

## Цикличность в изменении температуры воздуха и расходов воды, реконструированных по приростам древесных колец в горных районах Внутренней Азии

М. В. МУХАНОВА, М. В. СЫРОМЯТИНА, К. В. ЧИСТЯКОВ

Санкт-Петербургский государственный университет  
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9  
E-mail: miriam1212@mail.ru

Статья поступила 10.04.2015

Принята к печати 03.06.2015

### АННОТАЦИЯ

Проведена оценка внутривековой цикличности в изменении прироста древесно-кольцевых хронологий для верхней и нижней границ леса, по которым построены реконструкции соответственно температур воздуха июня – июля с 1715 г. по данным метеорологической станции Тээли и расходов воды р. Буянт (Монголия) за май – июнь с 1474 г. Верификация выделенных циклов по данным инструментальных гидрометеорологических наблюдений позволила сделать вывод о климатической обусловленности циклических колебаний длительностью от 21 года до 45 лет в приросте древесных колец.

**Ключевые слова:** цикличность, древесно-кольцевые хронологии, реконструкции температуры и расходов воды, Юго-Западная Тува, Северо-Западная Монголия, верхняя и нижняя границы леса.

Одной из важнейших географических проблем современности является оценка климатических колебаний на региональном уровне, для решения которой необходимо наличие длительных рядов гидрометеорологических показателей. Зачастую сеть метеорологических станций и гидрологических постов в горных районах бывает редкой, а период наблюдений не позволяет сделать надежных выводов о динамике тех или иных параметров. Ярким примером могут служить горные территории Внутренней Азии (Юго-Западная Тува, Северо-Западная Монголия), климат которых обусловлен положением региона в переходном секторе от главенствующего влияния западного переноса к муссонной циркуляции. В та-

ком случае большую значимость представляют косвенные источники информации о климате, в частности прирост древесных колец. В данной работе предпринята попытка проследить циклические\* колебания в изменении гидротермических параметров на основе ден-

\* В данной работе под цикличностью понимается повторяемость природных процессов во времени, хронологически нестрогая и невозвращающая систему в исходное положение. Согласно Е. В. Максиму [2000], это определение соответствует термину “ритмичность”. Зачастую в научной литературе данные понятия используются как синонимы. В отечественных и зарубежных исследованиях с применением дендрохронологического метода наиболее употребимым является понятие “цикличность” (cyclicality), в связи с чем в данной работе принят именно этот термин.

дрохронологических реконструкций. При этом в настоящем исследовании рассматриваются только циклы с внутривековыми периодами, поскольку способ получения дендрохронологических рядов создает сложности для выявления длительновременных циклов.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве материала исследования использовались образцы древесины лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), отобранные в ходе экспедиционных работ 2012–2014 гг. в горах Юго-Западной Тувы (горный массив Монгун-Тайга, хр. Западный Танну-Ола) и Северо-Западной Монголии (Монгольский Алтай и прилегающие территории) [Муханова и др., 2015, 2016 (в печати)]. Данные территории Внутренней Азии характеризуются континентальным и резко континентальным климатом с большими годовыми амплитудами температур воздуха, малым годовым количеством осадков (100–300 мм в Чуйской степи и Убсу-Нурской котловинах, 500–600 мм в Западном Танну-Ола) и неравномерностью их распределения в течение года, когда в летние месяцы выпадает 50–80 % годового количества осадков. Примечательно, что лесная растительность в регионе представлена отдельными массивами, не образуя сплошного пояса.

Всего древесные керны отобраны с 479 деревьев на 38 площадках, расположенных на верхнем и нижнем пределах распространения лесной растительности\*. Дополнительно использованы 62 индивидуальные древесно-кольцевые хронологии из климатического банка данных (NOAA's National Climatic Data Center), полученные для территории западной Монголии [Cook et al., 2010] (рис. 1).

Ширина годичных колец измерялась на полуавтоматической установке LINTAB с точностью до 0,01 мм. Дендрохронологический анализ, основанный на общепринятой методике [Fritts, 1976; Methods..., 1990; Шиятов и др., 2000], проводился с использованием пакета программ TsapWin Professional

\* Под нижним пределом распространения лесной растительности понимается видимая нижняя граница компактных лесных массивов, в которых производился сбор образцов. Отдельные экземпляры лиственниц могли встречаться и на более низких высотных уровнях.

[Rinn, 2003], Cofecha [Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001] и ARSTAN [Cook, Holmes, 1999]. Для оценки пригодности использования построенных хронологий в дендроиндикационных исследованиях рассчитывались стандартные статистические показатели: стандартное отклонение (SD), коэффициент чувствительности (MS) и выраженный сигнал популяции (EPS).

При пространственно-временном анализе динамики приростов с целью построения региональных древесно-кольцевых хронологий использовался метод главных компонент [Айвазян и др., 1989; Peters et al., 1981]. Разложение на компоненты рассматривалось по отдельным 50-летним периодам (со сдвигом 25 лет). Полученные региональные хронологии проверены на статистическую однородность [Шиятов, 1986].

Выявление циклических колебаний в древесно-кольцевых рядах выполнялось посредством спектрального анализа в программе Statistica, а также при визуальной оценке хронологий.

Статистическая связь между климатическими параметрами (среднемесячными значениями температуры воздуха и значениями месячных сумм осадков за период с сентября предыдущего года по август текущего года) и приростом выявлялась с помощью корреляционного и регрессионного анализов, когда в качестве зависимой переменной выступают значения индексов прироста, а в качестве независимых переменных – сведения по температуре и осадкам [Fritts, 1976; Methods..., 1990]. При этом использовались данные следующих метеорологических станций: Ак-Кем, Кара-Тюрек, Кош-Агач, Мугур-Аксы, Кызыл, Сарыг-Сеп, Эрзин, Туран, Тэзэли, Тоора-Хем, Улгий, Ялалт, Ховд.

Кроме того, проводился корреляционный анализ между индексами прироста и среднемесячными расходами воды, измеренными на следующих гидрологических постах: Чаган – Кызыл-Мань, Шагонар – Арыскан, Элегест – Хову-Аксы, Ховд – Улгий, Ховд – Баяннуур, Ховд – Мянгад, Буянт – Дэлүүн, Буянт – Ховд, Сарсай – Буянт, Согоог – Улаанхус, и уровнем оз. Хар-Ус (г/п Хар-Ус-Дургэн) за период с сентября предыдущего года по август текущего года.

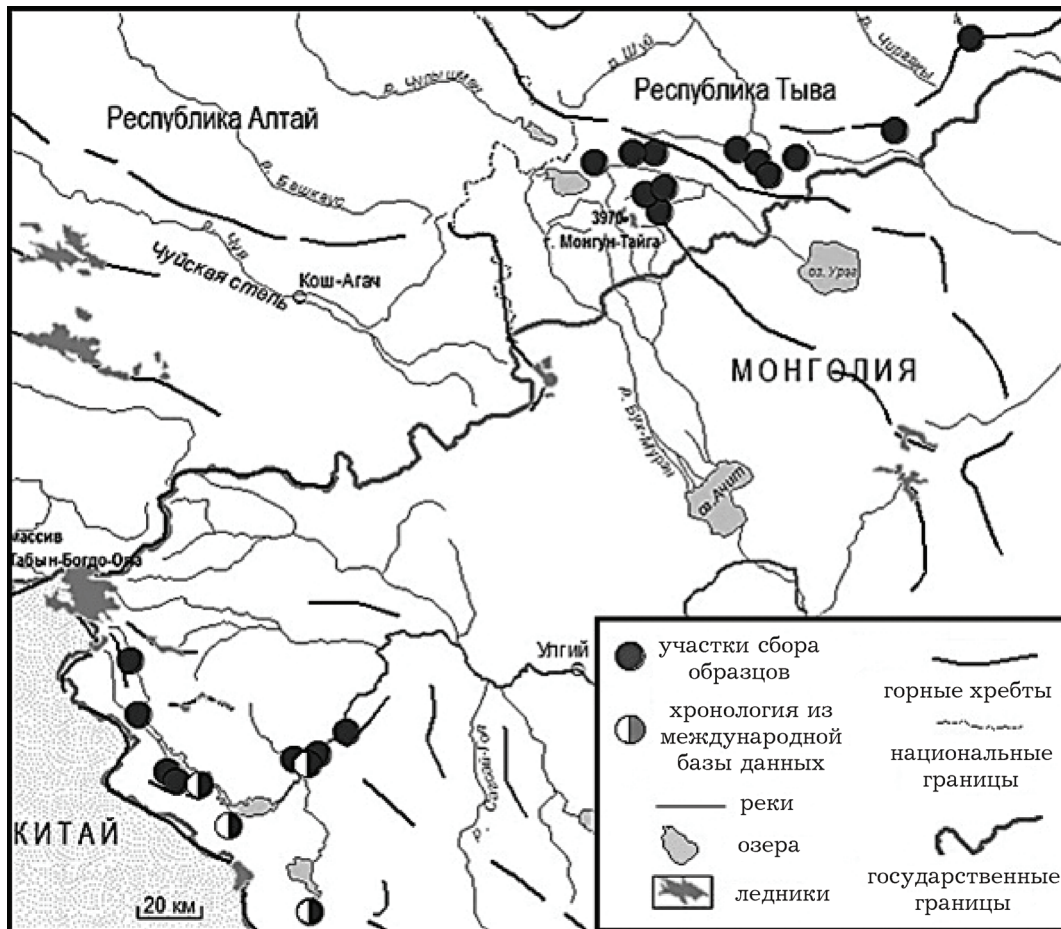


Рис. 1. Схема участков сбора дендрохронологических образцов

Реконструкции гидрометеорологических параметров построены с применением обратной регрессионной модели: в качестве зависимой переменной использовался параметр, значение которого требуется реконструировать, а в качестве независимой – индексы прироста.

После этого проводилась интерпретация выявленной в приросте внутривековой цикличности посредством ее сравнения с изменениями гидрометеорологических показателей по данным метеостанций и гидрологических постов, имеющих наиболее длительные периоды инструментальных наблюдений.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метод главных компонент позволил определить, что между 24-мя локальными древесно-кольцевыми хронологиями Юго-Западной Тувы, независимо от высотного положения

сбора образцов, наблюдается устойчивая во времени связь (56 % общей изменчивости). Дополнительно проведена оценка циклических колебаний всех локальных хронологий, результаты которой подтвердили возможность их обобщения. Очевидно, что на юго-западе Тувы, где разница высот между верхним (2300 м) и нижним (2100 м) пределами распространения лесной растительности составляет в среднем 200 м, прирост древесины лимитируется общим фактором. То есть в данном случае нижняя граница лесного массива не является климатической, и условия произрастания деревьев являются сходными с теми, в которых произрастают деревья на верхней границе. Поэтому данные локальных хронологий можно объединить в одну региональную древесно-кольцевую хронологию, которая отражает условия формирования прироста на верхней границе распространения лесной растительности в Юго-Западной Туве.

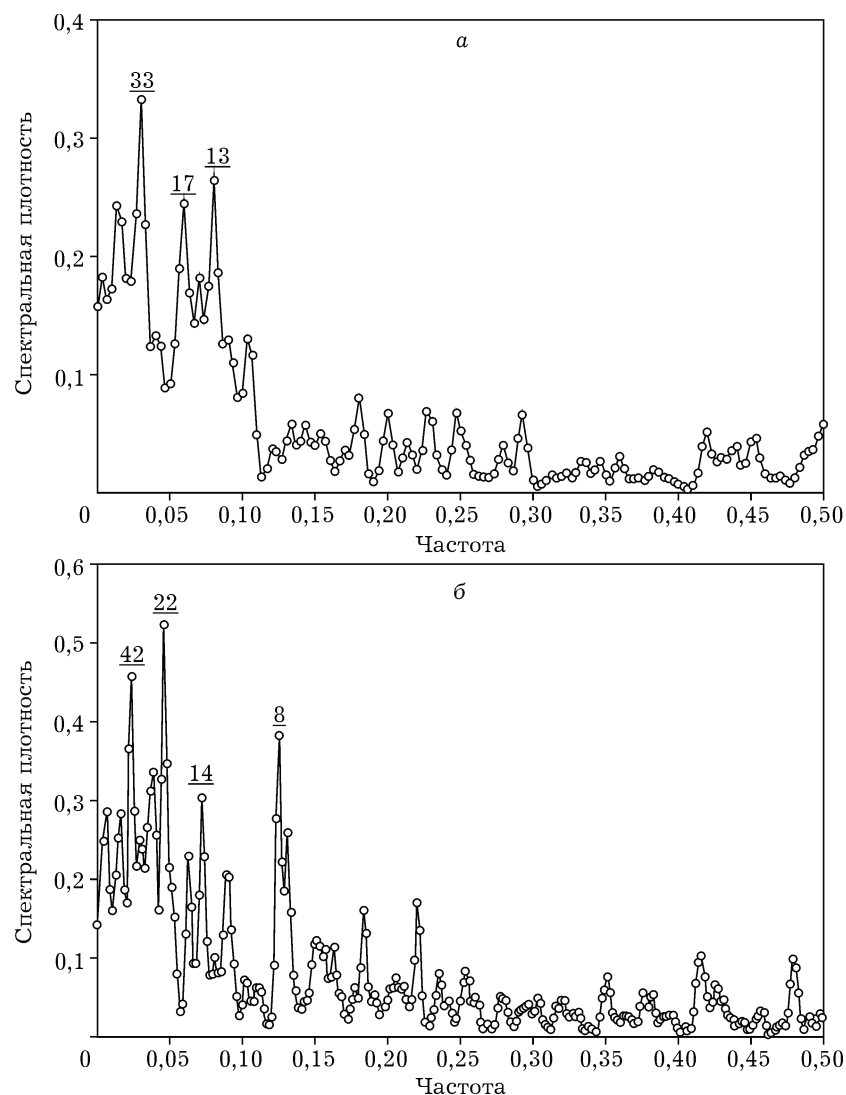


Рис. 2. Графики спектральной плотности древесно-кольцевых хронологий UTL (а) и LTL (б)

Анализ пространственно-временных закономерностей монгольских хронологий показал, что их объединение должно проводиться по высотным уровням. В данном случае разница высот между верхним (2500 м) и нижним (2100 м) пределами распространения лесной растительности составляет в среднем 400 м. Четыре локальные хронологии объединены в одну, отражающую условия формирования прироста на верхней границе леса (71 % общей изменчивости). Хронологии по верхней границе леса Тувы и Монголии показали тесную корреляционную связь между собой ( $r = 0,5$ ), в связи с чем объединились в одну региональную – UTL (1715–2014 гг.). Важно отметить, что циклическая структура монгольских хронологий по верхней гра-

нице леса сходна с циклической структурой тувинских.

Кроме того, получена хронология по нижней границе леса из шести локальных Монгольского Алтая (50 % общей изменчивости) – LTL (1474–2014 гг.). Циклическая их структура существенно отличается от хронологий по верхней границе леса.

Спектральный анализ стандартной древесно-кольцевой хронологии UTL выявил внутривековые циклы со средними периодами 13, 17 и 33 года, в стандартной LTL – 8, 14, 22 и 42 года (рис. 2).

Оценка внутривековых колебаний в UTL показала, что циклы длительностью от 8 до 16 лет проявляются во времени устойчиво (рис. 3), как и циклы от 8 до 17 лет в LTL (рис. 4).

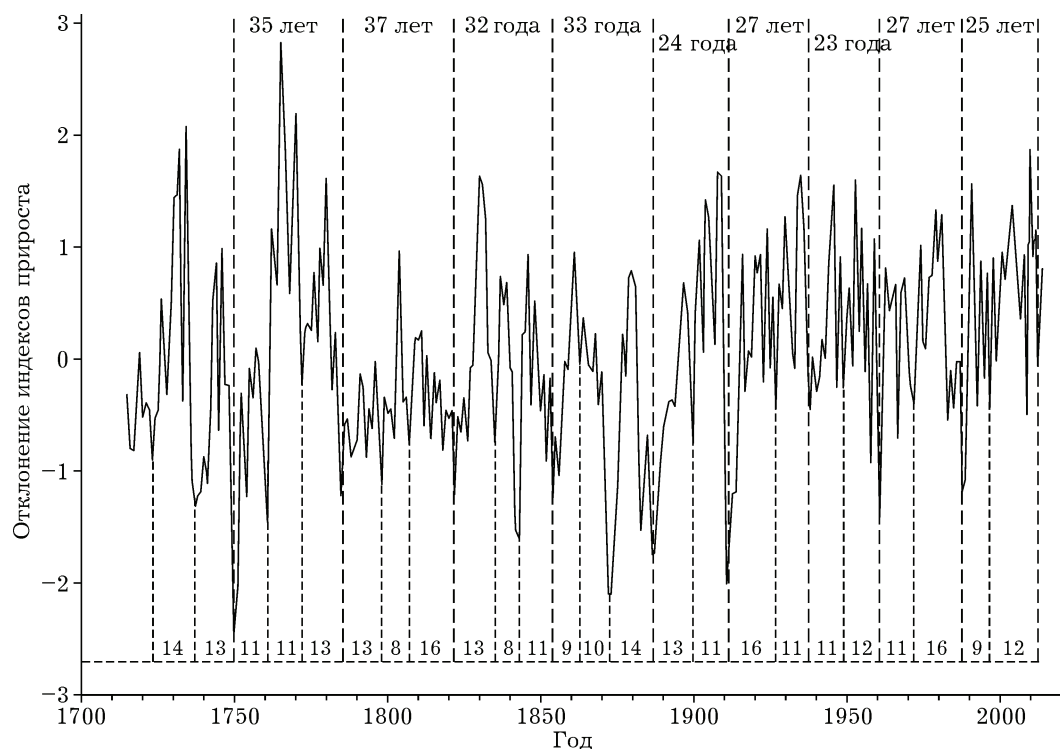


Рис. 3. Циклические колебания в древесно-кольцевой хронологии UTL

В хронологии LTL спектральный анализ выявил также квази-22-летнюю цикличность, которая, вероятно, представляет собой комбинацию более коротких циклов. Чаще всего циклы такой длительности считают солнеч-

но обусловленными [Douglas, 1909; Витинский, 1983]. При сопоставлении выделенных колебаний в приросте с цикличностью в изменении годового количества солнечных пятен ([www.sidc.be/silso/datafiles](http://www.sidc.be/silso/datafiles)) строгой зако-

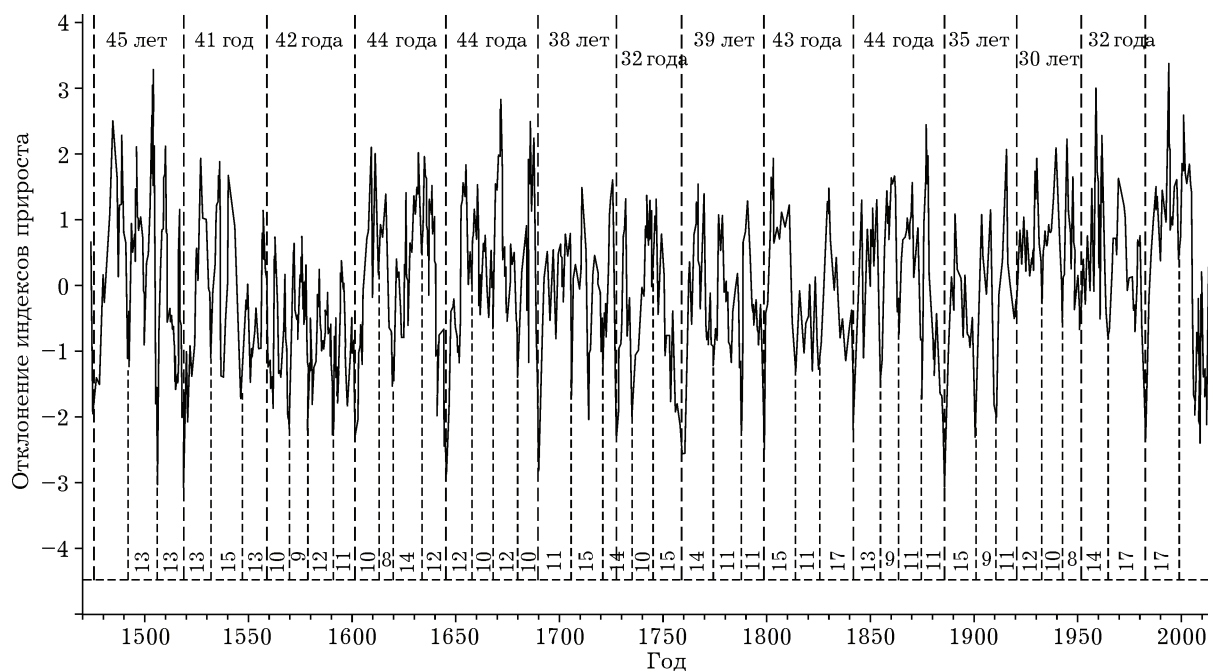


Рис. 4. Циклические колебания в древесно-кольцевой хронологии LTL

номерности выявить не удалось, в связи с чем надежная интерпретация подобной цикличности практически невозможна.

Оценка колебаний прироста с наибольшей амплитудой в хронологии UTL показала, что с 1715 г. циклическая структура претерпела изменения. В XVIII и XIX вв. колебания с наибольшей амплитудой соответствуют так называемым циклам Брикнера [Brückner, 1890]: удалось выделить колебания от 32 до 37 лет. С 80-х гг. XIX в. средний период становится меньше – выделяются колебания от 23 до 27 лет. Границы данных циклов по минимальным значениям прироста, согласно визуальной оценке, соответствуют 1750 – 1785 – 1822 – 1854 – 1887 – 1911 – 1938 – 1961 – 1988 – 2013 гг. (см. рис. 3).

В хронологии LTL колебания прироста с наибольшей амплитудой также представляют собой брикнеровский тип, но их средний период больше, чем в хронологии UTL. Выделяются циклы длительностью от 30 до 45 лет. С 80-х гг. XIX в. колебания также становятся несколько короче, чем в предшествующий период, однако данные изменения в структуре цикличности не так существенны, как в хронологии UTL. Границы циклов по минимумам, согласно визуальной оценке, соответствуют 1475 – 1519 – 1560 – 1602 – 1646 – 1690 – 1728 – 1760 – 1799 – 1842 –

1886 – 1921 – 1951 – 1983 гг. Последний, начавшийся в 1983 г., возможно, еще не завершен, поскольку, если проводить границу по минимуму в 2009 г., то продолжительность его составит 26 лет. Относительная устойчивость предшествующих циклов дает основание предположить, что основной минимум текущего цикла еще не наступил (см. рис. 4).

Важно отметить, что средний период колебаний в хронологиях UTL и LTL и границы циклов не совпадают. Это подтверждает результаты предыдущего исследования, согласно которому лимитирующие прирост факторы на верхней и нижней границах леса различны [Муханова и др., 2016 (в печати)]. На основе хронологии UTL построена реконструкция температур воздуха июня – июля по данным метеорологической станции Тээли, которая характеризуется статистически удовлетворительными показателями как за весь период наблюдений 1961–2004 гг. ( $R = 0,73$ ;  $R^2 = 0,53$ ;  $\text{adjusted } R^2 = 0,52$ ;  $F(1,42) = 46,96$ ;  $DW = 1,67$ ), так и при проверке с разделением инструментального ряда на периоды калибровки 1961–1982 гг. ( $R = 0,79$ ;  $R^2 = 0,63$ ;  $\text{adjusted } R^2 = 0,61$ ;  $F(1,20) = 33,42$ ;  $DW = 1,78$ ) и верификации 1983–2004 гг. ( $R = 0,68$ ;  $R^2 = 0,47$ ;  $F(1,20) = 17,51$ ;  $DW = 1,76$ ) (рис. 5).

Длительновременные тенденции в изменении температуры воздуха июня – июля хо-

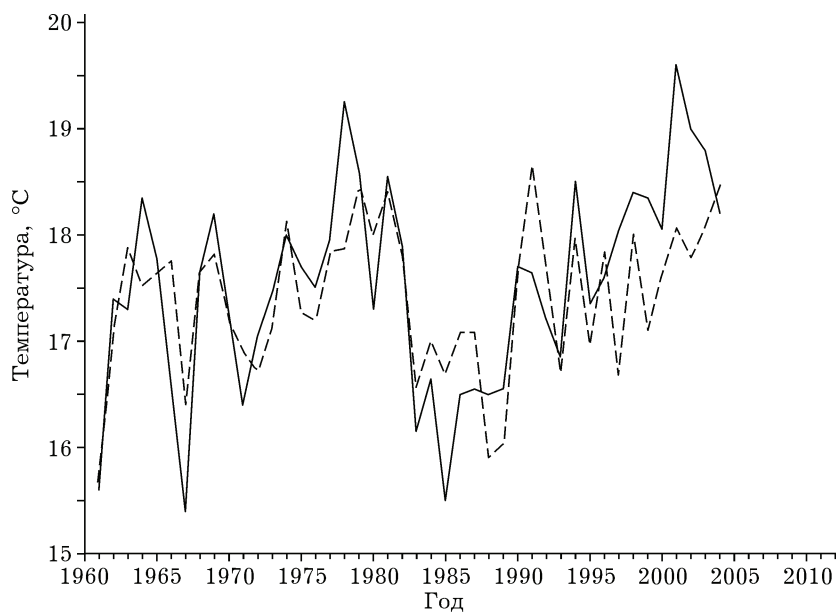


Рис. 5. Сравнение реальных (сплошная линия) и реконструированных (прерывистая) температур воздуха июня – июля по данным метеорологической станции Тээли за 1961–2004 гг.



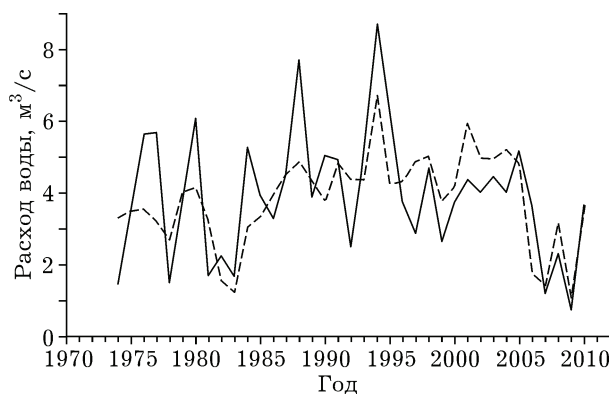


Рис. 6. Сравнение реальных (сплошная линия) и реконструированных (прерывистая) изменений расхода воды за май – июнь по данным гидрологического поста за 1974–2010 гг.

рошо согласуются с результатами других дендрохронологических исследований в Алтае–Саянском регионе и Монголии [Адаменко, 1985; D’Arrigo et al., 2000; Овчинников и др., 2002; Ойдупаа и др., 2004, 2011; Sidorova et al., 2011; Chen et al., 2012], а также с наиболее продолжительными данными метеорологических станций Барнаул (1838–2013 гг.) и Минусинск (1886–2013 гг.).

На основе хронологии LTL построена реконструкция расхода воды р. Буянт (Монголия) мая – июня по данным гидрологического поста Буянт-Дэлуун, которая также характеризуется статистически удовлетворительными показателями как за весь период наблюдений 1974–2010 гг. ( $R = 0,65$ ;  $R^2 = 0,43$ ;  $\text{adjusted } R^2 = 0,41$ ;  $F(1,35) = 26,09$ ;  $DW = 1,65$ ), так и при проверке с разделением инструментального ряда на периоды калибровки 1974–1993 гг. ( $R = 0,79$ ;  $R^2 = 0,63$ ;  $\text{adjusted } R^2 =$

$= 0,61$ ;  $F(1,20) = 33,42$ ;  $DW = 1,78$ ) и верификации 1994–2010 гг. ( $R = 0,76$ ;  $R^2 = 0,58$ ;  $F(1,15) = 21,08$ ;  $DW = 1,97$ ) (рис. 6).

Длительновременные тенденции в изменении расходов воды р. Буянт хорошо согласуются с результатами работ, в которых рассматривается динамика увлажнения по Западной Монголии [Davi et al., 2009], крайнему северо-западу Китая [Li et al., 2006], аридным районам Тувы [Михайлов и др., 1992].

Для интерпретации внутривековых колебаний в реконструированном ряде температур по данным древесно-кольцевой хронологии UTL выбраны метеорологические станции Барнаул (1838–2013 гг.), Минусинск (1886–2013 гг.), Кош-Агач (1934–2010 гг.) и Ховд (1937–2013 гг.), имеющие наиболее длительные ряды наблюдений за среднемесячной температурой воздуха. Несмотря на значительную удаленность указанных метеорологических станций друг от друга, значения температур воздуха июня – июля характеризуются высокой статистически значимой корреляционной связью как между данными всех представленных станций, так и с реконструированным температурным рядом ( $P_T$ ) (табл. 1).

Графики колебаний температур воздуха июня – июля подтверждают высокую синхронность во внутривековой изменчивости температуры воздуха (рис. 7).

В ходе спектрального анализа в рядах изменения температуры воздуха июня – июля также выявлены циклы со схожими периодами (табл. 2).

В табл. 2 спектральный анализ реконструированного ряда температур и ряда темпе-

Т а б л и ц а 1

Коэффициенты корреляции между значениями реконструированных температур воздуха июня – июля по данным древесно-кольцевой хронологии UTL ( $P_T$ ) по данным метеорологических станций

	Температура июня – июля по данным метеорологических станций				
	$P_T$	Барнаул	Минусинск	Кош-Агач	Ховд
$P_T$	–	0,4	0,4	0,7	0,6
Барнаул	0,4	–	0,6	0,6	0,4
Минусинск	0,4	0,6	–	0,7	0,6
Кош-Агач	0,7	0,6	0,7	–	0,8
Ховд	0,6	0,4	0,6	0,8	–

П р и м е ч а н и е. Все значения коэффициентов корреляции в таблице являются статистически значимыми.

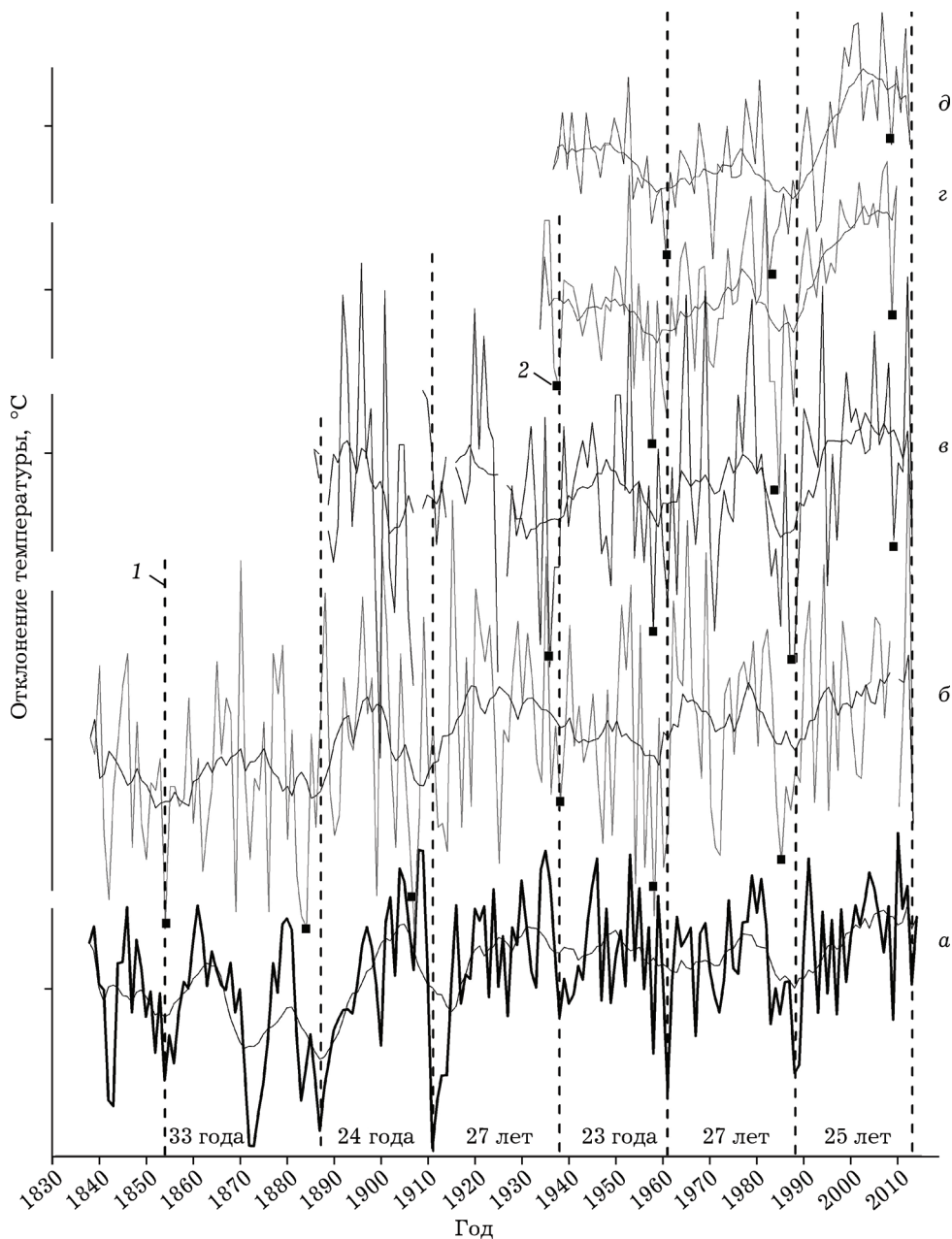


Рис. 7. Колебания температур воздуха июня–июля по данным реконструкции, основанной на древесно-кольцевой хронологии UTL (а), по данным метеорологических станций Барнаул (б), Минусинск (в), Кош-Агач (г) и Ховд (д).

Ряды сглажены 11-летним скользящим средним. 1 – границы циклов, выделенных по минимальным значениям реконструированных температур воздуха, 2 – границы циклов в инструментальных рядах температур воздуха

ратур по данным метеорологической станции Барнаул проведен с 1880 г., что обусловлено изменением среднего периода циклических колебаний, о котором говорилось ранее. На графике хорошо видно, что в обоих рядах температур первый цикл длительностью около 33 лет превосходит по длительности все последующие (рис. 8).

Важно отметить, что в некоторых случаях основные минимумы реконструированных температур происходят на 1–4 года позже по сравнению с реальными температурами (см. рис. 5).

Полученные результаты позволяют говорить, что до начала инструментальных наблюдений структура цикличности в измене-



**Продолжительность циклов в рядах реконструированных температур воздуха июня – июля по данным древесно-кольцевой хронологии UTL по данным метеорологических станций по результатам спектрального анализа**

Температура июня – июля по данным метеорологических станций					
	Р <sub>т</sub> (с 1880 г.)	Барнаул (с 1880 г.)	Минусинск	Кош-Агач	Ховд
Цикл	27	27	26	25	25
	15	15	14	15	13
	12	13	12	13	

нии температур воздуха июня – июля соответствовала тому, как изменялся прирост деревьев. На основании выделенных циклов может быть осуществлен прогноз изменения температур воздуха июня – июля на ближайшие 20 лет. При сохранении прежнего характера цикличности в ближайшие годы можно ожидать начала восходящей ветви

нового квази-20-летнего цикла температур воздуха июня – июля.

Для интерпретации выделенных колебаний в реконструированном ряде расхода воды по данным древесно-кольцевой хронологии LTL использованы наиболее продолжительные по времени наблюдений данные гидрологических постов для бассейнов рек Ховд

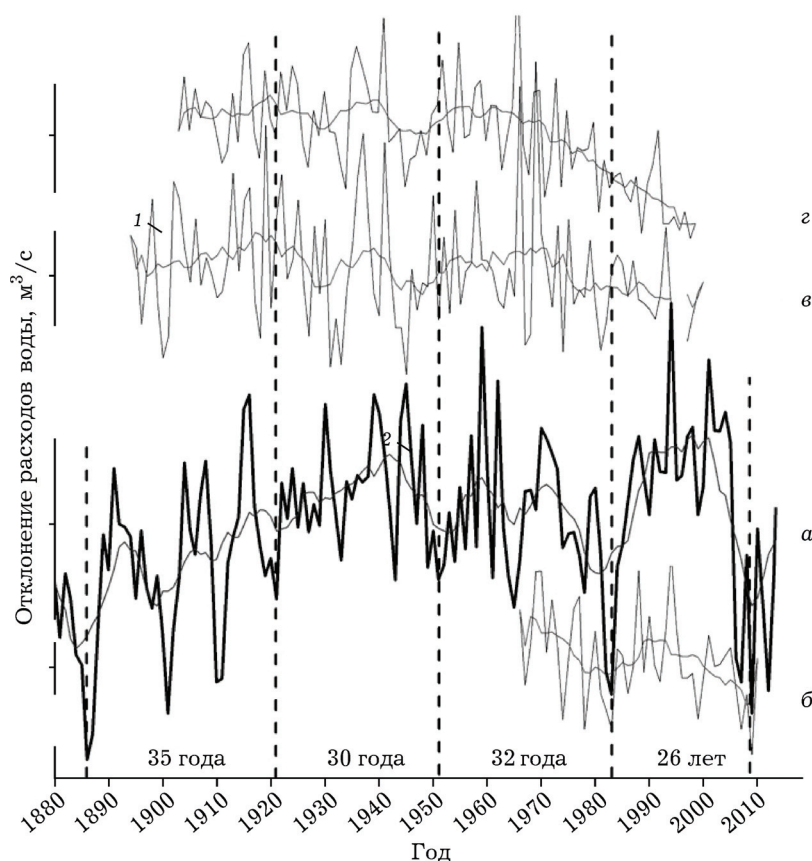


Рис. 8. Колебания расходов воды за май – июнь по данным реконструкции, основанной на древесно-кольцевой хронологии LTL (а), по данным гидрологических постов бассейнов рек Ховд (б), Обь (в) и Енисей (г).

Ряды сглажены 11-летним скользящим средним. Пунктиром показаны границы циклов, выделенных по минимальным значениям реконструированных расходов воды

Т а б л и ц а 3

**Коэффициенты корреляции между значениями реконструированных расходов воды ( $P_{рв}$ ) за май–июнь по данным древесно-кольцевой хронологии LTL и значениями средних отклонений для бассейнов рек Ховд, Енисей и Обь**

	Расход воды по данным гидрологических постов			
	$P_{рв}$	Бассейн р. Ховд	Бассейн р. Енисей	Бассейн р. Обь
$P_{рв}$	–	<b>0,6</b>	0,0	–0,0
Бассейн р. Ховд	<b>0,6</b>	–	0,3	<b>0,4</b>
Бассейн р. Енисей	0,0	0,3	–	<b>0,6</b>
Бассейн р. Обь	–0,0	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	–

П р и м е ч а н и е. Полужирным шрифтом выделены те значения коэффициентов корреляции, которые являются значимыми.

Т а б л и ц а 4

**Продолжительность циклов в рядах реконструированных расходов воды за май – июнь по данным древесно-кольцевой хронологии LTL и по данным гидрологических постов по результатам спектрального анализа**

	Реконструированные расходы воды (с 1885 г.)	Бассейн р. Ховд	Бассейн р. Енисей	Бассейн р. Обь
Цикл	33	9	16	18
	26		14	15
	11		9	11
	9			

(Ховд – Мянгад (1966–2010 гг.), Ховд – Баяннуур (1973–2010 гг.), Буянт – Дэлун (1974–2010 гг.)), Енисей (Енисей – Базаиха (1903–1999 гг.), Енисей – Никитино (1911–1999 гг.), Енисей – Кызыл (1926–1999 гг.) и Обь (Томь – Новокузнецк (1894–2000 гг.), Бия – Бийск (1895–2000 гг.), Обь – Барнаул (1922–2000 гг.)). При сравнении циклических колебаний в реконструкции расхода воды с непосредственными наблюдениями рассчитаны средние значения расходов рек за май – июнь по бассейнам. При этом учитывалась теснота корреляционной связи (коэффициент корреляции  $> 0,4$ ) и схожесть в циклической структуре.

Изменчивость гидрологических данных в пространстве не так устойчива, как изменчивость температур воздуха. Реконструированные расходы воды за май – июнь коррелируют только с расходами воды рек бассейна Ховда. С расходами рек бассейнов Оби и Енисея статистически значимой связи не обнаружено, при этом между непосредствен-

ными значениями расходов рек Оби и Енисея корреляционная связь достаточно высокая. Это дает основания предположить, что выявленные внутривековые колебания в реконструкции стока характерны только для территории Северо-Западной Монголии (табл. 3).

В связи с небольшой продолжительностью рядов гидрологических данных, спектральный анализ не выявил в них циклов с периодом более 18 лет (табл. 4).

Тем не менее сопоставление рядов на графике позволяет подтвердить выдвинутое ранее предположение о высоком соответствии внутривековых колебаний в реконструированных расходах воды с колебаниями стока рек бассейна р. Ховд и в то же время о плохой согласованности с колебаниями расходов воды рек бассейнов Оби и Енисея (см. рис. 8).

При сохранении прежнего характера цикличности следует ожидать завершения текущего цикла в изменении расходов воды в пределах ближайших 10 лет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного анализа по выделению циклов по данным инструментальных гидрометеорологических наблюдений позволяют сделать вывод о климатической обусловленности циклических колебаний длительностью от 21 до 45 лет в приросте древесных колец Внутренней Азии. Реконструкция температур воздуха июня – июля, построенная на основе древесно-кольцевой хронологии UTL по верхней границе леса в Юго-Западной Туве и Северо-Западной Монголии, надежно отражает внутривековые колебания температур воздуха июня–июля с 1715 г. При этом выявленная закономерность цикличности характерна для значительной территории.

Реконструкция расходов воды р. Буянт (Монголия) за май – июнь, построенная на основе древесно-кольцевой хронологии LTL по нижней границе леса Северо-Западной Монголии, надежно отражает внутривековые колебания стока только для рек бассейна р. Ховд.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 13-05-41075 РГО\_а, грант № 14-05-00662\_а, № 14-05-10089\_к.

## ЛИТЕРАТУРА

- Адаменко М. Ф. Реконструкция динамики термического режима летних месяцев и оледенения на территории Горного Алтая в XIV–XX вв.: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Новосибирск, 1985. 16 с.
- Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мещалкин Л. Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
- Витинский Ю. В. Солнечная активность. М.: Наука, 1983. 192 с.
- Михайлов Н. Н., Чистяков К. В., Амосов М. А. и др. Геоэкология горных котловин. / под ред. Ю. П. Селиверстова. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1992. 292 с.
- Максимов Е. В. Учение о ритмах в природе. Курс лекций. СПб.: Изд-во РГПУ, 2000. 117 с.
- Муханова М. В., Сыромятина М. В., Чистяков К. В. Динамика прироста лиственницы сибирской в горах Тувы и Монгольского Алтая // География и природ. ресурсы, 2015а. Т. 36, № 1. С. 113–119.
- Муханова М. В., Сыромятина М. В., Чистяков К. В. Реконструкция гидрометеорологических показателей в горах Юго-Западной Тувы и Северо-Западной Монголии по дендрохронологическим данным // Там же. 2016. № 2 (в печати).
- Овчинников Д. В., Панюшкина И. П., Адаменко М. Ф. Тысячелетняя древесно-кольцевая хронология лиственницы Горного Алтая и ее использование для реконструкции летней температуры // Там же. 2002. № 1. С. 102–108.
- Ойдупаа О. Ч., Баринов В. В., Сердобов В. Н., Мыглан В. С. Построение и анализ 1104-летней древесно-кольцевой хронологии Tarys для Алтае-Саянского региона (Юго-Восточная Тыва) // J. of Siberian Federal University. Biology. 2011. N 4. P. 368–377.
- Ойдупаа О. Ч., Ваганов Е. А., Наурзбаев М. М. Длительные изменения летней температуры и радиальный рост лиственницы на верхней границе леса в Алтае-Саянской горной стране // Лесоведение. 2004. № 6. С. 84–91.
- Шиятов С. Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
- Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Наурзбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учеб.-метод. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. Ч. 1. 80 с.
- Brückner E. Klima-Schwankungen Seit 1700 nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit. Wien Olmütz: E. Hölzel, 1890. 324 p.
- Chen F., Yuan Y., Wei W., Fan Z., Zhang T., Shang H., Zhang R., Yu S., Ji C., Qin L. Climatic response of ring width and maximum latewood density of *Larix sibirica* in the Altay Mountains, reveals recent warming trends // Ann. of Forest Sci. 2012.
- Cook E., Anchukaitis K., Buckley B., D'Arrigo R., Jacoby G., Wright W. Asian Monsoon Failure and Megadrought During the Last Millennium // Science. 2010. Vol. 328, Iss. 5977. P. 486–489. DOI: 10.1126/science.1185188. <http://www.noaa.gov/html>.
- Cook E. R., Holmes R. L. Program ARSTAN. Chronology development with statistical analysis. Users manual for Program ARSTAN. Tucson, Arizona USA: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, 1999. 12 p.
- D'Arrigo R., Jacoby G., Pederson N., Frank D., Buckley B., Baatarbileg N., Mijidorj R., Dugarjav C. Mongolian tree-rings, temperature sensitivity and reconstructions of Northern Hemisphere temperature // Holocene. 2000. Vol. 10, N 6. P. 669–672.
- Davi N., Jacoby G., D'Arrigo R., Baatarbileg N., Jinbao L., Curtis A. A tree-ring-based drought index reconstruction for far-western Mongolia: 1565–2004 // Int. Journ. Climatol. 2009. N 29. P. 1508–1514.
- Douglas A. E. Weather cycles in the growth of big trees // Monthly Weather Rev. 1909. Vol. 37. P. 225–237.
- Fritts H. C. Tree rings and climate. London; New York; San Francisco: Academic Press, 1976. 567 p.
- Grissino-Mayer H. D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program Cofecha // Tree-Ring Res. 2001. Vol. 57, N 2. P. 205–221.
- Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement / Tree-Ring Bull. 1983. Vol. 43. P. 69–78.
- Li J., Gou X., Cook E., Chen F. Tree-ring based drought reconstruction for the central Tien Shan area in northwest China // Geophys. Res. Lett. 2006. Vol. 33. L07715. 1–5.
- Methods of dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences / eds E. R. Cook, L. A. Kairiukstis. Eds. Norwell, Mass.: Kluwer Acad., 1990. 394 p.

- Peters K., Jacoby G., Cook E. Principal component analysis of tree-ring sites // *Tree-Ring Bull.* 1981. Vol. 41. P. 1–19.
- Rinn F. TSAP-Win time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications: version 0.53 for Microsoft Windows. Heidelberg: Rinn Tech., 2003. 110 p.
- Sidorova O. V., Saurer M., Myglan V. S., Eichler A., Schwikowski M., Kirdeyanov A. V., Bryukhanova M. V., Gerasimova O. V., Kalugin I. V., Daryin A. V., Siegwolf R. T. W. A multi-proxy approach for revealing recent climatic changes in the Russian Altai // *Climate Dynamics.* 2011. Vol. 38, N 1–2. P. 175–188.
- SILSO data (Sunspot Index and Long-term Solar observations) [Электронный ресурс]: Royal Observatory of Belgium, Brussels. Режим доступа: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>.

## **Cyclicality of Changes in Air Temperature and Water Discharge Reconstructed from Tree Rings in Mountainous Regions of Inner Asia**

M. V. MUKHANOVA, M. V. SYROMYATINA, K. V. CHISTYAKOV

*Saint-Petersburg State University*  
199034, Saint-Petersburg, Universitetskaya quay, 7-9  
E-mail: [miriam1212@mail.ru](mailto:miriam1212@mail.ru)

Interdecadal cyclicality of tree ring increment on the upper and lower limits of the forest in mountainous regions of Inner Asia was estimated. This data and records from Teeli meteorological station were used to reconstruct June and July temperatures since 1715 and May and June water discharge of the Buyant River (Mongolia) since 1474. Verification of the detected cycles using the instrumental hydrometeorological data allowed concluding that 21–45-year cycles of tree ring growth had been caused by climatic oscillations.

**Key words:** cyclicality, tree ring chronologies, air temperature and water discharge reconstruction, South-West Tuva, North-West Mongolia, upper and lower limits of the forest.