

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ КАК ФАКТОР РОСТА ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ДЕРЕВЬЕВ В КОНТРАСТНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

© 2023 г. Н. И. Быков^{1,*}, А. А. Шигимага¹, Н. В. Рыгалова¹

¹ Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

*e-mail: nikolai_bykov@mail.ru

Поступила в редакцию 18.10.2022 г.

После доработки 03.02.2023 г.

Принята к публикации 31.03.2023 г.

Проанализирована зависимость ширины годичных колец древесных растений зоны лесотундры и подзон северной тайги (лесная зона), южной лесостепи (лесостепная зона) и сухой степи (степная зона) от таких показателей снежного покрова, как максимальная толщина и водозапас, даты установления, разрушения и продолжительность залегания устойчивого снежного покрова. Для анализа применены данные государственных метеорологических станций Росгидромета (далее – МС) за 1966–2020 гг. (по лесотундре и северной тайге); 1966–2018 гг. (по лесостепи и сухой степи); материалы собственных дендрохронологических работ.

Ключевые слова: Западно-Сибирская равнина, снежный покров, древесные растения, годичные кольца

DOI: 10.31857/S2076673423020047, **EDN:** RTJTTL

ВВЕДЕНИЕ

Снежный покров – важный элемент географической оболочки экосистем, оказывающий серьёзное воздействие на их динамику и продуктивность (Быков, Попов, 2011). Его роль в жизни растений определяется тем, что он изменяет термический и водный режимы их среды обитания, а также оказывает на них механическое воздействие. В зимний период он предохраняет растения от вымерзания (особенно почки возобновления) и ветрового иссушения. Вместе с тем, снежный покров может провоцировать выпревание растений. В весенний период время схода снежного покрова предопределяет даты наступления фенофаз и, таким образом, в некоторой степени продолжительность вегетационного периода. Запасы воды в снежном покрове определяют увлажнение почвы в вегетационный период и, следовательно, продуктивность растений. На склонах, где может происходить сползание снежного покрова и сход лавин, эти процессы оказывают значительное механическое воздействие на растения, особенно на деревья. Несомненно, воздействие снежного покрова на растения происходит в комплексе с другими факторами, но это не исключает необходимости изучения взаимосвязей в системе растительность – снежный покров. Такие исследования позволяют понять изменение роли снежного покрова как экологического фак-

тора от места к месту, а также индикационный потенциал растений для реконструкции данных о снежном покрове.

Вопросами изучения влияния показателей снежного покрова на рост древесных растений в различных местообитаниях занимались многие исследователи (Быков, 1998; Gedalof, Smith, 2001; Falarz, 2017; Sanmiguel-Vallelado A. et al., 2019). Главные выводы, сформулированные ими, сводятся к тому, что влияние снежного покрова определяется комплексом географических факторов (Николаев, Скачков, 2011). В районах продолжительного залегания снежного покрова связи его характеристик с показателями годичных колец становятся более тесными (Vaganov et al., 1999; Schmidt et al., 2010; Owczarek, Opała, 2016; Watson, Luckman, 2016). Это позволило некоторым исследователям применять установленные зависимости для реконструкции таких характеристик снежного покрова, как продолжительность залегания, максимальная толщина, дата разрушения (Woodhouse, 2003; Kirdyanov et al., 2003; Schmidt et al., 2006; Li Qin, 2016), а также величины снегозапасов в речном бассейне (Hart et al., 2010).

Вместе с тем, для районов, где снежный покров контролирует водный режим почв, подобных исследований значительно меньше. Тем более, отсутствует сравнительный анализ реакции

радиального роста деревьев в районах с разным экологическим значением снежного покрова. Это обусловило цель данной работы — установление роли различных характеристик снежного покрова на ширину годовых колец в контрастных условиях обитания. В качестве районов исследований выбраны северная тайга и лесотундра, где продуктивность древесных растений контролируется суммой положительных температур воздуха вегетационного периода или отдельных его месяцев (Ваганов и др., 1996; Dolgova et al., 2022), а также южная лесостепь и сухая степь, где главным лимитирующим фактором роста является увлажнение территории (Rygalova et al., 2022).

ТЕРРИТОРИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лесотундра исследуемой территории представлена редкостойными (сомкнутость менее 0.4–0.5) лиственничными и лиственнично-еловыми лесами, которые сочетаются с мохово-лишайниковыми болотами и ивово-лугово-болотными растительными сообществами в поймах крупных рек. Устойчивый снежный покров здесь устанавливается в первой половине октября (10 октября за последний 30-летний период), а разрушается в самом конце календарной весны (30 мая). Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова составляет в среднем 231 день, а его средняя максимальная толщина — 41 см (при водозапасах 113 мм). В этом районе в 40 км юго-западнее пос. Тазовский на четырех участках ландшафтных катен (плакор и нижняя часть склона) (рис. 1; табл. 1) были отобраны дендрохронологические образцы лиственницы сибирской и ели сибирской. Отбор проб, как в лесотундре, так и на других территориях, происходил в соответствии с рекомендациями проведения дендроклиматических работ (Шиятов и др., 2000). На каждом участке с 15 деревьев каждой исследуемой породы было получено по 30 кернов. Измерения ширины годовых колец проводились на полуавтоматической установке Lintab-6 с точностью до 0.01 мм. Стандартизация и обобщение дендрохронологических рядов выполнялись в программе ARSTAN. Некоторые результаты анализа данных дендрохронологических образцов опубликованы (Быков и др., 2022; Rygalova et al., 2022).

В северной тайге дендрохронологические образцы отбирались вблизи г. Надым: в 6 км северо-западнее города на двух участках ландшафтной катены в пределах Надымских сопок и в 25 км южнее города на террасе р. Надым. В первом случае верхние части склонов заняты берёзово-елово-лиственнично-кедровым лесом, а нижние — елово-кедрово-лиственничным. На террасе р. Надым произрастает бор с доминированием сосны обыкновенной и примесью лиственницы сибир-

ской и ели сибирской. В пределах ландшафтной катены были отобраны дендрохронологические образцы с сосны кедровой, ели сибирской и лиственницы сибирской (всего 180 образцов), а в бору — с сосны обыкновенной (30 образцов). Установление устойчивого снежного покрова в северной тайге (МС Надым) происходит в середине октября (12 октября за последний 30-летний период), а его разрушение — в середине мая (15 мая). Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова составляет в среднем 213 день, а средняя максимальная толщина снежного покрова — 83 см (при водозапасе 194 мм).

В южной лесостепи главным объектом исследования служила сосна обыкновенная в пределах ленточных боров, которые представляют собой интразональные ландшафты (см. табл. 1). Установление устойчивого снежного покрова в южной лесостепи в среднем происходит 3–6 ноября, а разрушение — 2–8 апреля (по данным МС Камень-на-Оби, Ребриха, Барнаул) (Быков и др., 2022). Продолжительность его залегания составляет от 146 до 155 дней. Средняя максимальная толщина снежного покрова на полевых маршрутах составляет 25–30 см (при водозапасе 64–97 мм), а в лесу — 56 см при водозапасе 121 мм.

В сухой степи обследованы древесные растения интразональных ландшафтов ленточных боров (сосна обыкновенная), а также лиственные породы полезащитных лесных полос (береза повислая и тополь бальзамический). Устойчивый снежный покров устанавливается в сухой степи в среднем 9 ноября, а разрушается 3 апреля. При этом максимальная толщина снежного покрова в среднем составляет от 22 см (Славгород) до 34 см (Волчиха, поле) при снегозапасах от 49 до 93 мм соответственно.

Для анализа связи ширины годовых колец с показателями снежного покрова были использованы данные ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (Маршрутные..., 2022; Характеристики..., 2022) наиболее близко расположенных к точкам отбора образцов (в сухой степи — Ключи (17–115 км), Волчиха (1–64 км), Рубцовск (18–146 км), в южной лесостепи — Камень-на-Оби (30–60 км), Баво (15 км), Ребриха (4–37 км), Барнаул (35–36 км), в северной тайге — Надым (16–17 км). Для лесотундры были использованы данные МС Тазовский, которая расположена уже в южной тундре, однако находится в 40 км от места отбора образцов. В качестве показателей снежного покрова использованы максимальная толщина снежного покрова за зимний период и на метеоплощадках, и на снегомерных маршрутах, максимальные снегозапасы, даты установления и разрушения устойчивого снежного покрова, а также продолжительность его залегания. Даты установления и разрушения устойчивого снежного покрова при

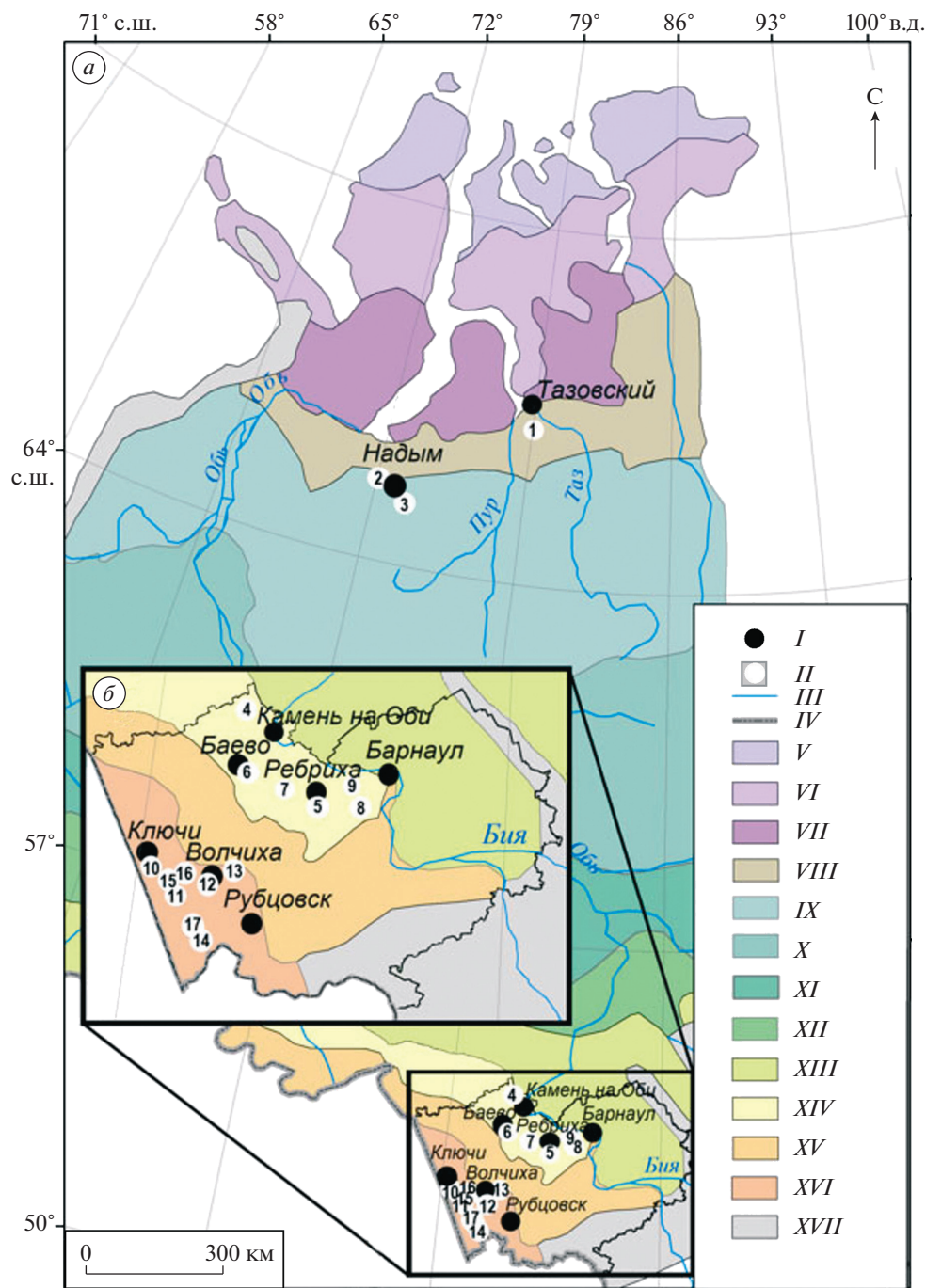


Рис. 1. Географическое положение мест отбора дендрохронологических образцов в пределах Западно-Сибирской равнины (а): 1 – площадки лесотундры; 2 – Надымские сопки; 3 – терраса р. Надым; в пределах Алтайского края (б): 4 – Долганка; 5 – Ребриха; 6 – Капустинка; 7 – Шарчино; 8 – Черемное; 9 – Павловск; 10 – Северка; 11 – Михайловское; 12 – Волчиха; 13 – Малышев Лог; 14 – Угловское; 15 – Назаровка; 16 – Почвенная станция; 17 – Новоугловский. Легенда карты: I – МС; II – дендрополигоны; III – реки; IV – государственная граница; V – арктическая тундра; VI – типичная тундра; VII – южная тундра; VIII – лесотундра; IX – северная тайга; X – средняя тайга; XI – южная тайга; XII – смешанные леса; XIII – широколиственные леса; XIV – южная лесостепь; XV – типичная степь; XVI – сухая степь; XVII – горные области высотной поясности.

Fig. 1. Geographical location of the sampling sites for dendrochronological samples within the West Siberian Plain (a): 1 – forest-tundra sites; 2 – Nadymsky hills; 3 – terrace of the river. Nadym; within the Altai Territory (b): 4 – Dolganka; 5 – Rebriha; 6 – Kapustinka; 7 – Sharchino; 8 – Cheremnoye; 9 – Pavlovsk; 10 – Severka; 11 – Mikhailovskoye; 12 – Volchiha; 13 – Malyshev Log; 14 – Uglovskoye; 15 – Nazarovka; 16 – Soil station; 17 – Novouglovsky. Map legend: I – weather stations; II – dendropolygons; III – rivers; IV – state border; V – arctic tundra; VI – typical tundra; VII – southern tundra; VIII – forest-tundra; IX – northern taiga; X – middle taiga; XI – southern taiga; XII – mixed forests; XIII – broad-leaved forests; XIV – southern forest-steppe; XV – typical steppe; XVI – dry steppe; XVII – mountainous areas of altitudinal zonality.

Таблица 1. Географическое положение мест отбора дендрохронологических образцов, исследованные породы деревьев и характеристики снежного покрова

Координаты	Порода	Локальное положение	Средние показатели снежного покрова за период 1990—2020 гг.*
Лесотундра			
67°03′ с.ш., 79°03′ в.д.	Лиственница	Плакор, микрорельеф в виде неглубоких округлых понижений	H _{max} — 42 см; W _{max} — 113 мм; Du — 10 октября; Dr — 30 мая; P — 231 день
67°03′ с.ш., 79°03′ в.д.	Лиственница, ель	Нижняя часть склона северной экспозиции. Угол наклона 5°	
67°10′ с.ш., 78°52′ в.д. 67°11′ с.ш., 78°51′ в.д.	Лиственница	Вершина останцовых поверхности (плакор) Терраса р. Лукьяха	
Северная тайга			
65°34′ с.ш., 72°23′ в.д. 65°34′ с.ш., 72°23′ в.д.	Лиственница, кедр, ель	Нижняя часть склона Надымских сопок Верхняя часть склона Надымских сопок	H _{max} — 83 см; W _{max} — 194 мм; Du — 12 октября; Dr — 15 мая; P — 213 дней
65°21′ с.ш., 72°57′ в.д.	Сосна	Терраса р. Надым	
Южная лесостепь			
54°03′ с.ш., 81°04′ в.д. 53°04′ с.ш., 82°22′ в.д. 53°19′ с.ш., 81°00′ в.д. 53°10′ с.ш., 81°44′ в.д. 53°08′ с.ш., 83°11′ в.д. 53°19′ с.ш., 83°02′ в.д.	Береза	Ленточный бор, с. Долганка Ленточный бор, с. Ребриха Ленточный бор, с. Капустинка Ленточный бор, с. Шарчино Ленточный бор, с. Черемное Ленточный бор, с. Павловск	H _{max} — 25—30 см (поле), 56 см (лес); W _{max} — 64—97 мм (поле), 121 (лес); Du — 3—6 ноября; Dr — 2—8 апреля; P — 146—155 дней
Сухая степь			
52°07′ с.ш., 79°18′ в.д. 51°49′ с.ш., 79°47′ в.д. 51°59′ с.ш., 80°25′ в.д. 52°10′ с.ш., 80°53′ в.д. 51°19′ с.ш., 80°21′ в.д. 51°58′ с.ш., 79°39′ в.д.	Береза	Бор, вершина гривы, с. Северка Ленточный бор, с. Михайловское Ленточный бор, с. Волчиха Ленточный бор, с. Малышев лог Ленточный бор, с. Угловское Лесополоса, с. Назаровка	H _{max} — 22—34 см; W _{max} — 49—93 мм; Du — 9 ноября; Dr — 3 апреля; P — 145 дней
52°04′ с.ш., 79°54′ в.д. 51°26′ с.ш., 80°14′ в.д.	Тополь	Лесополоса, Почвенная станция Лесополоса, п. Новоугловский	

* $H_{\max}$ – максимальная толщина снежного покрова зимой; $W_{\max}$ – максимальные снегозапасы; Du – дата установления устойчивого снежного покрова; Dr – дата разрушения устойчивого снежного покрова; P – продолжительность залегания устойчивого снежного покрова.

корреляционном анализе определялись как число дней от 1 января.

Взаимосвязь между древесно-кольцевыми хронологиями и показателями снежного покрова определялась с помощью расчета коэффициентов корреляции Пирсона. Период сравнения показателей снежного покрова с дендрохронологическими рядами определялся временем отбора кернов в конкретных местах. Нивальные условия в исследуемых районах в 1990–2020 гг. слабо отличались от нивальных условий за период сравнения рядов характеристик снежного покрова и

ширины годичных колец. Установление, разрушение и продолжительность устойчивого снежного покрова в данном случае различаются на 1–3 дня. Средние многолетние значения максимальной толщины и снегозапасов отличаются в данных периодах приблизительно на 10% (отмечается тенденция увеличения данных значений). Изменение этих показателей от года к году играет более важную роль в установлении статистических связей между характеристиками снежного покрова и индексами прироста деревьев, чем многолетние тенденции.

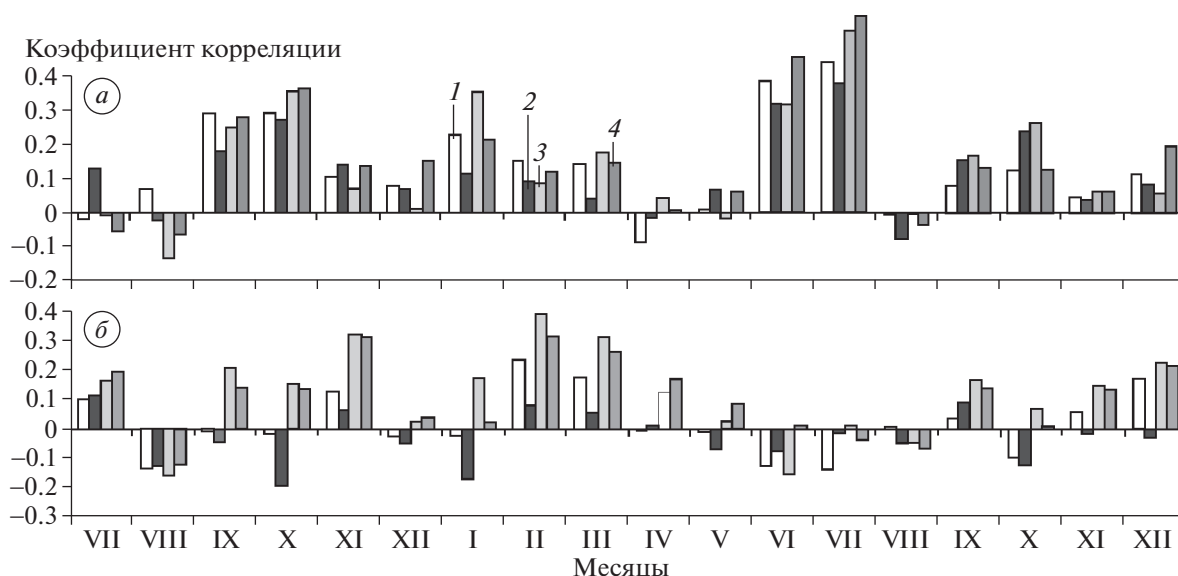


Рис. 2. Реакция ширины годичных колец лиственницы сибирской лесотундры на среднемесячные температуры воздуха (а) и суммы атмосферных осадков (б) по данным МС Тазовский за 1966–2020 гг. в зависимости от местоположения: 1 – терраса р. Лукьяха; 2 – плакор вблизи р. Лукьяха; 3 – нижняя часть склона; 4 – плакор.

Fig. 2. The response of the width of annual rings of Siberian larch forest-tundra to average monthly air temperatures (а) and total precipitation (б) at the Tazovsky weather station for 1966–2020 depending on location: 1 – terrace of the river Luyakha; 2 – upland near the river Luyakha; 3 – the lower part of the slope; 4 – plateau.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований установлено, что единый популяционный сигнал (EPS; далее – ЕПС) у дендрохронологических образцов на площадках лесотундры варьирует в пределах 0.90–0.96, а коэффициент чувствительности обобщенных хронологий – 0.33–0.43. Анализ связи ширины годичных колец с метеопараметрами показал, что в лесотундре наиболее значимы для радиального роста деревьев июньские ($k = 0.32–0.46$) и, особенно, июльские температуры воздуха ($k = 0.38–0.57$) (рис. 2, а). Также проявляется положительное влияние температуры воздуха окончания теплого периода прошлого года (сентябрь, октябрь), а для некоторых площадок нижних уровней ландшафтных катен иногда и января (до $k = 0.35$). При этом зимние атмосферные осадки, как правило, положительно влияют на прирост деревьев в последующий вегетационный период, а летние – отрицательно (см. рис. 2, б). Наиболее значимы осадки февраля (до $k = 0.39$) и марта (до $k = 0.31$) текущего года и ноября (до $k = 0.32$).

В северной тайге ЕПС на площадках варьирует от 0.90 до 0.96. Однако коэффициент чувствительности обобщенных древесно-кольцевых хронологий несколько ниже (0.30–0.39), чем в лесотундре. При этом северо-таежные хронологии характеризуются мало значимой связью с температурой воздуха (рис. 3, а). Значимые коэффициенты корреляции обнаруживаются у лиственниц только с температурой июля ($k = 0.27–0.28$), а на площад-

ках нижних уровней ландшафтных катен еще и июня ($k = 0.33$). Коэффициенты корреляции основных хронологий с температурами воздуха оказываются статистически незначимыми. Отклик северо-таежных хронологий на атмосферные осадки еще менее значим (см. рис. 3, б). Значение имеют лишь осадки октября, текущего (максимально до $k = 0.26$) и прошлого года (максимально до $k = 0.31$).

Анализ связи показателей снежного покрова с шириной годичных колец в северных районах Западно-Сибирской равнины свидетельствует о том, что влияние снежного покрова на радиальный рост древесных растений более значимо в лесотундре (табл. 2). При этом реакция древесных растений зависит от породы дерева и локального положения деревьев в пределах ландшафтной катены. Лиственницы положительно реагируют на максимальные значения толщины ($k = 0.23–0.58$) и снегозапасов ($k = 0.43–0.60$) в зимний период (при этом показатели толщины снежного покрова на снегомерном маршруте более значимы, $k = 0.40–0.58$, чем на метеоплощадке, $k = 0.23–0.49$). Схожая реакция на толщину снега и снегозапасы отмечалась у лиственниц среднетаежной подзоны Центральной Якутии (Николаев, Скачков, 2011). Указанные авторы утверждают, что подобная реакция древесных растений обусловлена теплоизолирующими свойствами снежного покрова: при меньшем выхолаживании почвогрунтов в зимний период происходит их более быстрое

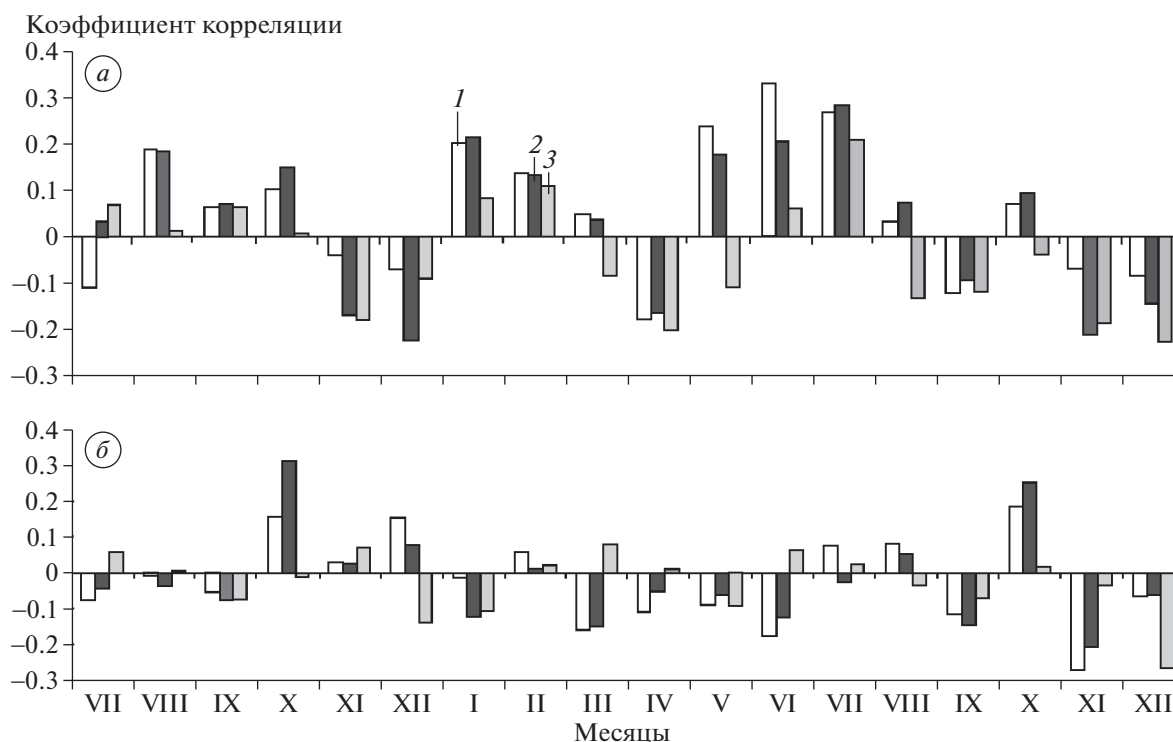


Рис. 3. Реакция ширины годичных колец лиственниц сибирской и сосны обыкновенной северной тайги на среднемесячные температуры воздуха (а) и суммы атмосферных осадков (б) по данным МС Надым за 1966–2020 гг. в зависимости от местоположения: 1 – лиственница сибирская нижней части склона; 2 – лиственница сибирская верхней части склона; 3 – сосна обыкновенная террасы р. Надым.

Fig. 3. The response of the tree ring width of Siberian larch and Scotch pine of the northern taiga to the average monthly air temperatures (a) and the total precipitation (b) at the Nadym meteorological station for 1966–2020, depending on the location: 1 – Siberian larch of the lower part of the slope; 2 – Siberian larch of the upper part of the slope; 3 – Scots pine terraces of the river Nadym.

прогревание в весенний период и, соответственно, процессы роста у лиственниц начинаются раньше.

Таким образом, тенденция увеличения толщины снега и снеготалола, которая отмечается в данном районе на протяжении нескольких десятилетий, способствует не только увеличению скорости радиального роста деревьев, но и схода рядов радиального прироста с показателями (толщина и водозапас) снежного покрова. Некоторыми авторами также высказывается мнение, что при увеличении толщины снежного покрова должна уменьшаться ширина годичных колец, так как она ведет к более позднему сходу снежного покрова и более позднему началу ростовых процессов у лиственниц (Kirdyanov et al., 2003). Однако наш анализ свидетельствует о том, что между максимальной толщиной снежного покрова и датами разрушения устойчивого снежного покрова статистически значимая связь отсутствует. Коэффициент корреляции между рядами данных показателей по МС Тазовский составляет лишь 0.13.

У лиственниц нижней части склона теснота связи ширины годичных колец с показателями

толщины снега и снеготалола выше (соответственно $k = 0.47–0.58$ и $k = 0.45–0.60$), чем у лиственниц верхней части склона и плакора (соответственно $k = 0.40–0.54$ и $k = 0.43–0.54$). Также вблизи крупных рек значимость показателей снежного покрова для роста лиственниц выше, чем вблизи небольших ручьев. Ели в отличие от лиственниц малочувствительны к значениям толщины снега и снеготалола.

Влияние даты разрушения устойчивого снежного покрова на радиальный рост древесных растений на северном пределе распространения деревьев многие исследователи оценивают однозначно: при более раннем сходе снежного покрова увеличивается продолжительность вегетационного периода и, следовательно, увеличиваются показатели годичного радиального прироста деревьев. Например, к подобным выводам пришли некоторые авторы, проводившие наблюдения в лесотундровой зоне Енисейского бассейна (Kirdyanov et al., 2003). Однако наш анализ показал, что связь данных показателей в лесотундре не только низкая, но, часто, у лиственниц обратная (см. табл. 2). Увеличение прироста листвен-

Таблица 2. Корреляционная связь ширины годичных колец деревьев лесотундры и северной тайги за 1966–2020 гг.

Положение, порода	Метеостанция	Период сравнения	Толщина снежного покрова*			Снегозапасы**		Характеристики устойчивого снежного покрова***		
			h_m	h_f	h_w	w_f	w_w	$Du; Du_{-1}$	Dr	P
Лесотундра										
Плакор, лиственница	Тазовский	1966—2020	0.27	0.40	—	0.43	—	0.19; 0.30	0.13	—0.08
Нижняя часть склона, лиственница	Тазовский	1966—2020	0.23	0.47	—	0.45	—	0.30; 0.33	—0.01	—0.19
Нижняя часть склона, ель	Тазовский	1966—2020	—0.22	—0.09	—	—0.09	—	0.00; —0.02	—0.02	0.02
Плакор вблизи р. Лукьяха, лиственница	Тазовский	1966—2020	0.49	0.54	—	0.54	—	0.24; 0.25	0.19	0.00
Терраса р. Лукьяха, лиственница	Тазовский	1966—2020	0.45	0.58	—	0.60	—	0.14; 0.23	0.16	—0.01
Северная тайга										
Нижняя часть склона, лиственница	Надым	1966—2020	0.23	—	0.15	—	0.12	0.11; 0.08	—0.02	0.00
Нижняя часть склона, ель	Надым	1966—2020	—0.02	—	0.04	—	—0.01	—0.11; —0.17	0.12	0.19
Нижняя часть склона, кедр	Надым	1966—2020	—0.06	—	—0.04	—	—0.06	—0.05; —0.07	—0.05	0.03
Верхняя часть склона, лиственница	Надым	1966—2020	0.17	—	0.14	—	0.09	0.04; 0.05	—0.12	—0.05
Верхняя часть склона, ель	Надым	1966—2020	—0.16	—	—0.08	—	—0.09	—0.01; —0.03	—0.01	0.03
Верхняя часть склона, кедр	Надым	1966—2020	—0.06	—	—0.11	—	—0.15	0.04; 0.15	—0.11	—0.07
Терраса р. Надым, сосна	Надым	1966—2020	0.01	—	—0.02	—	—0.01	0.18; 0.18	0.08	0.03

* h_m – максимальная толщина снежного покрова в зимний период на метеоплощадке; h_f – максимальная толщина снежного покрова в поле; h_w – максимальная толщина снежного покрова в лесу; ** w_f – снегозапасы в поле; w_w – снегозапасы в лесу; *** Du – календарный год; Du_{-1} – предыдущий год; Dr – разрушения; P – продолжительность. Коэффициенты корреляции значимы при значении 0.23 и выше при $p < 0.05$; Прочерк – отсутствие данных.

ниц как реакция на более поздний сход снежного покрова отмечалась другими исследователями в пределах Лено-Вилуйского междуречья (Николаев, Скачков, 2012).

Такое же влияние имеет и более позднее установление снежного покрова в данном году, что, вероятно, обусловлено наличием корреляционной связи между установлением устойчивого снежного покрова и окончанием вегетационного периода. При этом прошлогодние даты установ-

ления устойчивого снежного покрова оказывают на радиальный рост растений большее влияние ($k = 0.23$ – 0.33), чем соответствующие даты календарного года (в лучшем случае $k = 0.23$). Но и в данном случае коэффициенты корреляции малозначимы. Лиственницы и ели нечувствительны к продолжительности залегания устойчивого снежного покрова.

В северной тайге значение снежного покрова как фактора радиального роста древесных расте-

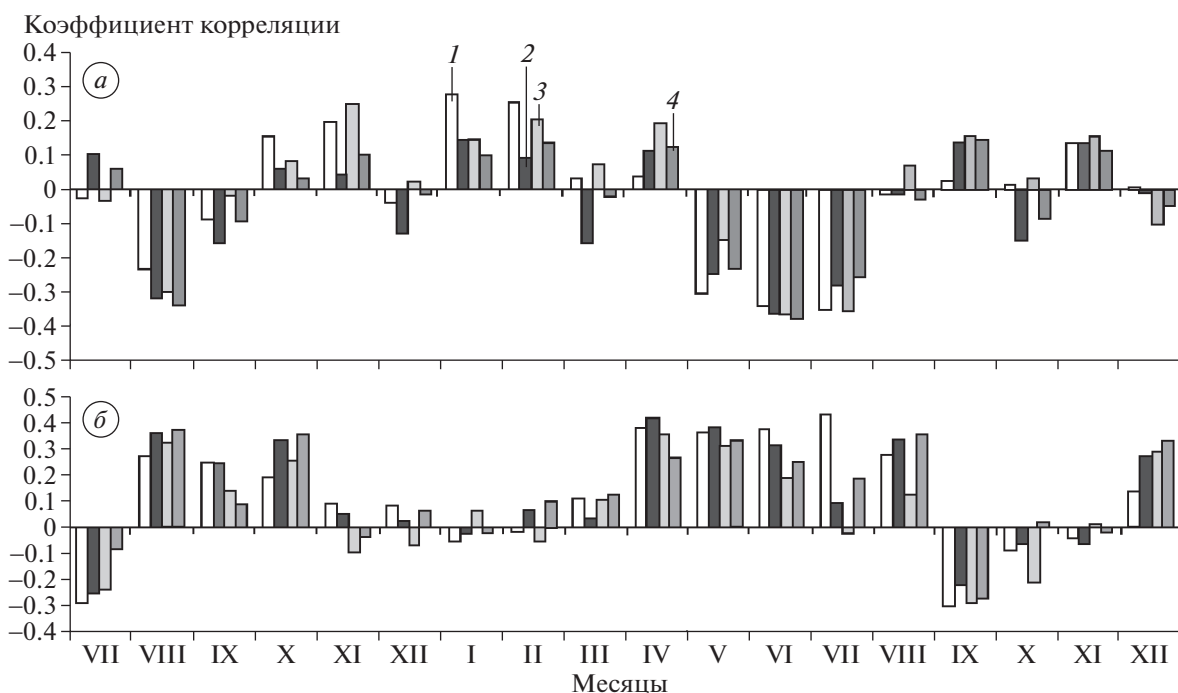


Рис. 4. Реакция ширины годичных колец сосны обыкновенной южной лесостепи на среднемесячные температуры воздуха (а) и суммы атмосферных осадков (б) по данным МС Барнаул за 1966–2007 гг. в зависимости от местоположения: 1 – Капустинка; 2 – Шарчино; 3 – Павловск; 4 – Ребриха. Расположение пунктов отбора см. на рис. 1.

Fig. 4. The response of the tree ring width of Scotch pine in the southern forest-steppe to the average monthly air temperatures (а) and the total precipitation (б) at the Barnaul weather station for 1966–2007, depending on the location: 1 – Kapustinka; 2 – Sharchino; 3 – Pavlovsk; 4 – Rebrikha. The location of the sampling points is shown in Fig. 1.

ний невелико. Коэффициенты корреляции показателей снежного покрова с шириной годичных колец здесь оказываются чрезвычайно низкими (см. табл. 2). В южной лесостепи единый популяционный сигнал изменяется на изученных площадках от 0.91 до 0.95, а коэффициент чувствительности в пределах 0.19–0.22. Температуры воздуха месяцев теплого периода в основном играют отрицательную роль (рис. 4, а). При этом наиболее значима роль температуры августа прошлого года (k = от -0.23 до -0.42), а также температуры июня (k = от -0.34 до -0.37), июля (k = от -0.26 до -0.35) и мая (до k = -0.30) текущего года. Для радиального роста сосен (Капустинка) положительное значение имеют температуры января (k = 0.28) и февраля (k = 0.26). Атмосферные осадки, напротив, чаще оказывают положительное влияние на радиальный рост сосен в южной лесостепи (см. рис. 4, б). Важное значение при этом имеют не только весенне-летние осадки текущего года, особенно с апреля по июнь включительно (k = 0.26 – 0.42), но и осадки августа (k = 0.28 – 0.37) и октября (k = 0.26 – 0.37) прошлого года.

В сухой степи единый популяционный сигнал изменяется на изученных площадках от 0.91 до 0.99 (у лиственных деревьев лесополос), а коэффициент чувствительности в пределах 0.20–0.35.

В данной подзоне на радиальный рост сосен отрицательно влияют температура мая–июля текущего года (на различных участках до k = от -0.30 до -0.36), а также августа и сентября прошлого года (от -0.28 до -0.32) (рис. 5, а). Тополь значительно реагирует на температуру августа прошлого года и январь текущего года, а березы – на июль и октябрь текущего года. Однако атмосферные осадки оказывают большее влияние на радиальный рост деревьев сухой степи, особенно сосен (см. рис. 5, б). Наиболее значимы для сосен суммы осадков за август прошлого года (k = 0.50 – 0.54) и мая текущего года (k = 0.53 – 0.54). Также значимы коэффициенты корреляции ширины годичных колец сосен с суммами осадков за сентябрь прошлого года, а также апрель и июль текущего года. Лиственные породы (тополь и береза) положительно реагируют на сумму осадков отдельных месяцев зимнего и летнего периодов, как текущего, так и прошлого года (см. рис. 5, б).

На юге Западно-Сибирской равнины зависимость ширины годичных колец от показателей снежного покрова также различается по природным подзонам (табл. 3). В целом в сухой степи связи показателей снежного покрова и ширины годичных колец лучше. Однако реакция деревьев зависит от географического положения древосто-

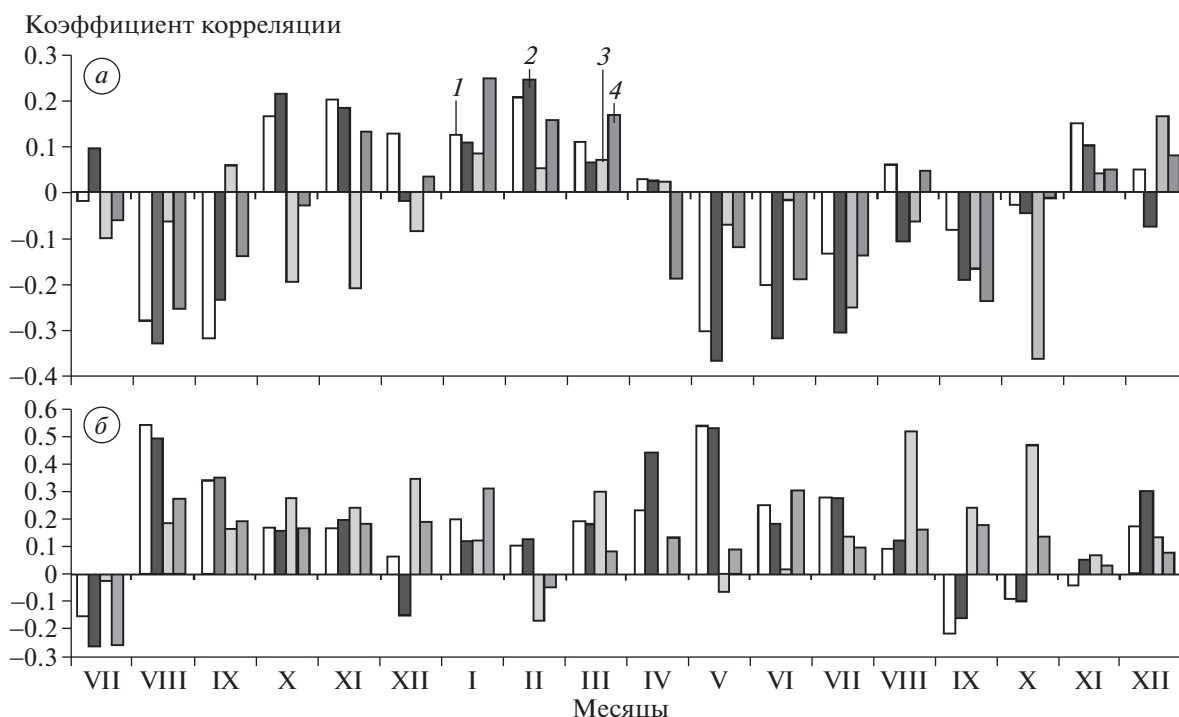


Рис. 5. Реакция ширины годичных колец сосны обыкновенной, тополя бальзамического и березы повислой в сухой степи на среднемесячные температуры воздуха (а) и суммы атмосферных осадков (б) по данным МС Рубцовск за 1966–2018 гг. в зависимости от местоположения: 1 – сосна обыкновенная, Северка; 2 – сосна обыкновенная, Михайловское; 3 – береза повислая, Назаровка; 4 – тополь бальзамический, Новоугловский. Расположение пунктов отбора см. на рис. 1.

Fig. 5. The response of the tree ring width of Scots pine, balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) and silver birch (*Bétula péndula*) in the dry steppe to average monthly air temperatures (a) and total precipitation (б) at the Rubtsovsk weather station for 1966–2018, depending on location: 1 – Scotch pine, Severka; 2 – Scotch pine, Mikhailovskoe; 3 – Hanging birch, Nazarovka; 4 – balsamic poplar, Novouglowsky. The location of the sampling points is shown in Fig. 1.

ев. Положительную связь с толщиной снега ($k = 0.30–0.46$) и снегозапасом (0.28) на период его максимума в зимний период демонстрируют сосны, расположенные на гривах, т.е. в сухих местообитаниях (Северка, Угловское) (рис. 6, б), а также тополя (0.25) и березы (0.24) полевых лесных полос, расположенных на плакоре и склоне ландшафтной катены. Деревья, расположенные во влажных местообитаниях (Волчиха, Малышев лог), часто отрицательно реагируют на данные показатели (до $k = -0.31$), что, вероятно, обусловлено высоким уровнем стояния грунтовых вод после многоснежных зим. В южной лесостепи реакция радиального роста деревьев на толщину снега и снегозапасы не выражена.

Связи ширины годичных колец с датами установления снежного покрова более чёткие в южной лесостепи. Чем позже здесь устанавливается снежный покров, тем больше ширина годичного кольца у сосны обыкновенной. При этом дата установления устойчивого снежного покрова прошлой зимы более важна для радиального роста сосен ($k = 0.28–0.34$), чем календарного года.

Противоположная реакция деревьев южной лесостепи и сухой степи проявляется на даты разрушения устойчивого снежного покрова. В южной лесостепи более ранний сход снежного покрова способствует интенсивному радиальному росту деревьев ($k = -0.27$). В сухой степи отмечается противоположная реакция. Здесь более позднее разрушение устойчивого снежного покрова улучшает условия роста деревьев ($k = 0.26–0.38$), особенно у деревьев сухих местообитаний (вершины грив, плакор) – Северка, Почвенная станция, Новоугловский. В целом это можно объяснить тем, что южная лесостепь характеризуется нормальным увлажнением, а сухая степь – недостаточным. Поэтому в результате раннего схода снежного покрова в южной лесостепи увеличивается вегетационный сезон, а в сухой степи поздний сход снежного покрова обеспечивает оптимальное увлажнение в период интенсивного роста деревьев, который приходится на май и июнь (Rygalova et al., 2022), в том числе и в других регионах (Демина и др., 2017).

Схожая реакция радиального роста деревьев отмечается на продолжительность периода зале-

Таблица 3. Корреляционная связь ширины годовых колец деревьев южной лесостепи и сухой степи за 1966–2018 гг.

Положение, порода	Метеостанция	Период сравнения	Толщина снежного покрова*			Снегозапасы**		Характеристики устойчивого снежного покрова***		
			h_m	h_f	h_w	w_f	w_w	$Du; Du_{-1}$	Dr	P
Южная лесостепь										
Ленточный бор, с. Долганка, сосна	Каменьна-Оби	1966–2007	0.04	0.03	–	0.10	–	–0.20; 0.40	0.04	–0.28
Ленточный бор, с. Ребриха, сосна	Ребриха	1966–2007	0.19	0.07	0.05	0.09	0.08	0.03; 0.20	–0.06	–0.19
Ленточный бор, с. Капустинка, сосна	Баево	1966–2005	–	–0.09	–	–0.07	–	–	–	–
	Каменьна-Оби		0.04	–	–	–	–	–0.01; 0.33	–0.12	–0.30
Ленточный бор, с. Шарчино, сосна	Ребриха	1966–2004	0.15	0.03	0.03	0.03	0.02	0.13; 0.11	–0.17	–0.16
Ленточный бор, с. Черемное, сосна	Барнаул	1966–2007	–0.09	0.15	–	0.15	–	0.29; 0.28	–0.27	–0.34
Ленточный бор, с. Павловск, сосна	Барнаул	1966–2003	–0.28	0.02	–	–0.07	–	0.21; 0.29	–0.14	–0.28
Сухая степь										
Бор, с. Северка, сосна	Ключи	1966–2007	–	0.46	–	0.28	–	–	–	–
	Рубцовск		–0.19	–	–	–	–	–0.09; –0.03	0.26	0.28
Ленточный бор, с. Михайловское, сосна	Ключи	1966–2007	–	0.15	–	0.16	–	–	–	–
	Рубцовск		–0.07	–	–	–	–	0.01; 0.04	0.11	0.08
Ленточный бор, с. Волчиха, сосна	Волчиха	1966–2002	–	–0.03	0.03	–0.11	–0.21	–	–	–
	Рубцовск		–0.05	–	–	–	–	–0.14; 0.01	0.19	0.17
Ленточный бор, с. Малышев лог, сосна	Рубцовск	1966–2005	–0.01	–0.22	–	–0.31	–	–0.10; 0.14	0.10	0.05
Ленточный бор, с. Угловское, сосна	Ключи	1966–2003	–	0.30	–	0.12	–	–	–	–
	Рубцовск		0.02	–	–	–	–	–0.02; 0.10	0.11	0.07
Лесополоса, с. Назаровка, береза	Ключи	1966–2018	–	0.24	–	0.14	–	–	–	–
	Рубцовск		0.08	–	–	–	–	–0.08; –0.18	–0.02	0.02
Лесополоса, Почвенная станция, тополь	Волчиха	1966–2018	–	0.05	0.25	0.06	0.19	–	–	–
	Рубцовск		0.18	–	–	–	–	–0.14; –0.05	0.38	0.34
Лесополоса, п. Новоугловский, тополь	Волчиха	1966–2018	–	0.17	–	0.19	–	–	–	–
	Рубцовск		–0.05	–	–	–	–	–0.27; –0.11	0.27	0.28

* h_m – максимальная толщина снежного покрова в зимний период на метеоплощадке; h_f – максимальная толщина снежного покрова в поле; h_w – максимальная толщина снежного покрова в лесу; ** w_f – снегозапасы в поле; w_w – снегозапасы в лесу; *** Du – календарный год; Du_{-1} – предыдущий год; Dr – разрушения; P – продолжительность. Коэффициенты корреляции значимы: по сосне – при значении 0.26 и выше при $p < 0.05$, по тополи и березе – при значении 0.24 и выше при $p < 0.05$; Прочерк – отсутствие данных.

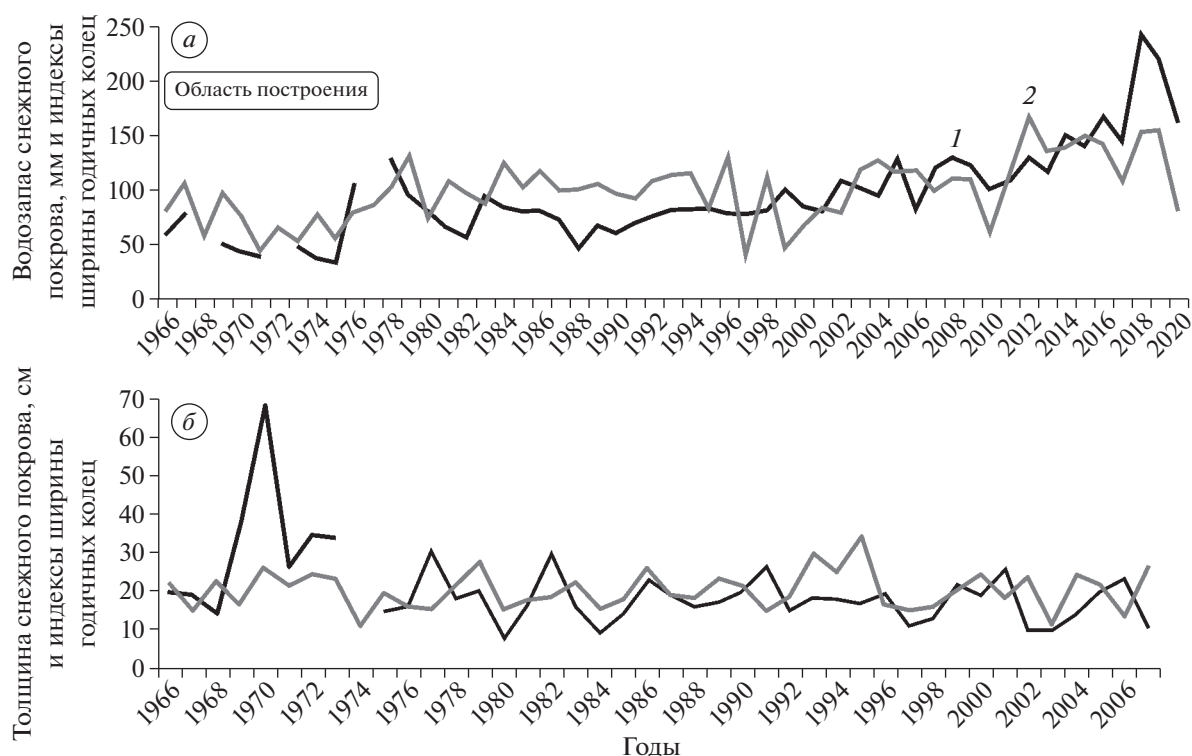


Рис. 6. Многолетние изменения характеристик снежного покрова (1) и индексов ширины годичных колец (2) в различных районах Западно-Сибирской равнины: (а) лесотундра, лиственница сибирская, терраса р. Лукьяха; (б) сухая степь, сосна обыкновенная, хронология «Северка».

Fig. 6. Long-term changes in snow cover characteristics and tree-ring width indices in various regions of the West Siberian Plain: (a) forest-tundra, Siberian larch, terrace of the river. Lukyakha (b) dry steppe, Scotch pine, Severka chronology.

гания устойчивого снежного покрова. В лесостепной зоне эта реакция имеет отрицательный характер ($k = \text{от } -0.28 \text{ до } -0.34$), а в сухостепной — положительный ($k = 0.28-0.34$) (см. табл. 3).

ВЫВОДЫ

В ходе наших исследований установлено, что снежный покров с его характеристиками не является главным фактором, лимитирующим радиальный рост древесных растений даже в экстремальных условиях, на периферии зоны бореальных лесов. Его воздействие на древесные растения зависит от комплекса факторов, в том числе локальных.

Максимальные толщина снега и снегозапасы выступают важнейшими характеристиками снежного покрова для роста древесных растений в лесотундре и сухой степи. В лесотундре этими показателями контролируется степень промерзания почвогрунтов и, тем самым, скорость их прогревания весной и начало ростовых процессов у деревьев. В сухой степи увеличение толщины снега и снегозапасов способствует лучшему увлажнению почв, что обеспечивает лучший прирост деревьев. Воздействие данных показателей несколько усиливается в лесотундре в нижних ча-

стях склонов, а в сухой степи на плакорах и вершинах грив. Тенденция увеличения снегозапасов в указанных районах способствует увеличению скорости радиального роста деревьев. Вместе с тем, во влажных местоположениях сухой степи, с высоким уровнем стояния грунтовых вод увеличение данных показателей приводит к замедлению роста изученных пород деревьев. Лимитирующее значение толщины снега и снегозапасов для радиального роста деревьев в северной тайге и южной лесостепи меньше, чем в лесотундре и южной лесостепи.

Даты разрушения устойчивого снежного покрова оказываются более значимыми в южных районах (южной лесостепи и сухой степи), чем в северных (лесотундре и северной тайге). При этом усилению радиального роста деревьев в южной лесостепи способствует более ранний сход снежного покрова, а в сухой степи — более поздний. Даты установления устойчивого снежного покрова имеют большее значение для роста деревьев по сравнению с датами разрушения, особенно в лесотундре и южной лесостепи. В указанных районах более позднее установление снежного покрова обеспечивает больший радиальный прирост деревьев, особенно на следующий год.

Значение продолжительности периода с устойчивым снежным покровом для роста деревьев выше в южных районах. При этом в южной лесостепи, чем продолжительнее залегание устойчивого снежного покрова, тем меньше прирост деревьев. В сухостепной же подзоне увеличение продолжительности периода с устойчивым снежным покровом стимулирует радиальный рост (в основном за счёт более позднего его разрушения).

Благодарности. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-27-00268 “Реконструкция многолетней динамики нивально-гляциальных явлений в контрастных ландшафтных условиях Алтая по данным древесно-кольцевой индикации”, <https://rscf.ru/project/22-27-00268/>.

Acknowledgements. The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation no. 22-27-00268 “Reconstruction of the long-term dynamics of nival-glacial phenomena in the contrasting landscape conditions of Altai according to tree-ring indication”, <https://rscf.ru/project/22-27-00268/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Быков Н.И. Дендроиндикация многолетней динамики элементов нивально-гляциального комплекса // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Изд-во Института археологии и этнографии СО РАН, 1998. С. 51–55.
- Быков Н.И., Попов Е.С. Наблюдения за динамикой снежного покрова в ООПТ Алтае-Саянского экорегиона (методическое руководство) / Ред. Н.И. Быков. Красноярск, 2011. 64 с.
- Быков Н.И., Черных Д.В., Першин Д.К., Бирюков Р.Ю., Лубенец Л.Ф., Золотов Д.В. Пространственная и временная изменчивость снежного покрова в южной лесостепи Верхней Оби // Лёд и Снег. 2022. Т. 62. № 3. С. 343–359. <https://doi.org/10.31857/S2076673422030136>
- Быков Н.И., Шигимага А.А., Ильясов Р.М. Особенности радиального роста древесных растений в лесотундре Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2022. Т. 115. № 2. С. 98–112. <https://doi.org/10.26110/ARCTIC.2022.115.2.006>
- Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазена В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
- Демина А.В., Белокопытова Л.В., Андреев С.Г., Костякова Т.В., Бабушкина Е.А. Динамика радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как индикатор гидротермического режима лесостепи Западного Забайкалья // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24. № 5. С. 553–566.
- Маршрутные снегомерные съёмки // Электронный ресурс. <http://meteo.ru> (Дата обращения: 20.05.2022).
- Николаев А.Н., Скачков Ю.Б. Влияние динамики снежного покрова на рост и развитие лесов в Центральной Якутии // Криосфера Земли. 2011. Т. XV. № 3. С. 71–80.
- Николаев А.Н., Скачков Ю.Б. Влияние снежного покрова и температурного режима мерзлотных почв на радиальный прирост деревьев Центральной Якутии // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Биология. 2012. Т. 5. № 1. С. 43–51.
- Характеристики снежного покрова (ежедневные данные) // Электронный ресурс. <http://meteo.ru> (Дата обращения: 20.05.2022).
- Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазена В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Ч. I. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2000. 80 с.
- Dolgova E.A., Solomina O.N., Matskovsky V.V., Cherenkova E.A., Semenyak N.S. Climate signal strength in tree-ring width of spruce growing in the solovetsky islands (ncina) // Dendrochronologia. 2022. V. 76. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.126012>
- Gedalof Z., Smith D.J. Dendroclimatic response of mountain hemlock (*Tsuga mertensiana*) in Pacific North America // Canadian Journ. of Forest Research. 2001. V. 31. P. 322–332.
- Falarz M. Tree-Ring Widths and Snow Cover Depth in High Tauern. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2017. V. 95 (6). 062005 p. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/6/062005>
- Hart S.J., Smith D.J., Clague J.J. A multi-species dendroclimatic reconstruction of Chilco River streamflow, British Columbia, Canada // Hydrological Processes. 2010. V. 24. P. 2752–2761.
- 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. V. 17. P. 61–69.
- Li Qin, Yujiang Yuan, Ruibo Zhangriver, Wenshou Wei, Shulong Yu, Ziang Fan, Feng Chen, Tongwen Zhang, Huaming Shang Tree-ring response to snow cover and reconstruction of century annual maximum snow depth for Northern Tianshan mountains, China // Geochronometria. 2016. V. 43. P. 9–17.
- Owczarek P., Opała M. Dendrochronology and extreme pointer years in the tree-ring record (AD 1951–2011) of polar willow from southwestern Spitsbergen (Svalbard, Norway) // Geochronometria. 2016. V. 43. P. 84–95.
- Rygalova N.V., Bykov N.I., Shigimaga A.A. Radial Growth of Woody Plants in Extrazonal and Anthropogenic Landscapes of the Dry Steppe of the Western Siberian Plain // Arid Ecosystems. 2022. V. 12. P. 61–67. <https://doi.org/10.1134/S2079096122010097>
- Sanmiguel-Vallado A., Camarero J.J., Gazol Antoni, Morán-Tejeda E., López-Moreno J.I. Detecting snow-related signals in radial growth of *Pinus ncinata* mountain forests. // Dendrochronologia. 2019. V. 57. 125622 p. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.125622>
- Schmidt N.M., Baittinger C., Forchhammer M.C. Reconstructing century-long regimes using estimates of high Arctic Salix arctica radial growth // Arctic, Antarctic and Alpine Research. 2006. V. 38 (2). P. 257–262.
- Schmidt N.M., Baittinger C., Kollmann J., Forchhammer M.C. Consistent dendrochronological response of the dioecious

- cious *Salix arctica* to variation in local snow precipitation across gender and vegetation types // *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. 2010. V. 42. P. 471–475.
- Vaganov E.A., Kirdyanov A.V., Schweingruber F.H., Silkin P.P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia // *Nature*. 1999. V. 400. P. 149–151.
https://doi.org/10.1038/22087
- Watson E., Luckman B.H. An investigation of the snowpack signal in moisture-sensitive trees from the Southern Canadian Cordillera // *Dendrochronologia*. 2016. V. 38. P. 118–130.
- Woodhouse C.A. A 431-yr reconstruction of western Colorado snowpack from tree rings // *Journ. of Climate*. 2003. V. 16. P. 1551–1561.

Citation: Bykov N.I., Shigimaga A.A., Rygalova N.V. Snow cover as a factor of growth of annual tree rings under contrasting environmental conditions of the West Siberian Plain. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2023, 63 (2): 243–256. [In Russian]. doi 10.31857/S2076673423020047

Snow Cover as a Factor of Growth of Annual Tree Rings under Contrasting Environmental Conditions of the West Siberian Plain

N. I. Bykov^{a, #}, A. A. Shigimaga^a, and N. V. Rygalova^a

^a Institute for Water and Environmental Problems, Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia

[#]e-mail: nikolai_bykov@mail.ru

The results of the analysis of the relationship between the width of annual tree rings of various woody plants and snow cover characteristics are presented: the dates of setting-up and destruction (loss) of stable snow cover, the duration of its existence, the thickness and water content of snow cover for the period of maximum snow accumulation. The studied areas are the forest-tundra zone, the northern taiga subzone, the southern forest-steppe subzone, and the dry steppe subzone within boundaries of the West Siberian Plain. Data from observations of snow cover on routes and meteorological sites of Roshydromet for 1966–2020 (for forest-tundra and northern taiga) and 1966–2018 (for forest-steppe and dry steppe) together with dendrochronological samples obtained by the authors in these natural zones and subzones were used for this study. It was found that the thickness and water content of the snow cover play greater role for the radial growth of trees in the forest-tundra and dry steppe as compared to the northern taiga and southern forest-steppe. In the dry steppe, the trees of the upper parts of the low ridges and flat interfluvies (plakors) are more sensitive to these snow cover characteristics, while in the forest-tundra this is important for the lower parts of the slopes. The dates of destruction of stable snow cover are more significant in the southern regions than in the northern ones. In the southern forest-steppe, the early loss of the snow cover increases the rate of growth of tree rings, while in the dry steppe it weakens it. The dates of setting-up of the stable snow cover are more important for the growth of trees compared to the dates of its loss, especially in the forest-tundra and southern forest-steppe since the later it starts, the greater the growth of trees. Importance of the duration of the period with stable snow cover for tree growth is higher in the southern regions. Its increasing in the southern forest-steppe reduces the growth of trees but increases in the dry steppe.

Keywords: West Siberian Plain, snow cover, woody plants, tree rings

REFERENCES

- Bykov N.I. Dendroindication of the long-term dynamics of the elements of the nival-glacial complex. *Problemy rekonstruktsii klimata i prirodnoy sredy golotsena i pleystotsena Sibiri*. Problems of reconstruction of the climate and natural environment of the Holocene and Pleistocene of Siberia. Novosibirsk: Publishing House of the Institute of Archaeology and Ethnography of the Russian Academy of Sciences, 1998. P. 51–55 [In Russian].
- Bykov N.I., Popov E.S. Nablyudeniya za dinamikoy snezhnogo pokrova v OOPT Altaye-Sayanskogo ekoregiona (metodicheskoye rukovodstvo). Observations on the dynamics of snow cover in the protected areas of the Altai-Sayan Ecoregion (methodological guide). Krasnoyarsk, 2011: 64 p. [In Russian].
- Bykov N.I., Chernykh D.V., Pershin D.K., Biryukov R.Yu., Lubenets L.F., Zolotov D.V. Spatial and temporal variability of snow cover in the southern forest-steppe of the Upper Ob. *Led i Sneg. Ice and snow*. 2022, 62 (3): 343–359 [In Russian].
https://doi.org/10.31857/S2076673422030136
- Bykov N.I., Shigimaga A.A., Ilyasov R.M. Peculiarities of radial growth of woody plants in the forest-tundra of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. *Nauchnyy vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*. Scientific Bulletin of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. 2022, 115 (2): 98–112. https://doi.org/10.26110/ARC-TIC.2022.115.2.006. [In Russian].

- Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S. *Dendroklimaticheskiye issledovaniya v Uralo-Sibirskoy Subarktike*. Dendroclimatic research in the Ural-Siberian Subarctic. Novosibirsk: Nauka, 1996: 246 p. [In Russian].
- Demina A.V., Belokopytova L.V., Andreev S.G., Kostyakova T.V., Babushkina E.A. Dynamics of radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as an indicator of the hydrothermal regime of the forest-steppe of Western Transbaikalia. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*. Siberian Ecological Journ. 2017, 24 (5): 553–566 [In Russian].
- Route snow surveys. Retrieved from: <http://meteo.ru> (Last access: 20 May 2022) [In Russian].
- Nikolaev A.N., Skachkov Yu.B. Influence of snow cover dynamics on the growth and development of forests in Central Yakutia. *Kriosfera Zemli*. Cryosphere of the Earth. 2011, XV (3): 71–80 [In Russian].
- Nikolaev A.N., Skachkov Yu.B. Influence of snow cover and temperature regime of permafrost soils on the radial growth of trees in Central Yakutia. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Biologiya*. Journ. of the Siberian Federal University. Series: Biology. 2012, 5 (1): 43–51 [In Russian].
- Snow cover characteristics (daily data). Retrieved from: <http://meteo.ru> (Last access: 20 May 2022) [In Russian].
- Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdeyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M. *Metody dendrokronologii*. Methods of dendrochronology. Ch. I. Krasnoyarsk: Publishing House of Krasnoyarsk State University, 2000: 80 p. [In Russian].
- Dolgova E. A., Solomina O. N., Matskovsky V. V., Cherenkova E.A., Semenyak N.S. Climate signal strength in tree-ring width of spruce growing in the Solovetsky Islands (Russia). *Dendrochronologia*. 2022: 76. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.126012>
- Gedalof Z., Smith D.J. Dendroclimatic response of mountain hemlock (*Tsuga mertensiana*) in Pacific North America. *Canadian Journ. of Forest Research*. 2001, 31: 322–332.
- Falarz M. Tree-Ring Widths and Snow Cover Depth in High Tauern. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2017, 95 (6): 062005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/6/062005>
- Hart S.J., Smith D.J., Clague J.J. A multi-species dendroclimatic reconstruction of Chilco River streamflow, British Columbia, Canada. *Hydrological Processes*. 2010, 24: 2752–2761.
- Kirdeyanov 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, 17: 61–69.
- Li Qin, Yujiang Yuan, Ruibo Zhangriver, Wenshou Wei, Shulong Yu, Ziang Fan, Feng Chen, Tongwen Zhang, Huaming Shang Tree-ring response to snow cover and reconstruction of century annual maximum snow depth for Northern Tianshan mountains, China. *Geochronometria*. 2016, 43: 9–17.
- Owczarek P., Opala M. Dendrochronology and extreme pointer years in the tree-ring record (AD 1951–2011) of polar willow from southwestern Spitsbergen (Svalbard, Norway). *Geochronometria*. 2016, 43: 84–95.
- Rygalova N.V., Bykov N.I., Shigimaga A.A. Radial Growth of Woody Plants in Extrazonal and Anthropogenic Landscapes of the Dry Steppe of the Western Siberian Plain. *Arid Ecosystems*. 2022, 12: 61–67. <https://doi.org/10.1134/S2079096122010097>
- Sanmiguel-Vallado A., Camarero J.J., Gazol Antoni, Morán-Tejeda E., López-Moreno J.I. Detecting snow-related signals in radial growth of *Pinus uncinata* mountain forests. *Dendrochronologia*. 2019, 57: 125622. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.125622>
- Schmidt N.M., Baittinger C., Kollmann J., Forchhammer M.C. Consistent dendrochronological response of the dioecious *Salix arctica* to variation in local snow precipitation across gender and vegetation types. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. 2006, 38 (2): 257–262.
- Schmidt N.M., Baittinger C., Kollmann J., Forchhammer M.C. Consistent dendrochronological response of the dioecious *Salix arctica* to variation in local snow precipitation across gender and vegetation types. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. 2010, 42: 471–475.
- Vaganov E.A., Kirdeyanov A.V., Schweingruber F.H., Silkin P.P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia. *Nature*. 1999, 400: 149–151. <https://doi.org/10.1038/22087>
- Watson E., Luckman B.H. An investigation of the snowpack signal in moisture-sensitive trees from the Southern Canadian Cordillera. *Dendrochronologia*. 2016, 38: 118–130.
- Woodhouse C.A. A 431-yr reconstruction of western Colorado snowpack from tree rings. *Journ. of Climate*. 2003, 16: 1551–1561.