

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ АРХЕОЛОГИИ

ПРОБЛЕМЫ
АБСОЛЮТНОГО
ДАТИРОВАНИЯ
В АРХЕОЛОГИИ

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1972

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ

Б. А. Колчин, Т. Т. Битвинская

В последнее десятилетие научные исследования в области дендрохронологии развивались по нескольким направлениям и достигли значительных успехов. Широта и многоплановость дендрохронологических работ привели к внедрению данных дендрохронологии во многие разделы естественных и гуманитарных наук.

Это объясняется прежде всего тем, что значительно расширились научные возможности получения дендрохронологической информации, и в первую очередь данных о годовичных кольцах как индикаторах явлений природы в прошлом. Дендрохронология принесла в естественные науки четвертое измерение — время.

В настоящий момент дендрохронологией серьезно занимаются лесоводы, биологи, климатологи, археологи, метеорологи, гидрологи, географы, астрофизики, экологи, болотоведы, геофизики, этнографы и даже криминалисты. Естественно, представителей этих наук, занимающихся дендрохронологией, интересует основная проблема — о взаимосвязях между факторами среды и приростом деревьев. Вопрос о влиянии различного рода факторов на величину годовичного прироста деревьев по диаметру является до настоящего времени наиболее сложным и в некоторых аспектах дискуссионным. Мы напомним, что годовые колебания прироста зависят от биологических особенностей древесных пород, их происхождения, возраста и условий местопроизрастания, климатических факторов (в первую очередь температуры и влажности), солнечной радиации, полноты насаждения, плодonoшения, санитарного состояния дерева, его наследственных свойств, стихийных явлений и ряда других причин.

Но основное положение дендрохронологии, что ширина прироста годовичного кольца — хорошо выраженного и легко доступного анатомического признака — является наиболее чувствительным показателем, реагирующим на изменение условий произрастания дерева как в современном лесу, так и в прошлые эпохи, получило единодушное признание всех исследователей во многих странах мира.

Мы не будем перечислять многие десятки имен крупнейших специалистов отечественной и зарубежной науки, пришедших к этим выводам, и сотни книг и статей, написанных на эту тему, а отошлем читателей к историографическим работам Г. Е. Комина «Лесоведение и дендрохронология» [1], А. А. Молчанова «Изменчивость ширины годовичного кольца в связи с изменением солнечной активности» [2], Б. А. Колчина «Дендрохронология Восточной Европы» [3], Б. Губера «Дендрохронология в Средней Европе» [4] и А. Хёга «Дендрохронологические исследования в Норвегии» [5].

В зависимости от решаемых конкретных задач дендрохронологию в последние годы обычно делят на собственно дендрохронологию и дендроклиматологию. Дендрохронология занимается составлением дендрохронологических шкал, их перекрестной и временной связью, относительным и абсолютным датированием самих шкал и, наконец, датированием по этим шкалам тех или иных явлений природы и объектов.

Предмет дендроклиматологии значительно шире. Дендроклиматологи выясняют качественные и количественные показатели связей солнечной радиации, элементов климата и других явлений природы прошлого с годовичным приростом дерева или сообщества деревьев.

В нашей статье мы будем касаться вопросов, непосредственно связанных только с дендрохронологией. Естественно, прежде чем что-либо датировать, нужно получить и составить дендрохронологическую шкалу с относительной, а затем и с абсолютной хронологией и уже затем по ней производить определение дат или искать закономерности тех или иных связей. Поэтому основные усилия исследователей, работающих в области дендрохронологии, в последние годы были направлены на составление долговременных дендрохронологических шкал с привлечением наиболее рационального и массового материала.

Значительных успехов в этой области достигли зарубежные дендрохронологи. В Европе и

в США в настоящее время работает несколько крупных лабораторий, среди которых наиболее значительные — лаборатория дендрохронологии Аризонского университета и лаборатория дендрохронологии Лесо-ботанического института в Мюнхене.

В Советском Союзе составлением многолетних дендрохронологических шкал занимаются в дендрохронологической лаборатории Института археологии АН СССР, в дендроклиматологической группе Института ботаники АН Литовской ССР, в лаборатории дендрохронологии Всесоюзного научно-исследовательского института судебных экспертиз, в дендрохронологической группе Института экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР, в лаборатории лесоведения АН СССР и в ряде других научных учреждений.

Успехи дендрохронологов Аризонского университета трудно переоценить. В середине 50-х годов сотрудник дендрохронологической лаборатории Эдмунд Шульман, исследуя вариации годичного прироста в связи с влиянием температур и влажности, обратил внимание на высокогорные породы хвойных деревьев, растущих в особо суровых климатических условиях и, в частности, в относительно засушливых зонах, так как годичный прирост в таких условиях более всего реагирует на количество осадков. В 1955 г. Шульман обнаружил в западных районах США несколько деревьев сосны остистой (*Pinus aristata*) возрастом более 4 тыс. лет [6].

В дальнейшем он сосредоточил поиски подобных деревьев в Белых горах на востоке центральной части штата Калифорния. Хвойные породы там произрастают на высоте более 3000 м над уровнем моря и находятся в относительно засушливой зоне — с годовым уровнем осадков от 305 до 330 мм. Засушливость этих мест объясняется тем, что тихоокеанские циклоны, продвигаясь на восток в глубь континента, задерживаются склонами гор Сьерра-Невада и это приводит к выпадению здесь обильных осадков, а Белые горы, находящиеся далее на восток, и лежащая в них долина Оуэнз остаются как бы прикрытыми от них.

Комбинация сухости, высоты и преобладания доломитовых почв привела к тому, что деревья здесь медленно растут, но долго живут. Кроме того, смолистая и плотная древесина делает их устойчивыми к воздействию влаги и гнили. Постоянный уровень фотосинтеза дал деревьям возможность выдерживать в течение многих лет неблагоприятные климатические факторы. Пни и более крупные остатки мертвых (засохших) деревьев сохранялись в этих

условиях тысячелетиями. Э. Шульман начал сбор образцов от этих деревьев. После его смерти (1958 г.) эта работа на некоторое время прекратилась, а в 1962 г. была возобновлена К. Фергюсоном и продолжается до настоящего времени [7].

В результате широко поставленных работ (на эти исследования лаборатория получила особые ассигнования) к 1967 г. К. Фергюсон собрал образцы древесины более чем от 1000 деревьев из района Белых гор.

Среди образцов были спилы — сплошные и частичные по диаметру, а также колонки колец, взятые буром.

При создании хронологии, основанной на данных сосны остистой с Белых гор, исследователи для проверки и сравнения графиков годичных колебаний использовали полученную ранее для гигантской секвойи, происходящей с гор Сьерра-Невада, дендрощкалу протяженностью до 1250 г. до н. э. Кроме того, делались контрольные сопоставления с интегрированной археологической дендрохронологической шкалой юго-запада, доведенной до 59 г. до н. э.

Необходимость перекрестной проверки дендрощкалы *Pinus aristata* по другим шкалам вызывались тем, что у этих деревьев, растущих исключительно медленным темпом, имелись так называемые выпадающие кольца, т. е. участки годичного прироста, образовавшиеся в годы с особенно тяжелыми климатическими условиями, которые не могут быть фиксированы современными приборами наблюдения и замера колец. Среди образцов *Pinus aristata* были такие, где по радиусу протяженностью в 12,7 см располагалось более чем 1100 колец. Имелись кольца в несколько сотых миллиметра толщиной. На некоторых образцах выпадающие кольца составляли 3—5% общего числа колец. Перекрестная датировка внутри шкалы *Pinus aristata*, а также сравнение со шкалами секвойи и археологической (составленной по хвойным деревьям) позволяли выявлять выпадающие кольца на конкретном образце и в итоге составить надежную шкалу с показателями вариаций годичного прироста из года в год.

Кроме того, Г. Фритс проделал работу по корреляции дендрощкалы Белых гор с дендрощкалами из других районов страны. Применяя современную вычислительную технику, он получил достаточно высокие коэффициенты корреляции со шкалами деревьев, растущими на расстоянии до 1600 км к востоку и югу и свыше 480 км к северу от заповедника Иньон (Белые горы) — основного места отбора образцов [8].

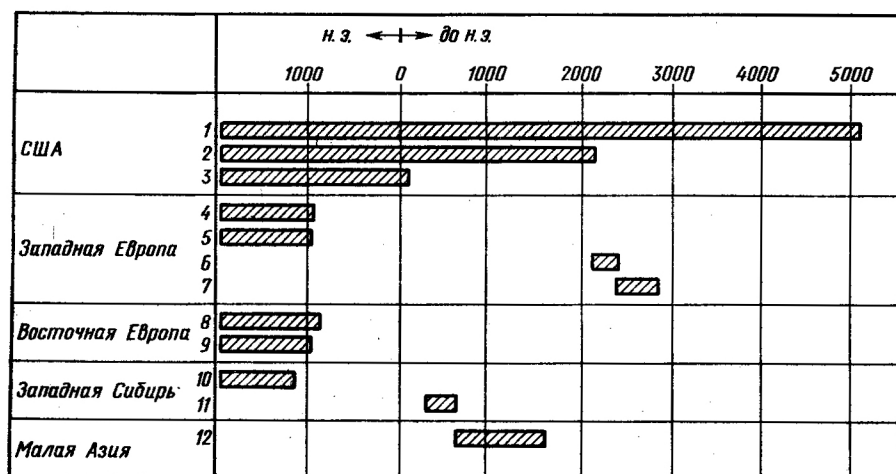


Рис. 1. Дендрохронологические шкалы мира

- 1 — по *Pinus aristata* протяжением в 7117 лет;
- 2 — по образцам гигантской секвойи;
- 3 — интегрированная шкала для археологического датирования по хвойным породам;
- 4 — по хвойным породам западных районов ФРГ протяжением до 820 г.;
- 5 — для южных районов ФРГ, по древесине дуба, протяжением до 942 г.;
- 6 — по болотной сосне (Бельгия);
- 7 — по лиственным породам (Швейцария);
- 8 — новгородская шкала протяжением до 884 г.;
- 9 — по северо-восточным районам Восточной Европы протяжением до 980 г.;
- 10 — Мангазея, лиственница, протяжение шкалы до 1103 г.;
- 11 — Пазырык на Алтае, протяжение шкалы 235 лет;
- 12 — по Гордиону, протяжением в 806 лет, древесина — сирийский можжевельник

Самое долголетнее живое дерево, которое было включено в дендрошкалу, имело возраст 4600 лет, т. е. хронология простиралась до 2637 г. до н. э. Затем начались перекрестные сопоставления с сухими (мертвыми) деревьями, которых было собрано несколько десятков. Одно из сухих тысячелетних деревьев, замеренное по нескольким радиусам на серии срезов с надежным наложением на более поздние образцы, дало хронологию, достигающую 4732 г. до н. э. Другой образец, давший наложение с надежной корреляцией на предшествующую шкалу и шкалу живых деревьев, получил годовичную хронологию до 4515 г. до н. э. Третий образец удлинил шкалу до 4466 г. до н. э. Для V и IV тыс. до н. э. надежное наложение хронологической шкалы дали восемь деревьев. Наконец, в полевой сезон 1967 г. был найден образец, который дал синхронные вариации с образцом 4732 г. до н. э. на протяжении более чем 300 лет. Этот образец удлинит общую шкалу еще на 418 лет. В результате хронология продлилась до 5150 г. до н. э., и таким образом непрерывная абсолютная дендрохронологическая шкала получила протяженность в 7117 лет (рис. 1).

Во время работы над созданием этой шкалы и в период ее уточнения и развития авторы исследования подвергали данные замеров годовичных колец разносторонней математической обработке с использованием вычислительных машин. Они подсчитывали по специальным программам коэффициенты корреляций отдельных

пар погодичных значений образцов колец, взятых от одного дерева или от различных моделей. Затем вычисляли корреляцию первого порядка в серии годовичных колец, которая указывала на степень зависимости определенной величины данного кольца от такой же величины предшествующего. Определялись стандартные отклонения конкретного кольца от средней величины кольца данного дерева. В последние годы ими разработана машинная программа, позволяющая использовать критерий хи-квадрат (χ^2) для оценки отклонений распределения любой последовательности величин годовичных колец от нормального заданного.

В настоящее время во многих радиоуглеродных лабораториях мира проводятся работы по изучению временных вариаций концентрации радиоуглерода в атмосфере Земли (эффект Фриза и эффект Зюсса). Дендрохронологи Аризонской лаборатории благодаря наличию у них большого количества образцов, а следовательно и большой массы древесины, смогли провести комплексные исследования совместно с радиоуглеродными лабораториями Аризонского, Калифорнийского и Пенсильванского университетов.

Дендрохронологи препарировали от образцов *Pinus aristata* пробы по 10 годовичных колец в каждой на протяжении всей тысячелетней дендрохронологической шкалы, сделав 369 экземпляров проб для анализа на C^{14} .

Десятилетние (по 10 колец) образцы, отобранные дендрохронологами Аризонской лабора-

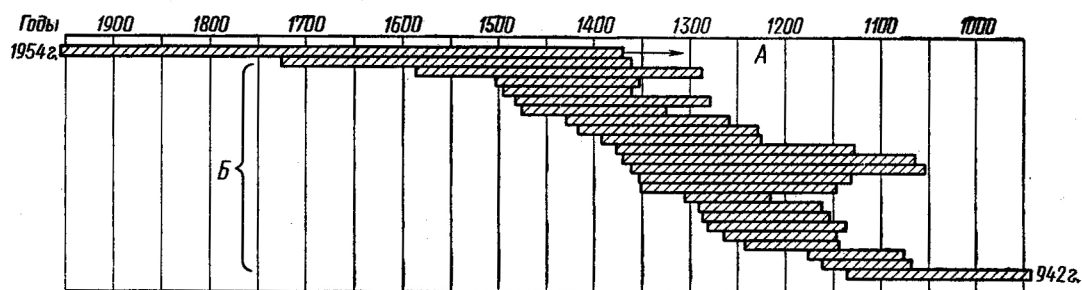


Рис. 2. Распределение во времени дендрохронологических образцов от основных объектов южных районов ФРГ, древесина — дуб

А — образцы от ныне растущих насаждений; Б — образцы от деревянных конструкций архитектурных сооружений

тории на анализ по C^{14} , хронологически распределялись следующим образом:

Хронологический интервал по дендрошкале	Количество образцов
1570—1 г. н. э.	27
1—1000 г. до н. э.	47
1001—2000 г. до н. э.	96
2001—3000 г. до н. э.	86
3001—4000 г. до н. э.	71
4001—4400 г. до н. э.	35
5001—5100 г. до н. э.	7

Эти работы, имеющие огромное значение для развития и уточнения радиоуглеродного метода, а также для решения ряда других проблем физических наук, позволяют определять возраст по уточненной радиоуглеродной шкале древних деревьев, не имеющих абсолютной хронологии, с некоторым приближением (с ошибкой $\pm \Delta$), а затем уточнять его на абсолютной погодичной дендрошкале.

В Западной Европе дендрохронологическим исследованиям в последнее время уделяла большое внимание группа ученых под руководством Бруно Губера, работающая в Лесоботаническом институте Мюнхенского университета.

Если американские ученые в силу благоприятных природных условий для дендрохронологических исследований на Американском континенте производили сбор исходного материала для составления дендрошквал в ныне растущих насаждениях, используя живые деревья или высушенные, но стоящие в лесу, то в Европе из-за отсутствия в лесах многовековых видов деревьев основным объектом изучения, давшим соответствующие хронологические модели, были памятники архитектуры и разные археологические объекты.

За последние 10 лет сотрудники группы Б. Губера опубликовали значительное число работ, посвященных дендрохронологическим шкалам лиственных пород южных и западных районов ФРГ, в первую очередь дуба.

Они применили метод перекрестного датирования и временного наложения — метод, успешно использованный нами еще в конце 50-х годов при составлении новгородской дендрохронологической шкалы. Образцы для исследования сотрудники Мюнхенской лаборатории получили от деревянных конструкций средневековых каменных сооружений, в основном церковных и монастырских зданий. Наиболее полная по количеству использованной древесины шкала для южных районов ФРГ простирается от современности до 942 г. н. э. [9]. На рис. 2 приведена диаграмма распределения во времени образцов от основных объектов шкалы. Другая шкала, составленная Вероникой Гиртц с участием Губера, простирается от современности до 960 г. н. э. [10].

Ученики Губера тем же методом перекрестного датирования составили 1100-летнюю дендрошкалу и по хвойным породам, в основном по ели. По образцам от древних зданий, расположенных в разных западных районах ФРГ, на севере Швейцарии и в других местах (их более 20), Б. Беккер и В. Гиртц составили шкалу от современности до 820 г. [11].

Регулярные исследования в области дендрохронологии начались и в Польше [12]. Вот уже несколько лет дендрохронологические работы ведутся в Институте археологии Немецкой Академии наук в Берлине [13]. Продолжаются они и в Чехословакии. Начаты работы по дендрохронологии в Болгарии [14].

В Советском Союзе дендрохронологическая работа шла по линии расширения территории

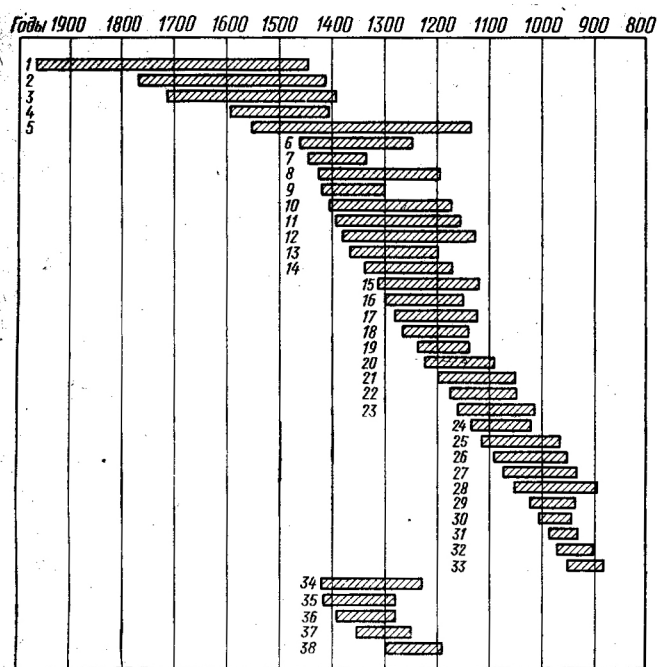


Рис. 3. Распределение во времени дендрохронологических образцов новгородской шкалы

- 1 — образцы от ныне растущих насаждений (Валдай, Карелия);
- 2 — деревянные конструкции архитектурных сооружений Иверского монастыря на Валдае;
- 3 — образцы от церкви Спас-Преображения на острове Кижи (1714 г.);
- 4 — церковь Успения у села Курицкое;
- 5 — лаги фундамента трапезной церкви Благовещения на Виткове переулке в Новгороде;
- 6—33 — образцы от плах и лаг (от двадцати восьми ярусов) мостовых Великой, Кузьмодемьянской и Холопьевой улиц на Неревском раскопе;
- 34 — лаги фундамента церкви Спас-Преображения на Розважье улице (1421 г.);
- 35 — лаги фундамента церкви Саввы на Кузьмодемьянской улице (1418 г.);
- 36 — связи стен церкви Иоанна Богослова (1384 г.);
- 37 — связи стен церкви Михаила в Скворотском монастыре (1355 г.);
- 38 — лаги фундамента церкви Михаила на Михайловой улице (1300 г.)

альных регионов дендрошкал. Самой древней датой абсолютной дендрохронологической шкалы Восточной Европы и Советского Союза остается дата новгородской шкалы, определяемая 884 г. н. э. (рис. 3). Но были составлены шкалы и по другим областям Советского Союза. Большие работы проделаны в Институте археологии АН СССР по составлению шкал на основе археологических источников. Сотрудники лаборатории дендрохронологии Н. Черных составила на массовом материале несколько абсолютных дендрошкал по западным и по северо-

восточным районам Восточной Европы. По западному региону (Смоленск, Торопец, Мстиславль) шкала простирается до 1050 г., по северо-восточному (Белоозеро, Кирилло-Белозерск, Орешек) — до 980 г. н. э. (об этих работах более подробно см. статью Н. Б. Черных на стр. 93—113).

Лаборатория дендрохронологии Института археологии к концу 1971 г. собрала более 7500 образцов (спилов) древесины от археологических и архитектурных объектов Восточной

Таблица 1

Номер	Объект	Порода	Количество образцов, спилов	Хронология шкалы, годы н. э.
1	Археологические объекты Новгорода (разные годы)	Сосна Ель	Более 5000	884—1462
2	Археологические объекты Новгорода	Дуб	90	900—1420
3	Архитектурные объекты Новгорода	Сосна	540	1133—1960
4	Смоленск	Ель	520	1070—1605
5	Торопец	Сосна	180	1050—1250
6	Мстиславль	Ель	110	1150—1343
7	Белоозеро	Сосна	252	980—1280
8	Полоцк	Ель	53	1124—1276
9	Москва	Сосна	31	1140—1357
10	Пинск	Ель	28	1150—1305
11	Кирилло-Белозерский монастырь	Сосна	16	1430—1576
12	Иверский монастырь (Валдай)	Ель	68	1420—1780
13	Церковь Спас-Преображения (Кижи)	Сосна	54	1288—1714
14	Псков	Сосна	185	1050—1260
15	Мангазея	Ель Лиственница	185	1103—1969
16	Орешек (археологические объекты)	Сосна	74	1190—1570
17	Арайшу (Латв. ССР)	Ель	157	IX — X вв.
18	Витебск	Сосна	40	1100—1310

Европы II тыс. н. э. (табл. 1). Порода древесины — сосна (65%) и ель (34%).

Кроме составления абсолютных дендропал, идущих от современности в глубь веков, в последнее время были сделаны попытки составления относительных («плавающих») дендропал с привязкой во времени методом радиоуглеродного датирования. Такие работы проводились и в Советском Союзе, и за рубежом.

Первая подобная работа была проведена И. Замоториным в лаборатории археологической технологии Института археологии АН СССР в 1957 г. [15]. От бревен пяти погребальных камер Пазырыкских курганов в Восточном Алтае было отбрано 50 образцов. Все образцы одной породы (сибирская лиственница *Larix sibirica*). Замеры годовых колец велись на поперечных спилах по двум радиусам. Методом перекрестного датирования была составлена плавающая дендропала протяженностью в 235 лет. Курган 5, самый младший в Пазырыкской группе (по относительной дендропале он был построен через 48 лет после курганов 1 и 2), по C^{14} имеет возраст 2440 ± 50 лет. Таким образом, пазырыкская дендропала простирается от середины VIII в. до начала V в. до н. э., т. е. от 490 до 725 г. до н. э. ± 50 лет.

Работы на Ближнем Востоке проводились группой исследователей Аризонской дендрохронологической лаборатории под руководством Бэнистера. Начиная с 1950 г. Пенсильванский университет ведет раскопки города Гордиона — древней столицы Фригийской империи. Он расположен в Анатолии в 110 км на юго-запад от Анкары. В 1957 г. был обнаружен большой могильник с огромными погребальными камерами, представляющими собой деревянные сооружения с двойными стенами, полом и двускатной крышей. Стены были сложены из толстых, иногда не отесанных бревен сирийского можжевельника (*Juniperus drupacea*). В 1961 г. закончился сбор образцов (срезов и радиальных буровых проб), и затем Бэнистер, применяя метод перекрестного датирования, составил относительную хронологию протяжением в 806 лет [16]. Радиоуглеродные датировки проведены с большой методической тщательностью: образцы на анализ по C^{14} брались только от заболони, т. е. внешних колец дерева. Они дали дату 740—700 лет до н. э. Эта дата подтверждается обильным археологическим материалом. Таким образом, по образцам дерева из Гордиона была составлена дендрохронологическая шкала протяженностью с конца XVI в до конца VIII в. до н. э.

Довольно большую коллекцию дерева удалось собрать в Швейцарии в 1958—1959 гг.

во время раскопок свайного поселения Бургэшизее-юг [17]. Было собрано более 1000 образцов древесины лиственных пород, среди них 52% дуба, 23% ясеня и другие породы. По образцам древесины дуба была составлена «плавающая» относительная хронология протяжением 340 лет. Датировка по C^{14} наиболее молодых образцов дала время 2513 ± 250 лет до н. э. Временной интервал этой шкалы, таким образом, простирается от 2853 до 2513 г. до н. э., т. е. охватывает почти всю первую половину III тыс. до н. э. со стандартным отклонением ошибки в ± 250 лет.

Интересные работы по хронологии болотной сосны были проведены в Бельгии. В 1962 г. в местечке Тернойцен в слое торфа на глубине 2,5 м на поверхности в 2 га было обнаружено 722 пня болотной сосны. Для дендрохронологического анализа было отобрано 56 образцов. 49 кривых колебаний годовичного прироста дали очень хорошее сопряжение, и в итоге была получена хронология длиной в 242 года [18]. Датировка по C^{14} дала время 2500—2300 г. до н. э.

В Советском Союзе проведены две работы по составлению древних относительных («плавающих») дендропал на основе археологических материалов. Была составлена шкала по шести образцам от бревен погребальной камеры Багдашанских курганов (древесина — сибирская лиственница). Археологически эти курганы датируются V—IV вв. до н. э. Шкала охватывает 165 лет.

Другая шкала составлена по образцам от бревен погребальной камеры Оглахтинского могильника. Древесина (сибирская лиственница) очень хорошей сохранности. Археологически эти курганы датируются I в. до н. э. Составлена шкала протяжением 185 лет.

Итак, в результате усилий ученых Аризонской лаборатории удалось составить абсолютные дендрохронологические шкалы для юго-запада Американского континента протяжением в 7117 лет, т. е. до конца VI тыс. до н. э. В Европе многолетние дендрохронологические абсолютные шкалы простираются до VIII—IX вв. н. э. Кроме того, по археологическим и иным материалам Европы и Передней Азии составлены «плавающие» дендропалы для III—I тыс. до н. э.

Рабочая дендрохронологическая шкала, пригодная для широкого археологического датирования, в США простирается до 59 г. до н. э. По этой шкале там датируются многочисленные археологические памятники, в основном индейские поселения Северной Аризоны и Новой Мексики. В Европе дендрохронологическое

датирование стало обычным рабочим методом для установления абсолютной хронологии средневековых древностей.

В Западной Европе широкий размах получили работы по дендрохронологическому датированию памятников архитектуры. В ФРГ и ГДР продатировано более 130 объектов. Эти работы были начаты в Мюнхене под руководством Б. Губера. В марте 1968 г. там был проведен двухдневный симпозиум, посвященный дендрохронологическим датировкам памятников средневекового искусства, в основном объектов архитектуры, где было прочитано 12 докладов [19].

В Советском Союзе основные исследования в области дендрохронологии были направлены на археологическое датирование. Установлены даты более 600 средневековых археологических объектов Новгорода, Смоленска, Полоцка, Торонца, Мстиславля, Белоозера, Орешка и других городов. Основные результаты этих работ изложены в статьях Б. А. Колчина и Н. Б. Черных, публикуемых в настоящем сборнике.

Выше мы уже отмечали, что на ширину годичного кольца дерева влияет множество факторов. Но два из них имеют, безусловно, преобладающее и постоянное значение: 1) изменение возраста дерева (интенсивный рост молодняка, жердняка, средневозрастного насаждения; замедление роста по достижении спелости, последующий очень медленный рост, а затем и отмирание старых деревьев) и 2) комплекс постоянно меняющихся климатических факторов, под воздействием которых изменчивость ширины годичных колец утрачивает плавность и приобретает колебательно-циклический характер.

Именно эти два свойства радиального прироста деревьев в континентальных широтах нашей планеты, где хорошо выражена изменчивость времен года, являются основой для дендрохронологических исследований. Первый из этих факторов — влияние возраста на радиальный прирост — приходится обязательно учитывать при исследованиях, чтобы избежать заведомых ошибок при датировании. Следующим этапом исследования являются работы по выявлению степени влияния постоянно меняющихся комплексов климатических факторов на изменчивость радиального прироста.

Для исключения фактора возраста, более четкого выявления влияния климатических факторов и для приведения дендрохронологических данных в сопоставимые величины в научной практике наиболее часто применяют следующие методы и приемы.

1. Исключение фактора возраста путем расчета годичного кольца относительно стандарт-

ной прямой линии, впервые предложенное Дугласом [20].

2. Алгебраические расчеты линейных и нелинейных зависимостей радиального прироста в зависимости от возраста, предложенные А. Ордингом [21] и Т. Руденом [22], затем развитые Фритсом и другими исследователями [21—23].

3. Методы средних скользящих, впервые примененные в дендроклиматологических исследованиях Андштадом [24], Ордингом [21], Руденом [22] и в настоящее время широко используемые в Советском Союзе [25].

4. Методы спектрального анализа изменчивости годичных колец, предложенные Глоком [20] и в дальнейшем развитые Колчиным в виде спектров угнетений [26].

5. Методы полулогарифмических кривых для выравнивания влияния фактора возраста, предложенные Губером [27] и математически обоснованные Руденом [22], широко применяются в ФРГ, Норвегии, Советском Союзе, ГДР и других странах.

В Соединенных Штатах в исследованиях, проводимых учеными школы Дугласа, до настоящего времени широко используется прием стандартных линий, заключающийся в том, что средняя годовая изменчивость ширины годичных слоев в зависимости от возраста выражается прямой линией. Конечно, первые 20—40, а то и больше годичных слоев обычно не ложатся в линейную зависимость, но в тех случаях, когда аппроксимируется радиальный прирост деревьев возрастом 200—2000 лет, что для Американского континента обычно, вычисление линейных зависимостей вполне оправдывается.

Европейские дендрохронологи и дендроклиматологи для аппроксимации возрастных кривых радиального прироста широко применяют скользящие (сдвигающиеся) средние величины — индексы. Первым использовал скользящие кривые для выявления влияния возраста и коррелирования ширины годичного слоя Андштад [24]. В статье, посвященной изучению ширины годичных слоев сосны и установлению возраста старых строений в Солоре (Восточная Норвегия), он по скользящим кривым выявил изменчивость годичных слоев в зависимости от возраста и затем произвел стандартизацию серий годичных колец.

Андштад использовал приемы расчета скользящих для трех-, одиннадцати- и тридцатилетних деревьев. При расчете скользящих кривых, например, годичных колец суммы ширины годичных колец делят на 11 и определяют как среднее многолетнее к шестому кольцу, входящему в расчет. В следующем дей-

ствии первое годичное кольцо из суммы 11 колец вычитается и добавляется двенадцатое годичное кольцо, а среднее относится к седьмому кольцу. Потом вычитается третье и добавляется тринадцатое и т. д. Андштад проводил дендрохронологические исследования, определяя возраст архитектурных памятников, но Ординг [21] и Руден [22], написавшие методические работы, рассматривали применение скользящих и в дендроклиматологических целях. Ординаг [21], как и шведские исследователи, при расчетах средних многолетних кривых радиального прироста методом скользящих пропускал часть годичных колец вблизи сердцевинных дерева.

Руден, применяя и другие математические методы расчета биокривых прироста, подчеркивал некоторые отрицательные стороны применения скользящих — так называемый эффект Слупского, не позволяющий после обработки дендрохронологических данных скользящими исследовать ритмичность и периодичность радиального прироста.

При расчете биологической кривой возраста способом скользящих остаются нерассчитанные концы кривой: при использовании трехлетних скользящих — за год, одиннадцатилетних — за 5 лет, двадцатилетних — за 10 лет, тридцатилетних — за 15 лет. Если началом ряда — годичными кольцами, находящимися вблизи сердцевины, — иногда целесообразно пренебречь, то данные о последних (внешних) годичных кольцах почти всегда очень ценны и необходимы.

В таких случаях приходится средние многолетние кривые продолжить, используя общее направление кривых за последние 10—20 лет, или высчитывать крайние точки средней многолетней с меньшего числа годичных колец, или для продолжения кривой использовать стандартные кривые — эталоны изменчивости колец в зависимости от возраста, полученные другими математическими приемами.

Проверив массовый материал, Т. Т. Битвинскас пришел к выводу, что зависимость радиального прироста от возраста у сосны обыкновенной, ели обыкновенной и других лесных пород, растущих в средней полосе европейской части СССР, наиболее объективно отображается двадцатилетними скользящими кривыми. Расчет средних многолетних радиальных приростов по пяти-, десяти-, пятнадцатилетним скользящим, как правило, не дает вполне удовлетворительных результатов, поскольку такие скользящие не выравнивают в достаточной мере изменения, происходящие в ширине годичных слоев под влиянием перемен в комплексе климатических факторов.

В северных высокоширотных районах Советского Союза, как показывает опыт дендроклиматологов Г. Комина и С. Шиятова, даже двадцатилетние скользящие недостаточно выравнивают биологические кривые. В этих случаях необходимо применять более длинные периоды или обратиться к другим методам.

Предложенный Т. Т. Битвинскасом способ двадцатилетних скользящих с шагом по пятилетию и последующим графическим нахождением средней многолетней для каждого года заключается в следующем. Серия данных ширины годичных слоев суммируется по пятилетиям. Два соседних пятилетия суммируются по десятилетиям, а десятилетние суммы ширины колец суммируются по двадцатилетиям. Затем эта операция производится с кольцами со следующего пятилетия и т. д. до конца кривой как бы скользя, передвигаясь по пятилетиям. Данные двадцатилетних сумм ширины годичных колец вписываются между десяти- и одиннадцатую-, пятнадцатую- и шестнадцатую-, двадцатую- и двадцатьюодногодичными слоями и т. д. Делением на 20 получаем среднюю ширину годичных слоев в этом месте. Данные точки, соединенные линиями, образуют плавную кривую, определяющую на графике среднюю ширину годичных слоев. Затем определяется индекс данного кольца, т. е. процентное отклонение фактического прироста от вычисленной средней нормы, полученной математически и графически.

В дендрохронологической группе Института экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР для обработки деревьев, произрастающих в пессимальных условиях, у которых обычно слабо выражается биологическая кривая, а также деревьев неизвестного происхождения (от древних зданий или из археологических раскопок) предложен новый метод определения индекса. В этом приеме за 100%-ную норму берется не кривая среднегодового прироста, как у Андштада или Битвинскаса, а кривая максимального прироста, которая проходит через вершины максимальных значений ширины кольца [28]. С. Г. Шиятов считает, что такая кривая вариаций годичного прироста дает возможность более четко выявлять вековые колебания индексов прироста, а это очень важно, если мы имеем дело с отдельными моделями.

Необходимо отметить, что в зависимости от характера исследовательской работы средние многолетние кривые прироста можно рассчитывать отдельно по каждому радиусу, по каждому дереву и по средней ширине годичного слоя совокупности деревьев.

Поскольку расчет средних многолетних для каждого дерева увеличивает объем работы, для дендроклиматологических исследований, где используются десятки и сотни деревьев, целесообразно рассчитывать среднюю многолетнюю для совокупности группы деревьев.

Г. Б. Гортинский [29], анализируя погодичную динамику продуктивности еловых древостоев южной тайги, определял погодичную изменчивость биомассы стволов не по ширине годичного слоя, а по площади сечения годичных слоев деревьев. Это, бесспорно, более совершенный способ определения изменчивости годичных колец, объективнее отражающий закономерности изменчивости крайних и внутренних годичных колец деревьев, но при этом значительно увеличивается объем камеральной работы.

В работах дендрохронологов ФРГ (школа Б. Губера), Советского Союза, Норвегии и других стран, когда решаются вопросы археологического датирования (т. е. когда место произрастания образца неизвестно), широко применяется метод полулогарифмических диаграмм.

Этот метод в дендрохронологии впервые применил в датировочных работах Губер [27], а впоследствии его математически обосновал Рудея [22].

Этот метод основывается на положении, что величина изменения пропорциональна средней ширине годичного кольца.

Если ширина одного годичного кольца a , а другого b , то отношение между ними можно выразить $b/a = c$. Различие же между кольцами выражается как $b - a$, т. е. его можно выразить иначе формулой

$$b - a = ac - a = a(c - 1).$$

Следовательно, это различие пропорционально a . С помощью логарифмов то же различие можно выразить так:

$$\log b - \log a = \log(ac) - \log a = \log c.$$

Таким образом, различие это независимо от a и пропорционально c . Следовательно, в полулогарифмическом графике различие между любыми двумя соседними годичными кольцами зависит не от их абсолютного размера, а от отношений их величин.

При составлении дендрошкал годичных колебаний прироста и при сравнении с этими шкалами отдельных моделей или других хронологий основным методом синхронизации кривых является визуальное сравнение графиков, выраженных в каких-либо принятых единицах и

индексах. Для опытного дендрохронолога подобное графическое сравнение является решающим. В последние годы стали применять разнообразные математические методы для оценки степени схождения.

Применение корреляционных методов не всегда дает твердые и правильные результаты. Работы М. И. Розанова [30] показали, что высокие корреляционные связи получаются только между изменчивостью радиального прироста отдельных частей ствола одного дерева (коэффициент 0,88—0,97). Изменчивость же радиального прироста отдельных сучьев с радиальным приростом стволовой древесины, а также радиальный прирост стволов разных деревьев одного местопроизрастания характеризуются низкими коэффициентами корреляций, находящимися в пределах 0,6—0,7.

Для синхронизации дендрохронологических данных по календарным годам как в численном выражении, так и в виде кривых Т. Т. Битвинскас успешно использовал выдвинутую Б. Губером [31] идею применить процент схождения изменчивости. Так как ширина годичных колец деревьев не является постоянной и они, размеры этих колец, под влиянием внешних факторов формируются неодинаково, то можно учесть тенденцию их изменчивости в отношении одного к другому. Плюс (+) мы отмечаем, что следующее годичное кольцо шире, и минус (—), что следующее годичное кольцо уже. Если другое дерево находилось под влиянием того же комплекса внешних факторов, то тенденция изменчивости годичных колец у этих деревьев в определенный период должна быть сходной.

В табл. 2 мы приводим ширину 12-годичных синхронных колец двух деревьев в десятих миллиметра. Тенденции изменчивости ширины годичных колец (слева направо) отмечены плюсом или минусом.

При сравнении этих двух серий годичных колец видно, что часть тенденций по направлению совпадает, а другая, наоборот, противоположна. Синхронные тенденции — как положительные, так и отрицательные — отметим снова плюсами, а несинхронные (несовпадающие) минусами.

Как видно из табл. 3, из 11 интервалов восемь направлений совпадают, три не совпадают.

Процент схождения изменчивости кривых можно рассчитать по формуле

$$C_x = \frac{[(n-1) - n^-] \cdot 100}{n-1},$$

где n — число годичных слоев; $n-1$ — число интервалов между годичными слоями; n^- —

Таблица 2

Номер годушно- го кольца	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12
Дерево 1	21	+	45	+	46	—	36	—	24	+	29	—	19	+	36	+	38	+	42	—	30	+	40
Дерево 2	36	+	54	+	61	—	41	+	43	—	36	—	24	+	40	+	50	—	40	—	35	+	54
Номер интер- вала		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		12	

число случаев несходства (противоположных интервалов); C_x — сходство между кривыми, выраженное в процентах. Величину $(n-1) - n$ можно заменить значением n^+ , которое является числом сходных по направлениям интервалов в кривых. В приведенном выше примере сопоставления двух рядов прироста годовых колец процент сходства будет

$$C_x = \frac{n^+ \cdot 100}{n-1} = \frac{8 \cdot 100}{11} = 72,7 \%$$

Идеальная синхронность двух рядов чисел или двух кривых, вычисленных по данной формуле, будет, когда $C_x = 100\%$. Асинхронность кривых выражается цифрой меньше 50%. При большом числе членов в исследуемых рядах цифр, выражающих изменчивость ширины годовых слоев в случайном сопоставлении этих рядов (не по календарным годам), процент сходства также может приближаться к 50%.

Если сопоставляются дендрошкалы одной породы из одного района с абсолютно сходными условиями местопроизрастания и они, естественно, синхронны по годам, процент сходства таких дендрошкел бывает довольно высоким. Сосна с совершенно одинаковыми условиями

местопроизрастания из двух разных лесничеств дает процент сходства в 86%. Дендрошкала, отличающаяся по режиму влажности от первой шкалы, дала сходство с ней в 77%.

С увеличением расстояния между лесными массивами процент сходства у отдельных дендрошкел несколько снижается даже в тех случаях, когда сопоставляются дендрохронологические данные из сравнительно сходных условий местопроизрастания.

Поэтому у дендрохронологов, работающих с недатированными образцами древесины из неизвестных районов местопроизрастания (тем более что лес рублен несколько столетий и даже тысячелетий тому назад), модели, не находящие себе места на дендрошкале, обычно составляют 15—20%.

Опыт работы авторов показал, что для синхронизации — и тем самым для абсолютного датирования — подходит большинство дендрохронологических образцов с деревьев, росших на сухих свежих и частично на влажных минеральных почвах (естественно, одной древесной породы). Не поддаются сравнению образцы древесины и дендрошкалы с резким различием местопроизрастаний. Так, например, годовые слои сосны, росшей на болоте, совершенно непригодны для синхронизации с дендрошкалой, построенной на основании данных образцов деревьев, росших в условиях нормального увлажнения.

Приведенная выше формула вычисления процента сходства кривых, конечно, не является единственной и даже лучшей из других возможных математических методов синхронизации. Но мы ей уделили особое внимание, так как она может дать хорошую основу для машинной обработки данных дендрохронологии. В этой формуле имеются только три символа: увеличение — как раньше (одинаково) — уменьшение, по которым очень легко составить со-

Таблица 3

Дерево 1	+	+	—	—	+	—	+	+	+	—	+
Дерево 2	+	+	—	+	—	—	+	+	—	—	+
Сходство тенденций	+	+	+	—	—	+	+	+	—	+	+
Номер интервала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

ответствующий алгоритм с количественными характеристиками.

Выше мы говорили, что в Аризонской лаборатории (впрочем, как и в Западной Европе) разрабатываются математические методы расчета средних многолетнего годичного радиального прироста, пригодных для счета на электронно-вычислительных машинах.

Фритс, Мосиман и Ботторф [32] предложили формулу, позволяющую рассчитывать среднюю многолетнюю кривую годичного прироста разных конфигураций:

$$y = ae^{-bx} + k,$$

где y — ширина годичного слоя в определенном году, a и b — вычисляемые для каждой серии константы, k — свободный член функции, определяющий ее нижний предел.

Универсальность этой формулы позволяет составлять программы для ЭВМ по любым кривым годичных вариаций.

По более перспективному пути в усовершенствовании дендрохронологического метода пошла группа исследователей кафедры экологии древесины Гамбургского университета под руководством Экштейна и Бауха [33]. Они поставили перед собой задачу максимально автоматизировать процесс дендрохронологического датирования с широким применением счетно-вычислительных устройств.

Как известно, процесс дендрохронологического исследования состоит из отдельных самостоятельных этапов: взятия пробы, измерения под микроскопом толщины годичных колец, составления кривых годичных колебаний прироста и, наконец, сравнения и синхронизации кривых годичного прироста. Все эти работы до настоящего времени в большинстве лабораторий мира проводятся вручную, иногда с применением малой механизации (замеры колец на полуавтоматах Эклунда).

Экштейн и Баух для взятия проб предложили модернизированную модель электробура, которая дает древесную колонку образца $d = 1$ см и длиной до 60 см. Замер годичных колец они производят на полуавтомате Эклунда с приставкой Винша [34] для автоматизации графической фиксации измеренных величин. Как известно, на автомате Винша наносятся только точки кривой, которые затем нужно вручную соединить линиями. Для вычерчивания кривой Экштейн и Баух приспособили электронный самописец, который по особой программе (созданной на кафедре) автоматически вычерчивает кривую. Графическое выполнение двухсотлетней кривой занимает около 2 минут.

Для синхронизации кривых Экштейн и Баух выбрали коэффициент параллельных вариаций, который в настоящее время легко может быть просчитан на ЭВМ. Данные погодичных замеров и кривой наносятся на перфокарту. Кстати, недавно фирма Аддо (Addo) выпустила микроскоп, у которого во время замера абсолютных толщин годичных колец эти данные сразу заносятся на перфокарту.

Последовательность выполнения программы на параллельную вариацию с помощью ЭВМ авторы описывают в упомянутой статье. По этой программе Экштейн и Баух уже провели несколько датировок археологических и архитектурных объектов на севере территории ФРГ.

В последнее время предпринят ряд больших работ по установлению общегеографических закономерностей динамики годичных приростов. Большой интерес представляют работы Хустича. В его исследовании «Сравнение хронологий древесных колец Аляски, Лабрадора и Северной Европы» [35] на основе анализа серии годичных колец из этих районов доказано существование единых минимумов прироста ели во всех трех точках одновременно. К подобным выводам о синхронности и изменчивости прироста деревьев в географически удаленных районах пришел в своей диссертации Н. В. Ловелиус [36].

Интересна работа, сделанная Г. Б. Гортинским и А. И. Тарасовым [37] по установлению общегеографических закономерностей прироста еловых древостоев в подзоне южной тайги европейской части СССР. Сравнительному анализу были подвергнуты образцы с пробных площадей из Ярославской и Ленинградской областей.

Авторы обнаружили наличие надежной сопряженности в погодичной изменчивости прироста еловых древостоев, относящихся к зеленомощной группе типов леса и распространенных в географически отдаленных пунктах южной тайги.

Как уже говорилось, во многих радиоуглеродных лабораториях мира, в том числе и в Советском Союзе, проводятся обширные работы по развитию и уточнению радиоуглеродного метода датирования. Эти работы проводятся на разных уровнях, в зависимости от поставленных конечных специальных задач. В Советском Союзе они проводятся в составе программы исследований по проблеме «Астрофизические явления и радиоуглерод».

Экспериментальная часть программы состоит из следующих пунктов.

1. Выяснение временной зависимости концентрации C^{14} в атмосфере для получения инфор-

мации об особенностях различных астрофизических и геофизических явлений, таких, например, как связь между вспышками сверхновых звезд и содержанием C^{14} в атмосфере Земли, и др. [38].

2. Разработка современных методов измерения удельного содержания изотопов C^{14} и C^{13} с высокой точностью.

3. Получение углеродсодержащих образцов (дерева) в количестве, достаточном для определения C^{14} , и, самое главное, разных периодов во времени с точностью временного интервала до одного года.

В решении последней задачи активное участие принимают дендрохронологи. В настоящее время дендроклиматологическая группа Института ботаники Академии наук Литовской ССР целиком занята вопросами создания коллекций образцов древесины отдельных годовичных колец. При радиоуглеродном спинтилляционном методе требуется от 100 до 500 г древесины для проведения одного анализа с высокой точностью. А для этого нужно сначала создать многовозрастные дендрошкалы с достаточным количеством самой древесины. Лаборатория уже подготовила в нужном количестве древесину годовичных колец деревьев за 1688—1712, 1593—1615 и 1564—1583 гг.

В заключение прежде всего еще раз отметим, что дендрохронологические исследования у нас в стране и особенно за рубежом успешно развиваются. Это объясняется тем, что информация о прошлом природы, которую дают годовичные кольца, стоит на стыке очень многих наук. Но в то же время это многообразие обуславливает некоторую стихийность в развитии метода, разноречивость в программах исследований и некоторую неорганизованность поиска дендрохронологических объектов и образцов.

Важнейшей задачей дендрохронологических исследований в настоящее время является создание многовековых дендрохронологических шкал как хвойных пород, так и лиственных (дуба) при комплексном использовании деревьев из современного леса, а также древесины архитектурных памятников и археологических объектов.

Колебания ширины годовичных колец древесных пород должны изучаться в различных географических регионах Советского Союза. Кроме того, необходимо объединенными усилиями составить дендрохронологические профили по определенной породе, например по сосне. Можно на основе отдельных дендрошкал составить единую шкалу для одинаковых местопроизрастаний по географическому профилю: например Литовская ССР, Латвийская ССР, Псковская,

Новгородская, Ленинградская области, Карельская АССР и т. п.

Необходимо организовать совместные комплексные экспедиции по поиску многовозрастных деревьев в лесах Советского Союза. В лесах Карелии имеются насаждения сосны обыкновенной возрастом в 300 лет и старше. Авторы настоящей работы в полевой сезон 1968 г. в Суоярвском лесхозе Карельской АССР нашли целое дерево возрастом 525 лет. В Западной Сибири часты лиственницы возрастом в 600—700 лет, а долговечность отдельных деревьев достигает 1200 лет. Необходим поиск в южных и восточных районах Средней Азии, в горных зонах на северных склонах Алайского и Туркестанского хребтов. Здесь можно встретить арчу туркестанскую возрастом в 2000 лет и более [39], арчу полушаровидную возрастом в 1500 лет. Так же, как и на юго-западе США, долготеление всех видов арчи увеличивается с нарастанием абсолютной высоты до верхней границы леса. Многовозрастные деревья имеются и на Кавказе.

Большие перспективы в настоящее время открывает поиск древней древесины в архитектурных сооружениях, особенно это относится к памятникам Севера. Например, образцы сосны обыкновенной, взятые от церкви Преображения на острове Кижи, построенной в 1714 г., показали, что возраст некоторых моделей — 426 лет, т. е. шкала по Кижам получила хронологию до 1228 г. Деревянный лежень (сосна обыкновенная) от фундамента трапезной церкви Благовещения в Новгороде, построенной в 1553 г., имел возраст 420 лет, т. е. его хронологическая шкала простиралась до 1133 г. Можно привести ряд подобных примеров из практики отечественной дендрохронологии, хотя сборы пока еще далеко не достаточны.

Еще большие возможности, главным образом во временном протяжении, дают дендрохронологам археологические объекты. Огромное количество древесины, пригодной для исследования, могут дать памятники русского средневековья, прежде всего древнерусские города. Обильно представлена древесина в погребальных памятниках железного века, особенно на Алтае и в Казахстане. Имеется дерево и на памятниках бронзы и неолита. Но для сбора древесины на археологических объектах всех эпох нужны организованные поиски и создание специальных экспедиций, работающих по определенной программе.

Важно и дальнейшее развитие технических сторон дендрохронологических исследований. Замер годовичных колец и запись результатов (следует заметить, что это очень трудоемкая

работа) необходимо как можно шире автоматизировать. Вариацию годичного прироста нужно выражать не только графически — кривыми, но и наносить на перфокарты, которые в дальнейшем можно будет обрабатывать на ЭВМ по любой выбранной для конкретного исследования программе.

Вероятно, не все дендропромеры окажутся пригодными и надежными для абсолютного археологического датирования с точностью до года, но все они дадут материал большой ценности для развития и уточнения метода датирования по С¹⁴.

Мы не говорим уже о том, что в годичных кольцах деревьев, произраставших сто, тысячу и много тысяч лет тому назад, содержится огромная информация о прошлом Земли и Космоса. Но эту информацию мы должны еще научиться читать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Е. Комин. Лесоведение и дендрохронология. «Лесоведение», 1968, № 4.
2. А. А. Молчанов. Изменчивость ширины годичного кольца в связи с изменением солнечной активности. М., 1970.
3. Б. А. Колчин. Дендрохронология Восточной Европы. М., 1965.
4. B. Huber. Dendrochronology of Middle-Europe. Nobel-symposium. Uppsala, August, 1969.
5. O. A. Hoeg. Growth-ring research in Norway. «Tree-Ring Bulletin», v. 21. Arizona, 1956.
6. E. Schulman. Bristlecone Pine, oldest known living thing. «National Geographic Magazine». March, 1958.
7. C. W. Ferguson. Bristlecone Pine. «Science and Esthetics. Science», 1968, v. 159, № 3817.
8. H. Fritts. The Relevance of Dendrographic Studies to Tree-Ring Research. «Tree-Ring Bulletin», v. 24 (1—2). Arizona, 1962.
9. B. Huber, V. Siebenlist, W. Niess. Jahrringchronologie Hessischer Richten. «Büdingen Geschichtsblätter», 1965, Bd. V.
10. B. Huber, V. Giertz. Unsere tausendjährige Eichen-Jahrringchronologie. «Sitzungsberichten der Österr. Akademie der Wissenschaften», Mathem.-naturw. Klass., Abt. I, Bd. 178. H. 1—4. Wien, 1969.
11. B. Becker, V. Giertz. Eine über 1100-jährige Tannen-chronologie. «Flora», 1970, Bd. 159.
12. T. Gorczynski, B. Molski, W. Golinowski. Podstawy dendrochronologii w zastosowaniu do potrzeb archeologii. «Archeologia Polski», 1965, t. X, 1.
13. M. Jährig. Zum bisherigen Stand der Eichenjahrring-chronologie und zur Dendrochronologie in Norddeutschland. «Ausgrabungen und Funde», Bd. 13. H. 6. Berlin, 1968.
14. П. Пенчев, Н. Георгиев. Дендрохронологият метод при изследванията на многогодишните оттопки. Вариации. «Известия на Българското географско дружество», кн. VII. София, 1968.
15. И. М. Замоторин. Относительная хронология Па-зырыкских курганов. СА, 1959, № 1.
16. B. Bannister. Dendrochronology in the Near East: Current research and future potentialities. «Труды VII Международного конгресса антропологических и этнографических наук», т. 5. М., 1970.
17. B. Huber. Seeberg, Buräschisee-Süd. Dendrochronologie. «Acta Bernensis», Bd. II. Bern, 1967.
18. A. V. Munaut. Recherches dendrochronologiques sur Pinus silvestris. «Agricultura», 1966, v. 14 (3).
19. «Kunstchronik. Monatschrift für Kunstwissenschaft. Museumwesen und Denkmalpflege», Bd. 21, H. 6. München, 1968.
20. W. S. Glock. Tree-Ring Analysis on Douglass System. «Pan-American Geologist», v. LX, August, 1933.
21. A. Ordning. Arringanalyser pa gran og furu. «Meddelelse fra Det Norske Skogforsoksvesen», Bd. 7 (25). Oslo, 1941.
22. T. Ruden. En vurdering av anvedte arbeidsmetoder innen trekronologi og arringanalyse. «Meddelelse fra Det Norske Skogforsoksvesen», Bd. 9(32). Oslo, 1945.
23. H. Fritts. The Relation of Growth Ring Widths... «Tree-Ring Bulletin», v. 25, N 1-2. Arizona, 1962.
24. S. Aandstad. Untersuchungen über das Dickenwachstum der Kiefer in Solor. «Norwegen Nytt. Mag.», № 74. Oslo, 1934.
25. Т. Т. Бигинский. К вопросу об изучении связи колебаний климата и природы насаждений. «Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии», вып. 103, 1965.
26. Б. А. Колчин. Дендрохронология Новгорода. МИА, № 117, 1962.
27. B. Huber. Jahrringchronologische Untersuchungen an Hölzern. «Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft», H. 5. Berlin. 1942.
28. С. Г. Шиялов. К методике расчета индексов прироста деревьев. «Экология», 1970, № 3.
29. Г. Б. Гортинский. Опыт анализа погодичной динамики продуктивности еловых древостоев в биогеоценозах южной тайги. «Экспериментальное изучение биогеоценозов тайги». Л., 1969.
30. М. И. Розанов. Дендрохронологический метод идентификации древесины. «Криминалистика и судебная экспертиза», вып. 2. Киев, 1965.
31. B. Huber. Über die Sicherheit Jahrringchronologischer Datierung. «Holz», 1943, Bd. 6, H. 10—12.
32. H. Fritts, J. Mosimann, C. Bottorff. A Revised Computer Programm for Standartizing Tree-Ring Series. «Tree-Ring Bulletin», v. 29 (1-2). Arizona, 1969.
33. D. Eckstein, J. Bauch. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens... «Forstwissenschaftliches Centralblatt», Bd. 88. H. 4. Hamburg, 1969.
34. B. Vins. Platting unit-A Contribution to the Automation of annual Ring Analyses. «For Socialist Agriculture Science» v. XI, № 2. Praha, 1962.
35. J. Hustich. Correlation of Tree-Ring Chronologies of Alaska, Labrador and Northern Europe. «Acta geographica», Bd. 15, № 3. Helsinki, 1956.
36. Н. В. Ловелиус. Колебания прироста годичных колец хвойных на верхней границе леса. Автореф. канд. дисс. Л., 1970.
37. Г. Б. Гортинский, А. И. Тарасов. О географической сопряженности годичного прироста. «Механизмы взаимодействия растений в биогеоценозах тайги». Л., 1969.
38. Г. Е. Кочаров. Труды Всесоюзного совещания по проблеме «Астрофизические явления и радиоуглерод». Тбилиси, 1970.
39. К. Д. Мухамедшин. Наиболее долголетние древесные породы Средней Азии. «Материалы совещания по вопросам дендрохронологии». Вильнюс, 1968.