

Международный конкурс исследовательских работ школьников
«Удивительный мир» ООО «Международный центр научно-
исследовательских проектов»

ПРИЧИНЫ ЭВОЛЮЦИИ ЯЩЕРИЦ В ЗМЕЙ

ГБОУ г.Москвы «Школа № 507»

Автор: Зеленская Вероника Алексеевна,

Ученица 3 «Э» класса

Руководитель: Степанова Елена Валентиновна,

Классный руководитель 3 «Э» класса

г.Москва, 2024г.

АННОТАЦИЯ

Цель данной работы- разобраться, как и почему похожие на ящериц предки змей стали безногими и почему среди обычных ящериц есть безногие виды.

Примененный в работе метод: была изучена доступная информация по теме проекта, оценены сильные и слабые стороны нескольких гипотез, предложена своя и выбрана наиболее вероятная из них.

Результаты работы.

1. Были рассмотрены три распространенные среди ученых гипотезы появления змей, ни одна из которых полностью не объясняет это направление эволюции. В развитие идеи последней из них была предложена собственная гипотеза, которая кажется более логичной- змеи эволюционировали из ящериц в результате приспособления к жизни в среде обитания, похожей на сыпучие пески, с частыми ветрами и пыльными бурями.

2. Вероятно, безноготь некоторых современных видов ящериц стала результатом их адаптации к среде обитания, похожей на очень густые заросли кустарника или тростника. В отличие от песков, здесь не нужна дополнительная защита глаз и ушей, как у змей.

3. Гипотеза, появившаяся в ходе работы. Адаптация к среде обитания- основной движущий фактор эволюции. Внутри вида полезные изменения закрепляются и наследуются, бесполезные- постепенно исчезают. Так как среда обитания постоянно меняется- постоянно меняется основное направление эволюции.

4. После презентации настоящей работы среди учеников 3-4 классов средней школы, было проведено их анкетирование. Оно показало, что каждая из гипотез эволюции ящериц в змей имеет своих сторонников даже после приведенной в работе аргументации.

1. В ходе работы был произведен поиск информации о взглядах на происхождение змей. В результате были найдены следующие гипотезы:

1. Предки змей перешли от наземного образа жизни к подземному, где ноги им стали мешать и постепенно исчезли, как ненужные [1],[2].

2. Предки змей перешли от наземного образа жизни к водному, где ноги им стали мешать и постепенно исчезли, как ненужные [3],[4].

3. Предки змей обитали среди очень густой растительности (камыш, густой кустарник), где ноги им мешали быстро двигаться, из-за чего постепенно исчезли (табличка с описанием змей в Государственном Дарвиновском музее).

2. Обзор современных видов змей и их сравнение.

Герпетологи (ученые, изучающие змей) классифицируют живущих в наше время змей по 6 семействам, в которые входит около 2339 видов. Они живут на всех континентах, кроме Антарктиды и некоторых островов.

Таблица 1. Семейства современных змей, их возраст и численность видов [5].

Змеи (подотряд Чешуйчатые класса Пресмыкающиеся типа Хордовые)						
Семейства	Удавоб- разные	Ужеоб- разные	Аспидо- вые	Морские	Гадюко- вые	Ямкого- ловые
Количество видов	80	1700	180	199	60	120
Возраст семейства, лет	60	34-56	35-40	35-40	23	12-14
Ареал	Тропики и суб- тропики	Везде, кроме по- лярных областей	Тропики и суб- тропики	тропические во- ды Тихого и Ин- дийского океа- нов, Карибского	Вся Африка, Ев- ропа и Азия, до 3000 м. над уров- нем моря	Азия, Централь- ная и Южная Америки. От влажных джун- глей до пустынь, до 5000 м. над

Северная граница распространения змей- 0,5° севернее Полярного круга (гадюки), но больше всего их в тропиках Азии и Африки. Ученые предполагают, что они появились именно в таких регионах- но, скорее всего, это произошло в песчаных пустынях.

Из таблицы видно, что самые древние семейства змей- удавообразные, или ложноногие. После них появились сначала ужеобразные, затем семейства аспидовых и морских змей, потом гадюковые- и самыми последними появились ямкоголовые змеи.

Интересно, что если поискать ноги у современных змей, то окажется, что они все-таки есть! Но только у самых примитивных (древних), удавообразных змей, и только в виде рудиментов. Они выглядят как когти, торчащие по бокам тела змеи там, где когда-то были их задние ноги. От передних конечностей рудиментов не осталось, так что, скорее всего, они у змей исчезли первыми.

РУДИМЕНТЫ ТАЗОВОГО ПОЯСА У ЗМЕЙ

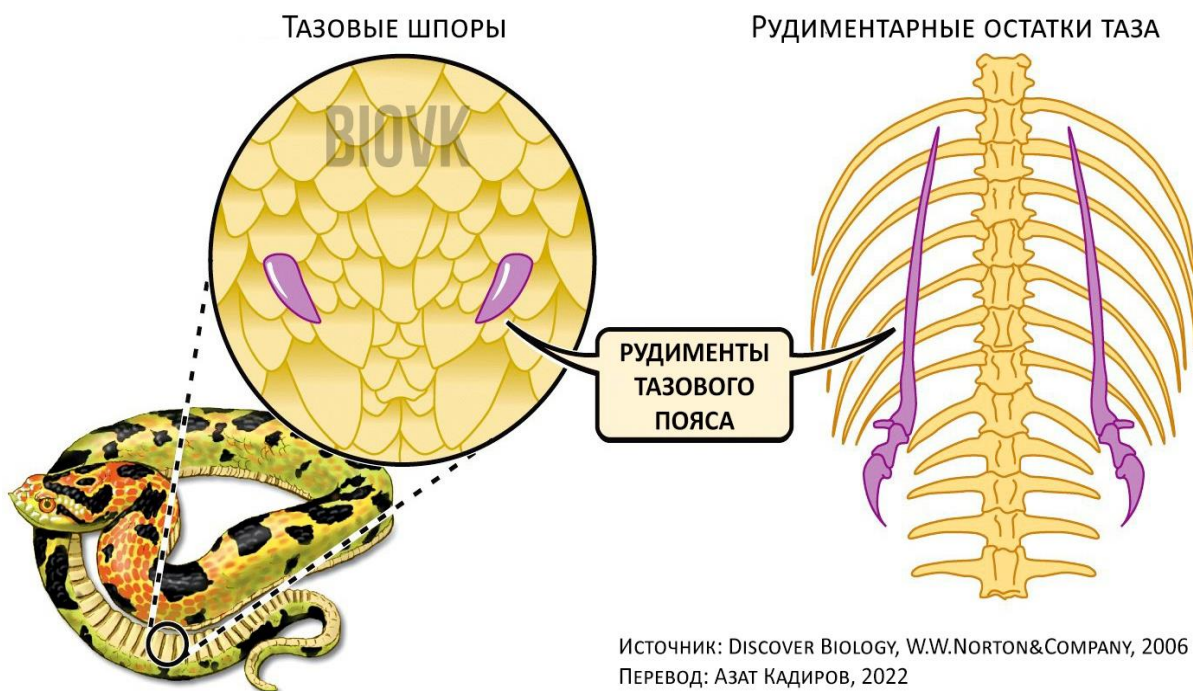


Рис. 1. Рудиментарные остатки конечностей у змей

3. Что сейчас известно о возникновении змей.

Все виды ящериц произошли от рептилий лепидозавров, живших одновременно с динозаврами (самая древняя находка имеет возраст 231 млн. лет [6], [7]), а затем из одного из видов ящериц (варанообразных) развились змеи [8]. Считается, что динозавры появились около 240 миллионов лет назад и стали доминирующим наземным видом примерно 201 миллион лет назад. Они господствовали на Земле до последнего из массовых вымираний 66 миллионов лет назад. Из динозавров его пережили только предки современных птиц. Генетики пришли к выводу, что змеи стали безногими примерно 100 миллионов лет назад [9], [10]. Причем некоторые из ученых считают, что этот процесс был обратимым, и змеи неоднократно лишались ног и отращивали их заново.

Рассмотрим теперь распространенные гипотезы причин безногости змей.

Гипотеза № 1. Предки змей перешли к подземному образу жизни, где ноги стали им мешать, и постепенно исчезли.

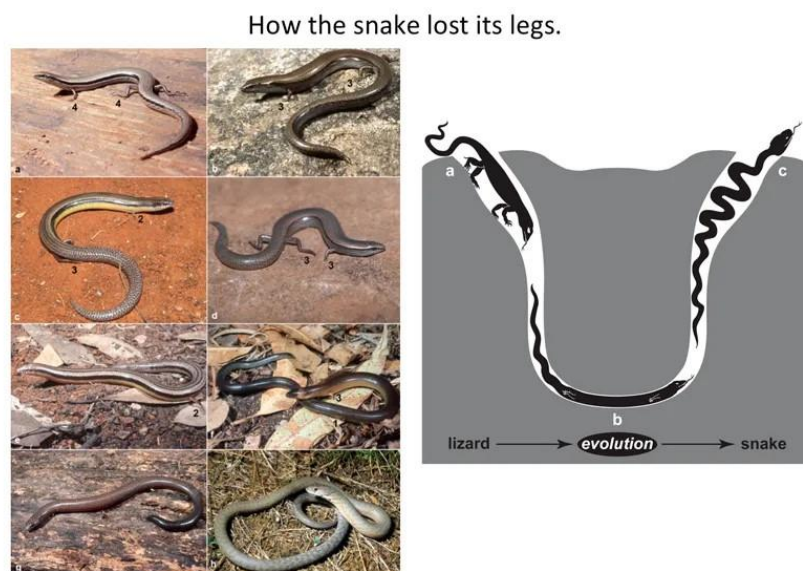


Рис.2. Исчезновение ног у змей при переходе к подземному образу жизни.

Но эта версия может объяснить, скорее, возникновение только тех видов, которые так и остались обитать в норах- например, слепозмеек, приспособившихся к этой новой среде обитания. Для выхода затем из-под земли в другие

среды обитания - воду, скалы, ветвей деревьев и т.п., им был бы нужен какой-то мощный стимул (большая безопасность или обилие еды), а жизнь под землей - намного спокойнее, чем в джунглях или на открытых пространствах. Стабильнее температура и влажность, меньше хищников. Да и многие современные роющие животные (кроты, землеройки и т.п.) не только не отказались от конечностей, но и эффективно используют их для рытья. **Гипотеза № 1 выглядит нелогичной.**

Гипотеза № 2. Ящерицы превратились в змей, начав вести водный образ жизни, где конечности им мешали.

Если бы при этом ящерицам не нужна была бы скорость передвижения (как растительноядным морским галапагосским игуанам или пресноводным тритонам), при плавании конечности было бы достаточно просто прижимать к телу. Игуаны и тритоны именно так и делают. А если была бы нужна более высокая скорость или маневренность, то конечности, наоборот, давали бы преимущество, превратившись в плавники или ласты. К тому же водные виды змей появились позже самых древних, удавообразных, которые уже были безногими.

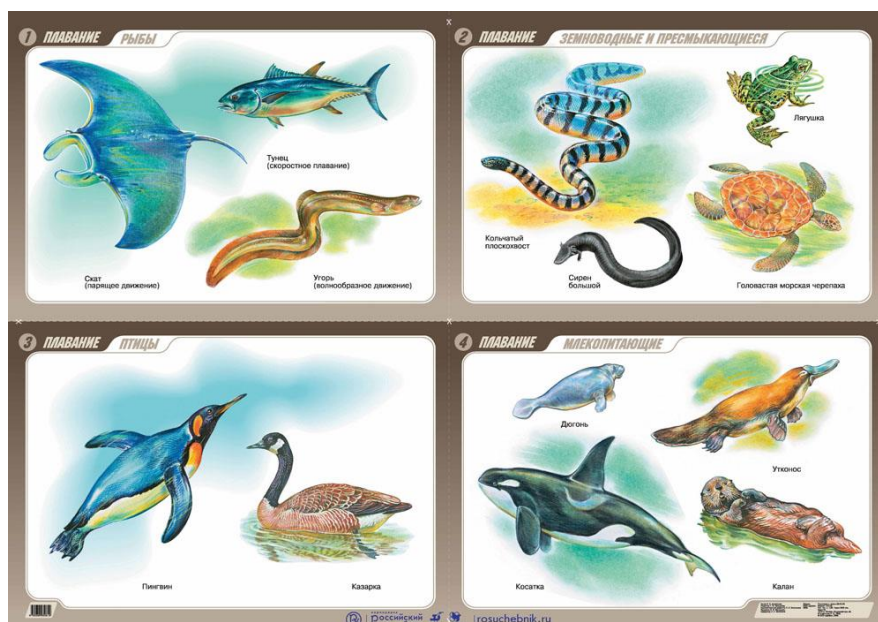


Рис. 3. Примеры использования конечностей водными животными

Гипотеза № 2 выглядит нелогичной.

Еще немного о временах, когда один из видов ящериц начал развиваться в змей. Как раз тогда (182,7-174,1 млн. лет назад) произошли глобальные изменения условий обитания живых существ на Земле. Резко активизировались вулканы, из-за этого в атмосфере выросло количество парниковых газов, и климат стал значительно теплее (за это время среднегодовая температура выросла на 5 градусов). При этом, вероятно, растаяли ледники, если они и были, даже в высокоширотных областях, и значительно подняло уровень мирового океана, были затоплены большие участки суши. Изменились океанские течения (потому что изменился рельеф дна и появились новые проливы и моря), появилось много теплых мелководных водоемов и болот, бурно развилась растительность. Наверное, это было похоже на плотные и практически непроходимые высокие заросли камыша, которые сейчас занимают дельту Волги.



Рис. 4. Заросли камыша в современной дельте Волги.

Гипотеза № 3. Эволюция ящериц в змей – это результат их приспособления к жизни в густых зарослях.

Влажная жара и сплошная стена из камыша, достигающая 5-7м. в высоту, растущая из топкой почвы... Ящерицам типа варана жить в такой среде было бы сложно. Они- хищники, для которых жизненно важны маскирующая окраска и скорость движения. Ящерицы просто застревают бы среди густых стеблей, не успевая схватить добычу.

Гипотеза № 3 выглядит вероятной. Адаптация предков змей к обитанию в густых зарослях могло стать основным фактором эволюции, который и привел к развитию ящериц в змей.

Но затем я обратила внимание на то, что по сравнению с ящерицами у змей есть эволюционные приспособления, которые бесполезны для жизни в густых зарослях. Это - дополнительная защита глаз прозрачным немигающим третьим веком и исчезновение наружных слуховых проходов. Кроме того, палеонтологи считают, что предками змей были варанообразные ящерицы- а (по крайней мере сейчас) эти их разновидности живут в засушливых регионах- степях, полупустынях и пустынях, но не в болотах и не в мелких водоемах. Все эти эволюционные изменения змей, которых нет у ящериц, никак не повысили бы уровень их приспособленности к жизни в тростниковых зарослях- а значит, были бы бесполезными и не закрепились бы в ходе естественного отбора.



Рис. 5. Песчаная буря в пустыне.

Зато они очень пригодились бы, живи предки змей на поверхности песчаных пустынь.

С учетом всего этого, у меня появилась еще одна гипотеза.

Гипотеза № 4. Эволюцию ящериц в змей вызвала их адаптация к жизни в среде, похожей на пустыни с сыпучими песками, частыми ветрами и песчаными бурями.

Тело варанообразных предков змей стало удлиняться и уменьшать свое «поперечное сечение». Сначала появились змееголовые ящерицы с вытянутым телом (*Dolichosaurus dalmatinensis*), затем изменилось строение черепа и постепенно исчезли конечности. Весь этот процесс занял 80-100 миллионов лет. Современные генетики утверждают, что окончательно змеи стали безногими примерно 100 миллионов лет назад- а еще до этого древние змеи до 20 раз теряли и вновь «приобретали» конечности. Правда, остается вопрос- как случилось, что строение черепа у них стало «змеиным», сложным, с множеством эластичных связок, позволяющим проглатывать добычу намного толще своего собственного тела и когда это произошло. Сейчас известна палеонтологическая находка возрастом около 90 миллионов лет (змея Наждаш, Аргентина), у которой череп имеет промежуточное строение между «ящеричным» и «змеиным» [11], [12], но этот вопрос позже было бы интересно исследовать дополнительно.

С момента появления первых предков змей постепенно увеличивалась их длина и количество позвонков (один из палеовидов змей имел их целых 565! Сейчас их меньше- от 180 у коротких широких гадюк до 435 у ложноногих змей. У ужа, например, их 200, а у человека-всего 33). Увеличение количества позвонков значительно повысило гибкость тела и дало им возможность перейти к «змеиному» способу передвижения, при котором динамичные извивы тела эффективно используются для передвижения и помогают более надежно держаться при лазании по деревьям и скалам.

Сначала исчезли передние ноги (палеонтологам известна змея с двумя задними конечностями), а потом и задние (их рудименты все еще есть в наше время у удавов и питонов в виде тазовых костей).

Первые змеи были неядовитыми. Многие из них были значительно крупнее современных, и при охоте они полагались только на свою силу и быстроту.



Рис. 6. Гигантская древняя змея с задними конечностями- в представлении художника [13].

Самая большая из известных палеонтологам змей, титанобоя, 60 миллионов лет назад жила на территории современной Колумбии и достигала длины 13-15 м, что сопоставимо с современной анакондой. Но она была в 6 раз тяжелее (1200 кг против 250 кг) и толще (до 1 м в самой толстой части туловища, а анаконда- только 40 см.). В Северной Сахаре нашли ископаемые останки другой змеи, гигантофиса. При максимальном диаметре тела в 50 см. и длине около 10,7 м. весила эта змея примерно 700 кг. Дальнейшая эволюция змей шла в направлении совершенствования состава яда и способов его применения. Сейчас самые эволюционно совершенные змеи – ямкоголовые. Они относятся к гадюковым, но в отличие от них на голове имеют две ямки – чувствительные термолокаторы, которые помогают охотиться на теплокровную добычу [14], [15], [16].

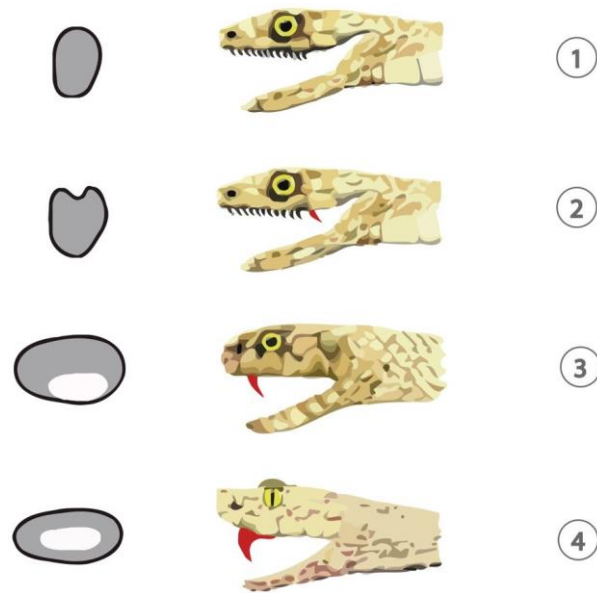


Рис. 7. Эволюционные изменения строения ядовитых зубов и пасти змей.

1-это зубы удавообразных (неядовитых, все зубы имеют одинаковое строение) змей; 2- ужеобразных (первых ядовитых, появились два ядовитых зуба с бороздкой для стекания яда при укусе. Эти зубы находятся глубоко); 3- аспидовых (ядовитые зубы переместились из глубины пасти вперед, канавка для яда почти закрыта и превратилась в канал, открытый в верхней трети зуба); 4- гадюковых и ямкоголовых (ядовитые зубы находятся в передней части пасти, яд к месту укуса поступает по полностью закрытому каналу).

Ящерицы.

Считается, что змеи произошли от ящериц, так что ящерицы, как вид, древнее змей. Их пути разошлись около 150-200 миллионов лет назад. Сейчас ящериц от змей отличить можно даже по внешнему виду: у них есть наружные слуховые проходы («уши») и их глаза моргают. У большинства змей голова заметно больше диаметра их тела. И еще- у ящериц все зубы одинаковы, а у змей- сильно отличаются между собой. При всех этих различиях, среди ящериц (которых сейчас на Земле известно около 5000 видов) есть 6 видов безногих, которых издали можно принять за змей.

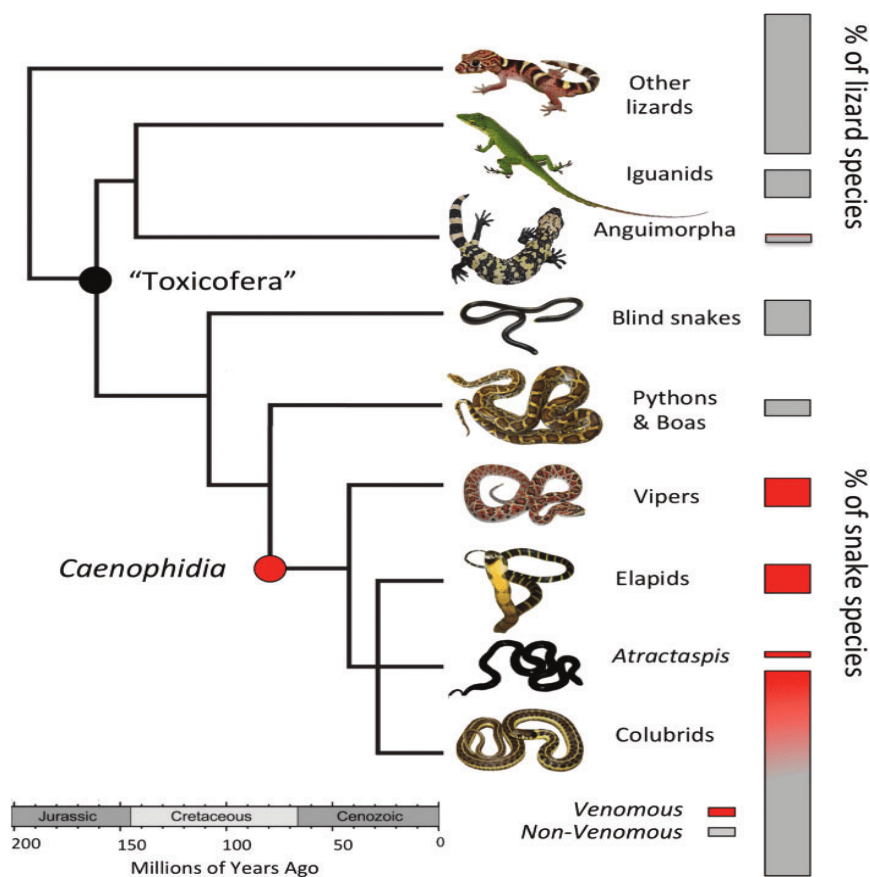


Рис. 8. Эволюция пресмыкающихся



Рис. 9. Внешние различия ящериц и змей

Большинство из них живет под землёй, редко выходя на поверхность, их ушные проходы закрыты, а глазки маленькие (здесь как раз подходит гипотеза №2 об эволюции с переходом к подземному образу жизни). Живут они в основ-

ном в Латинской Америке. В нашей климатической зоне встречаются другие безногие ящерицы, из рода веретеницевых. Желтопузик, достигающий в длину 1,5м., самая крупная из них. Как появился этот вид, гипотеза с переходом к подземному образу жизни не объясняет- ведь он живет на поверхности земли, и в тех же местах, где и обычные, «наземные», ящерицы и змеи.



Рис. 10. Безногая ящерица из рода веретеницевых (желтопузик)

У крупных веретеницевых сильные челюсти, в большинстве случаев с притуплёнными жевательными зубами. Пищей большинства веретеницевых являются насекомые, моллюски, а также другие ящерицы и мелкие млекопитающие. Возможно, предки безногих веретеницевых тоже попали в условия, где конечности только мешали- но не в песок (ведь у них глаза закрыты подвижными веками и есть наружные слуховые проходы!). Например, в очень густые заросли...

В наше время в песчаных пустынях Северной Африки и Ближнего Востока живут ящерицы под названием аптечный сцинк. По-английски они называются sandfish, т.е. «песчаная рыба». И действительно, по твердым поверхностям сцинк бегаёт на четырех лапках, но если попадает в сыпучий песок- то прижимает свои лапки к телу и, двигаясь как змея, «плывет» под поверхностью. Этот пример показывает, что если среда для движения ящериц становится плотной (плотнее воды), и одновременно сыпучей, в которой конечности начинают мешать, они находят способ передвижения в ней за счет движений, похожих на

змеиные. Десятки- другой миллионов лет, и, возможно, потомки сцинков станут безногими...



Рис. 11. Ящерица аптечный сцинк (sandfish)

Одна из основных сложностей в получении новых знаний о змеях настолько отдаленных от нас времен в том, что их скелет состоял из достаточно хрупких костей, а череп к тому же- из множества мелких частей, кости нижней челюсти которого (в отличие от других животных) соединены мягкими эластичными тканями и после смерти легко рассеивались. Так что до нашего времени доходят только очень немногие останки и в основном- самых крупных змей. Поэтому все еще нет ясной картины происхождения и эволюции змей, и для ее уточнения необходимы новые палеонтологические находки и логичность объяснения их особенностей в связи с уже известными фактами. Эта работа как раз и представляет собой попытку использования логики для объяснения имеющейся информации.

Проведенный в ходе работы опрос показал (см. Рис. 12) , что причины исчезновения ног у ящериц в ходе их эволюции в змей учащимся до конца не ясны, несмотря на логичность предложенной мной теории, и этот вопрос нуждается в дальнейшем исследовании и дополнительной аргументации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

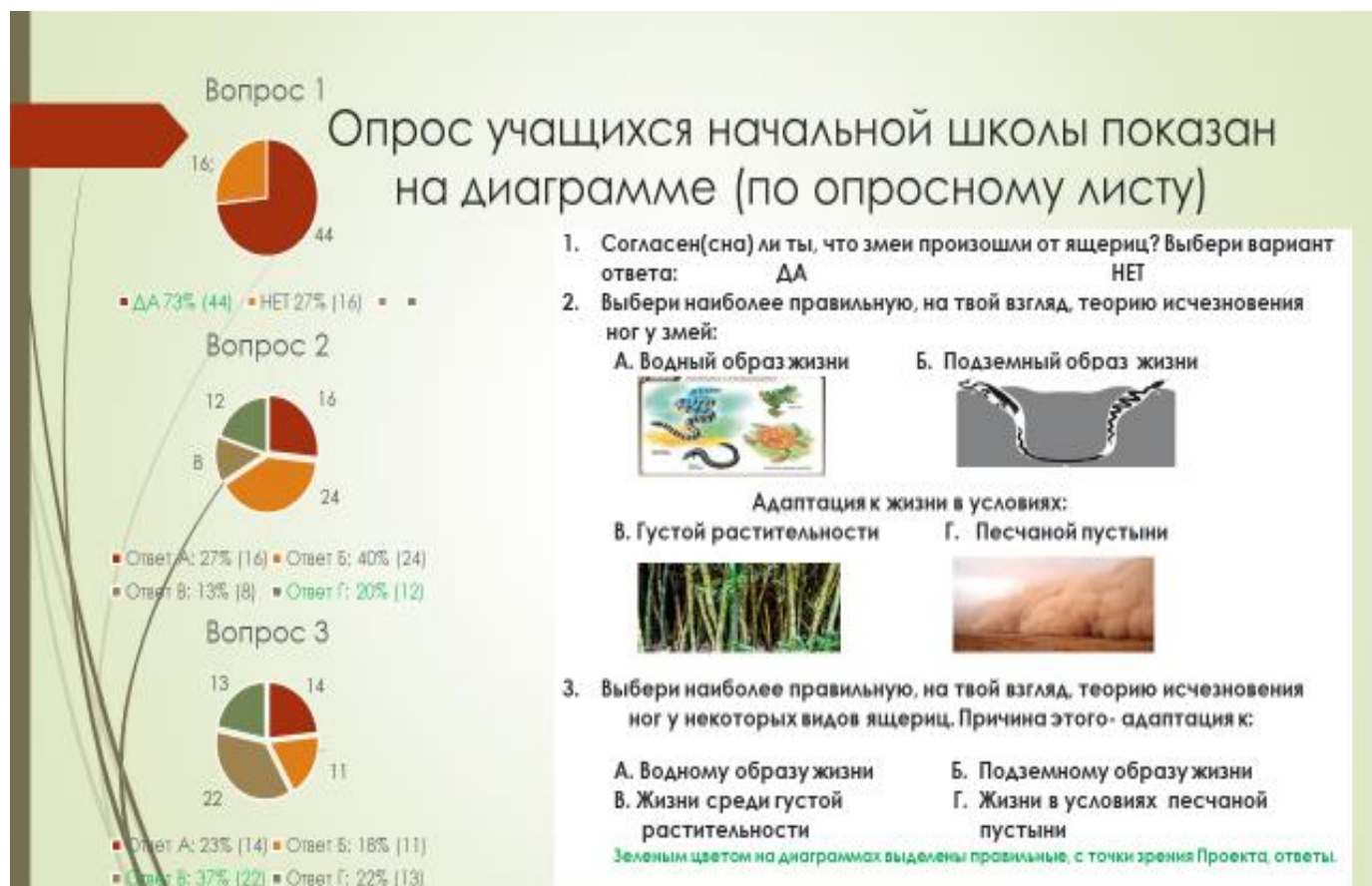


Рис. 12. Результат опроса на тему змей, проведенного среди учеников 3-4 классов средней общеобразовательной школы в феврале 2024г.

Выдающиеся представители ящериц и змей.

Таблица 2. Сравнение предельных параметров ящериц и змей [17]

Параметры	Ящерицы		Змеи	
	Размеры мин., мм	19	Карликовый геккон Виргинских островов	104
Размеры макс., м.	4	Дракон острова Комодо	8,22	Тигровый питон по имени Бэби
Вес мин., г.	0,148	Карликовый геккон Виргинских островов	0,6	Барбадосская нитевидная змея
Вес макс, кг.	130	Дракон острова Комодо	182,5	Тигровый питон по имени Бэби

Скорость на суше, км/ч	34,9	Черная игуана, Коста-Рика	20	Черная мамба
			29	Рогатая гремучая змея Sidewinder
Скорость на воде, км/ч	12	Шлемоносный василиск, Центральная Америка	4,5	Желтобрюхая морская змея
Обходится без пищи, мес.	2	Леопардовый геккон	39	Гадюковая змея хабу
Обходится без воды, мес.	6	Австралийский молох. Воду впитывает кожей.	60	Королевская кобра.
Детекция тепла	---	Нет	0,2°C	Гремучая змея
Граница ареала	62° с.ш.	Прыткая ящерица. Юг Карелии.	67° с.ш.	Гадюка обыкновенная

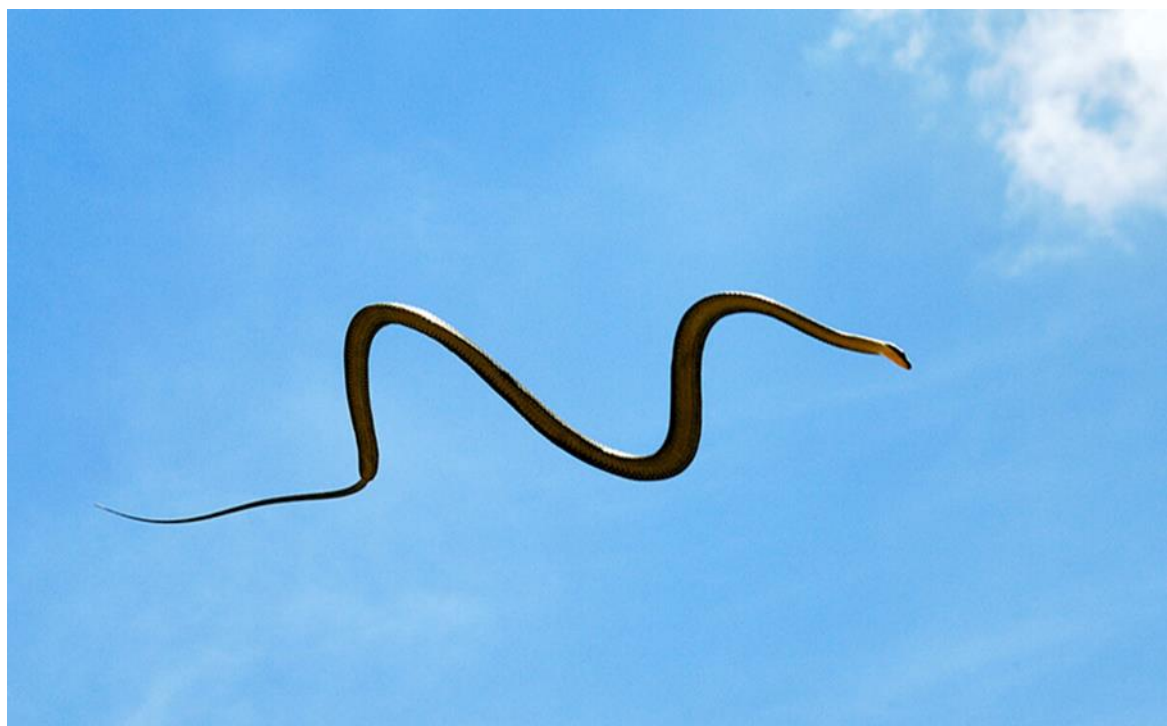


Рис. 13. Райская летающая змея Хризопелея. Уплощаясь в воздухе и образуя с помощью извивов тела «летающее крыло», может пролетать до 100м. Живет в Юго-Восточной Азии, Индонезии, Филиппинах, Индии и Шри Ланке.



Рис. 14. Ящерица Шлемоносный василиск, бегущая по воде (11 км/ч, до 400 м.). Обитает в Эквадоре, Перу, Панаме.

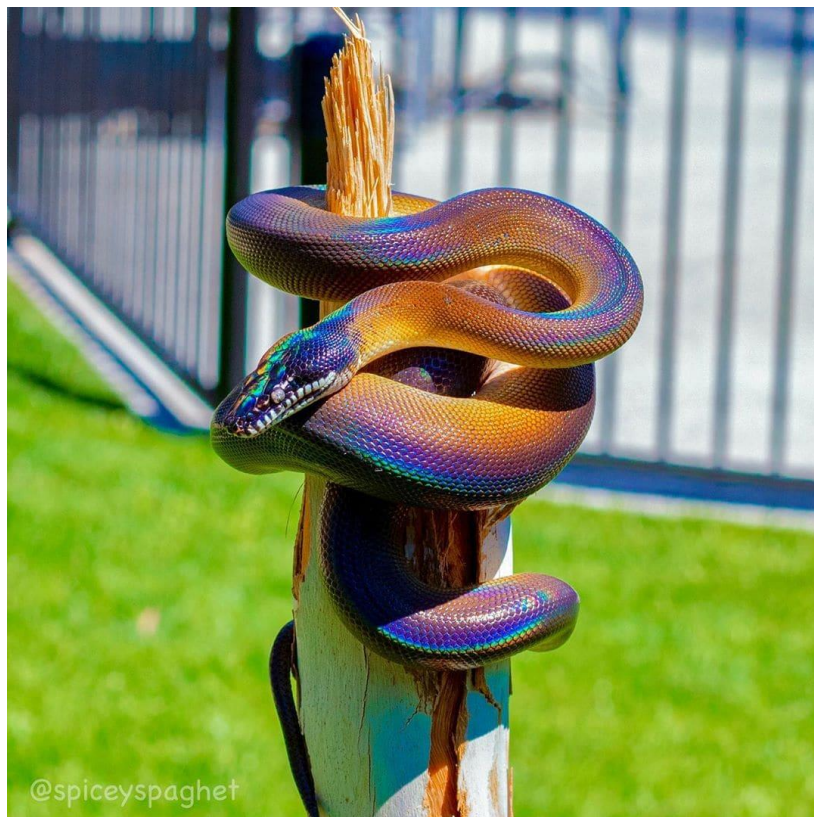


Рис. 15. Радужный белогубый питон. Считается самой красивой змеей. Обитает на островах Новой Гвинеи и Полинезии.



Рис. 16. Паукохвостая гадюка. Охотится на птиц, приманивая их своим похожим на паука кончиком хвоста. Живет в горных районах Ирана.

Список источников информации, использованных в работе.

1. Science Advances Vol. 1, No. 10 (27.11.2015). The burrowing origin of modern snakes (Дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1500743>
2. Юлия Кондратенко. Новости науки, 2015г. Змеи отказались от конечностей, чтобы приспособиться к роющему образу жизни. (дата обращения 25.02.2024г.). URL: https://www.elementy.ru/novosti_nauki/432634/Zmei_otkazalis_ot_konechnos-tey_chnoby_prisposobitsya_k_royushchemu_obrazu_zhizni?ysclid=lt0eb06xj8118439791

3. Cretaceous Research. M.S.Y. Lee et al. Aquatic adaptations in the four limbs of the snake-like reptile Tetrapodophis from the Lower Cretaceous of Brazil. Cretaceous Research, Volume 66, November 2016, Pages 194-199. (Дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195667116301094>
4. Елена Кравец. Планета Земля и Человек. Змеи потеряли ноги в море. 13 сентября 2018г. (Дата обращения 25.02.2024г.). URL: https://nubis162.blogspot.com/2018/09/blog-post_36.html?spref=pi
5. Змеи. Биологический энциклопедический словарь. «Биологический энциклопедический словарь.» Гл. ред. М. С. Гиляров; Редкол.: А. А. Бабаев, Г. Г. Винберг, Г. А. Заварзин и др. — 2-е изд., исправл. — М.: Сов. Энциклопедия, 1986. (Дата обращения 25.02.2024г.) URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/dic_biology/1948/ЗМЕИ
6. Ricardo N. Martínez и et al. Nature 597, 235-238 (2021) A Triassic stem lepidosaur illuminates the origin of lizard-like reptiles . (дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03834-3>
7. Сергей Коленов. Аргентинский «отец ящериц» пролил свет на эволюцию чешуйчатых и клювоголовых. 26.08.2021г. (Дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://nplus1.ru/news/2021/08/26/taytalura-alcoberi>
8. Allison Y Hsiang et al. The origin of snakes: revealing the ecology, behavior, and evolutionary history of early snakes using genomics, phenomics, and the fossil record. BMC Evolutionary Biology volume 15, Article № 87 (2015) (Дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://bmcecol.evol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12862-015-0358-5>
9. РИА Новости, 20 октября 2016 г. Генетики выяснили, как змеи лишились ног во времена динозавров. (дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://news.rambler.ru/science/35051742-genetiki-vyyasnili-kak-zmei-lishilis-nog-vo-vremena-dinozavrov/>

10. Journal of current biology, University of Florida researchers find genetic change that caused snakes to lose legs. 20 октября 2016г. (дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://www.eurekalert.org/news-releases/697964>
11. Sputnik Грузия. Стало известно, когда змеи потеряли ноги. 22.11.2019г (Дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://sputnik-georgia.ru/20191122/Stalo-izvestno-kogda-zmei-poteryali-nogi-247089045.html>
12. Science Advances VOL. 5, NO. 11 (20.11.2019). F.F.Garberoglio et al. New skulls and skeletons of the Cretaceous legged snake Najash, and the evolution of the modern snake body plan (Дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aax5833>
13. Сергей Ястребов. Первая змея. Элементы, 04.05.2016г. (Дата обращения 25.02.2024г.). URL: https://elementy.ru/kartinka_dnya/47/Pervaya_zmeya
14. Семейство Ямкоголовые змеи (Crotalidae). Биологическая энциклопедия "Академик". Статья из «Жизнь животных»: в 6-ти томах. — М.: Просвещение. Под редакцией профессоров Н.А.Гладкова, А.В.Михеева. 1970. (Дата обращения 25.02.2024 г.). URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biology/1234/Семейство
15. Семейство Ямкоголовые змеи Crotalidae .Систематика. (Дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://zoogalaktika.ru/photos/reptilia/squamata/serpentes/crotalidae>
16. Игорь Иванов. Инфракрасное зрение змей требует нелокальной обработки изображений. 12.08.2006г. (Обращение 25.02.2024г.). URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/430296/Infrakrasnoe_zrenie_zmey_trebu_et_nelokalnoy_obrabotki_izobrazheniy?ysclid=lmd7phnxn183947272
17. Журнал "Энимал Ридер", 9 октября 2015г. «Самые-самые» змеи: рекорды змеиного мира. (Дата обращения 25.02.2024г.). URL: <https://animalreader.ru/samyie-samyie-zmei-rekordyi-zmeinogo-mira.html#i-7>