

Часть 2.

Природные и природно-ресурсные геосистемы: типы, современное состояние и динамика

УДК 551.578.48; 551.583.4; 630*561.24; 902.674

DOI: 10.35735/9785605278788_71

МАКСИМАЛЬНЫЕ СНЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ БАССЕЙНА Р. ЧУЯ (АЛТАЙ) ПО ДАННЫМ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Быков Н.И., Рыгалова Н.В., Шигимага А.А.,

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

Аннотация: Выполнено дендрохронологическое датирование снежных лавин в 9 лавиносборах бассейна р. Чуя в пределах Айгулакского, Курайского и Северо-Чуйского хребтов Алтая. В качестве индикаторов схода лавин использованы даты образования ран и гибели деревьев, соотношение ширины годичных колец с тяговой и креновой сторон столов, нарушения структуры годичных колец, экстремальное увеличение приростов. Для более надежного датирования схода лавин использован дендрохронологический индекс лавинной активности, являющийся комплексным показателем, учитывающим различные индикаторы. Установленные годы схода максимальных лавин свидетельствуют о слабой синхронности лавинных процессов в изученных лавиносборах по причине разнообразия постоянных факторов лавинообразования.

Ключевые слова: Алтай, Чуя, снежные лавины, дендрохронологическое датирование.

MAXIMUM SNOW AVALANCHES IN THE CHUYA RIVER BASIN (ALTAI) BASED ON DENDROCHRONOLOGICAL ANALYSIS

Bykov N.I., Rygalova N.V., Shigimaga A.A.,

Institute of Water and Environmental Problems SB RAS

Abstract: Dendrochronological dating of snow avalanches in 9 avalanche paths of the Chuya River basin within the Aigulak, Kurai and North-Chuisky ridges of Altai was carried out. The dates of wound formation and tree death, the ratio of the width of annual rings on the sides of the trunk facing up and down the slope, disturbances in the structure of annual rings, and extreme increase in increments were used as avalanche indicators. For more reliable dating of avalanches, a dendrochronological index of avalanche activity was used, which is a complex indicator taking into account various indicators. The established years of maximum avalanches indicate a weak synchronicity of avalanche processes in the studied avalanche paths due to the diversity of constant avalanche formation factors.

Keywords: Altai, Chuya, snow avalanches, dendrochronological dating.

Введение. Разнообразие постоянных и переменных факторов лавинообразования способствует значительной пространственно-временной дифференциации лавиносборов по характеру лавинной активности, что затрудняет наблюдения за лавинным режимом территории, увеличивая их трудоемкость. Несмотря на то, что в последние десятилетия спутниковый мониторинг расширил возможности изучения данного природного явления, тем не менее он не исключает применения для этих целей других индикационных методов. В первую очередь это обусловлено тем, что временной промежуток между сходом максимальных лавин может быть существенно больше периода современных спутниковых наблюдений.

Одним из таких методов исследования снежных лавин выступает метод дендрохронологического датирования, который многократно использовался для этих целей в различных регионах мира [14–19, 21, 22], в том числе на Алтае [3–11, 13].

В качестве индикаторов лавин в данном случае выступают различные параметры годовых колец: ширина, плотность и анатомическая структура. Их в свою очередь используют для установления возраста деревьев и их частей, определения дат прекращения их роста, вычисления коэффициентов крени (соотношение между шириной годовых колец с креновой и тяговой сторон ствола) и датирования нарушений синхронности прироста с разных сторон ствола, фиксации эффектов осветления (резкое усиление прироста в результате ликвидации конкурирующих деревьев), выявления нарушений анатомического строения годового кольца (травматические смоляные ходы, наличие компрессионной (реактивной) древесины) [6,12].

Целью данного исследования является датирование максимальных лавин в лавиносборах бассейна р. Чуя (правый приток р. Катунь), который по условиям лавинной активности относится к Центральному району Алтая [8] и значительно отличается факторами лавинообразования от северо-западной и северо-восточной провинций Алтая.

Материалы и методы исследования. Обильные снегопады, метелевое накопление снега и перекристаллизация снежной толщи являются главными факторами лавинообразования в бассейне р. Чуя [1]. Лавины здесь имеют значительную мощность, а лавиносборы полное развитие, формируя минеральные конусы выноса. Густота лавиносборов в районе исследований составляет 3–10 на 1 км длины долины [1], а повторяемость лавин – раз в 2–3 года [8].

В бассейне р. Чуя для исследования были выбраны 9 лавиносборов, три из которых были расположены на Северо-Чуйском хребте, пять – на Курайском хребте и один – на Айгулакском хребте. В целом они репрезентативны для большей части лавиносборов бассейна р. Чуя – лавинные очаги с уклонами 28–38° (в среднем 32,0°) имеют северные и северо-западные (с азимутом 315–357°), а также юго-западные (251–258°) и юго-восточные (98–167°) экспозиции и, в единичном случае, северо-восточную (55°). Зоны отрыва снежной толщи отмечаются на высотах 1880–3065 м над уровнем моря, а нижние части зоны аккумуляции лавинных снежников находятся на высотах 1270–2130 м.

В качестве объекта исследования в лавиносборах бассейна р. Чуя преимущественно выступали деревья хвойных пород. И лишь в одном дополнительно были обследованы осины и березы. С целью датирования максимальных лавин отбор дендрохронологических образцов производился в зонах аккумуляции и нижних частях зон транзита лавиносборов. С живых деревьев осуществлялся отбор кернов с креновой и тяговой сторон ствола на уровне груди, а также у комля для определения их возраста. С мертвых деревьев, принадлежность которых к тому или иному виду устанавливалась на основании анатомического анализа древесины [2], были получены спилы. В качестве маркеров схода лавин авторы использовали даты гибели и поранения деревьев, годы нарушения синхронности прироста с тяговой и креновой сторон, соотношение прироста с креновой и тяговой сторон ствола (коэффициент крени), наличие компрессионной древесины и цепочек травматических смоляных ходов в ксилеме, эффекты осветления (резкое увеличение прироста при прореживании древостоев). В качестве интегрального показателя схода лавин в лавиносборе было использовано соотношение числа всех случаев нарушений роста деревьев в конкретном году с числом исследованных деревьев (дендрохронологический индекс лавинной активности [4]).

Измерения ширины годовых колец производились на полуавтоматической установке Lintab 6 с точностью до 0,01 мм. Стандартизация и обобщение дендрохронологических рядов осуществлялось в программе ARSTAN. Для оценки древесно-кольцевых хронологий конкретных площадок были использованы Rbar (running correlation between series of tree-ring chronologies), EPS (The Expressed Population Signal), а для обобщенных хронологий – чувствительность (mean sensitivity) [20]). Для датирования полученных хронологий использовалась программа COFECHA.

Результаты и их обсуждение. Анализ возраста живых и погибших деревьев лавиносборов показал его закономерное увеличение от лотка к древостоям за пределами лавинного прочеса. На основании данных о возрасте сделаны выводы о том, что наиболее

мощные лавины в исследованном районе сходят раз в 490–510 лет, менее мощные – в 260–285 лет, средние – в 40–145 лет.

Установлено, что механические повреждения (раны) деревьев лавиносборов в исследуемом бассейне встречаются значительно чаще, чем в Северо-Западном районе [4]. Их датировка также подтвердила не только усиление лавинной деятельности в последние 20 лет, что совпадает с общей тенденцией увеличения зимних осадков в исследуемом районе, но и выявила годы схода лавин в бассейне р. Чуя за счет перекристаллизации снежного покрова.

Определено, что индикаторы схода лавин имеют различную частоту встречаемости и значимость для датирования лавин. Так резкое увеличение прироста (эффект осветления) у деревьев лавиносборов обнаруживается очень редко. Компрессионная древесина, чаще всего, образуется у них в раннем возрасте, что, возможно, обусловлено давлением снега на растение. При этом синхронности в проявлении годичных колец с компрессионной древесиной у деревьев одного лавиносбора не обнаружено.

Цепочки травматических смоляных ходов в годичных кольцах деревьев лавиносборов встречаются значительно чаще, чем компрессионная древесина. Формируются они как с креновой, так и с тяговой сторон ствола деревьев и не зависят от возраста дерева. Синхронность в их распределении слабая как по разным лавиносборам, так по деревьям одного лавиносбора и даже по разным сторонам ствола одного дерева. В лучшем случае одновременно такие ходы обнаруживаются только у четверти исследованных деревьев в лавиносборе.

Анализ синхронности прироста с креновой и тяговой сторон стволов деревьев исследованных лавиносборов свидетельствует о том, что ее нарушение – частое явление, возникающие у деревьев один раз каждые 2–7 (в среднем 3.7) лет. Оно может продолжаться несколько лет, пока ствол не примет вертикальное положение и с возрастом дерева этот период увеличивается. В среднем такое явление отмечается у 15–20% деревьев лавиносборов. Аналогичная инерция отмечена и в значениях коэффициента крени.

При этом сходство хронологий с креновой и тяговой сторон одного ствола высокое (коэффициент корреляции в пределах 0.6–0.9). Однако оно тем меньше, чем ближе к лотку находятся деревья. Схожая ситуация отмечается и с межсерийными коэффициентами корреляции хронологий – по краю прочеса они выше, чем в зоне транзита – и с популяционным сигналом (EPS). Это дополнительно подтверждает, что деревья лавиносборов испытывают негативное воздействие лавин еще на стадии их роста.

Выявленные дендрохронологические индикаторы схода лавин использованы для расчета дендрохронологического индекса лавинной активности изученных лавиносборов – отношение числа обнаруженных в годичных кольцах маркеров схода лавин к числу исследованных деревьев. На основании расчета данного индекса установлены годы схода максимальных лавин во всех исследованных лавиносборах. Дальнейший анализ показал неравномерное распределение числа максимальных лавин как по лавиносборам, так и по столетиям в пределах одного лавиносбора. Такие лавины в среднем сходят раз в 3–5 (от 2 до 17) лет. В некоторых лавиносборах отмечается снижение лавинной деятельности, в других – ее увеличение в отдельные столетия, особенно в XIX и XX веках.

Синхронность максимальных лавин по различным лавиносборам невысокая. На нее, в первую очередь, влияет сходство постоянных факторов лавинообразования, прежде всего, высота лавинного очага, его экспозиция и уклон. Во вторую очередь синхронность определяется близостью лавиносборов.

Выводы.

Дендрохронологический анализ позволяет датировать годы схода максимальных снежных лавин в конкретных лавиносборах и на основании сравнительно-географического анализа установить причины различий их лавинной активности. В бассейне р. Чуя вследствие разнообразия постоянных факторов лавинообразования отмечается слабая синхронность схода максимальных лавин. В связи с изменениями климата, то есть переменных факторов лавинообразования, следует ожидать, что изменение лавинной активности здесь также будет

несинхронным. Это потребует более внимательного отношения к данному природному явлению, поскольку в настоящее время происходит активное рекреационное освоение исследуемой территории, что увеличивает риски для хозяйственной деятельности.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00123 «Реакция лавиносборов внутриконтинентальной горной области на изменения климата», <https://rscf.ru/project/24-27-00123/>

Литература

1. Алтайский край. Атлас (2 томах) Т. 1. – Москва, Барнаул, Barnaul, 1978. – 222 с.
2. Бенькова В.Е., Швейнгрубер Ф.Х. Анатомия древесины растений России. – Берн: Хаупт, 2004. – 465 с.
3. 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 Института археологии и этнографии СО РАН. – 2000. – Вып. 2. – С. 56–60.
4. Быков Н.И., Рыгалов Е.В., Шигимага А.А. Дендрохронологический анализ хвойных пород в лавиносборах Северо-Западного Алтая (бассейн р. Коргон) // Лёд и снег. – 2024. – Т. 64. – № 1. – с. 81–95. DOI: 10.31857/S2076673424010066
5. Королева Т.В. Оценка снежности и лавинной опасности Алтая в среднем масштабе: Автореф. Дис...канд. географ. наук. – М., 1993. – 23 с.
6. Кравцова В.И. Особенности режима лавинной деятельности на Алтае по данным дендрохронологических наблюдений // Фитоиндикационные методы в гляциологии. – М.: Изд-во Моск. Гос. Ун-та, 1971. – С.103–123.
7. Николаева С. А., Савчук Д. А. Оценка методов дендроиндикации при датировании экзогенных гравитационных процессов прошлого в верховьях р. Актру (Горный Алтай) // Известия РАН. Серия географическая, 2021. – Т. 85. – № 3. – С. 392–404.
8. Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. – Томск: Изд-во Томск. Гос. Ун-та, 1977. – 215 с.
9. Ревякин В.С. Природные льды Алтае-Саянской горной области. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 288 с.
10. Сурнаков И.В. Некоторые результаты фитоиндикации нивально-гляциальных процессов на Алтае // Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Роль нивально-гляциальных образований в динамике горных экосистем». – Барнаул: Изд-во Алтайск. Гос. Ун-та, 1985. – С. 35–36.
11. Сурнаков И.В. Некоторые сведения об элементах нивально-гляциального комплекса верховьев реки Большой Абакан // Тезисы докладов научно-практической конференции «Ледники и климат Сибири». – Томск: Изд-во Томск. Гос. Ун-та, 1987. – С. 178–179.
12. Турманина В.И. Дендрохронология лавин в верховьях Баксанской долины // Ритмы гляциальных процессов. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – С. 128–134.
13. Bykov N.I., Rygalova N.V., Shigimaga A.A. Dendrochronological analysis of coniferous trees in avalanche paths of Central Altai (Chuya River basin) // Acta Biologica Sibirica. – 2024. – №10. – p. 1401–1418. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14263406>
14. Germain D., Hétu 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. Doi: 10.1007/978-90-481-8736-2_5.
15. Germain D. A statistical framework for treering 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. Doi:10.1111/geoa.12138.

16. 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. Doi: 10.1080/04353676.2018.1425622.
17. 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. Doi.org/10.1016/j.dendro.2015.12.004.
18. 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. Doi.org/10.1016/j.dendro.2007.01.001.
19. Pop O.T., Munteanu A., Flaviu M., Gavrilă I.-G., Timofte C., Holobacă I.-H. Tree-ring-based reconstruction of highmagnitude snow avalanches in Piatra Craiului Mountains (Southern Carpathians, Romania) // *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. – 2017. –V.100. – №7. – P.1–17. Doi:10.1080/04353676.2017.1405715.
20. Speer J.H. *Fundamentals of Tree-Ring Research*. – Tucson: The University of Arizona Press, 2010. – 509 p.
21. Tumajer J., Treml V. Reconstruction ability of dendrochronology in dating avalanche events in the Giant Mountains, Czech Republic // *Dendrochronologia*. – 2015. – V.34. – P. 1–9. Doi.org/10.1016/j.dendro.2015.02.002
22. Zubairov B., Lentschke J., Schröder H. Dendroclimatology in Kazakhstan // *Dendrochronologia*, – 2019. – V.56. Article 125602. Doi.org/10.1016/j.dendro.2019.05.006.