

УДК 581.5+630x561.24+630x524,39

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ГОДИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ДРЕВОСТОЕВ¹

**А.А. Кнорре, А.В. Кирдянов,
В.Б. Круглов, П.П. Силкин***

В работе предлагается метод оценки годичной продукции стволовой древесины, основанный на расчете объемных величин ствола по данным радиального прироста деревьев, который хорошо соотносится с данными по продукции, полученными с использованием стандартных методик. Ежегодное нарастание ствола принимается условно в виде конуса, высота которого находится с учетом коэффициентов аллометрической зависимости между высотой ствола и его диаметром. Рассчитанная величина годичной продукции составила для лесотундры 0,09 т/га/год и для северной тайги - 0,14 т/га/год. Полученные величины совпадают с данными прямых измерений. Расхождения объясняются отсутствием точной датировки каждого кольца при проведении стандартных измерений и вследствие этого завышением средних показателей NPP стволовой древесины.

Введение

Изучение первичной продуктивности как величины атмосферного углерода, аккумулированного в фитомассе растений, к настоящему времени приобрело определяющее значение при оценке состояния наземных экосистем в условиях глобального изменения окружающей среды и взаимодействия между растительностью и атмосферой. По последним оценкам (Швиденко и др., 2000, 2001), основная масса (82,1 %) живой растительной органики содержится в лесных экосистемах. Почти две трети растительного углерода (63,8 %) сосредоточено в надземной древесине.

На сегодня существует ряд сводок по биологической продуктивности лесных сообществ, в основу которых легли данные по фитомассе и годичной продукции, полученные на пробных площадях и при маршрутных исследованиях (Уткин, 1982; Базилевич и др., 1986; Базилевич, 1993, и др.). Однако, как отмечается некоторыми авторами (Углерод в экосистемах..., 1994), данные сводки не обеспечивают полной информацией по запасам фитомассы крупных лесных регионов. Продуктивность древостоев очень варьирует в зависимости от географических, климатических и иных условий произрастания (Лесные экосистемы..., 2002). Ограничено, например, что годичная продукция стволовой древесины закономерно увеличивается по направлению с севера на юг (Казимиров и др., 1977).

Для определения показателей продуктивности усвоения углерода в течение года и продукции древесины наиболее часто используется расчет ее массы по объему модельных деревьев, с учетом плотности древесины. При этом плотностные показатели древесины зависят от породы, места произрастания и возраста (Закревский, 1970; Исаева, 1970, 1975; Алексеев, Рахманов, 1973; Полубояринов, 1976, и др.). Поэтому при

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ-ККФН 05-04-97706, Фонд содействия отечественной науке.

* © А.А. Кнорре, А.В. Кирдянов, П.П. Силкин, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН; В.Б. Круглов, Красноярский государственный университет, 2005.

расчетах годичной продукции необходимо точно знать плотностные характеристики анализируемого материала.

Однако современные методики не позволяют рассматривать изменчивость продукции за отдельные годы, поскольку, главным образом, определяется только средний показатель по совокупности лет. Тем более сложно соотносить эту величину с изменениями внешних факторов среды.

В статье предлагается использовать измеряемые параметры стволовой древесины (ширину годичных колец) для определения ее годичной продукции. Полученные оценки запасов углерода в фитомассе насаждений основных лесообразующих пород и возрастных групп позволят количественно оценить динамику его накопления в стволовой части насаждений, а также количественно оценить степень воздействия текущих климатических колебаний на аккумуляцию атмосферного углерода.

Методика

В работе был использован материал (керны деревьев), собранный на участках сети проекта IGBP-NES, которые представляют типичные условия лесотундры (нижнее течение р. Хантайка) и подзоны северной тайги (нижнее течение р. Н.Тунгуски) (Лесные экосистемы..., 2002). Участки выбирались с целью верификации полученных расчетных величин с данными таксационных исследований. Для расчетов годичной продукции были использованы керны деревьев лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) и ели (*Picea obovata* Ledeb.) сибирской.

Измерения радиального прироста деревьев проводили с помощью общепринятой в дендрохронологии методики (Methods of Dendrochronology, 1990). Для кернов деревьев были определены годовичные изменения радиального прироста и средняя плотность древесины по площади сечения ствола при помощи денситометра "DENDRO 2003" (Schweingruber, 1988; Кирдянов, 1999).

Годичная продукция рассчитывалась по значениям радиального прироста дерева. Считалось, что нарастание стволовой древесины происходит конусовидными "чехлами". Тогда объем "чехла", сформированного за каждый год отдельным деревом, позволяет оценить его объемный прирост. Необходимо отметить, что измерения ширины годичного кольца проводились для образцов, отобранных на высоте груди (1,3 м). Поэтому пересчет всей высоты дерева проводился с учетом поправки на высоту 1,3 м. Величина годичного прироста для всего конуса условно принималась одинаковой.

При нахождении высоты конуса ствола пользовались формулой простой аллометрии, имеющей вид: $y = ax^b$, где x и y выступают в качестве исследуемых величин, а параметрами выступают коэффициенты a и b . Этот метод позволяет количественно описать связь морфологических параметров (высоты ствола и его диаметра). Основными достоинствами данного метода являются простота проверки применимости уравнения, а именно построение прямой в плоскости ($\lg y, \lg x$), и возможность вычисления трудно измеряемых характеристик, их скоростей роста и коэффициентов вариации (Дюльдин, 1973).

Высоту каждого конуса находили с учетом коэффициентов, полученных при условии, что между высотой и диаметром в логарифмических координатах существует прямая зависимость (рис.1).

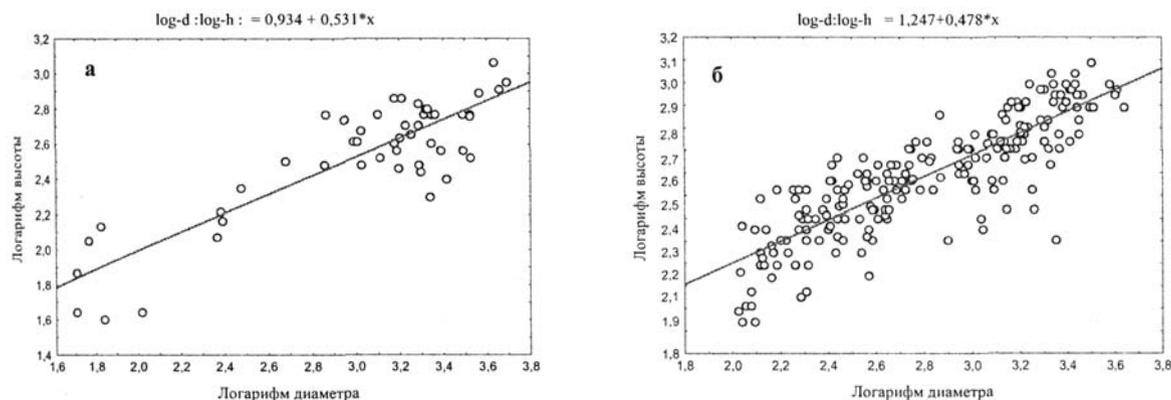


Рис. 1. Связь диаметра с высотой стволов в логарифмических координатах для деревьев лиственницы: а - лесотундра, б - северная тайга

Все деревья, по которым была рассчитана годичная продукция, в дальнейшем были разбиты на 5 классов по диаметру. Количество классов обусловлено наличием в каждом из них деревьев с рассчитанной продукцией. Для перехода на продукцию древостоя средняя продукция для каждого класса по расчету умножалась на общее количество деревьев в этом классе.

Результаты и обсуждение

Годичная продукция стволовой древесины, как правило, рассчитывается как среднепериодическая за последнее десятилетие. По данным, полученным в результате таких усреднений (Лесные экосистемы..., 2002), для древостоев исследуемых площадей в лесотундре величина годичной продукции древостоя составляет 0,7 т/га, для северной тайги данный показатель равен 1,0 т/га. Из них на стволовую часть приходится 0,12 и 0,24 т/га соответственно (Плешиков и др., 2002). Однако прямые измерения радиального прироста годичных колец показали, что диапазон его колебаний может изменяться от года к году в 3-4 раза. На примере деревьев лиственницы и ели (рис.2) видно, что в соседние годы величины радиального прироста изменяются значительно - от 0,2 до 0,8 мм. Средние показатели составляют 0,51 мм и 0,35 мм для лиственницы и ели для условий лесотундры, при величине стандартного отклонения 0,32 и 0,19 соответственно. В северной тайге средний показатель прироста составил 0,34 мм при величине стандартного отклонения 0,22.

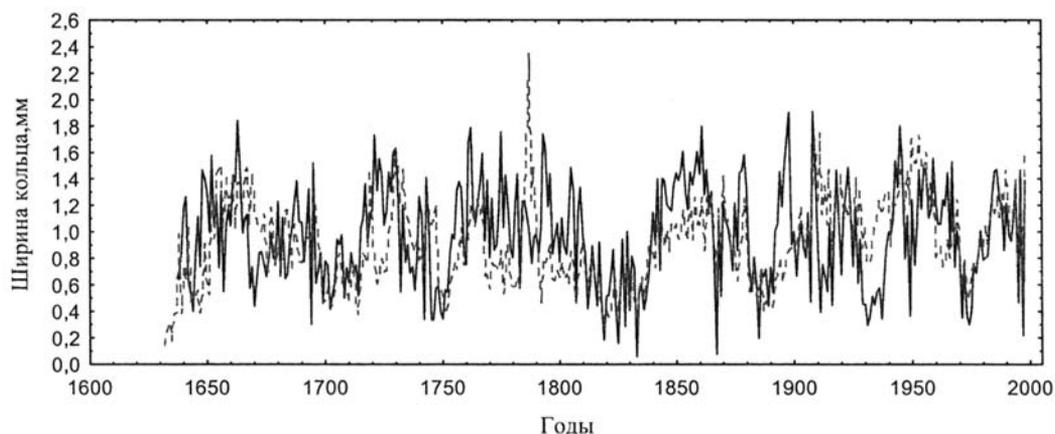


Рис.2. Динамика радиального прироста лиственницы (1) и ели (2) в условиях лесотундры

Разбиение деревьев на классы (таблица) показало, что возраст молодых деревьев лиственницы с участка лесотундры первого класса составил в среднем 50 лет, второго - 117 лет, третьего - 180 лет, четвертого - 210 лет, пятого - 267 лет. Для ели с этого же участка определено, что средний возраст деревьев первого класса составляет 38 лет, второго - 128, третьего - 167, четвертого - 250 и пятого класса - 275 лет. Для деревьев лиственницы участка северной тайги характерна следующая представленность средних возрастов по классам диаметров: первый класс - 78 лет, второй - 100 лет, третий - 205 лет, четвертый - 260 лет и пятый класс - 310 лет. Однако такое увеличение средних возрастов деревьев от класса к классу не говорит о прямой зависимости между возрастом дерева и его диаметром. Существует несоответствие между распределением по классам и возрастам отдельных деревьев. Так, например, 300-летнее дерево лиственницы вошло в третий класс по диаметру, для ели также отмечается присутствие в четвертом классе самого старовозрастного по измерениям дерева - 365 лет.

Таблица

Распределение деревьев лиственницы и ели по классам толщины, использованное для расчета годичной продукции древостоя на участках лесотундры и северной тайги

Лесорастительная зона	Вид	Кол-во дер. на площади	Классы деревьев					Доля вида в составе древостоя, %
			1	2	3	4	5	
			Диаметры деревьев для каждого класса, см					
Лесотундра	<i>Larix sib.</i>	60	0-9	9-18	18-27	27-36	36-45	15
	<i>Picea ob.</i>	110	2-8	8-14	14-20	20-26	26-32	27
Северная тайга	<i>Larix sib.</i>	246	3,4-10,4	10,4-17,4	17,4-24,4	24,4-31,4	31,4-38,4	65

Для каждого образца (керна) была определена средняя плотность древесины по площади сечения ствола. Рассматривая погодичное изменение показателей плотности, выявили, что данная величина практически не зависит от возраста дерева. Среди всех деревьев выделяются молодые с наибольшим показателем плотности и более высокой амплитудой ее колебаний в различные годы (рис.3). Проведенный регрессионный анализ для выявления значимости показателей плотности в оценке продуктивности выявил, что изменение годичной продукции в среднем на 90 % объясняется шириной годичного кольца, а не его плотностью.

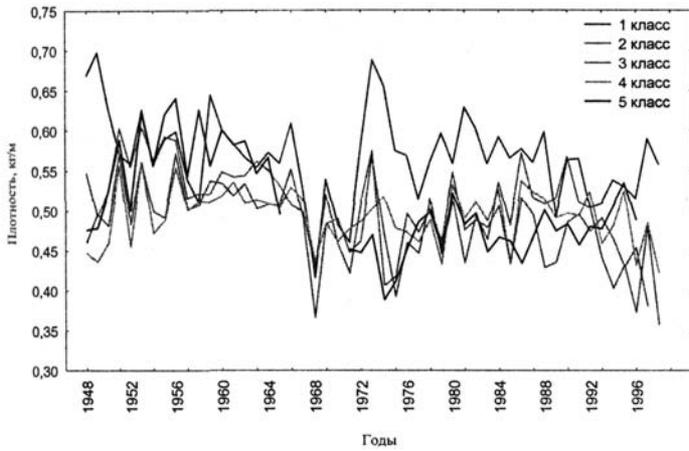


Рис.3. Погодичное изменение плотности годовичных колец лиственницы в зависимости от классов возраста

Средняя плотность древесины у деревьев разных классов возраста практически одинакова и составила на участке лесотундры у деревьев лиственницы - $0,51 \text{ г/см}^3$, у деревьев ели - $0,46 \text{ г/см}^3$. Для участка северной тайги плотность древесины у деревьев лиственницы выше и составила $0,61 \text{ г/см}^3$.

Расчеты годичной продукции ствольной древесины лиственницы и ели, произрастающих в условиях лесотундры, выявили, что ее величина за последние 10 лет составляет в среднем $0,046 \text{ т/га}$ и $0,045 \text{ т/га}$ для каждого вида соответственно. Суммарное значение для двух видов составило $0,091 \text{ т/га}$, что меньше показателя продукции ($0,12 \text{ т/га}$), полученного по стандартным методикам для этой же площади (Лесные экосистемы..., 2002). Однако в некоторые годы показатели продуктивности могут значительно варьировать. Например, для лиственницы от $0,007 \text{ т/га}$ в 1997 году до $0,07\text{-}0,06 \text{ т/га}$ в 1996 и 1998 годах соответственно. Для ели в эти же годы годичная продукция изменялась от $0,01$ до $0,05 \text{ т/га}$ соответственно. В условиях северной тайги средняя продуктивность выше и составляет $0,14 \text{ т/га}$, а вариация за последние десять лет колеблется от $0,06$ до $0,18 \text{ т/га}$. Измерения ширины годовичных колец и их перекрестная датировка выявили, что у 50% образцов деревьев зоны лесотундры не формируется (выпадает) кольцо 1997 года, а в зоне северной тайги - 1997 и 1995 годов. Поэтому при пересчете стандартными методами может оказаться, что величина средней годичной продукции рассчитывается не за десять, а за 11-12 лет. Если учесть данную поправку и сделать расчет за такой же период времени, то показатель продукции увеличивается в среднем на 10 % и составляет для лесотундры $0,1 \text{ т/га}$, для северной тайги - $0,16 \text{ т/га}$, что практически совпадает с опубликованными данными (Лесные экосистемы..., 2002).

Таким образом, можно рассмотреть динамику расчетной годичной продукции на примере лиственницы для двух лесорастительных зон (рис.4). После стабильного роста до середины 80-х годов у деревьев лиственницы, как в зоне лесотундры, так и в подзоне северной тайги, наблюдается снижение продукции вплоть до настоящего времени. Причем для северной тайги такое уменьшение выражено значительно. Снижение продукции у ели происходит позже - с 1990-х годов, что не может объясняться возрастной структурой (средний возраст у лиственницы и ели одинаков). Надо отметить, что динамику расчетной годичной продукции можно рассматривать не за весь период роста дерева, а только за время, когда кривая продукции выходит на плато, т.е. перестает зависеть от возраста (рис.4).

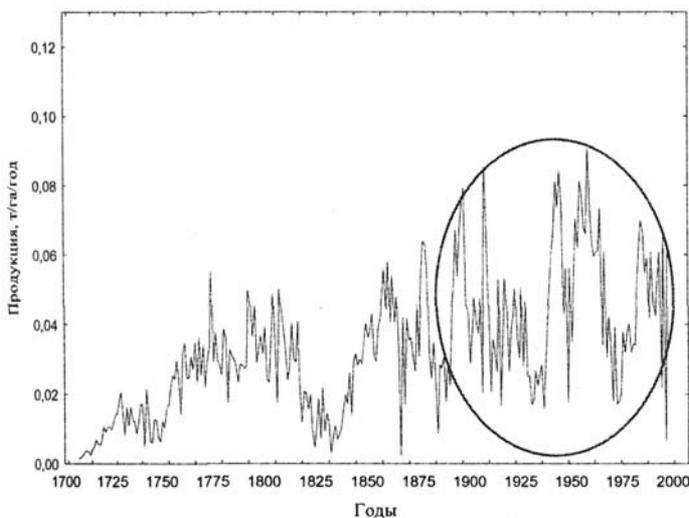


Рис.4. Средняя расчетная продукция для всех деревьев лиственницы с участка лесотундры (отмечен период, динамику которого можно рассматривать без учета возрастных особенностей)

Аналогичную тенденцию в годичной продукции лиственничников северной тайги (Северная Эвенкия) приводят А. Осава с соавторами (Osawa et al., 2001) по данным прямых измерений динамики запаса.

В заключение необходимо отметить, что величина годичной продукции, рассчитанная по показателям радиального прироста, хорошо соотносится с данными, полученными по прямым измерениям годичной продукции (Лесные экосистемы..., 2002), выполненными на тех же площадях. Это позволяет проследить многолетнюю динамику изменений годичной продукции для различных условий произрастания. Также, основываясь на связи радиального прироста с климатом (Fritts, 1976; Шиятов, 1986; Schweingruber, 1996; Vaganov et al., 1999; Kirilyanov et al., 2003), можно судить и об изменениях в динамике годичной продукции древостоя в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А. О некоторых коррелятивных зависимостях биомассы деревьев / В.А. Алексеев, Ю.Н. Раманов // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. - Л.: Наука, 1973. - С. 99-101.
2. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем северной Евразии / Н.И. Базилевич. - М.: Наука, 1993. - 394 с.
3. Базилевич Н.И. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем / Н.И. Базилевич, О.С. Гребенщиков, А.А. Тишков. - М.: Наука, 1986. - 297 с.
4. Дюльдин А.А. Коэффициент вариации и аллометрии / А.А. Дюльдин // Экология. - 1973. - № 6. - С. 97-99.
5. Закревский П.Б. Изменение объемного веса ствола и кроны растущих деревьев по высоте / П.Б. Закревский // Труды ЦНИИМЭ. - Т. 123. - 1970. - С. 92-102.
6. Исаева Л.Н. Влажность и плотность древесины основных лесообразующих пород Сибири: Автореф. дис...канд.биол.наук / Л.Н. Исаева. - Красноярск, 1970. - 30 с.
7. Исаева Л.Н. Физико-химические свойства древесины основных лесообразующих пород Сибири / Л.Н. Исаева. - Красноярск, 1975. - 21 с.
8. Казимиров Н.И. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н.И. Казимиров, А.Д. Волков, С.С. Зябченко и др. - Л.: Наука, 1977. - 304 с.
9. Кирдянов А.В. Сравнительный анализ роста и структуры годичных колец хвойных в лесотундре, в северной и средней тайге Средней Сибири: Автореф. дис...канд.биол.наук / А.В. Кирдянов. - Красноярск, 1999.
10. Лесные экосистемы Енисейского меридиана / Под ред. Ф.И. Плешикова. - Новосибирск, 2002.
11. Плешиков Ф.И. Структура фитомассы и годичная продукция северных лесов / Ф.И. Плешиков, В.Я. Каплунов, С.В. Токмаков и др. // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. - Новосибирск, 2002. - С. 73-84.
12. Полубояринов О.И. Плотность древесины / О.И. Полубояринов. - М: Лесн. пром-сть, 1976.
13. Углерод в экосистемах лесов и болот России. - Красноярск, 1994. - 201 с.
14. Уткин А.И. Методика исследований первичной продуктивности лесов / А.И. Уткин // Биологическая продуктивность лесов Поволжья. - М.: Наука, 1982. - С. 59-72.
15. Швиденко А.З. Опыт агрегированной оценки биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 1. Запасы растительной органической массы / А.З. Швиденко, С. Нильсон, В.С. Столбовой и др. // Экология. - 2000. - № 6. - С. 403-410.
16. Швиденко А.З. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 2. Нетто-первичная продукция экосистем / А.З. Швиденко, С. Нильсон, В.С. Столбовой и др. // Экология. - 2001. - № 2. - С. 83-90.
17. Шиятов С.Г. Дендрохронология верхней границы леса на Урале / С.Г. Шиятов. - М.: Наука, 1986.
18. Fritts H.C. Tree-rings and climate. - London; New York; San Francisco: Acad. Press. 1976. 567 p.
19. Kirilyanov, A., Hughes, H., Vaganov, E., Schweingruber, F., and Silkin P. The importance of early summer temperature and date of snow melt for tree growth in Siberian Subarctic // Trees. 2003, 17: 61-69.
20. Methods of dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Cook E.R. and Kairiukstis L.A. (eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Boston, London. 1990.
21. Osawa A., Abaimov A.P., Zyryanova O.A. Reconstruction structural development of even-aged larch stands in Siberia // Can.J.For.Res. Vol. 30. 2001. P. 580-588.
22. Schweingruber F.H. Tree Rings and environment. Dendrochronology. - Berne; Stuttgart; Vienna: Paul Haupt: Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, 1996.
23. Schweingruber F.H. Tree Ring: Basics and Applications of Dendrochronology. Dordrecht: Reidel. Publ, 1988.
24. Vaganov E.A., Hughes M.K., Kirilyanov A.V., Schweingruber, F.H., Silkin P.P. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia. Nature. 1999. V. 400, № 6740: 149-151.

**USING OF RADIAL GROWTH FOR ESTIMATION
OF TREE-STANDS ANNUAL PRODUCTION DATA**

**A.A. Knorre, A.V. Kirdyanov,
V.B. Kruglov, P.P. Silkin**

The method of estimation of the tree-stem annual production is suggested. It is based on estimation of stem volume by data of tree-ring growth. This method is close related with data of production estimated by standard method. Annual stem growth is accepted to be a cone form. The height of the cone is found from allometric relation between height and diameter of the stem. The estimated value of annual production is 0,09 t/ha/yrs for forest-tundra and 0,14 t/ha/yrs for northern taiga ecosystems. The obtained values are well correlated with data of the direct estimations. Some discrepancies are explained by the lack of accurate dating of tree-rings in the standard procedure of estimation of the annual production, as a result the mean index of stem wood NPP is too high.