

Влияние гидродинамического режима мерзлотных почв на радиальный прирост лиственницы и сосны в Центральной Якутии

А. Н. НИКОЛАЕВ, П. П. ФЕДОРОВ*, А. Р. ДЕСЯТКИН*

Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН
677010, Россия, Якутск, ул. Мерзлотная, 36
E-mail: mpi@ysn.ru

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН
677980, Якутск, просп. Ленина, 41

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты исследований радиального прироста лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Центральной Якутии. Длительность построенных древесно-кольцевых хронологий составляет более 200 лет. Применение дендроклиматологических методов исследования при изучении роста деревьев в пределах распространения многолетнемерзлых пород позволило выявить их тесную взаимосвязь с климатическими факторами и гидротермическими условиями почвогрунтов. Впервые путем статистического анализа выявлена значимая связь температуры и влажности грунтов на разных глубинах с радиальным приростом лиственницы и сосны в Центральной Якутии.

Ключевые слова: дендрохронология, древесно-кольцевые хронологии, радиальный прирост, многолетняя мерзлота, гидротермический режим почвогрунта.

Территория Центральной Якутии (Восточная Сибирь, Россия) находится в области сплошного распространения многолетней мерзлоты. Мощность многолетнемерзлых пород в районе Якутска от 200 до 400 м в пределах надпойменных террас среднего течения р. Лена и до 400–500 м на денудационной и денудационно-аккумулятивной равнинах [1–3]. В условиях криолитозоны, где залегают наиболее мощные толщи многолетнемерзлых грунтов, создаются особые условия для произрастания растений. Большую часть года деятельный слой почвы находится в мерзлом состоянии. За короткий вегетационный период сезонно-талый слой (СТС) успевает прота-

ять на глубину максимум 1,5–2 м к концу летнего периода. В этих условиях наиболее приспособленными оказались светлохвойные породы деревьев с поверхностным расположением корневой системы. Данная особенность является одной из основных причин доминирующего произрастания в суровых мерзлотно-климатических условиях Якутии лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Интенсивное изучение многолетней мерзлоты в различных типах леса на территории Центральной Якутии началось еще в начале второй половины XX в. [4, 5]. В эти же годы большое внимание выявлению взаимосвязи состояния многолетнемерзлых пород с ростом растений, преимущественно культурных, уделялось и другими исследователями [6, 7]. Поз-

Николаев Анатолий Николаевич
Федоров Павел Петрович
Десяткин Алексей Романович

же проведены работы по изучению особенностей протаивания почвогрунтов и гидротермического режима почв в лесах Якутии [8–10].

В настоящее время известно, что лесная растительность, являясь буфером в системе тепло- и влагообмена атмосферы с земной поверхностью, определяет мощность сезонно-талого слоя и характер гидротермического режима почв. В зависимости от таксационных и геоботанических показателей лесных насаждений (сомкнутости полога, состава, высоты и возраста древостоя) изменяется структура радиационно-теплового баланса земной поверхности. В свою очередь, напочвенный покров (травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый) по отношению к почве выполняет роль теплоизолирующего покрытия [11–13]. Например, под арктоусово-брусничным и бруснично-толокнянковым лиственничником средняя глубина сезонного протаивания почвогрунтов 160–180 см, а под багульничково-моховым и бруснично-моховым лиственничником – всего 60–80 см [9, 14, 15].

Анализ распространения различных типов почв и местопроизрастаний основных лесобразующих пород Центральной Якутии показал, что на пространственное распределение различных видов деревьев немаловажную роль оказывают почвенные условия местности. Лиственница образует поверхностные корни, предпочитая среднеплодородные и среднеувлажненные суглинистые почвы. Она хуже растет в сухих и сырых местах. В отличие от лиственницы сосна произрастает на сухих песчаных и супесчаных хорошо аэрируемых почвах. В работах многих исследователей отмечается, что в зоне распространения многолетней мерзлоты сосна образует поверхностную корневую систему [16, 17]. В более поздних работах В. Н. Дохунаева [15] доказано, что в глубоко оттаивающих и благоприятных по физико-химическим свойствам почвах у сосны может образоваться стержневая корневая система. Корневая система сосны принимает поверхностную форму там, где почва сильно увлажнена, оглеена и близко залегают многолетнемерзлые породы. Сосна более чувствительна к ухудшению условий почвогрунта, поэтому только в тех местах, где имеются более благоприятные для ее роста условия произрастания, выигрывает конкуренцию у лиственницы.

С появлением дендрохронологических методов исследований появилась возможность изучения роста и развития лесов в области распространения многолетнемерзлых пород более детально. Известно, что температурные условия и содержание влаги на разных глубинах деятельного слоя по-разному влияют на радиальный прирост лиственницы и сосны. Рост древесных пород в зоне распространения многолетней мерзлоты в большинстве случаев зависит от глубины сезонного протаивания и замерзания деятельного слоя почвы, который связан с температурой и влажностью грунтов. Дендрохронологические методы исследования позволяют изучить зависимость между ростом деревьев и термовлажностными условиями почвогрунтов района исследований. Большинство работ по дендрохронологическим исследованиям посвящено изучению влияния температуры воздуха и количества выпадающих осадков на радиальный прирост деревьев [18–22]. Известна работа американских исследователей о произрастании березы и ивы кустарниковой на Аляске в условиях многолетней мерзлоты [23]. При изучении прироста годичных колец деревьев выявлена большая роль времени схода снежного покрова в субарктических районах Сибири [24, 25].

Одним из важных факторов, влияющих на рост древесных пород, являются гидротермические условия почвогрунтов [15, 26]. В лаборатории криогенных ландшафтов Института мерзлотоведения СО РАН за последние десятилетия накоплен большой материал по температуре и влажности почвогрунта для разных типов местности. Многолетние наблюдения за температурным режимом почв в центральных районах Якутии дали возможность использовать древесно-кольцевые хронологии не только для выявления связи радиального прироста с температурой воздуха и атмосферными осадками, но и для оценки степени влияния гидротермического режима почв на рост и развитие древесных пород [26, 27].

Гидротермический режим почв Центральной Якутии, подстилаемых многолетнемерзлыми породами, имеет ряд региональных особенностей. Наиболее существенное воздействие мерзлых грунтов на рост деревьев оказывают сильное выхолаживание корнеобитаемого слоя в холодное время года и динамика сезонного протаивания почвогрунтов в

летний период. В период начала промерзания почвогрунтов (конец сентября и октябрь) происходит процесс миграции почвенной влаги в сторону промерзания вверх к дневной поверхности и вниз к верхней границе многолетнемерзлых пород. В результате этого в верхних и нижних частях почвенно-грунтового разреза идет аккумуляция влаги и наблюдается интенсивный рост потенциала влаги $|\mu_w|$. Причем наибольшую величину потенциала влаги имеют участки с более низкой отрицательной температурой. Формирование потенциалов влаги приводит к развитию градиента μ_w в талой зоне и миграции ее от меньших к большим потенциалам, т. е. из талой в мерзлую зону. Вследствие этого в верхней (до 50 см) и нижней (от 80–100 см) частях разреза деятельного слоя содержание влаги становится выше, чем в средней части (от 60–80 см) [28, 29]. С этим связана доступность для растений почвенной влаги, которая длительное время года пребывает в твердой фазе и постепенно по мере оттаивания почвогрунтов в летний период переходит в жидкое состояние. Эти два динамических параметра температурного режима почвогрунтов и связанного с ними состояния почвенной влаги являются важнейшими факторами внешней среды, определяющими рост и развитие растений. При этом наиболее интенсивный влагообмен почвы происходит в верхних слоях, находящихся на глубине до 50 см [30]. У лиственницы, произрастающей в условиях криолитозоны, почти 2/3 корней расположено в слое до 50–60 см и лишь небольшая часть корневой системы достигает подошвы сезонно-талого слоя [15].

В статье дана оценка влияния гидротермических условий почвогрунтов на рост деревьев за длительный период времени. Анализ данных по температуре (с 1934 г.) и влажности (с 1988 г.) почвогрунтов для разных глубин позволил более детально исследовать степень влияния этих факторов на радиальный прирост деревьев в Центральной Якутии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Согласно почвенному районированию территории Якутии, исследуемый район относится к Центрально-Якутской таежно-алаской провинции мерзлотных и палевых почв

[31]. Климат Центральной Якутии резко континентальный с продолжительной и малоснежной зимой с низкими температурами воздуха и жарким, коротким летом с большой инсоляцией и малым количеством осадков [32].

Исследование радиального прироста лиственницы Каяндера и сосны обыкновенной проводилось на научных стационарах Института биологических проблем криолитозоны СО РАН “Спасская Падь” (62°08′; 130°31′). Данный стационар находится в 25 км к северо-западу от г. Якутска. Территория двух других участков с данными по лиственнице находится в Лено-Амгинском междуречье – в одном из наиболее засушливых районов Центральной Якутии. Первый из них в 45 км северо-восточнее г. Якутска является стационаром ИБПК СО РАН “Тюнгюлю” (61°59′ с. ш. 132°21′ в. д.). Второй участок находится в 50 км восточнее стационара “Тюнгюлю” около с. Чурапча в Центральной Якутии (рис. 1). На территории стационара “Спасская Падь” в непосредственной близости находятся участки лиственничных лесов и сосняков, что позволило сделать сравнительный анализ роста этих двух пород в условиях многолетней мерзлоты. На вышеуказанных участках собран дендрохронологический материал. С каждого участка взято не менее 24 ядер образцов древесины на высоте 1,3 м.

Измерения ширины годичных колец с точностью 0,01 мм проводились при помощи измерителя LINTAB-III в лаборатории криогенных ландшафтов Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН. При датировке и построении древесно-кольцевых хронологий применены общепринятые дендрохронологические методы с использованием специализированных программ COFESHA, ARSTAN, TSAP V3.5 [19, 33–36]. Стандартизация древесно-кольцевых хронологий сделана с помощью негативной экспоненты в программе ARSTAN.

Расчет статистических показателей изменчивости прироста деревьев, таких как чувствительность хронологий, среднеквадратическое отклонение, межсерийный коэффициент корреляции, автокорреляция, выполнен в программном пакете ARSTAN [37]. Коэффициент чувствительности древесно-кольцевых хронологий дает оценку относительных различий в изменчивости размеров соседних

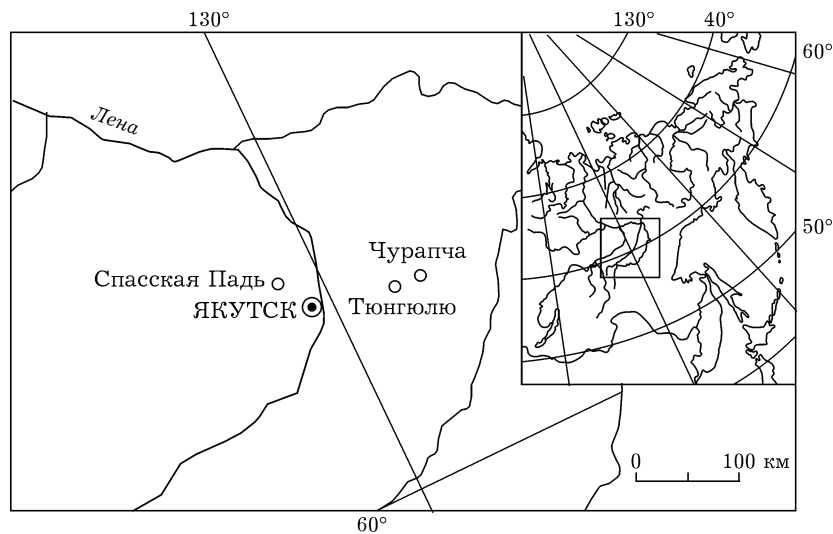


Рис. 1. Карта-схема расположения участков сбора дендрохронологического материала в Центральной Якутии

колец, показывая тем самым степень воздействия в основном внешних факторов на изменение величины прироста деревьев. Среднее значение коэффициента чувствительности для всей хронологии или отрезка вычисляется по формуле

$$K_r = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left(\frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right),$$

где x_t – ширина годичного кольца, или индекс прироста в год t , а n – длительность ряда (лет) [18].

Если коэффициент чувствительности показывает относительные различия величин соседних годичных колец, то амплитуду годичной изменчивости прироста характеризует величина среднеквадратического отклонения. Считается, что, чем выше коэффициент чувствительности и среднеквадратическое отклонение, тем более сильный внешний сигнал зафиксирован хронологией.

Межсерийный коэффициент корреляции является показателем сходности реакции прироста отдельных деревьев на участке на общие изменения внешних факторов. При формировании годичного кольца немаловажную роль играют условия прироста предыдущего года или даже нескольких предшествующих лет [38]. Подобную связь радиального прироста дерева с годичным приростом предыдущих лет оценивают автокорреляцией. Причиной значительных величин автокорреляции 1-го порядка по всем хронологиям может быть как

сильное влияние условий роста в предшествующем году на рост в текущем году, так и наличие устойчивой цикличности в приросте.

Зависимость радиального прироста деревьев от изменений внешних факторов оценивали при помощи корреляционного анализа в программе STATISTICA6. При этом отсчет времени ведется с конца вегетационного периода (в нашем случае с сентября) предыдущего года до конца августа текущего [19, 33, 35].

При анализе влияния температуры воздуха и количества выпадающих осадков на радиальный прирост деревьев использованы данные ближайших метеостанций – Якутск и Чурапча (рис. 2). Резко континентальный климат Центральной Якутии хорошо виден из температурного режима: крайне низкой температуры зимой и довольно высокой – в летний период [32]. Средняя температура зимнего периода с октября по апрель на метеостанции Якутск составляет $-26,2$ °С, а на метеостанции Чурапча $-28,0$ °С. Самые низкие среднемесячные температуры воздуха в Якутске ($-42,6$ °С) и в Чурапче ($-44,0$ °С) отмечаются в январе, а в период самого теплого месяца июля они достигают $18,7$ и $18,1$ °С соответственно. Годовое количество осадков в Якутске (234 мм) и Чурапче (254 мм), как и во всей Центральной Якутии, небольшое, большее их количество выпадает в летний период – 186 и 208 мм соответственно [39].

Для анализа влияния температурных условий грунтов на радиальный прирост деревь-

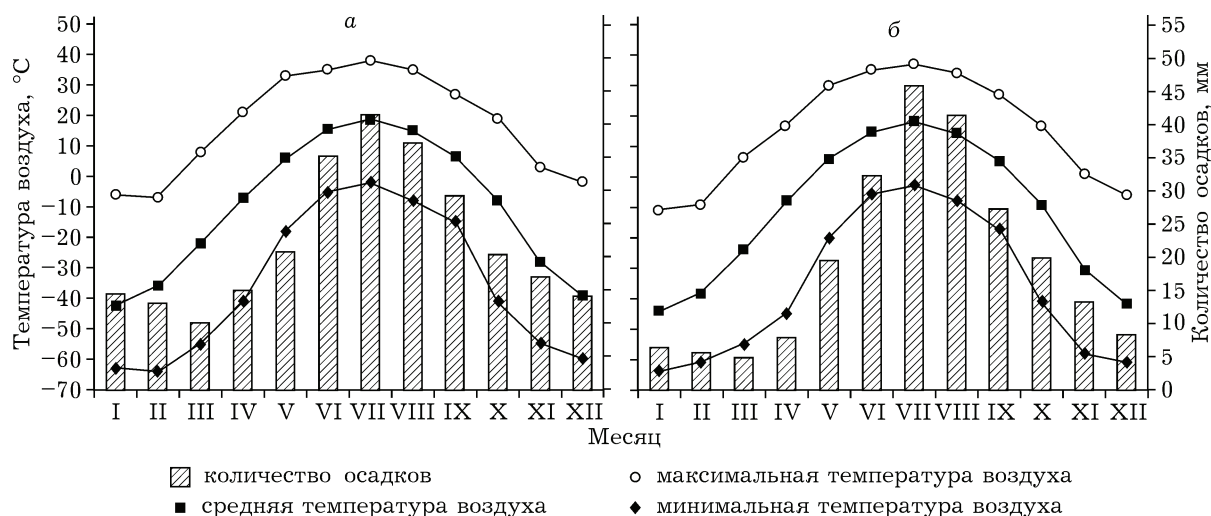


Рис. 2. Среднемесячные температуры воздуха и сумма выпадающих осадков за отдельные месяцы по метеорологическим станциям Якутск (а) и Чурапча (б)

ев стационара “Спасская Падь” использованы данные метеостанции Покровск, которая располагает более однородными данными по сравнению с метеостанцией Якутск, где отмечается некоторое нарушение непрерывности ряда наблюдений вследствие переноса метеостанции в 1930, 1952 и 1964 гг. [40], а также изменений почвогрунтовых условий с 1989 г. в связи с повышением уровня грунтовых вод. При изучении зависимости годичного прироста деревьев стационара “Тюнгюлю” и участка Чурапча использовались данные по температуре грунтов ближайшей метеостанции Чурапча. Связь роста деревьев с увлажненностью почвогрунтов изучалась с использованием данных по стационару “Тюнгюлю”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Построены две обобщенные древесно-кольцевые хронологии по стационару “Спасская Падь”, из которых одна по лиственнице каяндера (SPL), а вторая по сосне обыкновенной (SPP) (рис 3, а). Еще две древесно-кольцевые хронологии по лиственнице построены по стационару “Тюнгюлю” (TYNG) и по участку Чурапча (CHUR) (рис. 3, б).

Сосны, произрастающие на стационаре “Спасская Падь”, за последнее столетие росли равномерно, без больших спадов и увеличений радиального прироста. Участки лиственницы показали большие изменения радиального прироста в разные многолетние периоды. При этом большая син-

хронность в росте деревьев наблюдалась на участках, находящихся в Лено-Амгинском междуречье (TYNG и CHUR). Большое увеличение с дальнейшим снижением роста у лиственниц произошло в 30–40-х гг. XX в., в период так называемого глобального потепления Арктики, которое связывают со снижением вулканической активности на Земле [41–45]. У сосны таких изменений го-

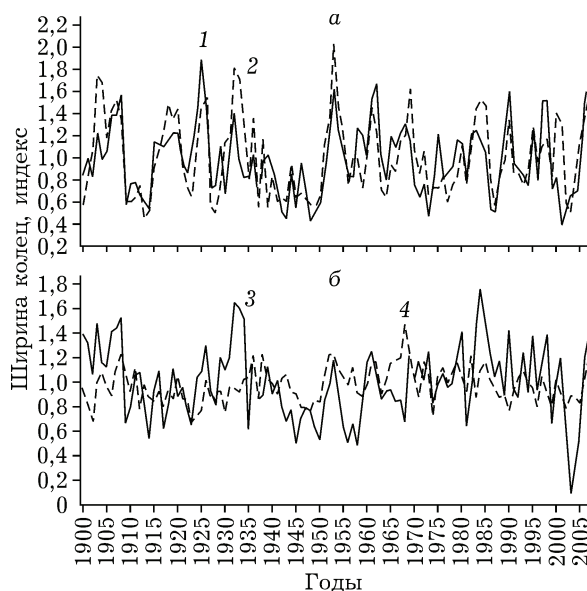


Рис. 3. Древесно-кольцевые хронологии со стационара ИБПК СО РАН “Спасская Падь” (а): 1 – по лиственнице (SPL), 2 – по сосне (SPP) и на участках в Лено-Амгинском междуречье (б): 3 – участок Чурапча (CHUR), 4 – стационар ИБПК СО РАН “Тюнгюлю” (TYNG)

Т а б л и ц а 1

Статистические характеристики хронологий

Код	Чувствительность	Среднеквадратичное отклонение	Межсерийный коэффициент корреляции	Автокорреляция 1-го порядка
SPP	0,17	0,21	0,66	0,60
SPL	0,26	0,27	0,76	0,51
CHUR	0,36	0,40	0,67	0,60
TYNG	0,33	0,36	0,78	0,61

дичного прироста в этот временной отрезок не произошло. Видимо, рост сосны в большей степени зависит от количества выпадающих осадков и почвогрунтовых условий мест ее произрастания.

Анализ статистических параметров построенных древесно-кольцевых хронологий (табл. 1) показал, что значения коэффициента чувствительности и среднеквадратичного отклонения построенных древесно-кольцевых хронологий по лиственнице были довольно высокими – от 0,26 (SPL) до 0,36 (CHUR) и 0,27 (SPL) и 0,40 (CHUR). Несколько меньшие показатели этих параметров были у древесно-кольцевых хронологий сосны. Данные статистические параметры указывают на добротность построенных хронологий и свидетельствуют о большом влиянии внешних факторов на рост деревьев.

У всех полученных хронологий отмечается высокий межсерийный коэффициент корреляции. Анализ показал большую согласованность в росте деревьев: межсерийный коэффициент корреляции менялся от 0,66 (SPP) до 0,78 (TYNG).

Анализ древесно-кольцевых хронологий показал, что условия предыдущего года оказывают существенное влияние на рост древесных пород. На это указывают большие значения автокорреляции первого порядка. При этом отмечается, что значение данного

показателя выше у деревьев на сухих участках вне зависимости от их породы.

Между построенными древесно-кольцевыми хронологиями сделан анализ корреляционных связей (табл. 2). Наиболее значительная корреляционная зависимость отмечается между хронологиями лиственницы (от 0,30 до 0,60). Древесно-кольцевые хронологии близко расположенных участков показали очень высокую согласованность в ежегодных изменениях радиального прироста. При этом наибольшая связь выявлена между соседними участками правобережья р. Лены стационара “Тюнгюлю” и участка Чурапча (TYNG и CHUR).

Древесно-кольцевая хронология по сосне не показала значимой корреляционной связи с соседним участком по лиственнице на стационаре “Спасская Падь”. Однако с деревьями лиственницы, произрастающими на более сухих участках в Лено-Амгинском междуречье (CHUR и TYNG), сосна показывает значимую корреляционную связь. Из этого следует, что для роста и развития древесных пород в мерзлотно-климатических условиях большое значение имеет конкретное место произрастания растений, где лимитирующим становится тот или иной фактор. В нашем случае для сухих мест произрастания таковым является фактор увлажнения почвы.

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты корреляций между древесно-кольцевыми хронологиями

Название хронологии	SPL	SPP*	CHUR	TYNG
SPL	1,00			
SPP*	0,15	1,00		
CHUR	0,30	0,34	1,00	
TYNG	0,50	0,42	0,60	1,00

П р и м е ч а н и е. Жирным шрифтом выделены значимые корреляционные связи $p < 0,01$. * – хронология по сосне.

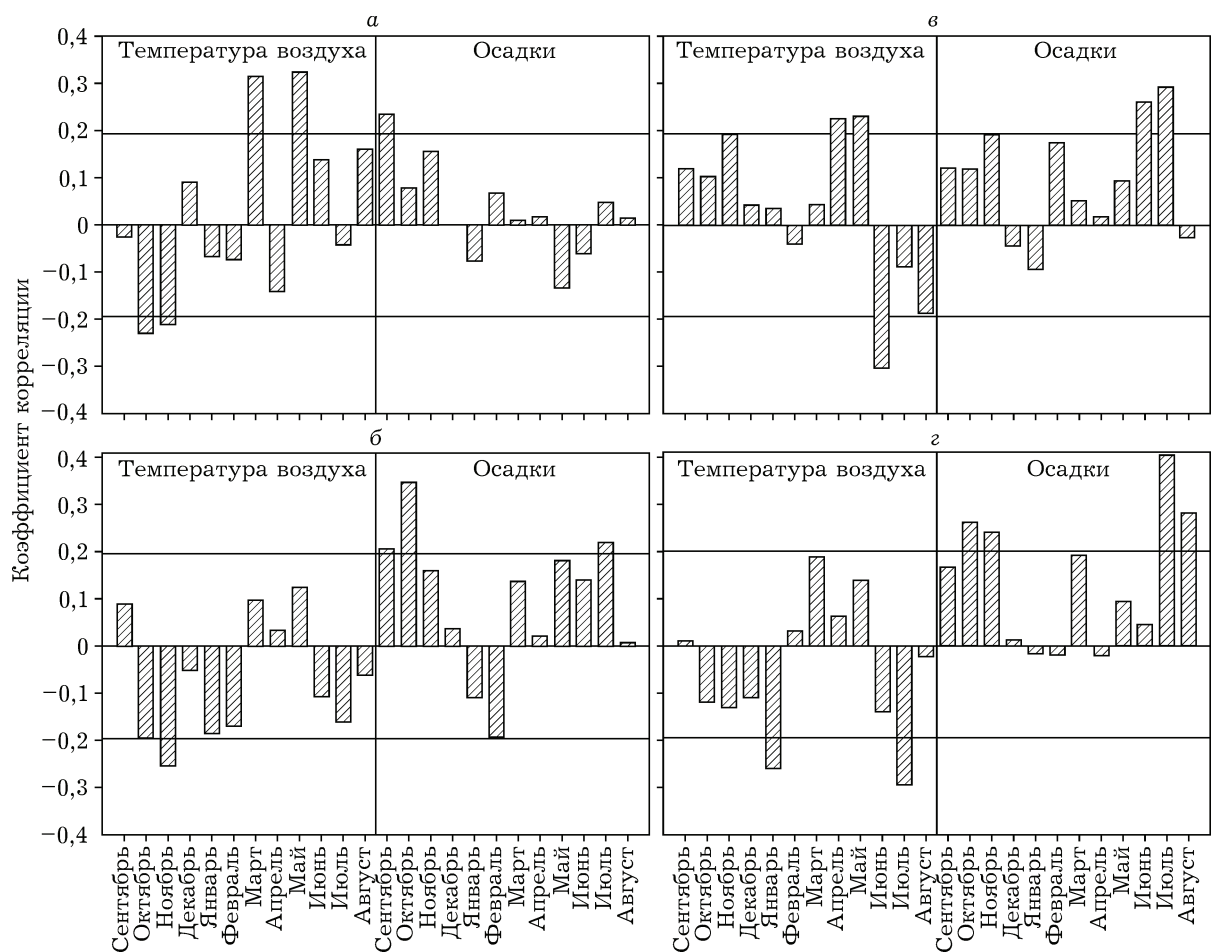


Рис. 4. Зависимость радиального прироста деревьев от температуры воздуха и количества выпадающих осадков. а – лиственница со стационара “Спасская Падь”; б – сосна со стационара “Спасская Падь”; в – лиственница со стационара «Тюнгюлю»; г – лиственница с участка Чурапча. Линией отмечен доверительный интервал при $p < 0,05$

На стационаре “Спасская Падь” проведен сравнительный анализ роста лиственницы и сосны в зависимости от температуры воздуха, количества выпадающих осадков и гидротермических условий почвогрунтов. Как уже упоминалось, на среднеувлажненных суглинистых почвах лиственница выигрывает конкуренцию у сосны, которая, в свою очередь, доминирует на сухих местопроизрастаниях.

Анализ функции отклика древесно-кольцевых хронологий по стационару “Спасская Падь” показал, что наибольшее влияние на радиальный прирост деревьев лиственницы ($r = 0,33$ при $p < 0,05$) значений температуры воздуха оказывается в июне, а сосны ($r = 0,23$ при $p < 0,05$) – в апреле – мае (рис. 4, а и б). Эти результаты хорошо согласуются с выводами многих авторов о значимом влиянии раннелетних температур воз-

духа на радиальный прирост деревьев [18–20, 46–48]. На стыке апрель – май происходит резкий переход отрицательных средне-суточных температур к положительным значениям. Средняя температура в апреле еще отрицательна ($-6,5, -9$ °С), а в мае – положительна ($4-5,5$ °С). Температурный режим начала вегетационного периода особенно важен для нормального роста деревьев. Как показывают результаты, опубликованные в ряде статей, в высоких широтах Сибири сроки начала сезона роста сильно варьируют от года к году и максимальные продукция клеток и ширина годичного кольца могут быть получены при более раннем начале сезона роста и высокой раннелетней температуре [49, 50].

Высокие значения температуры воздуха в летние месяцы отрицательно сказываются на радиальном приросте деревьев сосны

($r = -0,30$ при $p < 0,05$), а на рост лиственницы этот показатель не влияет. Величина выпадающих атмосферных осадков не оказывает особого влияния на прирост лиственницы, так как она произрастает в условиях достаточного водоснабжения. Хороший рост сосны зависит от количества выпадающих осадков в июне – июле ($r = 0,26$ и $r = 0,29$ при $p < 0,05$). Однако осенние осадки предыдущего года важны для радиального прироста как лиственницы ($r = 0,24$ при $p < 0,05$), так и сосны ($r = 0,19$ при $p < 0,05$).

Анализ связи радиального прироста лиственницы на стационаре “Тюнгюлю” и участке «Чурапча» с температурой воздуха и выпадающими атмосферными осадками выявил, что наибольшее влияние на рост деревьев оказывают осадки летних месяцев ($r = 0,22$ и $r = 0,40$ соответственно) и осени предыдущего года ($r = 0,34$ и $r = 0,26$ соответственно при $p < 0,05$). Высокие значения температуры воздуха, наоборот, негативно отражаются на годичном приросте лиственниц ($r = -0,29$ при $p < 0,05$) (рис. 4, в и г). Данный факт свидетельствует о том, что на территории Лено-Амгинского междуречья преобладает засушливый климат, который своеобразно влияет на рост древесных пород.

В условиях криолитозоны одним из важных факторов для нормального роста древесных пород является температура почвогрунтов. Нами проведены исследования по выяснению влияния температурных условий почвогрунтов на радиальный прирост деревьев, произрастающих на стационаре “Спасская Падь”. Корреляционный анализ древесно-кольцевых хронологий лиственницы с температурными условиями почвы на разных глубинах свидетельствует о значимой корреляционной связи в зимний период ($r = 0,43$ при $p < 0,05$) (рис. 5, а). Чем выше температура почвы в холодное время года, тем быстрее идет прогревание почвы весной, что способствует своевременному началу активного роста деревьев в начальный период вегетации. Летние значения температуры почвогрунтов не лимитируют радиальный прирост деревьев, поскольку в это время года тепла, необходимого для благоприятного роста лиственницы, достаточно.

Аналогичный анализ древесно-кольцевых хронологий сосны показал, что на верхних и нижних границах деятельного слоя (глубина

20 и 120 см) зимние температуры почвогрунтов до конца мая положительно коррелируют ($r = 0,44$ при $p < 0,05$) с радиальным приростом деревьев (рис. 5, б). На глубинах от 40 до 80 см положительное влияние температуры почвогрунтов на рост сосны наблюдается в весенние месяцы. Как и в случае с лиственницей, более высокие значения температуры почвогрунтов в зимние и весенние месяцы способствуют своевременному началу ростовых процессов у сосны. Однако в отличие от лиственницы на некоторых глубинах наблюдается отрицательное воздействие высоких значений температуры почвогрунтов в летние месяцы на рост сосны ($r = -0,45$ при $p < 0,05$). Это объясняется, по-видимому, большим дефицитом влаги на более сухих почвах, где высокие температуры вызывают иссушающий эффект.

Для сравнения подобный анализ сделан и на дендрохронологических участках Лено-Амгинского междуречья, где деревья произрастали в более сухих условиях. Проведен корреляционный анализ между древесно-кольцевыми хронологиями лиственницы TYNG и CHUR с температурными условиями почвогрунтов на разных глубинах по метеостанции Чурапча (рис. 6). В отличие от анализа на предыдущих участках из-за отсутствия данных на глубине 120 см сделан корреляционный анализ с данными на глубинах 80 и 160 см. При этом обе древесно-кольцевые хронологии показали схожую зависимость от температурных условий почвогрунтов. В ходе исследований выявлена большая корреляционная связь для хронологий TYNG и CHUR с температурами грунтов на разных глубинах, как и для стационара “Спасская Падь”, в зимний период года ($r = 0,49$ и $r = 0,56$ соответственно при $p < 0,05$). Также выяснено, что значения летних температур почвогрунтов не оказывают особого влияния на радиальный прирост деревьев на участке CHUR. В некоторых случаях высокая температура почвогрунтов, особенно в верхних слоях, оказывает негативное воздействие на рост лиственницы (на участке TYNG $r = -0,31$ при $p < 0,05$), что характерно для сосны со стационара “Спасская Падь”.

Важнейшим условием, определяющим нормальный рост растений в области распространения многолетнемерзлых пород, явля-

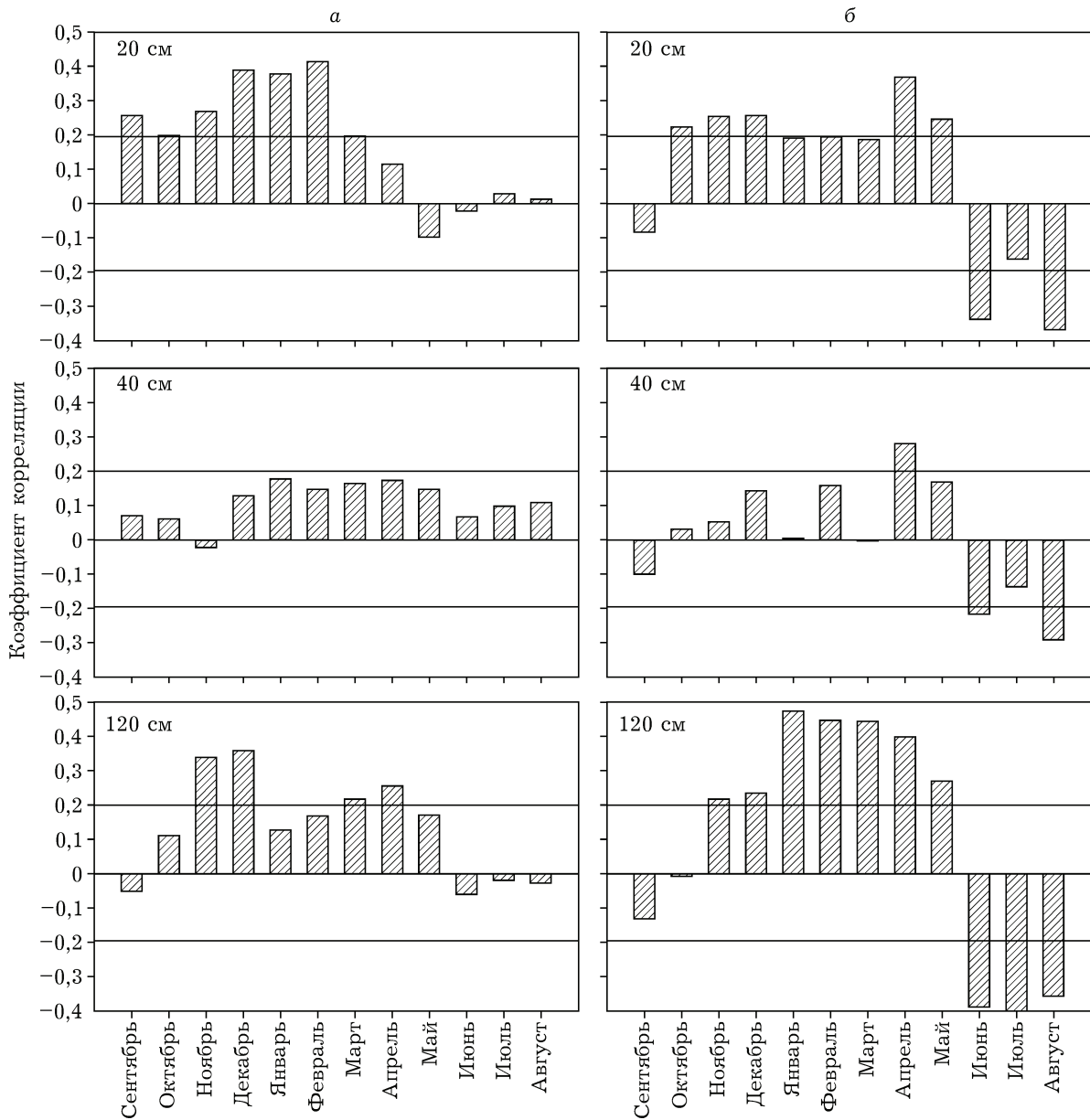


Рис. 5. Коэффициент корреляции древесно-кольцевых хронологий в зависимости от температуры почвы на разных глубинах (стационар “Спасская Падь”). а – лиственница (SPL); б – сосна (SPP). Линией отмечен доверительный интервал при $p < 0,05$

ется водный режим почвогрунтов. Нами проведен корреляционный анализ древесно-кольцевых хронологий по лиственнице (SPL и TYNG) с динамикой влажности почвогрунтов (рис. 7). Результаты показывают, что хорошая корреляционная связь с влажностью верхних слоев почвогрунтов наблюдается в течение всего вегетационного периода. Однако следует отметить, что наиболее высокие значения коэффициента корреляции приходятся на осенний период предыдущего сезо-

на ($r = 0,80$ и выше при $p < 0,05$). Это связано с тем, что лиственница в начале вегетационного периода использует накопленный в предыдущем году запас почвенной влаги. И наиболее высокую корреляционную связь с радиальным приростом лиственницы дают значения влажности в верхних слоях почвогрунтов (до 50 см на участке TYNG и до 80 см на участке SPL), где влага аккумулирована в период сезонного их промерзания в сентябре и октябре предыдущего года. Так-

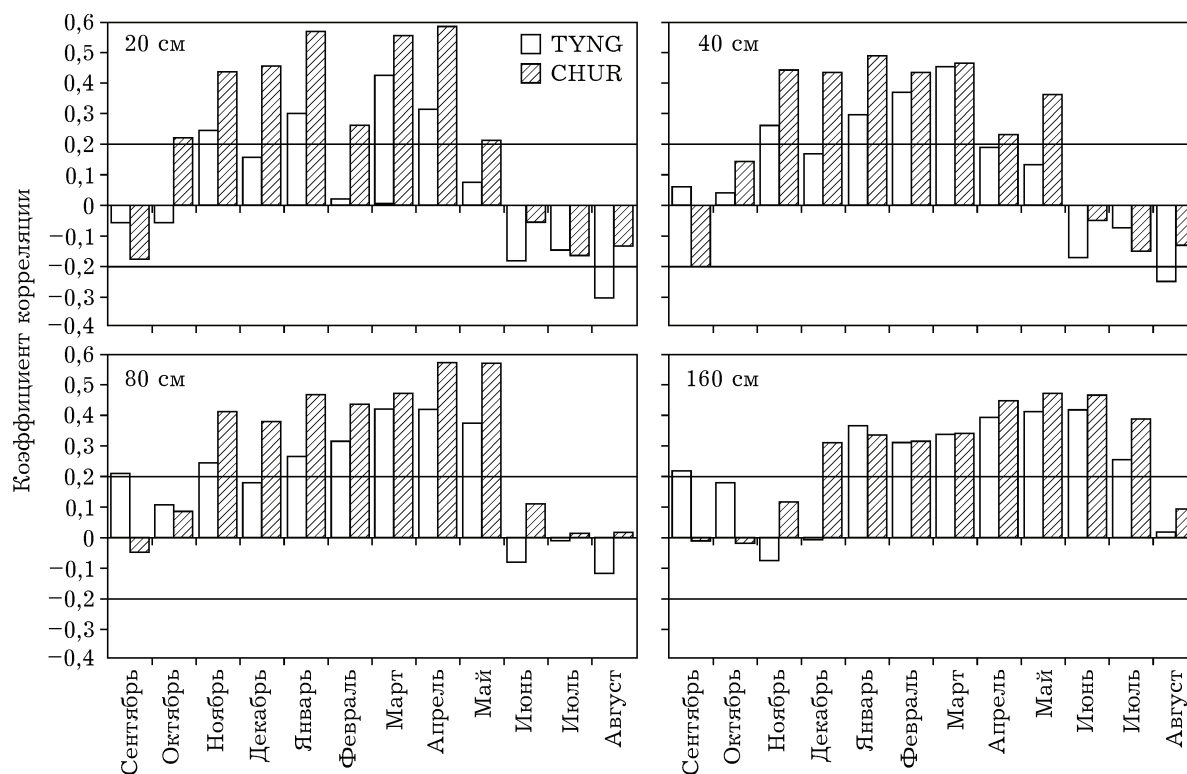


Рис. 6. Корреляционный анализ древесно-кольцевой хронологии TYNG и CHUR с температурой почвы на разных глубинах. Линией отмечен доверительный интервал при $p < 0,05$

же хорошую корреляционную связь с ежегодным приростом деревьев показывают значения влажности почвогрунтов в сентябре и октябре на глубине 80–100 см (TYNG, где $r = 0,86$ при $p < 0,05$) и 100 см и ниже (SPL, где $r = 0,7$ при $p < 0,05$). Эту связь можно объяснить тем, что в середине вегетационного периода корневая система лиственницы начинает использовать влагу нижних горизонтов почвы. Поскольку в летнее время оттаивание почвогрунтов происходит постепенно, то к середине этого периода влага, накопленная на нижних границах сезонно-талого слоя, начинает использоваться корнями лиственницы. В условиях недостатка почвенной влаги в Лено-Амгинском междуречье дополнительное питание корневой системы деревьев за счет влаги, аккумулированной в сезонно-талом слое, становится определяющим фактором для нормального роста лиственницы. В работе Сугимото и др. [51] упоминается о значимости накопленной в мерзлотной почве влаги прошлых лет для роста деревьев в засушливый вегетационный период на стационаре “Спасская Падь”. На это указывают значимые корреляции ради-

ального прироста деревьев с содержанием влаги на глубинах 80–90 см на участке TYNG ($r = 0,63$ при $p < 0,01$). На участке SPL в условиях достаточной увлажненности такого значимого эффекта не наблюдалось, хотя также показана положительная корреляционная зависимость.

Следует отметить, что на участке TYNG наблюдается низкая корреляционная связь роста деревьев с содержанием влаги в период сезонного промерзания почвогрунтов на глубинах 60–80 см в сентябре и 60–70 см в октябре. По всей вероятности, это связано с иссушением почвогрунтов этого слоя в связи с миграцией влаги в сторону верхней и нижней границ промерзания. Для участка SPL снижение корреляционной связи наблюдается на более низких горизонтах (90–100 см). Видимо, сказываются различия состава почвы и условий увлажненности участков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение дендроклиматических методов исследования в изучении реакции лесобразующих пород на климатические и поч-

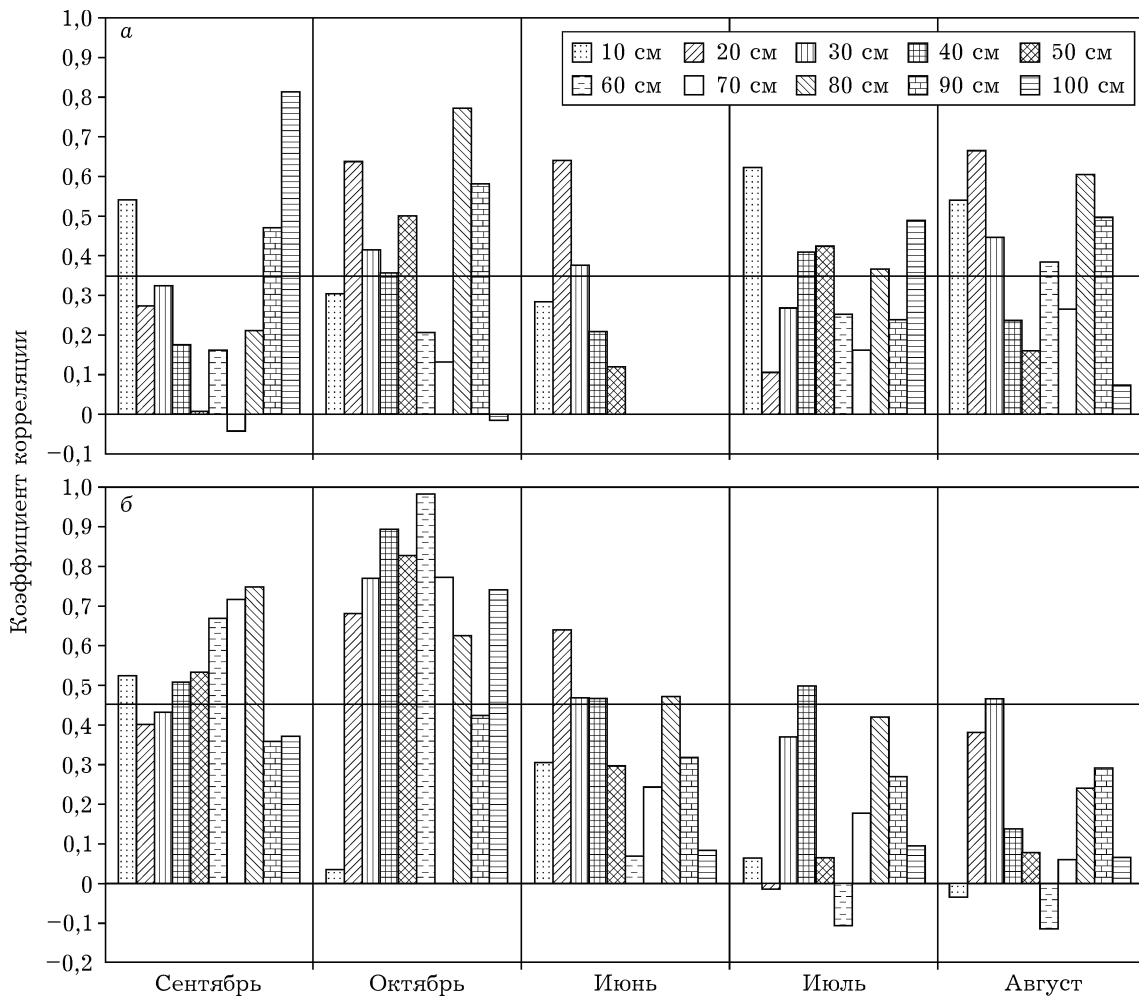


Рис. 7. Коэффициент корреляции древесно-кольцевых хронологий с влажностью почв на глубине от 10 до 100 см на участках TYNG (а) и SPL (б). Линией отмечен доверительный интервал при $p < 0,05$

венные условия в зоне распространения многолетней мерзлоты позволило получить следующие основные результаты.

Рост лиственницы и сосны в Центральной Якутии тесно связан с климатическими и почвенно-грунтовыми условиями внешней среды. Для нормального роста деревьев наиболее важны высокие значения раннелетних температур воздуха. Одним из основных лимитирующих факторов для радиального прироста сосны и лиственницы, произрастающих в сухих участках, являются осадки текущего летнего сезона и предыдущей осени.

Радиальный прирост древесных пород, произрастающих на мерзлотных почвах, находится в тесной связи с температурными условиями деятельного слоя в течение всего вегетационного периода. Различные значения зимних температур почвогрунтов на

разных глубинах определяют время весеннего оттаивания почвы. При более высоких температурах в зимний период происходит раннее оттаивание почвогрунта весной. Это, в свою очередь, сказывается на времени начала вегетационного периода, что отражается на годичном приросте деревьев.

Одним из важных полученных нами результатов является то, что для радиального прироста лиственницы большое значение имеет величина содержания почвенной влаги предыдущей осени. Накопленная влага верхних слоев почвы, по-видимому, важна для деревьев в начале вегетационного периода во время активации ростовых процессов. В условиях засушливого климата, характерного для района исследований, почвенная влага, находящаяся на нижних горизонтах сезонно-талого слоя, в ходе сезонного про-

таивания грунтов к середине лета становится доступной для корней деревьев. Это условие является одним из главных для нормального роста лиственничных лесов на территории Центральной Якутии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-05-96117 (p_восток_a), 07-04-00293 и интеграционного проекта СО РАН № 71.

ЛИТЕРАТУРА

- Мельников П. И., Балобаев В. Т., Кутасов И. М., Девяткин В. Н. Геотермические исследования в Центральной Якутии // Геология и геофизика. 1972. № 12. С. 134–137.
- Девяткин В. Н. Результаты определения глубинного теплового потока на территории Якутии // Региональные и тематические исследования. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. С. 148–150.
- Иванов М. С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. 126 с.
- Поздняков Л. К. О влиянии растительности на глубину летнего оттаивания почвы // Сб. работ по геоботанике, лесоведению, палеогеографии и флористике. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 425–430.
- Уткин А. И. Леса Центральной Якутии. М.: Наука, 1965. 208 с.
- Дадькин В. П. Особенности поведения растений на холодных почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 279 с.
- Коровин А. И. Температуры почвы и растения на Севере. Петрозаводск: Кн. изд-во, 1961. 192 с.
- Саввинов Д. Д. Температурный и водный режим лесных почв Якутии // Исследования растительных почв в лесах Северо-Востока СССР. Якутск: Кн. изд-во, 1971. С. 118–175.
- Поздняков Л. К. Мерзлотное лесоведение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 192 с.
- Шурдук И. Ф. Влияние густоты древостоя на фито-климат лиственничных молодняков // Проблемы экологии Якутии. Якутск: Изд-во ЯГУ, 1996. Вып. 1. С. 49–54.
- Павлов А. В. Энергообмен в ландшафтной сфере Земли. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984. 256 с.
- Основы геоэкологии. Ч. 4. Динамическая геоэкология / под ред. Э. Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 2001. 688 с.
- Варламов С. П., Скачков Ю. Б., Скрябин П. Н. Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002. 218 с.
- Виппер В. Н. Влияние подлеска и травяно-кустарничкового покрова на возобновление лиственничных лесов Центральной Якутии. М.: Наука, 1973. 64 с.
- Дохунаев В. Н. Корневая система растений на мерзлотных почвах Якутии. Якутск: ЯФ СО СССР, 1988. 176 с.
- Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная. М.: Наука, 1964. 191 с.
- Щербаков И. П. Лесной покров Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 344 с.
- Шиятов С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Дендроклиматологические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1996. 246 с.
- Hughes M. K., Vaganov E. A., Shiyatov S. G., Touchan R., Funkhuoser G. Twentieth-century summer warmth in northern Yakutia in a 600-year context // The Holocene. 1999. Vol. 9. P. 629–634.
- Naurzbaev M. M., Hughes M. K., Vaganov E. A. Tree-ring growth curves as sources of climatic information // Quaternary Research. 2004. Vol. 62. P. 126–133.
- Kirdyanov A. V., Treydte K. S., Nikolaev A. N., Helle G., Schleser G. H. Climate signals in tree-ring width, density and $\delta^{13}\text{C}$ from larches in Eastern Siberia (Russia) // Chemical geology. 2008. Vol. 252. P. 31–41.
- Lloyd A. H., Yoshikawa K., Fastie C. L., Hinzman L., Fraver M. Effects of permafrost degradation on woody vegetation at Arctic Treeline on the Seward Peninsula, Alaska // Permafrost and periglacial processes. 2003. Vol. 14. P. 93–101.
- Vaganov E. A., Hughes M. K., Kirdyanov A. V., Schweingruber F. H., Silkin P. P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia // Nature. 1999. Vol. 400. P. 149–151.
- Kirdyanov A., Hughes M., Vaganov E., Schweingruber F., Silkin P. The importance of early summer temperature and date of snow melt for tree growth in the Siberian Subarctic // Trees. 2003. Vol. 17. P. 61–69.
- Николаев А. Н., Федоров П. П. Влияние климатических факторов и термического режима мерзлотных почв Центральной Якутии на радиальный прирост лиственницы и сосны (на примере стационара “Спаская Падь”) // Лесоведение. 2004. № 6. С. 51–55.
- Федоров П. П., Николаев А. Н., Десяткин А. Р. Выявление влияния гидротермического режима почв на радиальный прирост лиственницы в Центральной Якутии: материалы Всерос. науч. конф. с международным участием (Иркутск, 10–13 сентября 2007). Иркутск: Изд-во Института географии им В. Б. Сочавы СО РАН, 2007. С. 101–104.
- Ершов Э. Д. Влагоперенос и криогенные текстуры в дисперсионных породах. М.: Изд-во МГУ, 1979. 214 с.
- Фельдман Г. М. Передвижение влаги в талых и промерзающих грунтах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 258 с.
- Саввинов Д. Д. Почвы Якутии: Проблемы рационального использования почвенных ресурсов, их мелиорация и охрана. Якутск: Якутское кн. изд-во, 1989. 152 с.
- Еловская Л. Г., Коновский А. К. Районирование и мелиорация мерзлотных почв Якутии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. 175 с.
- Гаврилова М. К. Климат Центральной Якутии. Якутск: Якутское кн. изд-во, 1973. 120 с.
- Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Наурзбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Ч. 1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
- Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring Bulletin. 1983. Vol. 44. P. 69–75.
- Cook E. R., Kairiukstis L. Methods of dendrochronology. Application in environmental sciences. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.

36. Rinn F. TSAP version 3.5. Referense Manual. Computer program for tree ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn, 1996. 264 p.
37. Holmes R. L. Dendrochronology Program Library, Version 2001. Laboratory of Tree-Ring Research, University Arizona, Tucson, Arizona USA, 2001. электронная версия.
38. Fritts H. C. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data. A diagnostic analysis. Tucson; London: The University of Arizona Press, 1991. 286 p.
39. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Вып. 24 Якутская АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 607 с.
40. Справочник по климату СССР, 24, VIII, температура почвы. Якутск: ЯГУМС, 1975. 570 с.
41. Будыко М. И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 470 с.
42. Митчелл Д. М. Об изменчивости солнечного излучения и о вулканической деятельности как возможных источниках изменений климата // Физические основы теории климата и его моделирования: труды Междунар. науч. конф., организованной ВМО и МСНС при поддержке программы ООН по окружающей среде (Стокгольм, 29 июля – 10 августа 1974 г.). Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 133–136.
43. Балобаев В. Т., Гаврилова М. К., Скачков Ю. Б., Гаврильев П. П., Десяткин Р. В., Максимов Т. Х., Иванов Б. И., Соломонов Н. Г. Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии: Препринт. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. 64 с.
44. Bengtsson L., Semenov V. A., Johannessen O. M. The early twentieth-century warming in the Arctic – a possible mechanism // J. Climate. 2004. Vol. 17. P. 4045–4057.
45. Johannessen O. M., Bengtsson L., Miles M. W., Kuzmina S. I., Semenov V. A. Arctic climate change: observed and modeled temperature and sea-ice variability // Tellus. 2004. Vol. 56A. P. 328–341.
46. Barclay D. J., Wiles G. C., Calcin P. E. A 1119-year tree-ring-width chronology from western Prince William Sound, southern Alaska // Holocene. 1999. Vol. 9.1. P. 79–84.
47. Jacoby G. C., Lovelius N. V., Shumilov O. I., Raspopov O. M., Karbainov J. M., Frank D. C. Long-term temperature trends and tree growth in the Taymir region of northern Siberia // Quaternary Research. 2000. Vol. 53. P. 312–318.
48. Николаев А. Н., Кирдянов А. В., Шлезер Г., Хелле Г., Вариации параметров древесных колец и содержание изотопов $\delta^{13}\text{C}$ у лиственницы каюндера в Восточной Якутии // Лесоведение. 2006. № 2. С. 51–70.
49. Ваганов Е. А., Высоцкая Л. Г., Шашкин А. В. Сезонный рост и структура на северном пределе леса // Лесоведение. 1994. № 5. С. 3–15.
50. Ваганов Е. А., Шашкин А. В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 256 с.
51. Sugimoto A., Yanagisawa N., Naito D., Fujita N., Maximov T. C. Importance of permafrost as a source of water for plants in east Siberian taiga // Ecological Research. 2002. Vol. 17. P. 493–503.

Effect of Hydrodynamic Conditions of Permafrost Soil on the Radial Growth of Larch and Pine in Central Yakutia

A. N. NIKOLAEV, P. P. FEDOROV*, A. R. DESYATKIN*

*P. I. Melnikov Institute of Geocryology SB RAS
677010, Russia, Yakutsk, Merzlotnaya str., 36
E-mail: mpi@ysn.ru*

**Institute of Biological Problems of Cryolite Zone SB RAS
677980, Yakutsk, Lenin ave., 41*

Results of the investigation of radial growth of *Larix cajanderi* Mayr and *Pinus sylvestris* L. in Central Yakutia are presented. The time span of the set wood ring chronologies is more than 200 years. The application of dendroclimatological methods in studying tree growth within the range of permafrost rocks allowed us to reveal their close interconnection with climatic factors and hydrothermal conditions of soils. A significant correlation between ground temperature and humidity at different depths with the radial growth of larch and pine in Central Yakutia was revealed for the first time by means of statistical analysis.

Key words: dendrochronology, wood ring chronologies, radial growth, permafrost, hydrothermal conditions of soil.