

УДК 630:574.23:582.475(235.222)
DOI 10.17513/use.38070

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ ЛЕСА В ВЫСОКОГОРЬЯХ КАТУНСКОГО ХРЕБТА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Филимонова Е.О., Тимошок Е.Е., Савчук Д.А., Николаева С.А.

*Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук, Томск,
e-mail: smelena82@mail.ru, timoshokee@mail.ru, savchuk@imces.ru, sanikoll@rambler.ru*

В высокогорьях Катунского хребта Горного Алтая, на примере верховий р. Аккем, впервые описано современное состояние верхней границы леса, как полосы между верхней границей сомкнутых лесов и верхней границей распространения отдельных деревьев, которая является важнейшим биогеографическим рубежом и международно признанным индикатором изменений климата. На склонах долины р. Аккем определены верхние границы: сомкнутых лесов (2300 м над ур. м. на восточном и 2200 м на западном склоне); групп деревьев (2330 и 2265 м соответственно); одиночных деревьев и подроста кедра сибирского (*Pinus sibirica*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) (2440 и 2290 м над ур. м. соответственно). Сомкнутые леса представлены кедровыми и лиственнично-кедровыми разнотравно-вейниково-зеленомошными и разнотравно-бруснично-зеленомошными с двумя-тремя поколениями: на восточном склоне возраст деревьев кедр и лиственницы первого поколения составляет 270–400 лет, второго – до 180 лет, на западном склоне возраст деревьев первого поколения 530–590 лет, второго – 250–440 лет, третьего – до 140 лет. На восточном склоне долины р. Аккем границы групп деревьев и одиночных деревьев формирует преимущественно кедр, на западном – лиственница. В составе подроста абсолютно преобладает кедр, подрост лиственницы старше 18 лет единичен, а более молодой отсутствует. Все границы очень извилисты. На западном склоне по сравнению с восточным высота границ значительно (до 80 м) снижена за счет развития оползневых процессов. Репродуктивная граница кедр проходит на высоте 2370 м.

Ключевые слова: верхняя граница леса, лиственница, кедр, возрастная структура, сосудистые растения, Катунский хребет, Горный Алтай

Исследование было поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание ИМКЭС СО РАН, регистрационный номер проекта № 121031300226-5, FWRG-2021-0003).

CURRENT STATE OF UPPER FOREST LINE IN HIGH ELEVATIONS OF THE KATUNSKY RANGE (THE ALTAI MOUNTAINS)

Filimonova E.O., Timoshok E.E., Savchuk D.A., Nikolaeva S.A.

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk,
e-mail: timoshokee@mail.ru, smelena82@mail.ru, savchuk@imces.ru, sanikoll@rambler.ru*

The current state of the upper forest lines are first described in the high elevations of the Katunsky Range of the Russian Altai Mountains (the upper reaches of the Akkem river as an example). The upper forest line is a strip between the upper line of closed forests and the upper line of the single trees. This line is the most important biogeographic boundary and an internationally recognized indicator of climate change. The following upper lines are defined on the slopes of the Akkem river valley: closed forest lines (2300 m a.s.l. on the eastern slope and 2200 m a.s.l. on the western slope); tree group lines (2330 and 2265 m a.s.l., respectively); single tree lines and seedling lines (2440 and 2290 m a.s.l., respectively). Closed forests are grass-reed-green mossy and grass-cowberry-green mossy Siberian stone pine (*Pinus sibirica*) and Siberian larch (*Larix sibirica*)-Siberian pine forests with 2-3 generations. The age of pine and larch trees of the first generation is 270–400 years, of the second generations is up to 180 years on the eastern slope and the age of the trees of the first generation is 530–590 years, of the second generation is 250–440 years, and of the third generation is up to 140 years on the western slope. On the eastern slope of the Akkem river valley, Siberian stone pine is mainly formed the tree group lines and single tree lines and Siberian larch do on the western slope. The seedlings is absolutely dominated by stone pine, larch seedlings older than 18 years is rare and the younger seedlings are absent. All lines are very tortuous. The altitude of the lines is significantly (up to 80 m) reduced on the western slope as compared with the eastern one due to the active landslide processes. The reproductive line of the Siberian stone pine is 2370 m a.s.l.

Keywords: forest line, Siberian larch, Siberian stone pine, age structure, vascular plants, Katunsky Range, the Altai Mountains

The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (State Assignment of IMCES SB RAS, registration number of the project No. 121031300226-5, FWRG-2021-0003).

Верхняя граница леса, представляющая собой полосу между верхней границей сомкнутых лесов и верхней границей распространения отдельных деревьев, является важнейшим биогеографическим рубежом и международно признанным индикатором изменений климата [1–3 и др.]. В настоящее время отмечается необходимость и важность изучения верхней границы на локальном и микромасштабном уровнях [4].

Катунский хребет – самый высокий хребет Горного Алтая. Для него характерна типичная для этой горной страны высотная поясность растительности: горно-лесной пояс занимает полосу 1300–2200 м над ур. м., лесотундровый экотон – 2200–2400 м, горно-тундровый пояс расположен выше 2400 м. Границы леса были описаны ранее для Северо-Чуйского хребта [5, 6] и не изучались на Катунском.

Цель работы – охарактеризовать современное состояние верхней границы леса в ороклиматических условиях Катунского хребта.

Материалы и методы исследования

Район исследований расположен в наиболее высокой части Катунского хребта, в верховьях р. Аккем, где сосредоточено современное оледенение самой высокой вершины Алтая – г. Белуха (4506 м над ур. м.).

Материалы для исследований собраны в 2015 г. на склонах долины р. Аккем в районе Аккемского озера. Склоны крутые, западный – более влажный, восточный – более сухой. На них распространены подвижные каменистые осыпи, отмечены русла временных водотоков. Климат, по данным ГМС Аккем (49°55' с.ш., 86°32' в.д., 2050 м над ур. м.), характеризуется относительно низкими зимними (–15,1––17,0 °С) и летними (7,9–9,5 °С) температурами воздуха. Годовая сумма осадков 550 мм, из которой более половины (55%) выпадает летом и только 4% зимой.

На восточном и западном склонах долины на границе сомкнутых лесов из лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и кедра сибирского (*Pinus sibirica*) и в лесотундровом экотоне заложено 15 пробных площадей (ПП) размером 20–40 м. На каждой пробной площади проводился сплошной перебор древостоя и подроста кедра и лиственницы с измерением высоты, диаметра ствола на высоте груди у деревьев и стволика в его основании у подроста, а также отбор кернов и срезов максимально близко к по-

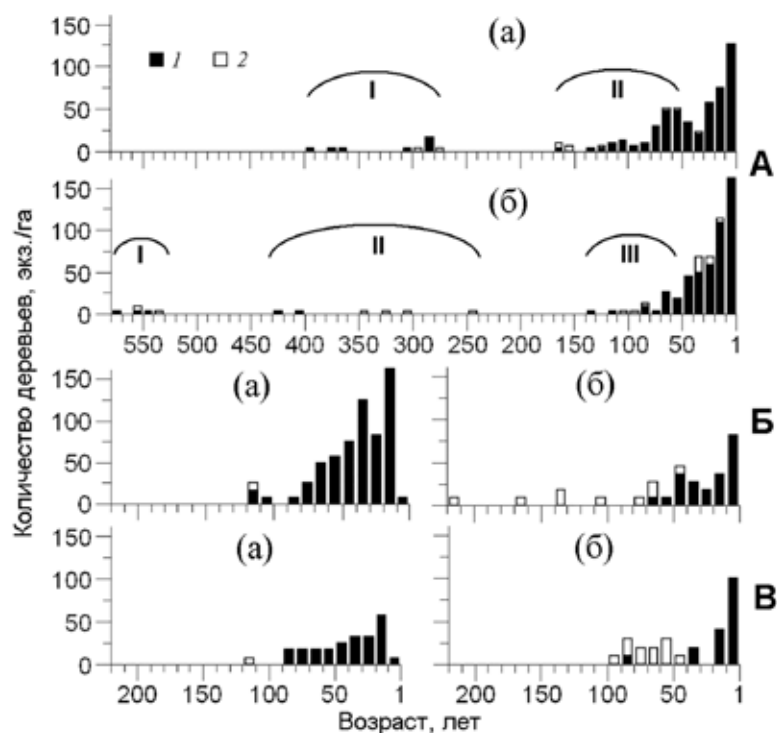
верхности земли для определения возраста. Всего обследовано 359 взрослых деревьев и 267 особей подроста. К подросту отнесены молодые особи кедра и лиственницы до 1,5 м высотой и возрастом менее 50 лет. Для определения возраста деревьев и крупного подроста (144 модельные особи) измерялась ширина годичных колец на установке LINTAB с точностью 0,01 мм. Затем полученные ряды перекрестно датировались для выявления ложных и выпавших колец [7]. Возраст определялся по датированным годичным кольцам с учетом поправок у сердцевины и на высоту отбора керна [8]. Возраст мелкого подроста (252 особи) устанавливался по годичным приростам стволика. Динамику урожая восстанавливали по следам от шишек на коре [9]. На всех пробных площадях выполнены полные геоботанические описания с указанием проективного покрытия (в процентах) кустарникового, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов и входящих в них видов растений.

Результаты исследования и их обсуждение

Как показали проведенные исследования, на верхней границе сомкнутых лесов на более сухом восточном склоне долины р. Аккем преобладают кедровые леса с примесью лиственницы, на более влажном западном – лиственнично-кедровые. Эти леса занимают неширокую полосу в нижней части склонов на высотах 2065–2240 м над ур. м. Сомкнутость крон древесного яруса изменяется от 0,3 до 0,7, плотность деревьев – от 216–275 до 343–850 экз./га.

В лесах восточного склона в древесном ярусе абсолютно преобладает кедр, его участие в составе составляет 90–100%. Здесь выделено два возрастных поколения кедра и лиственницы (рисунок, А). В первом поколении средний возраст деревьев кедра достигает 346 лет (средняя высота деревьев 10 м, диаметр ствола 60 см), лиственницы – 286 лет (высота 16 м, диаметр 30 см); во втором – 82 и 129 лет (высота 6 и 9 м, диаметр 13 и 20 см) соответственно.

На этом склоне во всех обследованных лесных сообществах в составе подроста отмечен только кедр со средним возрастом 16 лет. Плотность подроста в лесах нижней части склона, на высотах 2065–2070 м, составляет 625–1300 экз./га, в его верхней части, на высотах 2220–2240 м над ур. м. этот показатель снижается более чем в два раза, до 325–575 экз./га.



Распределение по возрасту деревьев кедра (1) и лиственницы (2) в лесах (А), группах (Б) и среди одиночных деревьев (В) на верхней границе леса на восточном (а) и западном (б) склонах в верховьях р. Аккем (Катунский хребет, Горный Алтай). Дугами и римскими цифрами обозначены возрастныe поколения

Подрост кедра в разреженных и сомкнутых лесах преимущественно жизнеспособный (до 70%), тогда как в самом сомкнутом высокорасположенном участке леса на высоте 2220 м над ур. м. преобладает угнетенный подрост.

В кедровых лесах восточного склона в негустом кустарниковом ярусе (проективное покрытие 10–15%) преобладают *Lonicera altaica* и *Spiraea flexuosa*; в травяно-кустарниковом ярусе (проективное покрытие 30%) содоминируют *Vaccinium vitis-idaea* (10%) и *Calamagrostis langsdorfii* (15%); в мохово-лишайниковом ярусе (проективное покрытие 15–20%) преобладают мхи *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, участие лишайников *Cladonia stellaris* и *C. arbuscula* незначительно (около 5%).

В древесном ярусе лесов более влажного западного склона участие кедра в составе колеблется от 50 до 80%, лиственницы – от 20 до 50%. Здесь представлены три возрастныe поколения кедра и лиственницы (рисунок, А). Первое поколение сформировано кедром со средним возрастом деревьев 559 лет (средняя высота деревьев 12 м, диаметр ствола 81 см) и лиственницей 542 года

(высота 12 м, диаметр 50 см); второе – кедром со средним возрастом 415 лет (высота 14 м, диаметр 57 см) и лиственницей 308 лет (высота 10 м, диаметр 37 см); третье – кедром со средним возрастом 81 год (высота 5 м, диаметр 13 см) и лиственницей 97 лет (высота 10 м, диаметр 19 см).

В лесах этого склона в составе подроста также абсолютно преобладает кедр (более 95%) со средним возрастом 15 лет, участие подроста лиственницы с возрастом 29 лет незначительно (менее 5%). Плотность молодых особей кедра составляет 767–850 экз./га; подрост преимущественно (70–80%) жизнеспособный.

В лиственнично-кедровых лесах западного склона в разреженном кустарниковом ярусе (проективное покрытие 7–10%) преобладает *Lonicera altaica*; в негустом травяно-кустарниковом ярусе (проективное покрытие 15–20%) на более крутых участках склонов коллективным доминантом являются злаки *Festuca altaica*, *Poa sibirica*, *P. altaica*, *Calamagrostis pavlovii* (суммарное проективное покрытие 10%), на пониженных элементах мезорельефа содоминируют те же виды злаков и *Vaccinium*

vitis-idaea (проективное покрытие по 10%). В хорошо развитом мохово-лишайниковом ярусе (проективное покрытие 40%) преобладают мхи *Rhizidium rugosum*, *Hylocomium splendens*, *Aulacomnium palustre*, значительно участие лишайников (15%) с господством *Cladonia stellaris*.

Выше границы сомкнутых лесов в лесотундровом экотоне восточного и западного склонов долины расположены группы более молодых деревьев кедра и лиственницы.

На восточном склоне, на высотах 2320–2330 м над ур. м., в древесном ярусе и в плотных и в разреженных группах абсолютно господствует кедр со средним возрастом 71 год (рисунок, Б). Плотность взрослых деревьев изменяется в значительных пределах от 125 в разреженных до 507 экз./га в плотных группах. Подрост представлен только кедром, плотность которого колеблется от 350 до 767 экз./га, средний возраст 22 года. В целом в группах деревьев на западном и восточном склонах преобладает жизнеспособный подрост (50–75%), на долю угнетенного подроста приходится 25–50%.

В горизонтальной структуре напочвенного покрова лесотундрового экотона на восточном склоне, на выровненных некрутых участках развиты довольно густые заросли *Betula rotundifolia* (проективное покрытие 50%) с примесью *Salix glauca*, под пологом которых формируется травяной ярус (проективное покрытие 20%) с преобладанием злаков *Festuca altaica*, *F. sphagnicola*, *Poa sibirica*, *P. alpigena*, *P. urssulensis*; хорошо развит моховой покров из *Rhizidium rugosum* и *Pleurozium schreberi*. На крутых каменистых участках склонов представлены можжевельники *Juniperus pseudosabina* и *J. sibirica* (проективное покрытие 10%) и разнотравно-злаковые синузии (проективное покрытие 20%) с преобладанием *Festuca altaica* и *Poa sibirica* и неразвитым моховым покровом (проективное покрытие около 5%).

На западном склоне, на высотах 2190–2265 м над ур. м., располагаются разреженные группы деревьев лиственницы и кедра с разным участием этих видов в древесном ярусе: участие лиственницы по составу составляет 70–95% (средний возраст 110 лет), кедра – 5–30% (60 лет) (рисунок, Б). Плотность деревьев варьирует от 300 до 433 экз./га. Как и на восточном склоне, в подросте отмечен только кедр, плотность которого (600–750 экз./га) почти в 2 раза больше, чем плотность деревьев. Возраст молодых осо-

бей кедра составляет 28 лет; преобладает жизнеспособный подрост (67%).

В сообществах с разреженными группами лиственницы на западном склоне кустарниковый ярус мало развит (проективное покрытие 10%) из *Lonicera altaica*, *Salix saposhnikovii*, *S. sajanensis*; в хорошо развитом травяном ярусе (проективное покрытие 40%) содоминируют злаки *Festuca altaica* и виды рода *Poa*; редкие мхи яруса не образуют.

Выше границы групп деревьев, на абсолютных высотах 2240–2370 м, располагаются отдельно стоящие деревья, среди которых на восточном склоне преобладает кедр, на западном – лиственница; плотность деревьев низкая (33–125 экз./га). Средний возраст деревьев кедра и лиственницы составляет 70–90 лет (рисунок, В). Подрост представлен только кедром, плотность на восточном склоне 100–150 экз./га (средний возраст 21 год, угнетенного подроста 30–50%) в 2 раза ниже, чем на западном – 200–350 экз./га (возраст 12 лет, угнетенного подроста 27–33%). Подрост лиственницы на обоих склонах отсутствует.

На восточном склоне одиночные деревья кедра и лиственницы окружены густыми зарослями *Betula rotundifolia* (проективное покрытие более 50%), под пологом которых формируется малоразвитый травяно-кустарничковый ярус (проективное покрытие 10%) с преобладанием *Festuca altaica*, *Poa sibirica* и *Vaccinium vitis-idaea*, хорошо развит мохово-лишайниковый покров (проективное покрытие 40–45%) с доминированием *Pleurozium schreberi*, *Rhizidium rugosum* и лишайников из р. *Cladonia*. На западном склоне, где одиночные деревья лиственницы произрастают на крупнокаменистых участках, кустарниковый, травяно-кустарничковый и моховой ярусы не развиты. Небольшие синузии кустарников из *Lonicera altaica*, *Juniperus pseudosabina*, кустарничка *Vaccinium vitis-idaea*, злаков, в основном *Festuca altaica*, мхов (*Rhizidium rugosum* и *Hylocomium splendens*) и лишайников (*Cladonia stellaris*), приурочены к понижениям между камнями.

Для кедра характерна высокая изменчивость семеношения, от полного неурожая до обильного урожая. Высокоурожайными годами у кедра были 2001, 2006, 2011 и 2013 гг., неурожайными – 2000, 2002, 2005 и 2014 гг. Семеношение кедра отмечено до высоты 2370 м над ур. м., где и проходит репродуктивная граница этого вида в долине р. Аккем.

Проведенные исследования показали, что выделенные возрастные поколения кедр и лиственницы в лесах высокогорий Катунского хребта соответствуют известным климатическим эпохам: поколение 542–559-летних деревьев появилось в конце средневекового потепления, 286–415-летних – в малый ледниковый период, 81–129-летних – в период современного потепления. Близкие поколения были выделены в старовозрастных кедровых и лиственничных лесах на Северо-Чуйском хребте [10]. При этом следует отметить, что на восточном склоне долины р. Аккем деревья самых старших возрастов отсутствуют.

Выше границы этих лесов заселение началось 230 лет назад на западном склоне и 120 лет назад на восточном. Отсутствие здесь деревьев старше 100 лет на восточном склоне связано с массовыми обширными пожарами на Алтае во второй половине XIX в., свежие отметины от которых и 35-летние гари зафиксированы в 1897 г. [11]. Многочисленные следы относительно недавних пожаров отмечались и нами. Абсолютная высота верхней границы леса на западном склоне на 80 м ниже за счет отмеченных нами активных оползневых процессов, чем на восточном. Это довольно важный фактор, который постоянно ограничивает продвижение деревьев вверх по склону, влияя на состояние верхней границы. Отмечается усиление роли этого фактора для современного заселения и будущего положения границы леса в высокогорьях итальянских Альп [12]. Действие этих экологических факторов привело к формированию диффузного и островного типов верхних границ [13].

На всех участках склонов долины р. Аккем средний возраст подроста кедр составляет 21–28 лет, тогда как среди одиночных деревьев на западном склоне – 12 лет (присутствуют только особи до 15 лет и старше 30 лет). Такой разрыв в возрастном распределении, вероятно, можно объяснить усилением здесь оползневых процессов в 1980–1990-е гг. По данным ГМС Аккем, в этот период 10 и 9 раз наблюдалось повышенное выпадение осадков в июне и июле (на 11–62% и 12–43% от среднемесячной нормы соответственно).

Участие видов взрослых деревьев по составу различно на разных склонах: на восточном доминирует кедр, на западном – лиственница. Участие видов подроста по составу иное: везде абсолютно преобладает кедр, доля лиственницы небольшая, при-

чем отсутствуют особи этого вида младше 18 и 30 лет в лесах и выше их соответственно. Доминирование кедр в подросте фиксировалось и на Северо-Чуйском хребте [6]. Это свидетельствует о большом потенциале кедр в заселении склонов в высокогорьях по сравнению с лиственницей. При этом важны условия произрастания на конкретных участках склонов. В целом они благоприятны для подроста кедр, тогда как на одном из участков леса (высокосомкнутый кедровый лес) имеются обширные мертвопокровные синузии, которые свидетельствуют о высокой конкуренции в почвенном покрове, в том числе подроста, за свет, поэтому здесь велика доля (до 70%) угнетенного подроста.

Заключение

Таким образом, в современный период в ороклиматических условиях Катунского хребта (Горный Алтай) верхняя граница сомкнутых лесов из кедр сибирского (*Pinus sibirica*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) проходит на высотах 2200–2300 м, групп деревьев – 2265–2330 м, отдельных деревьев – 2290–2370 м, подрост кедр – до 2440 м над ур. м. Сомкнутые леса представлены кедровыми и лиственнично-кедровыми разнотравно-вейниково-зеленомошными и разнотравно-бруснично-зеленомошными с двумя-тремя поколениями: на восточном склоне возраст деревьев кедр и лиственницы первого поколения составляет 270–400 лет, второго – до 180 лет, на западном склоне возраст деревьев первого поколения 530–590 лет, второго – 250–440 лет, третьего – до 140 лет. На восточном склоне границы групп деревьев и одиночных деревьев формирует преимущественно кедр, на западном – лиственница. В составе подрост абсолютно преобладает кедр, подрост лиственницы старше 18 лет единичен, а более молодой отсутствует. На западном склоне по сравнению с восточным высота границ значительно (до 80 м) снижена за счет развития оползневых процессов. Репродуктивная граница кедр и лиственницы проходит на высоте 2370 м.

Авторы благодарят канд. биол. наук А.Ю. Бочарова и канд. биол. наук М.Н. Белову за помощь в сборе полевого материала.

Список литературы

1. Kim J.-W., Lee J.-S. Dynamics of alpine treelines: positive feedbacks and global, regional and local controls // J. Ecol. Environ. 2015. Vol. 38, Is. 1. P. 1–14. DOI: 10.5141/ecoenv.2015.001.

2. Holtmeier F.-K., Broll G. Treelines – approaches at different scales // Sustainability. 2017. Vol. 9, Is. 5. Article 88. P. 1–19. DOI: 10.3390/su9050808.
3. Kullman L. A review and analysis of factual change on the max rise of the swedish scandes treeline, in relation to climate change over the past 100 years // J. Ecol. Nat. Res. 2018. Vol. 2, Is. 6. Article 000150. P. 1–16. DOI: 10.23880/jenr-16000150.
4. Holtmeier F.-K., Broll G. Treeline research – from the roots of the past to present time. A review // Forests. 2020. Vol. 11, Is. 1. article 38. P. 1–31. DOI: 10.3390/f11010038.
5. Тимошок Е.Е., Филимонова Е.О., Пропастилова О.Ю. Структура и формирование древостоев хвойных в экотоне верхней границы древесной растительности Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) // Экология. 2009. № 3. С. 187–194.
6. Тимошок Е.Е., Николаева С.А., Тимошок Е.Н., Савчук Д.А., Филимонова Е.О., Райская Ю.Г., Скороходов С.Н., Белова М.Н., Бочаров А.Ю. Экологический мониторинг автотрофного блока наземных экосистем в Северо-Чуйском центре оледенения (Центральный Алтай) // Сибирский экологический журнал. 2022. № 3. С. 249–262. DOI: 10.15372/SEJ20220301.
7. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Ч. 1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск: Издательство КрасГУ, 2000. 80 с.
8. Николаева С.А., Савчук Д.А. Оценка методов дендроиндикации при датировании экзогенных гравитационных процессов прошлого в верховьях р. Актру (Горный Алтай) // Изв. РАН. Сер. геогр. 2021. Т. 85, № 3. С. 392–404. DOI: 10.31857/S2587556621030110.
9. Воробьев В.Н. Метод ретроспективного изучения динамики семеношения *Pinus sibirica* Du Tour // Ботанический журнал. 1979. Т. 64, № 7. С. 971–974.
10. 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. Ser.: Earth Environ. Sci. 2016. Vol. 48. P. 1–9. DOI: 10.1088/1755-1315/48/1/012008.
11. Сапожников В.В. Катунь и ее истоки. Путешествия 1897–1899 годов. Томск: Паровая типо-литография П.И. Макушина, 1901. 289 с.
12. Leonelli G., Pelfini M., Morra di Cella U., Garavaglia V. Climate warming and the recent treeline shift in the European Alps: The role of geomorphological factors in high-altitude sites // Ambio. 2021. Vol. 40, Is. 3. P. 264–273. DOI: 10.1007/s13280-010-0096-2.
13. Singh S.P., Singh R.D., Gumber S. Interpreting mountain treelines in a changing world. Largely based on the Indian Himalaya. Uttarakhand, Kathmandu: Central Himalayan Environment Association and International Centre for Integrated Mountain Development, 2021. 131 p. DOI: 10.53055/ICIMOD.787.