	IV	Λ	IA	VII	VIII	IX	VI-VII	III	IV	>	IA	VII	VIII	IX	VI-VII
Kokcy	0.37	-0.12	0.21	0.55	0.32	0.14	-0.04	0.58	0.45	-0.27	0.15	0.54	0.50	0.18	0.04	9.02
Chind	0.38	0.00	0.24	0.59	0.22	0.10	-0.03	0.56	0.28	-0.13	0.10	9.0	0.24	0.10	0.22	0.57
Ak-ha	0.40	0.01	0.28	0.58	0.41	0.23	0.07	99.0	0.39	-0.01	0.28	0.63	99.0	0.38	0.11	0.79
Jelo	0.07	-0.17	0.13	0.42	0.15	-0.07	-0.02	0.39	0.25	-0.07	-0.14	0.21	0.05	90.0-	-0.12	0.17
Tute	0.00	-0.11	0.01	0.42	0.09	-0.13	-0.18	0.36	0.19	-0.28	-0.23	0.48	0.17	-0.10	0.08	0.41
Tara	0.05	-0.33	0.02	0.40	0.03	-0.02	-0.12	0.31	0.24	-0.36	-0.14	0.20	0.11	0.12	0.09	0.20
Sukor	0.26	-0.17	60.0	0.55	0.16	0.21	0.03	0.50	0.27	-0.12	80.0-	0.59	0.36	0.22	0.25	09.0
	;	,									0					

 $\it Hpumevanue: N-o65$ ем выборки; жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции при р < 0.05.

	Kokcy	Chind	Ak-ha	Jelo	Tute	Tara	Mongun	KK
N				3	337			
Kokcy							0.66	0.50
Chind	0.82						0.67	0.48
Ak-ha	0.82	0.81					0.74	0.60
Jelo	0.61	0.56	0.69				0.75	0.58
Tute	0.65	0.67	0.70	0.65			0.74	0.55
Tara	0.66	0.67	0.72	0.67	0.63		0.64	0.49
Sukor	0.45	0.49	0.48	0.49	0.63	0.57	0.49	0.39
Средне- арифметическое	0.71	0.71	0.75	0.64	0.66	0.67	0.70	0.53

Таблица 4. Коэффициенты корреляции индексов прироста ДКХ Республики Алтай, Республики Тыва и Северной Монголии

 Π римечание: N — объем выборки для периода EPS \geq 0.85, среднее арифметическое посчитано для всех ДКХ за исключением участка Sukor.

оказывает существенного влияния на силу связи между хронологиями. Визуальное сравнение кривых изменчивости прироста построенных хронологий демонстрирует, что общий период хода ДКХ хорошо согласован (рис. 3). Наиболее отчетливо выделяются периоды падения прироста, приходящиеся на 1687-1711, 1783-1795, 1811-1823, 1840-1849, 1882-1891, 1910-1920 и 1985-1993 гг. Выявленные периоды депрессии прироста согласуются с результатами исследований, полученными ранее по данному региону и соседним территориям [12, 15, 24, 34]. Полученные результаты имеют важное методическое значение для дальнейшей работы по закладке плотной сети дендрохронологических станций, пригодных для климатических исследований в Алтайском регионе.

Для оценки содержания межрегионального сигнала в хронологиях был проведен сравнительный анализ с ДКХ, построенными по Республике Тыва (Mongun) и Республике Монголия (КК). Из табл. 4 видно, что у всех построенных хронологий, за исключением ДКХ Sukor, отмечается сильная связь с ДКХ Mongun (среднее значения коэффициентов корреляции 0.70), сопоставимая по величине со значениями, полученными при сопоставлении данных хронологий между собой (0.64–0.75). С хронологией КК среднее значение коэффициентов корреляции немного ниже (0.53). Учитывая, что снижение силы связи происходит по мере увеличения расстояния (ДКХ Mongun находится от построенных хронологий в 150-230 км, а КК в 250-320 км) можно сделать вывод, что в пределах 230 км фиксируется общий дендроклиматический сигнал, который, вероятно, обусловлен формированием в вегетационный сезон общего температурного поля, а на большем удалении происходит нарастание региональных различий. Полученные результаты отчасти противоречат выводам Д.В. Овчинникова, Е.А. Ваганова [12], в работе которых значения коэффициентов корреляции между участками, удаленными друг от друга в пределах Алтая на расстояние 100 км, изменяются в интервале от 0.22 до 0.34; 160 км – 0.42; 220 км — от 0.16 до 0.44. Таким образом, результаты подтверждают практическую возможность проведения перекрестной датировки хронологий (в том числе по археологической древесине с высокогорных памятников) и открывают возможность построения региональной ДКХ для территории Алтая (в границах Российской Федерации, Казахстана, Монголии и Китая).

В связи с непрекращающейся дискуссией о возможных сценариях происходящих климатических изменений [30] была проведена оценка трендовой составляющей в построенных древесно-кольцевых хронологиях за последние 20 лет. На рис. 3 видно, что в последние десятилетия тренд имеет положительный наклон у ДКХ Kokcy, Ak-xa, Jelo, Tute, Sukor и отрицательный у хронологий Chind и Tara. Анализ опубликованных работ по Алтаю и прилегающим территориям показал, что положительный тренд фиксируется по прямым (Республика Алтай [18]) и косвенным источникам информации: ширина годичного кольца (Северная Монголия [24]; Республики Тыва [7]; Центральный Алтай [2]; Китай [34]); донные осадки (Республика Алтай [4]) и ледовые колонки (Республика Алтай, Китай [26, 28]). Отрицательный наклон изменчивости прироста лиственницы сибирской на верхней границе леса отмечается в работах О.Ч. Ойдупаа, Е.А. Ваганова, М.М. Наурзбаева [15] и Д.В. Овчинникова, И.П. Панюшкиной, М.Ф. Адаменко [13]. Можно предположить, что

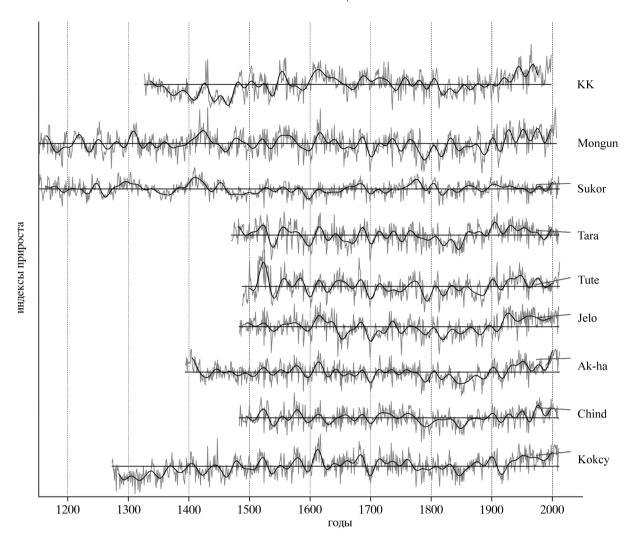


Рис. 3. Изменчивость радиального прироста древесно-кольцевых хронологий. Горизонтальная линия – среднее арифметическое значение; тонкая кривая – погодичная изменчивость; жирная кривая – скользящая 22-хлетняя низкочастотная фильтрация; тонкие линии – тренд за последние 20 лет.

отрицательный наклон линии тренда в этих ДКХ (как и в ДКХ Chind и Tara) в первую очередь связан с ухудшением условий произрастания древесной растительности на фоне увеличения суммы положительных температур за вегетационный период.

Заключение. В работе представлены результаты анализа семи древесно-кольцевых хронологий Коксу, Chind, Ak-ha, Jelo, Tute, Tara, Sukor по лиственнице сибирской (*Larix sibirica Ldb*.) с верхней границы леса Республики Алтай. Анализ полученных ДКХ показал, что зависимости между протяженностью хронологий и географическим расположением участков отбора образцов не прослеживается. Возраст отдельных долгоживущих деревьев на участках варьируется от 525 до 765 лет, что свидетельствует о перспективности всех участков для построения длительных хронологий. Основное влияние на радиальный прирост

ДКХ по данным расчета функции отклика со среднемесячными приземными температурами воздуха оказывают раннелетние температуры. Причем наиболее высокие значения коэффициентов корреляции с раннелетними температурами (июнь-июль) фиксируются у ДКХ Коксу и Аk-ha, что делает их наиболее перспективными применительно к задачам, связанным с проведением температурных реконструкций.

Перекрестное сопоставление ДКХ Коксу, Chind, Ak-ha, Jelo, Tute, Tara, Sukor показало, что за исключением хронологии Sukor, прирост остальных ДКХ (расположенных выше 2200 м над у. м.) тесно связан между собой, т. е. изменчивость прироста лиственницы на верхней границе леса содержит сильный общий дендроклиматический сигнал. Выделяющиеся на хронологиях периоды депрессий прироста, приходящиеся на 1687–1711, 1790–1800, 1809–1820, 1837–1856,

1908-1920 и 1986-1995 гг., хорошо согласуются с информацией других исследователей [12, 15, 24, 34]. Сравнительный анализ полученных ДКХ с хронологиями, построенными по соседним регионам – ДКХ Mongun [7] и ДКХ Khalzam Khamar [24] показал наличие сильного общего дендроклиматического сигнала в радиусе 230 км. Таким образом, полученные в данной работе результаты подтверждают практическую возможность проведения перекрестной датировки хронологий (в том числе по археологической древесине с высокогорных памятников) и открывают возможность построения региональной ДКХ для территории Алтая (российской, казахстанской, монгольской, китайской). Для целей построения тысячелетних древесно-кольцевых хронологий, отражающих изменчивость раннелетних температур в региональном масштабе наиболее перспективны ДКХ Kokcy, Ak-ha.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Адаменко М.Ф. Динамика прироста лиственницы как индикатор термического режима летних сезонов в Горном Алтае // Региональные географические исследования в Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. С. 20–23.
- 2. Бочаров А.Ю. Климатически обусловленный радиальный рост хвойных в верхней части лесного пояса Семинского хребта (Центральный Алтай) // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2009. С. 30–37.
- 3. *Ваганов Е.А., Шашкин А.В.* Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1998. 232 с.
- 4. Дарьин А.В., Калугин И.А. Реконструкция климата Горного Алтая по данным литолого-геохимических исследований донных осадков озера Телецкое // Изв. РАН. Сер. геог. 2012. № 6. С. 74–82.
- 5. *Куминова А.В.* Растительный покров Алтая. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1960. С. 456.
- 6. *Мелехов И.С.* Лесоведение. М.: Лесная промышленность, 1980. 400 с.
- 7. Мыглан В.С., Ойдупаа О.Ч., Кирдянов А.В., Ваганов Е.А. 1929-летняя древесно-кольцевая хронология для Алтае-Саянского региона (Западная Тува) // Археология, этнография и антропология Евразии. 2008. № 4. С. 25–31.
- 8. Мыглан В.С., Овчиников 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 Алтая // Изв. РАН. Сер. геогр. 2009. № 6. С. 70–77.
- 9. Мыглан В.С., Жарникова О.А., Малышева Н.В., Герасимова О.В., Ваганов Е.А., Сидорова О.В. По-

- строение древесно-кольцевой хронологии и реконструкция летней температуры воздуха юга Алтая за последние 1500 лет // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 22–30.
- 10. Назаров А.Н., Мыглан В.С. Перспективы построения 6000-летней хронологии по сосне сибирской для территории Центрального Алтая // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: биологические науки. 2012. № 1. С. 70–88.
- 11. *Нарожный Ю.К., Осипов А.В.* Ороклиматические условия оледенения Центрального Алтая // Изв. РГО. 1999. Т. 131. Вып. 3. С. 49–57.
- 12. *Овчинников Д.В.*, *Ваганов Е.А*. Дендрохронологические характеристики лиственницы сибирской (*Larix sibirica L.*) на верхней границе леса в Горном Алтае // Сибирский экологический журнал. 1999. № 2. С. 145–152.
- 13. Овчинников Д.В., Панюшкина И.П., Адаменко М.Ф. Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы горного Алтая и ее использование для реконструкции летних температур. Иркутск: Вост.-Сиб. отд-ние РГО, 2002. С. 102–107.
- 14. *Огуреева Г.Н.* Ботаническая география Алтая. М.: Наука, 1980. 188 с.
- 15. Ойдупаа О.Ч., Ваганов Е.А., Наурзбаев М.М. Длительные изменения летней температуры и радиальный прирост лиственницы на верхней границе леса в Алтае-Саянской горной стране // Лесоведение. 2004. № 6. С. 14–24.
- 16. *Пропастилова О.Ю., Тимошок Е.Е.* Возобновление хвойных в экотоне верхней границы древесной растительности (Северо-Чуйский хребет) // Биология. 2008. С. 220–222.
- 17. *Русанов В.И*. Распределение среднего годового количества осадков в Центральном Алтае // Изв. ВГО. 1961. Т. 93. Вып. 6. С. 272–283.
- 18. Сухова М.Г., Модина Т.Д. Современные изменения температурного режима воздуха и режима увлажнения на Алтае, как проявление регионального изменения климата // Мир науки, культуры, образования. Барнаул Горно-Алтайск: Изд-во АГУ, 2007. № 2 (5). С. 33–38.
- 19. *Харук В.И.*, *Двинская М.Л.*, *Им С.Т.*, *Рэнсон К.Дж.* Древесная растительность экотона лесотундры Западного Саяна и климатические тренды // Экология. 2008. № 1. С. 10–15.
- 20. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
- 21. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Г., Мазепав В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 2000. Ч. 1. 80 с.
- 22. Cook E.R., Kairiukstis L. Methods of Dendrochronology: applications in environmental sciences. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.

- 23. Cook E.R., Krusic P.J. A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive Time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN), 2008: [Electronic resource]. Access code: http://www.ldeo.Columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html.
- 24. D'Arrigo R., Jacoby G., Pederson N., Cook E., Buckley B., Nachin B., Mijiddorj R., Dugarjav C. 1728 year of Mongolian temperature variability inferred from a tree ring width chronology of Siberian pine // Geoph. Res. Lett. 2001. Vol. 28. P. 543–546.
- 25. *Douglass A.E.* Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie Inst., 1919. Vol. 1. 127 p.
- 26. Eichler A., Tinner W., Brutsch S., Olivier S., Papina T., Schwikowski M. An ice-core based history of Siberian forest fires since AD 1250 // Quat. Sci. Rev. 2011. Vol. 30. P. 1027–1033.
- 27. Fritts H.C. Tree-rings and climate. N.-Y.: Academic Press, 1976. 576 p.
- 28. Henderson K., Laube A., Gaggeler H.W., Olivier S., Papina T. Temporal variations of accumulation and temperature during the past two centuries from Be-

- lukha ice core, Siberian Altai // J. Geophys. Res. 2006. Vol. 111. 11 p.
- 29. *Holmes R.L.* Computer-assisted quality control in treering dating and measurement // Tree-ring Bulletin, 1983. Vol. 43. P. 69–78.
- 30. IPCC 2013 Climate Change. The Physical Science Basis. International Working Group Contributions to the 5th Assessment Report of the IPCC. N.-Y.: Cambridge Univ Press, 2013. 1483 p.
- 31. Jacoby G.C., D'Arrigo R., Buckley B.M., Pederson N. Khalzan Khamar MONG009, Solongotyn Davaa (Tarvagatay Pass) MONG003, Mongolia, 2008: [Electronic resourse]. Access code: http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html
- 32. *Rinn F.* TSAP V 3.6 Reference manual: computer program for tree-rings analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
- 33. Wigley T.M.L., Briffa K.R., and Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // J. Clim. Appl. Met. 1984. Vol. 23. P. 201–213.
- 34. Zhang Y., Shao X.M., Yin Z.-Y., and Wang Y. Millennial minimum temperature variations in the Qilian Mountains, China: evidence from tree rings // Climate of the Past. 2014. Vol. 10. P. 1763–1778.

Tree-Ring Growth of Siberian Larch at the Upper Treeline in the Altai Republic

A.V. Tainik*, V.S. Myglan*, V.V. Barinov*, A.N. Nazarov*, A.R. Agatova**, ****, R.K. Nepop**, ****

*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

** Institute of Geology and Mineralogy, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk, Russia

*** Ural Federal University, Russia, Yekaterinburg, Russia

**** Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

e-mail: tainik_anna@mail.ru; agatr@mail.ru

Results of spatial-temporal analysis of Siberian larch (*Larix sibirica Ldb.*) tree-ring width chronologies for several sites (Kokcy, Chind, Ak-ha, Jelo, Tute, Tara, and Sukor) at the upper treeline in the Altai Republic are presented. Tree-ring growth for all chronologies (for the sites laid at ≥2200 m above sea level) is interrelated. The calculation of the response function between the growth rate of tree-ring chronologies and mean monthly surface air temperatures revealed that June–July temperature was the main climatic factor influencing radial tree-ring width growth. The built tree-ring chronologies have high correlation coefficients with the chronologies found in the neighboring region (the Tyva Republic − chronology Mongun; Mongolia − chronology Khalzam Khamar), i.e., they contain strong interregional climatic signal and could be used to build regional tree-ring chronologies. Tree-ring chronologies Koksu and Ak-ha are the most promising for building millennial tree-ring chronology and June–July temperature reconstructions.

Keywords: upper treeline, climate, the width of tree rings, dendroclimatology, tree-ring chronology, Siberian larch, tree-ring growth, air temperature, regional features, Altai.

doi:10.15356/0373-2444-2015-6-61-71