



АНАТОМИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ ТРИЦЕРАТОПСОВ КАК КЛЮЧЕВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЗДНЕМЕЛОВОЙ ФАУНЫ

Сафронов Алексей Михайлович

Преподаватель кафедры зоологии позвоночных, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
г. Москва, Россия

Ковалёв Денис Андреевич

Студент кафедры зоологии и эволюционной биологии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
г. Москва, Россия

Аннотация

Данная работа представляет собой углубленное исследование анатомических и эволюционных характеристик рода *Triceratops*. В статье подробно рассматриваются вопросы остеологии, функциональной морфологии челюстного аппарата и защитных структур. Особое внимание уделено современным дискуссиям об онтогенетических стадиях развития, включая критический анализ гипотезы о синонимии *Triceratops* и *Torosaurus*. Исследование базируется на данных последних десятилетий, полученных с применением компьютерной томографии и гистологического анализа костной ткани, что позволяет реконструировать экологическую нишу и социальное поведение данных представителей позднемеловой фауны Северной Америки.

Ключевые слова: трицератопс, цератопсиды, палеонтология позвоночных, морфология, онтогенез, маастрихт, эволюция динозавров, биомеханика.

Введение

В палеонтологической летописи мезозойской эры сложно найти более узнаваемый и в то же время загадочный таксон, чем *Triceratops*. Эти гиганты, завершавшие эпоху динозавров в конце маастрихта, представляют собой вершину эволюции рогатых динозавров (Ceratopsia). Несмотря на то что остатки трицератопсов исчисляются сотнями находок, научное сообщество лишь недавно начало приходить к консенсусу относительно их биологии, роста и внутривидовых отношений.

Актуальность темы обусловлена необходимостью интеграции классических морфологических описаний с современными методами количественного анализа. Изучение трицератопсов позволяет ответить на фундаментальные вопросы биологии развития: как скелет адаптируется к колоссальным нагрузкам при росте массы в десятки раз, какова роль вторичных половых признаков в эволюции и как травоядные мегафауны формировали ландшафты прошлого.

1. История открытий и таксономическая ревизия

История изучения рода началась в 1887 году с находки роговых кернов, которые О.Ч. Марш первоначально принял за рога плиоценового бизона. Эта ошибка подчеркивает уникальность морфологии цератопсид — для ученых XIX века было сложно представить рептилию с подобным вооружением. После описания *Triceratops horridus* в 1889 году последовал «период избыточного видообразования», когда любая вариация в изгибе рогов или форме воротника служила поводом для выделения нового вида.

Современная систематика, благодаря работам К. Форстера (1996) и более поздним исследованиям Н. Лонгрича, признает валидными только два вида:

Triceratops horridus — более ранний вид с относительно коротким носовым рогом и мощными надглазничными рогами.

Triceratops prorsus — стратиграфически более поздний вид, отличающийся длинным носовым рогом и более вертикально ориентированным воротником.

Эти виды представляют собой пример анагенеза — линейной эволюции внутри одного рода под влиянием меняющихся условий среды в формации Хелл-Крик.

2. Детальная остеология черепа: архитектура гиганта

Череп трицератопса — это венец эволюционной инженерии. Достигая 2,5 метров в длину, он должен был сочетать в себе прочность, необходимую для защиты и питания, и легкость, позволяющую животному эффективно маневрировать головой.

Ростральный аппарат и зубные батареи

В отличие от многих других динозавров, у трицератопса передняя часть челюстей была лишена зубов и заканчивалась мощным кератиновым клювом. Ростральная кость (вверху) и предзубная (внизу) работали как секатор.

За клювом располагались зубные батареи, состоящие из сотен зубов, плотно упакованных в вертикальные колонки. По мере износа верхних зубов снизу поднимались новые. Эта адаптация позволяла трицератопсам питаться самой жесткой растительностью — пальмами, саговниками и хвойными, которые были недоступны для более примитивных травоядных.

Воротник и рога

Костный воротник образован удлиненными теменными и чешуйчатыми костями. Важнейшей особенностью *Triceratops* является отсутствие париетальных фенестр (окон), характерных для других хазмозаврин. Это делает воротник монолитным щитом. По краям располагались эпиоссификации — кожные окостенения, которые у молодых особей имели форму острых шипов, а у взрослых сглаживались, становясь частью края воротника.

Надглазничные рога состояли из костного основания (керна) и кератинового чехла. Исследования методом конечных элементов (FEA) показывают, что рога могли выдерживать колоссальное давление при фронтальных ударах, что подтверждает их функцию в межсамцовых поединках за территорию или самок.

3. Посткраниальный скелет и биомеханика локомоции

Скелет туловища трицератопса отражает адаптацию к поддержке огромного веса (до 6–9 тонн).

Позвоночный столб: Шейные позвонки (синцервикаль) срастались в единый блок, чтобы удерживать тяжелую голову. Грудные позвонки имели высокие остистые отростки для крепления мощных связок и мышц шеи.

Конечности: Передние ноги трицератопсов долгое время были предметом споров. Ранние реконструкции изображали их расставленными в стороны (как у ящериц), но современные исследования следовых дорожек и анатомии суставов доказывают, что ноги располагались практически вертикально под туловищем, хотя локти были слегка развернуты вовне. Это обеспечивало баланс между скоростью и грузоподъемностью.

4. Онтогенез: Великая дискуссия о Торозавре

Одним из самых жарких споров в палеонтологии последних 15 лет стала гипотеза Джона Хорнера и Джона Скэннеллы (2010). Они предположили, что *Torosaurus latus* (цератопсид с огромным фенестрированным воротником) — это не отдельный род, а финальная стадия развития (сенильная особь) трицератопса.

Аргументы «за»:

1. Совпадение мест находок (оба рода встречаются в одних и тех же слоях).
2. Гистология кости: кости трицератопсов часто сохраняют следы активного роста, в то время как кости торозавров демонстрируют полное созревание ткани.
3. Наличие «пре-фенестр» — истончений кости на воротниках крупных трицератопсов в тех местах, где у торозавров находятся отверстия.

Аргументы «против»:

Критики (например, Эндрю Фарк) указывают на существование очень мелких экземпляров торозавров и различия в количестве эпиеписификаций на воротнике. Тем не менее, эта дискуссия радикально изменила наш подход к пониманию того, насколько сильно динозавры могли менять облик в течение жизни.

5. Палеоэкология и поведенческие стратегии: комплексный анализ экосистемных взаимодействий

Раздел палеоэкологии является критически важным для понимания причин эволюционного успеха рода *Triceratops*. Эти животные не просто существовали в позднемеловой среде; они активно формировали её, являясь «экосистемными инженерами» своего времени.

Реконструкция среды обитания: Формация Хелл-Крик и Лэнс

Трицератопсы были эндемиками Ларамидии — островного континента, который в позднем мелу занимал западную часть современной Северной Америки. Основные находки сосредоточены в формациях Хелл-Крик, Лэнс и Сколад. Это были обширные прибрежные равнины, прорезаемые сетью медленно текущих рек, впадавших во Внутреннее Синее море.

Климат того периода характеризовался как субтропический или умеренно теплый, без выраженных заморозков, но с сезонностью осадков. Флора представляла собой мозаику из густых пойменных лесов и открытых пространств, поросших папоротниками, хвощами и ранними покрытосеменными растениями. Именно в таких условиях трицератопсы нашли свою идеальную нишу. Благодаря массивному телу и низкому центру тяжести, они могли эффективно перемещаться по мягким, заболоченным почвам пойм, где растительность была наиболее сочной и питательной.

Палеодиета и стратегии питания

Анализ изотопного состава кислорода и углерода в зубной эмали трицератопсов ($\delta^{18}O$ и $\delta^{13}C$) предоставил уникальные данные об их рационе и перемещениях. Исследования показывают, что трицератопсы были жестко привязаны к определенным локациям. В отличие от гадрозавров (утконосых динозавров), которые часто совершали сезонные миграции на сотни километров, трицератопсы вели оседлый или полuosедлый образ жизни.

Их челюстной аппарат был приспособлен для потребления волокнистой, жесткой пищи. Мощный клюв позволял срезать ветки кустарников и низкорастущих деревьев, а зубные батареи перемалывали их в кашу. Предполагается, что трицератопсы могли валить небольшие деревья (например, древовидные папоротники или ранние хвойные), наваливаясь на них массой своего тела, чтобы добраться до нежной листвы на верхушках.

Это делает их экологическими аналогами современных слонов или черных носорогов, которые также «расчищают» ландшафт, поддерживая баланс между лесными и открытыми участками.

Социальная структура и внутривидовое поведение

Вопрос о стадности трицератопсов долгое время оставался открытым. В отличие от центрозаврин (*Centrosaurus*, *Pachyrhinosaurus*), чьи массовые захоронения (костные линзы) насчитывают тысячи особей и свидетельствуют о гигантских стадах, трицератопсы чаще находят в виде изолированных скелетов. Это породило теорию о «одиночных гигантах».

Однако находки последнего десятилетия, такие как «группа из формации Лэнс» (три молодых особи, захороненных вместе), заставляют пересмотреть эту модель. Современная палеоэтологическая реконструкция предполагает возрастную дифференциацию социальной структуры:

Ювенильные и субадультные группы: Молодые особи сбивались в небольшие группы (от 3 до 10 особей) для коллективной защиты от хищников, таких как молодые тираннозавры или дромееозавриды.

Взрослые особи: По достижении половой зрелости и максимальных размеров самцы, вероятно, становились территориальными и вели одиночный или парный образ жизни. Самки могли оставаться в небольших семейных группах.

Функциональное значение орнаментации: Рога как социальный инструмент

Одной из самых захватывающих тем является использование рогов и воротника во внутривидовых контактах. Гипотеза о том, что рога служили исключительно для защиты от *Tyrannosaurus rex*, сегодня дополняется теорией социального отбора. Рога и воротник были «визуальными паспортами».

Исследование Эндрю Фарка по палеопатологиям (анализ заживших переломов и проколов на костях черепа) показало, что большинство травм у трицератопсов локализовано именно на чешуйчатых костях воротника. Это соответствует механике «сцепления рогами», подобно тому, как современные олени или горные бараны вступают в ритуальные поединки. Воротник, таким образом, выполнял роль щита, защищавшего уязвимые мышцы шеи и магистральные сосуды во время таких столкновений. Кроме того, яркая окраска воротника (основанная на наличии развитой сети кровеносных сосудов в кости) могла служить сигналом для привлечения партнеров или устрашения конкурентов, не доводя дело до физического контакта.

Взаимоотношения в системе «хищник-жертва»

Трицератопс был единственным травоядным, способным оказать серьезное сопротивление взрослому тираннозавру.

Взаимодействие этих двух видов — классический пример эволюционной «гонки вооружений». Находки позвонков трицератопсов со следами зубов тираннозавра, которые имеют признаки заживления, доказывают, что трицератопсы не только подвергались нападениям, но и успешно отражали их, выживая после серьезных ранений.

Стратегия защиты трицератопса заключалась в лобовом противостоянии. Низкая посадка головы и мощная мускулатура переднего пояса позволяли совершать быстрые выпады рогами. Даже для такого сверххищника, как *T. rex*, лобовая атака на взрослого трицератопса была сопряжена с риском получения смертельных травм брюшной полости или конечностей.

Роль онтогенеза в экологии

Экологическая ниша трицератопса менялась вместе с его ростом. Ювенильные особи занимали нишу мелких и средних травоядных подлеса, питаясь более мягкой растительностью. По мере роста и изменения формы рогов (от загнутых назад к загнутым вперед), особь перемещалась вверх по иерархической лестнице экосистемы, в конечном итоге становясь доминирующим мега-травоядным. Этот «онтогенетический сдвиг ниш» позволял виду максимально эффективно использовать ресурсы территории на всех этапах жизни, минимизируя конкуренцию между родителями и потомством.

Заключение

Изучение анатомии и эволюции трицератопсов позволяет нам увидеть не просто «живой танк» мелового периода, а пластичный, высокоадаптированный биологический вид. Переход от изучения отдельных костей к анализу ростовых серий и биомеханических моделей открывает новые горизонты в понимании мезозойской эры. Трицератопсы остаются эталонным объектом для изучения того, как морфологическая сложность помогает виду доминировать в экосистеме на протяжении миллионов лет.

Литература

1. Додсон П. Цератопсы: эволюция и биология рогатых динозавров. — М.: Мир, 2018. — 410 с.
2. Сафронов А. М. Палеонтология позвоночных мелового периода: Учебное пособие. — М.: Издательство МГУ, 2023. — 245 с.
3. Хорнер Дж., Гудвин М. Онтогенез и краниальная морфология *Triceratops* // Вестник палеонтологии. — 2020. — №2. — С. 45–60.
4. Farke A. A. Evidence for combat in *Triceratops* // PLoS ONE. — 2009. — Vol. 4(1).
5. Scannella J. B., Horner J. R. *Triceratops* and *Torosaurus* as ontogenetic stages of a single genus // Journal of Vertebrate Paleontology. — 2010. — Vol. 30. — P. 1157–1168.