

## ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХВОЙНЫХ ПОРОД В ЛАВИНОСБОРАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО АЛТАЯ (БАССЕЙН Р. КОРГОН)

© 2024 г. Н. И. Быков<sup>1\*</sup>, Н. В. Рыгалова<sup>1</sup>, А. А. Шигимага<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

\*e-mail: nikolai\_bykov@mail.ru

Поступила в редакцию 22.08.2023 г.

После доработки 28.09.2023 г.

Принята к публикации 31.03.2024 г.

Выполнен дендрохронологический анализ схода максимальных снежных лавин в бассейне р. Коргон (Северо-Западный Алтай). На его основе выявлены различные тенденции лавинной активности в разных лавиносборах и частота схода максимальных лавин. Установлено, что наиболее надёжный показатель лавинной активности — это комплексный показатель, интегрирующий различные индикаторы в годичных кольцах деревьев, названный нами дендрохронологическим индексом лавинной активности.

**Ключевые слова:** Северо-Западный Алтай, Коргон, снежные лавины, древесные растения, годичные кольца, дендрохронологический индекс лавинной активности

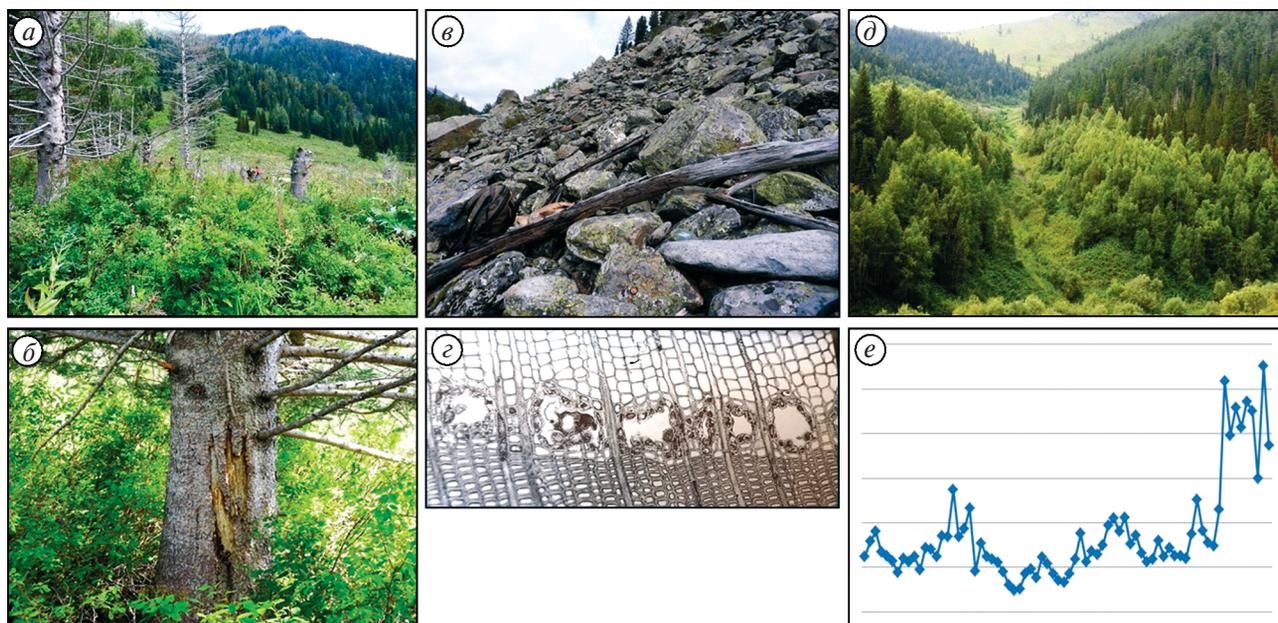
DOI: 10.31857/S2076673424010066

### ВВЕДЕНИЕ

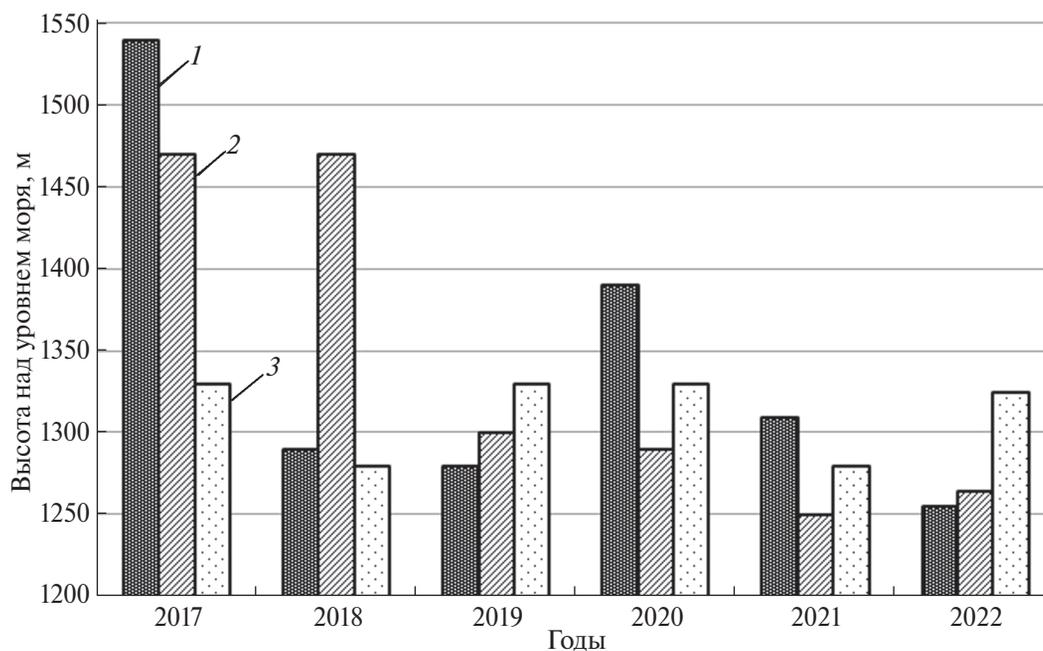
Снежные лавины — характерное явление для горных территорий, на которых образуется снежный покров (Гляциологический..., 1984). Их сход обеспечивается комплексом причин, среди которых и постоянные факторы лавинообразования (высота, крутизна и экспозиция склонов, их ориентация относительно основного направления переноса воздушных масс), и переменные (интенсивность снегопадов, продолжительность и сила ветра, температура воздуха и снега, наличие в снежном покрове разрыхлённых горизонтов и корок и прочее). Это обуславливает разнообразие лавиносборов по режиму лавинной деятельности (дальность выброса, частота схода в сезонном и многолетнем циклах) даже в пределах одного локального района, что затрудняет наблюдения за режимом снежных лавин в конкретных лавиносборах. Несмотря на то что в настоящее время успешно развивается спутниковый мониторинг снежных лавин, всё равно ощущается дефицит информации о лавинной активности, поскольку период охвата такого мониторинга составляет два — три десятилетия, а максимальные лавины, под которыми мы здесь понимаем лавины, достигающие нижней части зоны транзита и зоны аккумуляции, могут сходиться с периодичностью в несколько десятилетий или даже столетий. Поэтому для реконструкции данных о лавинной активности в конкретных лавиносборах необходимо использовать индикационные методы исследований.

В ряду таких методов особое место занимает дендрохронологический метод датирования времени и частоты схода снежных лавин (Schweingruber, 1993). С его помощью исследования проведены во многих регионах мира — Аргентине (Mundo et al., 2007), Турции (Köse et al., 2010), Чехии (Tumajer, Treml, 2015), США (Martin, Germain, 2016), Канаде (Germain et al., 2016), Румынии (Pop et al., 2017), Норвегии (Laute, Beylich, 2018), Казахстане (Zubairov et al., 2019) и других. В качестве индикаторов схода снежных лавин используются возраст древостоев и вертикальных побегов наклоненных деревьев, значения коэффициентов крени (соотношение между креновой и тяговой древесиной в годичных кольцах ксилемы), наличие реактивной (компрессионной) древесины, прекращение роста у деревьев (датировка погибших деревьев, их остатков и механических повреждений), наличие эффектов осветления (резкое увеличение прироста в результате ликвидации деревьев-конкурентов) (рис. 1; Kaennel, Schweingruber, 1995), нарушение анатомической структуры годичного кольца (травматические смоляные ходы) (Кравцова, 1971; Perov et al., 1977; Турманина, 1979).

Под реактивной древесиной понимается ксилема аномального строения, состоящая из клеток с высокой оптической плотностью. В лиственных деревьях она образуется с тяговой стороны ствола, а в хвойных всегда с креновой стороны (Kaennel, Schweingruber, 1995). Под креновой стороной понимается та часть



**Рис. 1.** Признаки лавинной деятельности: *a* — гибель деревьев на периферии зоны аккумуляции лавиносбора 3 (фото 2022 г.); *б* — раны на стволах деревьев, образуемые лавиной; *в* — погибшие деревья в зоне аккумуляции лавиносбора 1 (фото 2022 г.); *г* — травматические смоляные ходы у пихты (фото из (Бенькова, Швайнгрубер, 2004)); *д* — лавинный прочёс, лавиносбор 1; *е* — пример резкого увеличения радиального прироста у дерева (эффекта осветления) в лавиносборе.  
**Fig. 1.** Signs of avalanche activity: *a* — death of trees on the periphery of avalanche accumulation zone 3 (photo 2022); *б* — wounds on tree trunks caused by an avalanche; *в* — dead trees in the avalanche accumulation zone 1 (photo 2022); *г* — traumatic resin passages in fir (photo from (Benkova, Schweingruber, 2004)); *д* — avalanche combing, avalanche collection 1; *е* — example of a sharp increase in the radial growth of a tree (lightening effect) in avalanche collection.



**Рис. 2.** Места сбора дендрохронологических образцов в лавиносборах бассейна р. Коргон (Северо-Западный Алтай): 1 — лавинный очаг; 2 — зона транзита; 3 — зона аккумуляции; 4 — места отбора дендрохронологических образцов.  
**Fig. 2.** Places of collection of dendrochronological samples in avalanche collections of the river basin Korgon (Northwestern Altai): 1 — avalanche center; 2 — transit zone; 3 — accumulation zone; 4 — places for sampling dendrochronological samples.

ствола дерева, которая обращена в сторону его наклона, а под тяговой — в противоположную сторону. Травматические смоляные ходы (см. рис. 1) возникают в древесине вследствие каких-либо напряжений в стволе либо повреждения кроны насекомыми (Бенькова, Швайнгрубер, 2004). В обычном состоянии и анатомическом строении ксилемы пихт смоляные ходы отсутствуют.

Алтай как горная область характеризуется значительным разнообразием как постоянных, так и переменных факторов лавинообразования (Ревякин, Кравцова, 1976). В его внутренних районах (Центральный Алтай) одной из главных причин схода снежных лавин служит трансформация снежной толщи по типу разрыхления, в то время как в передовых хребтах, стоящих на пути воздушных масс, важнейшим фактором является накопление снежного покрова.

В целом на Алтае отсутствуют регулярные режимные наблюдения лавинных процессов, что обуславливает необходимость изучения их многолетнего режима индикационными методами. Дендрохронологические исследования лавин Алтая немногочисленны (Быков, 2000). В основном они были приурочены к Центральному Алтаю (Кравцова, 1971; Ревякин, Кравцова, 1976; Ревякин, 1981; Сурнаков, 1985), в том числе в долине Актру (Королева, 1993; Николаева, Савчук, 2021), и в меньшей степени к Северному (Кравцова, 1971), Северо-Западному (Ревякин, Кравцова, 1977; Быков, 2013) и Северо-Восточному Алтаю (Сурнаков, 1987). Некоторые работы (Ревякин, Кравцова, 1977; Быков, 2013) содержат не только дендрохронологические данные, но и анализ влияния лавинных процессов на состав и структуру растительных сообществ лавинных аппаратов, что позволяет оценить скорость сукцессий растительного покрова в лавиносборах.

Цель исследования — дендрохронологическое датирование схода максимальных снежных лавин в верхней части бассейна р. Коргон (Северно-Западный Алтай, левый приток р. Чарыш) (рис. 2). Территория исследования по условиям лавинной деятельности относится к Западному району (Ревякин, Кравцова, 1977), который характеризуется особым сочетанием факторов лавинообразования и значительно отличается от районов центральной части Алтая. Дендрохронологические исследования лавин, как и наблюдения лавин вообще, в данном районе минимальны (Ревякин, Кравцова, 1977; Быков, 2013), что актуализирует данное исследование.

#### ТЕРРИТОРИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

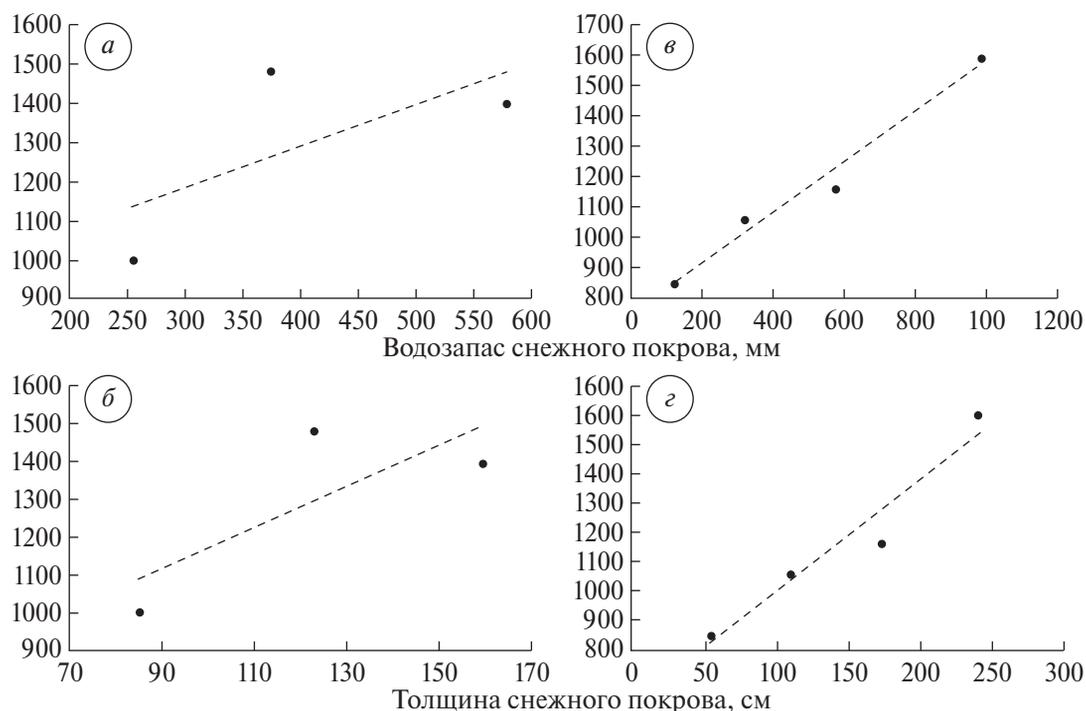
Алтай характеризуется значительным физико-географическим разнообразием, что отражается и на характере лавинных процессов. Внутренние районы

этой горной области отличаются высокогорными ландшафтами и суровыми зимами. Вследствие этого значительную роль в сходе лавин здесь играют метелевое снегонакопление и перекристаллизация снежного покрова. В центральных среднегорных районах Алтая в качестве главного фактора лавинообразования выступает весеннее снеготаяние, а дополнительными — перекристаллизация и метелевое снегонакопление. Передовые хребты Северо-Западного Алтая относятся к одним из самых многоснежных среднегорных районов Алтая (Ревякин, Кравцова, 1976). Лавинная деятельность здесь связана прежде всего с обильными снегопадами, метелевым снегонакоплением, а также с весенним снеготаянием. По литературным сведениям (Ревякин, Кравцова, 1976), в средней части лавиносборов проявляется 2–3-летний ритм лавинной активности, а в нижней части — 3–5-летний. Согласно данным гляциологической лаборатории (научный руководитель В. С. Ревякин) Алтайского государственного университета, сотрудники которой в 1980-х годах вели в данном районе снегомерные наблюдения, уже после первого снегопада на уровне верхней границы леса формируются снежные заносы толщиной до 1 м. В начале ноября они могут достигать уже 2 м, а в феврале и марте 2.5 м и более (рис. 3). Вследствие этого лавины здесь имеют значительную мощность, а лавиносборы — полное развитие, но при этом не формируют минеральных конусов выноса.

В качестве объекта исследования выбраны древесные растения лавиносборов бассейна р. Горелый Коргон (верхняя часть бассейна р. Коргон) (см. рис. 2). Наши исследования (Быков, 2015) показали, что в бассейне р. Коргон насчитывается 152 лавиносбора. В среднем на каждый из них приходится 2.5 лавинных очага. При этом из 386 выявленных лавинных очагов 85.2% приходится на северные секторы, а наибольшим их числом (32.6%) отличается северо-восточный сектор.

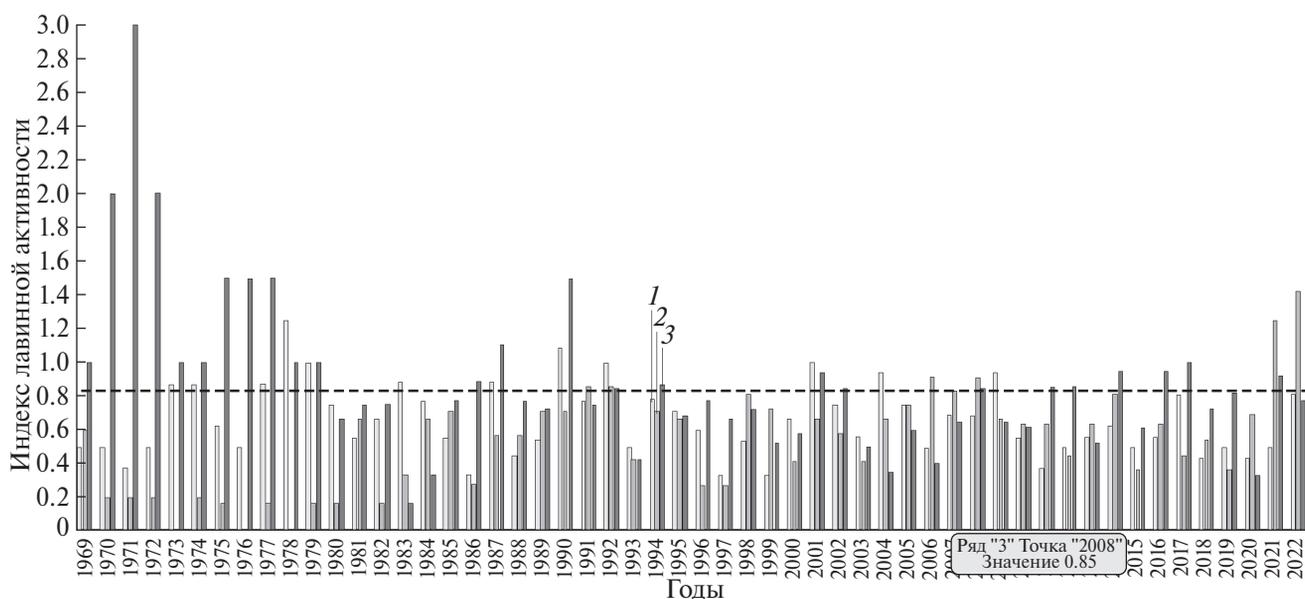
На основе анализа уклонов в лавинных очагах выявлено, что снежные лавины в бассейне р. Коргон развиваются на склонах с уклоном от 20 до 55°. При этом 85.9% лавинных очагов имеют уклоны в пределах 30–50°. При больших уклонах снежные лавины развиваются на склонах каровых стенок. Однако в этом случае они не формируют выраженные зоны аккумуляции, транзита и зарождения снежной лавины.

В бассейне р. Горелый Коргон для исследования были выбраны три лавиносбора (см. рис. 2). В целом они репрезентативны для большей части лавиносборов бассейна р. Коргон — лавинные очаги с уклонами 26–39° (в среднем 31.5°) имеют северные экспозиции от 7 до 73° (табл. 1). Зоны отрыва снежной толщи отмечаются на высотах 1805–1925 м над ур. моря, а нижние части зоны аккумуляции лавинных снежников находятся на высотах 1200–1280 м (см. табл. 1).



**Рис. 3.** Распределение толщины и водозапаса снежного покрова по высоте в бассейне р. Коргон по данным натурных измерений: *a* — водозапас снежного покрова в марте 1987 г.; *б* — толщина снежного покрова в марте 1987 г.; *в* — водозапас снежного покрова в феврале 1988 г.; *з* — толщина снежного покрова в феврале 1988 г.

**Fig. 3.** The distribution of the thickness and water content of snow cover by height in the basin of the river Korgon according to field measurements: *a* — snow cover water reserve in March 1987; *б* — thickness of snow cover in March 1987; *в* — snow cover water reserve in February 1988; *з* — snow cover thickness in February 1988.



**Рис. 4.** Положение нижнего края лавинного снежника в исследованных лавиносборах бассейна р. Коргон в мае по данным спутников Sentinel.

Обозначения на диаграмме: 1, 2, 3 — номера исследованных лавиносборов (см. рис. 2), 4 — атмосферные осадки за октябрь — апрель.

**Fig. 4.** The position of the lower edge of the avalanche snowfield in the studied avalanche collections of the river basin Korgon in the month of May according to Sentinel satellites.

Designations on the diagram: 1, 2, 3 are the numbers of the studied avalanches (see Fig. 2), 4 — atmospheric precipitation for October–April.

Положение лавинных снежников в указанных лавиносборах установлено нами за период 2017–2022 гг. на основе анализа весенних снимков спутников Sentinel по их нижнему краю. Сравнение свидетельствует о том, что лавинная активность в них не отличается строгой синхронностью (рис. 4).

Растительность исследованных лавиносборов подробно рассмотрена нами ранее на примере лавиносбора № 1 (Быков, 2013). В зоне аккумуляции лавинных снежников обычно формируются спирейно-разнотравные луга, где эдификатором выступает спирея средняя (*Spiraea media* Schmidt), иногда совместно со спиреей извилистой (*Spiraea flexuosa* Fisch ex. Cambess). В нижней части зоны транзита дно лавинного лотка занимают разнотравно-злаковые луга. Единично могут встречаться спирея средняя и извилистая. В очень редких случаях *Betula pendula* Roth имеет стелящуюся форму. Вне лотка в нижней части зоны транзита появляются спирейники разнотравно-осоковые и разнотравные, в которых эдификатором служит *Spiraea media* Schmidt (с примесью *S. flexuosa* Fisch ex. Cambess). Если сход последней мощной лавины был достаточно давно, то в этой части зоны транзита можно наблюдать молодой берёзовый лес (*Betula pendula* Roth) с примесью пихты со спиреей средней в кустарниковом ярусе и разнотравьем в третьем ярусе. Коренная растительность на этом уровне за пределами лавиносбора представлена пихтовыми или пихтово-еловыми осоково-разнотравными лесами.

В средней части зоны транзита в лотке развиваются злаково-разнотравные и разнотравные луга, а за его пределами формируются спирейники разнотравные, где эдификатором выступает спирея извилистая. Коренная растительность за пределами лавиносбора на этом уровне представлена пихтовыми спирейными разнотравными и лиственнично-пихтовыми кустарниковыми разнотравными лесами.

Центральная часть лавинного очага занята разнотравно-осоковыми и субальпийскими лугами, а периферийная — ерниками голубичниково-травяными, эдификатором в которых выступает *Betula rotundifolia* (Spach) Malyshev. Коренная растительность представлена лиственнично-кедровыми лесами с элементами субальпийских лугов, а в случае более высокого положения зоны зарождения лавины по верхней её кромке наблюдаются лишайниково-дриадовые тундры.

Дендрохронологические образцы в лавиносборах отбирали в зонах аккумуляции и нижних частях зон транзита (в том числе по краю лавинного прочёса в лесу) (табл. 2). Такой подход позволяет датировать сход именно максимальных снежных лавин, которые достигали зоны аккумуляции или нижней части зоны транзита. Кроме того, для построения локальных хронологий, необходимых для дендрохронологического датирования гибели деревьев, по основным породам отбирались образцы

Таблица 1. Характеристика исследованных лавиносборов

Лавиносбор	Номер лавинного очага	Координаты зоны аккумуляции	Максимальная высота в зоне зарождения, м	Число лавинных очагов	Минимальная высота зоны аккумуляции	Уклон в зоне зарождения лавины	Экспозиция, географический азимут
2	3.1 3.2 3.3	51°01' 00,31" с.ш., 83° 47' 06,40" в.д.	1805	1	1250	26 28	66 7
3		51°01' 17,05" с.ш., 83° 46' 25,37" в.д.	1925	3	1275	35 39	23 32

Таблица 2. Характеристика дендрохронологических образцов, отобранных в лавиносборах р. Коргон

Номер лавиносбора	Зоны отбора образцов	Вид	Высота отбора образцов над ур. моря, м	Число исследованных деревьев	Начало роста	Год последнего кольца	Возраст	Средний коэффициент корреляции хронологий с тяговой и креновой стороны	R <sub>bag</sub>	EPS
1	Зона аккумуляции	<i>Larix sibirica</i> L.	1210	2	1570; 1583	1870; 1947	301; 365	0.73	0.55	0.83
		<i>Abies sibirica</i> L.		1	1988	2013	26	0.84	0.84	—
		<i>Betula pendula</i> Roth		3	1964–1968	1994–1995	28–30	0.75	0.30	0.72
	Зона транзита	<i>Betula pendula</i> Roth	1215–1225	5	1988–2001	2022	22–35	0.70	0.36	0.85
		<i>Abies sibirica</i> L.		3	1990–1995	2022	27–32	0.57	0.29	0.71
		<i>Abies sibirica</i> L.		5	1929–1947	2022	76–94	0.82	0.65	0.95
		<i>Picea obovata</i> L.		5	1928–1980	2022	42–95	0.77	0.38	0.86
	Вне лавиносбора	<i>Abies sibirica</i> L.	1225	15	1873–1960	2022	63–188	0.70	0.48	0.96
		<i>Picea obovata</i> L.		15	1808–1984	2022	39–215	0.74	0.49	0.97
	2	Зона аккумуляции	<i>Betula pendula</i> Roth	1250	5	1946–1996	1996–2022	28–77	0.55	0.36
<i>Abies sibirica</i> L.			3		1980–1996	2020–2022	26–43	0.96	0.59	0.90
<i>Picea obovata</i> L.			4		1969–1984	2021, 2022	39–54	0.56	0.26	0.74
Зона транзита		<i>Larix sibirica</i> L.	1310	1	1641	1995	355	0.95	0.95	—
		<i>Abies sibirica</i> L.		1	2000	2021	22	0.23	0.23	—
		<i>Picea obovata</i> L.		1	1996	2022	27	0.70	0.70	—

Таблица 2, окончание

Номер лавиносбора	Зоны отбора образцов	Вид	Высота отбора образцов над ур. моря, м	Число исследованных деревьев	Начало роста	Год последнего кольца	Возраст	Средний коэффициент корреляции хронологий с тяговой и креновой стороной	R <sub>вар</sub>	EPS						
2	Зона транзита, край прочёса	Abies sibirica L.	1310	5	1919–1976	2022	47–104	0.70	0.64	0.95						
											1420–1440	14	1809–1880	143–234	0.85	0.72
88	Вне лавиносбора	Larix sibirica L.	1260	2	1789–1805	2022	218, 234	0.84	0.66	0.88						
		Larix sibirica L.									13	1969–2009	12–53	0.67	0.31	0.92
	Зона аккумуляции	Picea obovata L.	1280	6	1967–1994	2014–2022	28–54	0.52	0.37	0.88						
		Abies sibirica L.									3	1977–1995	38–45	0.50	0.38	0.79
		Betula pendula Roth									15	1710–1904	119–313	0.54	0.21	0.89
Вне лавиносбора	Pinus sibirica Du Tour	1325	3	1977–1995	2021, 2022	38–45	0.50	0.38	0.79							

Прочерк — значения не вычислялись; R<sub>вар</sub> — средний межсерийный коэффициент корреляции; EPS — популяционный сигнал.

вне лавиносборов. С живых деревьев отбирали керны с креновой и тяговой сторон ствола на уровне груди, а у отдельных деревьев зоны транзита также у комля для определения их возраста. С мёртвых деревьев были получены спилы с последующим измерением ширины годичных колец на них по двум радиусам. Принадлежность мёртвых деревьев к тому или иному виду устанавливалась на основании анатомического анализа древесины (Бенькова, Швайнгрубер, 2004). В качестве маркеров схода лавин авторы использовали даты гибели и поранения деревьев, годы нарушения синхронности прироста с тяговой и креновой сторон, первый год в череде лет резкого изменения коэффициента крени (соотношения прироста с креновой и тяговой сторон ствола), наличие реактивной (компрессионной) древесины и травматических смоляных ходов в ксилеме пихт. Исследовались хронологии и на предмет наличия в них эффектов осветления, которые в дендрохронологическом смысле трактуются как резкое увеличение прироста при прореживании древостоев (Kaennel, Schweingruber, 1995).

Все приведённые индикаторы лавинных процессов — неспецифические, то есть могут быть вызваны и другими процессами. Для увеличения вероятности индикации лавин необходимо использовать весь комплекс показателей. В качестве такого интегрального показателя схода лавины в конкретном году было использовано соотношение числа всех случаев нарушений роста деревьев (см. выше, какие конкретные показатели использованы) в конкретном году с числом исследованных деревьев, который мы предлагаем назвать дендрохронологическим индексом лавинной активности:

$$x = \frac{a+b+c+d+e+f}{2a},$$

где  $x$  — дендрохронологический индекс лавинной активности за конкретный год;  $a$  — даты гибели и поранения деревьев;  $b$  — нарушения синхронности прироста с тяговой и креновой сторон;  $c$  — первый год в череде лет резкого изменения коэффициента крени;  $d$  — наличие реактивной древесины;  $e$  — наличие травматических смоляных ходов в ксилеме пихт;  $f$  — резкое увеличение прироста (эффект осветления).

Измерения ширины годичных колец производились на полуавтоматической установке Lintab 6 с точностью до 0.01 мм. Стандартизация и обобщение дендрохронологических рядов выполнялись в программе ARSTAN. Для оценки древесно-кольцевых хронологий конкретных площадок были использованы Rbar (running correlation between series of tree-ring chronologies) и EPS (The Expressed Population Signal), а для обобщённых хронологий — чувствительность (mean sensitivity) (Speer, 2009). Для площадок строили обобщённые хронологии,

если значение EPS было равно или выше 0.85. Для датирования полученных хронологий использовалась программа COFESHA.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ возраста живых и погибших деревьев в исследованных лавиносборах показал, что в зоне транзита он закономерно увеличивается от лотка к древостою за пределами лавинного прочёса. Начало роста деревьев, произрастающих в нижней части зоны транзита лавиносбора 1, относится к 1988–2001 гг. (у берёз — 1988–2001 гг., у пихт — 1990–1995 гг.), что свидетельствует об уничтожении снежной лавиной деревьев на этом участке ранее 1988 г. (см. табл. 2). Начало роста деревьев по краю лавинного прочёса относится к 1928–1980 гг. (у большинства деревьев — 1928–1937 гг., а средний возраст составляет 83 года). За пределами лавинного прочёса возраст елей колеблется от 39 до 215 лет (в среднем 132 года), а пихт от 63 до 149 (в среднем 97 лет).

В лавиносборе 2 начало роста деревьев в зоне транзита относится к 1996–2000 гг., а по краю лавинного прочёса к 1919–1975 гг. (средний возраст исследованных деревьев также составляет 83 года). Таким образом, деревья зоны транзита и края лавинного прочёса лавиносборов 1 и 2 близки по возрасту (соответственно, в зоне транзита не старше 35 и 27 лет, а по краю лавинного прочёса 95 и 104 лет).

В зонах аккумуляции лавиносборов 1 и 2 обнаружены живые и погибшие деревья двух возрастных категорий: 22–77 лет (26–40 лет среди погибших) и 301–365 лет. В зоне аккумуляции лавиносбора 3 также имеется первая возрастная категория деревьев (25–54 лет среди погибших), но не обнаружены старовозрастные деревья, что косвенно указывает на то, что здесь лавинные процессы интенсивнее, чем в первом и втором лавиносборах. Таким образом, на основании возраста исследованных деревьев можно утверждать, что современные границы лавинных прочёсов в бассейне р. Горелый Коргон были сформированы 95–104 года назад. Временной промежуток между максимальными лавинами в пределах лавинных прочёсов составляет 24–54 года. Максимальные лавины, которыми были уничтожены деревья возрастом 301–365 лет, были отмечены в 1871, 1948 и 1996 гг.

Погибших деревьев в исследованной выборке было немного — 6 в лавиносборе 1, 8 в лавиносборе 2 и 11 в лавиносборе 3. Наиболее давно погибшие лиственницы (1871 и 1948 гг.) были обнаружены в зоне аккумуляции лавиносбора 1. Столь долгая сохранность древесины обеспечивается здесь тем, что снежные лавины выносят обломки деревьев в курумник на противоположном борту долины, где за счёт южной экспозиции, отсутствия почвы и травянистого покрова создаются подходящие для этого условия

(см. рис. 1). Кроме того, даты гибели деревьев в исследованных лавиносборах приходится на 1995 г. (2 дерева), 1996 г. (2 дерева), 2014 г. (1 дерево), 2021 г. (11 деревьев) и 2022 г. (7 деревьев). Как правило, дата последнего кольца у погибшего дерева и дата схода снежной лавины отличаются на один год. Однако в некоторых случаях они совпадают. Обусловлено это тем, что иногда облом стволов деревьев происходит выше нижних веток и в последующий вегетационный период у таких деревьев успевают сформироваться несколько рядов клеток ксилемы. Поэтому при датировании погибших деревьев требуется обязательный анатомический анализ последнего годичного кольца.

Механические повреждения (раны) у деревьев лавиносборов исследуемого района обнаруживаются редко. Как правило, они образуются от удара обломанных стволов, переносимых лавиной. С помощью датирования ран выявлены сходы лавин в исследуемых лавиносборах в 1963, 2001, 2016, 2018 и 2021 гг.

Резкое увеличение прироста (эффект осветления) в индивидуальных хронологиях, полученных с деревьев лавиносборов, также проявляется редко. В первом лавиносборе по краю лавинного прочёса такой эффект проявился только у одного дерева в 1963–1970 гг. (ель в возрасте 37–50 лет). В зоне транзита он был отмечен в 1949, 1950, 1963 и 2000–2022 гг., а у погибших лиственниц, обнаруженных в зоне аккумуляции, — в 1640–1644, 1846–1848, 1864–1866 гг. Во втором лавиносборе по краю лавинного прочёса подобный эффект также обнаружен только у одного дерева в 1964 г., а в зоне аккумуляции у нескольких деревьев в 1964, 1996, 1998, 2001, 2009 гг. В зоне аккумуляции третьего лавиносбора эффекты осветления проявились в 1978–1979, 1990, 1995, 1999, 2005 гг.

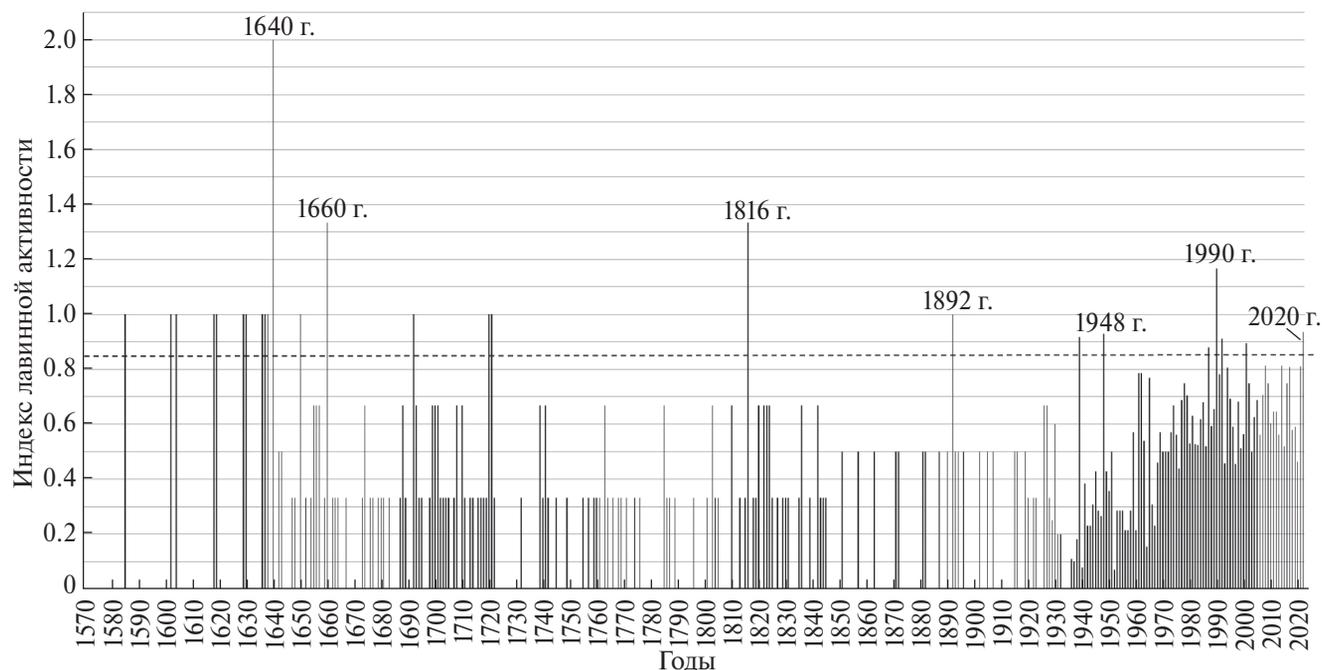
Реактивная (компрессионная) древесина обнаружена в кольцах трёх деревьев первого лавиносбора, семи деревьев второго лавиносбора и шести деревьев третьего лавиносбора. Чёткой синхронности в проявлении годичных колец с реактивной древесиной как у деревьев одного лавиносбора, так и у деревьев разных лавиносборов не проявляется. Также следует отметить, что реактивная древесина часто образуется у деревьев в раннем возрасте, что, возможно, обусловлено давлением снега на растение.

Травматические смоляные ходы обнаружены у 5 пихт первого лавиносбора (1961, 1962, 1964, 1989, 2001 и 2013 гг.), 6 пихт второго лавиносбора (1948, 1997, 2000, 2005, 2005, 2009, 2013, 2020–2022 гг.) и 4 пихт третьего лавиносбора (1968–1970, 1972, 1976–1978, 1981, 1984–1992, 1994–2008, 2011–2014, 2016–2019 гг.). Однако и в распределении данного признака также отмечается слабая синхронность у деревьев одного лавиносбора. Этот признак крайне редко отмечается в кольцах одного года у деревьев различных лавиносборов.

Признаки воздействия лавин на деревья также обнаруживаются через асинхронность приростов с тяговой (обращённой вверх по склону) и креновой (вниз по склону) сторон ствола. Она возникает, как правило, в год схода снежной лавины и характеризуется тем, что в последующий вегетационный сезон радиальный прирост с креновой стороны ствола увеличивается по сравнению с предыдущим годом, а с тяговой стороны уменьшается. Подобное увеличение прироста с креновой стороны может происходить в течение нескольких лет, пока не будет восстановлена вертикальность ствола. По мере увеличения возраста дерева увеличивается и период восстановления вертикальности ствола. Поэтому наиболее достоверно характеризует сход лавины первый год наблюдаемой асинхронности прироста. Это ухудшает возможность датирования лавин ближайших последующих лет. При этом надо иметь в виду, что асинхронность прироста также может быть вызвана и другими причинами: сползанием снега по склону, ветром и т.д.

Одним из показателей неравномерности радиального прироста и, соответственно, индикатором схода лавин в практике их дендрохронологических исследований может служить коэффициент крени (Кравцова, 1971; Ревякин, Кравцова, 1976), который характеризует отношение прироста ствола с креновой стороны к приросту с тяговой стороны у хвойных деревьев и с тяговой стороны к креновой у лиственных пород. Такая разница возникает вследствие того, что у хвойных пород тяговая древесина слабее, чем креновая (гипоксилия), а у лиственных пород вследствие того, что формируются элементы ксилемы с сильно утолщёнными стенками, наоборот (эпиксилия). В год схода лавины фиксируется значительное увеличение этого коэффициента. Однако данный коэффициент также характеризуется наличием инерции, т.е. после первого года стремительного его прироста далее в течение нескольких лет может отмечаться дальнейшее плавное его увеличение уже без воздействия лавин. При этом увеличение коэффициента крени может происходить как при асинхронном приросте с противоположных сторон ствола, так и при синхронном. Значение коэффициента крени некоторые авторы используют для определения мощности лавины (Кравцова, 1971).

Анализ синхронности прироста с креновой и тяговой сторон стволов деревьев в исследованных лавиносборах свидетельствует о том, что её нарушение — частое явление. Оно отмечается у деревьев один раз каждые 3–6 лет. Вместе с тем следует отметить, что, несмотря на наблюдаемое нарушение синхронности прироста с креновой и тяговой сторон, между ними отмечается высокое сходство (см. табл. 2). Лишь у одной пихты в зоне транзита лавиносбора 2 коэффициент корреляции хронологий с креновой и тяговой сторон составил 0.23. При этом следует иметь в виду, что



**Рис. 5.** Соотношение числа случаев нарушения радиального прироста деревьев лавиносборов бассейна р. Коргон к числу исследованных деревьев.

Обозначения на диаграмме: 1 — лавиносбор 1; 2 — лавиносбор 2; 3 — лавиносбор 3; 4 — атмосферные осадки за октябрь — апрель. Пунктирной линией обозначен уровень дендрохронологического индекса лавинной активности равный 0.85.

**Fig. 5.** The ratio of the number of cases of violation of the radial growth of trees in the avalanche basin of the river Korgon is one of the studied trees.

Designations on the diagram: 1 — avalanche collection 1; 2 — avalanche collection 2; 3 — avalanche gathering 3; 4 — atmospheric precipitation for October–April. The dotted line indicates the level of the dendrochronological index of avalanche activity equal to 0.85. The location of avalanches is shown in Fig. 1.

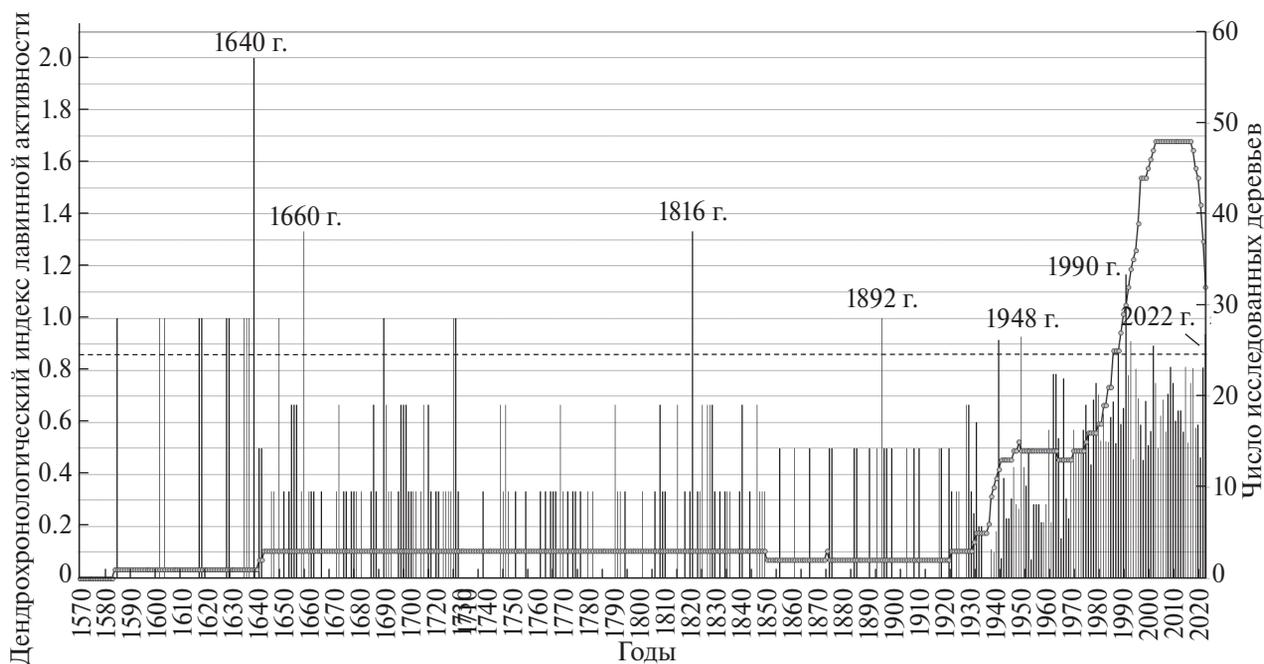
она произрастала практически на бровке лавинного лотка, т.е. в наиболее активной зоне лавиносбора. В остальных хронологиях он изменялся от 0.50 до 0.96. В зоне транзита такое сходство выше у деревьев по краю лавинного прочёса, чем у деревьев в зоне прочёса ближе к лавинному лотку. Например, у пихт зоны транзита лавиносбора 1 средние парные корреляции составили 0.57, а по краю прочёса 0.82. Такая же ситуация отмечается и в лавиносборе 2 (0.23 и 0.70 соответственно). Парные корреляции хронологий с креновой и тяговой сторон в зоне аккумуляции чаще ниже, чем у таковых по краю лавинного прочёса или за пределами лавиносборов. Схожая ситуация отмечается и с межсерийными коэффициентами корреляции хронологий — по краю прочёса они выше, чем в зоне транзита (см. табл. 2). Также в целом популяционный сигнал (EPS) деревьев вне зоны лавиносбора выше, чем у деревьев в пределах лавинного прочёса (см. табл. 2); этот факт дополнительно подтверждает, что деревья лавиносборов испытывают негативное воздействие лавин ещё на стадии их роста.

Анализ комплекса дендрохронологических признаков, по мнению многих исследователей, служит

обязательным условием индикации схода снежных лавин (Germain et al., 2010). В нашем исследовании в качестве такого показателя мы выбрали соотношение суммы всех случаев нарушений прироста (асинхронность прироста, резкое увеличение коэффициента крени, наличие реактивной древесины и травматических смоляных ходов, эффект осветления, дата гибели и дата образования раны) в нижней части зоны транзита и зоны аккумуляции деревьев к числу данных деревьев. В данной работе это соотношение мы называем дендрохронологическим индексом лавинной активности.

Сравнительный анализ таких индексов за период, когда все исследованные лавиносборы представлены древесно-кольцевыми хронологиями (ранее 1967 г. по лавиносбору 3 они отсутствуют), показал относительную синхронность лавинных процессов в них (рис. 5).

Полученные дендрохронологические сведения о сходе лавин подтверждаются данными дистанционного зондирования со спутников Sentinel за 2017–2022 гг. (см. рис. 4), а также результатами наземных и аэровизуальных наблюдений в марте 1987 г. На этом временном отрезке сход лавин отмечается при значении дендрохронологического индекса



**Рис. 6.** Изменения дендрохронологического индекса лавинной активности в бассейне р. Горелый Коргон по дендрохронологическим данным (столбцы) и числа исследованных деревьев (линия).

Пунктирной линией указано минимальное значение индекса (0.85), при котором в период 2017–2022 гг. в исследованных лавиносборах отмечен сход максимальных лавин.

**Fig. 6.** Changes in the dendrochronological index of avalanche activity in the river basin. Burnt Korgon according to dendrochronological data (columns) and the number of studied trees (line).

The dotted line indicates the minimum index value (0.85), at which in the period 2017–2022. In the studied avalanche areas, maximum avalanches were recorded.

лавинной активности более 0.85. Так это произошло в лавиносборах 1 и 3 в 1987 г. (индексы равны соответственно 0.88 и 1.11), лавиносборе 3 в 2017 г. (индекс был равен 1.0), в лавиносборах 2 и 3 в 2021 г. (индексы соответственно равны 1.25 и 0.92) и в лавиносборе 2 в 2022 г. (индекс равен 1.42). Если исходить из того, что данное значение индекса служит критерием схода лавин и на других временных отрезках, то в лавиносборе 1 в период 1969–2022 гг. лавины сходили в 1973, 1974, 1977–1979, 1983, 1987, 1990, 1992, 2001, 2004, 2009 гг., а в лавиносборе 2 сход лавин отмечался в 1991, 1992, 2006, 2008, 2021, 2022 гг. И наконец, в третьем лавиносборе лавины сходили в 1969–1979, 1986, 1987, 1990, 1992, 1994, 2001, 2002, 2008, 2011, 2012, 2014, 2016, 2017, 2021 гг. Таким образом, в лавиносборе 3 лавины сходят чаще, чем в двух других, что вполне объяснимо, поскольку здесь лавинные очаги располагаются выше и крутизна склонов в них больше. Наименее активен лавиносбор 2. Снежные лавины в нём редко сходят до дна долины р. Горелый Коргон. Однако данный лавиносбор в рассматриваемый период демонстрирует тенденцию нарастания активности лавинных процессов, а лавиносборы 1 и 3 наоборот. Годы схода отмечаются часто в годы значительного выпадения зимних осадков за октябрь — апрель (по метеостанции Змеиногорск) (см. рис. 5). Так было в 1969, 1972, 1987,

1990, 2001, 2017, 2021 и 2022 гг. В эти годы за зимний сезон на метеостанции выпадало 450–580 мм осадков. Вместе с тем в годы выпадения максимального количества осадков (более 600 мм по метеостанции Змеиногорск) за зиму (2013 и 2020 гг.) нарушений прироста у деревьев в зоне аккумуляции и в нижней части зоны транзита лавиносборов выявлено не было. Вероятно, это обусловлено тем, что в те годы разгрузка лавинных очагов происходила неоднократно, поэтому лавины не достигли своего максимума.

Некоторые годы нарушений прироста у деревьев исследованных лавиносборов совпадают с годами активизации лавинных процессов в нижней части бассейна р. Коргон (1949, 1963, 1969 гг.), что было выявлено ранее (Кравцова, 1971) на основании результатов анализа двух спилов.

Дендрохронологический индекс лавинной активности, полученный по всем деревьям исследованных лавиносборов, свидетельствует о том, что максимальные лавины в бассейне р. Горелый Коргон сходили в 1585, 1602, 1604, 1618, 1619, 1629, 1630, 1636–1638, 1640, 1650, 1660, 1692, 1720, 1721, 1816, 1892, 1939, 1948, 1987, 1990, 1992, 2001, 2022 гг. (рис. 6). Таким образом, можно предположить, что в XVII и XX вв. максимальные лавины в исследуемом районе сходили чаще, чем в XVIII и XIX вв.

Однако здесь необходимо пояснить, что период XVI–XIX вв. обеспечен небольшим числом образцов (см. рис. 6). Очевидно, что критерием для выявления схода лавины на ранних этапах при небольшом числе исследованных деревьев не может быть значение индекса лавинной активности равное 0.85. Если данный индекс рассчитан по одному дереву, то его значение не может быть менее 1.0.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дендрохронологические индикаторы схода снежных лавин не специфические, т.е. могут быть вызваны и другими факторами. Вместе с тем использование комплекса индикаторов позволяет существенно снизить вероятность ошибки датирования снежных лавин. В качестве такого показателя можно использовать дендрохронологический индекс лавинной активности, который представляет отношение числа случаев нарушения роста деревьев к числу исследованных деревьев.

Дендрохронологические исследования деревьев нижней части зоны транзита и зоны аккумуляции лавиносборов в бассейне р. Коргон (Северо-Западный Алтай) позволили календарно датировать максимальные снежные лавины на основе комплекса дендрохронологических индикаторов и установить, что их сход отмечается при значительном, но не максимальном количестве зимних осадков. Тенденции изменения лавинной активности в разных лавиносборах отличаются. Уменьшение вероятности схода максимальных лавин в некоторых лавиносборах, возможно, обусловлено увеличением количества зимних осадков, что приводит к неоднократной разгрузке лавинных очагов в течение зимы. В этой связи следует ожидать усиления лавинной активности в нижней части бассейна р. Коргон, что увеличивает риски для жизнедеятельности человека.

Верификация дат схода снежных лавин, установленных дендрохронологическим методом, в дальнейшем возможна как на основе изучения космических снимков, так и опроса местного населения, которое занимается в долине р. Коргон пчеловодством и коневодством.

**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/>.

### ЛИТЕРАТУРА

- Бенькова В. Е., Швейнгрубер Ф. Х.* Анатомия древесины растений России. Берн: Хаупт, 2004. 465 с.
- Быков Н. И.* Лихенометрические исследования лавинных процессов на Алтае // Известия Алтайского гос. ун-та. 1999. № 3 (13). С. 29–32.
- Быков Н. И.* Дендрохронология снежных лавин и циркуляционных процессов атмосферы зимнего и переходного периодов на Алтае // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2000. Вып. 2. С. 56–60.
- Быков Н. И.* Растительность лавиносборов Алтая и возможности фитоиндикации лавинных процессов // География и природопользование Сибири. Вып. 15. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2013. С. 23–31.
- Быков Н. И.* Лавиносборы бассейна р. Коргон (левый приток р. Чарыш) // География и природопользование Сибири. Вып. 19. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2015. С. 25–45.
- Гляциологический словарь / Под ред. В. М. Котлякова. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 526 с.
- Королева Т. В.* Оценка снежности и лавинной опасности Алтая в среднем масштабе. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук: МГУ им. М. В. Ломоносова, 1993. 23 с.
- Кравцова В. И.* Особенности режима лавинной деятельности на Алтае по данным дендрохронологических наблюдений // Фитоиндикационные методы в гляциологии. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 103–123.
- Николаева С. А., Савчук Д. А.* Оценка методов дендроиндикации при датировании экзогенных гравитационных процессов прошлого в верховьях р. Актру (Горный Алтай) // Изв. РАН. Сер. геогр. 2021. Т. 85. № 3. С. 392–404.
- Ревякин В. С., Кравцова В. И.* Снежный покров и лавины Алтая. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1976. 215 с.
- Ревякин В. С.* Природные льды Алтае-Саянской горной области. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 288 с.
- Сурнаков И. В.* Некоторые результаты фитоиндикации нивально-гляциальных процессов на Алтае // Тезисы докладов Всес. конф. “Роль нивально-гляциальных образований в динамике горных экосистем”. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 1985. С. 35–36.
- Сурнаков И. В.* Некоторые сведения об элементах нивально-гляциального комплекса верховьев реки Большой Абакан // Тезисы докладов науч.-практич. конф. “Ледники и климат Сибири”. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1987. С. 178–179.
- Турманина В. И.* Дендрохронология лавин в верховьях Баксанской долины // Ритмы гляциальных процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. С. 128–134.

- Germain D., Héту B., Fillion L.* Tree-Ring Based Reconstruction of Past Snow Avalanche Events and Risk Assessment in Northern Gaspé Peninsula (Québec, Canada) // *Tree Rings and Natural Hazards: A State-of-the-Art, Advances in Global Change Research*. 2010. V. 41. P. 51–73. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8736-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8736-2_5)
- Germain D.* A statistical framework for tree-ring reconstruction of high-magnitude mass movements: case study of snow avalanches in Eastern Canada // *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. 2016. V. 98. № 4. P. 303–311. <https://doi.org/10.1111/geoa.12138>
- Kaennel M., Schweingruber F. H.* Multilingu 1 Glossary of Dendrochronology. Bern, Stuttgart, Vienna: Haupt, 1995. 467 p.
- Köse N., Aydın A., Yurtseven H., Akkemik Ü.* Using tree-ring signals and numerical model to identify the snow avalanche tracks in Kastamonu, Turkey // *Natural Hazards*. 2010. № 54 (2). P. 435–449. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9477-x>
- Laute K., Beylich A. A.* Potential effects of climate change on future snow avalanche activity in western Norway deduced from meteorological data // *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. 2018. V. 100. № 2. P. 163–184. <https://doi.org/10.1080/04353676.2018.1425622>
- Martin J. P., Germain D.* Can we discriminate snow avalanches from other disturbances using the spatial patterns of tree-ring response? Case studies from the Presidential Range, White Mountains, New Hampshire, United States // *Dendrochronologia*. 2016. V. 37. P. 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.12.004>
- Mundo I. A., Barrera M. D., Roig F. A.* Testing the utility of *Nothofagus pumilio* for dating a snow avalanche in Tierra del Fuego, Argentina // *Dendrochronologia*. 2007. V. 25. № 1. P. 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2007.01.001>
- Perov V. F., Turmanina I., Akifeva K. V.* Indications of avalanches and mudflow by dendrochronology // *Russian Papers on Dendrochronology and Dendroclimatology 1962, 1968, 1970, 1972*. Research Laboratory for Archeology and History of Art. Oxford University, 1977. P. 49–51.
- Pop O. T., Munteanu A., Flaviu M., Gavrila I. G., Timofte C., Holobacă I. H.* Tree-ring-based reconstruction of high-magnitude snow avalanches in Piatra Craiului Mountains (Southern Carpathians, Romania) // *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. 2017. V. 100. № 7. P. 1–17. <https://doi.org/10.1080/04353676.2017.1405715>
- Schweingruber F. H.* Jahrringe und Umwelt — Dendroökologie. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt fuer Wald, Schnee und Landschaft, 1993. 474 p.
- Speer J. H.* Fundamentals of Tree-Ring Research. Tucson: The University of Arizona Press, 2010. 509 p.
- Tumajer J., Tremel V.* Reconstruction ability of dendrochronology in dating avalanche events in the Giant Mountains, Czech Republic // *Dendrochronologia*. 2015. V. 34. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.02.002>
- Zubairov B., Lentschke J., Schröder H.* Dendroclimatology in Kazakhstan // *Dendrochronologia*. 2019. V. 56. Article 125602. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.05.006>

---

Citation: Bykov N. I., Rygalova N. V., Shigimaga A. A. Dendrochronological analysis of snow avalanches in the Northwestern Altai (Korgon river basin). *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2024, 64 (1): 081–095. [In Russian]. doi 10.31857/S2076673424010066

---

## Dendrochronological analysis of conifers in avalanche catchments of the Northwestern Altai (Korgon River basin)

N. I. Bykov<sup>a#</sup>, N. V. Rygalova<sup>a</sup>, A. A. Shigimaga<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Water and Environmental Problems Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia

<sup>#</sup> e-mail: nikolai\_bykov@mail.ru

Received August 22, 2023; revised September 28, 2023; accepted March 31, 2024

The purpose of the study was to date the powerful snow avalanches occurred in the avalanche catchment area in the river Korgon basin (Northwestern Altai) by the dendrochronological method. The paper presents the results of the analysis of a number of dendrochronological indicators of avalanches: the age of trees, the relation between widths of annual rings from opposite sides of the trunk, the presence of

reactive (compressional) wood and traumatic resin canals, the dates of death and formation of wounds in trees, the presence of clearing effects (a sharp increase in growth) in three avalanche catchments, as well as a complex dendrochronological index of the avalanche activity. The dates of releases of the powerful avalanches were established down to 1570. It has been found that against the background of increasing amount of winter precipitation in these catchments, there are different trends in occurrence of the avalanches, which is determined by their morphological properties. In the avalanche areas with steeper slopes, due to repeated unloading of the avalanche centers in winter, the probability of releasing of powerful avalanches decreases. For the same reason, the powerful avalanches do not release during the years of maximum snow accumulation. The trends in the avalanche activity in the region under consideration had been obtained for the first time. The dendrochronological index of the avalanche activity, which is the ratio of the number of the tree growth failures to the number of the examined trees, is a good indicator of a release of a powerful avalanche even at a value of 0.85, provided that the number of examined trees in the lower part of the transit zone and in the zone of accumulation is 25–35 units. The results of this study may be used to predict the territorial differentiation of changes in the avalanche activity due to climate change. In connection with the recreational development of the Altai territory, they may also be of practical importance.

**Keywords:** Northwestern Altai, Korgon, snow avalanches, woody plants, tree rings, dendrochronological index of avalanche activity

## REFERENCES

- Benkova V. E., Schweingruber F. Kh. Anatomiya drevesiny rasteniy Rossii. Anatomy of wood plants in Russia. Bern: Haupt, 2004: 465 p. [In Russian].*
- Bykov N. I. Lichenometric studies of avalanche processes in Altai. Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. News of ASU. 1999, 3 (13): 29–32 [In Russian].*
- Bykov N. I. Dendrochronology of snow avalanches and atmospheric circulation processes in the winter and transitional periods in Altai. 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 Archeology and Ethnography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2000, 2: 56–60 [In Russian].*
- Bykov N. I. Vegetation of avalanche collections of Altai and the possibilities of phytoindication of avalanche processes. Geografiya i prirodopol'zovaniye Sibiri. Geography and Nature Management of Siberia. 2013, 15: 23–31 [In Russian].*
- Bykov N. I. Avalanche collections of the river basin. Korgon (left tributary of the Charysh River) // Geografiya i prirodopol'zovaniye Sibiri, Geography and Nature Management of Siberia. 2015, 19: 25–45 [In Russian].*
- Glyatsiologicheskii slovar'. Glaciological Dictionary. Ed. V. M. Kotlyakov. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1984: 526 p. [In Russian].*
- Koroleva T. V. Assessment of snowiness and avalanche danger of Altai on a medium scale. Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye stepeni kandidata geograficheskikh nauk. Abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Geographical Sciences: Abstract. PhD-thesis. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 1993: 23 p. [In Russian].*
- Kravtsova V. I. Features of the regime of avalanche activity in the Altai according to dendrochronological observations. Fitoindikatsionnyye metody v glyatsiologii. Phytoindication methods in glaciology. Moscow: Moscow State University Publishing House. 1971: 103–123 [In Russian].*
- Nikolaeva S. A., Savchuk D. A. Evaluation of dendroindication methods for dating exogenous gravitational processes of the past in the upper reaches of the river. Aktru (Gorny Altai). Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. Proc. of the Russian Academy of Sciences. Geographic Series. 2021, 85 (3): 392–404 [In Russian].*
- Revyakin V. S., Kravtsova V. I. Snezhnyy pokrov i laviny Altaya. Snow cover and avalanches of Altai. Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 1976: 215 p. [In Russian].*
- Revyakin V. S. Prirodnyye l'dy Altaye–Sayanskoy gornoy oblasti. Natural ice of the Altai–Sayan mountain region. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1981: 288 p. [In Russian].*
- Surnakov I. V. Some results of phytoindication of nival-glacial processes in Altai. Tezisy dokladov Vsesoyuznoy konferentsii "Rol' nival'no-glyatsial'nykh obrazovaniy v dinamike gornyykh ekosistem". Abstracts of the All-Union Conference "The role of nival-glacial formations in the dynamics of mountain ecosystems". Barnaul: Barnaul: Publishing House of Altaysk State University, 1985: 35–36 [In Russian].*
- Surnakov I. V. Some information about the elements of the nival-glacial complex of the upper reaches of the Bolshoy Abakan River. Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoy*

- konferentsii "Ledniki i klimat Sibiri". Abstracts of the reports of the scientific-practical conference "Glaciers and climate of Siberia". Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 1987: 178–179 [In Russian].*
- Turmanina V. I.* Dendrochronology of avalanches in the upper reaches of the Baksan valley. *Ritmy glyatsial'nykh protsessov. Rhythms of glacial processes.* Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1979: 128–134 [In Russian].
- Germain D., Héty B., Filion L.* Tree-Ring Based Reconstruction of Past Snow Avalanche Events and Risk Assessment in Northern Gaspé Peninsula (Québec, Canada). *Tree Rings and Natural Hazards: A State-of-the-Art, Advances in Global Change Research.* 2010, 41: 51–73. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-8736-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-90-481-8736-2_5)
- Germain D.* A statistical framework for tree-ring reconstruction of high-magnitude mass movements: case study of snow avalanches in Eastern Canada. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography.* 2016, 98 (4): 303–311. <https://doi.org/10.1111/geoa.12138>
- Kaennel M., Schweingruber F. H.* Multilingual Glossary of Dendrochronology. Bern, Stuttgart, Vienna: Haupt, 1995: 467 p.
- Köse N., Aydın A., Yurtseven H., Akkemik Ü.* Using tree-ring signals and numerical model to identify the snow avalanche tracks in Kastamonu, Turkey. *Natural Hazards.* 2010, 54 (2): 435–449. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9477-x>
- Laute K., Beylich A. A.* Potential effects of climate change on future snow avalanche activity in western Norway deduced from meteorological data. *Geografiska Annaler: Ser. A. Physical Geography.* 2018, 100 (2): 163–184. <https://doi.org/10.1080/04353676.2018.1425622>
- Martin J. P., Germain D.* Can we discriminate snow avalanches from other disturbances using the spatial patterns of tree-ring response? Case studies from the Presidential Range, White Mountains, New Hampshire, United States. *Dendrochronologia.* 2016, 37: 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.12.004>
- Mundo I. A., Barrera M. D., Roig F. A.* Testing the utility of *Nothofagus pumilio* for dating a snow avalanche in Tierra del Fuego, Argentina. *Dendrochronologia.* 2007, 25 (1): 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2007.01.001>
- Perov V. F., Turmanina I., Akifeva K. V.* Indications of avalanches and mudflow by dendrochronology. *Russian Papers on Dendrochronology and Dendroclimatology* 1962, 1968, 1970, 1972. Research Laboratory for Archeology and history of Art. Oxford University, 1977: 49–51.
- Pop O. T., Munteanu A., Flaviu M., Gavrilă I. G., Timofte C., Holobacă I. H.* Tree-ring-based reconstruction of high-magnitude snow avalanches in Piatra Craiului Mountains (Southern Carpathians, Romania). *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography.* 2017, 100 (7): 1–17. <https://doi.org/10.1080/04353676.2017.1405715>
- Schweingruber F. H.* Jahrringe und Umwelt — Dendroökologie. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt fuer Wald, Schnee und Landschaft, 1993: 474 p.
- Speer J. H.* Fundamentals of Tree-Ring Research. Tucson: The University of Arizona Press, 2010: 509 p.
- Tumajer J., Treml V.* Reconstruction ability of dendrochronology in dating avalanche events in the Giant Mountains, Czech Republic. *Dendrochronologia.* 2015, 34: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.02.002>
- Zubairov B., Lentschke J., Schröder H.* Dendroclimatology in Kazakhstan. *Dendrochronologia.* 2019, 56: 125602. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.05.006>