

Научная статья

УДК 551.583.4: 551.324.63: 551.332.24

doi: 10.17223/25421379/27/11

## ДЕНДРОИНДИКАЦИЯ ПРОШЛЫХ ПРИРОДНЫХ СОБЫТИЙ НА ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ДОЛИННОГО ЗАНДРА АКТРУ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)



Дмитрий Анатольевич Савчук<sup>1</sup>, Светлана Александровна Николаева<sup>2</sup>,  
Александр Сергеевич Кузнецов<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> *Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия*

<sup>1</sup> *savchuk@imces.ru*

<sup>2</sup> *sanikoll@rambler.ru*

<sup>3</sup> *kas.sgs@mail.ru*

**Аннотация.** Описаны действующие на флювиогляциальных отложениях долинного зандра Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай) факторы (погодно-климатические, гляцио-гидрологические, криогенные), дендроиндикационные маркеры событий (травмы, тангенциальные ряды травматических смоляных ходов, выпавшие кольца, резкие и (или) существенные изменения радиального прироста), выявлены, идентифицированы и датированы прошлые природные события.

**Ключевые слова:** флювиогляциальные отложения, дендроиндикация, радиальный прирост, травма, травматические смоляные ходы, паводок, наледь, лиственница, Алтай.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность д-ру биол. наук Е.Е. Тимошок, канд. биол. наук М.Н. Беловой, Р.Ф. Фахрутдинову за сведения о наледях, канд. биол. наук А.Ю. Бочарову за предоставление данных по радиальному приросту, канд. геогр. наук А.В. Хону за спил лиственницы на флювиогляциальных отложениях, канд. геогр. наук С.Г. Копысову за реконструированные данные по температуре и осадкам по ГМС Актру за 1939–2020 гг., полученные с помощью Уникальной научной установки «Система экспериментальных баз, расположенных вдоль широтного градиента» НИ ТГУ при финансовой поддержке Минобрнауки России (RF-2296.61321X0043, 13.УНУ.21.0005, договор № 075-15-2021-672). Также выражаем благодарность анонимному рецензенту за очень тщательный и внимательный разбор статьи, что, несомненно, способствовало ее улучшению.

**Источник финансирования:** исследование выполнялось в рамках госбюджетной темы № 121031300226–5, FWRG–2021–0003.

**Для цитирования:** Савчук Д.А., Николаева С.А., Кузнецов А.С. Дендроиндикация прошлых природных событий на флювиогляциальных отложениях долинного зандра Актру (Горный Алтай) // Геосферные исследования. 2023. № 2. С. 155–171. doi: 10.17223/25421379/27/11

Original article

doi: 10.17223/25421379/27/11

## DENDROINDICATION OF PAST EVENTS ON FLUVIOGLACIAL DEPOSITS OF THE AKTRU OUTWASH PLAIN (THE ALTAI MOUNTAINS)

Dmitry A. Savchuk<sup>1</sup>, Svetlana A. Nikolaeva<sup>2</sup>, Aleksandr S. Kuznetsov<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> *Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia*

<sup>1</sup> *savchuk@imces.ru*

<sup>2</sup> *sanikoll@rambler.ru*

<sup>3</sup> *kas.sgs@mail.ru*

**Abstract.** A complex of climatic, glacio-hydrological and cryogenic factors affects on the fluvio-glacial deposits of the Aktru valley outwash plain (the Severo-Chuisky Range, the Russian Altai Mountains). Instrumental recording of their parameters was carried out either regularly but limited in time or fragmentarily. Dendrogeomorphological methods are therefore more effective for identifying and dating events. The aim of the study is to assess the possibilities of dendroindication of past natural events on the Aktru outwash plain during the 20th and early 21st centuries.

The following event dendroindicators were identified: mechanical injury of the trunk (injury dendroindication), tangential rows of traumatic resin dusts, wood fluctuations (anatomical dendroindication), abrupt and/or significant changes in radial in-

crement indices calculated using two normalized growth indices, and missing tree-rings (radial increment dendroindication). 14 injuries, 70 traumatic resin dusts, 1 wood fluctuation, 20 abrupt and/or significant changes in radial increment indices, 9 missing tree rings were found on 122 increment cores and cross-sections of 50 Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.), 7 Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) and 2 Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) trees on 4 outwash plain sections. The reference chronology included 16 larch trees.

Using the dendroindicators (decrease in the radial increment indices including the missing tree-rings and wood fluctuations), known for Altai the cold summers and extreme climatic events in 1927, 1958, 1961 were confirmed frost was recorded in 1946 for the Aktru river valley.

Injuries to the tree trunk (scars from them are localized at the early earlywood) and changes in the tree-ring structure (formation of tangential rows of the traumatic resin dusts in early wood) indicate icing and a significant and abrupt decrease in the radial increment indices do floods indirectly through erosion and accumulation of material near tree trunks. The direct impact of the material transported by water and long-term flooding of trees were not found but the formation of the traumatic resin dusts in latewood indirectly indicates such impact. An analysis of the occurrence of dendroindicators by outwash plain sections and the location of injuries and the traumatic resin dusts in a tree-ring suggests that cryogenic factors (icing) affect mainly at the beginning of flat section, glacio-hydrological factors (floods) do at middle section and both the factors do at upper section and the end of flat section of the outwash plain. On the Aktru outwash plain, the events of the following years are reliably dated: 2008 (icing and flood), 2004 (icing and flood), 2000, 1999, 1998 (icing), 1985 (cold and humid summer), 1967–1978 (8-year period from repeated floods), 1959–1963 (5-year period with repeated floods). Another 18 icing and 7 floods are less reliably dated due to the poor representation of the dendroindicators.

**Keywords:** *fluvioglacial deposits, dendroindication, tree ring width, injury, traumatic resin dusts, floods, icing, larch, Altai*

**Acknowledgements.** We thank Dr. E.E. Timoshok, Dr. M.N. Beloba, and R.F. Fakhrutdinov for the information on icing, Dr. A.Yu. Bocharov for the tree-ring width data, Dr. A.V. Khon for the larch cross-section on fluvioglacial deposits, and Dr. S.G. Kopysov for the reconstructing temperature and precipitation data of the Aktru weather station (1939–2020) carried out by using the equipment of the Unique Research Installation “System of experimental bases located along the latitudinal gradient” TSU with financial support from the Ministry of Education and Science of Russia (RF-2296.61321X0043, 13.УНУ.21.0005, agreement No. 075-15-2021-672). We also thank anonymous reviewer for very careful and attentive analysis of the article improving it without doubt.

**Source of financing:** The study was supported by budget theme No. 121031300226–5, FWRG–2021–0003.

**For citation:** Savchuk D.A., Nikolaeva S.A., Kuznetsov A.S. (2023) Dendroindication of past events on fluvioglacial deposits of the Aktru outwash plain (the Altai Mountains). *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 2. pp. 155–171. doi: 10.17223/25421379/27/11

## Введение

Флювиогляциальные (или водно-ледниковые) отложения представляют собой песчано-галечниковые наносы, принесенные потоками талых ледниковых вод, которые формируют задровую поверхность в пределах дна долины. На этих отложениях, в том числе в Горном Алтае, действуют различные природные факторы: погодно-климатические [Овчинников, 2011; Баринов и др., 2016], гляцио-гидрологические и криогенные [Душкин, 1976; Душкин, Мерзляков, 1976; Нарожный, 1997, 2001]. Два последних, в свою очередь, сами являются климатозависимыми. Такие отложения постепенно заселяются древесной растительностью [Hurr et al., 2016], на которую эти факторы также влияют.

На флювиогляциальных отложениях нередко, как, например, в долине р. Актру, инструментальная фиксация параметров природной среды осуществлялась регулярно, но ограничено по времени (погода на ГМС Актру в 1958–1994 гг.). Также имеются сведения о наледях [Душкин, Мерзляков, 1976; Нарожный, 1997], паводках [Нарожный, 2001; Паромов и др., 2018], прорывах ледниковых озер [Душкин, 1976; Нарожный,

2001]. Для всего горно-ледникового бассейна Актру реконструированы раннелетняя температура [Овчинников, 2004; Timoshok et al., 2016], баланс ледника Малый Актру и его составляющих (абляция, аккумуляция) [Нарожный, 2001; Овчинников, 2004; Паромов и др., 2018]. Кроме того, на флювиогляциальных отложениях выделены три зоны с различным гидрологическим и криогенным режимом по данным фитоиндикации [Timoshok et al., 2020], а в средней зоне установлен факт активизации аккумулятивных процессов в отдельные годы по данным дендроиндикации [Кузнецов, Поздняков, 2012].

Таким образом, информация о природных процессах и событиях представлена: (1) единичными или отрывочными прямыми наблюдениями (образование наледей, прохождение паводков и т.п.) на флювиогляциальных отложениях и (2) непрерывными прямыми (температура, осадки) и реконструированными (температура, баланс ледника) погодичными данными для всего горно-ледникового бассейна Актру. Поэтому возникает необходимость в получении новой информации для построения хронологии прошлых природных событий на флювиогляциальных отложениях долинного задрва Актру.

При недостатке или отсутствии прямых наблюдений за параметрами среды применяются косвенные методы их выявления и датирования, среди которых перспективны методы дендроиндикации. В основе дендроиндикационного исследования лежит использование маркеров прошлых природных событий (в первую очередь, изменения размера и анатомической структуры годичных колец деревьев) и точная привязка этих маркеров к конкретному году [Шиятов и др., 2000; Николаева, Савчук, 2021]. Следует отметить, что дендроиндикационные исследования таких природных явлений немногочисленны и обычно сосредоточены на изучении одного преобладающего, например, на датировании только наводнений, паводков [Ballesteros-Canovas et al., 2015; Mekko et al., 2020] или только наледей [Николаев, 2010; Поморцев и др., 2017]. При этом используемые дендроиндикационные маркеры будут однозначно указывать на изучаемый процесс. На долинном зандре Актру наблюдается совместное действие как минимум двух процессов – паводков и наледообразования. Данное обстоятельство затрудняет выявление и датирование событий методами дендроиндикации, поскольку возникает проблема идентификации используемых маркеров как индикаторов определенных природных событий в прошлом.

Цель работы – оценить возможности дендроиндикации прошлых природных событий на флювиогляциальных отложениях долинного зандра Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай). При этом будут (1) описаны основные внешние факторы и связанные с ними известные события, показано их влияние на деревья, (2) рассмотрены особенности использования дендроиндикационных маркеров, (3) идентифицированы факторы и датированы некоторые события в прошлом. Временные рамки нашего исследования ограничены XX и началом XXI в.

### Материалы и методы

Долина р. Актру расположена на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай). Дно долины представляет собой относительно ровную поверхность, по которой протекает река. Общая протяженность исследуемой территории от конечных морен долинного ледника Малый Актру до замыкающего створа составляет около 5 км. Питание реки – ледниковое, вклад дождей незначителен [Душкин, 1976; Вершинин и др., 2014]. Климат долины, по данным ГМС Актру (50°04' с.ш., 87°45' в.д.), располагавшейся на флювиогляциальных отложениях на высоте 2 150 м над ур.м., характеризуется низкими среднегодовыми (–4,7°C) и летними среднемесячными (7,6–9,5 °C в июне–августе) температурами

воздуха и умеренным (539 мм в год, 65,8–88,7 мм в июне–августе) количеством выпадающих осадков.

В геоморфологическом плане исследуемая территория представляет собой типичный долинный зандр (далее – зандр). Основное участие в формировании рельефа дна долины принимают талые ледниковые воды, которые на верхнем участке зандра сконцентрированы в русловом потоке реки. Переносимый водным потоком материал заполнил дно долины от конечно-моренного комплекса ледника Малый Актру флювиогляциальными отложениями песчано-галечниковой размерности с включением валунов. В верхней части долины на периодически затопляемых берегах создаются условия для развития лесной растительности. При выходе к центральному участку река начинает меандрировать и разбиваться на несколько крупных рукавов, что свидетельствует о снижении живой силы потока. Поэтому в средней и нижней частях долины формируется многорукавная пойма. В центральной части поперечный профиль долины имеет вид выпуклой кривой с уменьшением высоты от центра к склонам долины. Такой вид профиля обусловлен наследованием топографической поверхности основной морены древнего ледника и участком разгрузки руслового потока от влекомого и переносимого водой материала. Здесь русло бифуркирует, образовавшиеся два основных потока прижимаются к периферийным участкам поймы, а центральную часть прорезает множество мелких потоков, функционирующих только при высоких уровнях воды в р. Актру (июль–август). На незатопляемых участках в центральной части зандра создаются условия для почвообразования и колонизации растительностью, а также развития микроландшафтов и формирования своеобразных экосистем ледниковых рек [Davydov, Timoshok, 2010; Вершинин и др., 2014; Hedding et al., 2020].

На флювиогляциальных отложениях из деревьев произрастают в основном лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), реже кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour), единично отмечена ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.). Они образуют лесные сообщества, а также встречаются группами и одиночно.

Поскольку дендроиндикация прошлых событий проводится по деревьям, их наличие определило выбор ряда пробных площадей (П) и трансект (Тр) (рис. 1, табл. 1). В верхней части зандра недалеко от морен ледника Малый Актру заложена трансекта (Тр–Ф). Она представляет собой цепочку из трех участков: с одиночными молодыми деревьями лиственниц, их группами и небольшим массивом сомкнутого молодого леса. Трансекта тянется узкой полосой по левому берегу параллельно руслу. Ниже по течению на том же берегу, в начале выровненного галечникового участка

зандра, расположен сомкнутый зрелый лиственничник с участием кедра (П-12), по краю которого протекает ручей шириной 1–4 м. Еще ниже по течению, в конце

этого же участка, растет молодой лиственничник (П-9) с протекающими через него ручьями, параллельными основному руслу.

Таблица 1

**Краткая характеристика пробных площадей и трансект на флювиогляциальных отложениях долинного зандра Актру и собранного материала**

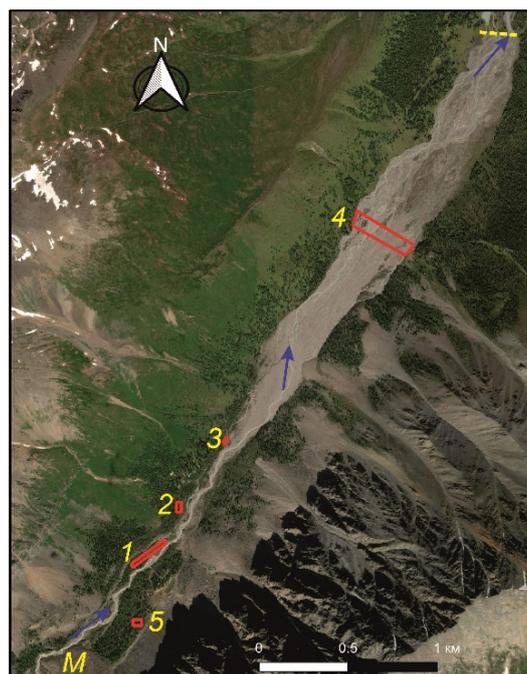
Table 1

**Brief characteristics of the sample areas and transects on fluvio-glacial deposits of the Aktru outwash plain and of the material**

№. П / Тр	Местоположение участков в долине	Древостой	Год сбора материала	Возраст* деревьев, лет	Количество модельных деревьев	Количество измеренных радиусов
1. Тр-Ф	Верхняя часть зандра недалеко от морен ледника Малый Актру	Одиночно, группами и небольшой массив молодого лиственничника	2011	30–80	17 (Л)	31
2. П-12	Начало выровненного участка зандра	Сомкнутый зрелый лиственничный с участием кедра	2003, 2015	90–200	19 (Л) 7 (К) 1 (Е)	55
3. П-9	Конец выровненного участка зандра	Молодой лиственничный	2002, 2006	80–90	8 (Л)	15+9**
4. Тр-П	Широкая средняя часть зандра	Лиственницы одиночно и группами	2009	60–200	6 (Л) 1 (Е)	12
5. П-4л (контроль)	Ледниковая морена вне поймы	Сомкнутый старый кедрово-лиственничный	2006, 2018	280–530	16 (Л)	33

*Примечание.* П – пробная площадь, Тр – трансекта, \* возраст приведен на год сбора материала. \*\* измерено на двух спилах. Л – лиственница, К – кедр, Е – ель.

*Note.* П – sample area, Тр – transect, \* age is given for the year of material collection. \*\* measured on two cross-sections. Л – larch, К – Siberian stone pine, Е – spruce.



**Рис. 1. Расположение пробных площадей (П) и трансект (Тр) на флювиогляциальных отложениях долинного зандра Актру**

Участки зандра: 1 – верхняя часть (Тр-Ф), 2 – начало (П-12) и 3 – конец (П-9) выровненного участка, 4 – средняя часть (Тр-П). Контрольный участок: 5 – ледниковая морена вне поймы (П-4л). М – морена. Стрелками обозначено направление течения реки, пунктирной линией – граница зандра (замыкающий створ)

**Fig. 1. Location of the sampling areas (П) and transects (Тр) on fluvio-glacial deposits of the Aktru outwash plain**

The outwash plain: 1 – upper section (Тр-Ф), 2 – beginning (П-12) and 3 – end (П-9) of flat section, 4 – middle section (Тр-П). Control site 5 is glacier moraine outside the floodplain (П-4л). М is moraine. The river flow direction is indicated by arrows. The border of the outwash plain is indicated by the dotted line

Питание этих ручьев осуществляется за счет стока талых мерзлотных вод со склона. Оба листовничника находятся сравнительно далеко от основного русла реки. Замыкает ряд трансекта (Тр-П), расположенная перпендикулярно руслу в наиболее широкой средней части зандра, где река разветвляется на многочисленные рукава. Трансекта представлена рядом небольших «островов», на которых произрастают деревья разного возраста одиночно и группами. Далее в нижней части зандра до створа дерева практически отсутствуют. На ледниковой морене правого берега реки вне влияния гидрологических, криогенных и экзогенных гравитационных процессов расположен старый кедрово-лиственничный лес (П-4л), деревья листовнички из которого служили контролем.

Для дендроиндикации природных процессов на флювиогляциальных отложениях оказались пригодны деревья листовнички и ели, непригодны – кедр из-за отсутствия маркеров событий и невысокой синхронности рядов его прироста. Поскольку данная территория имеет научную и природную ценность и на ней поддерживается режим близкий к заповедному, то у каждого модельного дерева буровом брались только керны на высоте максимально близкой к поверхности отложений (до 20 см). С трех листовничек взяты спилы. Всего (без контроля) собрано 122 древесных образца с 50 листовничек, 7 кедров и 2 елей (см. табл. 1).

Ширина годичных колец (радиальный прирост) на древесных образцах измерялась на полуавтоматическом измерительном комплексе LINTAB-6 с точностью 0,01 мм. Полученные индивидуальные ряды ширины колец по каждому радиусу дерева перекрестно датировались между собой и контрольной хронологией [Шиятов и др., 2000] для точного определения года формирования каждого годичного кольца и привязки к нему дендроиндикационных маркеров.

Все индивидуальные ряды радиального прироста стандартизировались, при этом получались стандартные и остаточные серии индексов ширины колец. В первом случае с помощью сплайн-функции (окно сплайна 67 % от длины ряда, 50 %-й уровень подавления дисперсии) убирался возрастной тренд, но сохранялись индивидуальные особенности роста дерева, во втором – путем моделирования авторегрессии устранялась автокорреляционная составляющая и усиливался климатический сигнал. Обе процедуры выполнялись при помощи программы CRONOL [Holmes, 1992]. В дальнейшем использовались индивидуальные серии стандартных индексов прироста по каждому радиусу дерева отдельно и обобщенные хронологии для древостоев, а также хронология остаточных индексов контрольных де-

ревьев. При этом не учитывались кольца, расположенные около сердцевины и внутренних дефектов древесины.

Из множества дендроиндикационных маркеров (см. обзоры: [Ballesteros-Canovas et al., 2015; Hupp et al., 2016]), по которым можно датировать прошлые события вблизи водных потоков, на исследуемой территории оказались пригодны только некоторые из них. Это – механические травмы древесины ствола (травматическая дендроиндикация), значительные и (или) резкие изменения индексов радиального прироста, выпадающие годичные кольца (дендрометрическая) и тангенциальные ряды травматических смоляных ходов в кольце (анатомическая). Все они отмечались на собранных древесных образцах.

При дендрометрической индикации вычислялись два нормированных показателя прироста, которые являлись частными от деления относительных величин прироста модельных и контрольных деревьев. У первого показателя в числителе и знаменателе находились величины индексов [Kogelnig-Mayer et al., 2011], у второго – частные от деления индексов соседних лет [Николаева, Савчук, 2021]. В полученных показателях максимально устраняется климатическая компонента, но сохраняются особенности роста деревьев. В целом первый показатель отражает существенные (ниже/выше определенного эмпирически установленного уровня) изменения величины индексов прироста, а второй – резкость их изменений. Иными словами, эти показатели позволяют выявлять годы не с прямым влиянием климата на прирост деревьев, а с воздействием иных внешних природных факторов.

Другие маркеры нарушений преимущественно используются для датирования затоплений разного характера. Это (1) аномальная морфология наземных частей дерева, вызванная повреждением терминальных почек, (2) наклоненные и (или) изогнутые стволы, которые часто формируют реакционную древесину и (или) имеют эксцентричный рост ствола, (3) оголенные корни деревьев, растущих в условиях кратковременных затоплений на берегу или на «острове» реки, (4) стоячие мертвые деревья и анатомические аномалии в годичных кольцах, которые вызваны длительным затоплением или постоянным произрастанием в воде [Ballesteros-Canovas et al., 2015; Hupp et al., 2016]. Использование этих маркеров для датирования событий на флювиогляциальных отложениях зандра Актру оказалось затруднительно по нескольким причинам. Многие молодые листовнички на открытых галечниковых участках имеют малый возраст, аномальную морфологию стволика и кроны, а из-за очень малой ширины годичных колец и нечеткой границы между ними из-

мерение таких колец сильно затруднено. Деревья с вышеперечисленными внешними нарушениями встречались единично или отсутствовали.

Для идентификации и подтверждения прошлых природных событий, выявленных с помощью дендроиндикации, привлекались свидетельства очевидцев и собственные полевые наблюдения, информация из сети Интернет, литературные источники, а также реконструированные ряды среднесуточной и среднемесячной температуры и соответствующих сумм осадков по ГМС Актру за 1939–2020 гг.

### Результаты и их обсуждение

В этом разделе (1) рассмотрены известные прошлые климатические, гляциогидрологические и криогенные события на флювиогляциальных отложениях зандра Актру, (2) описаны дендроиндикационные маркеры таких событий и (3) приведены результаты дендроиндикации прошлых природных событий за последние 120 лет. Факторы с точки зрения отклика деревьев были условно разделены на две группы: (1) климатические факторы, прежде всего, температура и осадки (события – холодное лето, заморозки и т.п.); (2) факторы неклиматической природы, к которым были отнесены гляцио-гидрологические (паводки и т.п.) и криогенные (наледи). Они оказывают физико-механическое воздействие. При этом учитывалось, что в первом случае климат влияет на рост деревьев напрямую, во втором – опосредованно, а гляцио-гидрологические и криогенные факторы становятся ведущими.

**Известные прошлые природные события на флювиогляциальных отложениях, их влияние на древесную растительность.** В горно-ледниковом бассейне Актру основным лимитирующим рост деревьев фактором является климатический, главным образом раннелетняя температура [Овчинников, 2004; Timoshok et al., 2016]. Холодное лето, выявленное по минимальным значениям прироста лиственницы на верхней границе леса Северо-Чуйского и других соседних хребтов, зафиксировано в 1911, 1927, 1958, 1961, 1967, 1993 гг. [Овчинников, 2011]. Экстремальные климатические события в Горном Алтае, определенные по анатомическим нарушениям структуры колец, отмечены в 1910, 1917, 1927, 1938, 1958, 1961 гг. [Баринов и др., 2016]. В верховьях р. Актру годы, общие для холодного лета и экстремальных событий (1927, 1958, 1961), совпадают с годами низких значений прироста контрольной хронологии.

Одними из опасных для деревьев событий являются пониженные до экстремально низких значений температуры после продолжительного периода по-

вышенных, т.е. летние заморозки. По метеоданным за 1950–2020 гг., заморозки в период наиболее активного роста деревьев (вторая половина июня – первая половина августа) были в 1951–1958, 1960–1963, 1966–1969, 1971–1972, 1997, 1999, 2003–2004, 2007, 2009–2011, 2019 гг. Наши наблюдения и анализ метеоданных показали, что весь июнь 2011 г. был благоприятен для роста побегов молодых лиственниц на флювиогляциальных отложениях. К 4 июля, когда был заморозок (среднесуточная температура 0,1 °С), терминальные побеги достигли значительной длины, но еще не одревеснели. При обследовании деревьев 21 июля обнаружено массовое пожелтение их привершинных частей. Через год, 23 июля 2012 г., прошлогодние побеги с хвоей в верхней части кроны имели вид засохших крючков коричневого цвета. Погибшая часть побега составляла от 50 до 100 % его длины. Аналогичное явление, но в значительно меньших масштабах, наблюдалось на нижних ветвях деревьев, произрастающих в нижних частях склонов. Сходное повреждение побегов отмечалось также в 2019 г. (среднесуточная температура в этом году опустилась до 0,9 °С 25 июня).

Специфические явления для зандра – периоды повышенной водности реки и паводки (гляцио-гидрологический фактор). Их причинами были прорыв ледниковых вод, интенсивное таяние ледников, дожди [Душкин, 1976; Васильев, Гонохова, 1978; Нарожный, 2001]. В долинах Северо-Чуйского хребта прорывы ледниковых вод и соответствующие им паводки в годы исследований во второй половине XX в. наблюдались ежегодно и обычно были невелики по размерам. Прорывы ледниковых озер у долинных ледников Правый и Левый Актру отмечались в 1967, 1968, 1969 [Душкин, 1976], 1978, 1982, 1991 гг. [Нарожный, 2001]. При этом деформировалось русло реки, менялся ее гидрологический режим, а средняя широкая часть зандра служила областью разгрузки переносимого материала. В отдельные годы эти явления носили катастрофический характер. В середине июня 1969 г. произошел прорыв ледникового озера объемом 0,5 млн м<sup>3</sup>, водная масса которого была сброшена за 20 ч. Расход воды в реке в это время оценивался в 24 м<sup>3</sup>/с при обычной средней величине в 5–7 м<sup>3</sup>/с. Избыток воды, насыщенный влекомым материалом, достиг зандра, река образовала дополнительные непостоянные рукава [Лупина и др., 1976; Душкин, 1976]. В июле 1978 г. был прорыв озера объемом 1,1 млн м<sup>3</sup>, а паводок длился 7 часов [Нарожный, 2001].

За период инструментальных наблюдений за ледником Малый Актру (1962–2013 гг.) выделено три периода изменений его баланса: слабо отрицательный (1962–1985 гг.), слабо положительный (1986–

1995 г.), резко отрицательный (1996–2013 гг.). Наиболее интенсивная его абляция (+159–208 см в.э.) и соответственно резко отрицательный баланс ледника пришлились на 1974, 1998, 2008, 2012 гг. [Паромов и др., 2018]. Как правило, такое таяние ледника и вызванная им повышенная водность реки и паводки связаны с теплой солнечной погодой, как, например, в августе 1962 г. и июле 1974 г. [Васильев, Гонохова, 1978; Вершинин и др., 2014]. По метеоданным, в эти годы летние периоды с высокими среднесуточными температурами (до 16–20 °С) без осадков составляли не менее 9–12 дней подряд.

Продолжительные обложные и (или) ливневые дожди, которые вызвали паводки, например, были в июле 1962 и 2012 гг. Максимальный расход воды составлял 11 и 14 м<sup>3</sup>/с соответственно. В русло реки поступало большое количество мелкообломочного материала [Вершинин и др., 2014]. Аналогичный паводок был в июле 1969 г. [Лупина и др., 1976]. Очень крупный дождевой паводок отмечен в Горном Алтае в начале июня 2014 г. [Робертус и др., 2015]. По нашим наблюдениям, в 2012 г. в период повышенной водности р. Актру на поверхности зандра отмечалось образование новых микрорусел.

Установлено, что паводки являются препятствием для заселения флювиогляциальных отложений растительностью [Hupp et al., 2016; Timoshok et al., 2020]. Влияние паводков на деревья, растущие вдоль русла реки (выше Тр–Ф), проявлялось в эрозии субстрата, оголении корней и падении их в воду. В средней части зандра (Тр–П) отмечено отложение наносов [Кузнецов, Поздняков, 2012] у оснований стволов деревьев, величина которых на момент обследования составляла 18–65 см. На участке зандра, расположенного вдали от основного русла реки (П–12), явления такого плана не обнаружены.

Таким образом, паводки способствуют миграции основного русла и (или) образованию новых рукавов реки. Геоморфологические последствия частой смены в пространстве и во времени водных эрозионно-аккумулятивных процессов выражаются в бифуркации русловых потоков, что способствует неравномерному распределению флювиогляциальных отложений и формированию в центральной части зандра Актру области разгрузки водного потока, где происходит переотложение влекомого и размываемого материала с развитием пойменной многорукавности. Более крупный материал переносится в основном русле, где сохраняется высокая живая сила потока, и, таким образом, практически не оказывает механического воздействия на стволы деревьев. Материал мелкой размерности, переносимый преимущественно во взвешенном состоянии многочисленными протоками, аккумулируется по всей поверхности

зандра, в том числе и в прикорневой части стволов деревьев и, по-видимому, также не оказывает механического воздействия на них.

Характерное явление для зандра Актру – образование наледей (криогенный фактор). Здесь среди наземных наледей выделяют речные, грунтовых вод флювиогляциальных отложений дна долины и грунтовых вод склонов. В годы исследований во второй половине XX в. их образование отмечалось практически ежегодно (1959–1962, 1968, 1978, 1980–1991 гг.), но разного размера. В отдельные годы наледи разных видов могут перекрывать друг друга и практически полностью заполнять дно долины, образуя обширное наледное поле. Например, зимой 1967–1968 гг. образовалась смешанная наледь длиной около 7 км при ширине 200–350 м и толщине 1,7 м [Душкин, Мерзляков, 1976; Нарожный, 1997]. В начале XXI в. в Кош-Агачском районе, территориально близком к Актру, наиболее интенсивно наледи образовывались в 2000, 2004, 2006 и 2008 гг. [Достовалова, Шитов, 2011]. В долине р. Актру, по свидетельствам очевидцев и нашим наблюдениям, наледи не отмечены в 2010, 2017 гг., но фиксировались в 2001, 2005, 2008, 2012, 2020, 2021 гг. и были относительно крупными в 1996, 2003, 2015, 2018 гг.

Наледеобразование обусловлено гидрологическими и (или) климатическими режимами года. При этом наибольших размеров наледи обычно достигают в малоснежные и холодные зимы [Душкин, Мерзляков, 1976; Достовалова, Шитов, 2011; Поморцев и др., 2017]. Зимой 2003–2004 гг. формирование наледей было обусловлено изменением гидрогеологического режима грунтовых вод из-за Чуйского землетрясения 27 сентября 2003 г. и последовавшего за ним афтершокового процесса [Достовалова, Шитов, 2011].

Наледи влияют как на размещение древесной растительности, так и на рост деревьев. Так, на зандре Актру лиственничники с полосами кустарников сохраняются по периферии наледных полей, где мощность наледи невелика [Timoshok et al., 2020]. Судя по расположению разных типов наледей [Нарожный, 1997], большая часть выровненного участка зандра (П–12 и П–9) находится в зоне воздействия наледей грунтовых вод склонов, его верхняя часть (Тр–Ф) – наледей речных и грунтовых вод склонов, а широкая средняя часть (Тр–П) – наледей речных и грунтовых вод флювиогляциальных отложений дна долины. По свидетельствам очевидцев и нашим наблюдениям, в конце выровненного участка зандра (П–9) наледь толщиной 20 см зафиксирована в 2003 г. и отсутствовала в 2012 г. В начале выровненного участка зандра (П–12) наледь толщиной до 40 см отмечена в 2021 г. Обе наледи не привели к видимым повреждениям стволов деревьев. По ис-

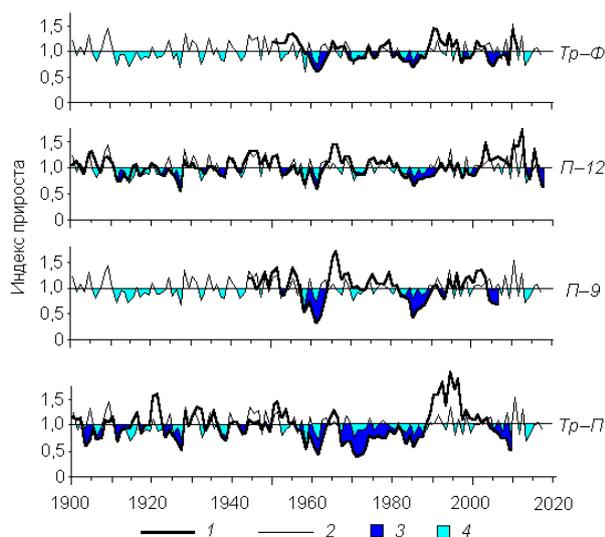
следованиям на северо-востоке России [Николаев, 2010; Поморцев и др., 2017] при увеличении размеров наледного поля и при уменьшении расстояния от деревьев до него прирост деревьев снижается.

Таким образом, все эти факторы прямо или косвенно влияют на рост деревьев, а гляциогеографические и криогенные – еще и на их пространственное размещение. При этом на отложениях зандра Актру два последних фактора действуют совместно.

**Обобщенные хронологии индексов радиального прироста.** Стандартные хронологии прироста деревьев, полученные для разных участков зандра Актру, существенно отличаются от остаточной контрольной хронологии на отдельных временных интервалах (рис. 2), особенно в средней части зандра (П–9, Тр–П). Это свидетельствует о том, что в отдельные периоды на прирост деревьев на этих участках действовали факторы неклиматической природы. Аналогичные результаты получены при изучении прироста хвойных деревьев на пойменных участках Хакасии [Бабушкина и др., 2011].

Хронологии прироста деревьев зандра Актру за 1950–2000 гг. ( $n = 51$ ) имеют коэффициенты чувстви-

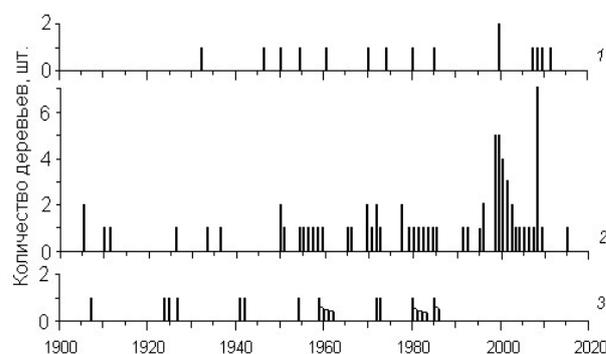
тельности ( $K_c = 0,129–0,214$ ). Они достаточно синхронны с контрольной хронологией (коэффициенты синхронности  $K_c = 70,6–88,4\%$ ) и значимо (при  $p < 0,05$ ) коррелируют с ней (коэффициенты корреляции  $R = 0,438–0,577$ ). Эти коэффициенты свидетельствуют о том, что прирост деревьев в начале выровненного участка зандра (П–12) был наиболее климатозависимым ( $K_c = 88,4\%$ ,  $R = 0,577$ ) по сравнению с другими, но вклад климата в его величину во второй половине XX в. не высок ( $K_c = 0,150$ ). Прирост деревьев на участках, расположенных ближе к средней части зандра (П–9, Тр–П), оказался наиболее чувствительным к внешним воздействиям ( $K_c = 0,204, 0,214$  соответственно), что при более низких коэффициентах синхронности ( $K_c = 70,6, 78,4\%$ ) и корреляции ( $R = 0,438, 0,458$ ) указывает на увеличение доли неклиматических факторов в их приросте. Прирост деревьев на участке в верхней части зандра (Тр–Ф) по сравнению с другими участками оказался наименее чувствительным ( $K_c = 0,129$ ), что при средних коэффициентах синхронности и корреляции ( $K_c = 78,4\%$ ,  $R = 0,451$  соответственно) свидетельствует о наименьшем влиянии на него внешних факторов.



**Рис. 2. Хронологии радиального прироста деревьев на флювиогляциальных отложениях долинного зандра Актру (1) на фоне контрольной хронологии (2)** Значения прироста ниже среднего (горизонтальная прямая): 3 – на зандре, 4 – в контроле. Участки зандра: Тр–Ф – верхняя часть, П–12 – начало и П–9 – конец выровненного участка, Тр–П – средняя часть

**Fig. 2. Tree-ring index chronologies of trees on fluvioglacial deposits of the Aktru outwash plain (1) and reference tree-ring index chronologies as background (2)**

The index values are lower than mean (horizon line) on outwash plain (3) and in reference chronology (4). The outwash plain: 1 – upper section (Tr–F), 2 – beginning (П–12) and 3 – end (П–9) of flat section, 4 – middle section (Тр–П)



**Рис. 3. Встречаемость маркеров у деревьев на флювиогляциальных отложениях долинного зандра Актру**

Маркеры: 1 – травмы ствола, 2 – травматические смоляные ходы, 3 – выпавшие годичные кольца

**Fig. 3. Occurrence of dendroindication markers in trees on fluvioglacial deposits of the Aktru outwash plain**

Markers are injuries (1), tangential rows of traumatic resin dusts (2), and missing tree-rings (3)

**Дендроиндикационные маркеры.** Индикаторы, которые маркируют экстремальные климатические события, – это следующие нарушения размеров и структуры элементов кольца: (1) морозобойное кольцо – искаженная упорядоченность рядов клеток в течение сезона роста, (2) флуктуации древесины – измененные форма и размеры слоя клеток и их клеточных стенок по сравнению с соседними слоями в пределах одного кольца, (3) светлое кольцо – зона поздней древесины с заметно слабой лигнификацией, (4) разлом – разрыв клеточных стенок в кольце, (5) выпавшее кольцо – полностью отсутствующее кольцо на древесном образце из-за прекращения деятельности камбия. Причинами их появления считаются понижения температуры различного генезиса [Баринов и др., 2016].

Из вышеперечисленных маркеров у деревьев на задрре Актру обнаружены флуктуации древесины, а также выпавшие кольца (о последних см. ниже). Флуктуации древесины имелись по всему контуру кольца 1946 г. только у одного дерева. Они отсутствовали на высоте отбора кернов (около 20 см) у других деревьев. Поскольку погибшие от заморозков 2011 и 2019 гг. побеги лиственниц были расположены на высоте 1–2 и 0,5–7 м соответственно, то, скорее всего, наибольшая вероятность обнаружения этого маркера на образцах древесины будет находиться ближе к пораженным побегам.

Прямым свидетельством нарушающего природного события являются травмы ствола деревьев. Они хорошо изучены при датировании селей, лавин, обвалов и других событий ударного для деревьев характера. Такие травмы появляются непосредственно в год воздействия. Они имеют вид открытых ран, у которых (1) отсутствуют кора, иногда последние кольца, и (2) часто присутствует засмоление древесины [Stoffel, Corona, 2014; Николаева, Савчук,

2021]. Травмы деревьев, растущих на флювиогляциальных отложениях, совершенно незаметны при их внешнем осмотре, поскольку кора сохраняется на стволе (закрытые травмы). Но отклик деревьев на воздействие хорошо виден на поперечных спилах в виде последовательных изменений размера и структуры годичных колец в узком секторе ствола около травмы. Это следующий ряд маркеров: (1) след от травмы – темно-коричневая узкая дугообразная полоса небольшой длины, идущая параллельно краю кольца (тангенциально), (2) выпавшие годичные кольца, (3) каллюсная ткань, однородные клетки которой расположены хаотично, (4) чрезмерно увеличенная ширина колец (чрезмерный рост) в радиальном направлении и (или) травматические смоляные ходы. На кервах обычно обнаруживается не весь ряд вышеупомянутых маркеров. Наблюдались следующие варианты: (1) след от травмы – выпавшие кольца – чрезмерный рост, (2) след от травмы – каллюсная ткань, (3) след от травмы – чрезмерный рост, (4) каллюсная ткань – чрезмерный рост. Эти варианты отклика деревьев, по-видимому, обусловлены как силой воздействия внешнего фактора, так и удаленностью места отбора керна от травмированного сектора ствола.

На задрре Актру за 1900–2017 гг. выявлено 14 лет с травмами древесины: 1932, 1946, 1950, 1954, 1961, 1970, 1974, 1980, 1985, 1999, 2007, 2008, 2009, 2011 гг. (рис. 3, 1). Из 15 зафиксированных травм (табл. 2) 53 % отмечено у деревьев из верхней части (Тр–Ф) и 33 % – в конце выровненного участка (П–9) задрра. Травмы 1974, 1980 гг. и не обнаруженная на керне 1985 г. или ранее сопровождали следующие маркеры – выпавшие кольца 1980–1983 гг. (рис. 3, 3), каллюсная ткань в 1974–1978, 1985–1991 гг. и дальнейший чрезмерный рост кольца 1984–1986, 1992–1995 гг.

Таблица 2

## Встречаемость маркеров событий на разных участках долинного задрра Актру

Table 2

## Occurrence of dendroindication markers in trees on sections of the outwash plain

№. П/Тр	Встречаемость маркеров	Маркеры событий						
		Травмы	Тангенциальные ряды травматических смоляных ходов	Выпавшие кольца	Существенные и/или резкие снижения прироста*			Флуктуации древесины
					1-й	2-й	всего	
1. Тр–Ф	22/100	8/36,4	10/45,5	0/0	2	4	4/18,2	0/0
2. П–12	55/100	1/1,8	47/85,5	4/7,3	0	3	3/5,4	0/0
3. П–9	21/100	5/23,8	7/33,3	4/19,0	4	3	4/19,0	1/4,8
4. Тр–П	18/100	1/5,5	6/33,3	2/11,1	5	7	9/50,0	0/0
<i>Всего</i>	<i>116/100</i>	<i>15/12,9</i>	<i>70/60,4</i>	<i>10/8,6</i>			<i>20/17,2</i>	<i>1/0,9</i>

*Примечание.* П – пробная площадь, Тр – трансекта. В числителе количество, шт., в знаменателе %. \* 1-й и 2-й – нормированные показатели прироста.

*Note.* П – trial plot, Тр – transect. In the numerator, the number, pieces, in the denominator %. \* 1st and 2nd – normalized growth rates.

Косвенным маркером природных событий являются тангенциальные ряды травматических смоляных ходов в годичных кольцах. Обычно смоляные ходы хаотично разбросаны по всей древесине годичного кольца хвойного дерева. Образовавшиеся после нарушающего воздействия травматические ходы располагаются упорядоченно в их тангенциальном направлении и концентрируются в секторах ствола вокруг травмы [Stoffel, Hitz, 2008; Schneuwly et al., 2009a, b]. У деревьев рода *Pinus* в случае механического воздействия на ствол такой упорядоченности в расположении смоляных ходов в кольцах не наблюдается [Stoffel, Corona, 2014]. По нашим данным, эти ходы на спилах лиственницы и ели внешне выглядят как дугообразная цепь крупных полостей, расположенных параллельно границам кольца. У кедра как представителя рода *Pinus* мы не обнаружили эти структуры, поэтому кедр как индикатор событий на флювиогляциальных отложениях нами не рассматривался.

Считается, что после воздействия ударного характера на деревья в течение вегетационного сезона (например, сель) ряды травматических ходов появляются в кольце в течение последующих трех недель [Tumajer, Tremeil, 2013]. Если событие произошло в период покоя дерева (например, лавина), то такие ходы образуются в самом начале кольца следующего сезона вегетации [Kogelnig-Mayer et al., 2011]. При этом надо учитывать, что с увеличением осевого и тангенциального расстояния от места воздействия такие ходы могут «мигрировать» к более поздним участкам кольца [Stoffel, Corona, 2014] и формироваться в течение нескольких лет после воздействия [Schneuwly et al., 2009a, b]. У деревьев, произрастающих на зандре Актру, такие ходы наблюдались в разных частях как ранней, так и поздней древесины, один или несколько лет подряд. На спилах первые травматические ходы после воздействия были зафиксированы в первом, или в последующих (втором–пятом) от травмы кольцах, или совсем отсутствовали. Эти ходы обычно локализовывались в достаточно узком секторе кольца ближе к месту травмы. Поэтому на керне в зависимости от сектора ствола, через который он отбирался, наличие таких ходов будет диагностировать событие текущего года или нескольких предшествующих лет, или событие не будет зафиксировано.

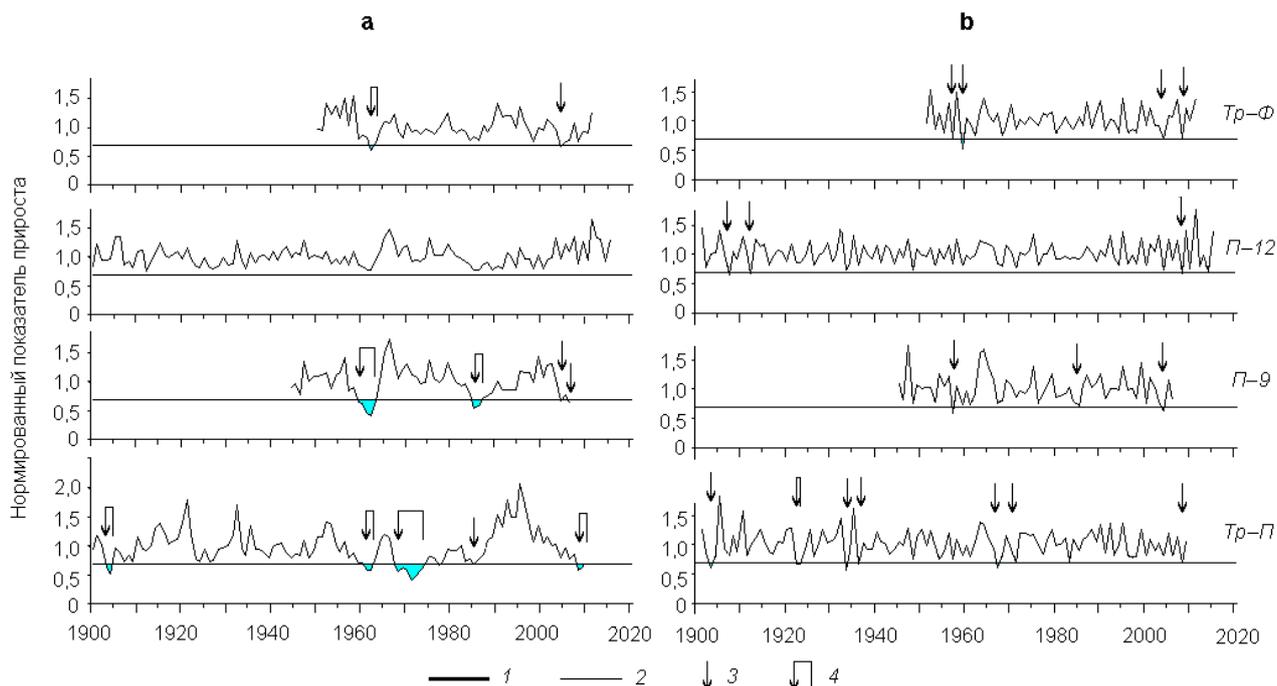
На зандре Актру выявлено 49 лет с травматическими смоляными ходами в кольцах (рис. 3, 2). Большинство ходов (88 %) приурочено к 1950–2010 гг., особенно много 1998–2000, 2008 гг. Из 70 учтенных ходов (см. табл. 2) 67 % пришлось на деревья, произрастающие в начале выровненного участка зандра (П–12).

Еще один возможный дендроиндикационный маркер – выпавшие годичные кольца. Они выявляются только при перекрестном датировании с другими деревьями и (или) с контрольной хронологией [Шиятов и др., 2000]. Кольцо может отсутствовать на керне в результате (1) любого прямого и достаточно сильного воздействия, (2) значительного ухудшения условий внешней среды, (3) их совместного действия на дерево. На флювиогляциальных отложениях выявлено 9 лет с одиночными выпавшими кольцами и три случая с выпавшими подряд 2–5 кольцами – 1959–1962, 1980–1984 и 1985–1986 гг. (рис. 3, 3). Эти кольца связаны с травмами 1954 и 1980 гг., а также приходятся на год (1959, 1985) начала резкого и существенного снижения прироста (рис. 4, а, б, П–9). В остальных случаях совпадения выпавших колец с травмами и таким снижением прироста не обнаружены.

Дендроиндикационным маркером, часто используемым при датировании нарушающих природных событий, являются резкие и (или) существенные изменения прироста. Такие изменения прироста по сравнению с контрольной хронологией, как было установлено ранее при изучении селей, лавин и обвалов [Kogelnig-Mayer et al., 2011; Николаева, Савчук, 2021], указывают на воздействие факторов неклиматической природы. Наибольшая амплитуда колебаний и длительные его снижения наблюдались у деревьев в средней части зандра (П–9, Тр–П) в конце 1950-х – начале 1960-х, в конце 1960-х – начале 1970-х, 1980-е, 2000-е гг. (см. рис. 2). Негативное влияние внешних факторов наиболее четко прослеживается по снижениям величины двух нормированных показателей прироста. Анализ материала показал, что большая часть известных событий на зандре Актру наблюдалась в первый год после снижения этих величин ниже 70 % по сравнению с контрольной хронологией. Первый показатель позволил выявить несколько временных отрезков с существенным и относительно продолжительным (5–8 лет) или кратковременным (1–2 года) его снижением (рис. 4, а): 1903–1904, 1959–1963, 1967–1974, 1985–1986, 2004, 2006, 2008–2009 гг. Второй показатель отражает годы с более резким по сравнению с контролем снижением прироста (рис. 4, б): 1903, 1907, 1912, 1922–1923, 1933, 1936, 1957, 1959, 1967, 1971, 1985, 2004, 2008 гг. Одновременное изменение этих двух показателей, скорее всего, указывает на отклик деревьев на достаточно сильные внешние воздействия, характерные для флювиогляциальных отложений. Это 1903, 1959, 1967, 1985, 2004, 2008 гг. Следует отметить, что в годы с холодным летом и экстремальными климатическими событиями (1927, 1958, 1961) эти показатели не достигали

70 % от контроля. Следовательно, в них климатическая составляющая сведена к минимуму, и они дей-

ствительно отражают ведущее влияние факторов неклиматической природы.



**Рис. 4. Динамика первого (а – по [Kogelnig-Mayer et al., 2011]) и второго (b – по [Николаева, Савчук, 2021]) нормированных показателей прироста деревьев на флювиогляциальных отложениях долинного зандра Актру**

Стрелками обозначены годы снижения величины прироста ниже 70 % (горизонтальная прямая) в течение одного (3) или 2–8 (4) лет. Остальные обозначения см. рис. 2

**Fig. 4. First (a, by [Kogelnig-Mayer et al., 2011]) and second (b, by [Nikolaeva, Savchuk, 2020]) normalized index chronologies of trees on fluvio-glacial deposits of the Aktru outwash plain**

The arrows indicate the years of declining the indices lower than 70 % (horizon line) during one (3) or 2–8 (4) years. See figure 2 for the other marks

Дендроиндикационные маркеры диагностируют разные события на флювиогляциальных отложениях зандра Актру. Травмы деревьев здесь по внешнему виду отличаются от травм, полученных деревьями во время схода селя, лавины и т.п. (см. выше). Кроме того, они локализованы в самом начале ранней древесины. Это позволяет предполагать, что они получены в результате давления льда на основание ствола, т.е. являются индикаторами наледи. Травматические смоляные ходы могут быть расположены (1) одновременно в ранней и поздней древесине одного годовичного кольца одного дерева и (или) (2) только в поздней древесине, но в кольцах одного года у разных деревьев с одного участка зандра. В первом случае они являются индикаторами наледи, и появление ходов в поздней древесине указывает на их «миграцию» [Stoffel, Corona, 2014] в эту зону кольца. Во втором случае они являются индикаторами событий, прошедших во второй половине вегетационного сезона, т.е. паводков и т.п. Следует отметить,

что травмы и травматические смоляные ходы могут быть индикаторами и других событий, например пожаров, которые на изученных участках не обнаружены [Николаева и др., 2022].

Поскольку годовичные кольца деревьев формируются в течение вегетационного сезона, то и их параметры (величина и структура колец) являются индикаторами внешних факторов обычно этого же сезона. Поэтому такие маркеры, как флуктуации древесины кольца, будут диагностировать изменения погоды в течение сезона роста, а начало существенных, резких и относительно продолжительных снижений прироста (по двум нормированным показателям) – паводки, повышенную водность реки. Выпавшие кольца являются неспецифическим откликом на любое достаточно сильное негативное воздействие. Они будут диагностировать события, вызванные разными природными факторами, т.е. могут служить только дополнительным маркером событий.

**Дендроиндикация прошлых природных событий на флювиогляциальных отложениях.** Климатические факторы являются общими для всей долины р. Актру, а гляциогидрологические и криогенные – специфическими для зандра. Эти факторы могут воздействовать по отдельности и совместно, и отделить их влияние друг от друга не всегда возможно, что затрудняет идентификацию прошедших здесь природных событий. Следует учитывать и периодичность их воздействия: постоянное («каждый день и каждый год») у климатических и нерегулярное у гляциогидрологических и криогенных.

Отклик деревьев будет различным в зависимости от степени воздействия внешних факторов. Это проявляется в виде изменений ростовых (относительно слабый отклик) и морфологических (средний) параметров особей, а также гибели деревьев вплоть до исчезновения древостоя и растительного покрова (максимальный отклик). Соответственно, на зандре Актру их отклик на климатические факторы будет относительно слабым, на гляциогидрологические и криогенные – от слабого до сильного. А наличие древесно-кустарниковой растительности, в первую очередь деревьев, будет диагностировать в целом существенное ослабление факторов неклиматической природы на его участках. По степени уменьшения влияния этих факторов на деревья изученные участки зандра распределились в следующий ряд: средняя часть (Тр–П) → конец выровненного участка (П–9) → верхняя часть (Тр–Ф) → начало выровненного участка (П–12). Последний участок по совокупности характеристик древостоя (время существования более 200 лет, структура, показатели роста деревьев), отсутствию прямых маркеров внешних событий (исключение – травма в 1954 г.) и по относительно невысокой степени влияния геоморфологических процессов можно отнести к относительно стабильным поверхностям.

Анализ встречаемости маркеров у деревьев с разных участков зандра (см. табл. 2) и расположения травм и травматических смоляных ходов в разных зонах кольца позволяет предположить, что в начале его выровненного участка (П–12) действуют преимущественно криогенные факторы, в его средней части (Тр–П) – преимущественно гляциогидрологические, в верхней части зандра и в конце его выровненного участка (Тр–Ф, П–9) – одновременно и криогенные, и гляциогидрологические.

Дендроиндикация прошлых событий на зандре Актру проводилась с учетом: (1) вида маркера (травма, травматические смоляные ходы, два нормированных показателя снижения прироста) и локализации первых двух маркеров в кольце (зоны ранней или поздней древесины); (2) встречаемости каждого

маркера по годам; (3) территориального распределения деревьев с определенными маркерами по участкам зандра. Для подтверждения правильности идентификации событий и точности их датирования установленные по маркерам годы сопоставлялись с известными по другим источникам событиями и метеоданными. Событие считалось надежно датированным при наличии нескольких видов маркеров в один год и (или) при наличии хотя бы одного вида маркера у деревьев с разных участков зандра.

На флювиогляциальных отложениях зандра Актру надежно датированы события следующих лет – 2008, 2004, 2000, 1999, 1998 (наледь), 1985, 1967, 1959 гг., менее надежно – 2011, 2009, 2007, 2002, 2001, 1998 (паводок), 1996, 1980, 1977, 1974, 1971–1969, 1957, 1954, 1950, 1933, 1922, 1905, 1903 гг.

В 2008 г. зафиксированы два достаточно крупных события: зимне-весеннее (наледь) и летнее (ледниковый паводок) на всех участках зандра по большинству маркеров. Сам факт этих событий и их размеры подтверждаются литературными данными [Достовалова, Шитов, 2011; Паромов и др., 2018] и очевидцами (наледь на ручье).

В 2004 г. отмечены два события (паводок, наледь) по сильному отклику на двух участках (Тр–Ф, П–9) и слабому – в начале выровненного участка зандра (П–12). Анализ метеоданных показал, что повышенной водности реки и неоднократным паводкам способствовали ливневые дожди в июле (осадков выпало 178 % от среднемесячной величины). В то же время причиной образования наледей являлись не погодные условия зимне-весеннего периода, а Чуйское землетрясение осенью 2003 г. [Достовалова, Шитов, 2011].

В 2000, 1999, 1998 гг. формировались наледи, судя по высокой встречаемости маркеров в ранней древесине на трех участках зандра (Тр–Ф, П–12, Тр–П). В 2000 г. крупные наледи отмечались по всему Горному Алтаю [Достовалова, Шитов, 2011].

В 1985 г. наблюдалось резкое и существенное снижение прироста деревьев в конце выровненного участка зандра (П–9) в течение двух лет (см. рис. 4, *b*). Видимо, это связано с особенностями субстрата и расположения участка: наличие ручьев, затрудненный дренаж. Холодная и влажная погода в мае и июне 1985 г. привела к разливу ручьев, переувлажнению холодного субстрата и ухудшению его аэрации, что затруднило работу корневых систем деревьев и в конечном итоге отразилось на приросте.

В 1967 г. зафиксирован паводок в средней части зандра (Тр–П) по началу резкого, существенного и продолжительного (1967–1974 гг.) снижения прироста деревьев (см. рис. 2, 4, *a*). Этому периоду соответствует климатически обусловленное снижение

прироста деревьев на всех участках зандра и контроля (см. рис. 2). Такой длительно низкий прирост деревьев в средней части зандра, скорее всего, вызван неоднократными изменениями условий среды для их корневых систем, т.е. неоднократной аккумуляцией и эрозией материала во время паводков. На этот период приходится ледниковые (1967, 1968, 1969 гг.) [Душкин, 1976] и дождевой (1969 г.) [Лупина и др., 1976] паводки. В 1974 г. прирост деревьев стал приближаться к таковому контрольной хронологии, т.е. его величина стала зависеть только от климата (см. рис. 4, а). В этот год стояла аномально сухая и жаркая погода в течение всего вегетационного сезона. Но деревья на флювиогляциальных отложениях не испытывали недостатка во влаге, так как в этот год наблюдалась повышенная водность реки из-за активного таяния ледника (208 см в.э. [Паромов и др., 2018]). Таким образом, низкие значения прироста деревьев в течение продолжительного времени (8 лет) привели к существенному ослаблению отклика деревьев на внешние факторы, что не позволило использовать изменения прироста для датирования паводков в известные (1968, 1969 гг.) и, возможно, в другие годы.

В 1959 г. зафиксирован паводок ближе к средней части зандра (П–9, Тр–П) по началу резкого, существенного и продолжительного (1959–1963 гг.) снижения прироста деревьев с минимумом в 1962 г. (см. рис. 2, 4, а, б). Этому периоду, также как и в предыдущем случае, соответствует климатически обусловленное снижение прироста деревьев (см. рис. 2). Паводок в 1959 г. подтверждается ливневыми дождями 6–8 июля, когда за три дня выпало 68 % (59,8 мм) от среднемесячного их количества. В 1962 г. были условия и для ледникового (133 см в.э. [Вершинин и др., 2014]) и для дождевого паводков (за один день июля выпало 32 % от среднемесячного количества осадков).

Менее уверенно диагностируются наледи в 2011, 2009, 2007, 2002, 2001, 1996, 1980, 1977, 1974, 1971–1969, 1961, 1954, 1950, 1947, 1932, 1905 гг. и паводки в 1998, 1977, 1971, 1957, 1933, 1922, 1903 гг. Невысокая надежность датирования вызвана как низкой встречаемостью маркеров на всех участках зандра, так и короткой длиной рядов прироста (небольшой возраст деревьев) на двух из них (Тр–Ф, П–9).

Такую невысокую надежность дендроиндикационного датирования прошлых событий можно повысить, используя дополнительные источники информации (метеоданные, реконструированные параметры среды). Например, отсутствие прямых маркеров и наличие косвенного маркера (травматический смоляной ход в поздней древесине) всего у двух деревьев в конце выровненного участка зандра (П–9)

указывает на возможность паводков в 1998 г. Их прохождение подтверждается существенным таянием ледника (193 см в.э. [Паромов и др., 2018]) и ливневыми дождями в отдельные дни июня и июля (всего осадков выпало 162 и 130% от среднемесячного количества соответственно).

Следует отметить, что некоторые годы с крупными природными событиями, отмеченными в литературе или очевидцами, методами дендроиндикации не подтверждены, т.к. маркеры отмечались единично либо отсутствовали совсем. Это – паводки в 1978 г. из-за прорыва ледникового озера [Нарожный, 2001] и в 1974, 1998 гг. из-за активного таяния ледника [Паромов и др., 2018], наледи в 1968 [Душкин, Мерзляков, 1976], 2003 (очевидцы) и 2006 гг. [Достовалова, Шитов, 2011].

Причины невозможности подтвердить эти события методами дендроиндикации могут быть следующими. (1) Отсутствие деревьев-индикаторов на участках, где наблюдалось событие, например, на открытых участках галечника, где гляциогидрологические и криогенные факторы проявлялись в наибольшей степени. (2) Отсутствие или единичная представленность маркеров как реакции деревьев наледи. Следовательно, под пологом леса наледи отсутствовали или были маломощными даже в годы с крупными событиями. (3) Повышенная водность реки и паводки на изученных участках зандра, по видимому, в большинстве случаев не оказывали заметного прямого влияния на деревья, так как снижение прироста было незначительным. Косвенное воздействие в виде механического травмирования ствола материалом, переносимым водными потоками, также было сведено к минимуму, так как мелкий материал не повреждал деревья, а более крупный не достигал их. Хотя опосредованное воздействие на прирост деревьев через аккумуляцию и эрозию материала около корневых систем сохранялось. (4) При прохождении паводков в течение нескольких лет подряд, такой маркер, как резкое и (или) существенное снижение прироста, фиксировал только первый год этого периода. При сохранении в течение продолжительного времени низких значений прироста паводки последующих лет не будут датироваться из-за отсутствия или очень слабого отклика деревьев. Но этот маркер будет свидетельствовать об активизации процессов на флювиогляциальных отложениях. (5) Потеря части дендроиндикационной информации на этапе отбора древесных образцов из-за различий в отклике разных частей ствола дерева на событие, т.е. в зависимости от осевого и тангенциального расстояния от места воздействия.

Таким образом, влияние гляциогидрологических и криогенных факторов на исследованные деревья,

произрастающие в основном в краевых зонах зандра Актру, значительно ослабевают по сравнению с его центральными зонами. Наледи приводят к травмированию ствола (следы от них локализованы в начале ранней древесины) и к изменению структуры кольца (образование тангенциальных рядов травматических смоляных ходов в ранней древесине). По материалам наших исследований, наледи не влияют на величину прироста стволов деревьев. Паводки и повышенная водность реки влияют на деревья в основном косвенно через процессы эрозии и аккумуляции материала на поверхности зандра, что, в конечном счете, приводит к существенному и резкому снижению прироста их стволов. Прямое ударное воздействие перемещаемого водой материала на деревья и длительное их затопление на зандре нами не обнаружены, хотя образование травматических смоляных ходов в поздней древесине косвенно указывает на вероятность такого воздействия. Точность датирования прошлых природных событий по отдельным маркерам составляла 1 год по травмам, 1–5 лет по травматическим смоляным ходам, 1–2 года при изменении одного нормированного показателя прироста, 1 год – при одновременном изменении двух показателей. В отдельных случаях точность повышалась до сезона для первых двух маркеров.

### Заключение

На флювиогляциальных отложениях долинного зандра Актру (Горный Алтай) совместно действуют климатические, гляциогидрологические, криогенные факторы. Наличие отклика деревьев на эти факторы позволило провести дендроиндикацию следующих природных событий прошлого: холодные вегетационные сезоны, заморозки, паводки, наледи. Использование совокупности дендроиндикационных методов позволило надежно датировать часть этих событий с точностью до года или сезона, а анализ вида и встречаемости маркеров на соответствующих участках зандра – идентифицировать их.

Контрольная хронология индексов прироста деревьев, растущих за пределами воздействия экзоген-

ных гравитационных, гляциогидрологических и криогенных процессов, фиксирует годы с пониженными температурами вегетационного сезона (холодное лето). На флювиогляциальных отложениях флуктуации древесины фиксируют экстремальные климатические события (заморозки), в остальных случаях дендроиндикационные маркеры диагностируют в основном события, вызванные факторами неклиматической природы (гляцио-гидрологические и криогенные). Начало резких и (или) существенных изменений прироста деревьев, выявляемое по хронологиям двух нормированных показателей, маркируют годы с паводками, травмы и травматические смоляные ходы в ранней древесине – с наледями, они же в поздней древесине – с паводками. Выпавшие кольца наблюдались при любых негативных для деревьев событиях и использовались только вместе с другими маркерами.

На флювиогляциальных отложениях зандра Актру во второй половине XX – начале XXI вв. надежно датированы наледи в 2008, 2004, 2000–1998 гг., паводки в 2008, 2004, 1967, 1959 гг. и переувлажнение холодного субстрата в 1985 г. Менее надежно датированы наледи в 2011, 2009, 2007, 2002, 2001, 1996, 1980, 1977, 1974, 1971–1969, 1961, 1954, 1950, 1947, 1932, 1905 гг. и паводки в 1998, 1977, 1971, 1957, 1933, 1922, 1903 гг. Часть крупных событий, выявленных методами дендроиндикации, подтверждалась другими источниками информации и измеренными/реконструированными параметрами среды. Другая часть крупных событий, известных по литературным источникам, не подтверждена методами дендроиндикации. Последнее вызвано естественными причинами – отсутствием на определенном участке зандра деревьев, а при их наличии – различиями в величине отклика разных частей дерева.

Полученные с помощью дендроиндикационных методов хронологии природных событий будут полезны для оценки активности гляциогидрологических, криогенных и других геоморфологических процессов в прошлом на малоизученных в этом плане территориях и их прогноза.

### Список источников

- Бабушкина Е.А., Кнорре А.А., Ваганов Е.А., Брюханова М.В.** Трансформация климатического отклика в радиальном приросте деревьев в зависимости от топоэкологических условий их произрастания // География и природные ресурсы. 2011. № 1. С. 159–166.
- Баринов В.В., Мыглан В.С., Назаров А.Н., Ваганов Е.А., Агатова А.Р., Непоп Р.К.** Экстремальные климатические события в Республике Алтай по дендрохронологическим данным // Известия РАН. Серия биологическая. 2016. № 2. С. 188–198.
- Васильев В.В., Гонохова В.М.** Экстремальный паводок горноледниковой реки Актру летом 1974 г. // Гляциология Алтая. Томск : Изд-во ТГУ, 1978. Вып.13. С. 124–130.
- Вершинин Д.А., Уйманова В.А., Овсянников С.А.** Сток взвешенных наносов р. Актру и особенности его режима за последние 50 лет // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 381. С. 226–231.
- Достовалова М.С., Шитов А.В.** Влияние метеорологических характеристик и геодинамической активности на режим образования гидрогенных наледей // Геориск. 2011. № 4. С. 36–43.

- Душкин М.А. Летние прорывы ледниковых вод в долинах Северо-Чуйского хребта // Гляциология Алтая. Томск : Изд-во ТГУ, 1976. Вып. 10. С. 90–93.
- Душкин М.А., Мерзляков И.М. Наледи в верховьях долин Северо-Чуйского хребта в Центральном Алтае // Гляциология Алтая. Томск : Изд-во ТГУ, 1976. Вып. 9. С. 35–41.
- Кузнецов А.С., Поздняков А.В. Динамика развития геоморфосистем как бинарных структур, функционирующих с насыщением (на примере горноледникового бассейна Актру) // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 1–8.
- Лупина Н.Х., Олейник И.Я., Тронова Л.Б., Шантыкова Л.Н. Особенности гляциогидрометеорологического режима горноледникового бассейна Актру в летнем сезоне 1969 года // Гляциология Алтая. Томск : Изд-во ТГУ, 1976. Вып. 10. С. 68–77.
- Нарожный Ю.К. Формирование и режим наледей в горно-ледниковых долинах Центрального Алтая // Вопросы географии Сибири. Томск : Изд-во ТГУ, 1997. Вып. 22. С. 129–137.
- Нарожный Ю.К. Ресурсная оценка и тенденции изменения ледников в бассейне Актру (Алтай) за последние полтора столетия // Материалы гляциологических исследований. М., 2001. Вып. 90. С. 117–126.
- Николаев А.Н. Дендрохронологические исследования наледей в Центральной Якутии // Лед и снег. 2010. № 1 (109). С. 93–102.
- Николаева С.А., Савчук Д.А., Кузнецов А.С., Тимошок Е.Е. Дендроиндикация прошлых пожаров в верховьях р. Актру (Горный Алтай) // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2022. Т. 15, № 2. С. 221–243.
- 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.
- Овчинников Д.В. Аномально холодные летние сезоны на Алтае в XIX–XX вв. // Вестник Красноярского государственного педагогического университета. 2011. № 2. С. 324–327.
- Овчинников Д.В. Реконструкция баланса ледника Малый Актру (Алтай) по данным денситометрии годичных колец // Известия Русского географического общества. 2004. Т. 136, вып. 1. С. 37–45.
- Паромов В.В., Нарожный Ю.К., Шантыкова Л.Н. Оценка современной динамики и прогноз гляциологических характеристик ледника Малый Актру (Центральный Алтай) // Лед и снег. 2018. Т. 58, № 2. С. 171–182.
- Поморцев О.А., Трофимцев Ю.И., Ефремов В.С., Поморцева А.А. Регрессионные модели динамики наледей на основе данных дендроиндикации // Вестник Северо-Восточного федерального университета. 2017. № 3 (59). С. 58–70.
- Робертус Ю.В., Достовалова М.С., Любимов Р.В. Особенности прохождения аномального паводка 2014 г. на территории Республики Алтай // Природные ресурсы Горного Алтая. Геология, геофизика, гидрогеология, геоэкология, минеральные и водные ресурсы. Горно-Алтайск : Изд-во ГАГУ, 2015. № 3. С. 57–62.
- Шнятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Ч.1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск : Изд-во КрасГУ, 2000. 80 с.
- Ballesteros-Canovas J.A., Stoffel M., St George S., Hirschboeck K. A review of flood records from tree rings // Progress in Physical Geography. 2015. V. 39, No. 6. P. 794–816.
- Davydov V.V., Timoshok E.E. Forming of soils on young moraines in the basin of the Aktru Glacier (Central Altai, North-Chuya Ridge) // Contemporary Problems of Ecology. 2010. V. 3, No. 3. P. 356–362.
- Hedding D.W., Erofeev A.A., Hansen C.D., Khon A.V., Abbasov Z.R. Geomorphological processes and landforms of glacier forelands in the upper Aktru River basin (Gornyi Altai), Russia: evidence for rapid recent retreat and paraglacial adjustment // Journal of Mountain Science. 2020. V. 14, No. 4. P. 824–837.
- Holmes R.L. Program CRONOL // International tree-ring data bank program library user's manual / Ed. by H.D. Grissino-Mayer, R.L. Holmes, H.C. Fritts. Tuscon: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1992. P. 56–57.
- Hupp C.R., Dufour S., Bornette G. Vegetation as a tool in the interpretation of fluvial geomorphic processes and landforms // Tools in Fluvial Geomorphology / eds by G.M. Kondolf, H. Piegay. 2nd ed. Chichester, Hoboken : Wiley, 2016. P. 210–233.
- Kogelnig-Mayer B., Stoffel M., Schneuwly-Bollschweiler M., Hübl J., Rudolf-Miklau F. Possibilities and limitation of dendrogeomorphic time-series reconstruction on sites influenced by debris flows and frequent snow avalanche activity // Arctic, Antarctic and Alpine Research. 2011. V. 43, No. 4. P. 649–658.
- Mekko D.M., Panyushkina I.P., Agafonov L.I., Edwards J.A. Impact of high flows of an Arctic river on ring widths of floodplain trees // The Holocene. 2020. V. 30, No. 6. P. 789–798.
- Schneuwly D.M., Stoffel M., Bollschweiler M. Formation and spread of callus tissue and tangential rows of resin dusts in *Larix decidua* and *Picea abies* following rockfall impacts // Tree Physiology. 2009a. V. 29, No. 2. P. 281–289.
- Schneuwly D.M., Stoffel M., Dorren L.K.A., Berger F. Three-dimensional analysis of the anatomical growth response of European conifers to mechanical disturbance // Tree Physiology. 2009b. V. 29, No. 10. P. 1247–1257.
- Stoffel M., Corona C. Dendroecological dating of geomorphic disturbance in trees // Tree-Ring Research. 2014. V. 70, No. 1. P. 3–20.
- Stoffel M., Hitz O.M. Rockfall and snow avalanche impacts leave different anatomical signatures in tree rings of juvenile *larix decidua* // Tree Physiology. 2008. V. 28, No. 11. P. 1713–1720.
- Timoshok E.E., Timoshok E.N., Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Filimonova E.O., Skorokhodov S.N., Bocharov A.Yu. Monitoring of high altitudinal terrestrial ecosystems in the Altai Mountains // IOP conf. series: Earth and environmental science. 2016. V. 48. P. 1–9.
- Timoshok E.E., Timoshok E.N., Raikaia Yu.G. Colonization of the young glaciofluvial deposits at the period of the modern climate warming in the North-Chuya glaciation center // IOP conf. series: Earth and environmental science. 2020. V. 548. P. 1–6.
- Tumajer J., Treml V. Meta-analysis of dendrochronological dating of mass movements // Geochronometria. 2013. V. 40 (1). P. 59–76.

#### References

Babushkina E.A., Knorre A.A., Vaganov E.A., Bryukhanova M.V. Transformatsiya klimaticheskogo otklika v radial'nom priroste derev'ev v zavisimosti ot topoekologicheskikh usloviy ih proizrastaniia [Transformation of climatic response in radial increment of trees

depending on topoeological conditions of their occurrence] // Geography and Natural Resources. 2011. V. 11. No. 1. pp. 159–166. In Russian

Barinov V.V., Myglan V.S., Nazarov A.N., Vaganov E.A., Agatova A.R., Nepop R.K. Extreme climatic events in the Altai Republic according to dendrochronological data // Biology Bulletin. 2016. V. 43. No. 2. pp. 188–198. In Russian

Vasil'ev V.V., Gonokhova V.M. *Ekstremal'nyy pavadok gornolednikovoy reki Aktru letom 1974 g.* [Extreme flood of the Aktru mountain glacier river in the summer of 1974] // Glaciology of Altai. Tomsk, TSU Publ., 1978. Iss. 13. pp. 124–130. In Russian

Vershinin D.A., Uimanova V.A., Ovsyannikov S.A. *Stok vzveshennykh nanosov r. Aktru i osobennosti ego rezhima za poslednie 50 let* [Suspended load in the Aktru river and peculiarities of its regime over the last 50 years] // Tomsk State University Journal. 2014. No. 381. pp. 226–231. In Russian

Dostovalova M.S., Shitov A.V. Vliyanie meteorologicheskikh kharakteristik i geodinamicheskoy aktivnosti na rezhim obrazovaniya gidrogennykh naledey [On influence of meteorological characteristics and geodynamic activation on the regime on forming hydrogenous ice crust in Gorny Altai] // Georisk. 2011. No. 4. pp. 36–43. In Russian

Dushkin M.A. *Letnie proryvy lednikovyykh vod v dolinakh Severo-Chuyskogo khrebtta* [Summer effusions of glacial waters in the valleys of the Severo-Chuisky Range] // Glaciology of Altai. Tomsk, TSU Publ., 1976. Iss. 10. pp. 90–93. In Russian

Dushkin M.A., Merzlyakov I.M. *Naledi v verkhov'yakh dolin Severo-Chuyskogo khrebtta v Tsentral'nom Altaye* [Icings in the upper valleys of the Severo-Chuisky Range in the Central Altai] // Glaciology of Altai. Tomsk, TSU Publ., 1976. Iss. 9. pp. 35–41. In Russian

Kuznetsov A.S., Pozdnyakov A.V. *Dinamika razvitiya geomorfosistem kak binarnyykh struktur, funktsioniruyushchikh s nasyshtcheniem (na primere gornolednikovogo basseyna Aktru)* [The dynamics of geomorphosystems development as binary structures, operative with saturation (on an example of mountain glacier basin of the Aktru River)] // Modern Problems of Science and Education. 2012. No. 2. pp. 1–8. In Russian

Lupina N.Kh., Oleynik I.Ya., Tronova L.B., Shantykhova L.N. *Osobennosti glyatsioidrometeorologicheskogo rezhima gornolednikovogo basseyna Aktru v letnem sezone 1969 goda* [Features of glacioidrometeorological regime of the Aktru mountain glacier basin in the summer season of 1969] // Glaciology of Altai. Tomsk, TSU Publ., 1976. Iss. 10. pp. 90–93. In Russian

Narozhnyi Yu.K. *Formirovaniye i rezhim naledey v gorno-lednikovyykh dolinakh Tsentral'nogo Altaya* [Forming and regime of icings in mountain glacier valleys of the Central Altai] // Problems of the Geography of Siberia. Tomsk, TSU Publ., 1997. Iss. 22. pp. 129–137. In Russian

Narozhnyi Yu.K. *Resursnaya otsenka i tendentsii izmeneniya lednikov v basseyne Aktru (Altai) za poslednie poltora stoletiya* [Resource assessment and trends in glaciers in the Aktru basin (the Altai Mountains) over the past century and a half] // Data of Glaciological Studies. Moscow, 2001. Publ. 90. pp. 117–126. In Russian

Nikolaev A.N. *Dendrokronologicheskie issledovaniya naledey v Tsentral'noy Yakutii* [Dendrochronological studies of icings in Central Yakutiya] // Ice and Snow. 2010. No. 1 (109). pp. 93–102. In Russian

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Kuznetsov A.S., Timoshok E.E. *Dendroindikatsiya proshlykh pozharov v verhov'yah r. Aktru (Gorny Altai)* [Dendroindication of past fires in the Aktru headwater (the Altai Mountains)] // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2022. V. 15. No. 2. pp. 221–243. In Russian

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A. *Otsenka metodov dendroindikatsii pri datirovaniy ekzogennykh gravitatsionnykh protsessov proshlogo v verhov'yah r. Aktru (Gorny Altai)* [Assessment of dendrogeomorphological dating methods of past geomorphic processes in the Aktru headwater (the Russian Altai Mountains)] // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya. 2021. V. 85. No. 3. pp. 392–404. In Russian

Ovchinnikov D.V. *Rekonstruktsiya balansa lednika Malyy Aktru (Altai) po dannym densitometrii godichnykh kolets* [Reconstruction of balance of the Maly Aktru glacier by tree rind densitometry] // Izvestia Russkogo Geograficheskogo Obschestva. 2004. V. 136. No. 1. pp. 37–45. In Russian

Ovchinnikov D.V. *Anomal'no kholodnye letnie sezony na Altaye v XIX–XX vv.* [Extreme cold summer seasons in the Altai Mountains over 19–20 centuries] // Bulletin of Krasnoyarsk State Pedagogical University. 2011. No. 2. pp. 324–327. In Russian

Paromov V.V., Narozhnyi Yu.K., Shantykhova L.N., Paromov V.V., Narozhnyy Yu.K., Shantykhova L.N. *Otsenka sovremennoy dinamiki i prognoz glyatsiologicheskikh kharakteristik lednika Malyy Aktru (Tsentral'nyy Altay)* [Estimation of current dynamics and forecast of glaciological characteristics of the Maly Aktru glacier (the Central Altai)] // Ice and Snow. 2018. V. 58. No. 2. pp. 171–182. In Russian

Pomortsev O.A., Trofimov Y.I., Efremov V.S., Pomortseva A.A. *Regressiionnye modeli dinamiki naledey na osnove dannykh dendroindikatsii* [Regression models of ice mass dynamics on the basis of dendrochronological data] // Vestnik of North-Eastern Federal University. 2017. No. 3 (59). pp. 58–70. In Russian

Robertus Yu.V., Dostovalova M.S., Lyubimov R.V. *Osobennosti prokhozheniya anomal'nogo pavadka 2014 g. na territorii respubliky Altay* [Features of the anomalous flood of 2014 in Altai Republic] // Natural resources of Gorny Altai. Geology, geophysics, hydrogeology, geoecology, mineral and water resources. Gorno-Altaysk, GASU Publ., 2015. No. 3. pp. 57–62. In Russian

Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M. *Metody dendrokronologii. Ch.1. Osnovy dendrokronologii. Sbor i poluchenie drevesno-kol'tsevoy informatsii* [Methods of dendrochronology. Part 1. Basis of dendrochronology. Collection and determination of tree ring information]. Krasnoyarsk: ITS KrasGU, 2000. 80 p. In Russian

Ballesteros-Canovas J.A., Stoffel M., St George S., Hirschboeck K. A review of flood records from tree rings // Progress in Physical Geography. 2015. V. 39. No. 6. pp. 794–816.

Davydov V.V., Timoshok E.E. Forming of soils on young moraines in the basin of the Aktru Glacier (Central Altai, North-Chuya Ridge) // Contemporary Problems of Ecology. 2010. V. 3. No. 3. pp. 356–362.

Hedding D.W., Erofeev A.A., Hansen C.D., Khon A.V., Abbasov Z.R. Geomorphological processes and landforms of glacier forelands in the upper Aktru River basin (Gorny Altai), Russia: evidence for rapid recent retreat and paraglacial adjustment // Journal of Mountain Science. 2020. V. 14. No. 4. pp. 824–837.

Holmes R.L. Program CRONOL // International tree-ring data bank program library user's manual. Ed. by H.D. Grissino-Mayer, R.L. Holmes, H.C. Fritts. Tuscon: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1992. pp. 56–57.

Hupp C.R., Dufour S., Bornette G. Vegetation as a tool in the interpretation of fluvial geomorphic processes and landforms // Tools in Fluvial Geomorphology. Eds Kondolf G.M., Piegay H. 2nd ed. Chichester, Hoboken: Wiley, 2016. pp. 210–233.

Kogelnig-Mayer B., Stoffel M., Schneuwly-Bollschweiler M., Hübl J., Rudolf-Miklau F. Possibilities and limitation of dendrogeomorphic time-series reconstruction on sites influenced by debris flows and frequent snow avalanche activity // Arctic, Antarctic and Alpine Research. 2011. V. 43. No. 4. pp. 649–658.

Mekko D.M., Panyushkina I.P., Agafonov L.I., Edwards J.A. Impact of high flows of an Arctic river on ring widths of floodplain trees // The Holocene. 2020. V. 30. No. 6. pp. 789–798.

Schneuwly D.M., Stoffel M., Bollschweiler M. Formation and spread of callus tissue and tangential rows of resin dusts in *Larix decidua* and *Picea abies* following rockfall impacts // Tree Physiology. 2009a. V. 29. No 2. pp. 281–289.

Schneuwly D.M., Stoffel M., Dorren L.K.A., Berger F. Three-dimensional analysis of the anatomical growth response of European conifers to mechanical disturbance // Tree Physiology. 2009b. V. 29. No 10. pp. 1247–1257.

Stoffel M., Corona C. Dendroecological dating of geomorphic disturbance in trees // Tree-Ring Research. 2014. V. 70. No. 1. pp. 3–20.

Stoffel M., Hitz O.M. Rockfall and snow avalanche impacts leave different anatomical signatures in tree rings of juvenile *Larix decidua* // Tree Physiology. 2008. V. 28. No. 11. pp. 1713–1720.

Timoshok E.E., Timoshok E.N., Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Filimonova E.O., Skorokhodov S.N., Bocharov A.Yu. Monitoring of high altitudinal terrestrial ecosystems in the Altai Mountains // IOP conf. series: Earth and environmental science. 2016. V. 48. pp. 1–9.

Timoshok E.E., Timoshok E.N., Raiskaia Yu.G. Colonization of the young glaciofluvial deposits at the period of the modern climate warming in the North-Chuya glaciation center // IOP conf. series: Earth and environmental science. 2020. V. 548. pp. 1–6.

Tumajer J., Treml V. Meta-analysis of dendrochronological dating of mass movements // Geochronometria. 2013. V. 40(1). pp. 59–76.

#### **Информация об авторах:**

**Савчук Д.А.**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория динамики и устойчивости экосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: savchuk@imces.ru

**Николаева С.А.**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория динамики и устойчивости экосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: sanikoll@rambler.ru

**Кузнецов А.С.**, кандидат географических наук, научный сотрудник, лаборатория самоорганизации геосистем, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: kas.sgs@mail.ru

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

#### **Information about authors:**

**Savchuk Dmitry A.**, Cand. Sci. (Biology), Senior Research Scientist, Laboratory of Ecosystems Dynamics and Stability, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, Tomsk, Russia.

E-mail: savchuk@imces.ru

**Nikolaeva Svetlana A.**, Cand. Sci. (Biology), Senior Research Scientist, Laboratory of Ecosystems Dynamics and Stability, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, Tomsk, Russia.

E-mail: sanikoll@rambler.ru

**Kuznetsov Aleksandr S.**, Cand. Sci. (Geography), Research Scientist, Laboratory of Self-Organization of Geosystems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, Tomsk, Russia.

E-mail: kas.sgs@mail.ru

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

*Статья поступила в редакцию 16.04.2021; одобрена после рецензирования 19.10.2022; принята к публикации 20.06.2023*

*The article was submitted 16.04.2021; approved after reviewing 19.10.2022; accepted for publication 20.06.2023*