

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 57.045+ 947:940.1

ПРИМЕНЕНИЕ КЕДРА СИБИРСКОГО
С ЦЕЛЬЮ РЕКОНСТРУКЦИИ КЛИМАТА
И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА АЛТАЕ*

© 2013 г. А. Н. Назаров, В.С. Мыглан

Сибирский федеральный университет

Поступила в редакцию 18.10.2011 г.

В статье рассматриваются результаты исследования синхронности прироста кедра сибирского на территории Центрального Алтая и функции его отклика на среднемесячные температуры периода вегетации, приводятся примеры реконструкции геоморфологических событий с использованием хронологий кедра.

Введение. Дендрохронология, как метод индикации, основана на зависимости радиального прироста и ряда других характеристик деревьев от изменений условий внешней среды. Как правило, в целях дендроиндикации используется анализ ширины годовых колец деревьев, произрастающих на пределе своего ареала (например, северная или верхняя граница распространения). При наличии репрезентативной выборки, использование данного метода позволяет не только проводить соответствующие реконструкции, но и определять время событий, связанных с их гибелью, травмированием и захоронением. В археологии датированию подвергаются, как правило, погребальные сооружения и наземные постройки различного типа; в геоморфологии: сели, камнепады, лавины, наступание горных ледников и т.п.

В горах Центрального Алтая развитие леса по вертикали определяется температурой периода вегетации. Вопреки устоявшемуся мнению, о повышении границы леса в направлении с севера на юг [23], в пределах Центрального и Восточного Алтая не выявлено никаких принципиальных различий в ее высотном положении. Повсеместно участки спелых лесов ограничены высотами 2220–2330 м, а отдельные деревья и молодой подрост при благоприятных условиях встречаются вплоть до 2500 м. В южных и юго-восточных районах на развитие леса существенно влияет некоторый дефицит осадков, их локальное перераспределение, экспозиция склона и наличие грунтовых вод, час-

то связанное с очагами мерзлоты. Это приводит к исчезновению кедра из состава лесообразующих пород верхней границы леса, где получает распространение исключительно лиственница сибирская (северный макросклон Южно-Чуйского хребта, северное обрамление плато Укок, массив Монгун-Тайга). В тоже время, в пределах Катунского и Северо-Чуйского хребтов, кедр достигает верхних пределов распространения наряду с лиственницей.

Объектом дендрохронологических исследований на Алтае традиционно служила лиственница сибирская, как порода наиболее чувствительная к изменениям летней температуры [8, 1, 2, 18, 17]. Работы, посвященные экологическим условиям роста кедра, появились значительно позднее [5, 6, 3], причем, отбор образцов происходил только в двух точках: на склонах горы Сарлык (Северо-западный Алтай, Семинский хребет) и в долине Актру (Центральный Алтай, Северо-Чуйский хребет).

Датирование древесных остатков, включенных в ледниковые отложения, было впервые проведено в упомянутой работе М.Ф. Адаменко и А.А. Сюбаева [1]. Также, широкое распространение получила дендроиндикация многолетнего режима лавин [13, 19, 22, 12]. Н.И. Быковым [4] дендрохронология применялась уже более широко для определения времени схода селей, обвалов и наступания ледника Малый Актру. Однако до настоящего времени геоморфологические исследования с использованием дендрохронологии на Алтае носят эпизодический характер и не получили должного распространения, главным обра-

* Работа выполнена при поддержке АВЦП № 2.1.1/6131, Грант Президента РФ № МК-1675.2011.6.

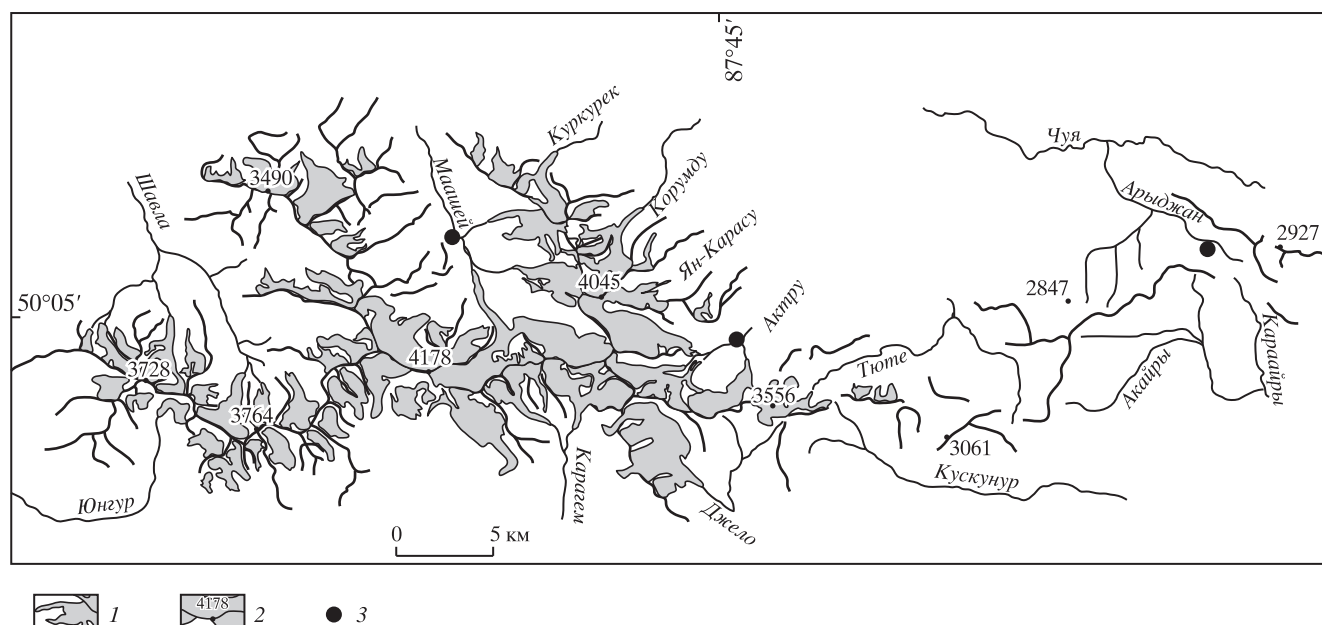


Рис. 2. Орографическая схема Северо-Чуйского хребта с указанием мест отбора образцов на дендрохронологический анализ. Условные обозначения:
1 – ледники; 2 – осевые части хребтов с указанием абсолютных высот; 3 – места отбора образцов.

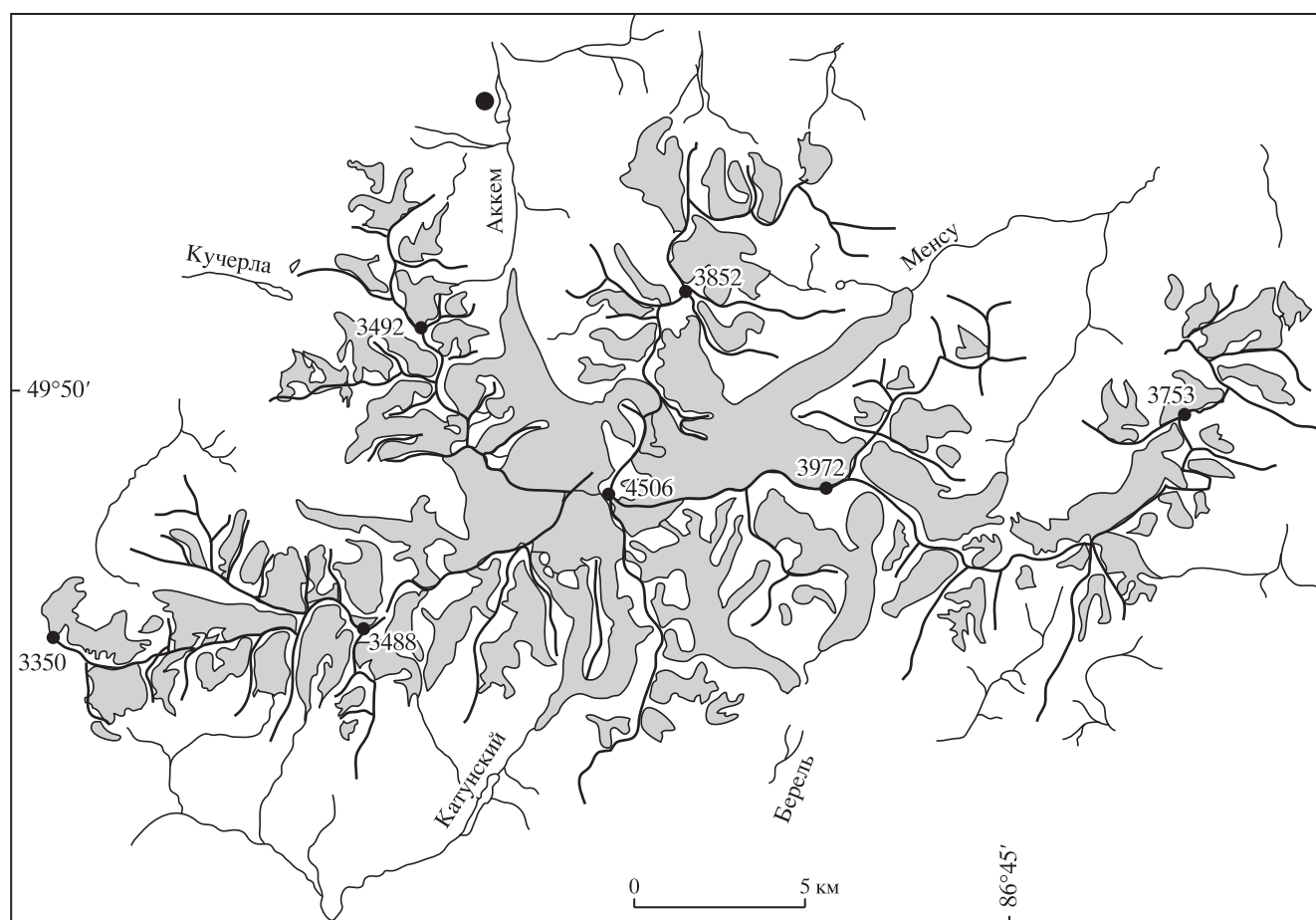


Рис. 3. Орографическая схема центральной части Катунского хребта. Условные обозначения аналогичны рис. 2.



Рис. 4. Предполя ледников Малый и Большой Актру, с указанием мест отбора образцов. Цифрами обозначены: 1 – участок леса (кедровая площадка), сохранившийся между двух ледников в максимум стадии Актру (около 1700 г. н.э., обоснование даты ниже по тексту); 2 – участок леса, сохранившийся перед фронтом основного языка Малого Актру; 3 – участок леса перед крайней правой частью морены Малого Актру (пульсация конца XVIII в., обоснование даты ниже по тексту); 4, 5, 6 – бровки морен соответствующих ледников.

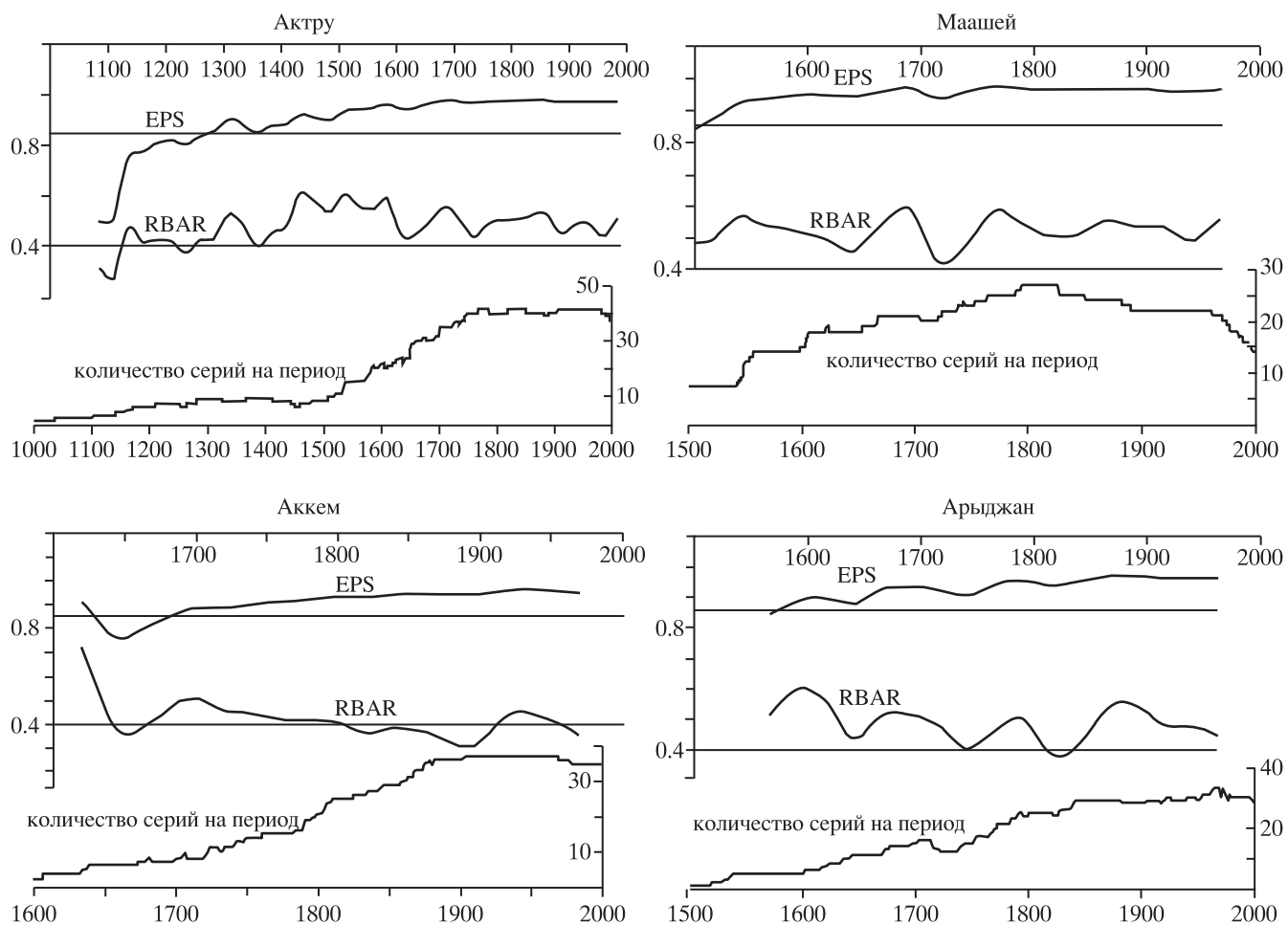


Рис. 5. Статистические характеристики хронологий *Pinus Sibirica* Центрального Алтая. В показателях EPS и RBAR сохранена соответствующая размерность единиц.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между среднемесячными показателями температуры и их суммой и ежегодным приростом кедра сибирского.

Месяцы и станции	Акtrpystd	Акtrpyres	Аккеmstd	Аккеmres	Арыд-жанstd	Арыд-жанres	Маашейstd	Маашейres
VI_Akk	0.22	0.35	-0.19	0.19	-0.22	-0.03	-0.29	-0.13
VII_Akk	0.31	0.26	0.01	-0.06	0.24	0.09	0.27	0.13
VIII_Akk	0.23	0.36	0.41	0.36	0.40	0.37	0.34	0.32
V-VII_Akk	0.47	0.53	-0.11	0.12	0.05	0.16	0.01	0.04
VI-VII_Akk	0.36	0.42	-0.13	0.10	0.00	0.04	-0.03	0.00
VI_Kara-t	0.13	0.21	-0.04	0.03	0.01	0.04	-0.08	-0.15
VII_Kara-t	0.26	0.27	0.21	0.13	0.21	0.08	0.30	0.17
VIII_Kara-t	0.03	0.12	0.23	0.14	0.23	0.19	0.24	0.13
V-VII_Kara-t	0.26	0.28	-0.04	-0.01	0.08	0.04	0.03	-0.11
VI-VII_Kara-t	0.25	0.31	0.12	0.11	0.15	0.08	0.14	0.01
VI_Akt	0.17	0.25	-0.25	0.18	-0.30	-0.18	-0.35	-0.21
VII_Akt	0.31	0.21	-0.15	-0.13	0.11	-0.01	0.16	0.04
VIII_Akt	0.19	0.26	0.24	0.25	0.23	0.24	0.19	0.19
V-VII_Akt	0.50	0.32	-0.25	0.12	-0.08	-0.04	-0.09	-0.07
VI-VII_Akt	0.31	0.32	-0.28	0.08	-0.19	-0.16	-0.19	-0.16

Примечания: Akk – метеостанция Аккем (длина выборки 35 лет); Kara-t – метеостанция Кара-Тюрек (длина выборки 66 лет); Akt – метеостанция – Актру (длина выборки 37 лет); std – хронологии индексированные по негативной экспоненте без снятия автокорреляционного тренда; res – индексированные хронологии со снятым трендом автокорреляции. Жирным шрифтом выделены коэффициенты выше (ниже) 0.30.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции хронологий кедра между собой и с хронологией Монгун-Тайги [14].

	Акtrpystd	Акtrpyres	Аккеmstd	Аккеmres	Арыджанstd	Арыджанres	Маашейstd	Маашейres
Акtrpystd	1.00		0.53	0.43	0.40	0.32	0.46	0.33
Акtrpyres		1.00	0.44	0.70	0.46	0.58	0.50	0.60
Аккеmstd			1.00		0.54	0.46	0.60	0.52
Аккеmres				1.00	0.40	0.57	0.52	0.70
Арыджанstd					1.00		0.63	0.53
Арыджанres						1.00	0.57	0.71
Монгун-Тайга_std	0.44	0.41	0.26	0.25	0.18	0.16	0.13	0.15
Монгун-Тайга_res	0.31	0.49	0.16	0.26	0.18	0.23	0.14	0.21

Примечание: обозначения std и res – аналогичны таковым в табл. 1. Жирным шрифтом выделены коэффициенты выше 0.40.

Функция отклика древесно-кольцевых хронологий, оценивалась по среднемесячным показателям температуры метеостанций Аккем (2045 м) и Актру (2120 м), расположенных в соответствующих долинах вблизи верхней границы леса, а также метеостанции Кара-Тюрек (2600 м), находящейся на водоразделе бассейнов рек Аккема и Кучерлы (рис. 3), на 200 м выше границы молодого лиственничного подроста.

Результаты и обсуждение. Статистические характеристики хронологий со снятой автокорреляцией приведены на рис. 5. Наиболее продолжительная хронология Актру, пригодна для рекон-

струкций на промежутке времени около 500 лет (более 10 серий на период при показателе EPS не ниже 0.85). Затем следуют хронологии Маашей и Арыджан – около 400 лет. Хронология Аккем удовлетворяет необходимым требованиям на промежутке 250 лет.

Анализ связи среднемесячных температур с шириной годичного кольца демонстрирует наличие достаточно слабой связи, хотя, в некоторых случаях она выше значимой (табл. 1). Аналогичные данные получены в ряде предшествующих работ [6, 3, 26]. Принимая во внимание, что связь ежегодного прироста лиственницы и июнь-июль-

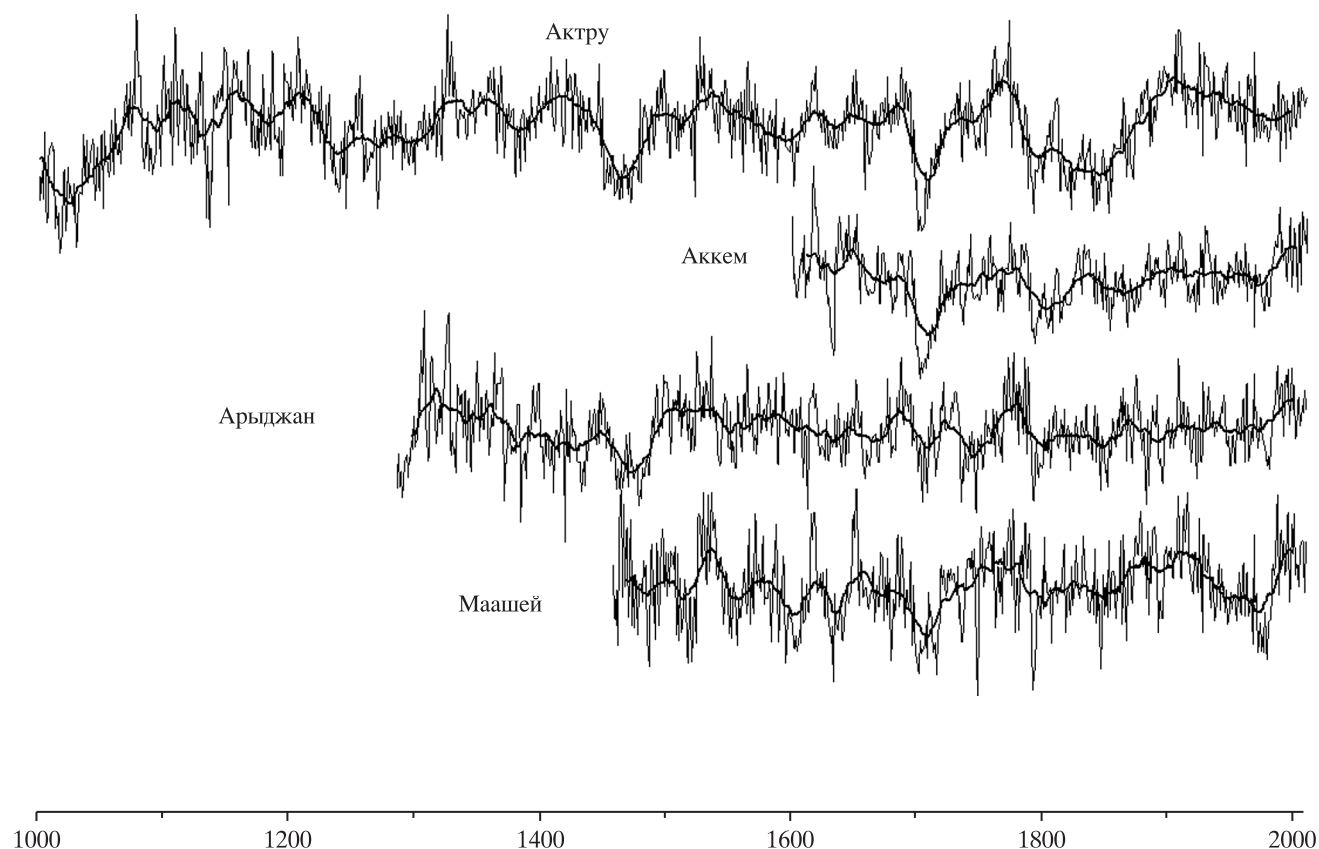


Рис. 6. Индексы прироста кедров сибирского в горных долинах Центрального Алтая. Представлены стандартизованные по негативной экспоненте хронологии без снятия автокорреляционного тренда. Тонкая линия – ежегодный прирост, жирная линия – сглаженное 22-х летнее.

ских температур значительно выше [17, 14], проведение температурных реконструкций по кедров, в большинстве случаев – нецелесообразно.

Сравнение хронологий кедров между собой (табл. 2) на общем для них промежутке (300 лет) убедительно свидетельствует об однородной реакции на климат и о синхронности прироста годовичных колец даже в значительно удалённых друг от друга районах (расстояние Аккем – Маашей равно 80 км, Аккем – Арыджан – 116 км).

Корреляционный анализ хронологий кедров и лиственницы (хронология Монгун-Тайга, табл. 2), показывает наличие лишь слабой связи, исключая долину Актру, где кедр произрастает на максимальных высотах. Тем не менее, многочисленные попытки датирования кедров из долин Шавлы, Маашей, Корумду, Актру (рис. 2) по лиственнице подножия массива Монгун-Тайга [14] (расстояние 150–180 км), в 50% случаев оказываются удачными, что ещё раз подтверждает однородность района в климатическом отношении.

Графическое сопоставление индексов прироста показывает согласованность их хода на обозримом промежутке времени и качественно

фиксирует важнейшие климатические события прошедшего тысячелетия: периоды похолодания во второй половине XV в., в начале XVIII в., первой половине XIX в. (рис. 6).

Кроме долины Актру, непосредственно в приледниковье, взрослый кедровый лес не достигает отметок близких к термическому минимуму произрастания, будучи окончательно вытесненным с этих позиций во время максимума стадии Актру (название дано Л.Н. Ивановским и В.А. Паныховым [9]). К этому выводу приводит то обстоятельство, что в ледниковых отложениях и по периферии молодых морен остатки кедров встречаются наряду с лиственницей. В отмеченных выше работах предшественников (см. введение) датирование геоморфологических событий проводилось почти исключительно по древесине *Larix sibirica*, при этом большой пласт информации оставался не востребованным. Создание длительных хронологий по кедров, несомненно, восполнит отмеченный недостаток.

Важнейшим результатом является попытка датирования максимума стадии Актру, поскольку, несмотря на большое количество публикаций,

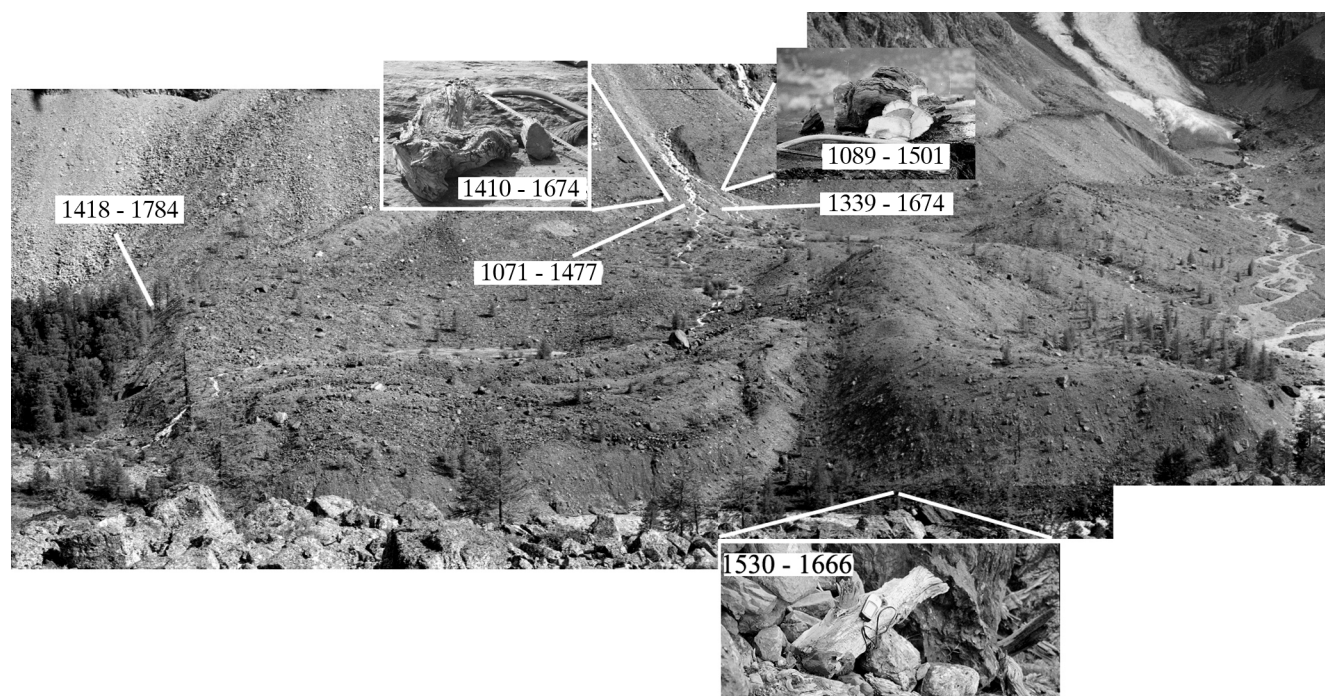


Рис. 7. Предполья ледника Малый Актру с указанием мест находок погребённой древесины и ее возраста.

посвященных этому вопросу, он остается открытым до настоящего времени. Впервые радиоуглеродное датирование погребённых в стадию Актру деревьев было проведено на моренах ледников Малый и Большой Актру [9, 10]. Результаты датирования не были однозначными, тем не менее, основываясь на своих выводах, авторы устанавливают период формирования моренного комплекса Малого Актру с конца XVI или начала XVII веков до середины XIX века. Повторная попытка была предпринята нами [7]. Развитие горного оледенения, близкое к максимуму, было отмечено с конца XIII в. (у крупных ледников) вплоть до конца XV в. (у менее крупных).

Даты радиоуглеродного датирования, как в первом, так и во втором случае, принципиально отличаются от дендрохронологических дат, полученных М.Ф. Адаменко и А.А. Сюбаевым [1], а впоследствии и Н.И. Быковым [4]. Указанные авторы однозначно определяют время гибели лиственниц в крайней правой части морены Малого Актру концом XVIII-го – началом XIX-го веков, та же дата получена и нами (1784 г.), при повторном датировании дерева исследованного Н.И. Быковым [4]. Возникшее противоречие, до недавнего времени не могло быть разрешено по причине отсутствия погребённой древесины. Однако, анализ образцов, обнаруженных в 2008–2010 гг., привел к неожиданному результату.

Наиболее показательны находки на предпольях ледника Малый Актру. На правом внутреннем

склоне молодой морены в русле ручья Водопадный найдены многочисленные фрагменты древесины кедра, некоторые из которых оказалось возможным датировать как по содержанию C^{14} , так и дендрохронологическим методом (рис. 7). Получен следующий возраст спилов: 1071–1477 гг. н.э. (743 ± 55 или 1265 г.н.э. – 78.9%), либо (638 ± 30 или 1370 г.н.э. – 16.5%), СОАН 7380¹; 1410–1674 гг. н.э. (738 ± 50 или 1270 г.н.э. – 75.3%), либо (638 ± 20 или 1370 г.н.э. – 20.1%), СОАН 7382; 1089–1501 гг. н.э.; 1339–1674 гг. н.э. У подножия фронта левой лопасти морены полуприваленный ствол кедра датирован 1530–1666 гг. н.э. (549 ± 72 или 1459 г., СОАН 6471). В соседней с Актру долине ледника Маашей у подножия правой части молодой морены найдена лиственница возрастом: 1206–1667 гг. н.э. (415 ± 105 или 1535 г.н.э., ИГАН 3886). В истоках левого притока р. Шавла (ледник № 27, по Каталог ..., 1977), в 50 м отвала молодой морены датированы два молодых кедра, высушенных на корню: 1591–1734 гг. н.э. (420 ± 120 или 1530 г., СОАН 6460) и 1637–1736 гг. н.э. (490 ± 60 или 1460 г., СОАН 6461). Таким образом, основываясь на данных дендрохронологии, уже не позднее начала XI в. предполья ледников Северо-Чуйского хребта заселены кедровым лесом, а их активность вплоть до конца XVII-го

¹ Здесь и далее данные представлены в календарном виде от 1950 г. Калибровка радиоуглеродного возраста проводилась в программе Oxcal 3.10.

века проявляется не значительно (по крайней мере, это не приводит к гибели деревьев, находящихся справа от основного языка Малого Актру). Гибель деревьев в правой части морены ледника в конце XVIII – начале XIX вв., связана, по нашему мнению, с активностью его правого притока [15]. Как видно из представленных данных, радиоуглеродное датирование, в силу особенностей метода, вносит значительную неопределенность в конечные выводы и может использоваться лишь как оценка возраста в первом приближении. Дендрохронологические даты, даже с учетом неизбежной потери части внутренних и внешних колец, согласованы гораздо лучше и точнее на порядок величины. Поэтому, при наличии древесного материала необходимого качества, дендрохронологическое датирование предпочтительнее.

Заключение. Основные результаты нашей работы можно сформулировать следующим образом:

- содержание климатического сигнала в древесно-кольцевых хронологиях кедров сибирского в Центральном Алтае оценивается как низкое, поэтому признаётся нецелесообразность реконструкций летних температур при наличии других долгоживущих и более климаточувствительных пород деревьев (в частности *Larix sibirica*);

- наличие устойчивой связи в радиальном приросте кедров на значительной части территории Центрального Алтая указывает на большой потенциал дендрохронологического датирования;

- изучение противоречий, связанных с датами, полученными разными методами, показывает необходимость применения комплексного подхода в изучении процессов морфолитогенеза в горах, а также знания допущений и неопределенностей каждого из используемых методов датирования.

Несомненно, что представленная работа нуждается в продолжении. Необходимо провести улучшение, продление и расширение уже существующей сети хронологий. Это позволит увеличить вероятность датирования событий удаленные в прошлое более чем на тысячелетие и даст исследователям новый инструмент в изучении процессов экзогенного рельефообразования на Алтае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Адаменко М. Ф. Реконструкция динамики термического режима летних месяцев и оледенения на

- территории Горного Алтая в XIV – XX веках: автореф. канд. геогр. наук. Новосибирск, 1985. 16 с.
3. Бочаров А. Ю. Структура кедровых древостоев в высокогорьях Центрального Алтая. Автореф. дисс. к.г.н. Красноярск, 2009. 23 с.
4. Быков Н. И. Дендрогоморфология Алтая // Геоморфология гор и предгорий. Барнаул: Изд-во АГУ, 2002. С. 41–48.
5. Воробьев В. Н., Савчук Д. А. Радиальный прирост и заложение женских шишек кедров сибирского в условиях субальпийского пояса Центрального Алтая // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Вып. 1. 2002. С. 79–82. Новосибирск: Изд-во ИАиЭ СО РАН.
6. Воробьев В. Н., Бочаров А. Ю., Хуторной О. В., Нарожный Ю. К. Дендроклиматический анализ радиального прироста кедров сибирского (*Pinus sibirica*) в горно-ледниковом бассейне Актру (Центральный Алтай) // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. 2002. Вып. 1. С. 71–78. Новосибирск: Изд-во ИАиЭ СО РАН.
7. 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 Алт. ун-та. 2005. 132 с.
8. Душкин М. А. Многолетние колебания ледников Актру и условия развития молодых морен // Гляциология Алтая. 1965 б. Вып. 4. Томск: Изд-во ТГУ, С. 83–101.
9. 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.
10. Ивановский Л. Н., Панычев В. А. Развитие и возраст конечных морен XVII–XIX вв. ледников Ак-Туру на Алтае // Процессы современного рельефообразования в Сибири. Иркутск: Наука, 1978. С. 127–138.
11. Каталог ледников СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. Ч. 5. Долина Аргута. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977.
12. Королева Т. В. Оценка снежности и лавинной опасности Алтая в среднем масштабе: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1993. 23 с.
13. Кравцова В. И. Особенности режима лавинной деятельности на Алтае по данным дендрохронологических наблюдений // Фитоиндикационные методы в гляциологии. М., 1971. С. 103–123.
14. Мыглан В. С., Ойдунаа О. Ч., Кирдянов А. В., Ваганов Е. А. 1929-летняя древесно-кольцевая

- хронология для Алтае-Саянского региона (западная Тува) // Археология, этнография и антропология Евразии. № 4 (36), Новосибирск: Изд-во ИАиЭ СО РАН, 2008. С. 25–31.
15. Назаров А.Н., Агатов А.Р. Динамика ледников Северо-Чуйского хребта на Центральном Алтае во второй половине голоцена. МГИ, Вып. 105. 2008. С. 73–86.
 16. Нарожный Ю.К., Осипов А.В. Ороклиматические условия оледенения Центрального Алтая. Изв. РГО, Т. 131. Вып. 3. 1999. С. 49–57.
 17. Овчинников Д.В. Реконструкция изменений климата гор Алтая дендрохронологическими методами. Автореф. дисс. к.г.н. Иркутск. 2002. 18 с.
 18. Панюшкина И.П., Адаменко М.Ф., Овчинников Д.В. Дендроклиматическая сеть Горного Алтая как основа количественной палеогеографической реконструкции климата с высоким временным разрешением // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. Новосибирск: Изд-во ИАиЭ СО РАН, Вып. 2. 2002. С. 413–419.
 19. Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. Томск: Изд-во том-го ун-та, 1977. 216 с.
 20. Рельеф Алтае-Саянской горной области / Под ред. Чернова Г.А., Вдовина В.В., Окишева П.А., Петкевича М.В., Мистрюкова А.А., Зятковой Л.К., Миляевой Л.С. Новосибирск: Наука, 1988. 207 с.
 21. Самойлова Г.С., Авессаломова И.А., Снытко В.А. Концепция физико-географического районирования как обоснование региональной дифференциации трансграничных территорий гор Южной Сибири. Мир науки, культуры, образования. № 5(12). 2008. С. 20–25.
 22. Сурнаков И.В. Некоторые результаты фитоиндикации нивально-гляциальных процессов на Алтае. Роль нивально-гляциальных образований в динамике горных экосистем: Тез. докл. Всесоюз. конф. Барнаул, 1985. С. 35–36.
 23. Тронов М.В., Лупина Н.Х., Тронова Л.Б. О совместных исследованиях снеговой линии и границы леса в горно-ледниковых бассейнах // Материалы научной конференции “Проблемы гляциологии Алтая”. Вып. 2. Томск: Изд-во ТГУ. 1974. С. 3–21.
 24. Cook E.R., Kairiukstis L. Methods of Dendrochronology: applications in environmental sciences. Dordrecht; Boston; L.: Kluwer Acad. Publ. 1990. 394 p.
 25. Cook E.R., Krusic P.J. A Tree-Ring Standardization Program Based on Detrending and Autoregressive time Series Modeling, with Interactive Graphics (ARSTAN). 2008: [Electronic resource]. Access code: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/public/publicSoftware.html>
 26. D'Arrigo R., Jacoby G., Pederson N., Cook E. 1728 year of Mongolian temperature variability inferred from a tree ring width chronology of Siberian pine // Geoph. Res. Lett. 2001. V. 28. № 3. P. 543–546.
 27. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-ring bulletin. 1983. V. 44. P. 69–75.
 28. Rinn F. TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
 29. Wigley T., Briffa K., Jones P. On the average value of correlated time series, with application in dendroclimatology and hydrometeorology // J. Clim. Appl. Met. 1984. V. 23. P. 201–213.

Application of Siberian Cedar for Reconstruction of Climate and Geomorphological Events in Altai

A.N. Nazarov, V.S. Myglan

Siberian Federal University

Pleistocene 400-kyr paleoclimatic cyclicity presence are absent; b) the reports about the presence of the 400-kyr periodicity in paleoclimatic continental records are or erroneous, or not related with the eccentricity variations.