

УДК 502.2.08

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В СТРУКТУРЕ ДРЕВЕСНЫХ ОБРАЗЦОВ НА КАЧЕСТВО ТОМОГРАФИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ

А. В. Батрагин<sup>1</sup>, С. Л. Бондаренко<sup>2</sup>, М. А. Казарян<sup>3</sup>,  
А. А. Красных<sup>1</sup>, И. А. Милойчикова<sup>1</sup>, С. В. Смирнов<sup>2</sup>,  
С. Г. Стучебров<sup>1</sup>, Ю. М. Черепенников<sup>1</sup>

*В работе впервые рассмотрено влияние содержания влаги в структуре древесных образцов на качество результатов исследования их внутреннего строения при помощи рентгеновской компьютерной томографии высокого разрешения. Томографический метод определения внутреннего распределения структуры и плотности годовичных колец стволовой древесины может применяться для решения задач в области дендроклиматологии и биометеорологии.*

**Ключевые слова:** рентгеновская компьютерная томография, рентгеновское излучение, рентгеновская трубка, дендрология, годовичные кольца.

*Введение.* Растительные биоиндикаторы, такие как древесина, листья и хвоя, мхи и другие нашли широкое применение для оценки состояния экосистем [1–3]. Впервые в научных исследованиях использование характеристик годовичных колец деревьев для анализа корреляции между солнечной активностью и ростом деревьев было предпринято в начале двадцатого века [4]. Впоследствии другими исследователями, в частности в 1971 г. [5], было показано, что условия окружающей среды существенным образом влия-

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634034 Россия, Томск, пр-т Ленина, 30.

<sup>2</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, 634055 Россия, Томск, пр-т Академический, 10/3.

<sup>3</sup> ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: kazar@sci.lebedev.ru.

ют на рост деревьев и, соответственно, древесины, при этом годовые кольца оказались эффективным индикатором климатических изменений.

Главными дендрометрическими характеристиками являются количество и размер (толщина) годовых колец, структура и плотность древесины [6]. Стандартными методами их анализа являются визуальный, оптико-электронный и рентгенометрический методы. Кроме этого внутреннее распределение плотности дерева изучают с помощью рентгенографических методов [6–8]. Одним из наиболее эффективных методов является рентгеновская компьютерная томография [9].

Известно, что в живой и свежеспиленной древесине имеется большое количество влаги. Естественная влажность древесины может превышать 90% [10], что может существенно влиять на результаты томографических исследований. Кроме этого, значительный вклад в итоговый результат исследования может дать смолистость.

Целью данной работы была оценка влияния влаги в древесных образцах на качество томографического рентгеновского исследования структуры и плотности годовых колец стволовой древесины. Исследование данного вопроса может быть полезно при решении задач в области дендроклиматологии и биометеорологии.

*Материалы и методы.* Метод рентгеновской компьютерной томографии заключается в математической реконструкции (создании цифрового изображения) внутренней трехмерной структуры объекта по данным измерения ослабления рентгеновского излучения при многократном просвечивании этого объекта в различных пересекающихся направлениях [11, 12]. Ослабление излучения зависит от плотности веществ, образующих внутреннюю структуру объекта. Применительно к древесине её рентгеновская плотность будет зависеть как от породы дерева, так и от физического состояния исследуемого образца древесины, основными характеристиками которой являются температура, влажность и смолистость (у хвойных пород).

Для оценки влияния влаги на результаты томографического исследования было проведено сканирование образца древесины сосны 4-5-летнего возраста. Образцы были отобраны в окрестностях г. Томска (Западная Сибирь, Россия) и имели диаметр 4–6 см.

В работе использовался экспериментальный рентгеновский томограф высокого разрешения, в котором сканирование осуществляется за счёт вращения исследуемого образца. Источник рентгеновского излучения имеет тонкий фокус и расходящийся пучок. При получении изображений анодное напряжение на рентгеновской трубке изменялось от 60 до 100 кВ. Размер вокселя итогового объемного изображения составляет

70 мкм. Схема сканирования имеет конический пучок, что учитывалось в алгоритмах реконструкции.

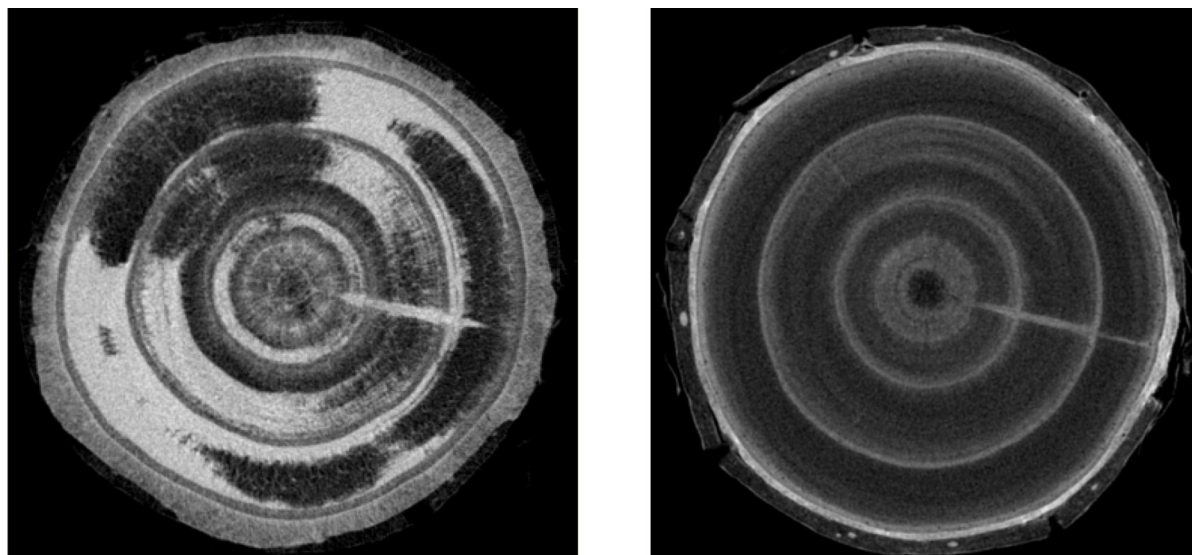


Рис. 1: Томограммы образца сосны сразу после спиливания дерева (слева) и после естественной сушки (справа).

*Результаты и обсуждение.* Исследования структуры проводились сразу после спиливания дерева и после естественной сушки на открытом воздухе в течение нескольких недель (рис. 1).

Как видно, томограммы образцов имеют существенные различия. Дендрометрический анализ на основе изображений свежеспиленного образца практически невозможен из-за сильного влияния влаги. Такое влияние на результаты обследования вода в структуре древесины оказывает вследствие того, что она имеет существенно большую рентгеновскую плотность, чем средние значения органического материала растения.

При использовании данных рентгеновского сканирования эталонных образцов, содержащих воду и смолу, можно осуществлять математическую корректировку результатов реконструкции путем калибровки изображений по физической плотности и при необходимости вычитания наложений смол и воды из данных, несущих информацию о структуре древесины. Таким образом, томограммы свежеспиленных образцов могут быть применимы в дендрохронологических исследованиях, однако более эффективное ослабление потока рентгеновского излучения в плотных тканях будет заметно снижать информативность результатов обследования, что накладывает дополнительные требования к отбору исследуемых образцов.

*Заключение.* Эксперименты с использованием сканирующего рентгеновского томографа высокого разрешения для определения структуры и плотности годовичных колец стволовой древесины показали, что компьютерная томография может применяться для решения задач в области дендроклиматологии и биометеорологии. Такие методы позволяют, не разрушая образцов древесины, исследовать их тонкую структуру, измерять ширину и плотность годовичных колец с высокой точностью. Причём выполнять дендрометрические измерения с высокой оперативностью, избегая субъективных ошибок человека, и, наконец, сохраняя образцы для дальнейшего исследования или использования. При этом важно учитывать физическое состояние исследуемых образцов древесины, так как оно может оказывать существенное влияние на качество результатов исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение о предоставлении субсидии RFMEFI57816X0198.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] P. Lazo, E. Steinnes, F. Qarri, et al., *Chemosphere* **190**, 337 (2018).
- [2] F. De Nicola, E. C. Graña, J. R. Aboal, et al., *Talanta* **153**, 130 (2016).
- [3] N. Rogova, N. Ryzhakova, A. Borisenko, N. Sergeeva, *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management*, **2**, 163 (2016).
- [4] A. E. Douglass, *National Geographic Magazine* **56**(6), 736 (1929).
- [5] H. C. Fritts, *Quaternary Research* **1**, 419 (1971).
- [6] E. A. Vaganov, M. K. Hughes, A. V. Shashkin, *Growth Dynamics of Conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments* (Berlin, Heidelberg, Springer, 2006).
- [7] H. Polge, *Tree-ring Bulletin* **30**, 1 (1970).
- [8] F. H. Schweingruber, H. C. Fritts, O. U. Bräker, et al., *Tree-ring Bulletin* **38**, 61 (1978).
- [9] Y. M. Cherepennikov, D. Hampai, C. Azzutti, et al., *Journal of Instrumentation* **13**(07), C07003 (2018).
- [10] E. T. D. Severo, I. Tomaselli, F. W. Calonego, et al., *Cerne* **19**(4), 637 (2013).
- [11] A. M. Cormack, *Medical physics* **7**(4), 277 (1980).
- [12] G. N. Hounsfield, *Medical physics* **7**(4), 283 (1980).

Поступила в редакцию 18 сентября 2018 г.

После доработки 18 сентября 2018 г.

Принята к публикации 4 декабря 2018 г.