

Журов Д.О., кандидат ветеринарных наук, доцент
Макеенко Е.В., кандидат ветеринарных наук, доцент

УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», г. Витебск, Республика Беларусь

ГИСТОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ МЕКСИКАНСКОГО АКСОЛОТЛЯ

Резюме

В статье приводятся данные по микроморфологии некоторых наружных и внутренних органов мексиканского аксолотля. Научная новизна работы заключается в том, что с помощью комплекса патоморфологических исследований впервые в Беларуси описана и систематизирована микроскопическая структура жаберного аппарата, печени, почек, селезенки, легких и сердца *A. mexicanum*.

Ключевые слова: аксолотль, органы, гистологическое строение, ткань, окраска.

Summary

The article presents data on the micromorphology of some external and internal organs of the Mexican axolotl. The scientific novelty of the work lies in the fact that, using a complex of pathomorphological studies, the microscopic structure of the gill apparatus, liver, kidneys, spleen, lungs and heart of *A. mexicanum* was described and systematized for the first time.

Keywords: axolotl, organs, histological structure, tissue, staining.

Поступила в редакцию 16.04.2025 г.

ВВЕДЕНИЕ

Аксолотль (*Ambystoma mexicanum*, Shaw, Nodder, 1798) (рисунки 1, 2) – уникальный вид земноводных, который привлекает внимание исследователей своей способностью никогда не стать взрослой особью [9, 14, 15]. Эта неотеническая личинка некоторых видов амбистом (разновидности саламандры), которая стала модельным организмом для изучения множества эволюционных и медико-биологических процессов, включая методы регенера-

тивной медицины, лечение травм спинного мозга и борьбу с рубцовой тканью [12]. Кроме того, данный вид привлекает аквариумистов: поскольку аксолотли находятся под угрозой исчезновения в дикой природе, разведение их в неволе может помочь в сохранении популяции [4, 5, 10, 11]. Однако следует отметить, что для успешного содержания диких видов животных должны учитываться знания морфологических особенностей их организма [1, 2, 6].



Рисунки 1, 2 – Внешний вид мексиканского аксолотля *A. mexicanum*

Иностранные исследователи приводят данные по гистологическому строению органов мексиканского аксолотля [13]. При этом подобных работ в русскоязычном сегменте, тем более выполненных на территории Республики Беларусь, нами не найдено. В связи с этим считаем, что подобные исследования актуальны для биологической науки и могут существенно дополнить сведения в области морфологии земноводных.

Целью работы явилось описание микроскопической структуры наружных и внутренних органов мексиканского аксолотля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили 4 особи мексиканского аксолотля, выращенные в искусственных условиях (аквариум). Амфибии содержались в аквариуме объемом 85 л, температура воды колебалась в пределах 16–20 °С, рН находился в диапазоне 6,5–7,5. Фильтрация воды проводилась фильтром с низким потоком, сильного течения воды не создавалось. В аквариуме имелись декоративные камни для укрытия и аэратор. Кормление осуществлялось 2–3 раза в неделю креветками, мотылем и сухими гранулами для аксолотлей.

Проводилось патологоанатомическое вскрытие трупов аксолотлей. Для гистологического исследования кусочки органов (жабры, почки, печень, селезенка, легкие, сердце) фиксировали в 10%-ном растворе формалина. Изготовление гистологических срезов осуществляли по общепринятой методике [8]. Для обзорного изучения общей структуры органов срезы окрашивали гематоксилин-эозином. Гистологические исследования проводили с помощью светового микроскопа «Биомед-6». Полученные данные документировали микрофотографированием с использованием цифровой системы считывания и ввода видеоизображения «ДСМ-510», а также программы «ScopePhoto» с соответствующими настройками для проведения морфометрического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Жабры у аксолотля представлены жаберными дугами, на которых располагались жаберные лепестки, сформированные

параллельно идущими филаментами и ответвлениями – ламелями (ламеллами). Жаберные лепестки имели вид пластинок-выростов, закругляющихся к вершине. Основу каждого лепестка составляла плотная неоформленная соединительная ткань, ядра которой имели базофильные уплотненные ядра. От центра лепестка отходили несколько лепестковых артерий (3–4 в п.з.м., ув.×120). Их сосудистая стенка толстая, с рыхло расположенными мышечными волокнами, среди которых залежали различной формы базофильные элементы. На противоположной части ребра лепестка располагались одиночные лепестковые вены (1 в п.з.м., ув.×120). Сосудистые компоненты были заполнены эритроцитами. В центре и на периферии лепестков было обнаружено большое количество пигментных клеток – меланоцитов (рисунок 3). На противоположном крае от жаберных лепестков располагались группы мышц, формирующих жаберную дугу. Эти мышцы состояли из тонких поперечно-полосатых мышечных волокон. Они брали начало на одной стороне лепестка, переходили на противоположную сторону, и в месте раздвоения лепестков мышцы правой и левой стороны перекрещивались. Эта особенность позволяет аксолотлю перемещать воду через жаберный аппарат.

Жаберные лепестки образованы 5–6 рядами клеток многослойного плоского эпителия (типичный жаберный эпителий). Это клетки округло-вытянутой формы с базофильной цитоплазмой, округло-полиморфными ядрами, расположенными в центре клеток. Между клетками имелись вкрапления крупных, овальной формы бокаловидных клеток с розовой мутной цитоплазмой и округлым ядром, смещенным в базальную часть. Жаберные дуги покрыты также многослойным плоским эпителием. У исследованных особей отмечена десквамация эпителия на всем протяжении жаберных лепестков.

От жаберных лепестков в каждую из сторон отходили многочисленные ламели. Во всех случаях они имели правильную форму и располагались строго перпендикулярно жаберным лепесткам (рисунок 4). Основу ламелей составляли расположенные в 2–3 ряда столбчатые клетки. Последние имели цилиндрическую форму, торца-

ми упирались в базальную мембрану, покрытую эпителием, а боковыми поверхностями разделяли капиллярные пространства, заполняемые эритроцитами. Внутри сосудистых компонентов ламелей наблюдали патологические изменения системы кровотока – гемолиз и сладж. Между клетками и сосудистыми компонентами залега-ли многочисленные меланоциты.

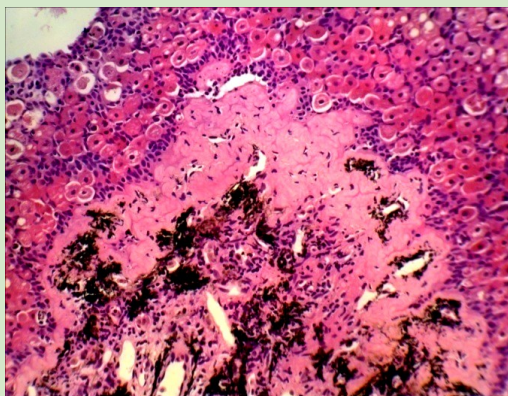


Рисунок 3 – Гистологический срез жаберного лепестка мексиканского аксолотля. Микрофото, ув.×240

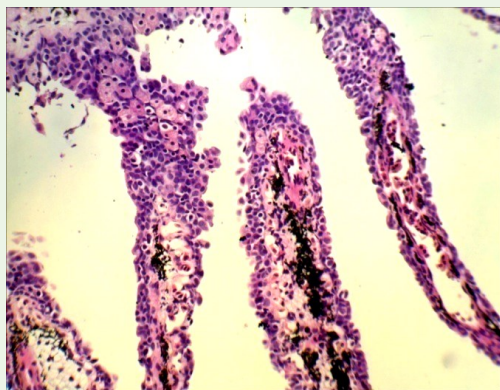


Рисунок 4 – Ламели жаберных лепестков аксолотля. Микрофото, ув.×120

Печень у амбистомы – типичный паренхиматозный орган, состоящий из стромы и паренхимы. Строма органа представлена тонкостенной рыхлой соединительной тканью с вклиниванием ее между поверхностно расположенными гепатоцитами, паренхима – печеночными трабекулами, расположенными достаточно плотно (рисунок 5). Соединительная ткань в междольковых перегородках не выявлялась, и границы печеночных долек определялись только по скоплениям сосудов, располагающимся на границе соседних печеночных

долек. Гепатоциты были полиморфными, цитоплазма содержала оксифильную прозрачную зернистость. Ядра печеночных клеток округлые, базофильные, занимали примерно 40–50 % клетки, располагались эксцентрично (рисунок 6). Внутри ядер просматривались глыбки хроматина, а в некоторых ядрах – несколько ядрышек.

Между клетками печени залега-ли лимфоциты, гистиоциты, купферовские клетки и эритроциты. Также по всей площади печени в области кровеносных сосудов располагались обширные участки с гемосидерином. Данную особенность также отмечали некоторые авторы при изучении печени миног и некоторых рыб [3, 7]. Стенки отдельных сосудов были утолщены и разволокнены. Рядом с кровеносными сосудами располагались желчные капилляры, содержащие кристаллы желчных пигментов.

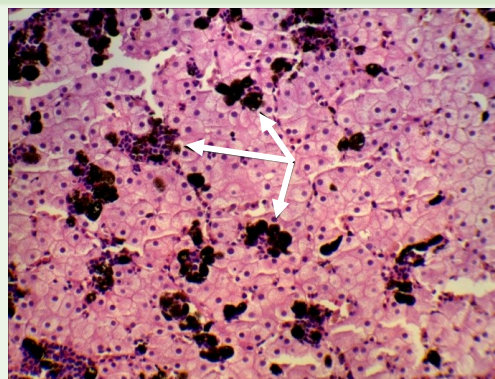


Рисунок 5 – Гистологический срез печени мексиканского аксолотля. Стрелки указывают на отложения гемосидерина. Микрофото, ув.×240

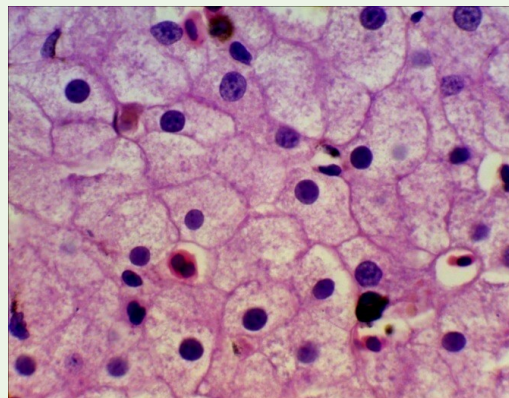


Рисунок 6 – Гепатоциты печени мексиканского аксолотля. Микрофото, ув.×480

Почки у аксолотля состояли из стромы, представленной рыхлой волокнистой соединительной тканью, и паренхимы – системы клубочков и мочеобразующих канальцев. Почечные тельца состояли из капсул Шумлянского-Боумана и сосудистых клубочков. Последние располагались группами по 3-4 экз. в п.з.м. (ув.×120), соприкасаясь друг с другом полюсами. Они были увеличены, шарообразной формы, пространство между клубочком и капсулой расширено (рисунок 7). Иногда в центре сосудистых клубочков выявлялся гемосидерин. Внутриорганный соединительная ткань была представлена ретикулярной тканью, которая зачастую выявлялась в виде отдельных тонких волокон.

Мочеобразующие канальцы состояли из однослойного кубического, а собирательные трубочки – из призматического эпителия. Вследствие белкового кормления аксолотлей эпителий имел избыток белковой зернистости в цитоплазме, из-за чего она выглядела мутной (рисунок 8). Ядра были разнообразной формы, заполняли 50–60 % объема клетки и располагались в базальной части клеток. На некоторых участках почек ядра выявлялись в состоянии отека, пикноза и частичного лизиса. В просвете канальцев отмечено наличие неоднородных белковых масс с включением эритроцитов. В сосудистых клубочках призматический эпителий характеризовался наличием уплощенно-вытянутых ядер, располагающихся в центральной части. Артериальные и венозные сосуды выглядели обескровленными, иногда с разволокнением стенок. Повсеместно в паренхиме почек выявляли кристаллы мочевой кислоты желтого цвета.

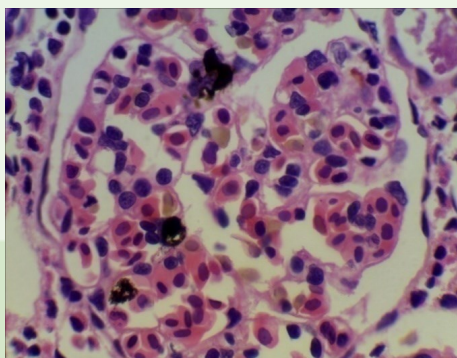


Рисунок 7 – Сосудистый клубочек почки американского аксолотля. Микрофото, ув.×480

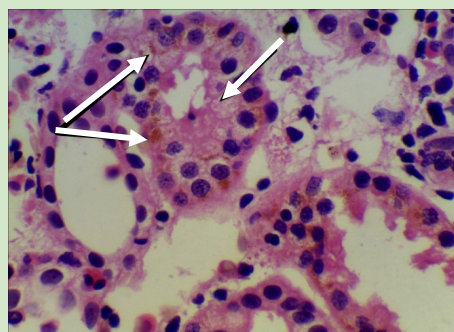


Рисунок 8 – белковая зернистость в просвете мочеобразующего канальца (стрелка справа); отложение кристаллов мочевой кислоты в почке аксолотля (стрелка слева). Микрофото, ув.×480

Снаружи селезенку аксолотля окружала тонкая соединительнотканная капсула. В строме органа имелось довольно значительное количество кровеносных сосудов, часто заполненных форменными элементами. Трабекулы в паренхиме просматривались нечетко (рисунок 9). У мексиканского аксолотля паренхима органа условно была разделена на белую и красную пульпу.

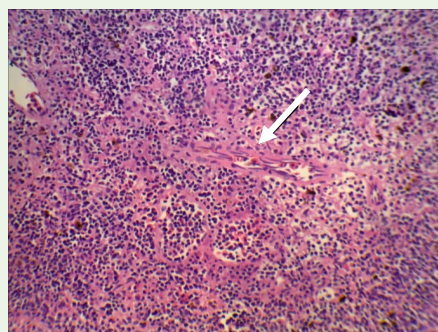


Рисунок 9 – Соединительнотканная прослойка селезенки аксолотля (стрелка). Микрофото, ув.×120

Красная пульпа селезенки состояла из скопления ретикулярных волокон, эритроцитов, макрофагов и гемосидерина. Белая пульпа была более интенсивно окрашена, располагалась разрозненно. При этом границы классических лимфоидных узлов не выявлялись. В белой пульпе встречались ретикулярные волокна, стромальные клетки, макрофаги, лимфоциты, плазматические клетки. Следует отметить, что между красной и белой пульпой имелись нечеткие границы, вследствие этого слабо

прослеживалось деление гемопоэтических участков на периартериальную, центральную и маргинальную зоны (рисунок 10).

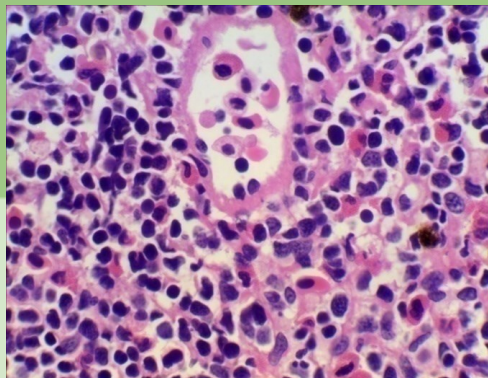
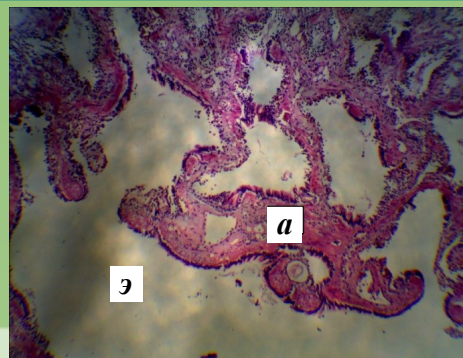


Рисунок 10 – Периартериальная зона селезенки мексиканского аксолотля. Микрофото, ув.×480

Аксолотль является уникальным животным, т.к. процесс дыхания у него осуществляется жабрами, легкими и поверхностью кожи.

Снаружи *легкие* покрывала тонкостенная капсула из соединительной ткани. Альвеолы достаточно крупные из-за содержания в их стенке соединительной ткани (рисунок 11). С одной стороны они состояли из ряда базофильных столбчатых клеток, снаружи покрытых розовой слизью (рисунок 12). С другой стороны альвеол отмечалось наличие плоских клеток с тонким ободком цитоплазмы. Вокруг альвеол располагались хорошо развитая ретикулярная ткань с вкраплениями эритроцитов, гистиоцитов, клеток наподобие альвеолярных макрофагов. У некоторых исследуемых особей выявлена альвеолярная эмфизема: полости альвеол расширены, стенки истончены и разорваны, эпителий, формирующий внутреннюю выстилку, сплюснут к базальной мембране. Кровеносные сосуды заполнены эритроцитами, а вокруг стенок наблюдались лимфоцитарные инфильтраты.

Миокард мексиканского аксолотля был представлен скоплением мышечных волокон с овально-уплощенным ядром, плотно прилегающих друг к другу. Между волокнами вклинивались лимфоциты, макрофаги, гистиоциты. Сосуды сердца находились в состоянии острой венозной гиперемии, стенка была разволокнена.



а – альвеола; э – участок эмфиземы

Рисунок 11 – Гистологическая структура легких мексиканского аксолотля. Микрофото, ув.×120

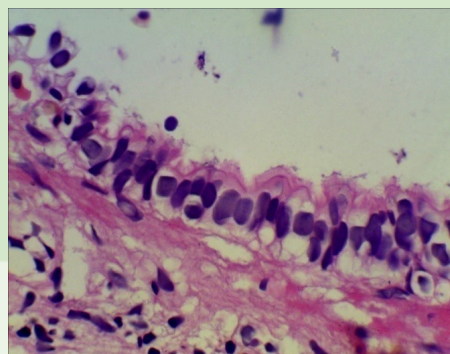


Рисунок 12 – Слизистая оболочка альвеолы аксолотля. Микрофото, ув.×480

ВЫВОДЫ

1. Жаберные лепестки у *A. mexicanum* содержат соединительнотканную основу с несколькими группами мышечных волокон, которые перекрещиваются в одном месте и позволяют аксолотлю с легкостью открывать и закрывать жаберные крышки, перемещая воду через жаберный аппарат. При этом в составе жаберных филламентов отмечено большое количество жаберных артерий, позволяющих насыщать кровь кислородом, получаемым из воды.

2. Печень и почки амбистомы представляют собой типичные паренхиматозные органы, состоящие из стромы и паренхимы. При этом структура органов напрямую зависит от рациона: в срезах почек и печени отмечены участки белково-жировой дистрофии с соответствующими изменениями в клеточно-ядерном строении. В паренхиме печени наблюдаются значительные участки отложения меланина, что может быть индивидуальной особенностью

вида. Миокард характеризуется типичным строением – плотным скоплением кардиомиоцитов.

3. В селезенке мексиканского аксолотля отсутствует четкое разделение на красную и белую пульпу, а также деление гемопоэтических участков на периартериальную, центральную и маргинальную зоны.

4. В легких отмечены плотные и массивные альвеолы, имеющие в своем составе соединительнотканые волокна, что,

по нашему мнению, может быть связано с недоразвитием органа у личинки амбистомы.

5. Полученные результаты исследований дополняют и систематизируют сведения о структурной организации наружных и внутренних органов амбистом, которые рекомендуется учитывать заводчикам, биологам и ветеринарным специалистам, специализирующимся на разведении, изучении и лечении данного вида земноводных животных.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амплеева, А. В. Морфофункциональные особенности кроветворных органов и клеток крови у сеголеток белорыбцы / А. В. Амплеева, О. В. Ложниченко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2012. – № 2. – С. 125–130.
2. Гистологическое изучение жабр радужной форели, обитающей в реке Тургенъ / З. Б. Есимситова, С. Т. Нуртазин, Ж. М. Базарбаева, О. А. Решетова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 6. – С. 34–37.
3. Грушко, М. П. Морфофункциональные особенности органов волжской миноги / М. П. Грушко, А. Р. Тулепбергенова, Э. В. Никитин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2023. – № 2. – С. 85–90. – DOI 10.24143/2073-5529-2023-2-85-90.
4. Дуйсебаева, Т. Н. Гистологическое и электронно-микроскопическое исследование печени ящериц с бывшего Семипалатинского испытательного полигона (Восточный Казахстан) / Т. Н. Дуйсебаева, Г. В. Федотовских, Н. А. Стрелюхина // Современная герпетология. – 2007. – Т. 7, № 1-2. – С. 57–68.
5. Игнатъева, М. Н. Возможности морфометрических показателей пигментных клеток кожи земноводных в формировании фундамента клинических исследований / М. Н. Игнатъева, Н. А. Самедова // Фундаментальная наука и клиническая медицина – человек и его здоровье : материалы XXVI Междунар. медико-биологической конф. молодых исследователей, Санкт-Петербург, 22 апреля 2023 г. ; под ред. А.М. Сараны [и др.]. Т. XXVI. – СПб. : ООО «Издательский дом “Сциентиа”», 2023. – С. 297–298.
6. Игнатъева, М. Н. Морфометрические показатели пигментных клеток (меланоцитов) кожи у некоторых видов земноводных / М. Н. Игнатъева, Н. А. Самедова, А. С. Комарова // Итоговая конференция военнo-научного общества курсантов, студентов и слушателей Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова : материалы итоговой конф., Санкт-Петербург, 19 апреля 2023 г. – СПб. : Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, 2023. – С. 228–231.
7. Леденев, О. А. Особенности гистологического строения некоторых органов колючего ската (*Raja clavata* (Linnaeus, 1758)) Черного моря / О. А. Леденев, О. В. Ложниченко // Естественные науки. – 2015. – № 4 (53). – С. 42–48.
8. Саркисов, Д. С. Микроскопическая техника : рук. для врачей и лаборантов / Д. С. Саркисов, Ю. Л. Петрова; под ред. Д. С. Саркисова. – М. : Медицина, 1996. – 544 с.
9. Сьянова, А. Е. Особенности содержания и размножения аксолотлей (*Ambystoma mexicanum*) в домашних условиях / А. Е. Сьянова, Н. Н. Дубинина // Морфология в XXI веке: теория, методология, практика : сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 24–26 апреля 2024 г. – М. : ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина», 2024. – С. 151–153.
10. Терпугова, Н. Ю. Гистопатологическая оценка состояния жаберного аппарата молоди кумжи при искусственном выращивании / Н. Ю. Терпугова, И. В. Бурлаченко, А. В. Согрина // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса : материалы X междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, Москва, 10–11 ноября 2022 г. / Федеральное агентство по рыболовству, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии». – М. : Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2022. – С. 60–61.
11. Чернова, О. Ф. Морфология кожи пяти видов скальных ящериц рода *Darevskia* (Lacertidae, Squamata) / О. Ф. Чернова, Э. А. Галоян, Ю. Ф. Ивлев // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. – 2024. – № 4. – С. 460–476. – DOI 10.31857/S1026347024040049.
12. Cwoner A., Khatri S., Blichmann D., Voss S. R. Rediscovering the Axolotl as a Model for Thyroid Hormone Dependent Development. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2019 Apr 12;10:237. doi: 10.3389/fendo.2019.00237. PMID: 31031711; PMCID: PMC6473073.
13. Demircan T., İlhan A. E., Aytürk N., Yıldırım B., Öztürk G., Keskin İ. A histological atlas of the tissues and organs of neotenic and metamorphosed axolotl. *Acta Histochem*. 2016 Sep;118(7):746-759. doi: 10.1016/j.acthis.2016.07.006. Epub 2016 Jul 18. PMID: 27436816.
14. URL: <https://my-goldfish.ru/product/aksolotl-chyornyj/> (дата обращения: 09.04.2025).
15. URL: <https://www.bethowen.ru/club/advice/fish/342734/> (дата обращения: 09.04.2025).