Тема 4. Метеориты

Падение метеорита

Метеоритный дождь

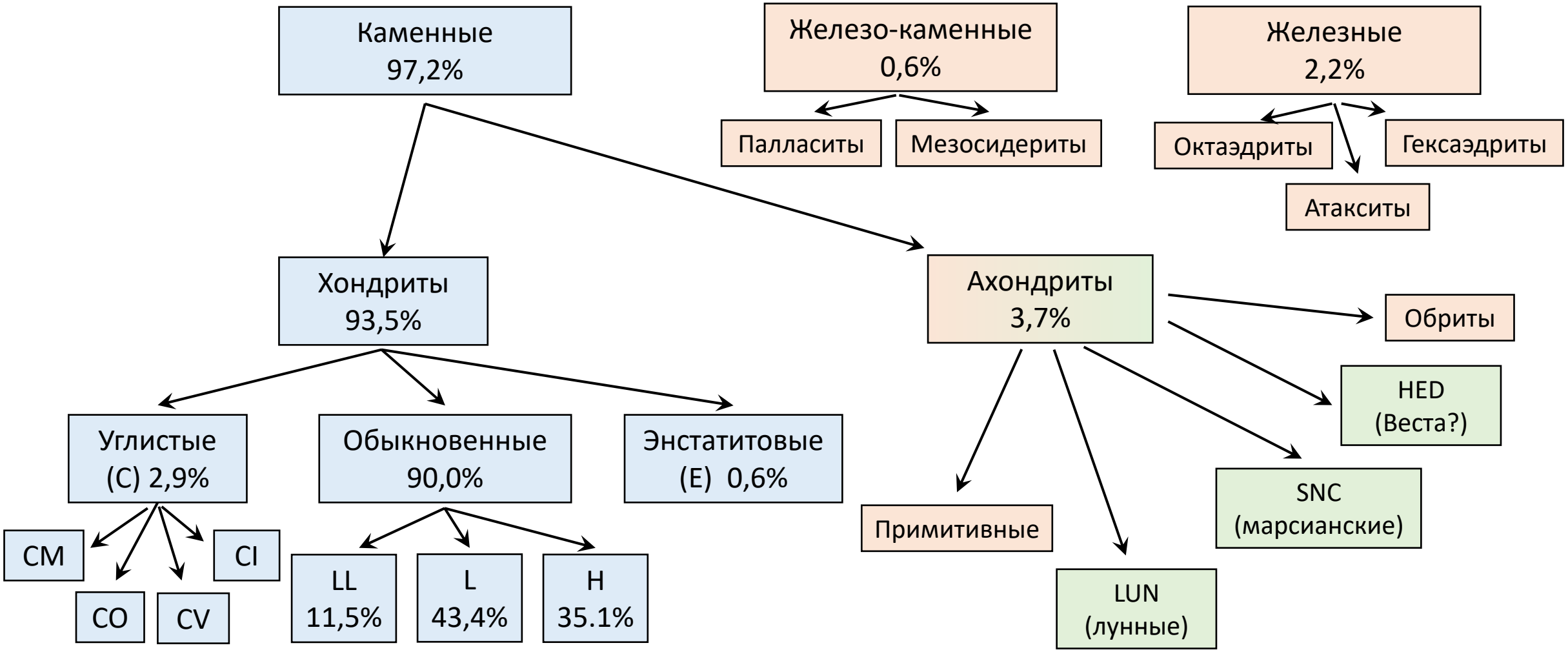
Падение метеорита (рисунок)

Взрыв при падении метеорита (импакт) (рисунок)

Аризонский метеоритный кратер (аэрофотоснимок).
Диаметр 1219 м, глубина 229 м. Возник около 50 тыс. лет назад после падения метеорита ориентировочным диаметром около 50 м. Мощность взрыва (оценочно) 150 Мт, в 3 раза больше, чем у Тунгусского метеорита.

Обыкновенный хондрит
Царев (тип L)
Падение 06.12.1922 в
Волгоградской обл.,
найден в 1968 г.
Собрано 44 фрагмента
общим весом 1225 кг.

Традиционная классификация метеоритов



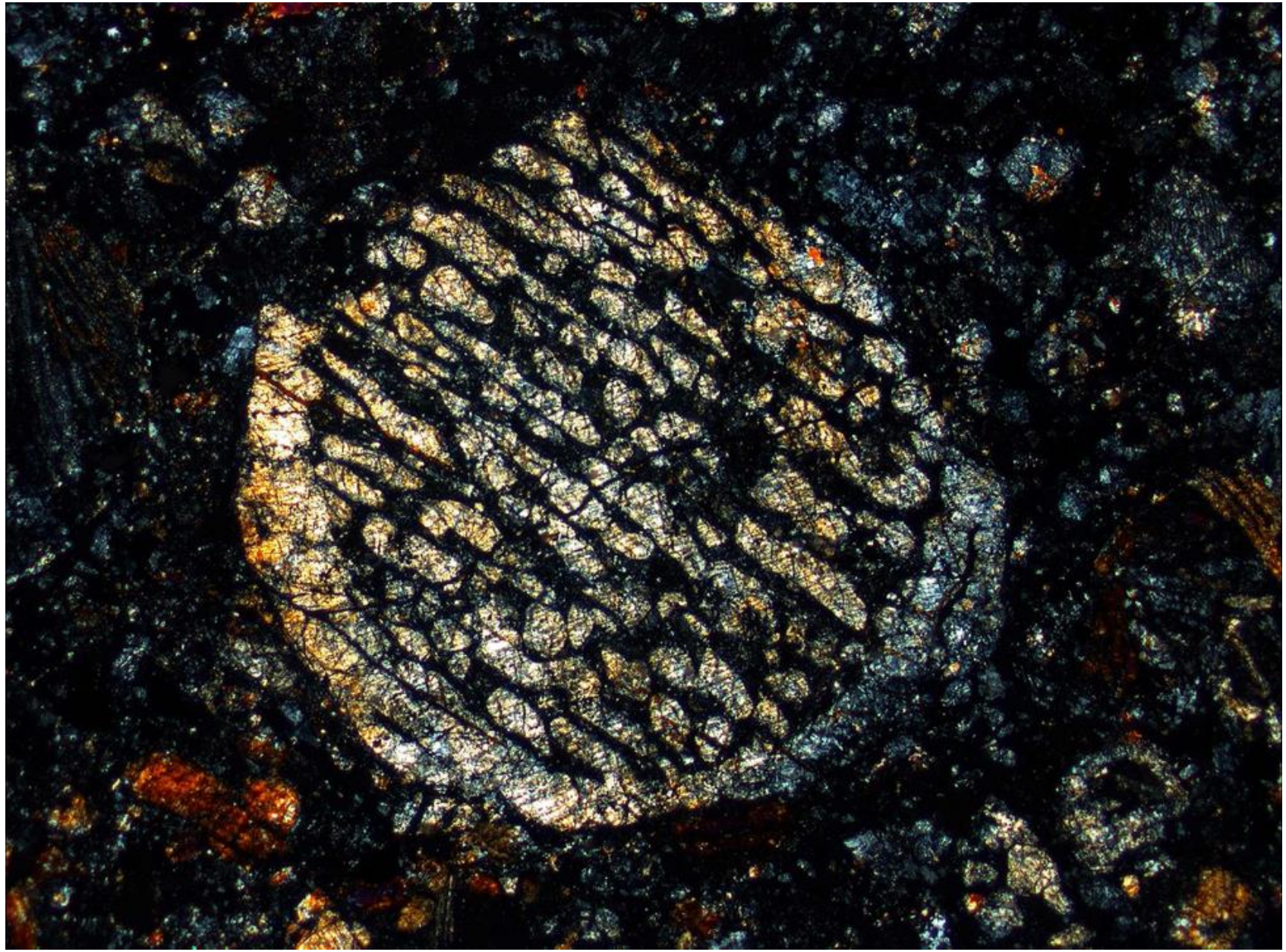
Krot et al., 2014 (сумма находок и падений)

Хондрит
(аншлиф)

Углистый хондрит
Northwest Africa
7208
(анфлиф)

Хондрит (аншлиф)
Хорошо видны вкрапления металлической фазы в силикатную матрицу.

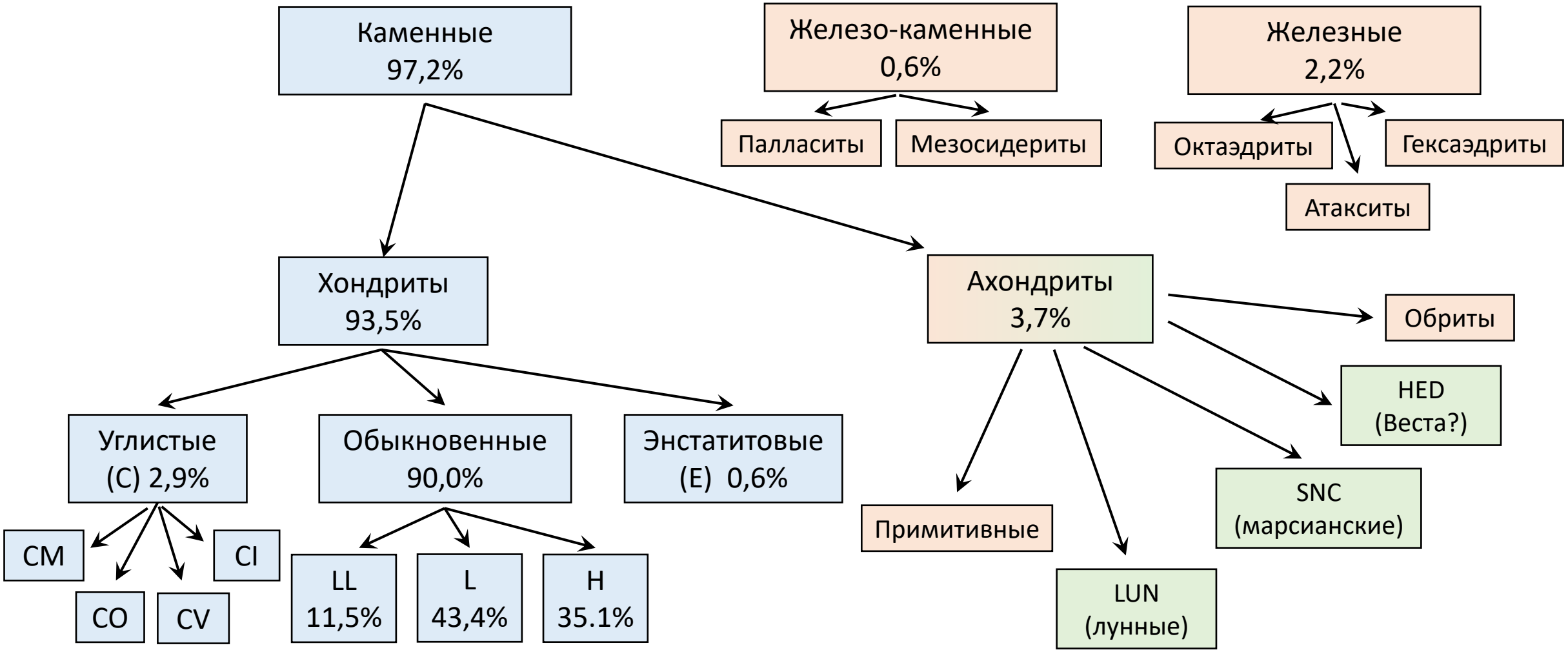
Хондровая текстура метеорита
Шлиф, скрещенные николи.



Индивидуальная хондра при большом увеличении.
Пертитовая структура распада.
Шлиф, скрещенные николи.

Метеорит – космогенная брекчия (срез).

Традиционная классификация метеоритов



Krot et al., 2014 (сумма находок и падений)

Три принципиальные фазы в хондритах:

- каменная 82-85 %
- металлическая 12-15 %
- сульфидная 1-2 %

(в углистых хондритах – углеродистое вещество – в среднем 0,5 %)

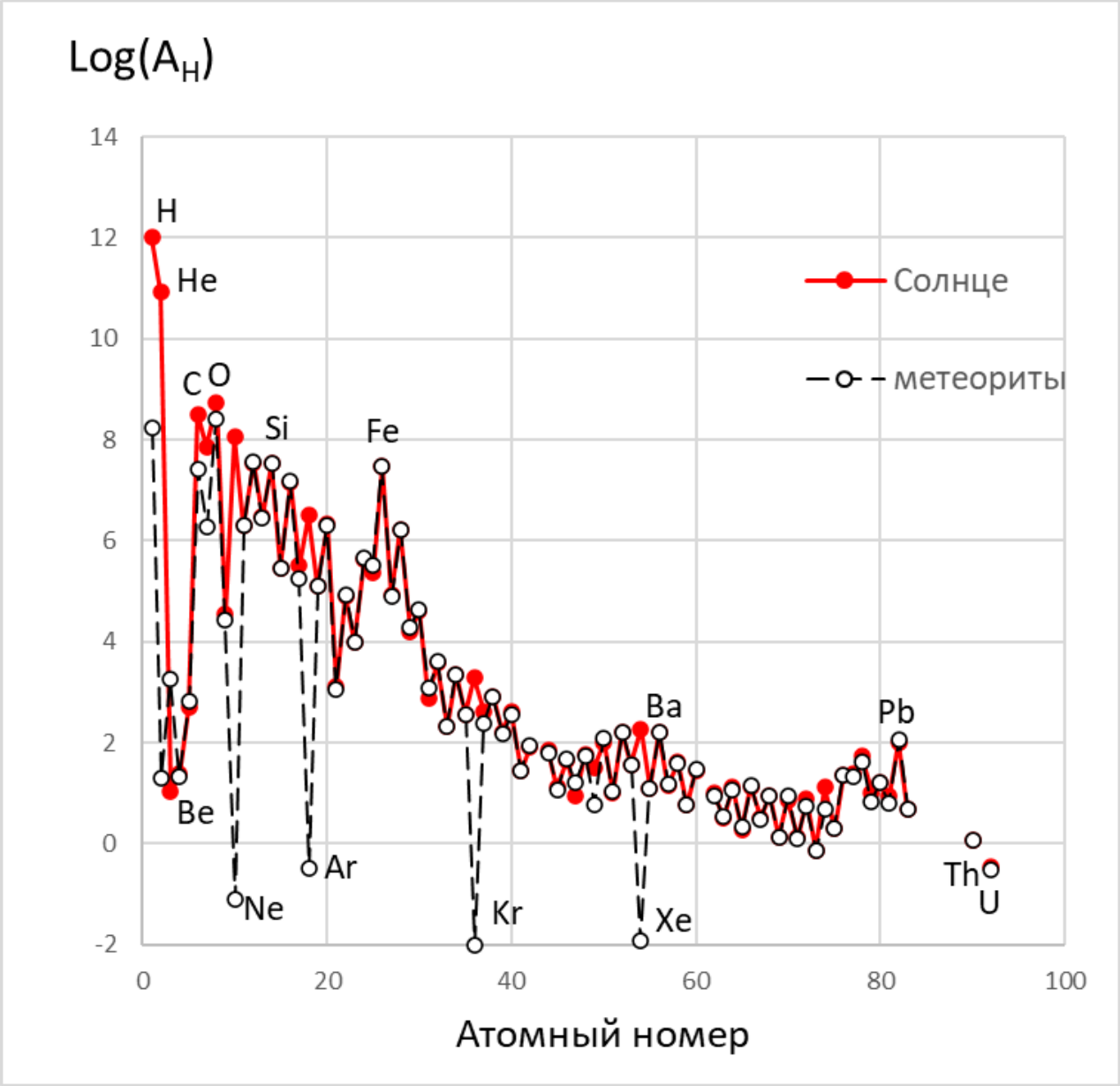
Главные минералы:

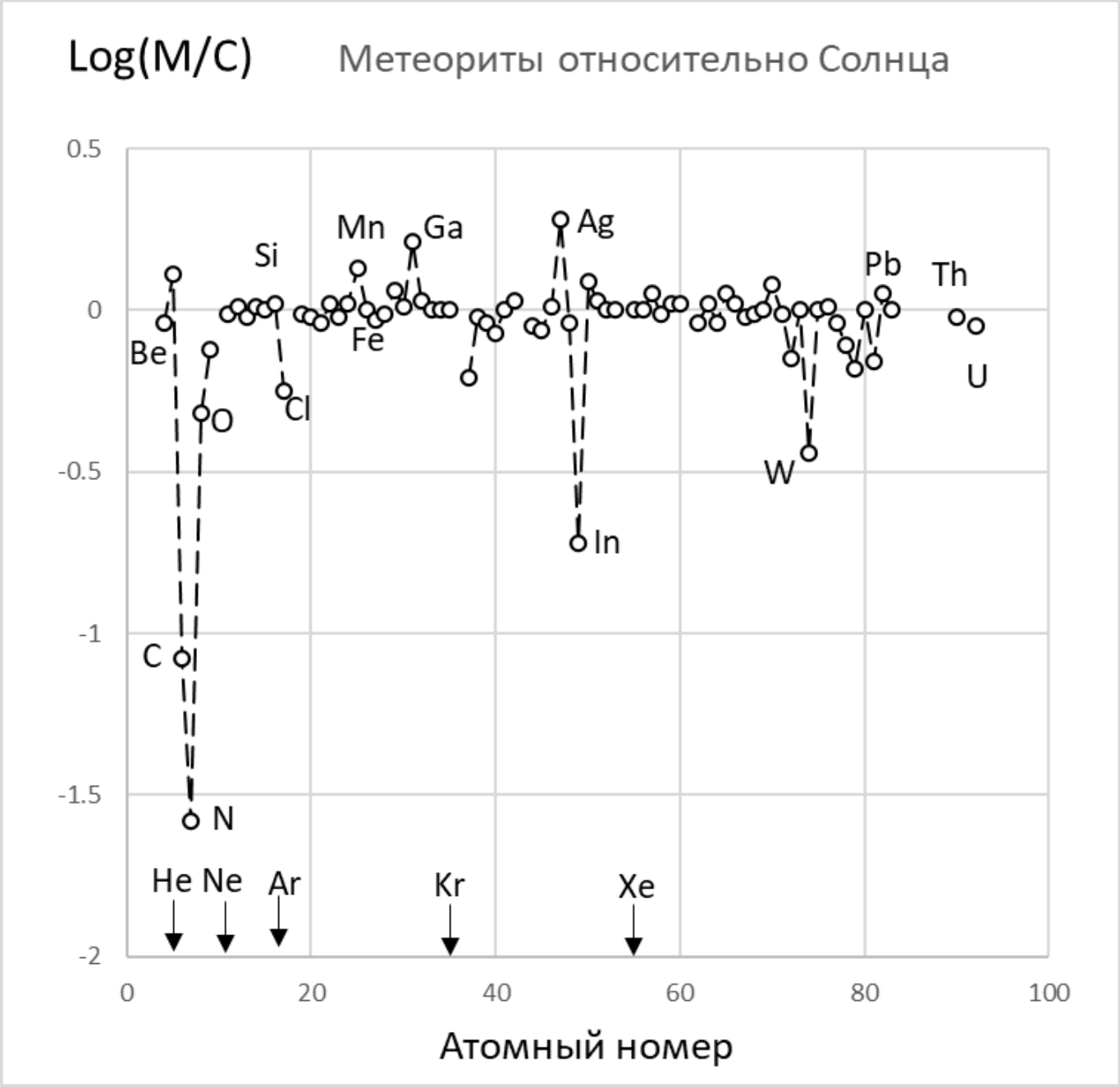
- **Каменная фаза**:
- оливин
- пироксены
- плагиоклаз
- акцессорные – шпинель, хромит, магнетит,
- редко – серпентин, хлорит, кальцит (в углистых хондритах)

- **Металлическая фаза:**
- <u>камасит</u> (Fe, Ni<2%)
- <u>тэнит</u> (Fe, Ni>6%)
- акцессорные – <u>шрейберзит</u> $(Ni,Fe)_3P$
- редко –карбиды, нитриды

- **Сульфидная фаза:**
- <u>троилит FeS</u>
- халькопирит
- пентландит $(Fe,Ni)_9S_8$
- акцессорные –алабандин MnS, <u>ольдгамит</u> CaS,
- редко – сфалерит ZnS, <u>добреелит</u> $FeCr_2S_4$,

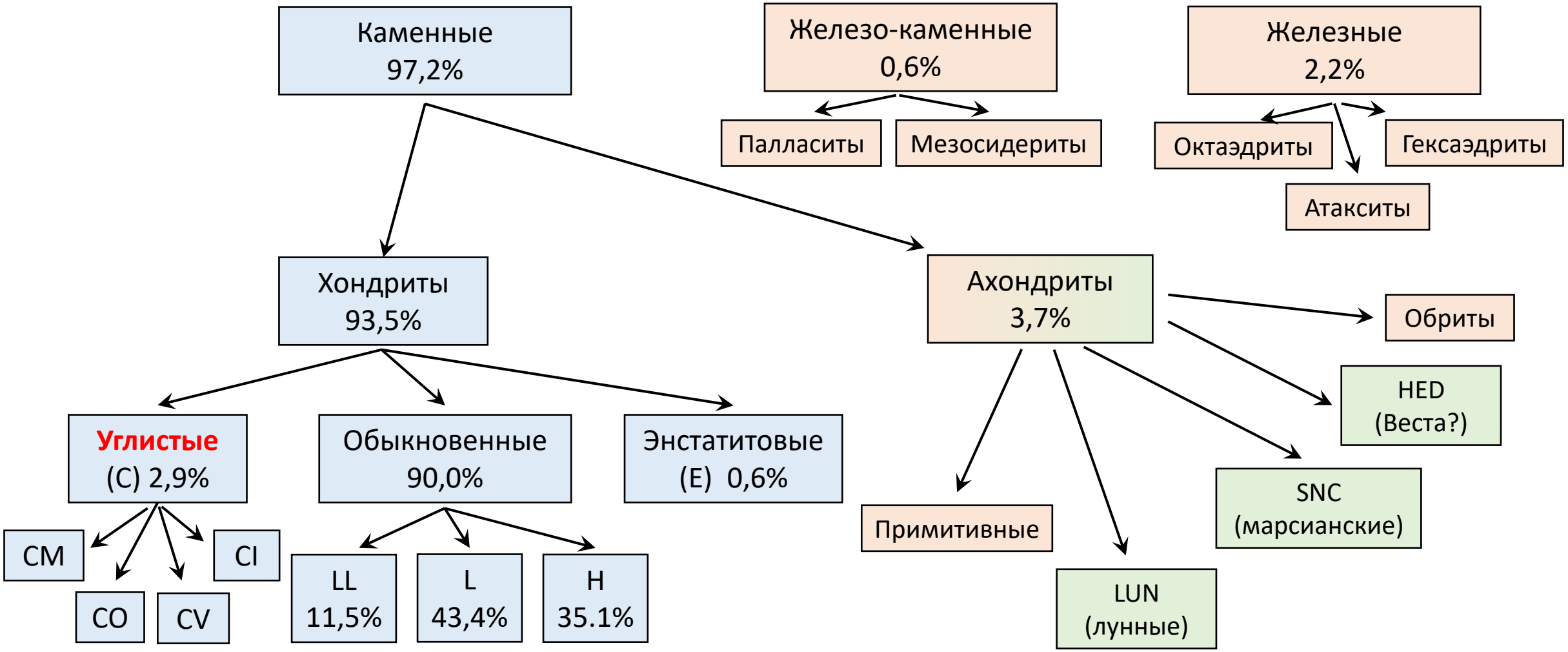
Распространенность элементов в метеоритах





Распространенность элементов в метеоритах относительно Солнца (перенормировано по Si)

Традиционная классификация метеоритов



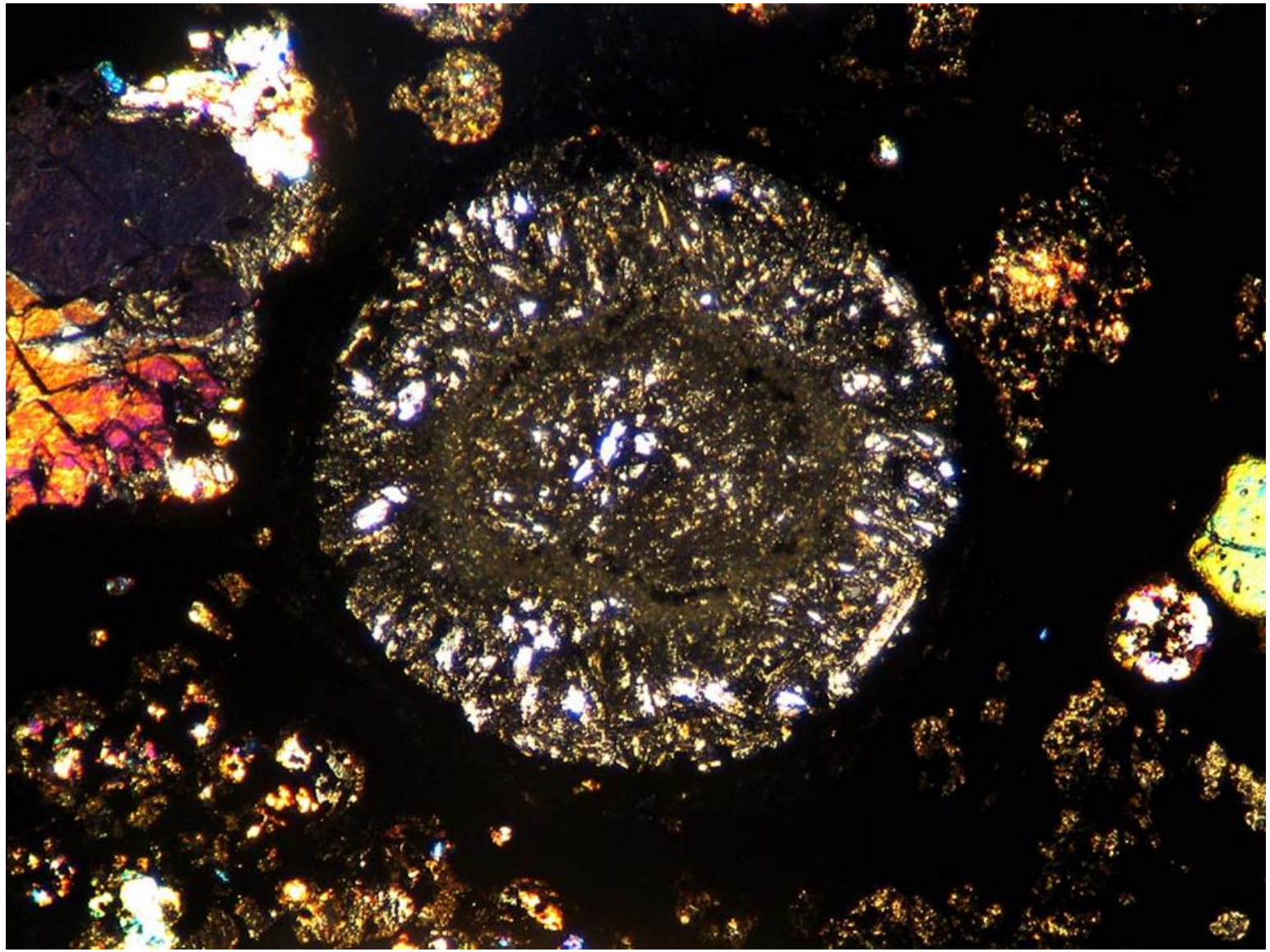
Krot et al., 2014 (сумма находок и падений)

Проблема «белых включений» (CAI) в хондритах

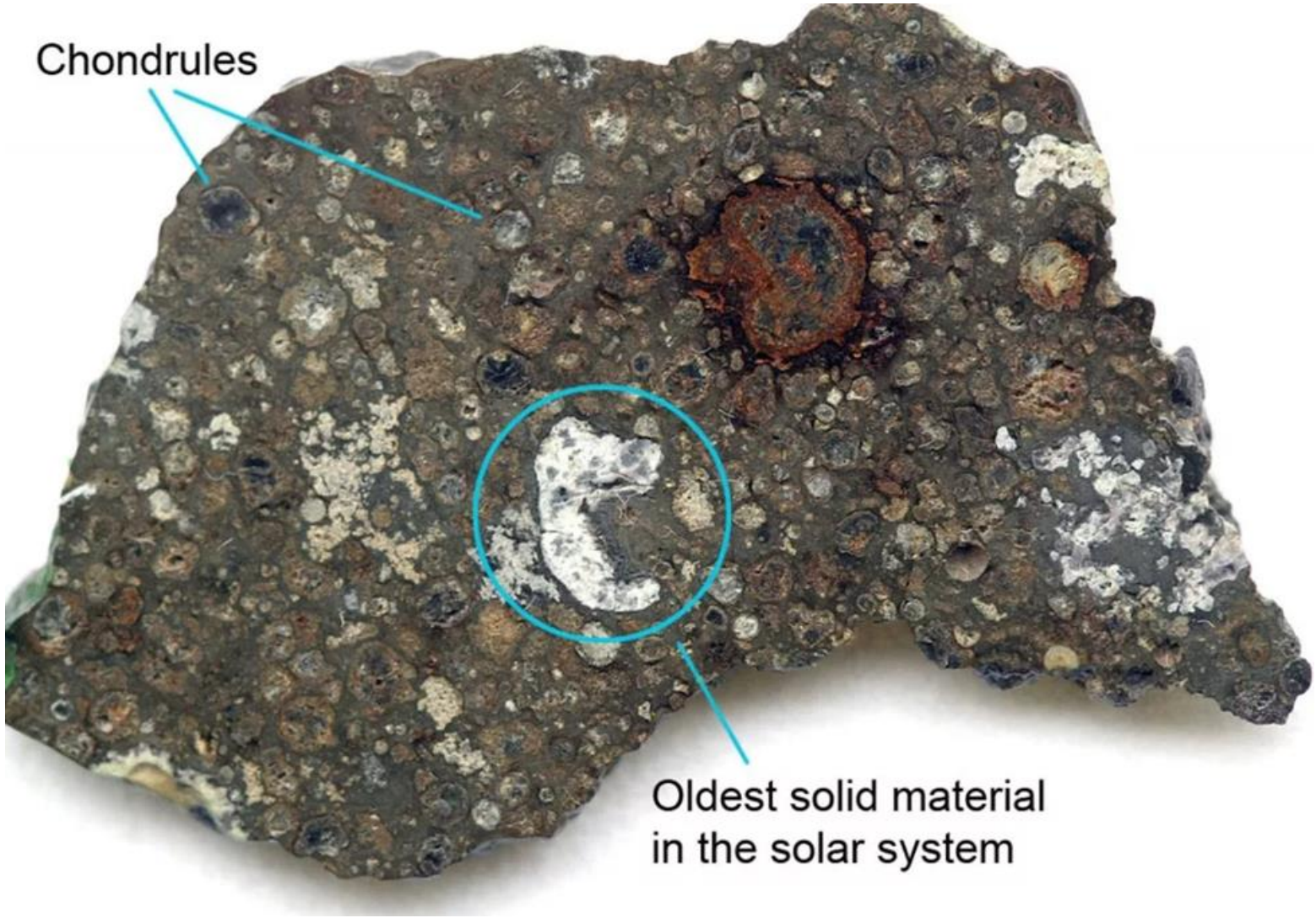
Углистый хондрит Allende, группа CV3.
Упал 08.02.1969 г.
Крупнейший известный углистый хондрит, собрано более 3 т метеоритного вещества.
В метеорите впервые обнаружены «белые включения» (CAI).

Один из найденных фрагментов.

Углистый хондрит Allende (фрагмент). Аншлиф.



«Белое включение» в метеорите Алленде при большом увеличении (шлиф)



«Белое включение» в углистом хондрите Саттер Милл.
Срез, увеличено.

Минералогические и геохимические особенности «белых включений» (CAI)

1. CAI состоят из необычных для метеоритов тугоплавких минералов: шпинели – $MgAl_2O_4$, перовскита – $CaTiO_3$, мелилита – $Ca_2(Al,Mg)((Al,Si)SiO_7)$, хибонита – $CaAl_{12}O_{19}$

2. CAI часто обнаруживают концентрическую зональность.

3. CAI обогащены Al, Ca, Ti, РЗЭ, W, Mo, платиноидами.

4. В CAI обнаружены аномалии изотопного состава:

избытки ^{16}O – «досолнечного компонента»(?),

^{26}Mg - продукта распада короткоживущего ^{26}Al ($\tau_{1/2}$=0,72 Ma),

^{53}Cr - продукта распада короткоживущего ^{53}Mn ($\tau_{1/2}$=3,7 Ma)

и др.

Минералогические и геохимические особенности «белых включений» (CAI)

1. CAI состоят из необычных для метеоритов тугоплавких минералов: шпинели – $MgAl_2O_4$, перовскита – $CaTiO_3$, мелилита – $Ca_2(Al,Mg)((Al,Si)SiO_7)$, хибонита – $CaAl_{12}O_{19}$

2. CAI часто обнаруживают концентрическую зональность.

3. CAI обогащены Al, Ca, Ti, РЗЭ, W, Mo, платиноидами.

4. В CAI обнаружены аномалии изотопного состава:

избытки ^{16}O – «досолнечного компонента»(?),

^{26}Mg - продукта распада короткоживущего ^{26}Al ($\tau_{1/2}$=0,72 Ma),

^{53}Cr - продукта распада короткоживущего ^{53}Mn ($\tau_{1/2}$=3,7 Ma)

и др.

По метеоритам, содержащим CAI, уточнена хронология событий в начале жизни Солнечной системы.

Современные оценки возрастных реперов эволюции Солнечной системы и Земли:

1. «Первичное» облако испытало воздействие Сверхновой	4568 Ma
2. Начало кристаллизации CAI	4567,3 Ma
3. Кристаллизация хондр и вещества металлических метеоритов	4566 - 4563 Ma
4. Начало роста планетных тел	~4560 Ma
5. Завершение основной стадии роста Земли	~4450 Ma

~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~

6. Самые древние «детритные» цирконы зап. Австралии	4350 Ma
7. Самый древний метаморфический комплекс Акаста (Канада)	4050 Ma

Углистые хондриты и проблема происхождения жизни на Земле

Проблема появления жизни на Земле до настоящего времени не имеет решения. Две развиваемые гипотезы: (1) – зарождение жизни на Земле как результат химической (пред-биотической) эволюции; (2) – занос жизни на Землю извне (гипотеза «панспермии»).

Появление жизни на Земле – очень раннее (хадейское) событие. Уже в детритных цирконах с возрастом 4,1 млрд. лет зафиксирован изотопно-легкий углерод, соответствующий углероду живых земных организмов.

Находка углистых хондритов, в матрице которых присутствует углеродистое вещество, пытались использовать, как аргумент в пользу гипотезы панспермии. Однако, исследования углеродистого вещества метеоритов не подтвердили эту гипотезу.

Аргументы против идеи заноса жизни на Землю углистыми хондритами

1. Углеродистое вещество в матрице метеоритов – бесструктурное (напоминающее кероген). В нем нет никаких текстурных элементов, которые можно было бы ассоциировать с остатками клеточных форм жизни.
2. По изотопному составу углерод метеоритов не похож на биогенный углерод Земли. Зафиксированные вариации изотопного состава между разными группами органических соединений в метеоритах не имеют аналогии с земными объектами.
3. В метеоритных углеродистых соединениях нет нарушения соотношения стереоизомеров («хиральности», «оптической активности») сложных органических веществ, свойственного органическим соединениям биологического происхождения на Земле.

Таким образом, свойства органического вещества метеоритов отвечают конденсации его из протопланетного облака.

Падения метеоритов и массовые вымирания организмов («импактная гипотеза»)

Взрыв при падении метеорита (импакт) (рисунок)

Наиболее обоснованный пример – массовое вымирание на границе мел – палеоген («гибель динозавров») - гипотеза Луиса и Уолтера Альваресов (1980).

Наиболее убедительный аргумент – в пограничном горизонте мел-палеоген наблюдается глобально распространенная (!) аномалия содержаний **иридия** – элемента, существенно обогащающего метеориты. В этом горизонте также обнаружены зерна кварца с планарными структурами, микрокристаллы высокобарных минералов.

Позднее был обнаружен крупный метеоритный кратер Чиксулуб (Ø 120 км) на побережье Мексиканского, имеющий подходящий возраст, около 65 млн. лет.

Предложены сценарии глобального воздействия импактного события на биосферу («космическая зима» из-за запыления атмосферы, ингибирование фотосинтеза, кислотный кризис в океане и др.).