

ISSN 0024-1148

Номер 6

Ноябрь - Декабрь 1999



ЛЕСОВЕДЕНИЕ

Главный редактор
А.С. Исаев

<http://www.maik.rssi.ru>



“НАУКА”

МАИК “НАУКА/ИНТЕРПЕРИОДИКА”

УДК 630*561.24:582.477.6

**ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ
МОЖЖЕВЕЛЬНИКА СИБИРСКОГО***

© 1999 г. Р. М. Хантемиров, С. Г. Шиятов, Л. А. Горланова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, 620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Поступила в редакцию 18.02.99 г.

Впервые проведена оценка возможности использования мелкого кустарника – можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.) – в дендроклиматических исследованиях. На основе использования живых и усохших ветвей можжевельника, произрастающего в районе верхней границы распространения лиственничных редколесий на Полярном Урале, получена 636-летняя хронология по ширине годичных колец. Эта хронология содержит сильный климатический сигнал, отражающий среднюю температуру мая, июня и июля текущего года роста кустарника. Сравнение хронологий по можжевельнику сибирскому, лиственнице сибирской и ели сибирской показало, что имеется как сходство, так и различие в радиальном приросте (и в содержании климатической информации) между кустарниками и деревьями. Построение комбинированной древесно-кольцевой хронологии путем объединения хронологий по можжевельнику и лиственнице значительно повысило надежность и качество выполненной ранее по лиственнице реконструкции средних температур июня–июля.

Древесные кольца, Juniperus sibirica, климатические реконструкции, Полярный Урал.

Интенсивные дендроклиматические исследования последнего десятилетия в различных районах Субарктики позволили выявить важные пространственно-временные закономерности в изменчивости радиального прироста деревьев и определяющих прирост климатических факторов [1, 4–6, 9]. При выполнении этих работ использовали в основном такие широко распространенные и удобные для проведения дендроклиматического анализа древесные растения, как различные виды лиственниц (*Larix sibirica*, *L. gmelinii*, *L. cajanderi*, *L. laricina*), елей (*Picea obovata*, *P. abies*, *P. glauca*, *P. mariana*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica*). В этих хронологиях обычно содержится сильный климатический сигнал, главным образом температура летних месяцев. Хронологии по плотности древесины содержат, как правило, климатический сигнал за значительно больший отрезок времени (с мая по август) по сравнению с хронологиями по ширине колец (которые отражают лишь температуру июля или июня–июля).

Дальнейший прогресс субарктической дендроклиматологии связан не только с удлинением существующих хронологий в глубь веков с привлечением полуископаемой древесины, но также и с расширением списка используемых для этих целей древесных видов, в частности, широко здесь распространенных крупных и мелких кустарников (различные виды ив, берез, можжевель-

ников, рябин, черемухи, ольхи и др.). Особенно перспективно использование достаточно долговечных видов с четко различающимися годичными слоями прироста и способными произрастать в специфических местообитаниях. Это позволит не только реконструировать разные климатические параметры, но и уточнить климатические реконструкции, получаемые при использовании крупных деревьев.

Кроме того, на основании сходства и различия в реакции разных видов деревьев и кустарников на климатические факторы можно будет выявить виды, древесно-кольцевые хронологии которых перекрестно датируются между собой. Это даст возможность производить массовые и точные датировки многих природных явлений и процессов, а также различных отложений голоценового возраста и археологических памятников, в которых содержится древесина не только крупных деревьев, но и кустарников.

В статье рассматривается возможность использования древесно-кольцевых хронологий по можжевельнику сибирскому (*Juniperus sibirica* Burgsd.) для климатических реконструкций. Он относится к типичным аркто-альпийским кустарникам, достигающим высоты 1.0–1.5 м. Можжевельник сибирский весьма обилен на Полярном Урале, где произрастает под пологом елово-лиственничных редколесий, на каменистых россыпях и в горных тундрах, поднимаясь в горы намного выше верхней границы леса. Он плохо переносит затенение и нуждается в покрытии его ветвей снеговым покровом в зимнее время. В то же вре-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (97-05-64400 и 99-04-48984) и INTAS (INTAS-OPEN-97-1418).

мя можжевельник избегает многоснежных местообитаний, на которых в результате позднего схода снега сильно сокращается продолжительность вегетационного периода. Поэтому он часто встречается в верхней части подветренных склонов и по бровкам береговых обрывов, где растет в виде узких (до 2–4 м) полос и где мощность снегового покрова колеблется от 0.5 до 2.0 м. Можжевельник предпочитает хорошо прогреваемые, сухие и каменистые склоны южной экспозиции.

Отдельные особи его обычно представлены несколькими ветвями, при этом для него характерно большое разнообразие форм куста (от обычной кустовидной и пирамидальной до чашевидной и стланиковой). Нижние ветви, лежащие на поверхности земли, способны укореняться, поэтому куст может разрастаться в сторону от первоначальной точки роста на расстояние до 2–3 м. Около крупных кустов встречаются остатки давно усохших ветвей.

Наиболее старые, обнаруженные нами на Полярном Урале живые ветви можжевельника, достигают возраста 400–500 лет. Возможно, что здесь будут найдены и более старые особи, поскольку в литературе имеются сведения о достижении этим видом и очень близким к нему можжевельником обыкновенным (*Juniperus communis* L.) большого возраста. Так, А. Кильманом [8] в Хибинских горах (Кольский п-ов) были найдены особи можжевельника сибирского, возраст которых превышал 800 лет. В статье, посвященной анализу долголетия различных видов можжевельника [10], имеется ссылка на работу Ф. Каннгиссера [7], в которой указывается, что на территории Латвии был обнаружен можжевельник обыкновенный возрастом 2000 лет и диаметром в нижней части ствола свыше 120 см. В этой работе также сообщается, что на севере России был найден можжевельник (вероятнее всего, это можжевельник сибирский) возрастом 544 года, а особи старше 300 лет встречаются здесь часто. Есть основания считать, что можжевельник сибирский может доживать по крайней мере до 500–800 лет. Благодаря долголетию, наличием хорошо различимых годовых колец радиального прироста, мягкой и легко обрабатываемой древесине, а также способности произрастать в экстремальных климатических и почвенно-грунтовых условиях, можжевельник сибирский может стать одним из наиболее перспективных видов при проведении дендроклиматических исследований на территории Сибири, Урала и севера европейской территории России. Нам неизвестны работы, в которых можжевельник сибирский использовался бы для этих целей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Для проведения дендроклиматического анализа в 1997–1998 гг. на восточном макросклоне Полярного Урала (массив Рай-Из, г. Черная) в районе верхней границы распространения лиственничных редколесий (200–280 м над ур. м.) нами было отобрано 26 наиболее старых кустов можжевельника, растущих более или менее изолированно. В каждом кусте выбирали наиболее развитую ветвь и с ее нижней части брали поперечный спил. Кроме того, было сделано несколько спилов с усохших ветвей, найденных поблизости от живых кустов.

У наклоненных и распростертых у поверхности земли ветвей годовые кольца эксцентричны, при этом нарастание годовых слоев древесины происходит в основном в сторону, противоположную от поверхности земли. Ширину годовых колец измеряли по одному радиусу, где ширина колец была максимальной. Измерение часто приходилось делать вдоль извилистой линии, поскольку ветвь в течение своей жизни обычно неоднократно меняет пространственную ориентацию и направление максимального прироста. В конечном итоге, для построения обобщенной хронологии по можжевельнику было отобрано 23 спила с живых ветвей и 2 спила с одной усохшей ветви. В индивидуальных хронологиях содержалось от 77 до 483 годовых колец.

Расчет индексов ширины годовых колец производили при помощи метода коридора [2]. Для оценки связи индексов прироста с климатическими параметрами были привлечены средние месячные данные 113-летних (1883–1995 гг.) наблюдений на метеостанции г. Салехарда, расположенной в 50 км к востоку от района исследований. Для сравнительного анализа были также привлечены полученные нами ранее для этого района обобщенные хронологии по ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и лиственнице сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.). Чтобы обеспечить корректность сравнения, первичные данные по ели и лиственнице подверглись обработке в той же последовательности и теми же методами, что и данные по можжевельнику.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Годовые кольца у можжевельника сибирского, произрастающего в районе верхней границы распространения редколесий на Полярном Урале, очень узкие. Хотя измерения проводили по направлению наибольшего прироста, диапазон средней ширины годового кольца у разных ветвей колебался от 0.11 до 0.35 мм. Лишь у двух образцов были встречены кольца с шириной более 1 мм. Несмотря на малую величину прироста, отмечен лишь один случай выпадения кольца на спи-

ле. У деревьев средняя ширина кольца намного больше: у ели от 0.21 до 0.64 мм, у лиственницы от 0.21 до 1.32 мм. Возрастная кривая у старых ветвей можжевельника выражена очень слабо. У относительно молодых ветвей, как правило, наблюдается увеличение ширины колец от центра к периферии.

Перекрестная датировка между индивидуальными хронологиями по можжевельнику гораздо более затруднена по сравнению с хронологиями по ели и лиственнице, что обусловлено низкими величинами радиального прироста, эксцентричностью годичных колец, более низкими показателями чувствительности и корреляции. Например, среднее значение коэффициента корреляции между индексированными рядами можжевельника равно 0.37, ели 0.49, а лиственницы 0.66.

На основе 25 индивидуальных хронологий по можжевельнику сибирскому была построена обобщенная хронология длительностью 636 лет, охватывающая период с 1363 по 1998 гг. По живым ветвям хронология была доведена до 1515 г., а ее продление до 1363 г. было произведено при помощи двух индивидуальных хронологий, полученных с одной усохшей около 180 лет назад ветви.

Было выявлено, что прирост текущего года у можжевельника в сильной степени зависит от прироста предыдущих двух лет (автокорреляция первого порядка равна 0.56, второго порядка 0.24). У индивидуальных хронологий по ели и лиственнице эта зависимость более слабая (0.46 и 0.22, 0.38 и 0.22 соответственно). Для того, чтобы можно было произвести сравнительный анализ более “чистого” климатического сигнала, содержащегося в анализируемых древесно-кольцевых хронологиях, у всех индивидуальных хронологий была проведена так называемая процедура “выбеливания”, т.е. было устранено влияние прироста предыдущих лет на прирост текущего года. Необходимость проведения этой процедуры диктовалась также тем, что использованные для выявления дендроклиматических связей ряды метеорологических наблюдений содержат слабые автокорреляционные зависимости.

Коэффициент чувствительности у хронологии по можжевельнику в интервале времени, обеспеченном достаточным числом модельных ветвей (более 7), равен 0.25, а стандартное отклонение – 22%. Хотя эти показатели несколько ниже, чем у хронологий по ели (0.32 и 28%) и по лиственнице (0.43 и 35%), но они выше принятого в дендроклиматологии уровня (0.2 и 20%). Это свидетельствует о пригодности полученной по можжевельнику хронологии для дендроклиматических реконструкций. Отношение сигнала к шуму в хронологии по можжевельнику, равное 5, относительно невысокое. У хронологии по ели этот показатель равен 14, а у хронологии по лиственнице – 25. Для более детальной оценки содержащегося в хроно-

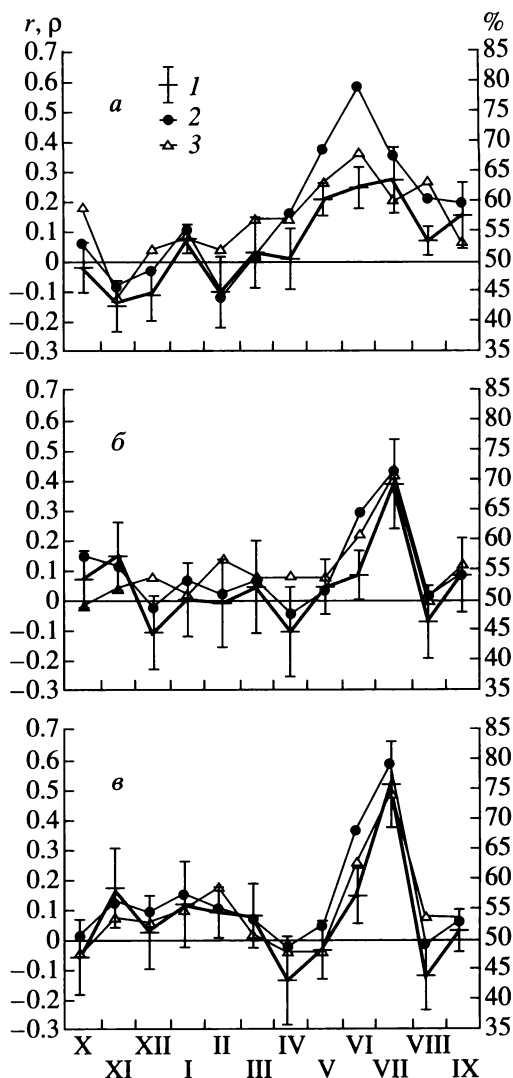


Рис. 1. Показатели связи между индексами ширины годичных колец в отдельные месяцы предыдущего (октябрь–декабрь) и текущего (январь–сентябрь) года роста можжевельника сибирского (а), ели сибирской (б) и лиственницы сибирской (в):

- 1 – коэффициент регрессии (ρ) с доверительными интервалами,
- 2 – коэффициент корреляции (r),
- 3 – коэффициент синхронности (%).

логиях климатического сигнала был проведен анализ нескольких статистических показателей (коэффициентов корреляции, регрессии, синхронности) между индексами прироста и средней температурой различных месяцев.

Выяснилось, что в индексах ширины годичных колец можжевельника содержится информация о температуре не только летних месяцев (июнь и июль), но и весеннего месяца (май) (рис. 1). Этот результат для нас оказался неожиданным, но в то же время весьма обнадеживающим. Если такая связь устойчива и достоверна, то представляется

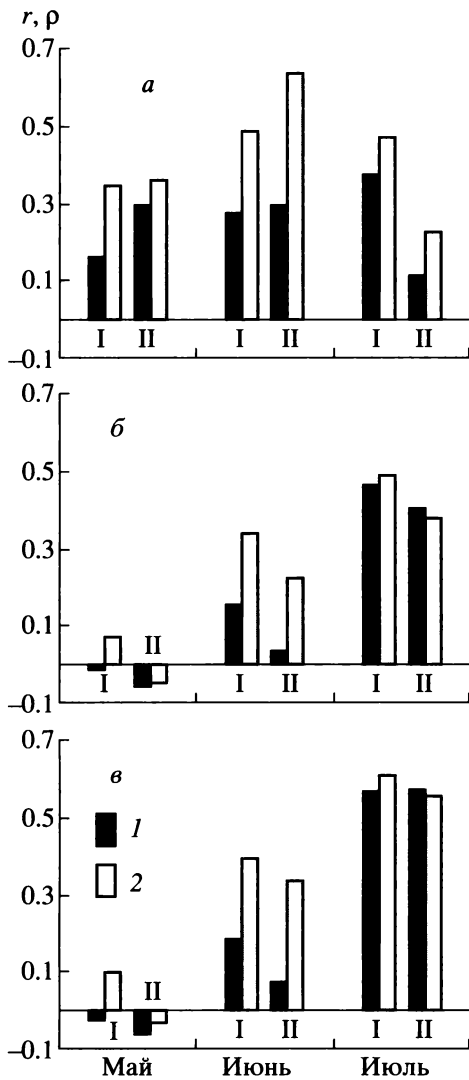


Рис. 2. Показатели связи между индексами ширины годовых колец и температурой мая, июня и июля текущего года роста можжевельника сибирского (а), ели сибирской (б) и лиственницы сибирской (в) для периодов 1883–1939 гг. (I) и 1940–1995 гг. (II):

1 – коэффициент регрессии (ρ),
2 – коэффициент корреляции (r).

возможность получать новую климатическую информацию на основе изучения изменчивости ширины годовых колец у можжевельника. В древесно-кольцевых хронологиях, полученных для Полярного Урала по лиственнице и ели, содержится сильный температурный сигнал июля и гораздо менее сильный сигнал июня. При этом хронологии по можжевельнику, с одной стороны, и по лиственнице и ели, с другой стороны, имеют довольно низкие показатели сходства. Так, коэффициенты корреляции и синхронности между ними следующие: соответственно 0.25 и 60% между рядами по можжевельнику и лиственнице, 0.33 и 62% между рядами по можжевельнику и ели, в то

время как эти показатели при сравнении рядов по ели и лиственнице равны 0.58 и 74%. Все это свидетельствует о том, что в хронологиях по можжевельнику и двум другим рассматриваемым видам содержатся разные климатические сигналы.

Очень интересным является тот факт, что ширина годовых колец можжевельника реагирует на температуру мая, т.е. месяца, когда в этом районе преобладают отрицательные температуры и таяние снега только начинается. Объяснить это пока не представляется возможным, так как отсутствуют данные о начале, продолжительности и интенсивности сезонного роста у можжевельника, а также ели и лиственницы, которые существенно различаются по эколого-биологическим свойствам. Может быть, у можжевельника по сравнению с елью и лиственницей начало фотосинтеза и сезонного роста приходится на более ранние сроки.

Вычисление коэффициентов регрессии и корреляции между индексами прироста можжевельника и средней температурой мая, июня и июля в течение 1883–1939 гг. (первый период) и 1940–1995 гг. (второй период) показало, что вклад температуры отдельных месяцев в изменчивость прироста можжевельника в эти периоды существенно различается. Отчетливо видно увеличение вклада майских и июньских температур и снижение вклада июльских во втором периоде по сравнению с первым (рис. 2). У хронологий по ели и лиственнице в течение последних 55 лет произошло снижение вклада июльских температур. В числе возможных причин изменения вклада температур отдельных месяцев могут быть изменения в увлажненности климата и температуре воздуха во втором периоде по сравнению с первым: количество твердых осадков возросло в 1.5 раза, а температура воздуха в мае увеличилась на 1.14°C, что намного больше, чем в июне и июле [3]. В литературе отмечено снижение вклада температур летних месяцев в величину прироста хвойных деревьев в последние десятилетия в субарктических районах северного полушария и объяснения этому факту пока нет. Предполагается, что это могло произойти из-за увеличения концентрации в атмосфере CO₂, нитратов, озона или изменения влажности почвы [5].

На рис. 3 приведено сравнение отклонений реконструированных и фактических температур воздуха от средней нормы за май–июль на основе использования хронологии по можжевельнику (а) и за июнь–июль на основе использования хронологий по ели (б) и лиственнице (в). Видно, что погодичные и многолетние изменения реконструированных летних температур за последние 450 лет достаточно синхронны и хорошо отражают изменчивость фактических температур несмотря на то, что объекты изучения располагаются на

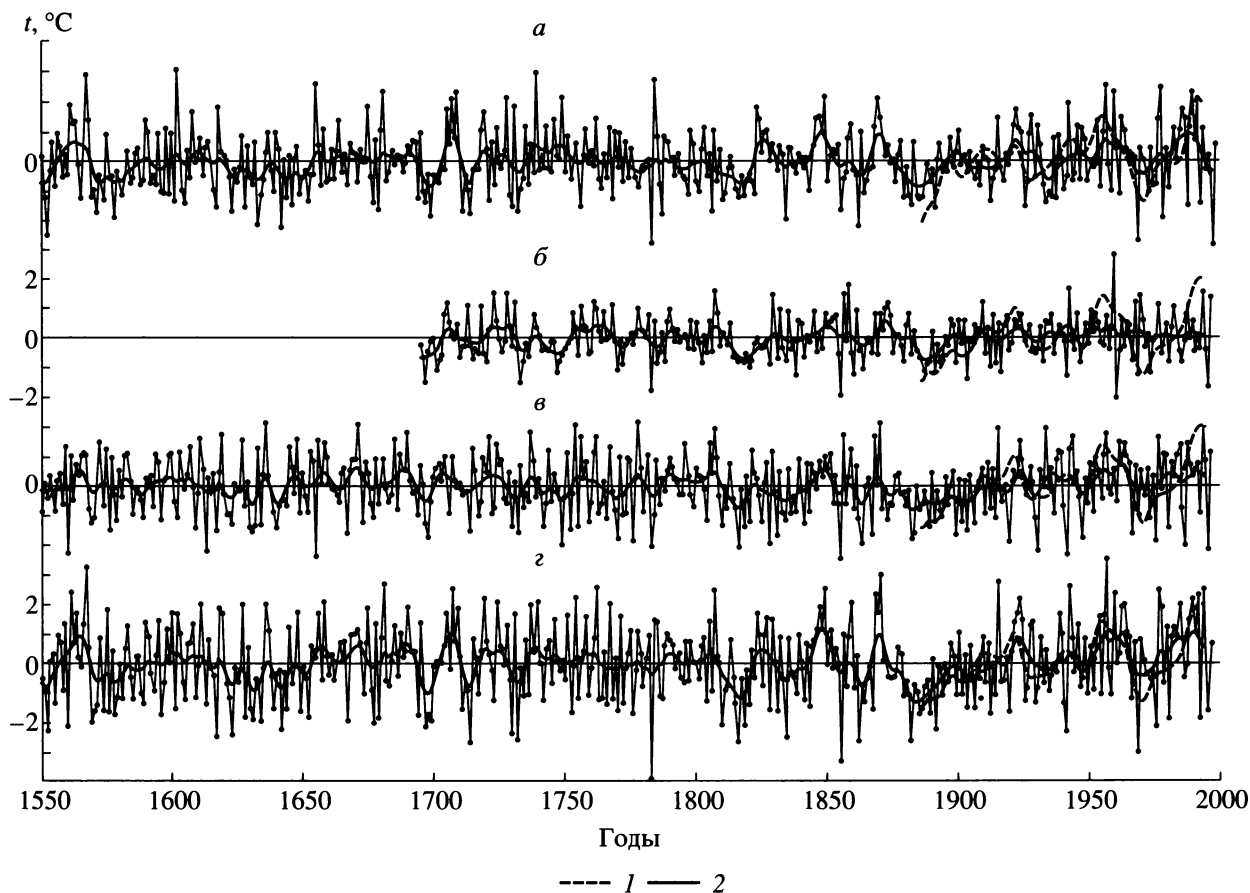


Рис. 3. Реконструкция отклонений температуры мая–июля (*а* – по можжевельнику сибирскому) и температуры июня–июля (*б* – по ели сибирской, *в* – по лиственнице сибирской, *з* – по можжевельнику сибирскому и лиственнице сибирской). 1 – сглаженная фактическая температура воздуха по данным метеостанции Салехард, 2 – сглаженная реконструированная температура воздуха за соответствующие месяцы.

значительном удалении от метеостанции Салехард и в пределах другой физико-географической провинции. При этом реконструкции, произведенные на основе хронологий по можжевельнику и лиственнице, более близки к ходу фактических температур по сравнению с реконструкцией, осуществленной на основе хронологии по ели.

Поскольку прирост можжевельника стабильно реагирует в основном на температуру июня, а прирост лиственницы – на температуру июля, то возникла идея получить более надежную реконструкцию температур июня–июля при использовании данных по обоим видам. Такая реконструкция осуществлена на основе оценивания параметров множественной линейной регрессии, отражающей связи между стандартизированными значениями ширины годичных колец двух видов и средними температурами июня–июля. Полученная реконструкция (рис. 3, *з*) действительно имеет более высокие показатели сходства с инструментальными наблюдениями по сравнению с реконструкциями, произведенными отдельно по можжевельнику и лиственнице. Коэффициент корреляции между

фактическими и реконструированными по комбинированной хронологии температурами июня–июля за 1883–1995 гг. оказался равным 0,74, а коэффициент синхронности – 80%, в то время как эти показатели для хронологии по можжевельнику составили 0,58 и 70% и по лиственнице 0,58 и 76% соответственно.

Заключение. Таким образом, древесно-кольцевые хронологии по можжевельнику сибирскому – мелкому кустарнику, произрастающему в экстремальных климатических условиях, – вполне пригодны для проведения дендроклиматических реконструкций. По качеству и длительности они не уступают реконструкциям, произведенным по хвойным видам древесных растений. Важным преимуществом хронологий по этому виду, по крайней мере для условий Субарктики, является то, что в них содержится климатический сигнал за более длительный интервал летнего сезона по сравнению с хронологиями, полученными до настоящего времени по древесным видам. Дендроклиматические реконструкции могут осуществляться как на основе использования обобщен-

ных хронологий по можжевельнику сибирскому, так и на основе использования комбинированных хронологий, т.е. при объединении хронологий по можжевельнику и по другим кустарниковым и древесным видам. Кроме того, у можжевельника в годичных слоях прироста древесины хорошо выражены такие патологические образования, как морозобойные, светлые и ложные кольца, на основе анализа которых можно производить реконструкцию повторяемости и интенсивности катастрофических событий (например, заморозков и похолоданий в период вегетации, раннего наступления холодов и т.д.). Ценные в дендроклиматическом отношении хронологии, вероятно, могут быть получены и для другого широко распространенного вида – можжевельника обыкновенного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазена В. С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
2. Шиятов С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
3. Шиятов С. Г., Мазена В. С. Климат // Природа Ямала. Екатеринбург: УИФ "Наука", 1995. С. 32–68.
4. Briffa K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H., et al. Unusual twentieth-century summer warmth in a 1,000-year temperature record from Siberia // Nature. 1995. V. 376. № 6536. P. 156–159.
5. Briffa K. R., Schweingruber F. H., Jones P. D., et al. Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes // Nature. 1998. V. 391. № 6668. P. 678–682.
6. Jacoby G. C., D'Arrigo R. Reconstructed Northern Hemisphere annual temperature since 1671 based on high-latitude tree-ring data from North America // Climatic Change. 1989. V. 14. P. 39–59.
7. Kanngiesser F. Zur Lebensdauer der Holzpflanzen // Flora, Jena. 1909. B. 99. S. 414–435.
8. Kihlman A.O. Pflanzenbiologischen Studien aus Russisch Lappland: Ein Beitrag zur Kenntnis der regionalen Gliederung an der polaren Baumgrenze // Acta Soc. pro fauna et flora fennica. 1890. V. 6. № 3. 263 + XXIV S.
9. Schweingruber F. H., Briffa K. R., Nogler P. A. A tree-ring densitometric transect from Alaska to Labrador // International J. Biometeorology. 1993. V. 37. P. 151–169.
10. Ward L. K. The conservation of Juniper: longevity and old age // J. Appl. Ecology. 1982. V. 19. P. 917–928.

Dendroclimatic Potential of *Juniperus Sibirica* Burgsd.

R. M. Hantemirov, S. G. Shiyatov, and L. A. Gorlanova

On the eastern macroslope of the Polar Urals in the belt of open *Larix sibirica* Ledeb, woodlands (200–280 m above sea level), the 400–500-year-old juniper species were found as well as died long ago its branches. By the data of 25 cuts from living and dead branches, a generalized tree ring chronology for 636 years (from 1363 to 1998) has been developed. According to thermal signals of affecting the radial growth of branches, the juniper differs in some features from growing here *Picea obovata* Ledeb., and *Larix sibirica* Ledeb. The combined tree ring chronology for juniper and larch provides a more reliable reconstruction of the average June and July temperature.