УДК 57.045+947:940.1 doi:10.15356/2076-6734-2016-1-103-118

Активность ледника Малый Актру (Центральный Алтай) и изменения границы леса в бассейне Актру за исторический период

© 2016 г. А.Н. Назаров[1]*, В.С. Мыглан[1], Л.А. Орлова[2], И.Ю. Овчинников[2]

[1]Сибирский федеральный университет, Красноярск;
[2]Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск
*nazar_69@mail.ru

Activity of Maly Aktru Glacier (Central Altai) and changes tree line fluctuations in its basin for a historical period

A.N. Nazarov[1]*, V.S. Myglan[1], L.A. Orlova[2], I.Y. Ovchinnikov[2]

[1]Siberian State University, Krasnoyarsk, Russia;
[2]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia
*nazar_69@mail.ru

Article accepted for publication on June 25, 2015

Keywords: ***dendrochronology, glaciers of Altai, history of climate, radiocarbon, upper tree line.***

Summary

Major problems of dating of the glaciers activity from the wood residues found in moraines are discussed by the example of Maly Aktru Glacier. First of all, these are the underestimation of the glacier development features, the age of the sample itself and its content as well as losses of some outer rings. The study proves that disagreements between dendrochronological and radiocarbon ages of the samples are caused by manifestation of the Suess effect and contents of the wood cells. The reconstruction of June–July temperatures in the Aktru valley for two thousand years was used to reconstruct the altitudinal variability of the tree line thermal potential. Existence of a climatic optimum (I–IV A.D.) had been revealed that brought to the higher position of the tree line in mid ages than its thermal potential could enable. On the basis of variability of growth indices for Siberian larch, it is shown that the medieval optimum stands out against a background of solely strong temperature depressions separating it from ancient and modern times, and the climate's natural history is evidence that the current climate warming is an ordinary phenomenon.

Статья принята к печати 25 июня 2015 г.

Ключевые слова: ***верхняя граница леса, дендрохронология, история климата, ледники Алтая, радиоуглерод.***

Рассматриваются проблемы датирования активности ледников по древесным остаткам, находящимся в морене, на примере ледника Малый Актру. Анализируются причины расхождения между дендрохронологическим и радиоуглеродным возрастом образцов. Реконструируется ход июньской и июльской температуры в долине р. Актру за две тысячи лет, и на базе этого восстанавливается картина высотной изменчивости термического потенциала границы леса. Основываясь на ходе естественной истории климата, показывается рядовой характер современного потепления.

Введение

Изменения климата и активности ледников Алтая, в долине р. Актру в частности, имеют длительную историю изучения, связанную с работами М.А. Душкина [11], Л.Н. Ивановского [12] и М.Ф. Адаменко [2]. Полученный массив радиоуглеродных дат, дополненный позже нами [9, 10, 20, 29], восстанавливает достаточно стройную и объективную картину климатических событий от среднего голоцена до современности. Необходимость очередного обращения к данной теме вызвана накоплением большого объёма дендрохронологического материала, приведшего, с одной стороны, к дополнению и детализации истории климата ближайшего прошлого, а с другой – к её значительному изменению. Частично эти вопросы освещены в наших недавних работах [21, 22]. Точность и обилие дендрохронологических дат, вопреки ожиданиям, не уменьшили существующих проблем в реконструкции событий и причин гибели деревьев. Древесные остатки встречаются во всех частях моренных комплексов, и многие из них имеют разный возраст. Деревья в приледниковье, находясь в экстремальных условиях существования, гибнут по разным причинам. Они перемещаются ледником, теряют внешние кольца, что затрудняет их анализ. Идеальный случай, когда возрастом морены считается дата гибели извлечённого из неё дерева, уже нельзя признать удовлетворительным. Ледники

способны не только быстро отступать, но и столь же быстро и неоднократно наступать.

В настоящее время на вопрос о времени ледниковых стадий и осцилляций нельзя ответить сколько-нибудь определённо без применения максимально возможного арсенала методов датирования (геоморфологический, лихенометрический, дендрохронологический, радиоуглеродное и космоизотопное датирование), а главное – без знания возможностей и ограничений каждого из методов. Но, даже определив точные даты, исследователь не застрахован от ошибок без комплексного понимания проблемы, т.е. чёткого представления об особенностях развития ледников, роста леса в приледниковье, формирования ледниковых отложений и их трансформации после отступания.

Все перечисленные проблемы в полной мере касаются ледников Алтая, среди которых ледники Актру – наиболее изученные. Тем не менее, решение первой задачи – определение активности ледника Малый Актру – невозможно без рассмотрения противоречия между радиоуглеродными и дендрохронологическими датами, на которое указывал ещё П.А. Окишев [25, с. 139], путём определения границ и условий применения каждого из методов.

Дендрохронологические исследования на Алтае привели к появлению не только принципиально новых возможностей для датирования древесных остатков, но и к созданию сверхдлительных климатических реконструкций [16–18, 23, 24] благодаря наличию тесной связи между приростом лиственницы сибирской и температурой периода вегетации. Это, в свою очередь, позволило рассчитать высотные изменения термических условий, соответствующих верхней границе леса, и решить вторую задачу, стоящую перед нами. Поскольку существование леса на верхнем пределе, как и существование ледников, во многом определяется летней температурой, обе задачи решались совместно, информативно дополняя друг друга.

Район исследований

Основные работы проводились в горных долинах Северо-Чуйского хребта, относящегося к Центральному Алтаю [27] (рис. 1). Истоки р. Актру, формирующей одноимённый бассейн, образованы крупными ледниками, служившими в своё время базой для отработки методики балансовых наблюдений наряду с ледниками долин Аккема и Мульты. Данные о рельефе, климате, составляющих баланса ледников, кроме многочисленных публикаций по частным вопросам (от геологии до метеорологии и растительности), представлены в ряде обобщающих монографий [7, 8, 12, 14].

Река Актру, после выхода из долины, протекает около 10 км до впадения в р. Чуя – дренирующую артерию Курайской впадины (см. рис. 1). Распространение леса в бассейне ограничено по вертикали как сверху, так и снизу. Существование нижней границы обусловлено особенностями конвекции воздушных масс в горах, приводящей к недостаточному увлажнению днищ крупных межгорных котловин. Верхняя граница леса, как и везде в горах, очень неравномерна и представлена двумя видами Pinus sibirica Du Tour и Larix sibirica Ledeb. Согласно исследованиям наших томских коллег [26], на климатической границе группы кедра и лиственницы приурочены к высотам 2335–2350 м; подрост кедра поднимается до 2475 м, а лиственницы – до 2420 м. На склонах северных и западных экспозиций деревья поднимаются на несколько десятков метров выше и представлены большим числом особей; на южных и восточных склонах на аналогичных высотах деревья старше по возрасту и лучше развиты. Вне действия эдафических факторов, по левому (юго-восточному) борту долины, экотон верхней границы леса с очень неровным, прерываемым языками сомкнутого древостоя нижним краем расположен между высотных отметок 2235–2365 м (до 2400 м). По правому (северо-восточному) борту полоса экотона занимает отметки 2240–2390 м (до 2465 м) [26]. Несомненно, что в данном случае, при большей величине инсоляции, на южных склонах отмечается дефицит увлажнения (см. рис. 1). Соответствующие видовые изменения на склонах разной ориентации наблюдаются и в кустарниковом, и в напочвенном покрове. Впрочем, авторы отмеченной работы специально не выделяют увлажнение в качестве лимитирующего фактора.

В средней части долины, особенно по правому борту, распространение леса носит мозаичный характер, обусловленный динамичностью склонов (см. рис. 1 и рис. 2). Эдафическая граница леса соответствует отметкам 2230–2280 м, причём отдельные деревья достигают и климатических пределов. Между моренами ледников Большой и

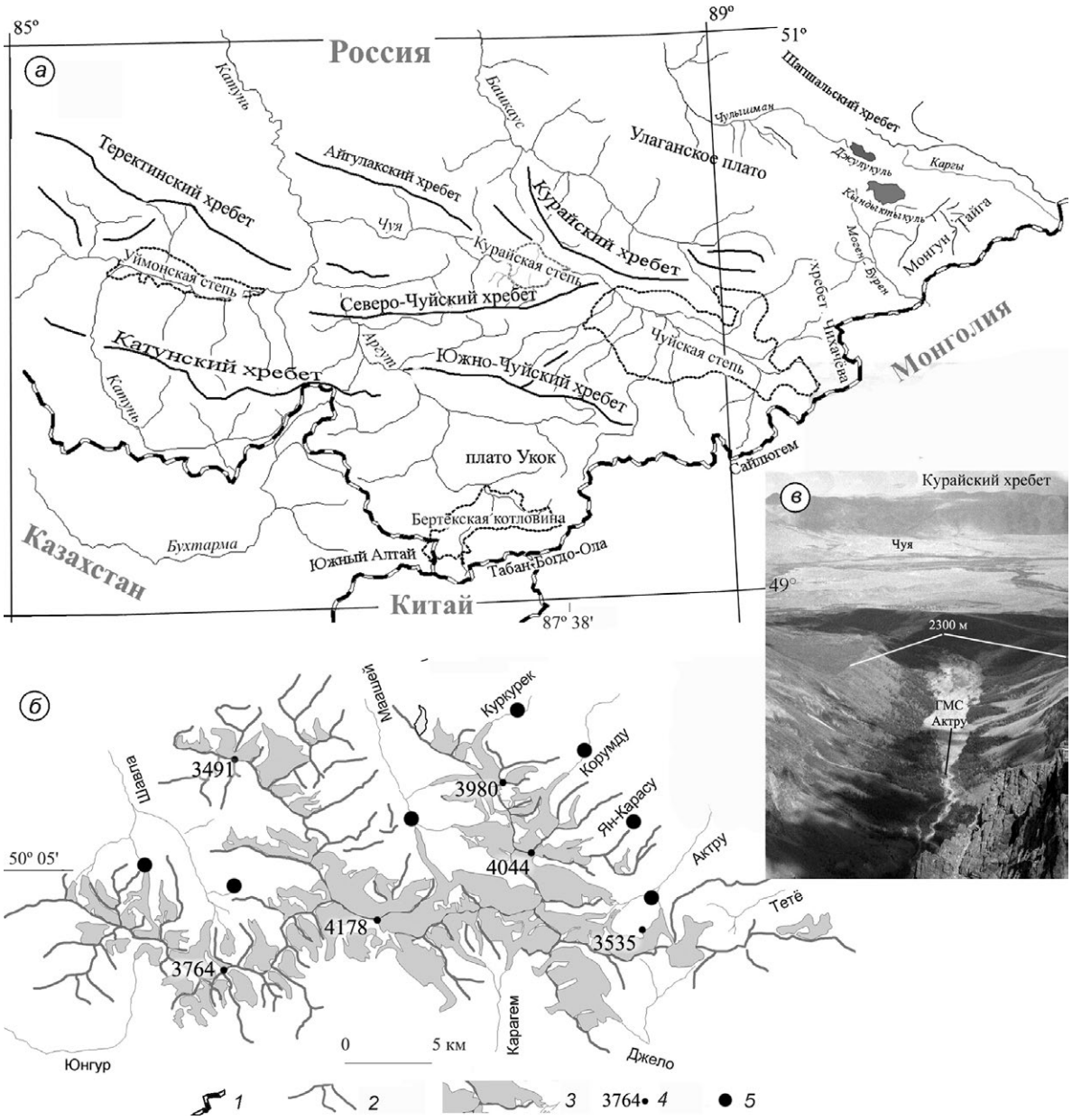

Рис. 1. Район исследований:
а – орографическая схема центральной и южной частей Русского Алтая; *б* – орографическая схема Северо-Чуйского хребта; *в* – фото с вершины Караташ (3535 м) в направлении Курайского хребта. Отмечены изолиния 2300 м и положение ГМС Актру (2120 м); *1* – государственная граница; *2* – осевые части хребтов и их отроги; *3* – современное оледенение; *4* – отметки абсолютных высот, м; *5* – места отбора образцов на дендрохронологический анализ

Fig. 1. Study area:
a – orographic scheme of central and southern parts of the Russian Altai; *б* – orographic scheme of the North-Chuisky ridge; *в* – photo from the top of Mt. Karataşh (3535 m) in the direction of the Kuraisky mountain ridge. A contour line (2300 m) and the position of the Aktru weather station (2120 m) are marked; *1* – the state border; *2* – axial parts of ridges and their spurs; *3* – modern glaciation; *4* – marks of absolute elevation, m; *5* – sampling sites for dendrochronological analysis

Малый Актру присутствует последний форпост сомкнутого старовозрастного кедрового леса на Алтае (из обследованных нами районов), так называемая «кедровая площадка». Геоморфологически это размытый правобережный участок «исторической» морены Большого Актру на высотах 2300–2325 м (см. рис. 2). Возраст живых кедров здесь достигает 500 лет, погибшие деревья появились здесь не позднее начала VIII в. (табл. 1). Сохранившийся участок морены «исторической стадии» имеет

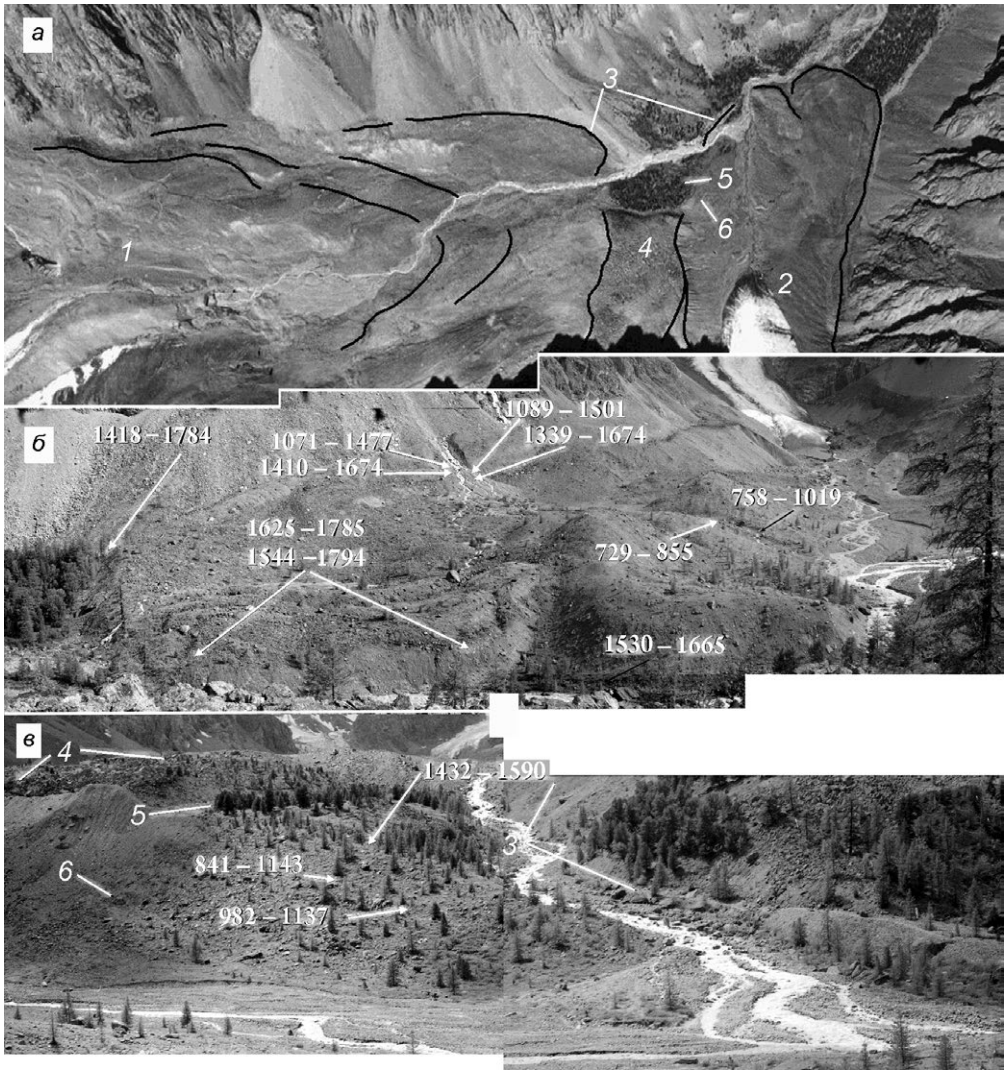

Рис. 2. Истоки р. Актру, места находок образцов и даты спилов древесных остатков:
а – фрагмент АФС 1970-х годов: *1* – предполья ледника Большой Актру; *2* – язык ледника Малый Актру; *3* – вал морены стадии Актру ледников Большой и Малый Актру; *4* – сохранившаяся часть морены «исторической стадии» ледника Большой Актру, место сбора образцов перед мореной Большого Актру; *5* – «кедровая площадка»; *6* – «камень Сапожникова», граница ледника в 1911 г.; *б* – правая часть моренного комплекса ледника Малый Актру, панорама с левого борта долины с обозначением мест находок и возраста спилов; на заднем плане язык ледника в 2004 г.; *в* – левая часть моренного комплекса ледника Малый Актру с обозначением мест находок и возраста спилов; обозначение цифр то же, что на фрагменте *а*. *Примечание*. Даты 1625–1785 и 1544–1794 (фрагмент *б*) получены М.Ф. Адаменко и А.А. Сюбаевым [1] и показаны согласно описанию обр. СОАН 1426 и СОАН 1616 [13], факт дендрохронологического датирования которых утверждается П.А. Окишевым [25, с. 139].

Fig. 2. The sources of Aktru river, the places of sample findings and the age of the cuts:
a – a fragment of the air-photo from the 70-ies of the XX century: *1* – forefields of the Bolshoy Aktru Glacier; *2* – the tongue of the Maly Aktru Glacier; *3* – dumped moraine in the Aktru stage of the Bolshoy and Maly glaciers; *4* – a preserved part of the moraine of the «Historical stage» of the Bolshoy Aktru Glacier, a sampling site in front of the Bolshoy Aktru moraine; *5* – a «cedar site»; *6* – a «Sapozhnikov stone», the glacier boundary in 1911; *б* – the right part of the Maly Aktru moraine complex, view from the left side of the valley with the designation of places of findings and the age of the cuts. In the background is the glacier tongue in 2004; *в* – the left part of the Maly Aktru moraine complex with the designation of places of findings and the age of the cuts; designation of numbers is the same as in fragment *a*. *Note*. the dates of 1625–1785 and 1544–1794 (fragment *б*) are obtained by M.F. Adamenko and A.A. Syubaev [1] and are shown as described by SOAN 1426 and SOAN 1616 [13], the fact of dendrochronological dating is argued by P.A. Okishev [25, p. 139].

ширину около 160 м. Именно столько не хватило леднику Большой Актру для слияния с ледником Малый Актру в период недавней активизации и полного вытеснения кедра с данного высотного уровня. На левом, крутом берегу р. Актру также сохранился участок старовозрастного леса (см. рис. 2, *в*), но традиционно под кедровой площадкой подразумевают более выположенный правобе-

режный участок. Выше кедровой площадки широкие и выровненные пространства приледниковья Большого Актру также активно осваиваются древесным подростом; здесь его распространение лимитируется почти исключительно летней температурой. В настоящее время на предпольях ледников как в пределах климатической границы, так и заведомо ниже неё доминирующий вид – лиственница.

Вопреки устоявшемуся мнению о повышении границы леса в направлении с севера на юг [28], маршрутными наблюдениями в Центральном и Восточном Алтае не выявлено никаких принципиальных различий в её высотном положении. По этой причине в работе без каких-либо поправок использованы данные, полученные в различных долинах Северо-Чуйского хребта: Шавла, Маашей, Куркурек, Корумду, Ян-Карасу (см. рис. 1). Повсеместно участки взрослого леса ограничены высотами 2220–2330 м, а отдельные деревья и подрост при благоприятных условиях встречаются до 2500 м. В южных и юго-восточных районах возрастающий дефицит осадков существенно влияет на развитие леса лишь через их локальное перераспределение, экспозицию склонов и наличие подтока грунтовых вод, часто связанное с очагами мерзлоты. Видимо, деревья не выдерживают одновременного воздействия двух лимитирующих факторов и гибнут на более сухих участках, что придаёт верхней границе леса на юге Алтая значительную пространственную мозаичность. Кедр исчезает из лесообразующих пород, и распространение получает исключительно лиственница (северный макросклон Южно-Чуйского хребта, северное обрамление плато Укок, массив Монгун-Тайга). В то же время в пределах Катунского и Северо-Чуйского хребтов кедр достигает верхних пределов наряду с лиственницей.

Материалы и методы

Источником информации о времени климатических событий служит древесина, поиск и сбор которой ведутся в местах либо полного отсутствия деревьев, либо среди разреженного древостоя и подроста, ещё не достигшего размеров и возраста находок. Это, как правило, переходная зона от леса к горной тундре и предполья ледников, которые часто соответствуют локальным понижениям границы леса. Образцы имеют как поверхностное, так и ископаемое происхождение. Применялась стандартная в дендрохронологии методика предварительной обработки, измерений и кросскорреляционного анализа [32, 33, 36, 38]. Датирование кедра проводилось по хронологии Актру [22], лиственницы – по хронологии Монгун [18]. Положение на местности и высота находок определялись туристским GPS-приёмником, показания которого проверялись по точкам с известной высотой и положением на картах. Ошибка в плане и по высоте обычно не превышала ±5 м.

При составлении хронологии Монгун, которая служит базой для расчёта палеотемпературных вариаций, в отличие от опубликованной работы [18] применялась аппроксимация серий по возрастной кривой. Только такой метод обработки свободен от субъективизма, экологически обоснован и позволяет проследить долгопериодные (низкочастотные) изменения климата, ответственные за колебания прироста деревьев-индикаторов. Данный метод широко апробирован [30, 34, 35, 37]. Калибровка радиоуглеродного возраста проводилась в программе Calib Rev 7.0.1. [31].

Результаты и обсуждение

Динамика ледника Малый Актру и рост леса в приледниковье по дендрохронологическим данным. Расхождение между дендрохронологическим и радиоуглеродным возрастом образцов. Практически в то же время, когда проводились исследования Л.Н. Ивановского и В.А. Панычева [13], получивших первые радиоуглеродные даты ледниковых отложений Актру, М.Ф. Адаменко и А.А. Сюбаевым [1] были рассмотрены особенности радиального прироста лиственницы на верхней границе леса в бассейне р. Актру. Кроме построения древесно-кольцевой хронологии, авторы провели датирование правой части моренного комплекса: «Возраст последней надёжно датируется по двум стволам лиственницы, извлечённой из моренных отложений... У спила № 1 от сердцевины к периферии измерено 160 годовых колец, у спила № 2 – 250. Возраст последнего годичного кольца у спила № 1 – 1785 год, у спила № 2 – 1794 г. Возраст самого последнего кольца вследствие обопрелости заболони определить не удалось» [1, с. 198, 199]. По утверждению П.А. Окишева [25, с. 139], «спилы для дендрохроно-

Таблица 1. **Дендрохронологические даты образцов с Северо-Чуйского хребта**

Местоположение	Номер образца	Возраст спила, годы	Высота, м	Депрессии прироста, годы	Примечания
Правый край морены ледника Малый Актру	МА0802	1418–1784	2199	–	Лиственница
Правая лопасть морены ледника Малый Актру, русло ручья Водопадного	Вд0805	1071–1477	2218	1238–1244	Кедр, ствол, часть колец стёрта
	Вд0808	1410–1674	2260	1480–1486	Кедр, комель, часть колец стёрта
	Вд0901	1089–1501	2231	–	Кедр, ствол
	Вд0902	1339–1674	2220	1346–1351 1602–1605	Ветка кедра
Подножие центральной лопасти, фронт морены ледника Малый Актру	МА0803	1530–1665	2207	–	Разорванный ледником ствол кедра
Левая боковая морена ледника Малый Актру	МА1001	1432–1590	2300		Щепки кедра в камнях
Центр морены ледника Малый Актру, бывшее русло ручья Водопадный	МА1201	758–1019	2213		Лиственница, кусок ствола, 160 см, сердцевина.
	МА1202	729–855	2213		Кедр, кусок ствола, сердцевина
Левая внутренняя часть морены ледника Малый Актру	МА1203	982–1137	2215		Фрагмент ствола, кедр
	МА1204	841–1143	2239		остатки кедра
Правый берег, выше «кедровой площадки», пространство перед молодой мореной ледника Большой Актру, остатки морены «исторической стадии»	БА1105	1266–1413	2372		Кедр
	БА1106	1201–1587	2340		Погибший кедровый лес, 50–100 м от молодой морены
	БА1107	1305–1571		1453–1487	
	БА1108	951–1131		–	
	БА1110	1320–1624			
	БА1111	822–1123		1050–1069	
	БА1112	1293–1590		–	
	БА1113	1258–1528		1367–1397 1452–1482	Подножие морены
	БА1114	918–1325		–	
	БА1115	919–1516			
	БА1201	781–1575	2315–2337		Кедры, 50–100 м от молодой морены
	БА1202	1260–1539			
	БА1203	1537–1651			
	БА1204	1101–1285			
	БА1205	1217–1446			Кедр
	БА1206	1478–1686			
	БА1207	1216–1430			
	БА1208	1496–1634	2352		
Остатки морены «исторической стадии» в непосредственной близости от контакта с левой боковой мореной ледника Малый Актру, кедры (если не указано дополнительно)	БА1210	924–1433	2336		
	БА1211	1227–1623		1457–1481	Выпадает 1471 г.
	БА1212	1327–1651		–	Выпадают: 1371, 1422, 1495, 1577, 1581 гг., лиственница
	БА1213	1147–1579			Выпадают: 1194, 1247, 1310, 1482 гг., пять колец на периоде 1485–1523 гг., травма зимой 1336 г., лиственница
	БА1215	936–1393		1236–1247 1261–1267	Выпадают 1236, 1239, 1299 гг.
	БА1216	1092–1559		–	Выпадает 1495 г., лиственница
	БА1217	1140–1629		1455–1481	Выпадает 1524 г.
	БА1218	1405–1482		–	–
	БА1219	1508–1646			
	БА1220	1119–1506		1452–1487	Выпадают 1391, 1450 гг.
	БА1221	1104–1581		1230–1247 1292–1298 1322–1333 1365–1415 1452–1481	Выпадают 1282, 1314, 1339 гг.
	БА1222	877–1357		–	Контакт с мореной Малого Актру

Левая боковая морена ледника Малый Актру в месте срезания морены «исторической стадии», кедры	БА1403	1216–1686	2300	1241–1253 1320–1341 1432–1517 1537–1550 1597–1610	Есть центр
	БА1404	864–1277		–	–
	БА1405	1366–1628			
	БА1406	1477–1632	2292		
	БА1407	1423–1597	2295		
	БА1408	1396–1629			
	БА1409	1409–1664	2325		Есть центр
	БА1410	1325–1428			–
	БА1411	1045–после 1273			Резкое падение прироста после 1217 г., гибель около 1280 г., есть центр
Истоки р. Шавла, граница леса по правому борту долины	Sh1201	1522–1647	2278	1617–1627	
	Sh1202	1372–1639		1455–1478 1602–1611	1455–1478 гг. – выпадает пять колец
	Sh1203	1638–1744		1699–1715	Обр. № 1–7 взяты на границе сомкнутого леса
	Sh1204	1564–1699		1659–1664	
	Sh1205	1555–1807	2291	1699–1715 1746–1760	
	Sh1206	1613–1838		1764–1768 1784–1795	
	Sh1207	1514–1690	2312	1602–1611	
	Sh1208	1475–1563	2327	–	–
	Sh1209	1539–1625			
	Sh1210	1362–1550			
	Sh1211	1571–1676		1602–1606	
	Sh1212	1229–1444	2371	1260–1264 1389–1417	Выпадает 1261 г.
Ледник притока р. Шавла перед фронтом морены	Sh0802	1187–1256	2374	–	Кедр
	Sh0902	1637–1734	2165		Кедр, высох на корню
Подножие правой части фронта морены ледника Маашей	Ma0812	1206–1667	2182		Лиственница
	Ma1109	1616–1882	2264	1815–1823 1849–1853	
	Ma1110	1681–1779	2256	–	
	Ma1112	1601–1782	2240		
	Ma1113	1145–1337	2223		
	Ma1114	1059–1470	2220		Щепка кедра
	Ma1115	1281–1575	2210		Остатки кедра
	Ma1116	1206–1406	2200		Кедр
	Ma1117	1138–1650	2191		Комель кедра и кусок ствола
Висячая долина притока р. Маашей по левому борту	Ma0804	867–1201	2399		Лиственница, выпадает 951 г.
Долина Ян-Карасу	Yn1001	1125–1229	2441		Лиственница
	Yn1104	1360–1477	2342		Лиственница, выпадает 1402 г.
Долина Куркурека, днище долины, остатки лиственниц 50–80 см диаметром	Ku1001	1416–1642	2310		Выпадают 1450, 1495, 1513 гг.
	Ku1002	1326–1478	2327		
	Ku1003	1340–1471	2327		Выпадают 1393, 1427, 1434 гг.
Долина Корумду, кедры перед молодой мореной	Kr1001	995–1327	2228		–
	Kr1002	1322–1529	2228		
	Kr1003	1160–1445	2228		
	Kr1004	1361–1641	2228		

логического анализа были сделаны от тех же стволов, от которых взяты образцы СОАН 1616 и СОАН 1426 на радиоуглеродный анализ» (см. рис. 2, *б*).

В ранних работах, основываясь на результатах радиоуглеродного датирования, мы связывали начало активизации ледников Центрального Алтая с XIII–XIV вв., причём крупные ледники достигали максимума именно в этот период, а небольшие – в конце XV – начале XVI вв. [19, 20, 29]. Считалось, что правая часть моренного вала Малого Актру образовалась на столетие раньше, чем левая (середина – конец XIV в.). Таким образом, результаты, полученные М.Ф. Адаменко и А.А. Сюбаевым, считались ошибочными. Однако обширные дендрохронологические исследования позволили по-новому рассмотреть эту проблему.

Необходимо принимать во внимание, что при дендрохронологическом датировании определяется период между образованием первого и последнего кольца на спиле, при этом очень часто нельзя достоверно установить время появления и гибели дерева. Исследователь может лишь догадываться о количестве отсутствующих колец исходя из внешних повреждений и собственного опыта. Задача существенно упрощается с появлением нескольких образцов.

Определение возраста четырёх спилов из внутренней части правой лопасти морены (см. табл. 1 и рис. 2) убедительно показывает, что эта часть долины была заселена кедровым лесом не позднее XI в. Некоторые деревья в конце XV – начале XVI вв. погибли, но не по причине перекрытия ледником, поскольку лес здесь существовал до конца XVII в. В крайней правой части фронтального вала также была датирована полупогребённая, высохшая на корню лиственница, описанная М.Ф. Адаменко [1]. Результат почти совпал с датами, полученными ранее (см. рис. 2, *б*) – 1784 г. Это же дерево было датировано Н.И. Быковым [5] – 1780 г. Очевидно, что развитие правой части ледника Малый Актру необходимо связывать с концом XVIII в.

В центральной части морены сделаны не менее интересные находки. В одном из паводковых русел ручья Водопадный, на продолжении его в сторону р. Малый Актру, обнаружены несколько небольших фрагментов древесины и большой кусок ствола, по которым получен возраст двух спилов: 758–1019 и 729–855 гг. (соответственно обр. МА1201 и МА1202, см. табл. 1, см. рис. 2, *б*). Это – образцы ископаемого происхождения, без гнили и трухи, очень хорошей сохранности, не считая потёртостей и изломов; в них присутствует первое кольцо. На противоположной стороне реки, текущей из ледника, также обнаружены остатки двух рассыпающихся полусопревших кедров, уцелевшие внешние части которых датированы 841–1143 и 982–1137 гг. (соответственно обр. МА1203 и МА1204, см. табл. 1 и рис. 2, *в*). Как видно из полученных датировок, все четыре дерева росли одновременно. Деревья, погибшие ранее, вскоре после гибели были перекрыты льдом, который и способствовал их консервации, а две более поздние даты маркируют соответствующее положение ледника. Очевидно, что в данном случае мы сталкиваемся с одним из средневековых наступаний. Примечательно, что справа от основного языка продолжал расти взрослый лес, погибший значительно позднее. Поэтому мы выделяем отмеченную активизацию как отдельную, по масштабу меньшую, чем последующая стадия Актру.

Максимум стадии Актру связывается с датой гибели кедра у подножия правого края центральной лопасти вала (обр. МА0803, 1530–1665 гг., см. рис. 2, *б*). Косвенно эту дату подтверждают остатки кедра на контакте Малого Актру и кедровой площадки (обр. МА1001, 1432–1590 гг.). Предположение об активном продвижении ледника Малый Актру хорошо объясняет факт гибели кедров справа от основного ледника. Отметим, что ни одно из исследованных деревьев на исторической морене Большого Актру, вероятно, не пережило рубеж XVII– XVIII вв. (см. табл. 1). По-видимому, достигнув максимума в начале XVIII в., ледник находился в таком состоянии вплоть до начала XIX в. (даты правой части вала), когда, судя по возрасту заселивших морену деревьев, началось его отступание [13] несмотря на наибольший термический минимум за тысячелетие.

Наши выводы косвенно подтверждаются анализом погибших деревьев в правой части фронтального вала ледника Маашей (см. табл. 1). Из полученных дат несколько практически совпадают с датами по леднику Малый Актру. Достоверно определить первоначальное положение деревьев невозможно. Древесные остатки, найденные среди глыб пологого фронта морены или среди зарослей кустарника перед фронтом, представляют собой фрагменты стволов, комлей и просто куски древесины. Некоторые из них несомненно находятся в положении, близком к *in situ*, многие выгружены

Таблица 2. **Дендрохронологическое датирование образцов древесины известного радиоуглеродного возраста (радиоуглеродное датирование проводилось без выделения фракции целлюлозы)**

Номер образца*	Радиоуглеродный возраст, лет	Интервал календарного возраста (последняя дата интервала), годы	Собственный возраст образца, использованного для датирования (дата последнего кольца на спиле), годы
СОАН 5634	670±85	1320±110(1430)	1478±50(1528)
СОАН 6037	1120±70	872±160(1030)	1151±50(1201)
СОАН 6038	665±35	1335±60(1395)	1437±50(1487)
СОАН 6039	645±35	1340±60(1400)	1592±50(1642)
СОАН 6458	470±60	1510±120(1630)	1875±50(1925)
СОАН 6459	480±90	1465±170(1635)	1878±50(1928)
СОАН 6462	485±60	1410±110(1520)	1842±50(1892)
СОАН 6466	385±35	1540±95(1635)	1875±50(1925)
СОАН 6471	465+70	1515±120(1635)	1610±50(1665)
СОАН 6911	460±40	1450±50(1500)	1587±50(1637)
СОАН 6914	535±40	1380±65(1445)	1548±50(1598)
СОАН 6917	400±40	1530±100(1630)	1786±50(1836)
СОАН 6918	1400±70	655±120(775)	965±50(1015)
СОАН 7380	700+50	1310±85(1395)	1427±50(1477)
СОАН 7382	690±45	1325±70(1395)	1624±50(1674)
ИГАН 3886	380±60(по целлюлозе)	1540±100(1640)	1617±50(1667)
СОАН 8750	1395±55	635±80(715)	969±50(1019)

*СОАН – лаборатория геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии СО РАН, Новосибирск; ИГАН – лаборатория географии и эволюции почв Институт географии РАН, Москва.

Таблица 3. **Радиоуглеродное датирование образцов древесины известного возраста по фракции целлюлозы**

Номер образца	Дендрохронологический возраст, гг. н.э.	Радиоуглеродный возраст, лет	Календарный возраст, годы
СОАН 8531	981–1031, 983–1029	1055±30	962±63
СОАН 8533	1070–1109	930±25	1096±64
СОАН 8534	1083–1157	940±30	1090±65
СОАН 8535	1226–1258, 1258–1288	760±30	1250±30

на фронт ледником. Вместе с тем по полученному набору дат нельзя провести однозначное датирование. Древесные остатки в левой части вала в положении *in situ*, описанные нами ранее [20, 29], датированию дендрохронологическими методами не подлежат. Тем не менее, если не принимать во внимание явно случайную дату (обр. Ma1109), то ледник достиг максимума в начале – конце XVIII в. аналогично Малому Актру. Обратим внимание также на очень показательный обр. Sh0902 (1734 г.). В этой связи не подтверждаются наши выводы о разнице во времени развития больших и малых ледников Алтая [19]. Расхождение между радиоуглеродными и дендрохронологическими датами, которое мы отмечали ранее, впоследствии подтвердилось при уточнении возраста ряда образцов, датированных по радиоуглероду. Результаты сравнения приведены в табл. 2. Для датирования использовалось не более 100 внешних колец, поэтому погрешность радиоуглеродного возраста должна перекрывать среднюю дату фактического возраста образца (колонка 4, см. табл. 2). В действительности, разница между этими величинами колеблется от 48 до 254 лет. В пределах погрешности оказался возраст только двух образцов: СОАН 6471 и ИГАН 3886. Четыре современных образца закономерно показали проявление эффекта Зюсса, вызванного разбавлением атмосферной углекислоты антропогенными выбросами [6]. Во всех случаях по радиоуглеродному датированию сложно сделать правильные выводы о времени гибели деревьев.

Для выяснения причин возникшей систематической ошибки были датированы по целлюлозе древесные кольца, находящиеся в узком временно́м диапазоне (табл. 3). Результаты датирования отражают реальное время роста древесины. Это означает, что ошибка определения возраста – не результат погрешности обработки или расчёта, она связана только с содержимым образца. Таким образом, определяя время формирования какой-либо формы рельефа по древесине, мы сталкиваемся со следующими условиями: 1) неизвестно, насколько дата гибели дерева отражает процесс, вызвавший перестройку рельефа; 2) действительно ли мы датируем последние кольца дерева; 3) количество древесных колец, подвергаемых анализу, должно быть точно

Таблица 4. **Образцы древесины, датированные в двух лабораториях**

Номер образца	Радиоуглеродный возраст, лет
Лаборатория ИГАН	
3645	4640±100
3651	3470±70
3650	3340±110
3647	2640±60
3644	5380±80
Лаборатория СОАН	
6041	4315±85
6915	3525±70
6916	3365±95
6931	2490±75
6927	5315±75

известно; 4) радиоуглеродный анализ должен проводиться только по фракции целлюлозы.

Несколько ископаемых образцов ввиду их ключевого положения были датированы в разных лабораториях. Полученные результаты практически совпадают (табл. 4). При датировании более древних образцов, даже если в том же виде сохраняется погрешность, она не вносит существенных ошибок в реконструкции главным образом по причине масштаба процессов, а также низкого разрешения самих построений. Основные ошибки, допущенные нами в более ранних работах [19, 20] при определении активности ледников, – большой собственный возраст образцов и недоучёт влияния содержимого древесных клеток на возраст. Радиоуглеродному датированию должен предшествовать дендрохронологический анализ. Лучше всего сочетать оба метода, когда определяется изотопный возраст отдельных колец или их групп известного относительного возраста, например, датирование палеохронологий скифских курганов [39]. При невозможности подсчёта и измерения годичных колец радиоуглеродные даты можно использовать для реконструкции недавнего прошлого лишь в качестве оценки возраста в первом приближении.

Расчёт изменения верхней границы леса в долине р. Актру. Создание 2367-летней древесно-кольцевой хронологии лиственницы сибирской по северному подножию массива Монгун-Тайга [18] позволило реконструировать термический режим бассейна Актру, а следовательно с некоторыми допущениями, и всего Центрального Алтая (рис. 3). Индексы прироста годичных колец древесно-кольцевой хронологии Монгун-Тайги имеют тесную связь с июньской и июльской температурами ГМС Актру ($r = 0,65$, рис. 4). Как ни странно, но с хронологией Джело аналогичный показатель значительно слабее ($r = 0,47$). Уравнения зависимости температуры от индексов прироста, а также пределы отклонений представлены на рис. 5. Однако ход температуры даже за 2000 лет не представляет в наших исследованиях столь большого интереса, как термический потенциал границы леса, выраженный в вертикальной миграции июнь-июльской изотермы, соответствующей верхнему пределу роста деревьев и ответственной за прирост.

Благодаря созданию региональных древесно-кольцевых хронологий по обеим лесообразующим породам проведено массовое датирование древесных остатков выше пределов сомкнутого древостоя, где среди одиночного подроста и редких лиственниц, растущих тесными группами (кронхольдов), встречаются фрагменты достаточно массивных стволов. Сложилось мнение, что все погибшие к настоящему времени деревья появились во время средневекового оптимума, который был не менее тёплым, чем современный период, но гораздо более продолжительным и закончился с началом недавней активизации ледников (стадия Актру на Алтае). Действительно, первые кольца многих спилов датируются ранним средневековьем (фрагмент морены исторической стадии перед ледником Большой Актру), XII–XIII вв. (истоки р. Шавла). Несколько не вписываются в эту картину развитие ледника Малый Актру в XII в., а также наличие множества депрессий прироста и выпадающих колец не только в XV–XIX вв., но и на протяжении всего периода жизни деревьев (например, обр. БА1221 и БА1213), что плохо соответствует понятию «тёплый продолжительный период». Подобные явления, как правило, не характерны для сомкнутого древостоя, но очень ярко проявляются в зоне разреженного, представляя собой сильные сжатия годичных колец, когда их ширина не превышает 0,02–0,08 мм. Выпадающие кольца – обычное явление для лиственницы, но редко встречаются у кедра. Поэтому наличие депрессий и выпадающих колец – крайне важный источник информации, указывающий на неблагоприятные условия. Анализ высотного положения деревьев, дат их гибели и вертикального смещения июнь-июльской изотермы помогли получить более чёткую картину истории климата и разрешить возникшую неопределённость.

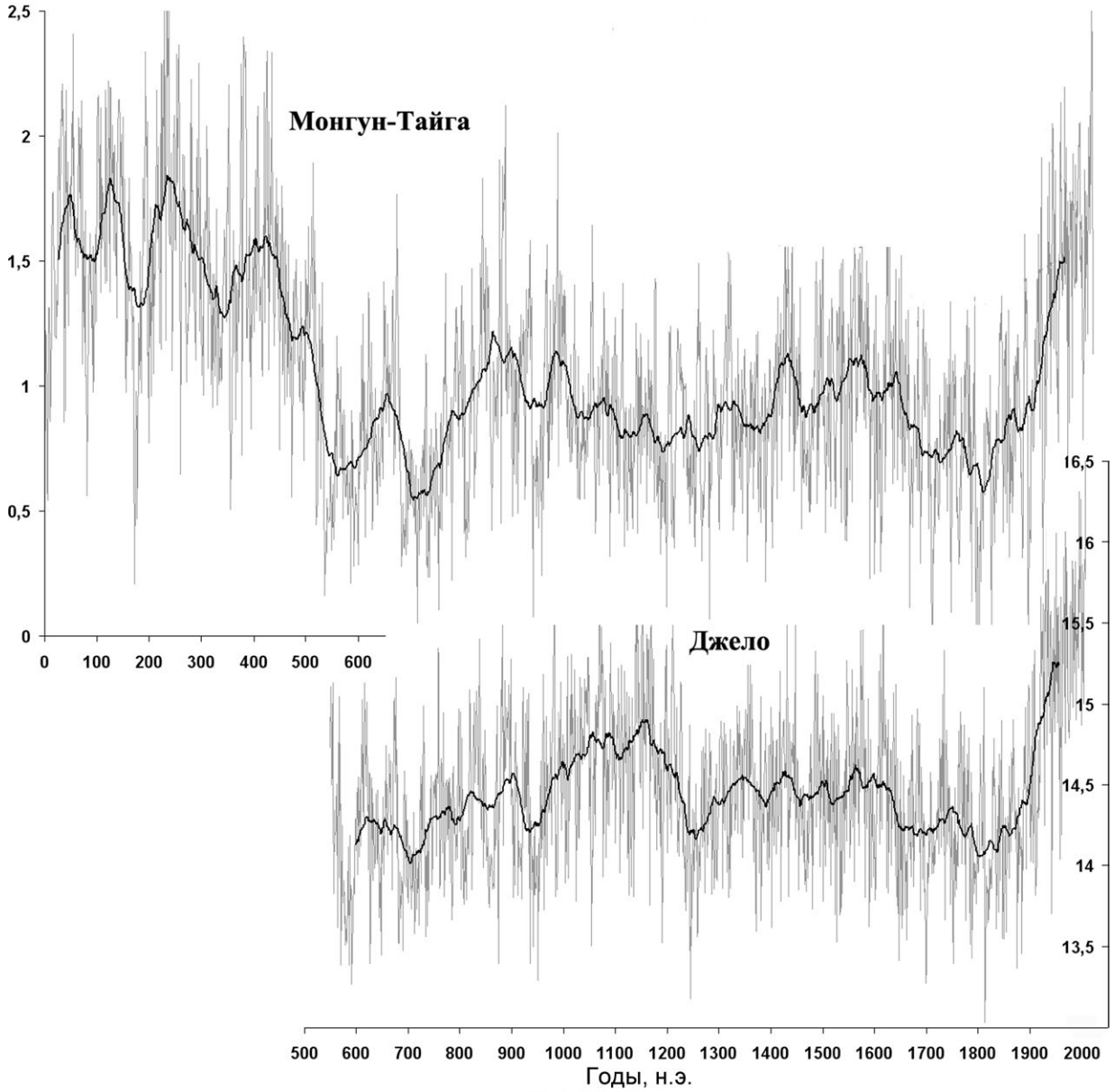

Рис. 3. Индексы прироста древесно-кольцевых хронологий Монгун [18] и Джело [17].
Тёмная линия на графиках – скользящее осреднение по пятидесятилетиям, серая – ежегодные значения
Fig. 3. Indices of growth of the Mongun [18] and Dzhelo [17] tree-ring chronologies.
The dark line is a moving average over 50 years; the grey line is the annual data

Достаточно условно положение верхней границы леса принято проходящим вдоль отметки 2365 м. Эти пространства начали осваиваться относительно недавно, в отдельные периоды второй половины XX в. [26], поэтому температурные условия на данной высоте хорошо отражают минимально необходимое для роста леса количество тепла.

Для бассейна Актру существует длительный ряд метеонаблюдений в различных его частях и на разных высотах [14]. Для расчёта июньской и июльской температуры на высоте границы леса выбран склон юго-восточной экспозиции с уклоном 15–20°, без скальных обнажений, непосредственно над ГМС Актру (см. рис. 1). Температура июня и июля на ГМС Актру (2120 м, наши измерения) составила 8,95 °С [9], на посту «Склон» (2600 м) – 7,25 °С [14, табл. 10]. Таким образом, высотный градиент в данном месте долины составляет 0,3551 °С/100 м; на средней вы-

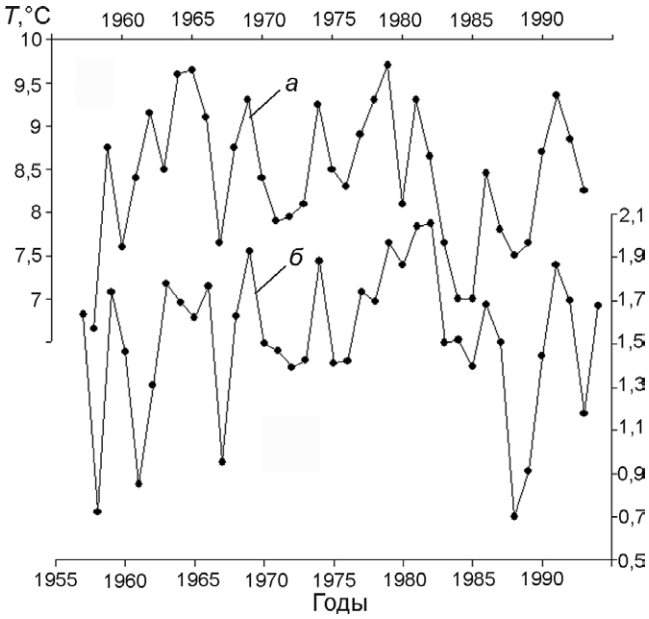

Рис. 4. Сравнение хода температуры в июне и июле на ГМС Актру за период наблюдений (*а*) и индексов прироста лиственницы сибирской хронологии Монгун-Тайги (*б*)

Fig. 4. Comparison of temperature in June and July at the Aktru weather station during the observation period (*a*) and indices of Siberian larch growth of Mongun-Taiga chronology (*б*)

соте границы леса (2365 м) температура июня и июля равна 8,085 °С. Для расчёта высоты данной изотермы в каждый конкретный год составлено следующее уравнение:

$$Y = ((Tm - 8{,}085)/0{,}003551) + 2120,$$

где Tm – июнь-июльская температура на уровне ГМС; 8,085 – июнь-июльская температура на высоте современной границы леса; 0,003551 – высотный градиент, °С/м; 2120 – абсолютная высота ГМС Актру. Полученные реконструкции представлены на рис. 6.

Таким образом, на юго-востоке Алтая средневековый оптимум как таковой выделяется лишь на фоне мощных температурных депрессий, отделяющих его от античности и современности. В соседней с Актру долине Джело колебания климата имеют те же особенности, хотя отличны в деталях (см. рис. 3). Современное потепление превосходит по амплитуде средневековое, но выглядит лишь незначительным эпизодом на фоне продолжительного римского оптимума. Сам факт прохладного средневековья хорошо объясняет температурные депрессии, наличие у кедра выпадающих колец, активность ледника Малый Актру и непрерывную гибель деревьев на своём верхнем пределе и перед ледниками (см. рис. 6), но в этом случае их появление могло происходить только под пологом леса, являющегося наследием тёплой римской эпохи. Факт существования леса в условиях худших, чем потенциально необходимо для его возобновления и выживания, указывает на постепенное отступание с более высоких уровней, которые при современном климате могут быть освоены лишь через 2–3 столетия.

Выводы

Определяя время формирования какой-либо формы рельефа по древесине, необходимо учитывать следующие условия: 1) гибель дерева должна быть вызвана именно перестройкой рельефа; 2) следует принимать во внимание возможность потери части внешних колец; 3) обязательно должны учитываться особенности развития ледника и положение дерева в момент гибели; 4) при радиоуглеродном датировании важен подсчёт количества годичных колец (если есть возможность, то необходима и точная дата); 5) датирование должно проводиться по фракции целлюлозы.

Совершенно определённо, что в VIII в. предполья ледника Малый Актру были залесены. В центральной части долины к XII в. ледник достиг значительных размеров, что вызвало гибель и захоронение леса, при этом справа от ледника продолжали расти деревья вплоть до конца XVII в. Максимального развития ледник достигает с конца XVII до начала XIX в. В середине XIX в. внутренняя часть морены ледника уже заселяется лиственницей.

В настоящее время термическая граница леса достигла самого высокого за ближайшие 1500 лет уровня, однако массовое датирование деревьев, появившихся в раннем и среднем средневековье, указывает на её более высокое положение в I–IV вв. Наблюдаются два сильных термических минимума, аналогичных по амплитуде началу XIX в.: около 536 г. и около 720 г. Темпы падения температуры в V в. совпадают с темпами подъёма в XX в. В течение всего средневеко-

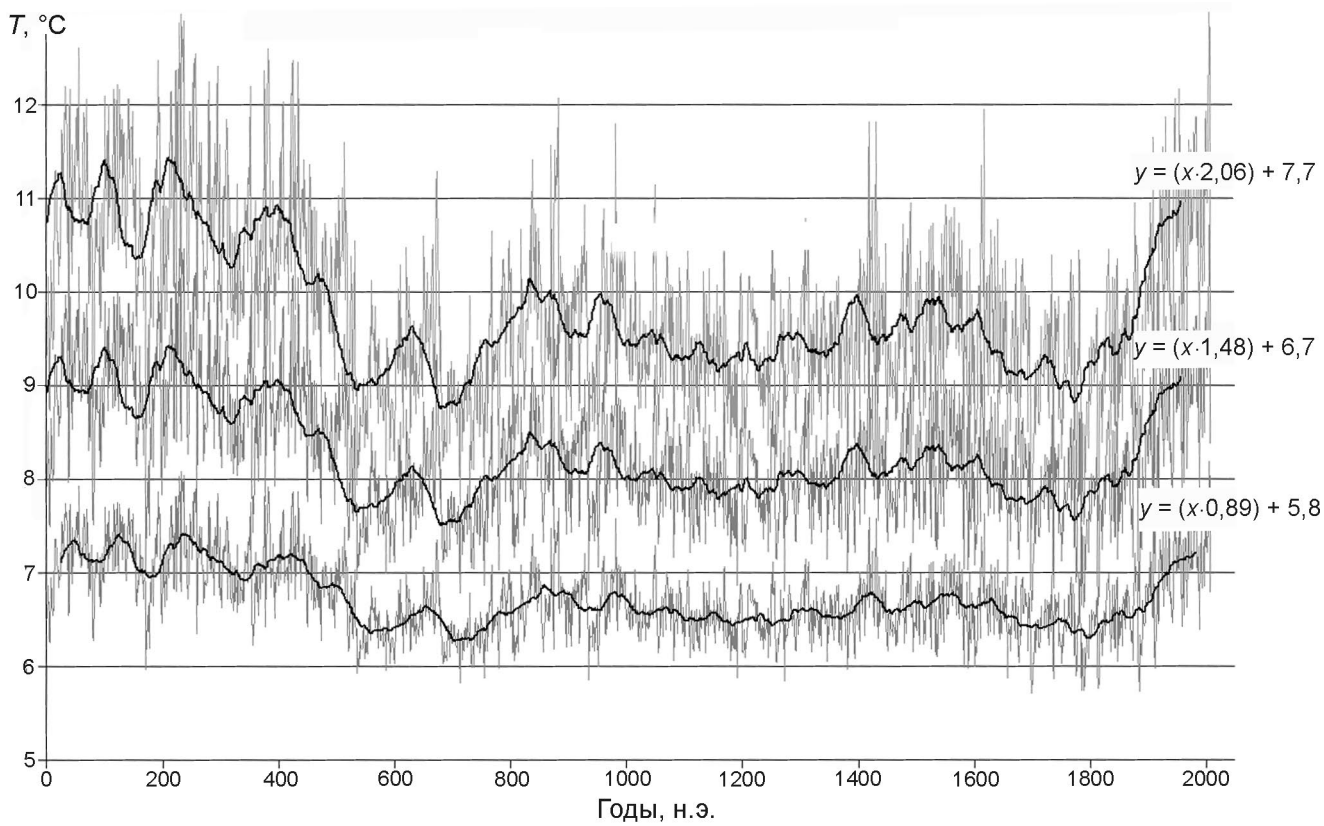

Рис. 5. Реконструкция температуры в июне и июле на ГМС Актру за 2000 лет и пределы её отклонений. Тёмная линия на графиках – скользящее осреднение по пятидесятилетиям, серая – ежегодные значения

Fig. 5. Reconstruction of temperature in June and July and its deviation at the Aktru weather station for 2000 years. The dark line is a moving average over 50 years; the grey line is the annual data

вья термический потенциал границы леса был на 150–250 м ниже её фактического положения, что приводило к непрерывной гибели деревьев и постепенному снижению границы сомкнутого леса до уровня 2320–2250 м к началу XIX в. В настоящее время для достижения лесом высотных отметок начала новой эры требуется около 200–300 лет стабильного состояния климата.

В качестве заключения

Как следует из пятого оценочного доклада МГЭИК (свободный перевод из «Summary for policymakers» [15]: «*Чрезвычайно вероятно (95–100%)*, что более половины наблюдаемого повышения средней глобальной температуры приповерхностного слоя воздуха в 1951–2010 гг. обусловлено антропогенным повышением концентраций парниковых газов и другими антропогенными воздействиями». Факт доминирующего воздействия человека на климат в очередной раз признан неоспоримым, по этой причине реальность такова, что *история климата не имеет значения для лиц, принимающих решения*.

Рассмотрение хода естественной климатической истории приводит к выводу, что потепление не обязательно есть следствие изменения концентрации парниковых газов. Современные климатические флуктуации не выходят за рамки естественных отклонений, более того, в ближайшем прошлом неоднократно возникали тёплые продолжительные периоды, и даже если выводы экспертов МГЭИК отвечают действительности, то противоречие ситуации состоит в том, что глобальное потепление усиленно превращается в своего рода «глобальный психоз», от которого нет лекарств по той причине, что предлагаемые методы, кроме депопуляции, не в состоянии ограничить потребление ресурсов, снизить выбросы

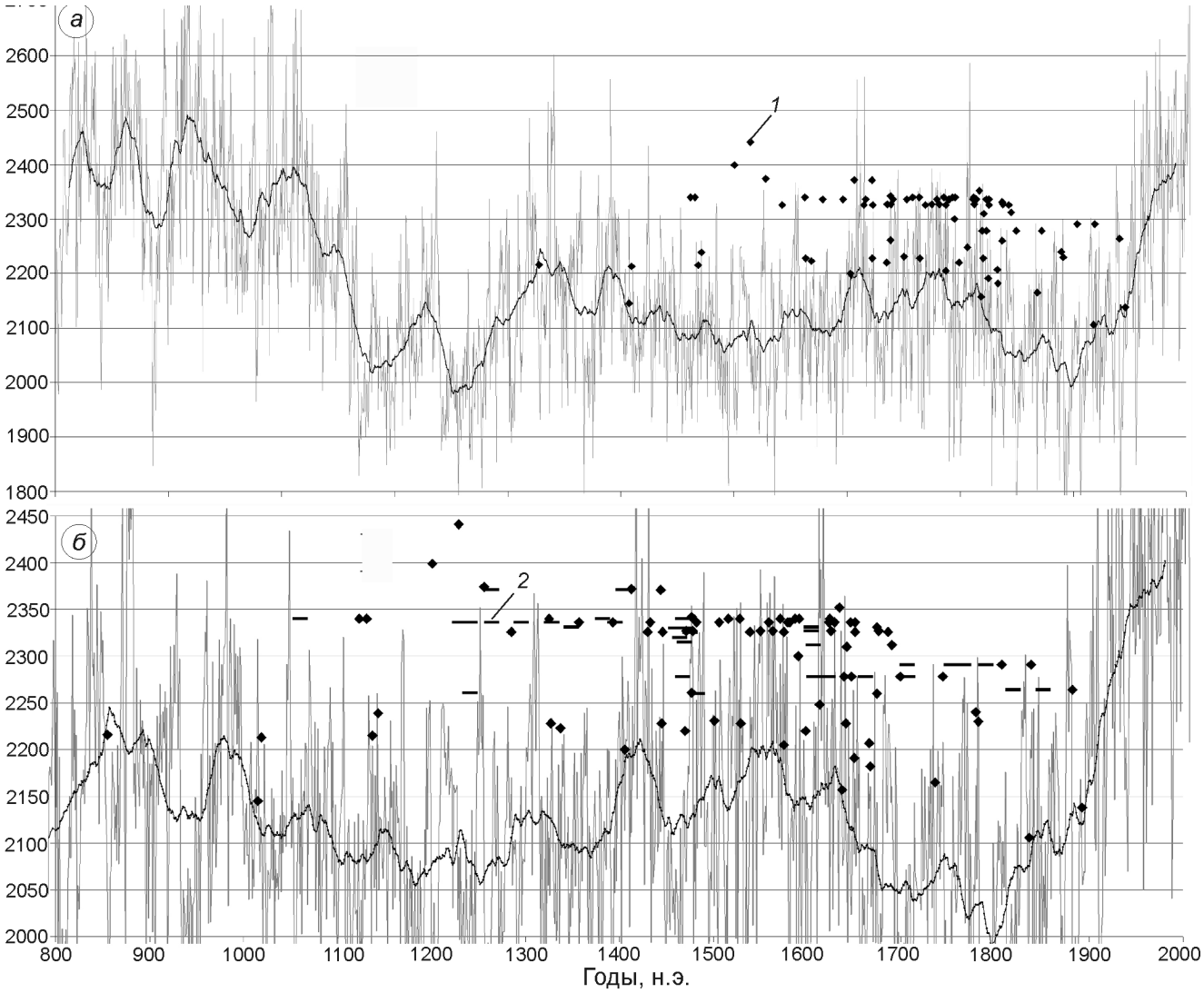

Рис. 6. Высотная изменчивость термического потенциала верхней границы леса в долине Актру за 2000 лет.
а – высотное изменение изотермы июня–июля (8,05 °С) на склоне юго-восточной экспозиции в бассейне Актру; *б* – то же, что вверху, с 750 по 2007 г.; *1* – даты последних колец на спилах деревьев; *2* – средние даты депрессий прироста без указания на их продолжительность; тёмная линия – скользящее осреднение по пятидесятилетиям, серая – ежегодные значения

Fig. 6. Altitude dynamics of thermal capacity of the tree line in the Aktru valley for 2000 years.
a – altitude variation of June–July isotherm (8.05 °C) on the south-eastern side of the Aktru basin; *б* – the same as above, from 750 to 2007; *1* – the date of the recent rings on the tree cuts; *2* – the mean date of the growth depression, not pointing to their duration; the dark line is a moving average over 50 years; the grey line is the annual data

парниковых газов и загрязнение окружающей среды. Природоохранные мероприятия неэффективны, так как лечат симптомы, но не причину, а потребление неизбежно растёт быстрее. Действительная проблема состоит в дистанцировании человечества от природы, в создании искусственной среды обитания и восприятия, в культивировании образа «человек-потребитель». При этом рост числа катастрофических прогнозов воспринимается не как поиск выхода из неизбежного коллапса цивилизации, а как банальные спекуляции на интересе человечества к среде собственного обитания и прямое лоббирование промышленными, политическими и научными кругами собственных интересов (см. статьи С. Бомер-Кристиансен [3, 4]).

По сути, постулат «опасное антропогенное потепление» уже не имеет значения и лишь отвлекает от действительно серьёзных разработок с целью решения глобальных экологических

проблем. Вне всякого сомнения, коэволюция общества и природы невозможна, поскольку цивилизация развивается несоизмеримо быстрее. Неизбежно переустройство биосферы, но происходить это должно на основе осознания полноты ответственности и построения морально-этических принципов её преобразования. Однако реализация этого тезиса возможна лишь с возникновением нового мировоззрения. Другой альтернативы не существует.

Благодарности. Авторы благодарят Светлану Александровну Николаеву и Дмитрия Валентиновича Овчинникова за подробное критическое рассмотрение статьи, которое способствовало её улучшению.

Работа поддержана в рамках проекта РФФИ № 12-06-33040, государственного задания Министерства образования России ФГАОУ ВПО СФУ на 2014 г. (ГВ-1).

Литература

1. *Адаменко М.Ф.* Реконструкция динамики термического режима летних месяцев и оледенения на территории Горного Алтая в XIV – XX века: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. Новосибирск, Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, 1985. 16 с.
2. *Адаменко М.Ф., Сюбаев А.А.* Динамика климата на территории Горного Алтая в XV – XX веках по данным дендрохронологии // Вопросы горной гляциологии. Томск: Изд-во ТГУ, 1977. С. 196–202.
3. *Бомер-Кристиансен С.* Кто и каким образом определяет политику, касающуюся изменений глобального климата? // Изв. РГО. 2000. Т. 132. Вып. 3. С. 8–21.
4. *Бомер-Кристиансен С.* Что движет процессом Киото: наука или интересы? // Изв. РГО. 2004. Т. 136. Вып. 2. С. 26–31.
5. *Быков Н.И.* Дендрогеоморфология Алтая // Геоморфология гор и предгорий. Барнаул: Изд-во АГУ, 2002. С. 41–48.
6. *Вагнер Г.А.* Научные методы датирования в геологии, археологии и истории. М.: Техносфера, 2006. 538 с.
7. *Галахов В.П.* Имитационное моделирование как метод гляциологических реконструкций горного оледенения. Новосибирск: Наука, 2001. 136 с.
8. *Галахов В.П., Мухаметов Р.М.* Ледники Алтая. Новосибирск: Наука, 1999. 136 с.
9. *Галахов В.П., Назаров А.Н., Харламова Н.Ф.* Колебания ледников и изменения климата в позднем голоцене по материалам исследований ледников и ледниковых отложений бассейна Актру (Центральный Алтай, Северо-Чуйский хребет). Барнаул: Изд-во АГУ, 2005. 132 с.
10. *Галахов. В.П., Назаров А.Н. Ловцкая О.В., Агатова А.Р.* Хронология тёплого периода второй половины голоцена Юго-восточного Алтая (по датированию ледниковых отложений). Барнаул: Изд-во Азбука, 2008. 58 с.
11. *Душкин М.А.* Многолетние колебания ледников Актру и условия развития молодых морен // Гляциология Алтая. Вып. 4. Томск: Изд-во ТГУ, 1965. С. 83–101.
12. *Ивановский Л.Н.* Формы ледникового рельефа и их палеогеографическое значение на Алтае. Л.: Наука, 1967. 263 с.
13. *Ивановский Л.Н., Панычев В.А, Орлова Л.А.* Возраст конечных морен стадий «Актру» и «Исторической» ледников Алтая // Поздний плейстоцен и голоцен юга Восточной Сибири. Новосибирск: Наука,1982. С. 57–64.
14. Ледники Актру (Алтай) / В.П. Галахов, Ю.К. Нарожный, С.А. Никитин. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 118 с.
15. МГЭИК, IPCC5ARWG1, Summary for policymakers http://www.climatechange2013.org
16. *Мыглан В.С., Овчинников Д.В., Ваганов Е.А., Быков Н.И., Герасимова О.В. Сидорова О.В., Силкин П.П.* Построение 1772-летней древесно-кольцевой хронологии для территории Республики Алтай // Изв. РАН. Сер. геогр. 2009. № 6. С. 70–77.
17. *Мыглан В.С., Жарникова О.А., Малышева Н.В., Герасимова О.В., Ваганов Е.*А. Построение древесно-кольцевой хронологии и реконструкция летней температуры юга Алтая за последние 1500 лет // География и прир. ресурсы. 2012. № 3. С. 22–30.
18. *Мыглан В.С., Ойдупаа О.Ч., Ваганов Е.А.* Построение 2367-летней древесно-кольцевой хронологии для Алтае-Саянского региона (горный массив Монгун-Тайга) // Археология, этнография и антропология Евразии: № 3 (51). Новосибирск: Изд-во ИАиЭ СО РАН, 2012. С. 76–83.
19. *Назаров А.Н.* Динамика нивально-гляциального комплекса бассейна Актру во второй половине голоцена (Центральный Алтай, Северо-Чуйский хребет): Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. Барнаул, Алтайский гос. ун-т, 2006. 25 с.
20. *Назаров А.Н., Агатова А.Р.* Динамика ледников Северо-Чуйского хребта на Центральном Алтае во второй половине голоцена // МГИ. 2008. Вып. 105. С. 73–86.
21. *Назаров А.Н., Соломина О.Н., Мыглан В.С.* Динамика верхней границы леса и ледников Централь-

ного и Восточного Алтая в голоцене // ДАН. 2012. Т. 444. № 6. С. 671–675.
22. *Назаров А.Н., Мыглан В.С.* Применение кедра сибирского с целью реконструкции климата и геоморфологических событий в горах // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 2. С. 43–51.
23. *Овчинников Д.В.* Реконструкция летней температуры воздуха и абляции ледника Малый Актру // Изв. РАН. Сер. геогр. 2002. № 5. С. 91–96.
24. *Овчинников Д.В., Панюшкина И.П., Адаменко М.Ф.* Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы Горного Алтая и ее использование для реконструкции летней температуры // География и прир. ресурсы. 2002. № 1. С. 102–108.
25. *Окишев П.А.* Динамика оледенения Алтая в позднем плейстоцене и голоцене. Томск: Изд-во ТГУ, 1982. 210 с.
26. *Пропастилова О.Ю., Тимошок Е.Е.* Возобновление хвойных в экотоне верхней границы древесной растительности (Северо-Чуйский хребет) // Вест. Томского гос. ун-та. 2009. № 318. С. 220–223.
27. Рельеф Алтае-Саянской горной области / Г.А. Чернов, В.В. Вдовин, П.А Окишев, М.В. Петкевич, А.А. Мистрюков, Л.К Зятькова., Л.С. Миляева. Новосибирск: Наука, 1988. 207 с.
28. *Тронов М.В., Лупина Н.Х., Тронова Л.Б.* О совместных исследованиях снеговой линии и границы леса в горно-ледниковых бассейнах // Проблемы гляциологии Алтая. Вып. 2. Томск: Изд-во ТГУ, 1974. С. 3–21.
29. *Agatova A.R., Nazarov A.N., Nepop R.K., Rodnight H.* Holocene glacier fluctuations and climate changes in the southeastern part of the Russian Altai (South Siberia) based on a radiocarbon chronology // Quaternary Science Reviews. 2012. V. 43. P. 74–93.
30. *Briffa K.R., Melvin T.M., Osborn T.J., Hantemirov R.M., Kirdyanov A.V., Mazepa V.S., Shiyatov S.G., Esper J.* Reassessing the evidence for tree-growth and inferred temperature change during the Common Era in Yamalia, Northwest Siberia // Quaternary Science Reviews. 2013. V. 72. P. 83–107.
31. Calib. Radiocarbon calibration program. Copyright 1986–2013. M. Stuiver and P.J. Reimer. http://www.calib.org. Stuiver M., Reimer P.J. Radiocarbon. 1993. V. 35. P. 215–230.
32. *Cook E.R., Kairiukstis L.* Methods of Dendrochronology: applications in environmental sciences. Dordrecht. Boston. L.: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
33. *Cook E.R., Krusic P.J.* A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN). 2008. http://www.ldeo.Columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html.
34. *Esper J., Cook E.R, Schweingruber F.H.* Low-frequency signals in long tree-ring chronologies and the reconstruction of past temperature variability // Science. 2002. V. 295. P. 2250–2253.
35. *Esper J., Cook E.R., Krusic P.J., Peters K., Schweingruber F.H.* Tests of the RCS method for preserving low-frequency variability in long tree-ring chronologies // Tree-Ring Research. 2003. V. 59. 81–98.
36. *Holmes R.L.* Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring bulletin. 1983. V. 44. P. 69–75.
37. *Melvin T.M., Grudd H., Briffa K.R.* A 1200-year multiproxy record of tree growth and summer temperature at the northern pine forest limit of Europe // Holocene. 2013. V. 23. P. 471–484.
38. *Rinn F.* TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
39. *Slyusarenko I.Y., Kristen Dzh., Orlova L.A., Kuzmin Y.V., Burr Dzh.* ^{14}C Wiggle Matching of the Floating Tree-Ring Chronology from the Altai Mountains, Southwestern Siberia: the Ulandryk 4 Case Study // 17th Intern. Radiocarbon Conf: Program and Abstracts. Jerusalem, 2000. P. 177.