

УДК 56.074

**А.А. Кочнев, С.Н. Кривошеков**  
**A.A. Kochnev, S.N. Krivoshekov**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Perm State National Research Polytechnic University

## **ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ**

### **PALEONTOLOGIC STUDY BY X-RAY TOMOGRAPHY**

Предложены современные методы исследования палеонтологических объектов с помощью компьютерной томографии. Проведены исследования фоссилий непосредственно в стандартных и полноразмерных образцах керна, а также экспонатов геологического музея. Изучены объемы скелета и пустотного пространства, линейные размеры. Все образцы визуализированы в 2D- и 3D-моделях.

**Ключевые слова:** фоссилия, керн, рентгеновская томография, гастроподы, кораллы, 3D-модель, Avizo Fire.

We offer advanced research techniques paleontological objects by computed tomography. Research was conducted fossils directly in standard and full-sized core samples and exhibits geological museum. Parameters were investigated such as the amount of the skeleton, the volume of the hollow space, linear dimensions. Also, all samples were visualized in two-dimensional and three-dimensional forms.

**Keywords:** fossil, core, X-ray tomography, gastropods, corals, 3D-model, Avizo Fire.

В последнее десятилетие рентгеновская томография стала широко использоваться в различных областях геологии – от изучения магматических пород до исследования коллекторов [1] и палеонтологических объектов. Метод рентгеновской томографии при изучении горных пород – один из новых и достаточно перспективных – появился в Пермском национальном исследовательском политехническом университете [2, 3].

Использование томографии в качестве неразрушающего метода практикуется в ведущих музеях всего мира для исследования самых разных по размерам, сложности и материалам образцов. Одним из наиболее ярких примеров ее успешного применения для музейных экспонатов является проведенное в 2005 году исследование причины смерти фараона Тутанхамона, правителя Древнего Египта, скончавшегося в 1352 году до н.э.

Рентгеновское излучение – это электромагнитные волны, энергия квантов которых лежит на энергетической шкале между ультрафиолетовым излучением и гамма-излучением, что соответствует длинам волн от  $10^{-14}$  до  $10^{-8}$  м. Рентге-

новские лучи с длиной волны  $0,05\text{--}2 \text{ \AA}$  (Ангстрем) получили наиболее широкое применение на практике и используются при просвечивании образцов горных пород для изучения их минерального скелета и пористого пространства.

Источником рентгеновского излучения в лабораторных условиях является рентгеновская пушка, внутри которой размещаются 2 электрода: отрицательный (катод), в виде вольфрамовой нити, и положительный (анод), представляющий собой пластинку, установленную под углом к нити. При прохождении по катоду электрического тока нить раскаляется, электроны вылетают из нее и с большой скоростью за счет разности потенциалов устремляются к аноду. При торможении электронов в материале анода возникает рентгеновское излучение разных длин волн (рис. 1).

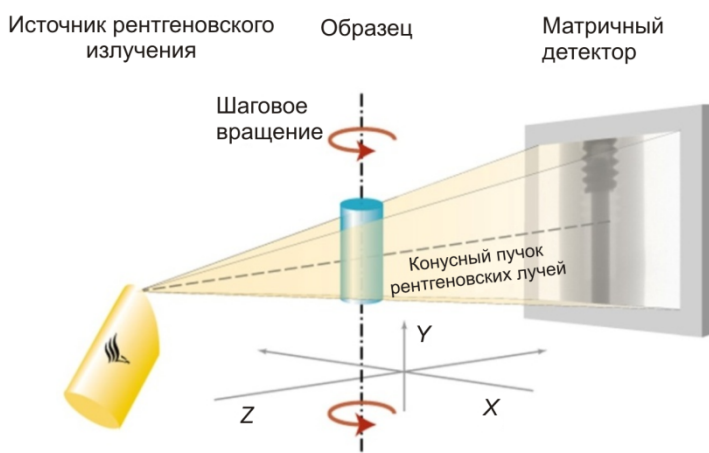


Рис. 1. Принципиальная схема рентгенокопии

Рентгеновская томография все чаще используется в палеонтологии в качестве неразрушающего метода. Палеонтологические объекты для рентгеновской томографии очень перспективны в изучении, поскольку обладают высокой плотностью и минерализованы. Первое микротомографическое исследование ископаемых объектов было выполнено Е.Н. Курочкиным в соавторстве с коллегами из России и Бельгии в Антверпенском университете на микротомографе Skyscan 1172. Первые опубликованные тезисы исследований были посвящены изучению на рентгеновском микротомографе внутреннего строения современных и ископаемых брахиопод и раннепалеозойских иглокожих класса *Coronata* [4]. Для палеонтологических исследований важна контрастность таких минералов, как кальцит, арагонит, кварц, апатит, пирит, сидерит, гетит, поскольку именно эти минералы чаще всего входят в основной состав скелетов животных и растительных остатков или замещают исходные минералы в результате фоссилизации. Важное значение для микротомографии имеет плотность структур объекта. За счет разницы в плотности может быть

достигнута контрастность даже объектов, имеющих одинаковый или сходный элементный состав. Например, покровы членистоногих, сохраняющихся в янтаре, более плотны, чем сам янтарь, поэтому они хорошо визуализируются на виртуальных срезах. Объектами высокой плотности являются зубы и кости позвоночных животных, в связи с этим они становятся частым предметом томографического исследования. Поскольку некоторые следы жизнедеятельности представлены пустотами, их можно успешно изучать с помощью микротомографии. Особенно это касается сверлений.

Таким образом, можно исследовать общую форму следа, его локализацию в объекте, воссоздать внешний вид. Так были изучены сверления кольчатых червей *Polydora sp.* в субфоссильных раковинах моллюска *Mytilus trossulus* (о. Адак) [5]. Разрешающая способность микротомографов позволяет изучать строение различных микрообъектов. Проблема заключается не в возможности их исследования с помощью микротомографии, а в умении идентифицировать их в осадочных породах, что особенно важно для добычи полезных ископаемых, например нефти.

Проведенное исследование показало, что микропалеонтологические исследования эффективны при изучении фосфатных органических остатков и фоссилий, подвергшихся замещению сульфидами в карбонатно-кремнистых породах. В некоторых типах карбонатных пород нами были обнаружены крупные раковины типа моллюска, класс гастропод. Удалось оценить размеры такой раковины: длина 1,8 см, ширина 1,4 см, высота 1,5 см, создать двухмерную и трехмерную модели. Ее форма – спирально-плоскостная. Она пустая, внутри нет перегородок (септ) и камер (это главный диагностический признак гастропод), также виден пупок (рис. 2).

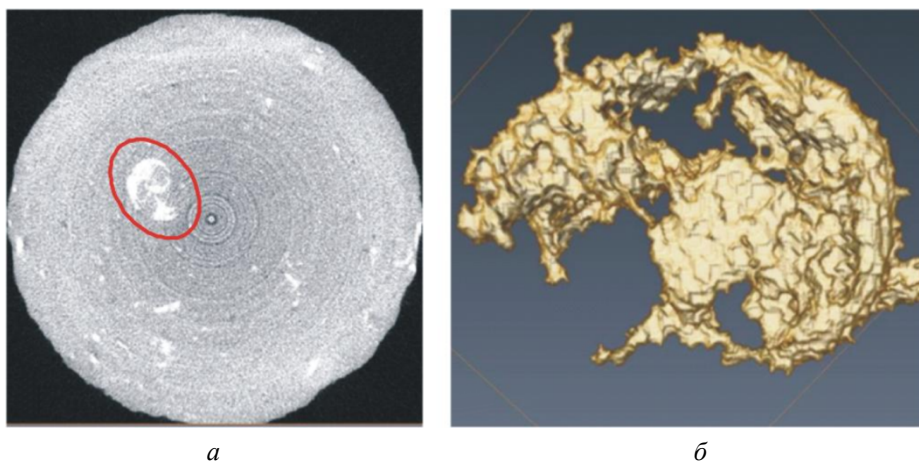


Рис. 2. Раковина в поперечном срезе (а); смоделированное 3D-изображение раковины (б)

Продолжив исследования в палеонтологии, мы решили попробовать изучить с помощью томографии табулятный коралл. В результате были рассчитаны размеры образца ( $4,2 \times 3 \times 1,56$  см) и объем пустот, создана 3D-модель. Компьютерная томография дала возможность, не разрушая образец, исследовать его внутреннюю структуру. Не были диагностированы септы, но были найдены стенки, днища и перемычки (рис. 3).

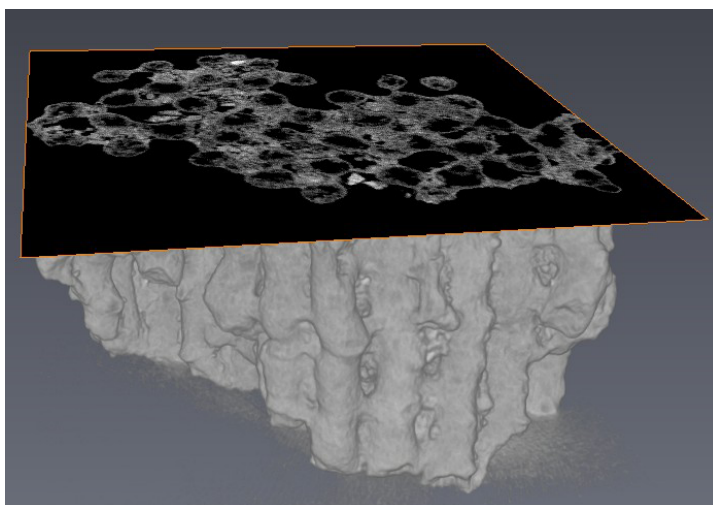


Рис. 3. 3D-вид с поперечным томографическим срезом

С помощью томографов могут изучаться не только различные свойства коллекторов (пористость, объемная плотность, плотность матрицы, нефте- и водонасыщенность, литология, распределение пор по размерам, влажность, диффузионный коэффициент, зоны разрушения), но еще и фоссилии. Мы можем полностью визуализировать в 2D- и 3D-изображении остатки живых организмов и жизнедеятельности бентосных форм, ходы червей-илоедов. Возможно определить вид и род данных остатков, скореллировать образцы с фоссилиями из различных скважин, определить возраст породы.

Основные плюсы метода:

- возможность проводить исследования без разрушения образца;
- сокращение сроков исследования;
- снижение технологических и финансовых рисков;
- возможность проводить многовариантные численные эксперименты на одном образце;
- наглядность и численные значения результатов.

Основные минусы:

- возможны погрешности при расчете объемов;
- недостаточная изученность метода;

- при увеличении размера образца ухудшается качество и возникают сложности при детальном анализе.

Метод широко используется в различных странах и позволяет нам оставаться конкурентоспособными в мире палеонтологических исследований.

### Список литературы

1. Кривошеков С.Н., Кочнев А.А. Определение емкостных свойств пород-коллекторов с применением рентгеновской томографии керна // *Master's Journal*. – 2014. – № 1. – С. 120–128.

2. Применение метода рентгеновской томографии при петрофизических исследованиях керна нефтяных и газовых месторождений / С.В. Галкин, А.А. Ефимов, С.Н. Кривошеков, Я.В. Савицкий, С.С. Черепанов // *Геология и геофизика*. – 2015. – Т. 56, № 5. – С. 995–1007.

3. Кривошеков С.Н., Кочнев А.А. Опыт применения рентгеновской компьютерной томографии для изучения свойств горных пород // *Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. – 2013. – № 6. – С. 32–42.

4. Пахневич А.В. Рентгеновская томография типовых экземпляров и уникальных музейных объектов // *Практическая микротомография: материалы 2-й Всерос. науч. конф.* – Казань, 2013 – С. 4–13.

5. Пахневич А.В. Рентгеновская микротомография в палеонтологии // *Практическая микротомография: тез. докл. 1-й Всерос. науч. конф.* – Казань, 2012 – С. 26–34.

Дата получения 14.09.2015

**Кочнев Александр Александрович** – студент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, горно-нефтяной факультет, гр. ГНГ-12-2, e-mail: sashakoch93@gmail.com.

**Кривошеков Сергей Николаевич** – доцент кафедры геологии нефти и газа, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, горно-нефтяной факультет, e-mail: krivoshchekov@gmail.com.