

Систематика и филогения

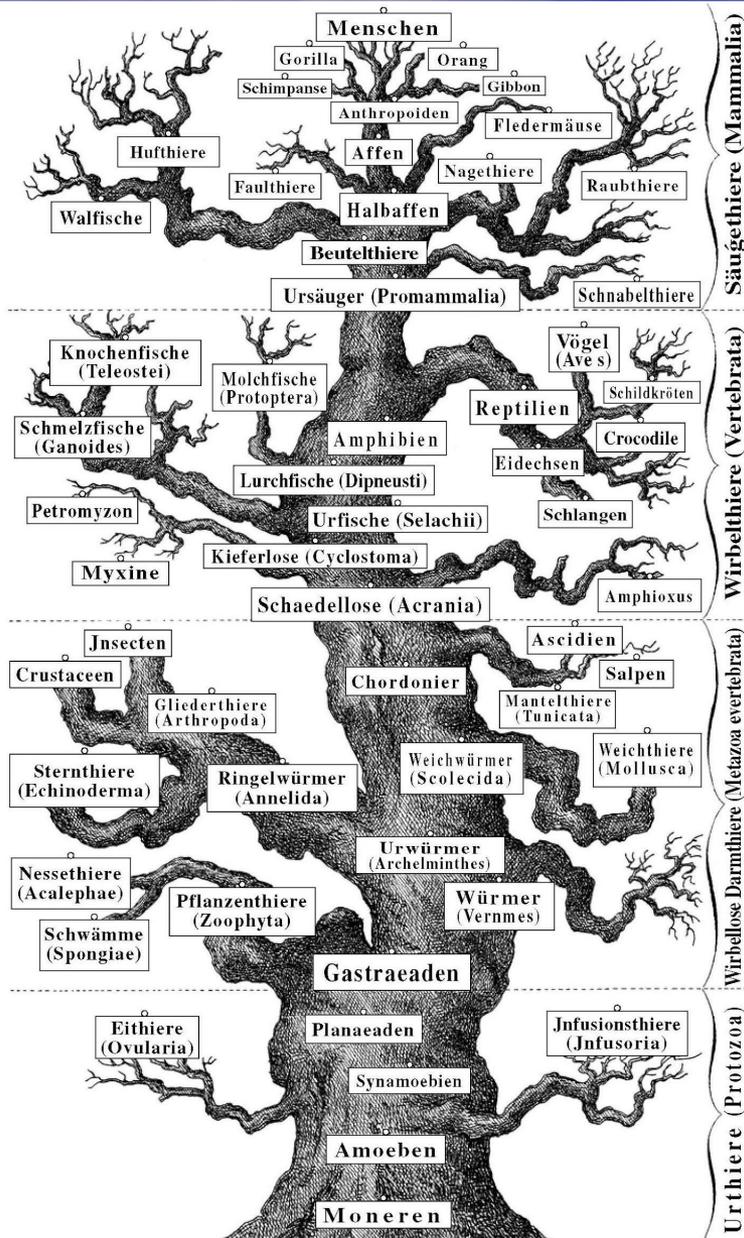


FIGURE 7.4 Phylogenetic tree of the animal kingdom from Haeckel (1874). In comparison with his earlier tree (Figure 7.3) this one shows ancestors on the trunk and branches leading to terminal taxa.

«Если не знаешь названий, то
теряется и познание вещей...»

Карл Линней,
«Философия ботаники»

Систематика — раздел биологии, занимающийся описанием, обозначением и классификацией существующих и вымерших организмов по таксонам.

Классификация — распределение всего множества живых организмов по определенной системе иерархически соподчиненных групп — таксонов.

Таксономия — раздел систематики, разрабатывающий теоретические основы классификации.

Альфа-систематика — определение и диагностика уже известных видов

Бета-систематика – осмысление и ревизия накопленных данных, что обычно приводит к пересмотру ранее существующих представлений и выделению новых таксонов в ранге видов и родов

Гамма-систематика – создание упорядоченной системы отдельных групп организмов и всего биологического мира, распределение их по таксонам разного ранга.

Систематика – это процесс исследования разнообразия, а система – его результат. Единицами системы являются таксоны.

Общие принципы систематики: (1) присвоение научного названия или понятия; (2) описание; (3) выделение сходства и различия с близкими формами; (4) классификация; (5) анализ родства и филогении

Таксономический признак – это любая особенность члена какого-либо таксона, по которой он отличается или может отличаться от члена другого таксона

ТИПЫ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

1. Морфологические признаки
 - а) Общая наружная морфология
 - б) Отдельные структуры (например, гениталии)
 - в) Внутренняя морфология (анатомия)
 - г) Эмбриогенез
 - д) Кариология (и другие цитологические различия)
2. Физиологические признаки
 - а) Особенности обмена веществ
 - б) Серологические, белковые и другие биохимические различия
 - в) Секреты и экскреты организма
 - г) Генетические факторы стерильности
3. Экологические признаки
 - а) Места обитания и хозяева
 - б) Пища
 - в) Сезонная изменчивость
 - г) Паразиты
 - д) Реакции хозяина
4. Этологические признаки
 - а) Ухаживание и другие этологические изолирующие механизмы
 - б) Другие особенности поведения
5. Географические признаки
 - а) Общие биогеографические особенности
 - б) Симпатрические и аллопатрические взаимоотношения популяций

Вид — совокупность особей, обладающих наследственным сходством морфологических, физиологических и биохимических особенностей, свободно скрещивающихся и дающих плодовитое потомство, приспособленных к определенным условиям жизни и занимающих в природе определенную область — ареал.

Виды различаются между собой рядом признаков и свойств.

Критерии вида — характерные признаки и свойства:

- *морфологический* (сходство внешнего и внутреннего строения);
 - *генетический* (характерный для вида набор хромосом: их число, размеры, форма);
 - *физиологический* (сходство всех процессов жизнедеятельности, прежде всего размножения);
 - *биохимический* (сходство белков);
 - *географический* (определенный ареал, занимаемый видом);
 - *экологический* (совокупность факторов внешней среды, в которых существует вид) и др.
- Ни один из критериев не является абсолютным. Вид характеризуется совокупностью критериев.

Таблица 1.3. Использование морфологического и географического критерия в качестве вспомогательных критериев для репродуктивного критерия вида

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ	ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ	ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ
Две формы различаются по какому-то признаку и имеют по этому признаку хиатус	Формы, разделенные хиатусом, встречаются совместно	1) Данные формы являются репродуктивно-изолированными видами 2) Качественная генотипическая изменчивость
	Формы, разделенные хиатусом, совместно не встречаются	3) Данные формы являются разными внутривидовыми таксонами одного вида 4) Качественная определенная изменчивость
Две формы различаются по какому-то признаку, но хиатус отсутствует		5) Количественная генотипическая изменчивость 6) Количественная определенная изменчивость

Вид – это то, что опытный систематик считает видом 😊

Таблица 1. Категории таксономической иерархии

Латинские названия таксономических категорий			Русские названия таксономических категорий	
Зоология	Ботаника	Бактериология	Зоология	Ботаника
REGNUM Subregnum	REGNUM Subregnum	REGNUS	ЦАРСТВО Подцарство	ЦАРСТВО Подцарство
Superphylum PHYLUM	DIVISIO/ PHYLUM	DIVISIO	Надтип ТИП	ОТДЕЛ/ ФИЛУМ
Subphylum	Subdivisio	Subdivisio	Подтип	Подотдел
Superclassis CLASSIS	CLASSIS	CLASSIS	Надкласс КЛАСС	КЛАСС
Subclassis Infraclassis	Subclassis	Subclassis	Подкласс Инфракласс	Подкласс
Superordo ORDO	Superordo ORDO	ORDO	Надотряд ОТРЯД	Надпорядок ПОРЯДОК
Subordo Infraordo	Subordo	Subordo	Подотряд Инфраотряд	Подпорядок
Superfamilia FAMILIA	FAMILIA	FAMILIA	Надсемейство СЕМЕЙСТВО	СЕМЕЙСТВО
Subfamilia	Subfamilia	Subfamilia	Подсемейство	Подсемейство
Supertribus Tribus Subtribus	Tribus Subtribus	Tribus Subtribus	Надтриба Триба Подтриба	Триба (Колено) Подтриба (Подколено)
GENUS Subgenus	GENUS Subgenus Sectio Subsectio Series Subseries	GENUS Subgenus	РОД Подрод	РОД Подрод Секция Подсекция Ряд Подряд
SPECIES Subspecies (Varietas)	SPECIES Subspecies Varietas Subvarietas Forma Subfirma	SPECIES Subspecies= Varietas	ВИД Подвид (Вариетет)	ВИД Подвид Разновидность Подразновидность Форма Подформа

Таблица 2.2.7.A. Названия наиболее употребимых рангов таксонов в порядке от более высоких к более низким

Единственное число	Множественное число	Сокращение	Русский термин	В зоологической систематике	В ботанической систематике
				данный ранг используется как:	
imperium	imperia	imp.	империя	основной	основной
regnum	regna	regn.	царство	основной	основной
phylum	phyla	phyl.	тип	основной	—
divisio	divisiones	div.	отдел	—	основной
classis	classes	cl.	класс	основной	основной
legio	legiones	leg.	легион	дополнит.	—
cohors	cohortes	coh.	когорта	дополнит.	—
ordo	ordines	ord.	отряд, порядок	основной	основной
familia	familiae	fam.	семейство	основной	основной
tribus	tribus	tr.	триба	дополнит.	дополнит.
genus	genera	gen.	род	основной	основной
sectio	sectiones	sect.	секция	—	дополнит.
series	series	ser.	серия	—	дополнит.
species	species	sp.	вид	основной	основной
varietas	varietates	var.	разновидность	дополнит.	дополнит.
forma	formae	f.	форма	дополнит.	дополнит.

Carcharodon carcharias Linnaeus, 1758 – большая белая акула

Carcharodon (Leptodon) carcharias taurus (Linnaeus, 1758)

Таблица 2.2.7.Б. Префиксы для образования дополнительных рангов
(в порядке от более высоких к более низким)

Латинский	Русский	Примечание
super-	над-	не может использоваться для рода и вида
sub-	под-	может использоваться для всех рангов
infra-	инфра-	в зоологии не может использоваться для рода и вида
subter-	субтер-	в зоологии не может использоваться для рода и вида

Омонимия – два (или более) объективно различных, т.е. основанных на разных типах, названия оказываются одинаковыми

Синонимия – один и тот же вид или род получает (по разным причинам) два и более разных названия.

Объективные синонимы – два разных названия, основанные на одном и том же типовом виде для рода или на одном и том же типовом экземпляре для вида

Субъективные синонимы – названия различных таксонов, основанные на различных типах (разных экземплярах для видов, разных типовых родах для семейства) которые, по мнению определенного систематика, принадлежат к одному и тому же таксону

Genre *Hypotodus* JAEKEL, 1895

Espèce-type: *Lamna (Odontaspis) verticalis* AGASSIZ, 1843

Hypotodus verticalis (AGASSIZ, 1843)
(Pl. 4)

Pour la synonymie, voir WARD, 1988, en supprimant de sa liste les références concernant les espèces *Jaekelotodus robustus* (LERICHE, 1921) et *Glueckmanotodus heinzellini* (CASIER, 1966).

- 1843 — ? *Lamna (Odontaspis) hopei*, AGASSIZ, p. 293, pl. 37a, fig. 28 et 30, non fig. 27 et 29.
- 1843 — *Lamna (Odontaspis) verticalis*, AGASSIZ, p. 294, pl. 37a, fig. 31-? 32.
- 1874 — *Otodus vincenti* WINKLER, p. 11, fig. 9-10.
- 1908 — *Lamna verticalis*, AG.; LERICHE, p. 11, pl. 1, fig. 11 (non fig. 10).
- 1946 — *Odontaspis verticalis* (AG.); CASIER, p. 70, pl. 2, fig. 9 a-d.
- 1946 — *Odontaspis hopei* (AG.) *affinis* CASIER, p. 64, pl. 2, fig. 11 a (non 11 b-c).
- 1986 — *Synodontaspis hopei* (AG.); NOLF, pl. 25, fig. 8 (non fig. 1-7, 9-15).
- 1986 — *Hypotodus verticalis* (AG.); NOLF, pl. 29, fig. 3-7.
- 1987 — *Hypotodus verticalis* (AG.); CAPPETTA, p. 87, fig. 78 D-F.
- 1988 — *Synodontaspis hopei* (AG.); NOLF, pl. 25, fig. 8 (non fig. 1-7, 9-15).
- 1988 — *Hypotodus verticalis* (AG.); NOLF, pl. 29, fig. 3-7.
- 1988 — *Carcharias hopei* (AG.); WARD, p. 1, pl. 2, fig. 1-17 (non 18-21), p. 6, text-fig. 2.
- 1990 — *Carcharias hopei* (AG.); KEMP *et al.*, p. 8, pl. 8, fig. 1-3.

Description: Les dents antérieures (Pl. 4, Fig. 1) sont hautes, avec une cuspside assez nettement triangulaire en vue linguale (ou labiale) et une racine à lobes longs

Таблица 3.1.1.A. Области применения кодексов и стандартные окончания названий: МКЗН — Международный кодекс зоологической номенклатуры; МКБН — Международный кодекс ботанической номенклатуры; МКНБ — Международный кодекс номенклатуры бактерий; серая заливка — такой ранг отсутствует в данной номенклатуре

Ранги таксонов	МКЗН	МКБН	МКНБ
ordo	кодексом	-ales	
subordo	не регламентируется	-ineae	
superfamilia	-oidea		
familia	-idae группа	-aceae	
subfamilia	-inae семейства	-oideae	
tribus	-ini	-eae	
subtribus		-inae	
genus	группа	родовое название	группа
subgenus	рода		рода
sectio		внутриродовые	
subsectio			
series		эпитеты	
subseries			
species	группа	видовое название	группа
subspecies	вида		вида
varietas		внутривидовые	
subvarietas			
forma		эпитеты	
subforma			

Таблица 3. Системы стандартизации таксонов животных выше ранга семейства, предложенные разными авторами

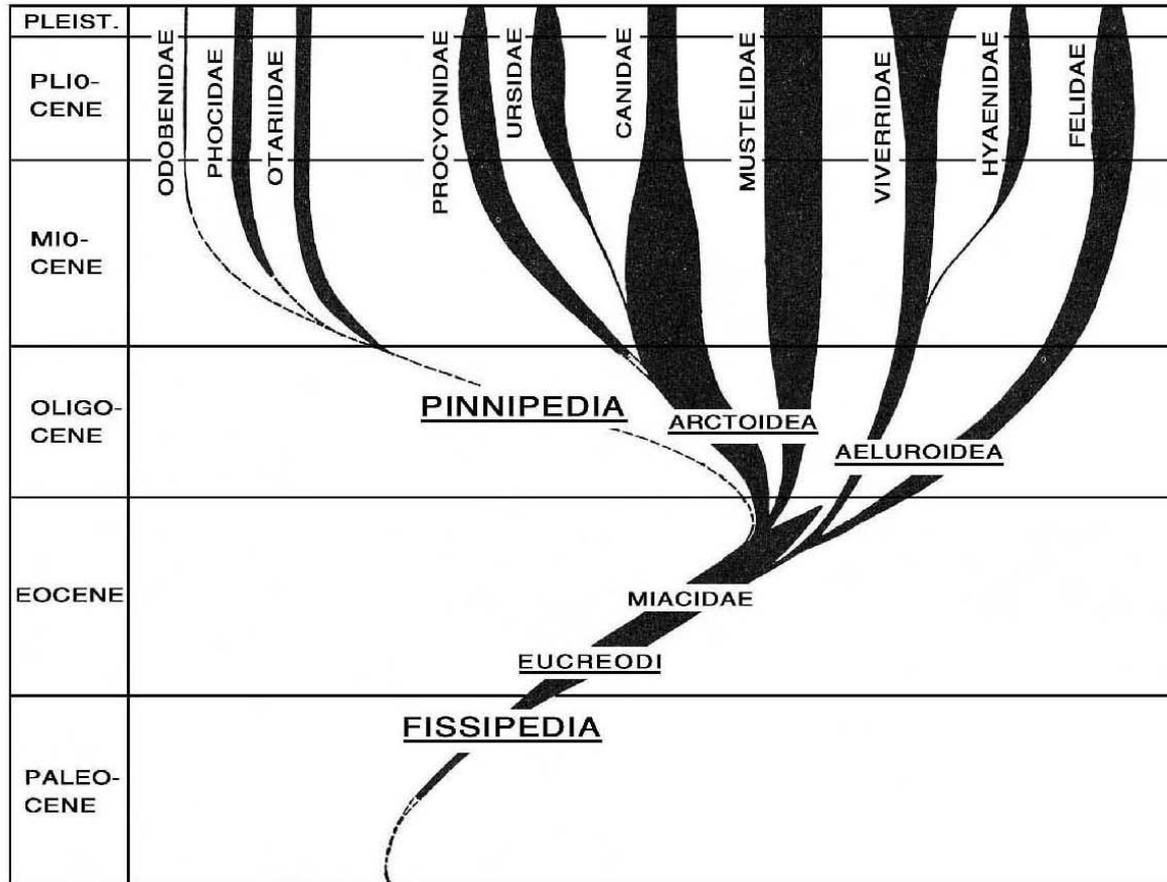
Категория	Родендорф, 1977	Старобогатов, 1984
Надтип	-ozoidea	-ozoacei
Тип	-ozoa	-ozoes
Подтип	-ozoina	-ozoines
Инфратип	-ozoines	-ozoae
Надкласс	-odea	-idees
Класс	-oda	-iodes
Подкласс	-ona	-iones
Надотряд	-idea	-iformii
Отряд	-ida	-iformes
Подотряд	-ina	-oidei
Инфраотряд	-omorpha	-oinei

Таблица 2. Стандартизированные кодексами и обычно применяемые окончания названий таксонов выше родового ранга.

	Ботаника	Бактериология	Зоология	
Отдел	<i>phyta/mycota</i>		Тип	
Подотдел	<i>phytina/mycotina</i>		Подтип	
Класс	<i>phyceae/ mycetes/ opsidea</i>		Класс	
Подкласс	<i>phycidae/ mycetidae /idae</i>		Подкласс Надотряд	
Порядок	ales	ales	Отряд	
Подпорядок	inea	inea	Подотряд	
Надсемейство			oidea	Надсемейство
Семейство	aceae	aceae	idae	Семейство
Подсемейство	oidea	oidea	inae	Подсемейство
Триба	eae	eae	ini	Триба
Подтриба	inae	inae	Подтриба	

Таблица 4. Номенклатурные типы в зоологии и ботанике.

Терминология МКЗН	Понятие	Понятие	Терминология МКБН
Голотип	Один экземпляр (элемент), который автор указал как номенклатурный тип		Голотип
Лектотип	Экземпляр (элемент), который был выбран в качестве номенклатурного типа, если голотип не был указан		Лектотип
Паратип	Каждый экземпляр типовой серии, если голотип был выделен	Каждый экземпляр помимо голотипа, изотипа или синтипа, который упоминался при первоописании	Паратип
Синтип	Каждый экземпляр типовой серии, если голотип не выделен	Каждый из экземпляров, цитируемых при первоописании, если голотип не выделен	Синтип
Паралектотип	Каждый экземпляр типовой серии после выделения лектотипа	_____	_____
Неотип	Экземпляр, выделенный в качестве номенклатурного типа не из типовой серии, в случае, если типовая серия не сохранилась	Экземпляр, выбранный номенклатурным типом при отсутствии материала на котором основано название таксона	Неотип
Типовая серия	Все экземпляры на которых основано выделение таксона. Включает голотип и паратипы или лектотип и паралектотипы, если типовой экземпляр выделен, либо синтипы, если типовой экземпляр не выделен	_____	_____
_____	_____	Каждый дубликат голотипа, часть одного одновременного сбора	Изотип
_____	_____	Дубликат синтипа – часть одного одновременного сбора	Изосинтип
_____	_____	Экземпляр, выбранный для того, чтобы прояснить понимание таксона, если первоначальный материал или неотип не могут быть идентифицированы для точного применения названия	Эпитип

B**FIGURE 7.1**

(A) Agassiz's classification of fishes in which he linked fossil and Recent taxa together (Agassiz 1844:170). (B) The phylogeny of the Carnivora. (From Romer, A.S., *Vertebrate Paleontology*, 3rd ed., University of Chicago Press, Chicago, 1966, Figure 337. With permission.)

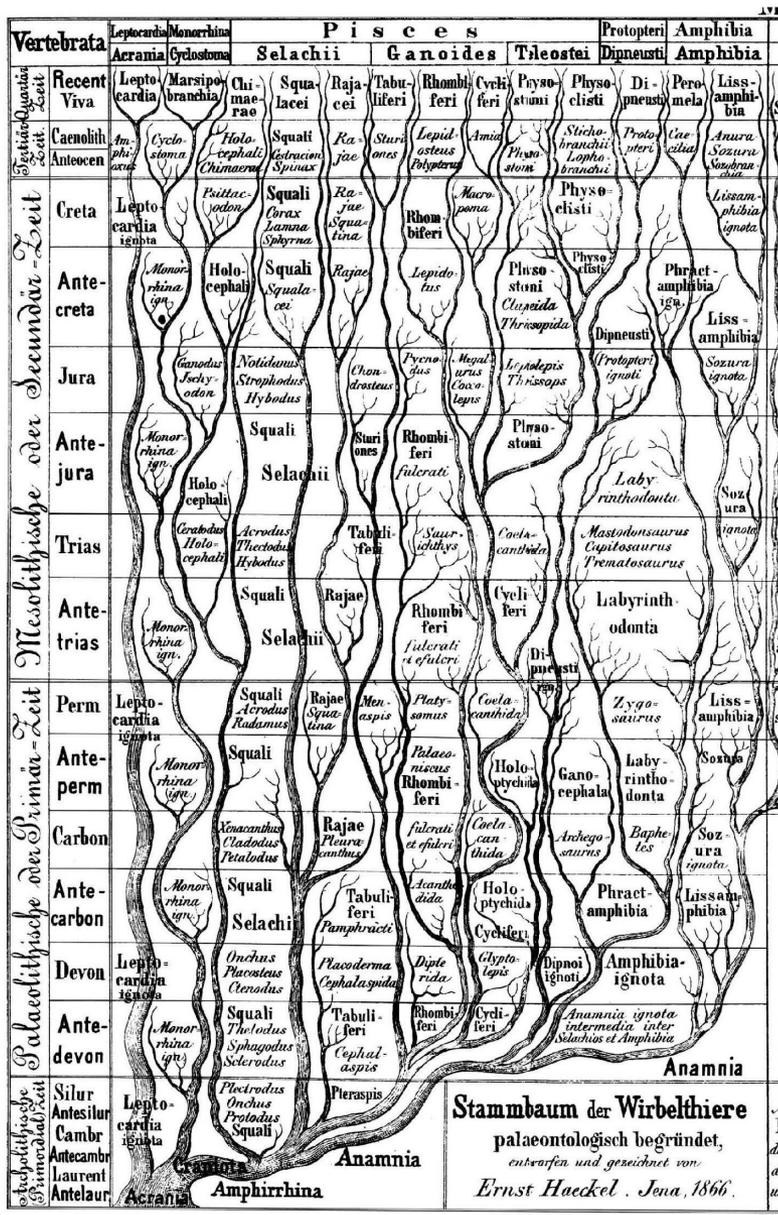


FIGURE 7.3 Phylogenetic tree of lower vertebrates, from Haeckel (1866:Plate 7 [part]). This is essentially a phylogenetic tree based on the ideas of pre-Darwinian classification. Notice that there are no animals of equal rank placed on the branches. There are no specified ancestors. Ideas of ancestry are contained solely in the graphic depiction of branches.

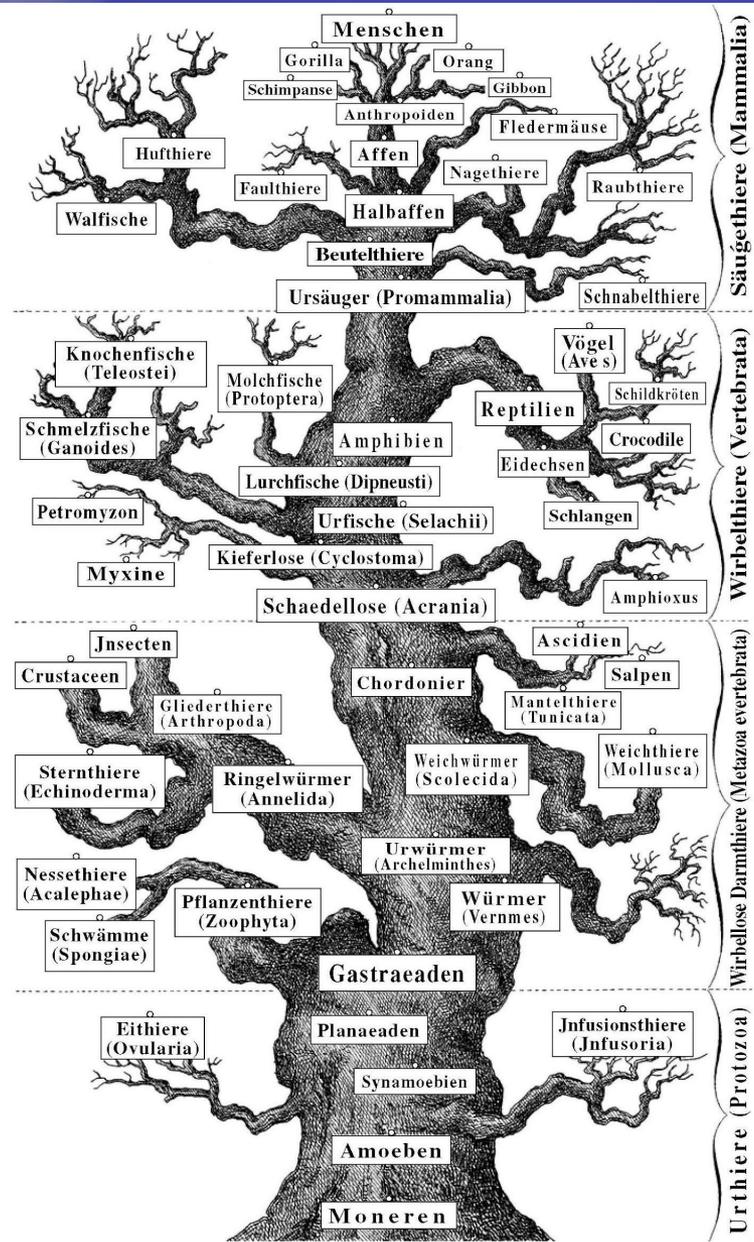
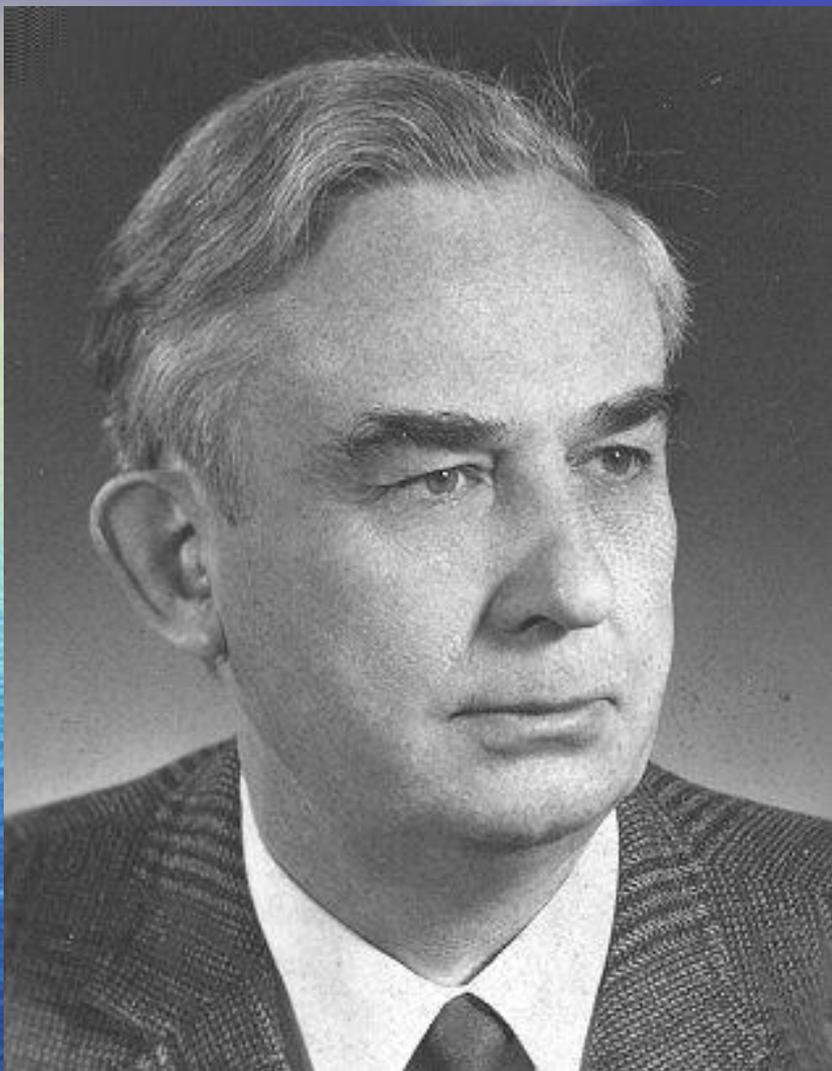


FIGURE 7.4 Phylogenetic tree of the animal kingdom from Haeckel (1874). In comparison with his earlier tree (Figure 7.3) this one shows ancestors on the trunk and branches leading to terminal taxa.



Вилли Хенниг (Willi Hennig)

1913-1976

Немецкий энтомолог, создатель
филогенетической систематики
(кладистики)

1966a. Phylogenetic systematics / transl. from
Germ. by D.D. Davis and R. Zangerl. —
Urbana : Univ. Illinois Press. — 263 p.

Апоморфия (апоморфный признак) – прогрессивный, продвинутый признак

Плезиоморфия – исходный, примитивный признак.

Это два альтернативных состояния признака (а – А), до и после произошедшего с признаком эволюционного изменения.

Аутапоморфия – апоморфия, отличающая данный таксон от всех прочих

Синапоморфия – апоморфия, общая для нескольких таксонов

Симплезиоморфия – плезиоморфия, общая для нескольких таксонов

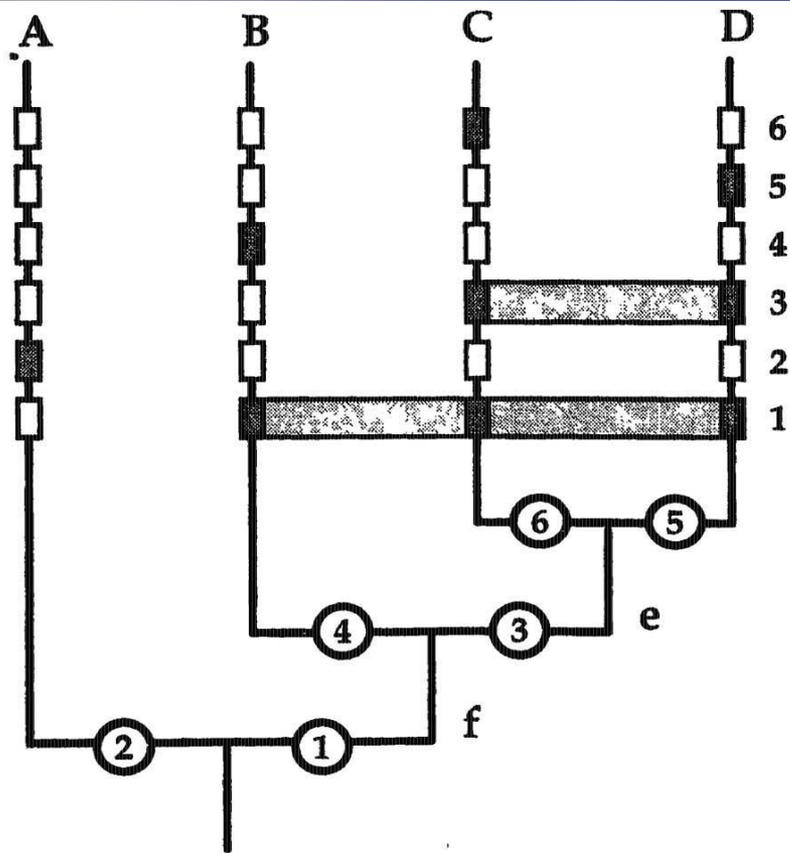


Рис. 2.1.4.2.А. Реконструкция филогенетических отношений четырех таксонов (А, В, С и D) на основе анализа шести признаков (1–6); е и f — гипотетические предковые таксоны, белые прямоугольники — плезиоморфное состояние признака, черные прямоугольники — апоморфное состояние признака, серая линия, оседеляющая ветви — синапоморфия.

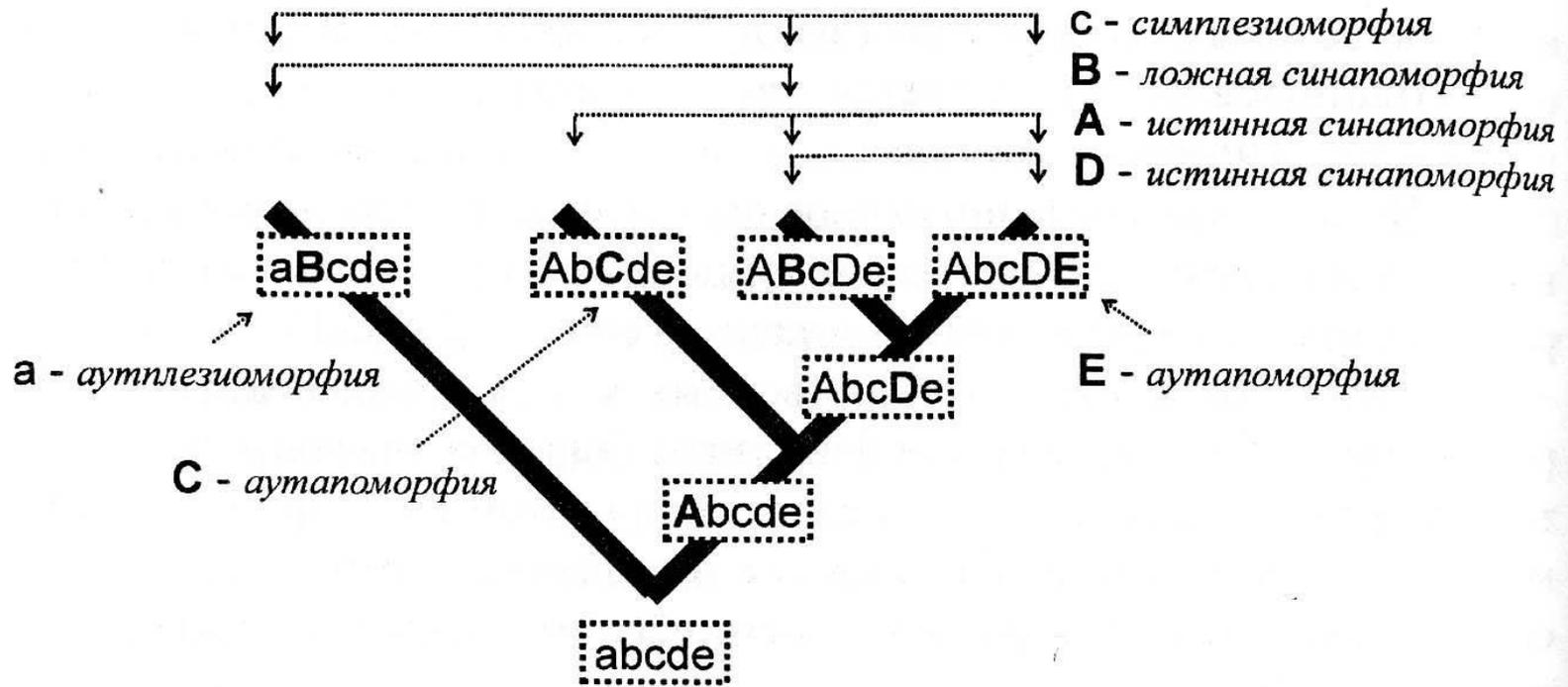


Рис. 36. Категории сходства, связанные с концепцией синапоморфии. Заглавными буквами обозначены апоморфии, строчными — плезиоморфии; полужирным выделены апоморфии, определяющие группы

Виды	Признаки		
	x	y	...
A	x1	y2	...
B	x2	y1	...
C	x2	y2	...
D	x1	y1	...
...

Допустим, что x1 — плезиоморфия, x2 — апоморфия, y1 — плезиоморфия, y2 — апоморфия.

Виды	Признаки		
	x	y	...
A	x1	y2	...
B	x2	y1	...
C	x2	y2	...
...

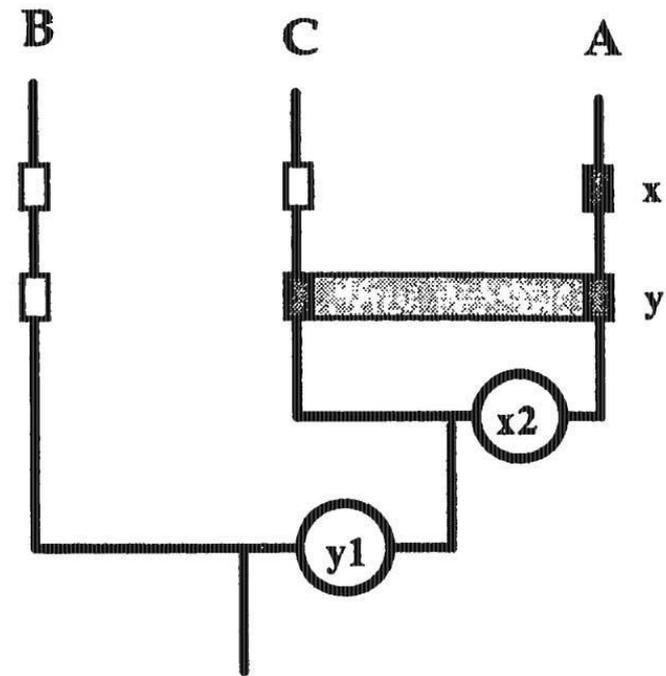
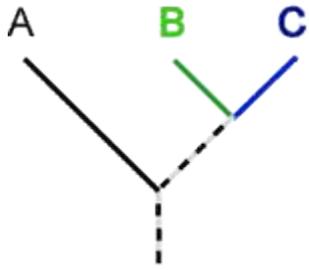
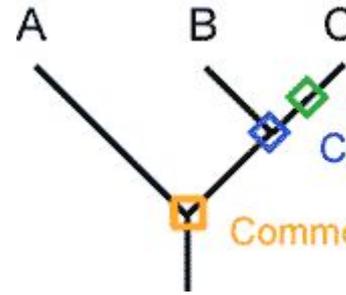


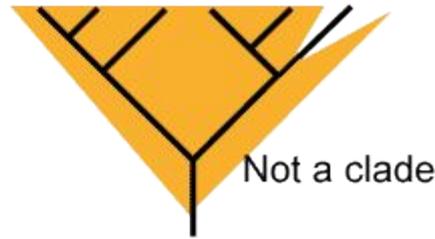
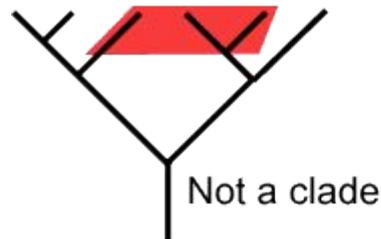
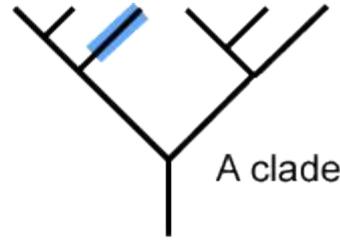
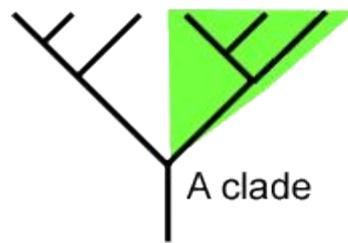
Рис. 2.1.4.5. Филогенетическое древо при допущении, что x2 — плезиоморфия, x1 — апоморфия, y1 — плезиоморфия, y2 — апоморфия x.

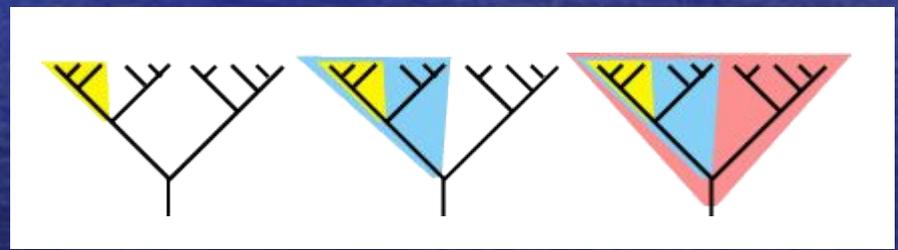
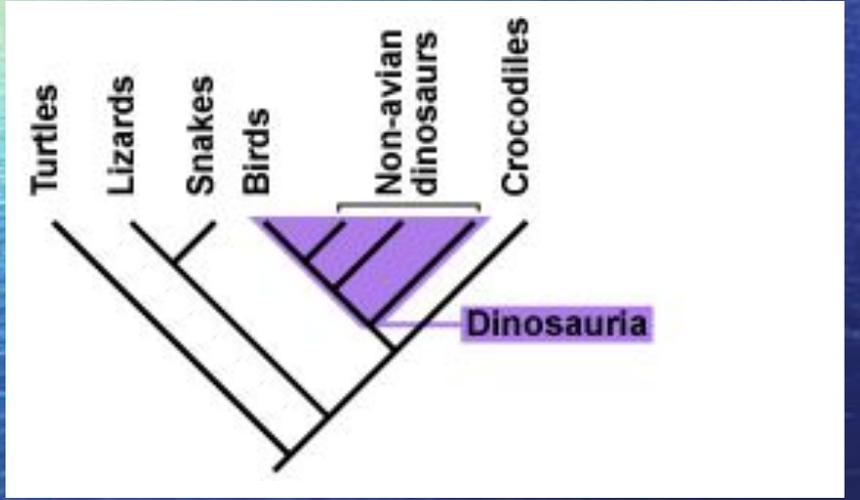
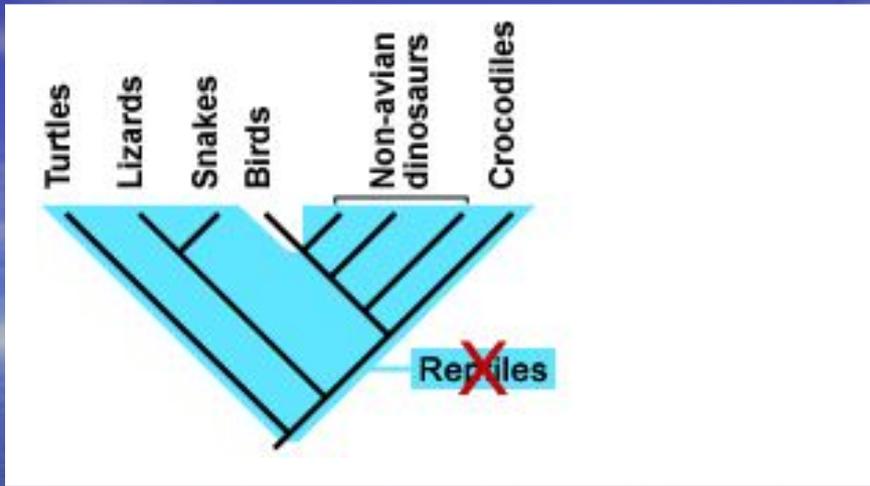
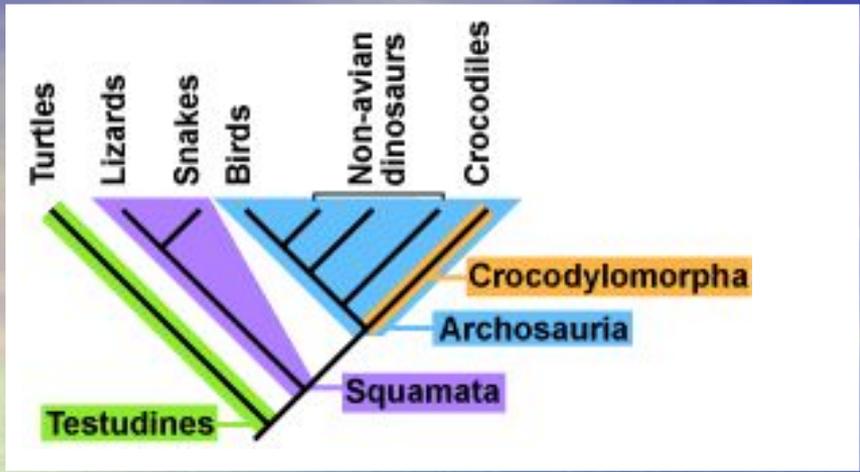


- Unique history of B
- Unique history of C
- - - Shared history of B and C



- Unique ancestor of C
- Common ancestor of B and C
- Common ancestor of A, B and C





Монофилетический – s.l.: таксон, включающий в себя предка, общего для всех членов этого таксона, а также все филогенетические ветви, идущие от этого предка к каждому члену этого таксона.

M.sl. = голофилетические (монофилия s.s.) и парафилетические

Голофилетический – таксон, который не только включает в себя общего предка и все филогенетические ветви, идущие от этого предка к каждому члену этого таксона, но также всех потомков этого предка.

Парафилетический - таксон, включающий в себя предка, общего для всех членов этого таксона, и все филогенетические ветви, идущие от этого предка к каждому члену этого таксона, но включающего не всех потомков этого предка.

Полифилетический – таксон, не включающий в себя предка, общего для всех членов данного таксона, либо не включающий в себя какие-либо участки филогенетических ветвей, соединяющий общего предка таксона с каким либо из его членов.

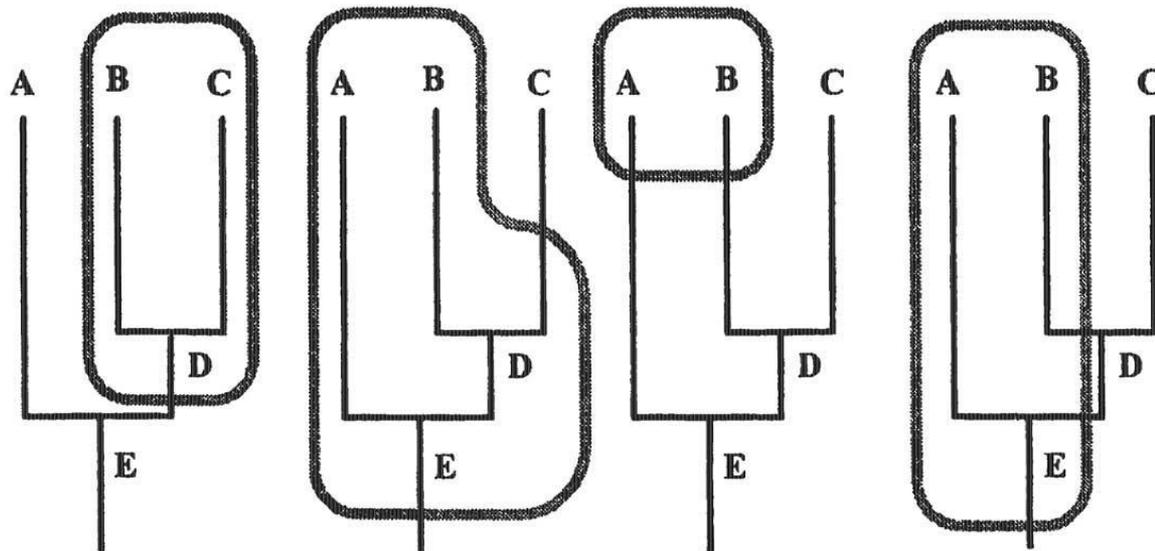
Голофилия**Парафилия****Полифилия**

Рис. 2.2.1. Выделение голо-, пара- и полифилетических таксонов (обведены широкой серой линией) в группе, состоящей из трех современных таксонов А, В и С. Филогенетические связи показаны тонкой черной линией.

2.2.1.3. Разъяснение понятий голо-, пара- и полифилия

Совсем кратко определения этих понятий можно выразить схемой:

Рассматриваемый таксон	включает всех потомков своего общего предка	включает не всех потомков своего общего предка
включает общего предка	Голофилетический	Парафилетический
не включает общего предка	Полифилетический	

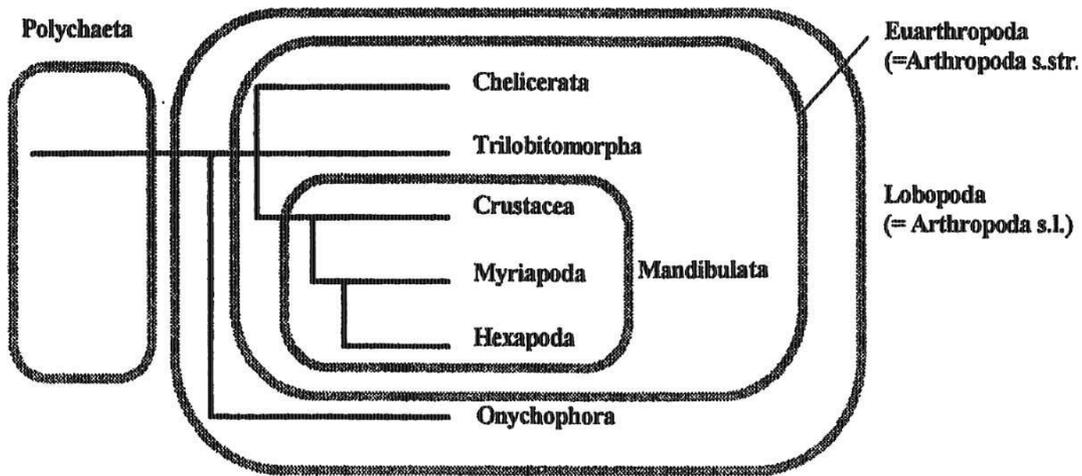


Рис. 2.1.4.2.В. Кладограмма, соответствующая теории о голофилии Arthropoda (показана тонкой черной линией, начало слева)

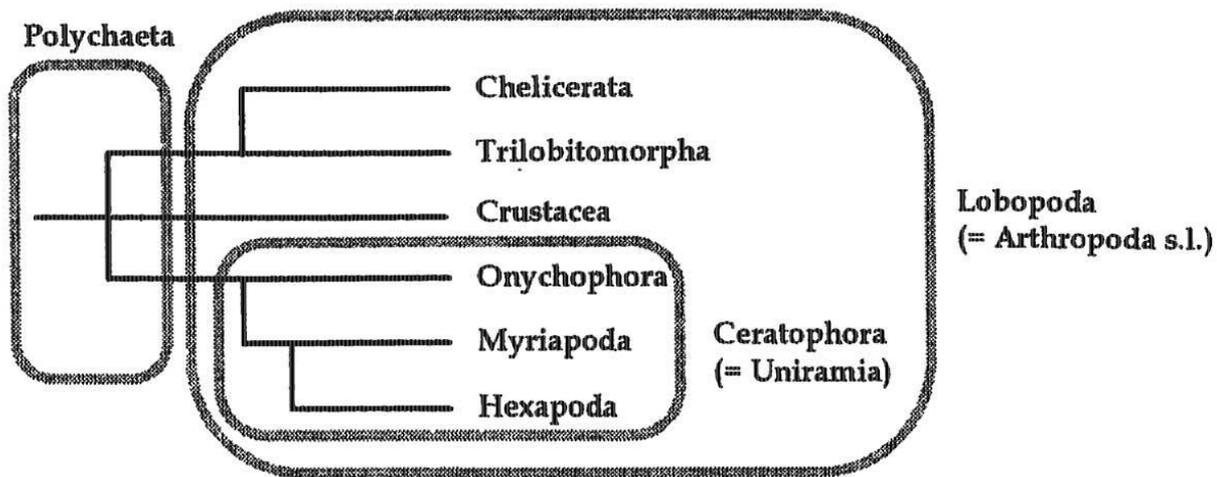


Рис. 2.1.4.2.Б. Кладограмма, соответствующая теории о полифилии Arthropoda (показана тонкой черной линией, начало слева)



Рис. 2.1.1.А. Филогенетическое дерево Amniota в масштабе геологических периодов и эр.

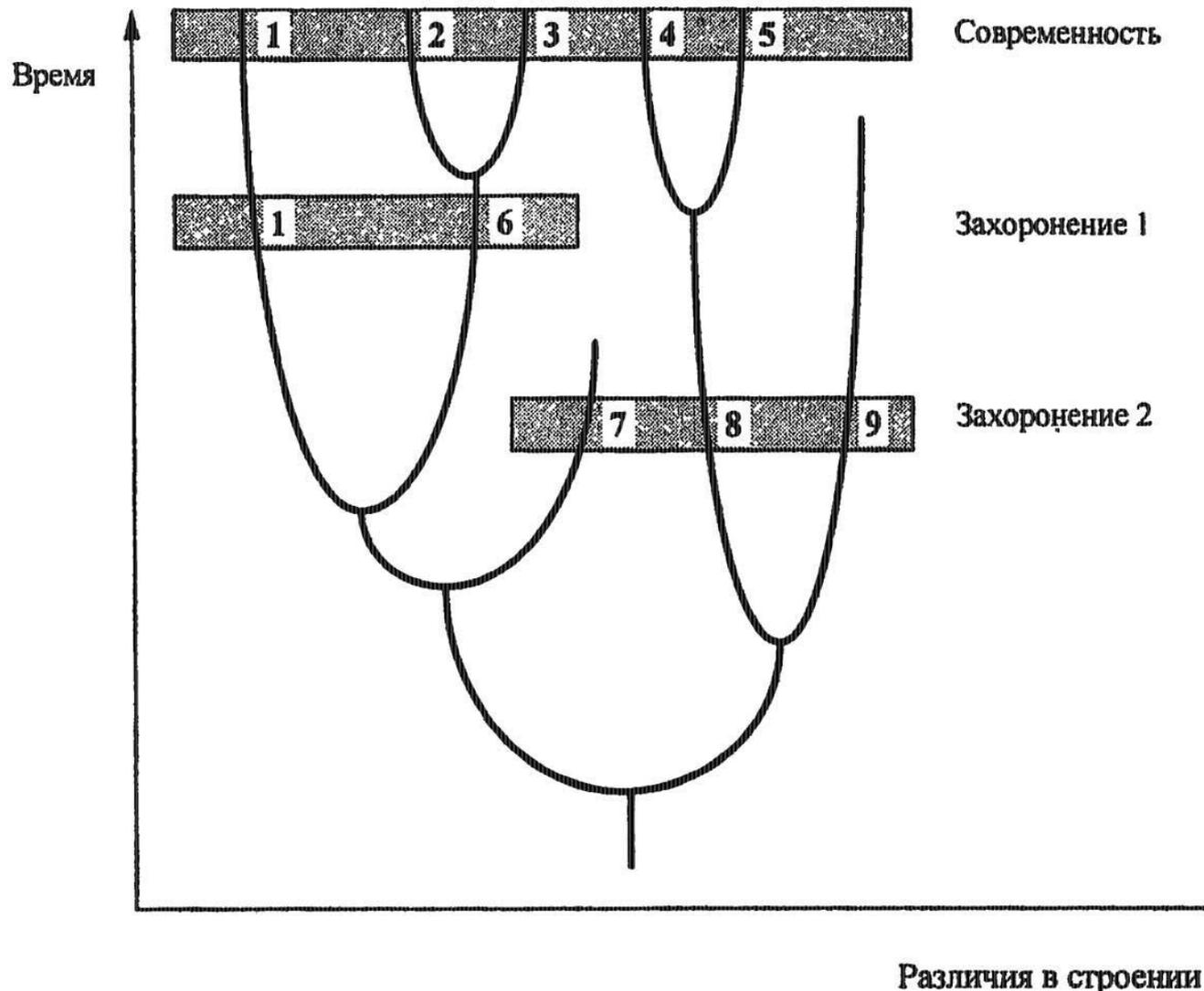


Рис. 1.1. Филогения абстрактной группы живых организмов (об изображениях филогении см. 2.1.1). Пунктировкой показаны временные срезы, поддающиеся изучению. Цифрами 1–9 обозначены известные виды.

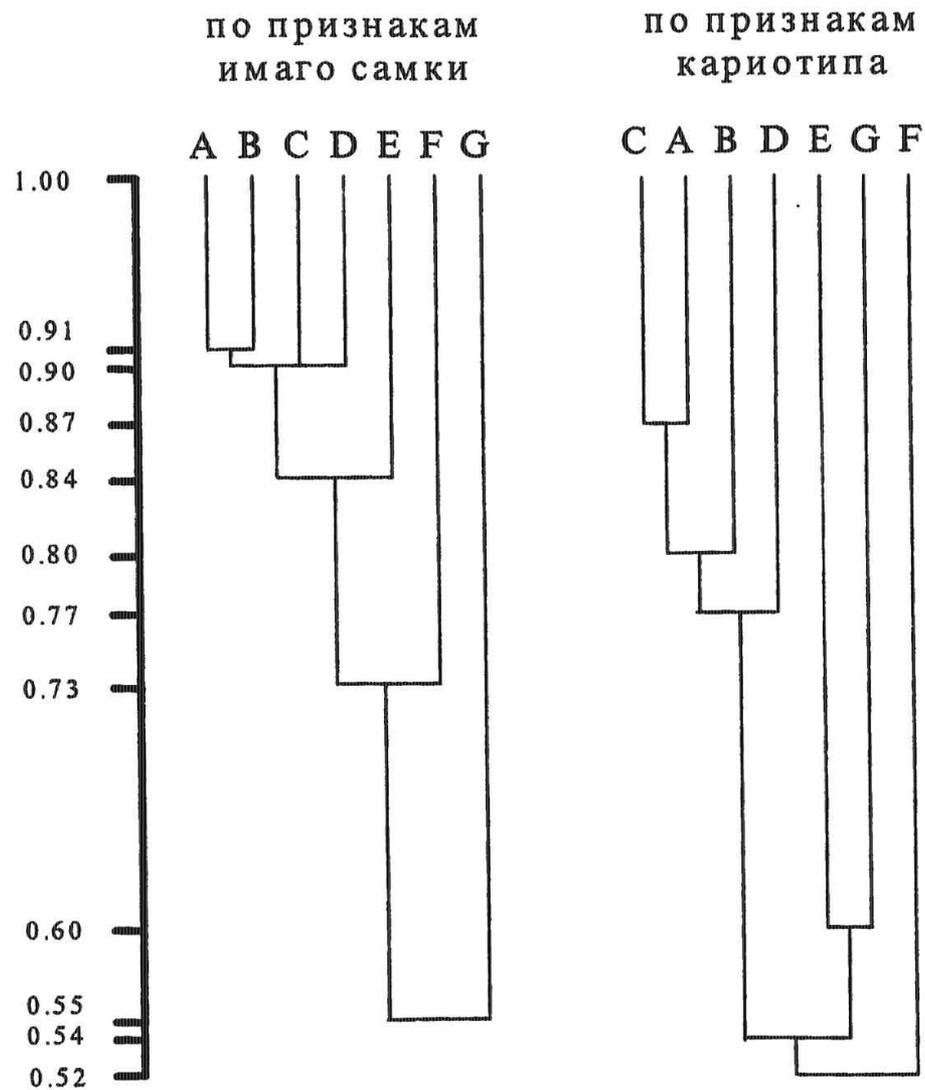


Рис. 2.2.2.А. Разные фенограммы для одного и того же набора видов из рода *Chironomus*, построенные на основе разных признаков. А — *Ch. plumosus*, В — *Ch. bonus*, С — *Ch. usenicus*, D — *Ch. balatonicus*, Е — *Ch. entis*, F — *Ch. agilis*, G — *Ch. muratensis*. (по Логиновой, 1994).

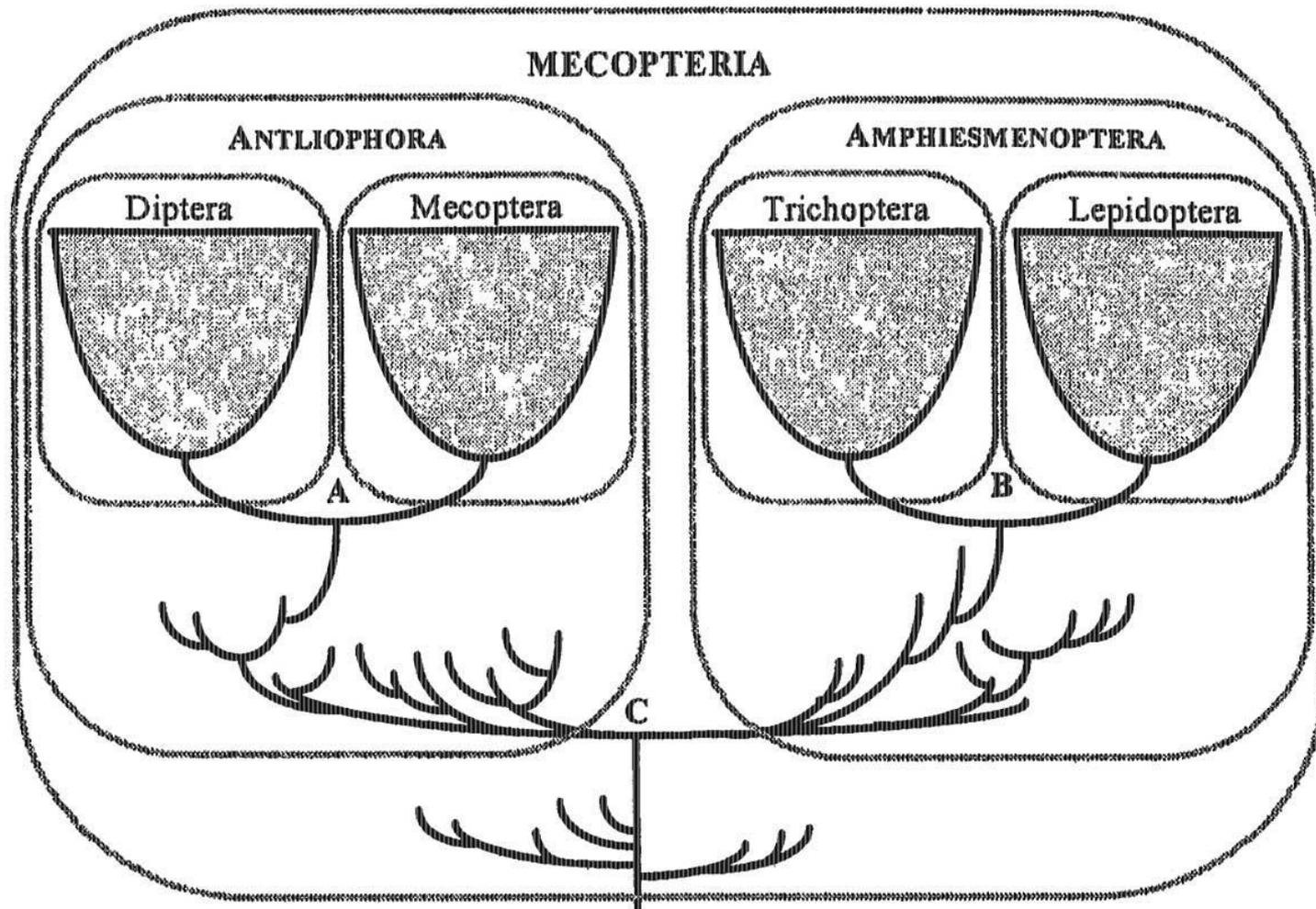


Рис. 2.2.3. Пример кладистической классификации: использовавшееся Хеннигом объединение отрядов двукрылых (Diptera), скорпионид (Mecoptera), ручейников (Trichoptera) и бабочек (Lepidoptera) в выше-стоящие таксоны. Черной линией показано филогенетическое дерево, серой линией — границы таксонов.

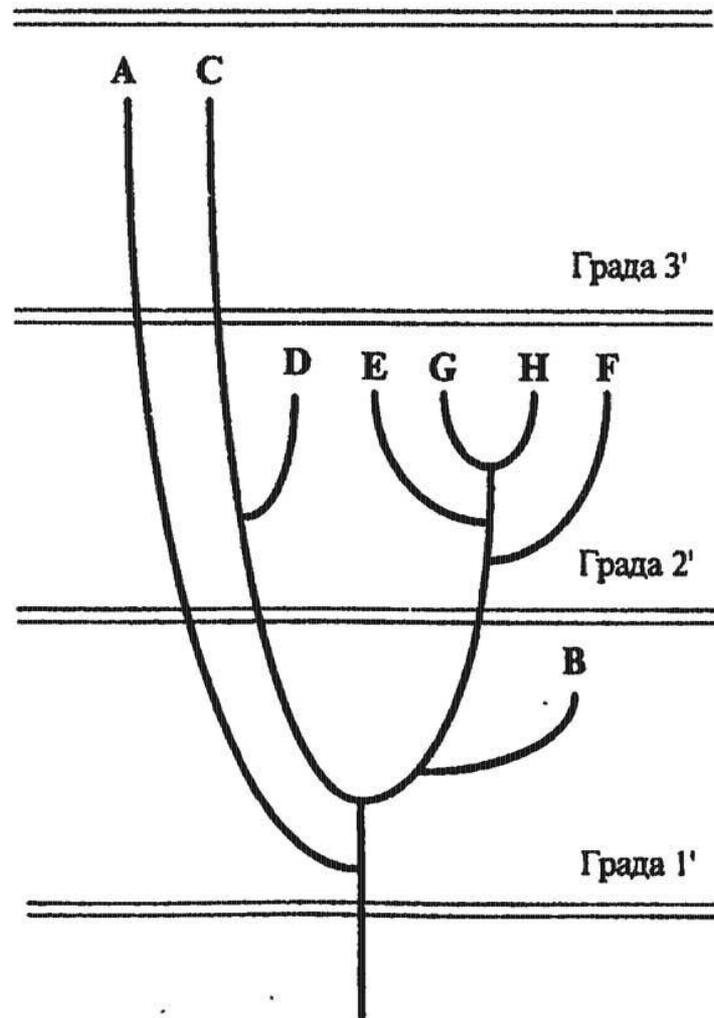
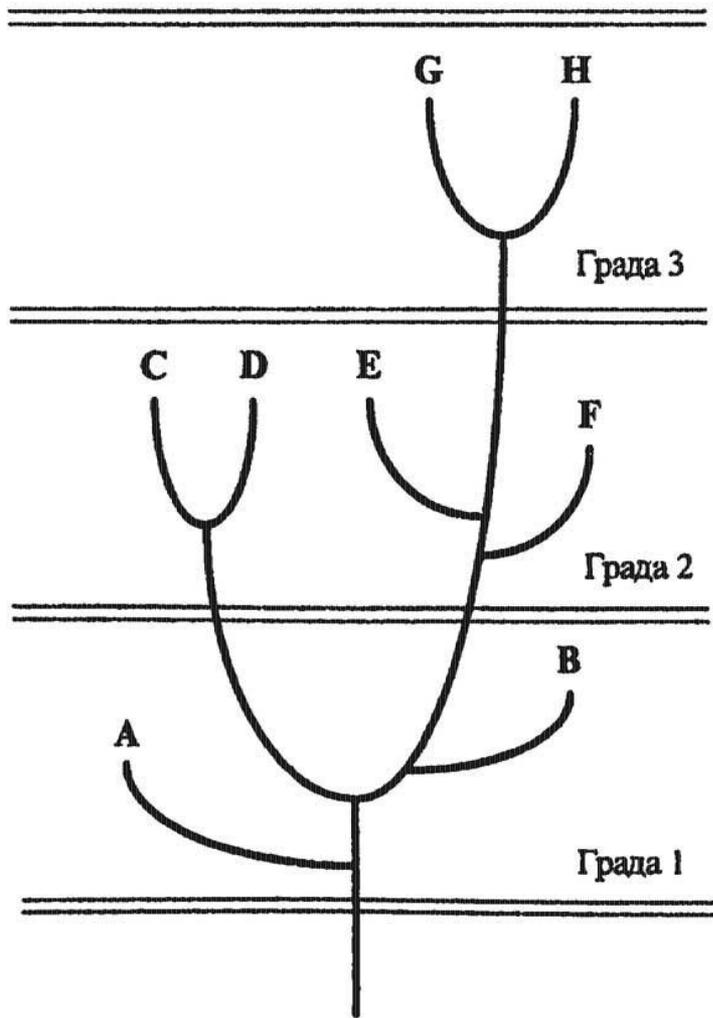


Рис. 2.2.4. Деление одного и того же филогенетического дерева (показано простой линией) на грады (разделены двойными горизонтальными линиями) двумя разными способами.

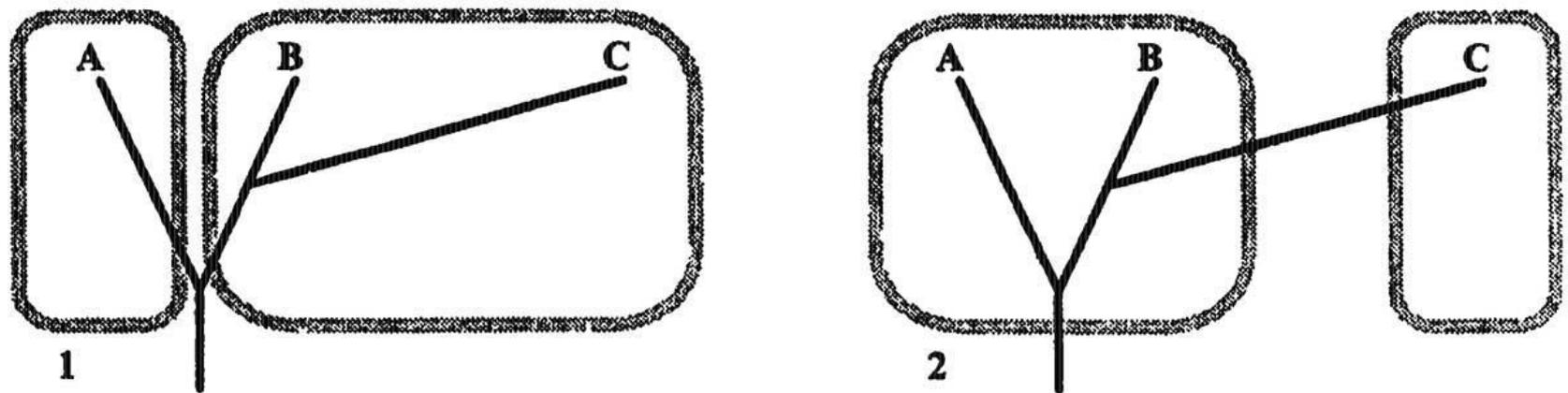


Рис. 2.2.5. Различие между кладистической (1) и традиционалистической (2) классификацией на основе одного и того же филогенетического дерева (показано черной линией, длина горизонтальных составляющих ветвей пропорциональна величине эволюционных изменений).

Парафил. Голофил. Парафил. Голофил. Голофил. Голофил.

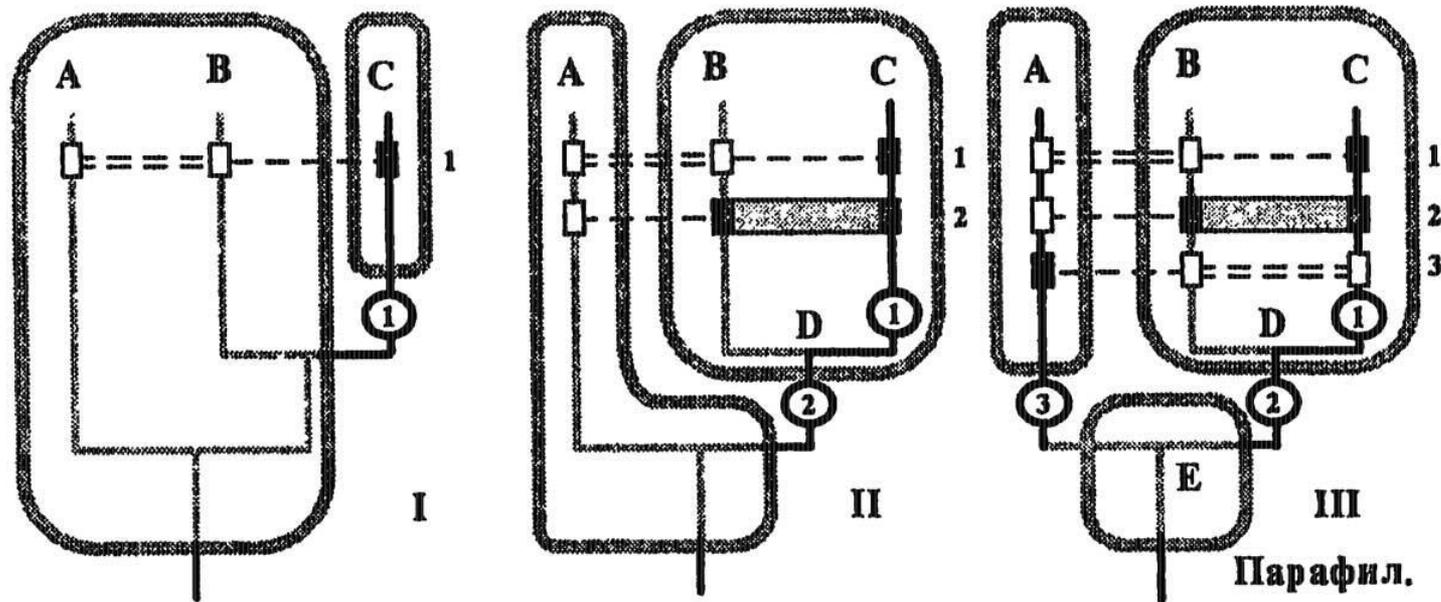
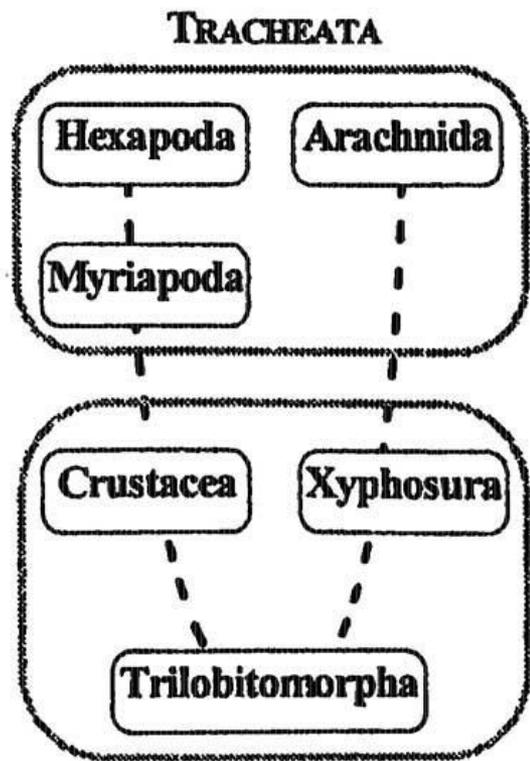
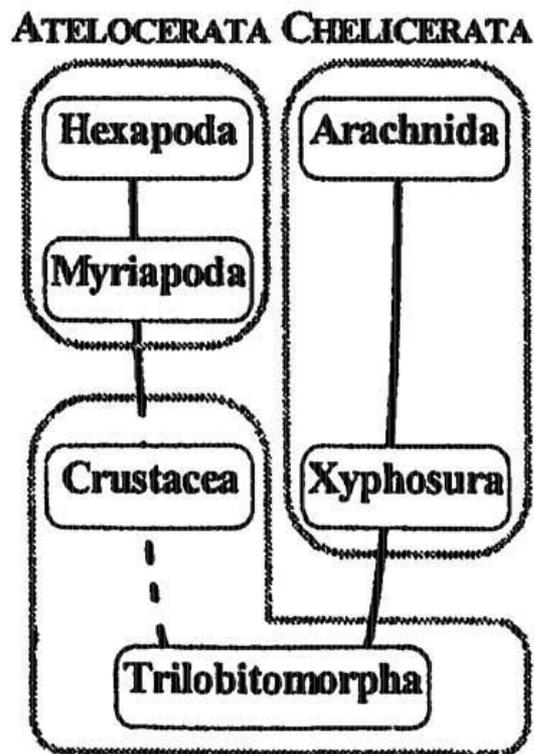


Рис. 2.2.6.Б. Изменение классификации организмов в процессе выявления новых апоморфий и реконструирования филогении. А–Е — таксоны (А–С — существующие, D, E — предковые и, как правило, гипотетические); тонкой черной линией показаны реконструированные участки филогенетического древа, тонкой светло-серой — его неизвестные участки; широкой темно-серой линией обведены таксоны; 1, 2, 3 — номера признаков; белый прямоугольник — плезиоморфное состояние признака; черный прямоугольник — апоморфное состояние признака; серая полоса, соединяющая ветви, — синапоморфия; двойная штриховая линия, соединяющая ветви, — симплезиоморфия; I, II, III — последовательные этапы изучения и соответствующие им классификации.



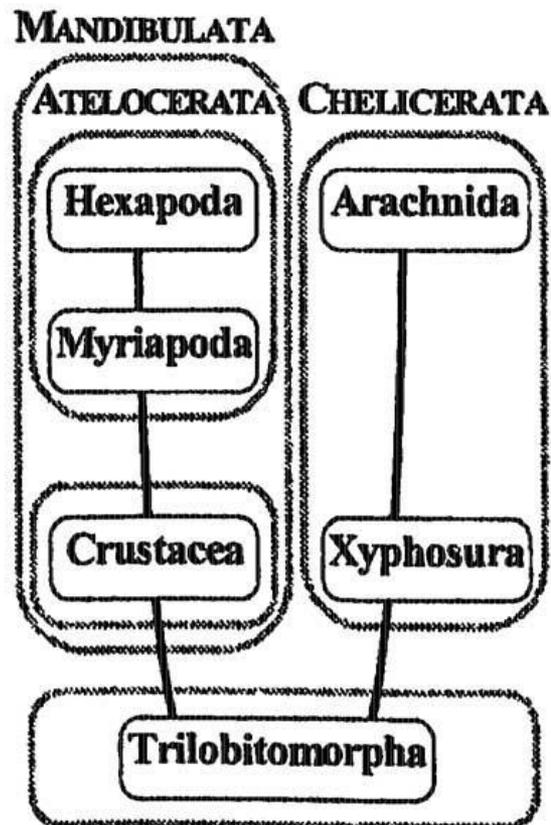
BRANCHIATA

по Haeckel, 1866



TELEIOCERATA

по Heymons, 1901



TRILOBITOMORPHA

по Snodgrass, 1937

Рис. 2.2.6.В. Последовательное развитие классификации членистоногих на основе теории о монофилии Arthropoda.

Таблица 2.2.7.В. Предложенное Хеннигом соответствие между временем дивергенции и рангами таксонов

Период, когда произошло обособление	Абсолютный ранг таксона
кембрий — начала девона	класс
конец девона — конец перми	отряд
начало триаса — конец раннего мела	семейство
начало позднего мела — конец олигоцена	триба



A



B



C



D



E

Fig. 1 A–E. Holomorphic specimens of synechodontiform taxa. —A. †*Paraorthacodus jurensis* (SMNS 88987/1). —B. †*Macrourogaleus bassei* (BSPG AS 1363, holotype). —C. †*Palidiplospinax enniskilleni* (NHML P.3189, holotype). —D. †*Synechodus* sp. (BSPG 1878 VI 6). —E. †*Sphenodus macer* (SMNS 80142/44). Scale bars equal 1 cm.

Appendix S6. List of morphological characters and character states of synechodontiform phylogenetic analysis

1. Dorsal fin endoskeleton composed of basal cartilage with a finspine [0]; with basal cartilage and no finspine [1]. (modified after #124 of App. 2).
2. Vertebrae of asterospondylic type: no [0]; yes [1]. (#145 of App. 2).
3. Dorsal fin spines present [0]; absent [1]. (#148 of App. 2).
4. Number of dorsal fins: two [0]; single [1]. (#149 of App. 2).
5. Large paired fins present [0]; absent [1]. (#150 of App. 2).
6. Small and rounded tips of paired fins absent [0]; present [1]. (#152 of App. 2).
7. Rounded and small dorsal fins absent [0]; present [1]. (#153 of App. 2).
8. Longitudinal extension of base of anal fin absent [0]; present [1]. (#154 of App. 2).
9. Clutching type dentition absent [0]; present [1]. (#155 of App. 2).
10. Tearing type dentition present [0]; absent [1]. (#156 of App. 2).
11. Cutting-clutching type dentition absent [0]; present [1]. (#158 of App. 2).
12. Enameloid extensions of labial crown face under first pair of cusplets absent [0]; present [1]. (#171 of App. 2).
13. Enlarged placoid scales on caudal crest absent [0]; present [1].
14. Down-curved root lobes in labial view in some tooth positions absent [0]; present [1].
15. Low root of teeth absent [0]; present [1].
16. Nearly horizontally basal face of root present [0]; absent [1].
17. Root shelf absent [0]; absent [1].
18. Well-developed nutritive grooves on the labial root face absent [0]; present [1].
19. Parasymplysiat teeth absent [0]; present [1].
20. Crown-shoulder present [0]; absent [1].
21. Crown jutting out over crown/root junction [0]; not jutting out over crown/root junction [1].
22. Crown perpendicular to root [0]; not perpendicular to root [1].
23. Symmetrical main cusp present [0]; absent [1].
24. First pair of lateral cusplets at least half the height of the main cusp ($\geq 50\%$) [0]; distinctively smaller ($< 50\%$) [1].
25. Even number of cusplets distal and mesial to main cusp absent in lateral teeth [0]; present in lateral teeth [1].
26. Linear decrease of cusplet height absent [0]; present [1].

Appendix S7. Data matrix of the synechodontiform phylogenetic analysis (Multistate characters [01] = *)

	1	1111111112	2222222223	33333
	1234567890	1234567890	1234567890	12345
† <i>Hybodus</i>	0000000000	0000000000	00000**000	00000
† <i>Welcommia</i>	???????01	10?00000?0	1011001011	11100
† <i>Pseudonotidanus</i>	?100????01	10000010?0	1011001011	11100
† <i>Rhomphaiodon</i>	???????10	00?01010?0	11011??000	00101
† <i>Mucrovenator</i>	???????00	00?01010?0	11011??000	00101
† <i>Sphenodus</i>	?110000000	0000001010	1101000010	10001
† „pre-Jurassic <i>Syn.</i> “	???????10	00?01010?0	1101001000	00101
† <i>Palidiplospinax</i>	0100000?00	0001110100	11010000**	10101
† „ <i>Synechodus</i> “ <i>prorogatus</i>	???????10	01?11101?0	1101000100	*0110
† <i>Synechodus</i>	?110000?00	0001110110	01010010**	10110
† <i>Paraorthacodus</i>	1111000000	0000101111	1000110000	00100
† <i>Macrourogaleus</i>	??11111100	001010?1?1	1000110000	00100

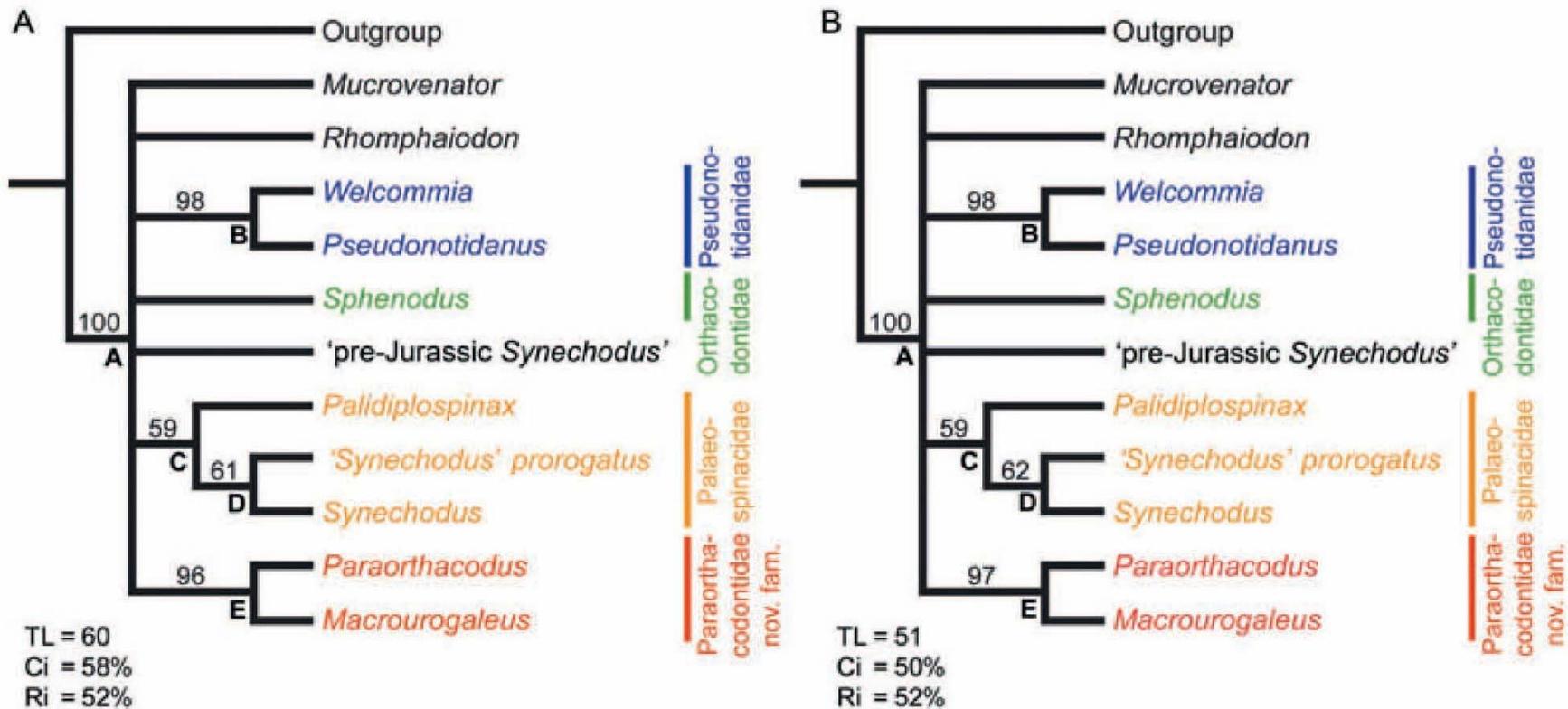


Fig. 4 A, B. Phylogenetic hypothesis of synechodontiform sharks excluding (A) and including (B) uninformative characters, conducted by using heuristic search with tree-bisection-reconnection of branch-swapping. Strict consensus trees of both 16 equally most parsimonious trees; numbers above branches are bootstrap estimates. For character distribution and corresponding character states based on DELTRAN or ACCTRAN optimization, see Appendix S8.

Appendix S9. Taxonomy of †Synechodontiformes based on the phylogenetic analysis presented here.

Superclass Chondrichthyes Huxley, 1880

Class ELASMOBRANCHII Bonaparte, 1838

Cohort EUSELACHII Hay, 1902

Subcohort NEOSELACHII Compagno, 1977

Superorder GALEOMORPHII Compagno, 1973

Order †SYNECHODONTIFORMES Duffin & Ward, 1993

Family *INCERTAE SEDIS*

†”pre-Jurassic *Synechodus*”

†*Rhomphaiodon* Duffin, 1993a

†*Mucrovenator* Cuny *et al.*, 2001.

Family †PSEUDONOTIDANIDAE Underwood & Ward, 2004

†*Pseudonotidanus* Underwood & Ward, 2004

†*Welcommia* Cappetta, 1990

Family †ORTHACODONTIDAE Beaumont, 1960

†*Sphenodus* Agassiz, 1843

Family †PALAEOSPINACIDAE Regan, 1906

†*Palidiplospinax* Klug & Kriwet, 2008

†„*Synechodus*“ *prorogatus* (Kriwet, 2003a)

†*Synechodus* Woodward, 1888

Family †PARAORTHACODONTIDAE nov. fam.

†*Paraorthacodus* Glikman, 1957

†*Macrourogaleus* Fowler, 1947

Appendix S3. Matrix of the neoselachian phylogenetic analysis. (Multistate characters [01] = *; Multistate character [012] = #)

	1	1111111112	222222223	333333334	444444445
	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
Outgroup	0000000000	000000????	??0??00??0	0*0?000000	0?000000??
<i>Heterodontus</i>	2010000000	0100000101	0000000??0	0000000000	0000100000
Orectolobiformes	0010010000	010000010?	0000000??0	0000000000	00001#0000
Lamniformes	1000010000	0100000000	0000000??0	0000000000	00000*0000
Carcharhiniformes	1000010000	0100000000	0000000??0	0000000000	00000*0030
<i>Chlamydoselachus</i>	0000001111	1000000000	0100000??0	0100000000	0000001000
<i>Hexanchus</i>	0001101111	2001010000	0000001000	0100100000	1000001000
<i>Notorynchus</i>	0000001111	2000010000	0000000??0	0100100000	1000001000
<i>Heptranchias</i>	0001101111	2001010000	0100001000	0100100000	1000001000
<i>Echinorhinus</i>	0001001111	0000010010	0001001000	0100100000	0000001000
Etmopteridae	0001100111	0000000010	1001001000	0001110100	0100001100
Somniosidae	0001100111	0000000010	1001001000	1000100000	0200001000
<i>Oxyntus</i>	0001000111	0000000010	1001001000	0001100000	0200001000
Dalatiinae	0001100111	0000000010	1001001001	0000100000	0200001000
Euprotomicrininae	0001100111	0000000010	1011001000	0010100000	0100001100
Centrophoridae	0001100111	0000000010	1001001000	0000100000	0000001000
Squalidae	0001100111	0000000010	1001001000	0000100000	0000001000
<i>Squatina</i>	0002000111	0010111010	1001001100	0000000000	0400001000
Pristiophoridae	0102002111	0010111010	1001111111	0200000001	0010001000
† <i>Welcommia</i>	??????????	??????????	??????????	??????????	??????????
† <i>Pseudonotidanus</i>	??????????	??????????	??????????	??????????	??????????
† <i>Rhomphaiodon</i>	??????????	??????????	??????????	??????????	??????????
† <i>Mucrovenator</i>	??????????	??????????	??????????	??????????	??????????
† <i>Sphenodus</i>	??????????	??????????	??????????	??????????	??????????
† <i>pre-Jurassic Synechodus</i> ^{cc}	??????????	??????????	??????????	??????????	??????????
† <i>Palidiplospinax</i>	0??????0??	??????0????	??????????	?1???????	??????????
† <i>pre-Synechodus</i> ^{cc} <i>prorogatus</i>	??????????	??????????	??????????	??????????	??????????
† <i>Synechodus</i>	00000?00?	1?????0????	??????????	?1???????	??????????
† <i>Paraorthacodus</i>	0??????0??	??????????	??????????	??????????	0?????????
† <i>Macrourogaleus</i>	??????????	??????????	??????????	??????????	??????????

11111111	1111111111	1111111111	1111111111
11111112	222222223	333333334	444444445
34567890	1234567890	1234567890	1234567890
00000?00	0?00000000	0000000000	0000000000
00000000	0000?00000	0000101100	0100100000
00000010	0002??0100	0001101100	0*0010010*
00000010	0002??0100	0001100111	1110100100
00000010	0022??0100	00011001*0	*?01001**
00100000	0002?0?101	0000000100	0100001111
00100000	0101100001	0000010101	0111001110
00100000	0101100001	1000010101	0111001110
00100000	0101100001	1000010100	0111001111
00000000	0001000?10	0001001100	0100001101
00000000	0000000?10	0001001100	0100001001
00000000	0001000?10	0011001100	0100001*01
00000000	0000000?10	0011001100	0100001000
00000000	0001000?10	0011001100	0100001101
00000000	0001200?10	0011001100	0100001101
00000000	0000001?10	0001001100	0100001000
00000000	0000000?10	0001001100	0100001000
10011001	1101010?10	0101001100	0100010100
11000000	0001010?10	01010011??	????000100
??????????	??????????	??????0???	??????????
† <i>Pseudonotidanus</i>	??????????	??????????	??????0???
† <i>Rhomphaiodon</i>	??????????	??????????	??????0???
† <i>Mucrovenator</i>	??????????	??????????	??????0???
† <i>Sphenodus</i>	???000????	??????0?0?	?0?1????00
† <i>pre-Jurassic Synechodus</i> ^{cc}	??????????	??????????	??????????
† <i>Palidiplospinax</i>	???00?0???	??????0?0?	?000010?00
† <i>pre-Synechodus</i> ^{cc} <i>prorogatus</i>	??????????	??????????	??????0???
† <i>Synechodus</i>	???0?2???	?????????0	?0?1????00
† <i>Paraorthacodus</i>	???000020?	0001?00?0?	?0?1010?00
† <i>Macrourogaleus</i>	???0?2???	??????0?0?	00??010100

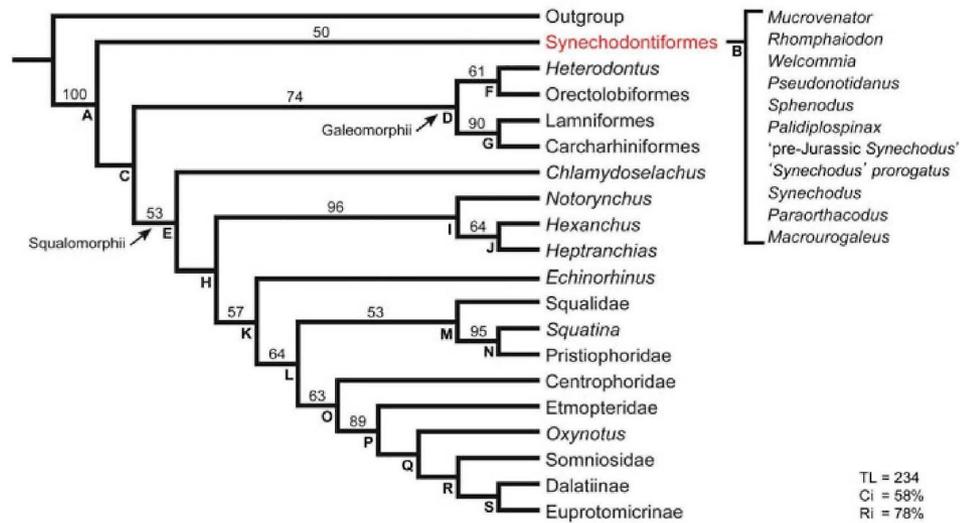


Fig. 2 Phylogenetic hypothesis of neoselachian sharks conducted by using the heuristic search function with tree-bisection-reconnection of branch-swapping. Strict consensus tree of 16 equally most parsimonious trees; numbers above branches are bootstrap estimates. For character distribution and corresponding character states based on DELTRAN or ACCTRAN optimization, see Appendix S4.

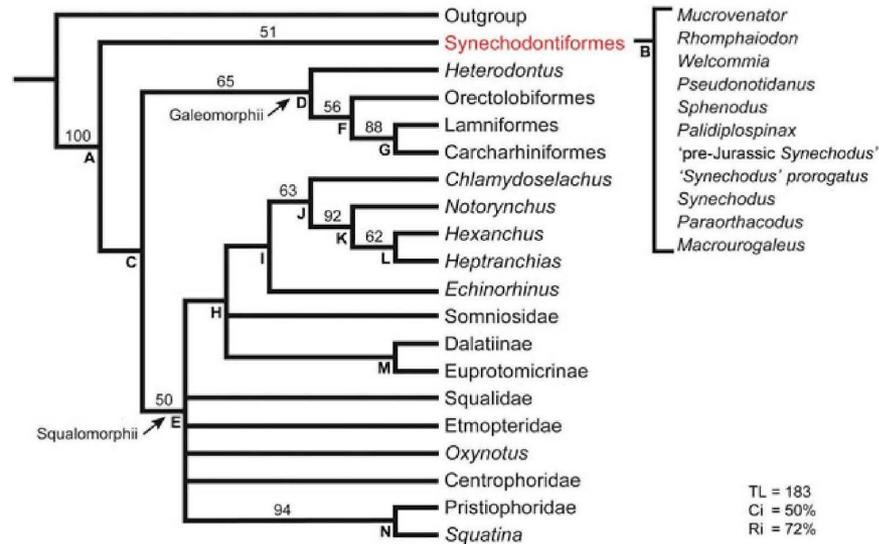


Fig. 3 Phylogenetic hypothesis of neoselachian sharks excluding all characters displaying the character state [?] in the outgroup, conducted by using heuristic search with tree-bisection-reconnection of branch-swapping. Strict consensus tree of 64 equally most parsimonious trees; numbers above branches are bootstrap estimates. For character distribution and corresponding character states based on DELTRAN or ACCTRAN optimization, see Appendix S5.

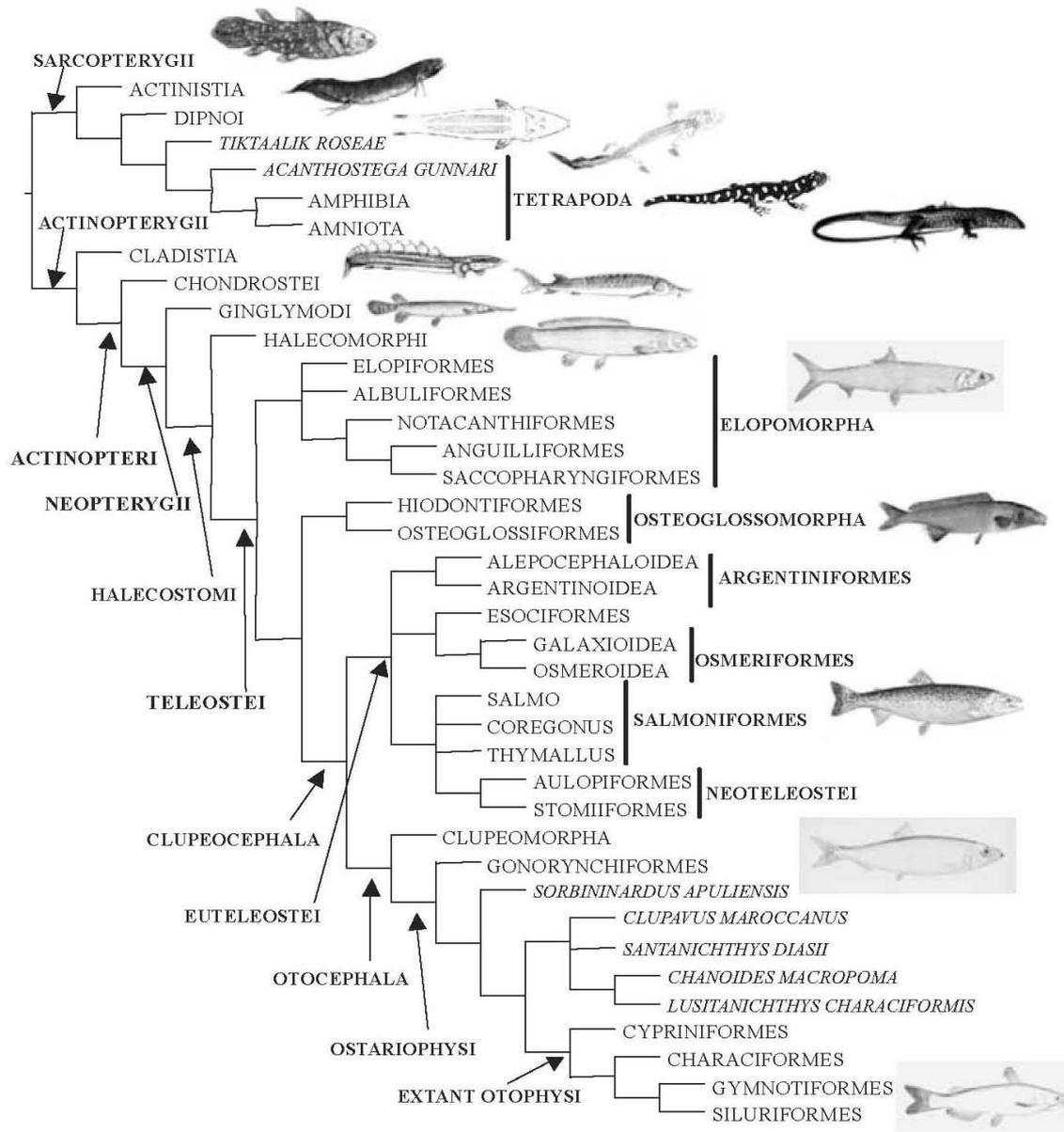


Figure 4 Relationships among the major osteichthyan groups examined, derived from the “majority fools” tree obtained in the cladistic analysis of Chapter 3 (see Fig. 3).

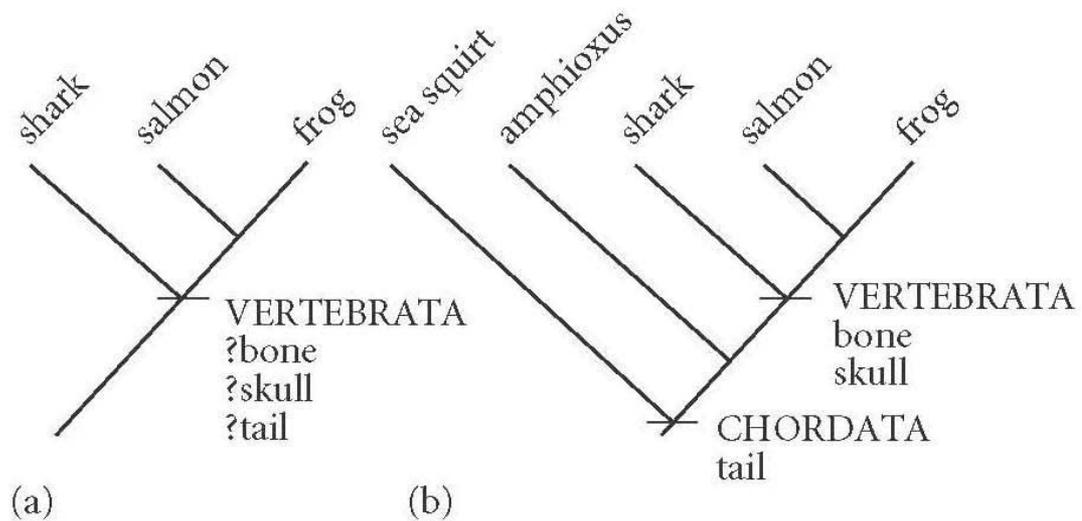


Figure 5.8 Reconstructing the phylogeny of vertebrates by cladistic methods. (a) Are the defining features of vertebrates the possession of bone, a skull and a tail? (b) The tail is found in a wider group, termed the Chordata, but the skull and bone define the Vertebrata.

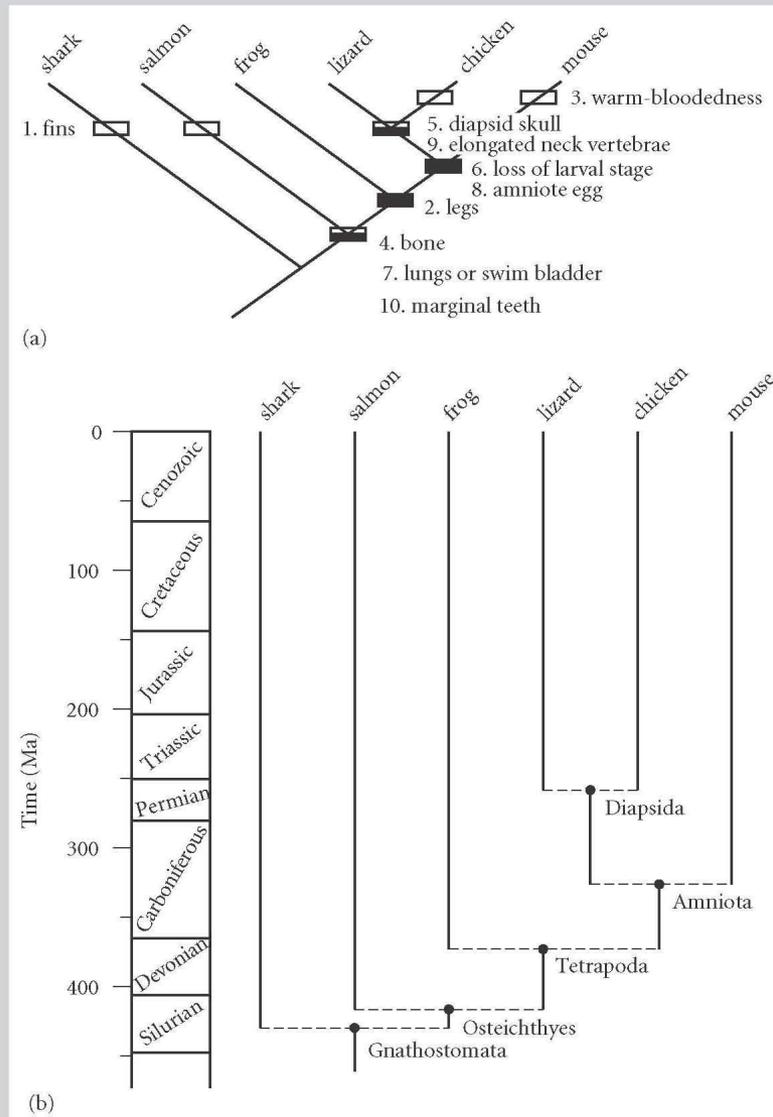


Figure 5.10 The relationships of the major groups of vertebrates, tested using six familiar animals. (a) Postulated relationships, based on the analysis of characters discussed in the text. (b) Phylogenetic tree, showing the cladogram from (a) set against a time scale, and basing the dating of branching points on the oldest known fossil representatives of each group.

Литература

Барсков И.С., Янин Б.Т., Кузнецова Т.В. Палеонтологические описания и номенклатура. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 94 с.

Майр Э. Принципы зоологической систематики. Пер. с англ. М.В. Мины. М.: Изд-во Мир, 1971. 456 с.

Клюге Н.Ю. Принципы систематики живых организмов: Учебное пособие – СПб: Изд-во С-Петербург. Ун-та, 1998. 88 с.

Бродский А.К.- Принципы зоологической систематики // СОЖ 1997, №5, с. 4-10

Михайлова И.А., Бондаренко О.Б. - Система органического мира // СОЖ 1999, №2, с. 42-51.