

УДК 630*424.1:633.877(571.15)

ОСОБЕННОСТИ КАМНЕПАДНОЙ И ЛАВИННОЙ АКТИВНОСТИ В ВЕРХОВЬЯХ РЕКИ АКТРУ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ) ПО ДАННЫМ ДЕНДРОИНДИКАЦИИ

Николаева С.А., Савчук Д.А., Кузнецов А.С.

ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем» СО РАН, Томск,
e-mail: sanikoll@rambler.ru, savchuk@imces.ru, kas.sgs@mail.ru

Лавины, камнепады и обвалы – факторы, трансформирующие ландшафты, экосистемы и их элементы. Регулярные наблюдения за ними в верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай) отсутствуют. Цель работы – выявить особенности камнепадной и лавинной активности в верховьях р. Актру дендроиндикационными методами. Исследования были проведены на лавинном конусе и обально-осыпном участке левого борта долины р. Актру. На каждом обследованном участке преобладает один тип склонового процесса. Использовались три метода дендроиндикации склоновых событий: травматический, анатомический, дендрометрический. Установлено, что лавинный комплекс характеризуется повышенной лавинной активностью. Эта активность хорошо датируется дендрометрическим методом на протяжении 66 лет (1951–2016 гг.) и травматическим методом в последнее десятилетие. Высокая частота схода лавин на этом конусе подтверждается и фитоценогическим методом. В динамике количества деревьев с резкими изменениями прироста за 66 лет выделено 4 полных цикла (1956/57–1972/73, 1973/74–1988/89, 1989/90–2001/02 и 2002/03–2014/15 гг.) и половина еще одного (1950/51–1955/56 гг.). Это свидетельствует о 15-летней цикличности лавинной активности, которая хорошо согласуется с цикличностью осадков мая, как наиболее лавиноопасного месяца. Достоверной годичной корреляции между количеством деревьев с изменениями прироста и суммой осадков за зимний период и май не обнаружено. Участок обально-осыпного склона характеризуется низкой камнепадной активностью с пространственной и временной случайностью камнепадов. Обвалы и камнепады, вызванные мощным землетрясением 2003 г., четко датируются тремя методами дендроиндикации одновременно.

Ключевые слова: камнепад, обвал, лавина, дендроиндикация, годовые кольца, кедр, лиственница, Алтай

PECULIARITIES OF ROCKFALL AND AVALANCHE ACTIVITY IN THE AKTRU HEADWATER (THE ALTAI MOUNTAINS) BY DENDROINDICATION DATA

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Kuznetsov A.S.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, e-mail: sanikoll@rambler.ru, savchuk@imces.ru, kas.sgs@mail.ru

Avalanches and rockfalls are the factors transforming landscapes, ecosystems and their components. There are no constant monitoring observations in the Aktru headwater (the Severo-Chuisky Range, the Altai mountains, Russia). The goal of the research is to find peculiarities of rockfall and avalanche activity in the Aktru headwater by dendroindication methods. The study was made on the avalanche and rockfall accumulation zone sites on the left slope of the Aktru river valley by dendroindication methods: traumatic, anatomic and dendrometric ones. The avalanche basin is characterized by increased avalanche activity which is well dated by the dendrometric method for 66 years (1951–2016) and the traumatic method in the last decade. The high avalanche frequency on this cone is confirmed by the phytocenotic method. In the dynamics of the tree numbers with the abrupt growth changes, 4 full cycles (1956/57–1972/73, 1973/74–1988/89, 1989/90–2001/02 and 2002/03–2014/15) and half of one more (1950/51–1955/56) were found for the last 66 years that indicated a 15-year cycle of avalanche activity which is generally similar with the cyclicity of the precipitation in May as the most avalanche-hazardous month. No significant annual correlation was found between the number of trees with growth changes and the precipitation during the winter period and in May. The rockfall slope site is characterized by low rockfall activity with its spatial and temporal randomness. The rockfalls caused by the 2003 powerful earthquake are clearly dated by three dendroindication methods at the same time.

Keywords: geomorphic process, rockfall, avalanche, dendrogeomorphology, tree ring, Siberian stone pine, Siberian larch, Altai Mountains

Верховья р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай) являются высокогорной территорией, на которой постоянно протекают склоновые процессы, в том числе камнепады/обвалы и лавины. Они преобразуют ландшафты и экосистемы и их элементы вплоть до их полного разрушения. Двигающийся с высокой скоростью или влекомый снежной массой обломочный материал различного размера повреждает или уничтожает

растительность на своем пути, в первую очередь деревья, накапливаясь у подножия склонов на днище долины р. Актру. Регулярные наблюдения за камнепадами/обвалами и сходом лавин в районе исследований не проводились. Информация о них скудна и отрывочна. Поэтому важное значение приобретают косвенные методы их идентификации и датирования, среди которых дендроиндикационные являются наиболее перспективными [1–4].

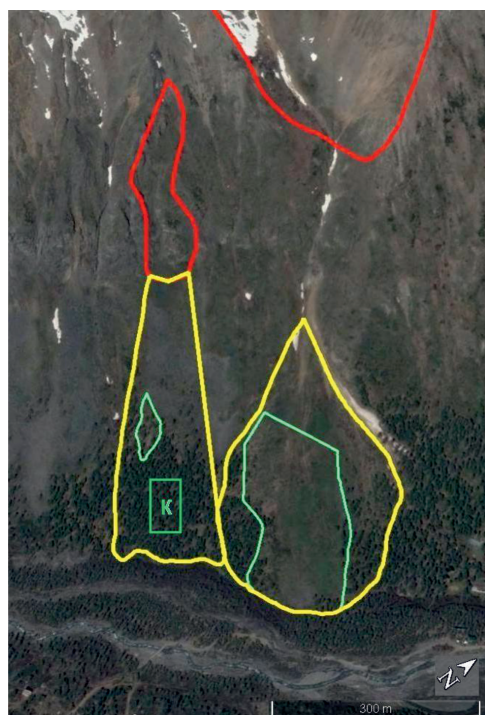
Цель работы: выявление особенностей камнепадной и лавинной активности в верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай) дендроиндикационными методами.

Материалы и методы исследования

Выбор объектов исследования связан с необходимостью подбора участков склона с преобладанием на них одного типа склонового процесса. Такие участки преимущественно сосредоточены на левом более пологом склоне долины р. Актру. Дендроиндикация склоновых явлений возможна только в местах произрастания в первую очередь деревьев. В верховьях р. Актру днище долины и склоны до 2300 м занимают леса из кедра (*Pinus sibirica* Du Tour) и лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.). Выше по склонам лес сменяется тундрой с травяно-кустарниковой растительностью. Между лесом и тундрой располагается лесотундровый экотон, где деревья растут группами и одиночно [4 и др.]. Климат района описан ранее [4, 5]. Материал был собран на конусе лавинной аккумуляции (далее – лавин-

ный конус) и обвально-осыпном склоне, расположенных на левом склоне долины р. Актру недалеко от географической станции Томского госуниверситета (рис. 1, А). На первом участке модельные деревья отбирались внутри и по периферии лавинного конуса, на втором – по периферии каменного «прочеса» и с валежа в его нижней части. Контролем служили деревья, растущие в нижней части лесного массива в аккумулятивной области склона.

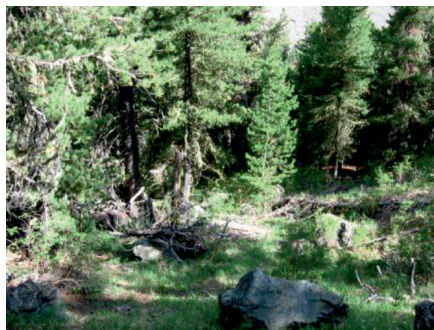
Всего отобрано 164 древесных образца (керы с живых деревьев, спилы с погибших), взятые через поврежденные и неповрежденные участки ствола и ветвей 50 травмированных деревьев кедра и лиственницы (таблица), произрастающих в зоне воздействия лавин и камнепадов. Ширина годичных колец (радиальный прирост) на кернах измерялась на измерительном комплексе LINTAB с точностью 0,01 мм. Полученные индивидуальные ряды прироста перекрестно датировались как между собой, так и контролем [6]. Прирост контрольных деревьев дополнительно сравнивался с региональной кривой.



А



Б



В

Рис. 1. Схема (А) расположения на космоснимке лавинного комплекса (справа) и обвально-осыпного участка (слева) на левом борту долины р. Актру. Границы зон зарождения отмечены красным цветом, зон аккумуляции – желтым, обследованных участков – зеленым. К – контрольный участок. Фото лавинного конуса (Б) и нижней части каменного «прочеса» (В)

Характеристика собранного материала

Участок	Годы обследования	Количество			
		обследованных деревьев	древесных образцов	годовых колец	выявленных откликов
лавинный	2015, 2018	35	109	50–276	37ТР, 14СМ, 198ПР*
обвально-осыпной	2014, 2018	15	55	53–342	26ТР, 9СМ, 3РД, 24ПР
контрольный	1999, 2018	22	40	134–381	–

Примечание. *Отклики: ТР – травмы дерева, СМ – засмоление годовых колец, РД – реакционная древесина, ПР – резкие изменения прироста.

Датирование склоновых событий (лавины, камнепадов/обвалов) проводилось с помощью трех методов дендроиндикации: травматической, дендрометрической, анатомической [2, 6]. Травматическая индикация осуществлялась по травмам, которые представляют собой обдир коры до древесины, облом ветвей, слом ствола на разной высоте вплоть до основания ствола. Индикация проводилась на основе датирования последнего годового кольца перед травмой [4]. Анатомическая индикация выполнялась по наличию реакционной древесины и засмоленным годовым кольцам, которые появляются после повреждения деревьев. Засмоление охватывает кольца около ран, полученных деревом. Дендрометрическая индикация проводилась по резким и продолжительным изменениям радиального прироста травмированных деревьев. Прирост этих деревьев анализировался в сравнении с таковым нетравмированных (контроль). Это позволило минимизировать влияние климатических факторов. Такой спад прироста наблюдается в текущем году, если воздействие пришлось на период активного роста клеток древесины (июнь-июль текущего года) и на следующий год, если воздействие было до сезона вегетации (с августа предыдущего года по май – начало июня текущего года). Глубина восстановления склоновых событий составляет 66 лет (1951–2016 гг.).

В работе использовались ряды среднемесячной температуры и сумм месячных осадков метеостанции Актру (2150 м над ур. м.) за 1957–1994 гг. и Кош-Агач (70 км от Актру, 1758 м над ур. м.) за 1951–2014 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

Лавины в верховьях р. Актру могут неоднократно сходить в течение всего периода залегания снега с пиком активности весной: в перигляциальной зоне левого борта – это апрель-май. Камнепады/обвалы обычны

в бесснежный период (в основном осенью), но могут сопровождать и сход мокрых лавин. По наблюдениям очевидцев, обвалы и камнепады на покрытых снегом склонах случаются часто [4].

Хорошо видимым в полевых условиях признаком склоновых событий являются травмы ствола, которые традиционно используются при дендроиндикации склоновых событий [2–4]. Они часто сопровождаются засмолением годовых колец около открытых ран деревьев. Просмотр колец кедра и лиственницы с кернов, взятых с травмированных секторов ствола, показал, что их засмоленность зависит от размера полученных деревом ран. На всех кернах деревьев кедра, взятых через небольшие открытые раны ствола (от 10 до 300 см²) или рядом с ними, зафиксировано от 1 до 10 засмоленных колец от периферических слоев древесины к сердцевинным. Заращение каллюсной тканью таких ран с краев идет достаточно быстро. Деревья с открытыми ранами ствола более крупного размера (более 300 см² и охватывающие большую часть диаметра ствола) чаще имеют сухую древесину без смолы в кольцах и длительное время не зарастают, редко имеют 1–2 засмоленных кольца. У лиственницы аналогичная картина. Следовательно, наличие засмоленных годовых колец на кернах свидетельствует о получении деревом травм ствола в прошлом. Они обычно диагностируют раны небольшого размера, достаточно быстро заросшие каллюсной тканью и не видимые снаружи во время осмотра ствола. Реакционная древесина обнаружена только у трех относительно молодых деревьев. Из-за редкой встречаемости в дальнейшем не анализировалась.

Анализ динамики радиального прироста травмированных деревьев показал, что его изменения четко выделяются на фоне динамики контрольных деревьев. Они представляют собой резкое снижение (реже увеличение) прироста в зависимости от рас-

положения взятого древесного образца на стволе дерева и степени нарушения целостности особи. Эти изменения, как правило, являются продолжительными – от 2 до 10 лет, иногда до 20 лет.

Первый обследованный участок – лавинный, расположен в зоне аккумуляции лавинного комплекса. Его очаг с многочисленными понижениями рельефа в зонах ветровой тени, которые благоприятствуют снегонакоплению, расположен на восточном склоне вершины Кызылташ на высоте 2500–3000 м. Площадь области лавинообразования – 332 тыс. м². Снег сходит по лавинному лотку, врезанному в склон трога. Конус выноса площадью 86 тыс. м² и углом наклона 15° опирается на дно долины (2150 м) и сложен мелкообломочным материалом (рис. 1, А, Б). Его поверхность покрыта травяно-кустарниковой растительностью, среди которой встречаются одиночные деревья кедра высотой до 15 м. Последние сильно травмированы: обычны не только травмы ствола и обломы отдельных ветвей, но и слом ствола на разной высоте от верхушки до его основания. Деревья кедра и лиственницы 23 м высотой, растущие по периферии конуса выноса, являлись частью лесного массива, разделенного конусом на два фрагмента.

Большая часть зафиксированных травм деревьями получена в последнее десятилетие (2007/08–2014/15 гг.), в другие годы количество деревьев с травмами и засмоленными кольцами незначительно. Суммарно обоими методами восстанавливается только 17 лет со сходами лавин (рис. 2, А, 1–2). Практически у всех обследованных деревьев отмечены неоднократные резкие изменения относительного прироста. В течение 53 лет из 66 имеется хотя бы одно дерево с таким откликом на внешнее воздействие (рис. 2, А, 3). Результаты по датированию событий, полученные всеми тремя методами дендроиндикации, совпадают только в 4 случаях: 1962/63, 1986/87, 2010/11 и 2013/14 гг.

Очевидцами на этом конусе зафиксирован сход двух крупных лавин – весной 1966 [7] и в декабре 2009 г. [4]. Обе лавины дошли до днища долины: первая уничтожила часть деревьев кедра, вторая – крупный подрост кедра и лиственницы, растущий на конусе, и несколько деревьев лиственницы в его нижней части. Лавина 2009/10 гг. хорошо выявляются травматическим и дендрометрическим методами, а лавина 1965/66 гг. – только дендрометрическим. Деревья с травмами, по которым можно было бы оценить размер лавины 1965/66 г., нами не обнаружены.

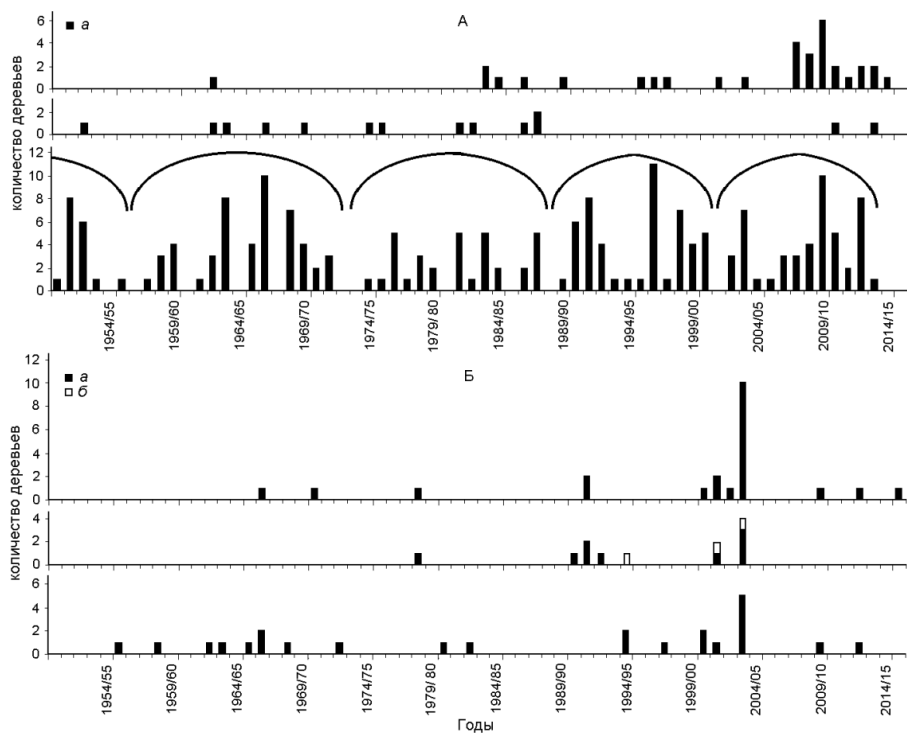


Рис. 2. Лавинная (А) и камнепадная (Б) активность в верховьях р. Актру по данным дендроиндикации. Методы индикации: 1 – травматическая, 2 – анатомическая (а – по засмоленным годичным кольцам, б – по реакционной древесине), 3 – дендрометрическая. Дугами обозначены циклы

В динамике количества деревьев резкими изменениями прироста за 66 лет (рис. 2, А, 3) выделено 4 полных цикла (1956/57–1972/73, 1973/74–1988/89, 1989/90–2001/02 и 2002/03–2014/15 гг.) и половина еще одного (1950/51–1955/56 гг.). Это свидетельствует о 15-летней цикличности лавинной активности. Достоверной связи между количеством деревьев с изменениями прироста и суммой осадков за зимний период и май, как наиболее лавиноопасный месяц, не обнаружено. Для ее выявления требуются посуточные данные по осадкам. Но она в целом согласуется с цикличностью осадков мая.

Таким образом, повышенная лавинная активность хорошо датируется дендрометрическим методом на протяжении всего изученного отрезка времени и травматическим методом в последнее десятилетие. Высокая частота схода лавин на этом конусе подтверждается и фитоценотическим методом – один и более раз в 10 лет [8].

На участок обвально-осыпного склона щебнистый материал и/или крупные глыбы поступают с денудационной части крутого склона отрога высотой 2350–2560 м и площадью 15 тыс. м². Аккумулятивный склон северо-восточной ориентации, его площадь – 96,8 тыс. м², крутизна – 15° (рис. 1, А, В). В область аккумуляции материал поступает в результате осыпания и обвалов горных пород, при сходе «прыгающих» лавин, а также сноса материала водотоками во время снеготаяния и после прохождения дождей. Верхняя часть аккумулятивного склона занята травяно-кустарниковой растительностью с группами деревьев высотой 6–18 м. Здесь преимущественно задерживается мелкий материал, в том числе и щебнистый. Нижняя часть этого склона занята лиственнично-кедровым лесом с деревьями высотой до 24 м. Обследованный участок представляет собой каменный «прочес», расположенный в средней части области аккумуляции на верхней границе леса и имеет форму языка, внедряющегося в лесной массив (2195–2215 м). Он находится на фронте основной траектории прохождения крупно-глыбистого материала, поступающего с крутого склона.

Большая часть травм, полученная живыми деревьями, их массовая гибель (сохранился валеж в нижней части каменного «прочеса», рис. 1, В), а также засмоленные годовые кольца зафиксированы после вегетационного сезона 2003 г., а резкие изменения прироста приурочены к следующему сезону. В остальные годы количество дере-

вьев с этими признаками было незначительным (рис. 2, Б). Суммарно тремя методами дендроиндикации выявлено всего 23 года с камнепадами из 66, а с помощью трех методов одновременно обвалы/камнепады зафиксированы только в 2001/02 и 2003/04 гг. Невысокая камнепадная активность связана с тем, что даже при обвале до деревьев в изученной части обвально-осыпного склона доходит относительно небольшое количество крупных обломков горных пород и соответственно травмируются единичные деревья. В целом о пониженной камнепадной активности в настоящее время в нижней части этого аккумулятивного склона свидетельствует наличие сомкнутого старовозрастного лиственнично-кедрового леса без внешних признаков воздействия камнепадов на растительность.

Повышенное количество деревьев с разными типами отклика пришлось на год, когда произошло самое крупное за последнее столетие землетрясение на Алтае (27 сентября 2003 г., магнитуда 7,3, интенсивность сотрясения 9–10 баллов [9]). Оно вызвало камнепады и обвалы в верховьях р. Актру и, в частности, на обследуемом участке. По левому борту упавшие глыбы были относительно небольшого размера (рис. 1, В) по сравнению с правым [4].

Таким образом, обвалы и камнепады, вызванные мощным землетрясением 2003 г., четко датируются травматическим, анатомическим и дендрометрическим методами одновременно. Но пространственная и временная случайность обвалов/камнепадов затрудняет их выявление и датирование в другие годы.

Заключение

Рассмотрена камнепадная и лавинная активность в верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай) дендроиндикационными методами и выявлены их особенности на участках склона с одним типом наблюдаемого склонового процесса. Лавинный комплекс характеризуется повышенной лавинной активностью, которая хорошо датируется дендрометрическим методом на протяжении 66 лет (1951–2016 гг.) и травматическим методом в последнее десятилетие. Высокая частота схода лавин на этом конусе подтверждается и фитоценотическим методом. Участок обвально-осыпного склона характеризуется низкой камнепадной активностью. Но обвалы и камнепады, вызванные мощным землетрясением 2003 г., четко датируются всеми

тремя методами дендроиндикации одновременно. Пространственная и временная случайность обвалов/камнепадов затрудняет их выявление и датирование в иные годы.

Список литературы / References

1. Tumajer J., Treml V. Meta-analysis of dendrochronological dating of mass movements. *Geochronometria*. 2013. Vol. 40 (1). P. 59–76. DOI: 10.2478/s13386-012-0021-5.
2. Corona Ch., Lopez Saez J., Stoffel M., Bonnefoy M., Richard D., Astrade L., Berger F. How much of the real avalanche activity can be captured with tree rings? An evaluation of classic dendrogeomorphic approaches and comparison with historical archives. *Cold regions science and technology*. 2012. Vol. 74-75. P. 31–42. DOI: 10.1016/j.coldregions.2012.01.003.
3. Stoffel M., Bollschweiler M., Vázquez-Selem L., Franco-Ramos O., Palacios D. Dendrogeomorphic dating of rockfalls on low-latitude, high-elevation slopes: Rodadero, Iztaccihuatl volcano, Mexico. *Earth surface processes and landforms*. 2011. Vol. 36(9). P. 1209–1217. DOI: 10.1002/esp.2146.
4. Николаева С.А., Савчук Д.А., Кузнецов А.С. Особенности датирования селей, лавин и камнепадов в верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай) по травмам деревьев // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2017. № 4. С. 35–47.
5. Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Kuznetsov A.S. Dating of debris flows, avalanches and rockfalls in the Aktru headwater (Severo-Chuisky Range, the central Altai Mountains) by tree unjuries // *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2017. № 4. P. 35–47 (in Russian).
6. 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 Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. Vol. 48. P. 1–9. DOI: 10.1088/1755-1315/48/1/012008.
7. Шиятов 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: ИЦ КрасГУ, 2000. 80 с.
8. Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdyanov A.V., Kругlov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M. Methods of dendrochronology. Part 1. Basis of dendrochronology. Collection and determination of tree ring information. Krasnoyarsk: ITSKrasGU, 2000. 80 p. (in Russian).
9. Душкин М.А. Лавины в верховьях долины Актру // *Гляциология Алтая*. Томск: Изд-во Томского ун-та. 1974. Вып 8. С. 39–59.
10. Dushkin M.A. Avalanches in the Aktru headwater // *Gljaciologija Altaja*. Tomsk: Izd-vo Tomsk un-ta, 1974. Вып. 8. P. 39–59 (in Russian).
11. Николаева С.А., Белова (Диркс) М.Н. Фитоценотическая оценка местообитаний в местах схода селей и лавин в верховьях р. Актру (Горный Алтай) // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2017. № 40. С. 181–201. DOI: 10.17223/19988591/40/11.
12. Nikolaeva S.A., Belova (Dirks) M.N. Phytocoenotic assessment of ecotopes on avalanche tracks and debris flow deposits in the Aktru river upper reaches // *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya*. 2017. № 40. P. 181–201 (in Russian).
13. Алтайское (Чуйское) землетрясение: прогнозы, характеристики, последствия. Горно-Алтайск: РИО, 2004. 183 с.
14. Altai (Chuya) earthquake: prediction, characteristics, repercussion. Gorno-Altajsk: RIO, 2004. 183 p. (in Russian).