

## ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ

С.П. Арефьев, В.А. Зах

ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН  
ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026  
E-mail: sp\_arefyev@mail.ru;  
viczakh@mail.ru

### ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫЕ ХРОНОЛОГИИ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В АНДРЕЕВСКОЙ ОЗЕРНОЙ СИСТЕМЕ В НАЧАЛЕ XIX — XXI в.<sup>1</sup>

*Статья посвящена анализу древесно-кольцевых хронологий современной сосны, произрастающей на разных гипсометрических отметках относительно современного уровня Андреевских озер на гривах террасовидных образований, пойменных пониженных участках и рьях. В ходе исследования составлено восемь кольцевых хронологий, рассмотрена зависимость ширины колец от различных природных факторов, таких как пожары, энтомовредители и собственно колебание грунтовых вод, определяющих уровень озер Андреевской системы. Выявлены эколого-биологические закономерности, определяющие формирование годичных колец сосны в районе озера в связи с изменением его уровня. Наиболее длительная хронология с побережья озера протяженностью 197 лет (с 1821 г.) подтвердила низкий уровень воды в озере, зафиксированный на карте землемера Василия Филимонова, составленной в ноябре 1829 г. Рассмотрено использование хронологий, основанных на разности ширины годичных колец сосны по принципу контрастных биотопов (высокий — низкий; суходол — торфяник), показаны ограниченные возможности реконструкций такого рода по отдельным кольцевым хронологиям. Построена разностная хронология протяженностью 174 года (с 1843 г.), верифицированная рядом исторических свидетельств, результатами изучения озер юга Западной Сибири и картографическими материалами последних десятилетий. Данная разностная хронология (в комбинации с отдельными кольцевыми хронологиями) рекомендуется в качестве основы при реконструкции уровневых режимов озера. Уточнение полученных амплитуд колебаний возможно в ходе дальнейших дендрохронологических реконструкций с использованием старой строительной и ископаемой (в торфяниках) древесины.*

**Ключевые слова:** Андреевская озерная система, древесно-кольцевые хронологии, годичные кольца, пожары, энтомовредители, уровень озер.

DOI: 10.20874/2071-0437-2017-39-4-161-171

На побережье системы Андреевских озер, несомненно, находится один из наиболее значительных археологических микрорайонов на юге Западной Сибири, насчитывающий более 300 памятников от мезолита до средневековья. Проточная система, в которую входят Андреевские озера, соединенные р. Дуваном с р. Пышмой, во все времена играла огромную роль в жизнеобеспечении человека, давая возможность заниматься запорным и сетевым рыболовством. Водный режим озерной системы, как правило, определял выбор мест для сооружения поселков и влиял на количество пищевых ресурсов. Периоды высокой и низкой воды, изменение природных условий сказывались не только на хозяйственной деятельности человека, что отмечено при изучении картографических материалов, фиксирующих состояние озера на протяжении последних столетий [Зах, 2016], но и на окружающих лесах. Применение древесно-кольцевых хронологий позволяет датировать эти события в Андреевской озерной системе, а возможность таких исследований определяется наличием на побережье достаточно старых по габитусу экземпляров сосны.

Дендрохронологические методы широко используются в исторических датировках, индикации и реконструкции природных процессов, в том числе в реконструкции гидрологического режима водоемов [Fritts, 1976; Ловелиус, 1979; Methods..., 1990; Балыбина, Трофимова, 2013]. В Западной Сибири в этом плане известны прежде всего работы Л.И. Агафонова [2011], посвященные дендрохронологическому анализу пойменного режима р. Оби и некоторых ее притоков.

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-06-00260/17.

В частности, для юга региона установлены невысокие, но достоверные корреляции прироста тополя черного (0,35) и ивы белой (0,38) с расходом воды в р. Туре в мае. Проведенная им дендрохронологическая реконструкция количества осадков на Южном Урале за последние столетия показала природную цикличность, во многом синхронную с цикличностью уровня озер юга Западной Сибири, установленной А.В. Шнитниковым [1957]. Отмеченные несовпадения автор объясняет отрывочностью исторических свидетельств XVII–XIX вв., использованных А.В. Шнитниковым, и методической сложностью работы.

Целью настоящего исследования является выяснение возможностей и перспектив дендрохронологического метода в условиях оз. Андреевского на материале из ныне растущих деревьев. Для ее достижения поставлена задача дендрохронологической реконструкция изменений уровня озера за период, верифицируемый по историческим источникам. Решение этой задачи предполагает выяснение эколого-биологических закономерностей, определяющих формирование годичных колец сосны при колебаниях уровня озера. На последующих этапах предполагается построение более продолжительной дендрохронологической шкалы района озера с использованием старой строительной и ископаемой древесины, нахождение которой в торфяниках установлено в ходе палинологических исследований.

### Материал и методы

Материал для исследований отобран в июле — сентябре 2017 г. с восьми участков, находящихся в районе озера, включающих верхнюю границу ложа озера, приозерные гривы, возвышенные песчаные гряды и террасы долины Дувана (древнего русла Пышмы), верховые торфяные болота (рямы), сформировавшиеся в древних озерных депрессиях, а также участок на современном коренном берегу р. Пышмы напротив с. Онохино (табл.).

**Характеристика участков отбора дендрохронологических образцов**

№ участка	Юрты Андреевские		Грязное	Лагерь археологов		Муллаши		Онохино
	1 — кладбище	2 — перешеек	3 — Грязное	4 — гряды	5 — рям ближний	6 — бор	7 — рям дальний	8 — Пышма
Координаты	57°02'59" 65°48'02"	57°02'02" 65°47'53"	57°00'14" 65°50'23"	57°02'54" 65°51'28"	57°03'01" 65°51'25"	57°01'57" 66°02'28"	57°01'37" 66°02'38"	56°56'12" 65°31'12"
Биотоп	Низкая приозерная терраса	Граница ложа озера	Низкие приозерные гривы	Высокие гряды долины Дувана	Рям	Высокая терраса долины Дувана	Рям	Высокая терраса долины Пышмы
Древостой	Редкостойный парковый	Отдельные сосны	Редкостойный ленточный	Редкостойный ленточный	Мелколесье горелое	Сосновый бор горелый	Мелколесье	Отдельные сосны
Напочвенный покров	Малинниково-разнотравный	Злаково-разнотравный	Разнотравный	Лишайниково-брусничный	Кустарничково-осоково-сфагновый	Моховолишайниково-брусничный	Кустарничково-осоково-сфагновый	Разнотравный
Число взятых радиусов	21	5	11	19	13	16	13	11
Начало роста сосны, год	1821	1843	1903	1872	1897	1875	1874	1867
Средняя ширина кольца, мм (с 1980 г./с 2010 г.)	0,69/0,63	0,99/1,13	1,48/1,15	0,96/0,52	0,63/0,42	0,92/0,80	0,43/0,50	1,41/1,06
Изменение средней ширины кольца с 2010 г., %	-8,7	+14,1	-22,3	-45,8	-33,3	-13,0	+16,3	-24,8

Почвы на всех пунктах песчаные, под рямами — торфяные, с толщиной торфа не менее 0,5 м. Наибольшей шириной годичного кольца (1,4–1,5 мм) в стационарный период роста характеризуются редкостойные сосновые насаждения на умеренно дренированных приозерных и приречных участках (№ 3, 8); на торфяниках ширина кольца в 2–3 раза меньше. Во всех древостоях присутствуют следы неоднократных низовых пожаров (нагар, пожарные подсушины). На участках № 5 (ближний рям) и 6 (суходольный бор) древостой сильно поврежден и частично разрушен недавними пожарами — 2012, 2009, 2003, 1996 гг. При этом сосны, сохранившиеся на торфянике, в силу небольших размеров обнаруживают наибольшее негативное влияние пожаров на ширину кольца; крупные деревья, сохранившиеся в бору, напротив, образуют сравнительно широкие кольца за счет увеличения ресурсов пространства и минерального зольного питания (табл.). Наименее повреждено пожарами сосновое насаждение старого кладбища, которое огорожено и, вероятно, охранялось на протяжении своего существования.

## Древесно-кольцевые хронологии как показатель колебания уровня воды...

Пирогенные и механические нарушения присутствуют на всех участках на большинстве старых деревьев, встречающихся, как правило, единично и представляющих наибольший интерес для настоящего исследования. Такие нарушения часто являются причинами развития гнилей ствола, разрушающих кольца центральной его части, несущие наиболее ценную информацию. На суходолах имеются следы сплошных и выборочных рубок, также оказывающих влияние на ширину колец сохранившихся старых деревьев. Вследствие этого не было возможности соблюсти все условия, рекомендуемые для отбора образцов древесины при реконструкции гидрологического и климатического режима [Методы..., 2000]. Это отчасти скомпенсировано нами отбором деревьев в биотопически близких повторностях, что позволяет отделить изменения ширины колец, вызванные нарушающими факторами, при сравнительном анализе.

С учетом качества имеющегося природного материала образцы древесины отбирали по общепринятой методике с помощью бурава Пресслера, как правило, не менее 10 радиусов в каждом пункте (часть кернов в дальнейшем отбраковывали). Поперечную поверхность кернов зачищали лезвием, контрастировали меловой пудрой, ширину годичных колец измеряли под микроскопом с увеличением 8х4 или 8х2 (в зависимости от средней ширины колец) с помощью окуляр-микрометра. Полученные с отдельных радиусов кольцевые хронологии подвергали процедуре перекрестной датировки. На некоторых радиусах (особенно с торфяников) число выпавших колец нулевой ширины достигало 5 %. Затем для каждого участка формировали обобщенные хронологии: абсолютные (с использованием деревьев одного возраста) и стандартизированные вычитанием гормонально-возрастной составляющей прироста (с предварительным расчетом индексов ширины кольца методом негативного экспоненциального сглаживания) [Methods..., 1990]. Не достигшее окончательной ширины кольцо 2017 г. в расчет не принимали.

Об уровне озера и связанном с ним уровне грунтовых вод судили по ширине годичных колец и по соотношению ширины колец на участках, расположенных на разной высоте над уровнем озера, а также в суходольных и заболоченных биотопах. Полагали, что сравнительно высокая ширина колец на низких и заболоченных участках, как правило, свидетельствует о низком уровне воды, открывающем дереву дополнительные ресурсы корневого питания. При этом уменьшение ширины колец на таких участках не всегда является показателем высокого уровня воды: узкие кольца могут образовываться не только вследствие подтопления корневой системы, но и вследствие повреждений деревьев пожарами и (или) энтомофагами, обычно приуроченных к периодам с недостатком почвенной влаги [Арефьев, 1997]. Такие патологические узкие кольца наиболее характерны для сухих биотопов (высокие песчаные террасы и гряды). Исходя из этого об уровне воды в озере и на болотах судили по показателю

$$L = (w_n - w_i) / (w_h - w_i),$$

где  $L$  — относительный показатель уровня воды, изменяющийся от -1 (низкая вода) до +1 (высокая вода);  $w_h$  — средняя ширина колец в данный год на относительно высоком участке (или на суходоле);  $w_i$  — средняя ширина колец в этот год на относительно низком участке (или на болоте).

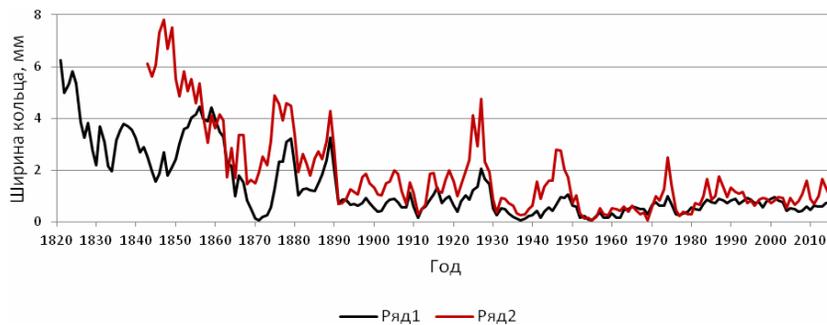
Иллюстрацией этого известного принципа контрастных биотопов могут служить данные нижней строки табл., где, например, в парах участков № 1 и 2 (относительно возвышенное и низкое положение), № 6 и 7 (суходол и торфяник) видны противоположные изменения прироста сосны в ответ на гидрологические условия последних семи лет; причем такая разность реакций сохраняется даже в случае повреждения пожаром (пара участков № 4 и 5). Показатель  $L$  рассчитывали по обобщенным абсолютным кольцевым хронологиям, если возраст деревьев в них одинаковый, или для стационарных участков таких хронологий, или для индексированных рядов. Применяли также индексацию рассчитанных хронологий показателя уровня воды  $L$  методом отрицательной экспоненты. Для определения цикличности хронологий использовали метод спектрального анализа Фурье; для оценки близости-различия хронологий использовали кластерный анализ (метод простого евклидова расстояния; для оценки связи использовали метод множественной регрессии (STATISTICA, v. 10).

### Результаты и обсуждение

Продолжительность полученных древесно-кольцевых хронологий составила от 114 (с 1903 г.) до 197 (с 1821 г.) лет. Самая длинная хронология (№ 1) получена со старого кладбища близ д. Юрты Андреевские, расположенного на краю низкой террасы, примыкающей к ложу озера. Несколько уступает ей хронология № 2 (возраст до 174 лет, с 1843 г.), полученная из отдельных сосен, растущих ниже по пологому склону этой террасы на незаливаемой части перешейка, со-

единого в маловодные годы Большой Андреевский остров (БАО), иначе называемый Козловым, с берегом озера. Наличие или отсутствие этого перешейка на исторических картах рассматривается в качестве важнейшего индикатора уровня воды в озере [Зах, 2016]. Находясь на луговине, непосредственно переходящей в ложе озера, эти сосны испытывают наибольшее, вплоть до критического, влияние колебаний уровня воды. Уже сама дата их появления (начало 1840-х гг.) может рассматриваться как индикатор даты последнего высокого уровня воды в озере, достигавшей места их произрастания.

Кольцевые хронологии с этих двух участков наиболее интересны для расчета дендрохронологического показателя уровня воды. Однако из них только хронология с кладбища достигает последней достоверной даты уровня озера в XIX столетии, засвидетельствованной на карте, составленной землемером Василием Филимоновым в ноябре 1829 г. [ГАТО, ф. И-49, оп. 1, д. 628]. БАО изображен на ней в качестве полуострова, который фиксировался при низком (ниже современного) уровне воды в озере. Поскольку участок, на котором расположено кладбище, только на 0,5–1 м выше перешейка, произрастающая на нем сосна также достаточно чувствительна к уровню озера. Об этом свидетельствует высокая синхронность ее кольцевой хронологии с хронологией перешейка (рис. 1), корреляция между ними достигает 0,72.



**Рис. 1.** Абсолютная ширина колец сосны с побережья оз. Андреевского: ряд 1 — кладбище; ряд 2 — перешеек.

Для решения задачи оценки уровня воды вопросы сходства-различия хронологий № 1 и 2 следует обсудить подробнее. Для обеих хронологий (как в абсолютном выражении на стационарном промежутке, так и в индексированном) не выявлено значимой связи со среднегодовыми колебаниями температуры воздуха. Связь с колебаниями годового количества осадков они проявляют только в виде слабой положительной тенденции (корреляция порядка 0,2), что не соответствует данным некоторых авторов [Формозов, 2013] о тесной связи уровня озер юга Западной Сибири с этим климатическим показателем (вероятно, такая связь характерна только для некоторых типов озер).

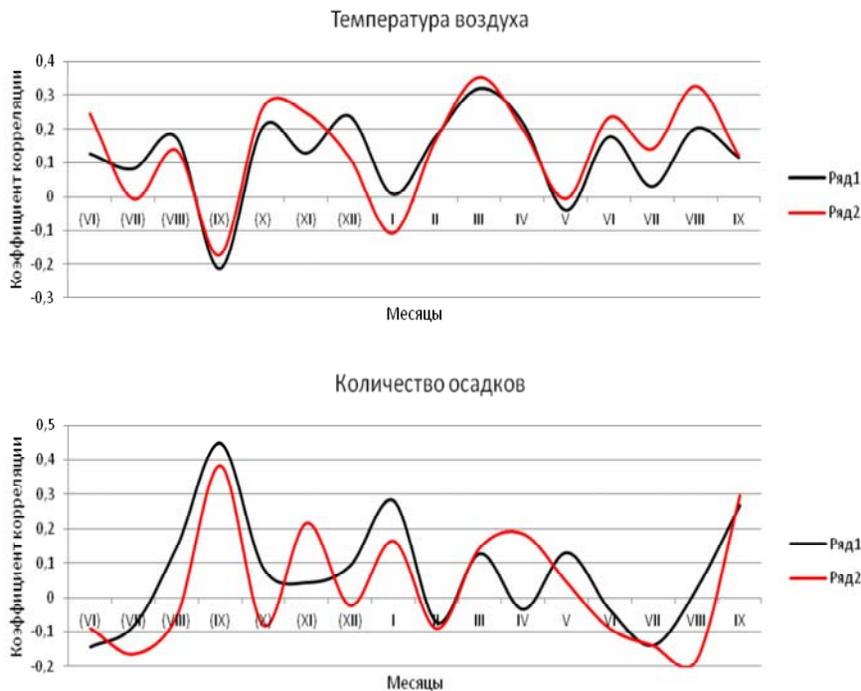
При этом отмечена отрицательная связь обеих хронологий с глубиной промерзания почвы (по метеостанции Тюмень): на кладбище она слабая (до -0,32), а на перешейке достигает среднего уровня (до -0,47), что показывает существенное уменьшение ширины колец в морозные малоснежные зимы вследствие холодого повреждения корневой системы [Николаев и др., 2011]. Очевидно, повышенное влияние этого климатического фактора связано с относительно малой толщиной снега на перешейке вследствие его сдувания на открытой местности, а также с сосредоточением корневой системы сосны, произрастающей на перешейке, в верхних слоях почвы, наиболее подверженных влиянию низких температур. Это подтверждает и анализ влияния месячных температур воздуха в год образования кольца ( $n$ ) и в предыдущий год ( $n - 1$ ) (рис. 2).

Множественная корреляция по значимым компонентам между шириной кольца и среднемесячными температурами воздуха (с июня года, предшествующего образованию кольца,  $n - 1$  по сентябрь года образования кольца  $n$ ) для хронологии участка № 1 достигает 0,57 ( $R_{adj} = 0,252$ ;  $p = 0,0007$ ), а с учетом месячных сумм осадков — 0,66 ( $R_{adj} = 0,311$ ;  $p = 0,003$ ). Для хронологии участка № 2 (перешеек) она достигает 0,70 ( $R_{adj} = 0,401$ ;  $p = 0,00002$ ), с учетом месячных сумм осадков — 0,75 ( $R_{adj} = 0,416$ ;  $p = 0,0007$ ). По месячным суммам осадков без учета среднемесячных температур воздуха достоверная множественная корреляция отсутствует.

Отмечается слабое положительное влияние на ширину кольца температуры воздуха в декабре (критическом для промерзания почвы зимнем месяце в силу малой толщины снежного

## Древесно-кольцевые хронологии как показатель колебания уровня воды...

покрова), в период с февраля по апрель, а также в августе (рис. 2). При этом реакции радиального прироста на среднемесячные температуры воздуха для обоих участков близки. Близки и реакции на месячные суммы осадков, влияние которых в большинстве случаев прослеживается не более чем на уровне тенденции. Исключение составляют показатели сентября в год, предшествующий году образования кольца. В целом как по количеству осадков (корреляция до 0,45), так и по температуре воздуха (-0,21) сентябрь оказывается наиболее значимым месяцем для формирования прироста. Судя по всему, причина в том, что по своим погодно-климатическим условиям сентябрь является критическим месяцем для выживания готовящихся к зиме энтомофитов, в частности майского жука — одного из ведущих вредителей сосны на юге Западной Сибири, биотопически приуроченного к редкостойным насаждениям и опушкам. В этой связи холодный дождливый сентябрь создает неблагоприятные условия для вредителя, положительно сказывающиеся на росте сосны.



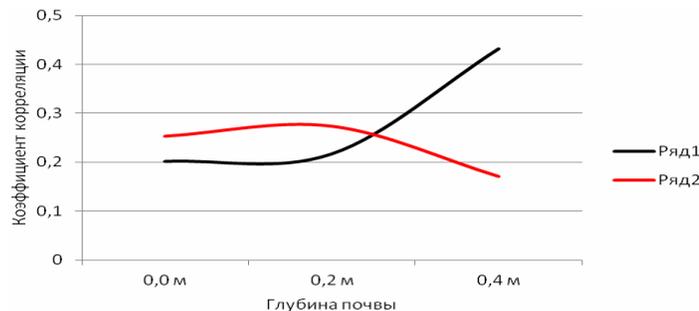
**Рис. 2.** Связь хронологий ширины колец сосны с побережья оз. Андреевского (ряд 1 — кладбище, ряд 2 — перешеек) с колебаниями среднемесячной температуры воздуха и количества осадков (по метеостанции Тюмень) для месяцев в год образования кольца  $n$  (без скобок) и предыдущий год  $n - 1$  (в скобках).

Обращает на себя внимание, что максимумы хронологий с кладбища по абсолютным значениям ширины колец значительно ниже таковых с перешейка, и проявляются они не резко, но постепенно по сравнению с максимумами прироста сосны на перешейке. Визуально они как бы на несколько лет запаздывают, хотя внимательное рассмотрение показывает, что они проявляются в одинаковые сроки. Очевидно, что реагирование на изменение уровня озера у сосны, произрастающей на более высоких отметках и дальше от уреза воды, происходит более инерционно.

Повышенная чувствительность кольцевых хронологий сосны с перешейка в значительной степени обусловлена и образованием темной креновой древесины с толстостенными трахеидами, преобладающей в самых широких кольцах. Образование креновой древесины компенсирует увеличение механических нагрузок на ствол (прежде всего ветровых), создающих риск его слома и возникающих обычно при наклоне, изреживании древостоя после рубок, низовых пожаров, эпифитотий, при изменении преобладающих румбов ветров в редколесьях. Креновая древесина очень характерна для заболоченных сосняков и рямов, где помимо их редкостойности фактором, способствующим ее образованию, является слабо заякоренная поверхностная корневая система, напряжения которой передаются на ствол.

Об аналогичной слабости корневой системы сосны на перешейке, периодически испытывающей подтопление озерно-грунтовыми водами, свидетельствует характер изменения связи

между хронологиями ширины годичных колец сосны и многолетними колебаниями температуры почвы на разных глубинах (рис. 3).



**Рис. 3.** Изменение тесноты связи между хронологиями ширины годичных колец сосны с побережья оз. Андреевского (ряд 1 — кладбище, ряд 2 — перешеек) и многолетними колебаниями температуры почвы на разных глубинах (по метеостанции Тюмень, 1951–1991 гг).

Если у сосны с кладбища коэффициент корреляции колебаний возрастает до глубины 0,4 м (до 0,43), то у сосны с перешейка, он, напротив, падает до незначимости, что показывает сосредоточенность большей части корней выше этой глубины. Поскольку в аномально широких кольцах сосны с перешейка кроме креновой древесины содержится и большое количество светлой проводящей древесины, их формирование связано прежде всего с улучшением корневого питания, происходящим при понижении уровня озера. Увеличение при этом густоты кроны создает дополнительную парусность и, как следствие, стимулирует нарастание не только проводящей, но и аномальной креновой древесины, которую соответственно нельзя исключать из анализа при индикации уровня воды.

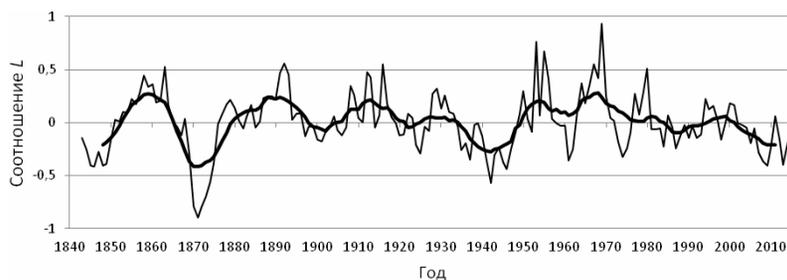
Формирование широких колец на перешейке при падении уровня эвтрофного озера обусловлено не только расширением корнеобитаемого слоя почвы, но и обогащением осушенных почвенных горизонтов биогенными элементами. По мере удаления от озера этот фактор ослабевает, что также объясняет меньший эффект осушения на участке № 2. В этом плане особенно сильные (вплоть до асинхронности) отличия прироста сосны на кладбище и на перешейке отмечаются в первые десятилетия роста. Начав расти на перешейке в маловодный (судя по хронологии № 1) период рубежа 1830–1840-х гг., они образуют чрезвычайно широкие кольца (до 8 мм в год) даже на фоне падения прироста старшего поколения сосны, произрастающей выше, на кладбище. Судя по всему, это связано с высоким исходным плодородием земель перешейка, впервые осваиваемых молодой сосной, и слабым развитием ее корневой системы, не чувствительной к умеренным колебаниям уровня воды.

Возможно также, что на более возвышенном участке сосна в засушливые годы поражалась энтомофитными вредителями, прежде всего майским жуком, повреждающим корни (что характерно для сосновых молодняков). На перешейке, сохраняющем более благоприятный почвенный режим, этого не происходило или сосна поражалась вредителем в меньшей степени. Так, с 1863 г. до середины 1870-х гг. на обоих смежных участках отмечается постепенное падение, а затем восстановление прироста сосны, характерное для развития очага этого энтомофитного вредителя, однако на территории кладбища оно было критическим (до выпадения колец), а на перешейке — умеренным и менее продолжительным. В дальнейшем, по мере увеличения возраста сосны, хронологии ее радиального прироста на этих участках все более синхронизировались.

Аналогичная, но меньшая по амплитуде депрессия ширины колец отмечается на обоих участках в 1934–1945 гг. При этом стоит вспомнить, что именно в этот период на юге Западной Сибири и в Казахстане наблюдалось массовое усыхание озер [Шнитников, 1957; Формозов, 2013]. Если предположить, что это относится и к оз. Андреевскому, то, по логике, прирост сосны на берегу усыхающего озера должен был увеличиться. Однако, как пишут те же исследователи, именно в указанные годы отмечалось и массовое развитие энтомофитных вредителей, а 1935–1936 гг. именуются не иначе как «саранчовыми». Разумеется, саранча тогда не достигла оз. Андреевского в значимых количествах, но именно на такие влагодефицитные периоды на юге лесной зоны Западной приходится развитие очагов вредителей леса [Арефьев, 1997], в частности майского жука, который, вероятнее всего, и был причиной данной депрессии.

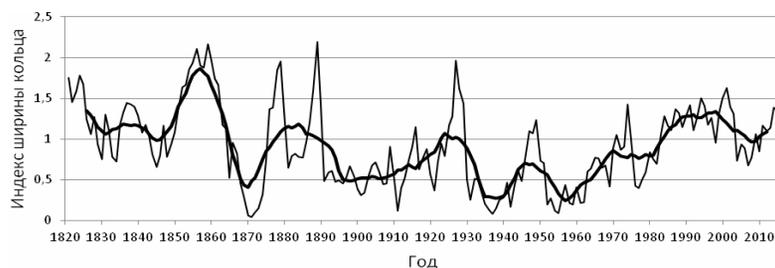
## Древесно-кольцевые хронологии как показатель колебания уровня воды...

То есть, падение уровня воды в озере может быть как прямой причиной увеличения ширины колец сосны, так и опосредованной (через энтомовредителей, а также пожары, происходящие на зарастающих травой отмелях) причиной уменьшения ширины колец. При расчете соотношения  $L$  приростов сосны с разных береговых уровней влияние указанных причин снижения прироста нивелируется, поэтому на иллюстрирующем это соотношение рис. 4 уровень воды в озере в период 1934–1945 гг. отчетливо индицируется как низкий, соответствующий общей для региона тенденции. Вместе с тем амплитуды выявленных таким образом колебаний уровня требуют дополнительно уточнения, возможно методом скользящей средней.



**Рис. 4.** Соотношение  $L$  ширины колец сосны с кладбища и с перешейка, показывающее уровень воды в озере. Жирная линия — 11-летнее сглаживание.

Таким образом, отдельные древесно-кольцевые хронологии, как абсолютные, так и стандартизованные, в качестве индикатора уровня воды в озере могут использоваться ограниченно при отсутствии сопоставительного материала; в них показательны только высокие значения ширины колец, соответствующие низкому уровню воды. В этом плане, судя по абсолютной хронологии № 1 (рис. 1), в период с 1821 по 1829 г. прирост сосны был относительно высоким (точнее, в 1829 г. начинается уменьшение прироста, длящееся с 1830 по 1834 г.). Такой прирост соответствует действительно низкому уровню воды в озере как в год составления карты землемером Василием Филимоновым (1829), так и в несколько предыдущих лет, что, вероятно, и повлекло необходимость инвентаризации осушившихся территорий с покосами.



**Рис. 5.** Индексированная без «выбеливания» ширина колец сосны с побережья оз. Андреевского (кладбище). Жирная линия — 11-летнее сглаживание.

Аналогичную картину в этот период показывает и индексированная кольцевая хронология сосны с кладбища (рис. 5). Без возрастной составляющей радиальный прирост в 1829 г. оказывается приблизительно на одном уровне с современным или несколько выше него, что соответствует существованию в то время полуострова (в настоящее время — пока острова). Вместе с тем с момента перекрытия хронологий № 1 и 2 (1843 г.) судить об уровне воды в озере лучше по соотношению этих хронологий (рис. 4), демонстрирующему сходство гидрологического режима оз. Андреевского с режимом многих озер юга Западной Сибири и Казахстана.

Так, В.В. Лавров [1948] для озер Тургайской долины установил 35-летний и 9–10-летний периоды колебаний уровня. Наличие сходных достоверных циклов протяженностью 34,8 и 12,4 года, а также 29-летнего цикла выявлено нами для оз. Андреевского при анализе хронологии показателя  $L$  методом Фурье. Указанные Лавровым минимумы, приходящиеся на 1901, 1911, 1921, 1931, 1940 гг., соответствуют минимумам, полученным нами (рис. 4). Вместе с тем указанные им

годы наивысшего уровня (1902, 1914, 1922, 1932, 1941), следующие через год-два после минимумов, обычно соответствуют лишь небольшим положительным флуктуациям показателя  $L$  уровня оз. Андреевского, полученным нами. Судя по всему, по сравнению с озерами зоны полупустыни его режим более инертен и столь резкие колебания уровня для него не характерны.

Более близкие результаты дало сопоставление с данными А.Т. Кузнецова [1960] по казахстанскому оз. Аксуат: в период с 1900 по 1940 г. как годовые флуктуации (например, максимум 1914–1916 гг.), так и многолетние изменения его уровня практически совпадают с полученной нами картиной по оз. Андреевскому. Однако в 1940-х гг. в результате перераспределения стока снеговой воды оз. Аксуат имело в целом высокий уровень, в то время как для оз. Андреевского нами индцирован низкий уровень лишь с небольшим поднятием в 1944 г.

Наша реконструкция гидрологического режима оз. Андреевского сопоставима с крупными гидрологическими циклами озер региона, опубликованными А.В. Шнитниковым [1957]. С люфтом до пяти лет или без него основные выделенные им циклы в промежутке с 1843 по 1950 г. совпадают с выделенными нами, иногда различаясь по амплитуде. Так, полностью совпадает период депрессии 1934–1946 гг., отмечавшийся выше как проблемный для нашей реконструкции, в значительной степени совпадает и упоминавшаяся выше проблемная депрессия 1870-х гг. Что касается периода с 1921 по 1943 г., представленного только одной древесно-кольцевой хронологией с оз. Андреевского, выделяемый А.В. Шнитниковым период высокой воды с максимумом в 1830-х гг. на нашей хронологии (рис. 4) меньше по амплитуде и короче. При этом 1829 г., маловодный, судя по карте землемера Василия Филимонова, по схеме А.В. Шнитникова близок к максимальному для этого периода уровню озер. Очевидно, что схема А.В. Шнитникова отражает неполную усредненную картину, полученную к тому же для территории заметно южнее района оз. Андреевского, наша же дендрохронологическая реконструкция конкретизирует гидрологический режим данного озера и более точно соотносится с упомянутым фактом картографической истории.

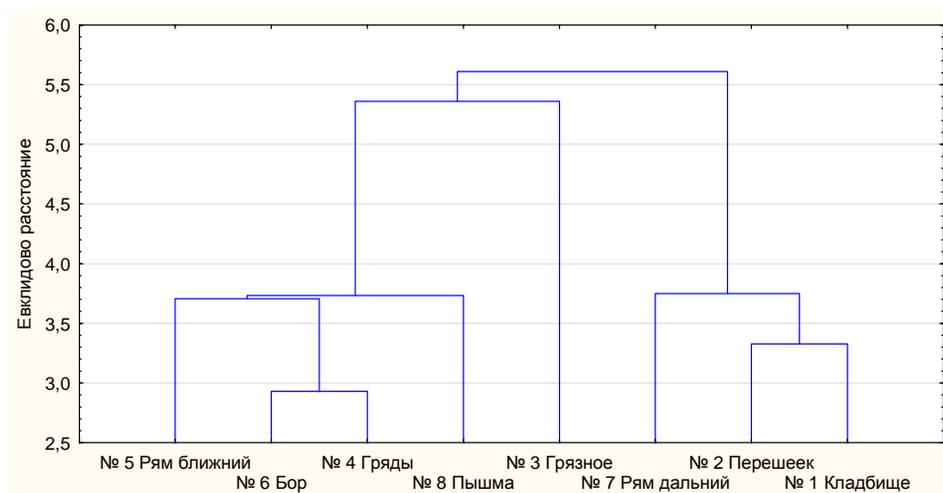
Примечательны и другие сведения, верифицирующие настоящую реконструкцию (рис. 4), в частности из работ М.Ф. Косарева [1981, 1984]. По его данным, высокая вода в озерах юга Западной Сибири держалась примерно до 1860 г. (по нашей хронологии до 1862 г.), затем началось усыхание (по нашей хронологии в минимальной фазе длившееся до середины 1870-х гг.); совпадают с нашей реконструкцией и указанные им даты восстановления высокой воды в 1883–1886 гг., ее наивысшего подъема в 1888–1889 гг. и понижения в 1895 г. Указанная М.Ф. Косаревым [1981] периодичность обводнений (30–40 лет) также соответствует установленному нами методом Фурье периоду (34,8 года). Подтверждают реконструкцию и картографические материалы последних десятилетий (<http://satmaps.info/map.php?s=200k@map=o-41-30>), демонстрирующие осушившийся перешеек, соединяющий БАО с побережьем в маловодном 1981 г., и его отсутствие в многоводном 1984 г., а также падение уровня озера в последние годы.

Хотя продолжительность кольцевых хронологий № 3–8, как правило, не превышает 145 лет (деревья стали расти после отмечавшейся нами «великой» лесопатологической депрессии 1860–1870-х гг. в районе озера, начавшейся в аномально сухом 1863 г.), они тоже представляют интерес с точки зрения реконструкции изменений уровня воды и других факторов, определявших развитие природно-исторического комплекса оз. Андреевского. Выделяется два основных кластера хронологий (рис. 6). В первый (гидрогенный) входят две рассмотренные выше хронологии — № 1 с кладбища и № 2 с перешейка, а также хронология № 7 с дальнего рьяма западнее д. Муллаши, что может свидетельствовать о близости режима изменения уровней озерных и болотных вод и возможности использования болотных хронологий (в том числе из погруженной в торф древесины) для реконструкции изменений уровня озера. Некоторые проблемы при этом может представлять их высокая чувствительность к пожарам и иной состав энтомофагов, в частности отсутствие на рьямах вредителей корней сосны.

Во второй кластер (пирогенно-суходольный) вошли все остальные хронологии. Центральное место в нем занимают очень близкие хронологии № 4 и 6 из типично суходольных биотопов — высокие песчаных гряд и террас долины Дувана, где деревья несут следы многочисленных низовых пожаров (2012, 2009, 2003, 1996, 1952, 1936, 1930, 1911, 1900 и других годов); к ним примыкает хронология № 8 с высокой террасы современной долины Пышмы. Более обособлена во втором кластере хронология с прибрежных грив оз. Грязного, являющегося обособленной мелководной частью оз. Андреевского. Занимая промежуточное положение и обладая гидрогенными чертами, эта хронология все же более близка к пирогенно-суходольным. Наконец, во второй

## Древесно-кольцевые хронологии как показатель колебания уровня воды...

кластер входит хронология № 5, взятая со сравнительно маломощных торфяных отложений ближнего ряма, непосредственно примыкающих к высокой гряде (хронология № 4); кроме того, положение этой хронологии в кластерном древе связано с сильным повреждением рямового древостоя пожарами.



**Рис. 6.** Кластерное распределение кольцевых хронологий сосны из района оз. Андреевского (стационарный участок абсолютных хронологий за период 1950–2016 гг.).

Использование хронологий пирогенно-суходольного кластера в реконструкции уровней озера представляет более сложную задачу в силу значительного влияния повреждающих деревья факторов, а также вырубок древостоя. Реконструкция, наиболее близкая (с корреляцией 0,64) к подробно рассмотренной выше реконструкции показателя уровня воды (рис. 4), получена при расчете разностей индексированной ширины колец сосны на высокой песчаной гряде (№ 4) и перешейке (№ 2). Однако многие другие варианты расчета этого показателя (пары хронологий № 3–2, 4–2, 4–3, 4–5, 6–7, 8–3), основанные на изложенном выше принципе биотопического контраста, показывают сходную тенденцию обмеления озера (и понижения уровня болотных вод) в последние годы.

Таким образом, в результате настоящего исследования составлено восемь древесно-кольцевых хронологий из района оз. Андреевского. Выявлены эколого-биологические закономерности, определяющие формирование годовых колец сосны в районе озера в связи с изменением его уровня. Наиболее длительная хронология с побережья озера протяженностью 197 лет (с 1821 г.) подтвердила низкий уровень воды в озере, зафиксированный на карте землемера Василия Филимонова, составленной в ноябре 1829 г. В то же время показаны ограниченные возможности реконструкций такого рода по отдельным кольцевым хронологиям. Рассмотрено использование хронологий, основанных на разности ширины годовых колец сосны по принципу контрастных биотопов (высокий — низкий; суходол — торфяник). Построена разностная хронология протяженностью 174 года (с 1843 г.), верифицированная рядом исторических свидетельств, результатами изучения озер юга Западной Сибири и картографическим материалом последних десятилетий. Данная разностная хронология, хотя в ней возможны уточнения амплитуд колебаний, рекомендуется в качестве основы при реконструкции уровня озера (возможно в комбинации с отдельными кольцевыми хронологиями). Предполагается дальнейшее развитие дендрохронологических реконструкций природно-археологического комплекса оз. Андреевского с использованием старой строительной и ископаемой (в торфяниках) древесины.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Агафонов Л.И. Древесно-кольцевая индикация гидролого-климатических условий в Западной Сибири: Дис. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 2011. 231 с.  
Арефьев С.П. Оценка устойчивости кедровых лесов Западно-Сибирской равнины // Экология. 1997. № 3. С. 149–157.

- Балыбинга А.С., Трофимова И.Е. Дендроиндикация температуры почвы в котловинах байкальского типа // География и природные ресурсы. 2013. № 2. С. 58–60.  
ГАТО. Ф. И-49. Оп. 1. Д. 628.
- Зах В.А. Андреевская озерная система: (Гидрология и использование природных ресурсов по археологическим и картографическим материалам XVIII–XX вв.) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2016. № 4 (35). С. 69–77.
- Косарев М.Ф. Бронзовый век Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 281 с.
- Косарев М.Ф. Западная Сибирь в древности. М.: Наука, 1984. 248 с.
- Кузнецов Н.Т. Пульсация уровней воды в озерах Северного Казахстана // Озера Северного Казахстана. Алма-Ата, 1960. С. 57–80.
- Лавров В.В. Четвертичная история и морфология Северо-Тургайской равнины. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1948. 126 с.
- Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев: Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л.: Наука, 1979. 230 с.
- Методы дендрохронологии. Ч. 1: Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов, В.Б. Круглов, В.С. Мазела, М.М. Наурызбаев, Р.М. Хантемиров. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2000. 80 с.
- Николаев А.Н., Федоров П.П., Десяткин А.Р. Влияние гидродинамического режима мерзлотных почв на радиальный прирост лиственницы и сосны в Центральной Якутии // Сиб. экол. журнал. 2011. № 2. С. 189–201.
- Формозов А.Н. Степные озера и водоплавающие птицы северного Казахстана и юга Западной Сибири // Рус. орнитол. журнал. 2013. Т. 22. Экспресс-выпуск 879. С. 1301–1315.
- Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария // Записки Географического общества СССР. 1957. Вып. 16. 245 с.
- Fritts H.C. Tree rings and climate. Acad. Press: London; New York; San Francisco, 1976. 576 p.
- Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences / Eds. E.R. Cook, L.A. Kairiukstis. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.

**S.P. Arefyev, V.A. Zakh**

Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS  
Malygina st., 86, Tyumen, 625026. Russian Federation  
E-mail: sp\_arefyev@mail.ru;  
viczakh@mail.ru

#### **TREE-RING CHRONOLOGIES AS AN INDICATOR OF FLUCTUATION OF WATER LEVEL IN THE ANDREEVSKOE LAKE SYSTEM IN THE BEGINNING OF THE XIX — XXI CENTURY**

The article analyzes tree-ring chronologies of contemporary pines growing on different hypsometric marks in relation to the modern level of the Andreevskoe lakes, on the low-ridges of terrace-like formations, floodplain lowlands and riams. The tree-ring chronologies from these areas, their correlation, dependence of the width of the rings on various natural factors, such as fires, harmful insects and fluctuation of groundwaters itself, reflecting the level of lakes in the Andreevskoe lake system are described. As a result of the study, 8 tree-ring chronologies were made, ecological and biological regularities were found out determining the formation of annual pine rings in the lake area due to a change in its level. The longest chronology of the lake coast for 197 years (since 1821) confirmed low water level in the lake, recorded on the map of surveyor Vasily Filimonov, created in November 1829. The use of chronologies was analyzed based on the difference in width of the annual pine rings according to the principle of contrasting biotopes (high — low, dryland — peatland), limited possibilities for reconstructions of this type based on individual ring chronologies are shown. A 174-year-old difference chronology (since 1843) was created, verified by a number of historical evidence, results of studies of lakes in the south of Western Siberia and cartographic material of the recent decades. The difference created chronology is recommended as a basis for reconstruction of the lake's level regime (possibly in combination with certain ring chronologies), although the fluctuation amplitudes can be specified for further dendrochronological reconstructions using old construction timber and fossil wood (in peat bogs).

**Key words:** Andreevskoe lake system, tree-ring chronologies, annual rings, fires, harmful insects, lake water level.

DOI: 10.20874/2071-0437-2017-39-4-161-171

#### REFERENCES

- Aref'ev S.P., 1997. Otsenka ustoichivosti kedrovyykh lesov Zapadno-Sibirskoi ravniny [Estimation of resistance of cedar forests of the West Siberian Plain]. *Ekologiya*, no. 3, pp. 149–157.

## Древесно-кольцевые хронологии как показатель колебания уровня воды...

Balybinga A.S., Trofimova I.E., 2013. Dendroindikatsiia temperatury pochvy v kotlovinakh baikal'skogo tipa [Dendroindication of soil temperature in Baikal type basins]. *Geografiia i prirodnye resursy*, no. 2, pp. 58–60.

Cook E.R., Kairiukstis L.A., 1990, (eds.). *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*, Dordrecht; Boston; London: Kluwer Acad. Publ., 394 p.

Formozov A.N., 2013. Stepnye ozera i vodoplavaiushchie ptitsy severnogo Kazakhstana i iuga Zapadnoi Sibiri [Steppe lakes and waterfowl of northern Kazakhstan and the south of the Western Siberia]. *Russkii ornitologicheskii zhurnal*, vol. 22, 879, pp. 1301–1315.

Fritts H.C., 1976. Tree rings and climate, Acad. Press: London; New York; San Francisco, 576 p.

Kosarev M.F., 1981. *Bronzovyi vek Zapadnoi Sibiri* [The Bronze Age of the Western Siberia], Moscow: Nauka, 281 p.

Kosarev M.F., 1984. *Zapadnaia Sibir' v drevnosti* [The Western Siberia in antiquity], Moscow: Nauka, 248 p.

Kuznetsov N.T., 1960. Pul'satsiia urovnei vody v ozerakh Severnogo Kazakhstana [Pulsation of water levels in the lakes of the Northern Kazakhstan]. *Ozera Severnogo Kazakhstana*, Alma-Ata, pp. 57–80.

Lavrov V.V., 1948. *Chetvertichnaia istoriia i morfologija Severo-Turgaiskoi ravniny* [Quaternary history and morphology of the North Turgai Plain], Alma-Ata: Izd-vo AN KazSSR, 126 p.

Lovelius N.V., 1979. *Izmenchivost' prirosta derev'ev: Dendroindikatsiia prirodnkh protsessov i antropogennykh vozdeistvii* [Variability of tree growth: Dendroindication of natural processes and anthropogenic influences], Leningrad: Nauka, 230 p.

Nikolaev A.N., Fedorov P.P., Desiatkin A.R., 2011. Vliianie gidrodinamicheskogo rezhima merzlotnykh pochv na radial'nyi prirost listvennitsy i sosny v Tsentral'noi lakutii [Influence of hydrodynamic regime of permafrost soils on radial growth of larch and pine in the Central Yakutia]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, no. 2, pp. 189–201.

Shiitov S.G., Vaganov E.A., Kirdianov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M., 2000. *Metody dendrokronologii, part 1: Osnovy dendrokronologii. Sbor i poluchenie drevnesno-kol'tsevoi informatsii* [Methods of dendrochronology, part 1: Fundamentals of dendrochronology. Collection and reception of tree-ring information], Krasnoyarsk: Izd-vo KrasGU, 80 p.

Shnitnikov A.V., 1957. *Izmenchivost' obshchei uvlazhnennosti materikov Severnogo polushariia* [Variability of total humidification of the continents of the Northern Hemisphere]. *Zapiski Geograficheskogo obshchestva SSSR*, no. 16, 245 p.

Zakh V.A., 2016. Andreevskaya ozernaia sistema: (Gidrologiia i ispol'zovanie prirodnkh resursov po arkheologicheskim i kartograficheskim materialam XVIII–XX vv.) [Andreevskoe lake system: (Hydrology and use of natural resources for archaeological and cartographic materials of the XVIII–XX centuries)]. *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii*, no. 4 (35), pp. 69–77.