

Гистологическое и компьютерно-томографическое исследование регенерации остеодерм у сцинковой ящерицы *Eurylepis taeniolata* Blyth, 1854 (Scincidae, Squamata)

Г. О. Черепанов^{1✉}, Д. А. Гордеев², Д. А. Мельников³, Н. Б. Ананьева³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет
Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9

² Волгоградский государственный университет
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, д. 100

³ Зоологический институт РАН
Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 1

Информация о статье

Оригинальная статья

УДК 591.16:597.8

<https://doi.org/10.18500/1814-6090-2023-23-3-4-124-128>

EDN: BPTNYG

Поступила в редакцию 28.06.2023,
после доработки 07.07.2023,
принята 07.07.2023,
опубликована 25.12.2023

Статья опубликована на условиях лицен-
зии Creative Commons Attribution 4.0
International (CC-BY 4.0)

Аннотация. Сцинковые ящерицы обладают необычными по строению остеодермами, каждая из которых представляет собой комплекс, состоящий из нескольких костных элементов – остеодермитов. Впервые проведено гистологическое и компьютерное микро-томографическое исследование структуры оригинальных и регенерирующих комплексных остеодерм сцинковых ящериц на примере *Eurylepis taeniolata*. Изучена топография остеодерм в покровах исходной области хвоста и его регенерированной части. Показано принципиальное сходство морфологии и микроструктуры оригинальных и регенериро-ванных остеодерм. Дано описание развития микроструктуры сложной остеодермы в про-цессе регенерации. Выявлено наличие остеодермина на поверхности остеодерм у иссле-дованного вида.

Ключевые слова: *Eurylepis taeniolata*, остеодермы, микроструктура, регенерация

Финансирование: Исследование выполнено в рамках гостемы Зоологического инсти-тута РАН (№ 122031100282-2).

Образец для цитирования: Черепанов Г. О., Гордеев Д. А., Мельников Д. А., Ананьева Н. Б. 2023. Гистологическое и компьютерно-томографическое исследование регенерации остео-дерм у сцинковой ящерицы *Eurylepis taeniolata* Blyth, 1854 (Scincidae, Squamata) // Сове-ременная герпетология. Т. 23, вып. 3/4. С. 124– 128. <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2023-23-3-4-124-128>, EDN: BPTNYG

ВВЕДЕНИЕ

Остеодермальный покров характерен для мно-гих наземных позвоночных, но особенно хорошо пред-ставлен у современных рептилий (черепках, крокодилов и многих чешуйчатых). Среди чешуйчатых (Squamata) он наиболее хорошо развит у ящериц разных семейств: Scincidae, Cordylidae, Gerrhosauridae, Anguillidae, Lacertidae, Helodermatidae, Xenosauridae, Shinisauridae, Lanthonotidae, Annielidae, Varanidae и Gekkonidae (Moss, 1969; Vickaryous et al., 2015, 2022; Paluh et al., 2017; Kirby et al., 2020; Laver et al., 2020; Marghoub et al., 2022 и др.), а недавно описан даже у змей (Frýdlová et al., 2023). Изу-чение строения остеодерм имеет долгую историю (Schmidt, 1913), однако не охватывает всего многообра-зия современных ящериц. Особый интерес представля-ют комплексные остеодермы, которые характерны для представителей обширного семейства сцинков, вклю-чающего около 1750 видов. Наличие остеодерм указы-вается для родов *Scincus*, *Gongylus*, *Seps*, *Lygosoma*, *Ma-buya*, *Acontias* (Camp, 1923), их морфологические и биометрические характеристики описаны у *Egernia* (Vi-

karyous, Sire, 2009) и *Corucia zebrata* (Liang et al., 2021). Больше внимание уделяется изучению остеодерм го-ловы, нередко в рамках современных исследований кра-ниальной морфологии с применением компьютерной томографии (Marghoub et al., 2022; Williams et al., 2022). При этом слабо изученными остаются процессы разви-тия остеодерм, в частности, при регенерации (Bochaton et al., 2015), что и стало задачей данной работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования выбран один из типичных представителей семейства сцинковые – *Eurylepis taeniolata* Blyth, 1854. Исследование проведено на основе изучения коллекционных материалов, храня-щихся в Санкт-Петербургском государственном уни-верситете (СПбГУ, № 1773-1777, 1779-1782, R-125, R-150, R-154-158) и Зоологическом институте РАН (ZISP 18967, № 5334, 5327, 5328). Материалы СПбГУ использова-ны для приготовления тотально окрашенных и гис-тологических препаратов, материалы ЗИН РАН иссле-дованы методом компьютерной микро-томографии.

✉ Для корреспонденции. Кафедра зоологии позвоночных биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

ORCID и e-mail адреса: Черепанов Геннадий Олегович: <https://orcid.org/0000-0002-7523-566X>, cherepanov-go@mail.ru; Гордеев Дмитрий Анатольевич: <https://orcid.org/0000-0002-4346-7626>, gordeev@volsu.ru; Мельников Даниил Андреевич: <https://orcid.org/0000-0002-8011-1274>, melnikovda@yandex.ru; Ананьева Наталия Борисовна: <https://orcid.org/0000-0003-2288-0961>, natalia.ananjeva@zin.ru.

Объем гистологического материала – 64 предметных стекла с сериями от 6 до 20 срезов толщиной 10 микрон, окрашенных гематоксилином Делафиляда с эозином или азаном по Гейденгайну. Тотальные препараты (7 экз.) окрашены ализарином и просветлены в глицерине. Томографическое исследование проведено в Центре коллективного пользования ЗИН РАН (<https://www.ckr-rf.ru/ckp/3038/>) на микротомографе NeoScan N80 (Neoscan BVBA, Бельгия). Данные обработаны с использованием оригинального программного обеспечения NeoScan и Nrecon (Neoscan BVBA, Бельгия). Для визуализации 3D-моделей использовалась программа CTvox (Kontich, Бельгия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оригинальные остеодермы *E. taeniolata* расположены в папиллах роговых чешуй, черепицеобразно налегающих друг на друга. Остеодермы имеют комплексное строение. Каждая состоит из 10 – 20 костных пластинок – остеодермитов, разделенных узкими зонами неминерализованной ткани (рис. 1, а). Остеодермиты одной остеодермы расположены двумя рядами – передним и задним, иногда между ними присутствуют промежуточные остеодермиты.

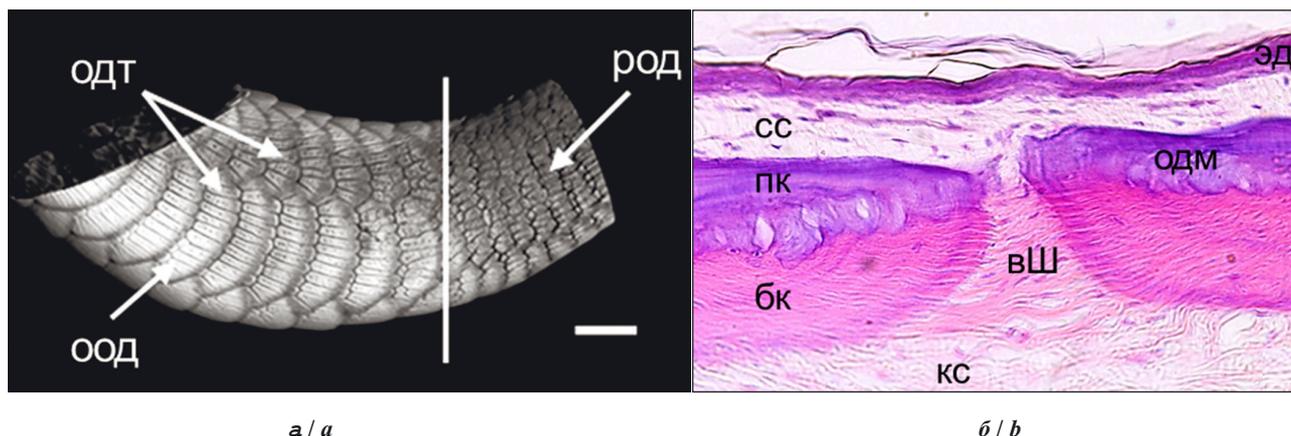
Структура остеодермы включает два основных слоя: толстый базальный кортекс, состоящий из пучков минерализованного коллагена (фиброзно-слоистая кость) и поверхностный кортекс, более гомогенный и включающий гиперминерализованную ткань – остеодермин (рис. 1, б). Промежуточный слой очень тонкий и не везде выражен, содержит васкулярные каналы и агломерации остеоцитов. Остеодермы залегают в коже на границе компактного и сосочкового слоев дермы. Они относительно тонкие: максимальная толщина не превышает 150 микрон, соотношение толщины к длине

остеодермы – 1/30. Базальный кортекс связан с подстилающей ее кожей пучками коллагеновых волокон – волокна Шарпея. Поверхностный кортекс включает только тонкие фибриллы, выходящие перпендикулярно на поверхности остеодермы. Остеодермы пронизаны вертикальными каналами для кровеносных сосудов и нервов, открывающимися на наружную поверхность кости. В области контактов между составляющими остеодерму остеодермитами располагаются крупные и четко организованные пучки Шарпеевских волокон компактного слоя дермы. На участках, заходящих внутрь остеодермы, эти волокна минерализованы.

В развивающемся регенерате хвоста можно выделить три зоны, отражающие последовательные этапы формирования интегумента.

1. Зона недифференцированного интегумента охватывает область бластемы и небольшое пространство вблизи нее. Эпидермис здесь слабо ороговевающий. В области бластемы он образует до 10 слоев дифференцирующихся клеток, а также включает несколько слоев роговых чешуек. Расположенная под эпидермисом ткань характеризуется плотным скоплением мезенхимных клеток и очень большим количеством кровеносных сосудов и полостей. В апикальной зоне бластемы под эпидермисом наблюдается значительная концентрация меланоцитов. Область бластемы характеризуется началом дифференциации внутренних структур – эндинмы, хрящевой трубки, окружающей ее жировой ткани, мускулатуры.

2. Зона регенерации роговых чешуй охватывает от 5 до 10 сегментов (рядов чешуй). Герминативный слой эпидермиса более тонкий в сравнении с областью бластемы. Роговые слои, напротив, утолщены и формируют на поверхности кератиновую пластинку. Дерма стратифицирована на компактный и сосочковый слои. Компактный слой характеризуется наличием плотного



а / а

б / б

Рис. 1. Строение остеодерм хвостового отдела *E. taeniolata*: а – реконструкция остеодермального покрова хвоста с регенератом, произведенная методом компьютерной микротомографии (масштаб 2.5 мм); б – гистологический срез кожи оригинального хвоста, окрашенный гематоксилином и эозином (50 мкм). Обозначения: бк – базальный кортекс, вш – волокна Шарпея, кс – компактный слой дермы, одм – остеодермин, одт – остеодермиты, оод – оригинальные остеодермы, пк – поверхностный кортекс, род – регенерирующие остеодермы, сс – сосочковый слой дермы, эд – эпидермис

Fig. 1. Structure of the osteoderms of the tail section of *E. taeniolata*: а – reconstruction of the osteodermal cover of the tail with regenerate, made by computed microtomography (scale 2.5 mm); б – histological section of the original tail skin, stained with hematoxylin and eosin (50 μm). Denotations: бк – basal cortex, вш – Sharpey's fibers, кс – compact layer of dermis, одм – osteodermin, одт – osteodermite, оод – original osteoderms, пк – superficial cortex, род – regenerating osteoderms, сс – papillary layer of dermis, эд – epidermis

коллагенового матрикса. Сосочковый слой несёт относительно тонкие и рыхло расположенные волокна коллагена, здесь сосредоточены многочисленные кровеносные сосуды. Формирование чешуй начинается в виде локального погружения эпидермиса в глубь дермального слоя кожи. Область инвагинации характеризуется наличием дермо-эпидермальных якорных филаментов, тесно связанных с базальной мембраной. Позже впячивания эпидермиса приобретают форму асимметричных погруженных в дерму карманов. В промежутках между впячиваниями формируются дермальные папиллы будущих чешуй и система их кровеносных сосудов. Расслоение роговых пластов эпидермиса в области эпидермальных карманов приводит к формированию наружной и внутренней поверхностей чешуй.

3. Зона регенерации остеодерм сильно варьирует по длине в зависимости от величины регенерата хвоста и уровня его дифференциации. Эпидермис чешуйный с толстым бета-кератиновым слоем. Дерма трехслойная с хорошо выраженными сосочковым слоем, компактным слоем и гиподермой. Сосочковый слой отличается рыхлой структурой и отсутствием крупных пучков волокон коллагена. В компактном слое коллагеновые пучки крупные, ориентированы преимущественно в продольном направлении. Гиподерма отличается поперечной ориентацией волокон. Остеодермы закладываются на границе компактного и сосочкового слоев дермы. Каждая остеодерма формируется из нескольких обособленных центров оссификации – зачатков остеодермитов, расположенных по периферии дермальной папиллы роговой чешуи. Сначала возникают окостенения переднего ряда будущей комплексной остеодермы, затем – заднего. На ранних стадиях развития остеодермиты разделены широким пространством неминерализованной дермы, по мере их роста эти зоны сужаются. Таким образом, между соседними элементами остеодермы формируются контакты из неминерализованных шарпеевских волокон, закоренных в костную ткань.

На основе изучения регенерации хвоста у *E. taeniolata* удалось проследить полный цикл развития его остеодермального панциря. Стадия I: появление дермальных зачатков остеодермитов в виде агрегаций коллагеновых волокон на границе компактного и сосочкового слоев дермы (рис. 2, а).

Стадия II: формирование центров оссификации внутри дермальных зачатков остеодермитов в результате минерализации коллагенового матрикса (рис. 2, б). Стадия III: формирование двухслойной структуры костных пластинок: базального кортекса и верхнего туберкулированного слоя (рис. 2, в). Базальный кортекс разрастается центростремительно с включением пучков волокон компактного слоя дермы, туберкулированный слой – центростремительно в поверхностном слое дермы с включением в состав кости многочисленных остеоцитов. Стадия IV: формирование трехслойной структуры кости (рис. 2, г): базальный кортекс, промежуточный слой (преобразованный туберкулированный), поверхностный кортекс (поверхностный кортекс имеет гомогенную структуру костной ткани и включает островки остеодермина). Таким образом, наблюдается принципиальное сходство морфологии и микроstructures регенерированных остеодерм с оригинальными (исходными).

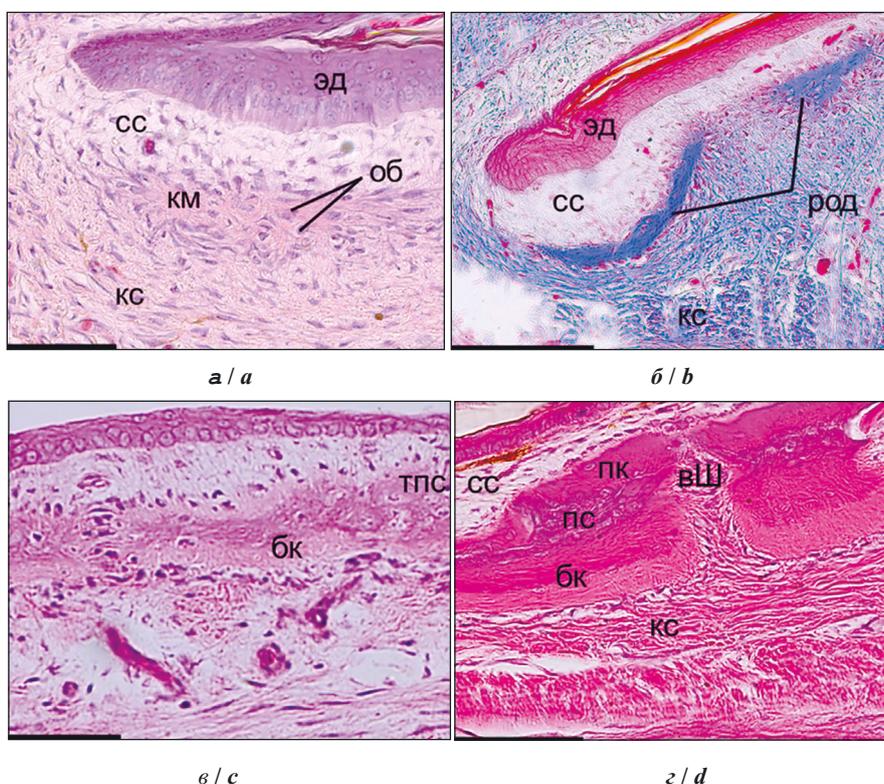


Рис. 2. Гистологические срезы кожи регенерирующего хвоста *E. taeniolata* на разных стадиях формирования микроstructures остеодерм: а – стадия дермального зачатка (масштаб – 50 мкм), б – стадия первичной минерализации (масштаб – 100 мкм), в – стадия двухслойного зачатка (масштаб – 50 мкм), г – трехслойная остеодерма (масштаб – 100 мкм); бк – базальный кортекс, вШ – волокна Шарпея, км – коллагеновый матрикс, кс – компактный слой дермы, об – остеобласты, пк – поверхностный кортекс, пс – промежуточный слой, род – регенерирующая остеодерма, сс – сосочковый слой дермы, тпс – туберкулированный (промежуточный) слой, эд – эпидермис. Окраска гематоксилином с эозином (а, в, г) и азаном по Гейденгайну (б)

Fig. 2. Histologic sections of skin of regenerating tail of *E. taeniolata* at different stages of osteoderm microstructure formation: а – stage of dermal rudiment (scale – 50 µm), б – stage of primary mineralization (scale – 100 µm), в – stage of two-layer rudiment (scale – 50 µm), д – three-layer osteoderm (scale – 100 µm); бк – basal cortex, вШ – Sharpey's fibers, км – collagen matrix, кс – compact layer of dermis, об – osteoblasts, пк – superficial cortex, пс – intermediate layer, род – regenerating osteoderm, сс – papillary layer of dermis, тпс – tuberculated (intermediate) layer, эд – epidermis. Hematoxylin and eosin staining (а, в, г) and Heidengain azan (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У исследованных нами экземпляров *E. taeniolata*, как и у большинства других сцинков, сложные остеодермы крупные и перекрывают друг друга. Они не образуют жестких контактов друг с другом, таких как шарпеевские сочленения. Однако входящие в их состав остеодермиты имеют именно такие фиброзные суставы Шарпея. По своим морфологическим и гистологическим свойствам остеодермиты напоминают небольшие остеодермы гекконов (Vickaryous et al., 2015; Williams et al., 2022). Таким образом, есть основания полагать, что эволюционное происхождение сложных остеодеп сцинков связано с объединением нескольких мелких остеодеп в единый комплекс. Возможно, объяснение этой ассоциации кроется в образовании у предков ящериц-сцинков крупных перекрывающихся эпидермальных чешуй, т.е. широких морфогенетических зон, позволяющих сочетать в себе несколько центров окостенения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Bochaton C., De Buffrenil V., Lemoine M., Bailon S., Ineich I. Body location and tail regeneration effects on osteoderms morphology – are they useful tools for systematic, paleontology, and skeletochronology in Diploglossine lizards (Squamata, Anguillidae)? *Journal of Morphology*, 2015, vol. 276, iss. 11, pp. 1333–1344. <https://doi.org/10.1002/jmor.20421>
- Camp C. L. Classification of the lizards. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 1923, vol. 18, pp. 289–481.
- Fřydlová P., Janovská V., Mrzilková J., Halašková M., Riegerová M., Dudák J., Týmlová V., Žemlička J., Zach P., Frynta D. The first description of dermal armour in snakes. *Scientific Reports*, 2023, vol. 13, article no. 6405. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33244-6>
- Kirby A., Vickaryous M., Boyde A., Olivo A., Moazen M., Bertazzo S., Evans S. A. Comparative histological study of the osteoderms in the lizards *Heloderma suspectum* (Squamata: Helodermatidae) and *Varanus komodoensis* (Squamata: Varanidae). *Journal of Anatomy*, 2020, vol. 236, iss. 6, pp. 1035–1043. <https://doi.org/10.1111/joa.13156>
- Laver R. J., Morales C. H., Heinicke M. P., Gamble T., Longoria K., Bauer A. M., Daza J. D. The development of cephalic armor in the tokay gecko (Squamata: Gekkonidae: *Gekko gecko*). *Journal of Morphology*, 2020, vol. 281, iss. 2, pp. 213–228. <https://doi.org/10.1002/jmor.21092>
- Liang C., Marghoub A., Kéver L., Bertazzo S., Abzhanov A., Vickaryous M., Herrel A., Evans S., Moazen M. Lizard osteoderms – morphological characterisation, biomimetic design and manufacturing based on three species. *Bioinspiration & Biomimetics*, 2021, vol. 16, article no. 066011. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/ac26d0>
- Marghoub A., Williams C. J. A., Leite J. V., Kirby A. C., Kéver L., Porro L. B., Barrett P. M., Bertazzo S., Abzhanov A., Vickaryous M., Herrel A., Evans S. E., Moazen M. Unravelling the structural variation of lizard osteoderms. *Acta Biomaterialia*, 2022, vol. 146, pp. 306–316. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2022.05.004>
- Moss M. L. Comparative histology of dermal sclerifications in reptiles. *Acta Anatomica*, 1969, vol. 73, iss. 4, pp. 510–533. <https://doi.org/10.1159/000143315>
- Paluh D. J., Griffing A. H., Bauer A. M. Sheddable armour: Identification of osteoderms in the integument of *Geckolepis maculata* (Gekkota). *African Journal of Herpetology*, 2017, vol. 66, iss. 1, pp. 12–24. <https://doi.org/10.1080/21564574.2017.1281172>
- Schmidt W. J. Studien am Integument der Reptilien. IV. Die Haut der Gerrhosauridae. *Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Anatomie und Ontogenie der Tiere*, 1913, Bd. 36, S. 377–464.
- Vickaryous M. K., Sire J.-Y. The integumentary skeleton of tetrapods: Origin, evolution, and development. *Journal of Anatomy*, 2009, vol. 214, iss. 4, pp. 441–464. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2008.01043.x>
- Vickaryous M. K., Meldrum G., Russell A. Armored Geckos: A histological investigation of osteoderm development in *Tarentola* (Phyllodactylidae) and *Gekko* (Gekkonidae) with comments on their regeneration and inferred function. *Journal of Morphology*, 2015, vol. 276, iss. 11, pp. 1345–1357. <https://doi.org/10.1002/jmor.20422>
- Vickaryous M., Williams C., Willan G., Kirby A., Herrel A., Kéver L., Moazen M., Marghoub A., Rai S., Abzhanov A., Evans S. Histological diversity and evolution of lizard osteoderms. *The FASEB Journal*, 2022, vol. 36, iss. S1. <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.S1.R3199>
- Williams C., Kirby A., Marghoub A., Kéver L., Ostashevskaya-Gohstand S., Bertazzo S., Moazen M., Abzhanov A., Herrel A., Evans S. E., Vickaryous M. A review of the osteoderms of lizards (Reptilia: Squamata). *Biological Reviews*, 2022, vol. 97, iss. 1, pp. 1–19. <https://doi.org/10.1111/brv.12788>

Histological and computed tomography study of osteoderm regeneration in the skink lizard *Eurylepis taeniolata* Blyth, 1854 (Scincidae, Squamata)

G. O. Cherepanov^{1✉}, **D. A. Gordeev**², **D. A. Melnikov**³, **N. B. Ananjeva**³

¹ Saint Petersburg State University

7/9 Universitetskaya embankment, St. Petersburg 199034, Russia

² Volgograd State University

100 Universitetskiy Prospekt, Volgograd 400062, Russia

³ Zoological Institute of RAS

1 Universitetskaya embankment, St. Petersburg 199034, Russia

Article info

Original Article

[https://doi.org/10.18500/1814-6090-2023-23-](https://doi.org/10.18500/1814-6090-2023-23-3-4-124-128)

3-4-124-128

EDN: BPTNYG

Received June 28, 2023,
revised July 7, 2023,
accepted July 7, 2023,
published December 25, 2023

Abstract. Skink lizards have an unusual complex osteoderm, which consists of several bone elements – osteodermitis. We have carried out the first histological and computer microtomographic study of the structure of the original and regenerating complex osteoderms of skink lizards using *Eurylepis taeniolata* as an object. The topography of osteoderms in the integument of the original region of the tail and its regenerated part was studied. The fundamental similarity of the morphology and microstructure of the original and regenerated osteoderms was showed. A description of the development of the microstructure of a complex osteoderm in the process of regeneration is given. The presence of osteodermin on the surface of osteoderms in the studied species was revealed.

Keywords: *Eurylepis taeniolata*, osteoderms, microstructure, regeneration

Acknowledgements: The study was carried out under the state theme of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences (No. 122031100282-2).

For citation: Cherepanov G. O., Gordeev D. A., Melnikov D. A., Ananjeva N. B. Histological and computed tomography study of osteoderm regeneration in the skink lizard *Eurylepis taeniolata* Blyth, 1854 (Scincidae, Squamata). *Current Studies in Herpetology*, 2023, vol. 23, iss. 3–4, pp. 124–128 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1814-6090-2023-23-3-4-124-128>, EDN: BPTNYG

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

✉ *Corresponding author.* Department of Vertebrate Zoology of Faculty of Biology, Saint Petersburg State University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Gennady O. Cherepanov: <https://orcid.org/0000-0002-7523-566X>, cherepanov-go@mail.ru; Dmitry A. Gordeev: <https://orcid.org/0000-0002-4346-7626>, gordeev@volsu.ru; Daniel A. Melnikov: <https://orcid.org/0000-0002-8011-1274>, melnikovda@yandex.ru; Natalia B. Ananjeva: <https://orcid.org/0000-0003-2288-0961>, natalia.ananjeva@zin.ru.