

Рентгеновская микротомография: использование в минералогических и палеонтологических исследованиях

М. Н. Уразаева¹, Е. О. Стаценко¹, Е. С. Пономаренко², Г. В. Сонин¹,
А. А. Галеев¹, В. В. Силантьев¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань; milyausha.urazaeva@kpfu.ru

² Институт геологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар

Рентгеновская компьютерная томография (РКТ) является одним из перспективных направлений изучения внутреннего строения геологических объектов различного минерального состава. Метод позволяет быстро и с высоким разрешением создавать трехмерное изображение внутренней структуры объекта без его разрушения, что особенно ценно при изучении коллекций музейных образцов.

Как правило, метод РКТ используется в ведущих музеях мира для документирования самых разных по размерам, формам, особенностям внутреннего строения и вещественному составу образцов. В то же время, высокая разрешающая способность современных микротомографов в сочетании с большой мощностью и производительностью применяемых компьютеров для обработки массивов данных, а также широкие возможности разработанных программных средств для реконструкции и представления виртуальных трехмерных образов открывают перспективу для более широкого их применения в геологической практике.

Установленная в Казанском федеральном университете промышленная микротомографическая система «*GE Phoenix X-ray v|tome|x s*» позволила к настоящему времени провести исследования ряда минералогических и палеонтологических образцов и приступить к документированию богатейшей коллек-

ции Геологического музея им. А. А. Штуkenберга.

Ниже приведены результаты некоторых проведенных исследований. Съёмка образцов проводилась с помощью микрофокусной рентгеновской трубки при ускоряющем напряжении до 240 кВ. Для построения цифровых объемных моделей по совокупности накопленных рентгеновских проекций при разных ориентациях образца использовалось штатное программное обеспечение DATOS|X RECONSTRUCTION. Визуализация и анализ данных по элементам объемного изображения проводилось в программных пакетах VG Studio MAX 2.1 и Avizo Fire 7.1.

Оханский метеорит. Уточнена структура Оханского метеорита, определено распределение в нем металлических включений. Результат обработки томографических данных выявил следующие параметры: общий объем образца — 1658.8 мм³, объем тяжелых включений — 190.4 мм³, содержание тяжелых включений — 11.48 %. Внутреннее строение метеорита характеризуется массивной текстурой с равномерным распределением включений. Показано, что метеорит представляет однородную смесь слабо спекшихся силикатных и мелких металлических каплеобразных частиц и кристаллов. Более точное определение генезиса метеорита потребовало проведения электронно-микроскопического изучения составляющих его частиц.

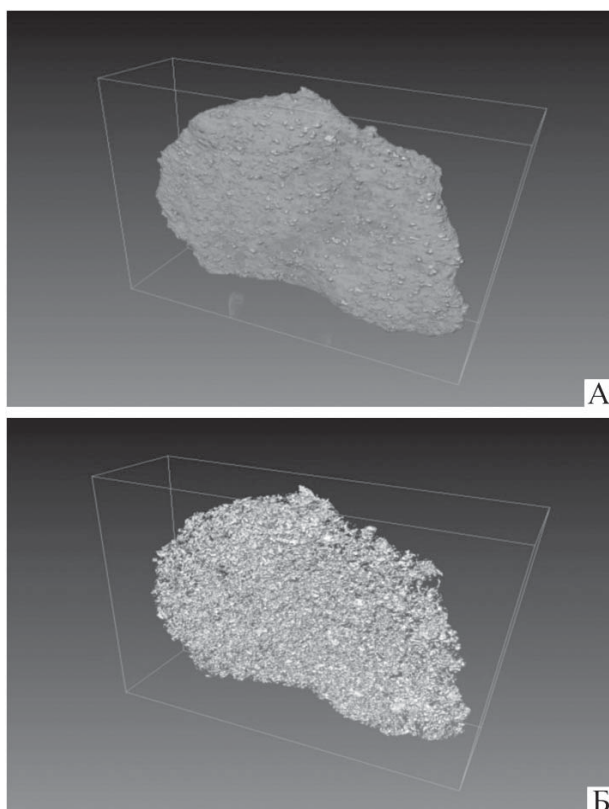


Рис. 1. Оханский метеорит. А — сканированное изображение метеорита. Б — виртуальное выделение областей, представленных тяжелыми включениями

Проблематичные остатки из отложений казанского яруса. Проведено изучение трубковидных образований (длиной 1.5–3.0 мм и диаметром 0.5 мм), часто встречающихся в отложениях казанского яруса Среднего Поволжья и имеющих часто породообразующее значение.

Томографическое изучение образцов установило, что объекты представляют собой ветвящиеся, сильно изогнутые трубки диаметром 0.5 мм со стенками (0.15 мм), пронизанными большим количеством тонких каналов. Наружная поверхность трубок покрыта продольными, более или менее изогнутыми, тонкими бороздками. Внутри стенок иногда наблюдаются округлые пустотелые ходы диаметром (0.05 мм), протягивающиеся в субпоперечном или субпродольном направлении. Изгибы трубок разнообразны, встречаются спирально свернутые экземпляры, сходные с трубками червей. На основе проведенного анализа эти проблематичные остатки были отнесены к роду *Pseudovermiporella* Elliott, 1958, широко распространенному в рифовых фациях пермских отложений Тетической области (Аравия, Югославия, Армения, Япония и Турция).

В изученном образце трубки покрыты корочкой молочно-белого кремнезема, в свою очередь, имеющей оторочку, выполненную спаритовым кальцитом, окрашенным снаружи в желтый и бурый цвета. Сходная перекристаллизация указывается и для других местонахождений данного рода.

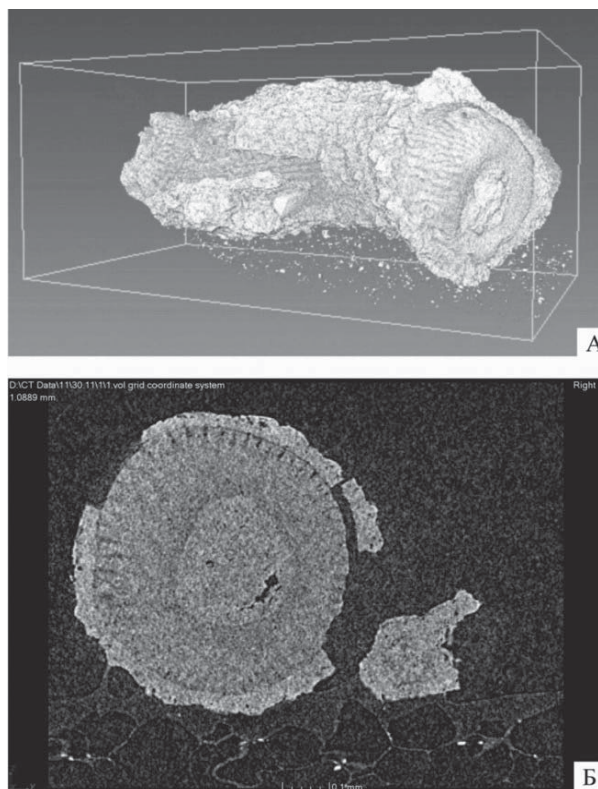


Рис. 2. Род *Pseudovermiporella* Elliott, 1958 — проблематичные остатки из отложений казанского яруса (268 млн лет). А — общий вид трубки; видна наружная поверхность, покрытая продольными более или менее изогнутыми тонкими бороздками. Б — поперечное сечение трубки; видны тонкие радиальные каналы

Ряд исследователей относит *Pseudovermiporella* к сифоновым морским водорослям (к порядку Дазикладовые — *Dasycladales*), другие — считают их остатками животных.

Определенный интерес вызывает тот факт, что в казанских отложениях представители рода установлены впервые. Расшифровка их систематической принадлежности имеет практическое значение для стратиграфии и палеогеографии.

Скелеты *Palaeoaplysina*. В результате проведенных томографических анализов палеоаплизин удалось выявить зональное строение системы каналов. Особенности ветвления и взаимоотношения выделенных зон подтверждают гипотезу отнесения *Palaeoaplysina* к гидроидам. Следуя терминам, описывающим элементы этих колониальных животных, каналы можно подразделить на полости, оставшиеся от гидроризы (стелющейся по субстрату части тела колонии) и гидрокаулюсов (возвышающихся над субстратом части гидрофитона; синоним — побег). По характеру их взаимодействия отчетливо выделяются три зоны.

Зона А. Базальная часть пластины с прямыми и редко соединяющимися столонами и побегами. Столоны (отдельные ветви гидроризы), расположенные более или менее параллельно, прямые и могут протягиваться на всю длину обломка пласти-

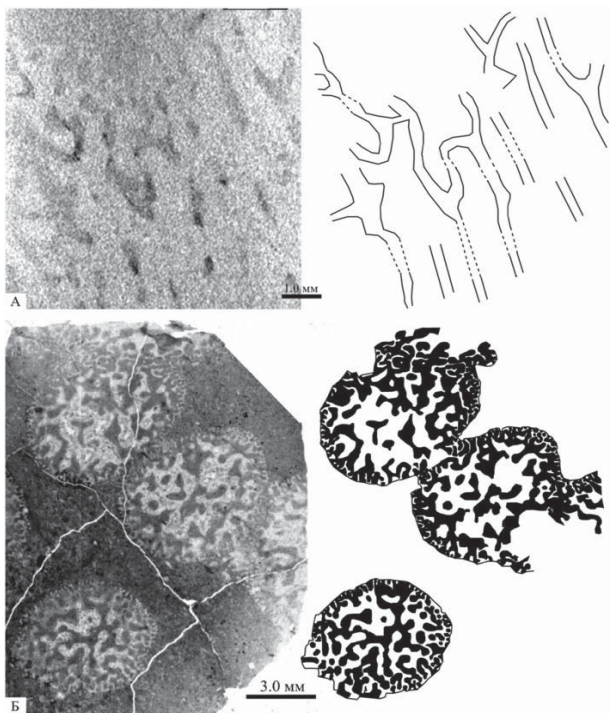


Рис. 3. Система каналов в зонах Б и В. А: Система каналов зоны Б. Слева — РКТ *Palaeoaplysina*, справа — схема системы каналов. Б: Система каналов зоны В. Срез проходит через бугорки. Терминальная зона находится по периферии скелета. В центральной части — система каналов зоны Б. Шлиф П-Ун28/212-2009. Ассельский ярус, шиханский горизонт, р. Унья, северный Урал

ны (иногда до 10 см). Они иногда дихотомируют. Гидрокаулусы из гидроризы ответвляются каждые 1.0–1.5 мм под углом до 45° , редко перпендикулярно. Не сливаясь, они протягиваются в вышележащую зону Б. В единичных случаях перпендикулярно отрастающие побеги могут соединяться с выше-расположенными столонами. Вышележащий уровень гидроризы располагается непосредственно над нижним, но огибает побеги, растущие из них. Расстояние между уровнями обычно 1.0–1.5 мм.

Зона Б. Часть пластины с сильно ветвящейся гидроризой и гидрокаулусами. В этой части скелета побеги разных частей гидроризы могут соединяться. Но тем ни менее, общее направление роста столон прослеживается.

Зона В. Терминальная часть пластины (около 0.1–0.2 мм), где активно ветвятся гидрокаулусы. Гидрориза в этой части скелета имеет вид сети, полностью покрывающую пластину, из которой активно развиваются более мелкие и тонкие побеги.

Выводы. Трехмерные изображения внутренней структуры объектов, созданные с помощью метода рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) позволяют быстро и с высокой достоверностью решать как минералогические, так и палеонтологические задачи, используя при этом такие признаки объектов, которые недоступны для наблюдения и изучения иными способами.