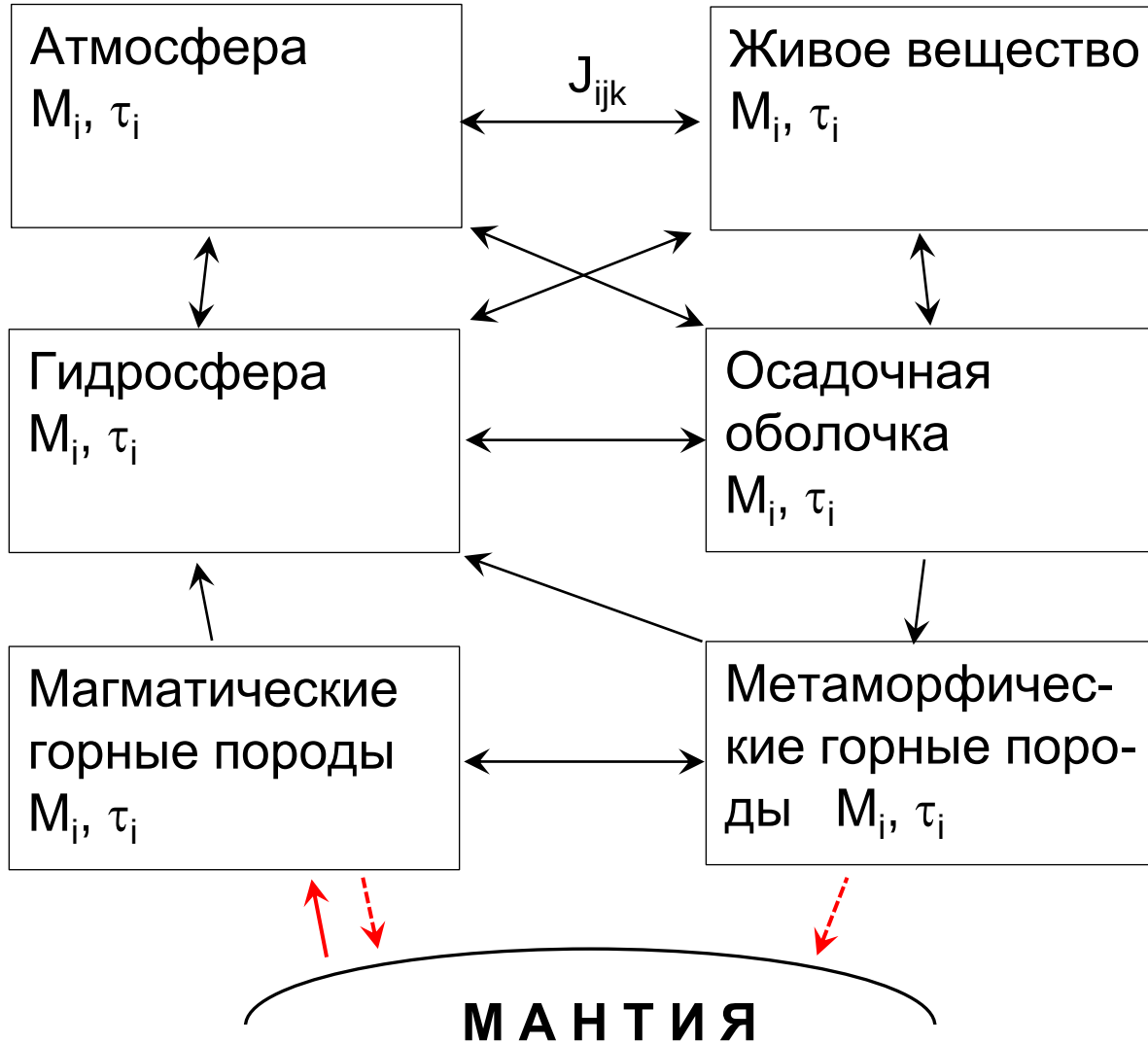


Тема 11. Геохимические циклы



Круговорот химических элементов в природе – геохимический цикл в современной геохимии генерализуют в виде «блочной модели» – совокупности резервуаров, представляющих в модели оболочки Земли.

Каждый такой резервуар (j) характеризуется общей массой (M_j), средним химическим составом (M_{ij}) и временами пребывания химических элементов в резервуаре (τ_{ij}), а обмен веществом между резервуарами – потоками элементов из данного резервуара в остальные (J_{ijk}).

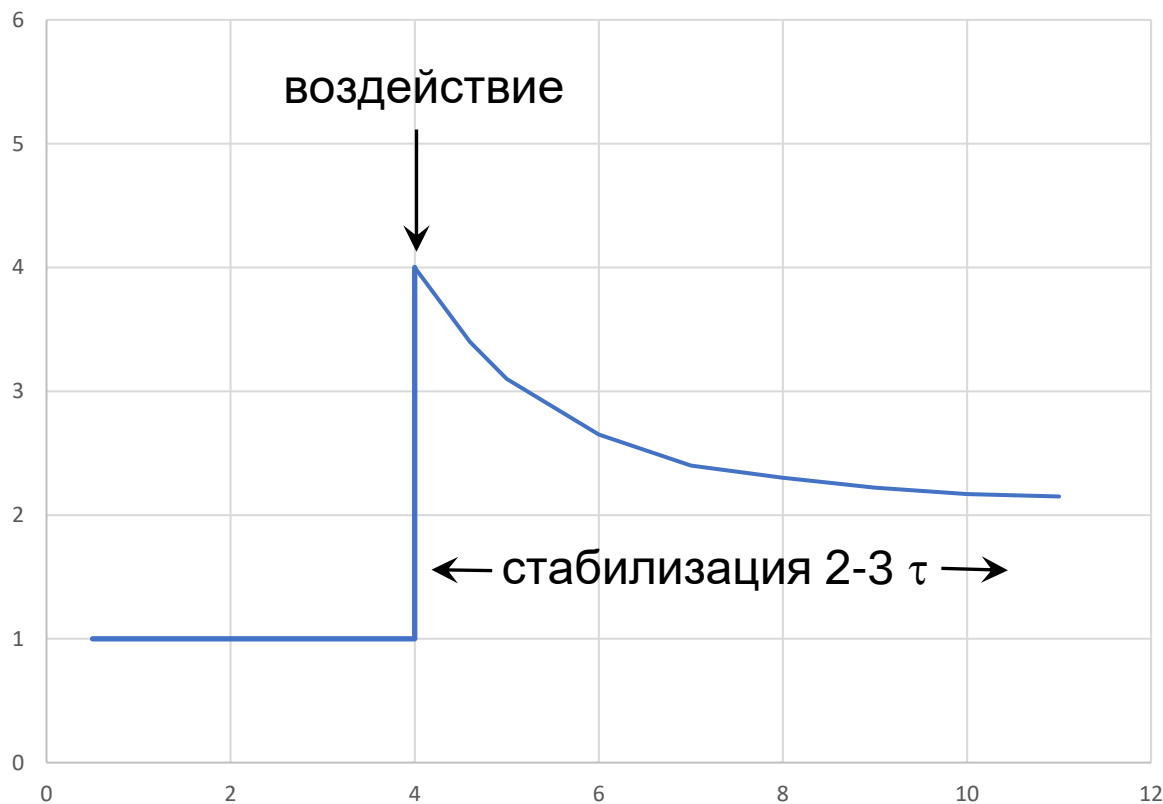
Время пребывания τ определяется как:

$$\tau_{ij} = \frac{M_{ij}}{\sum_k J_{ijk}}$$

Определения понятия «время пребывания»

$$\tau_{ij} = \frac{M_{ij}}{\sum_k J_{ijk}}$$

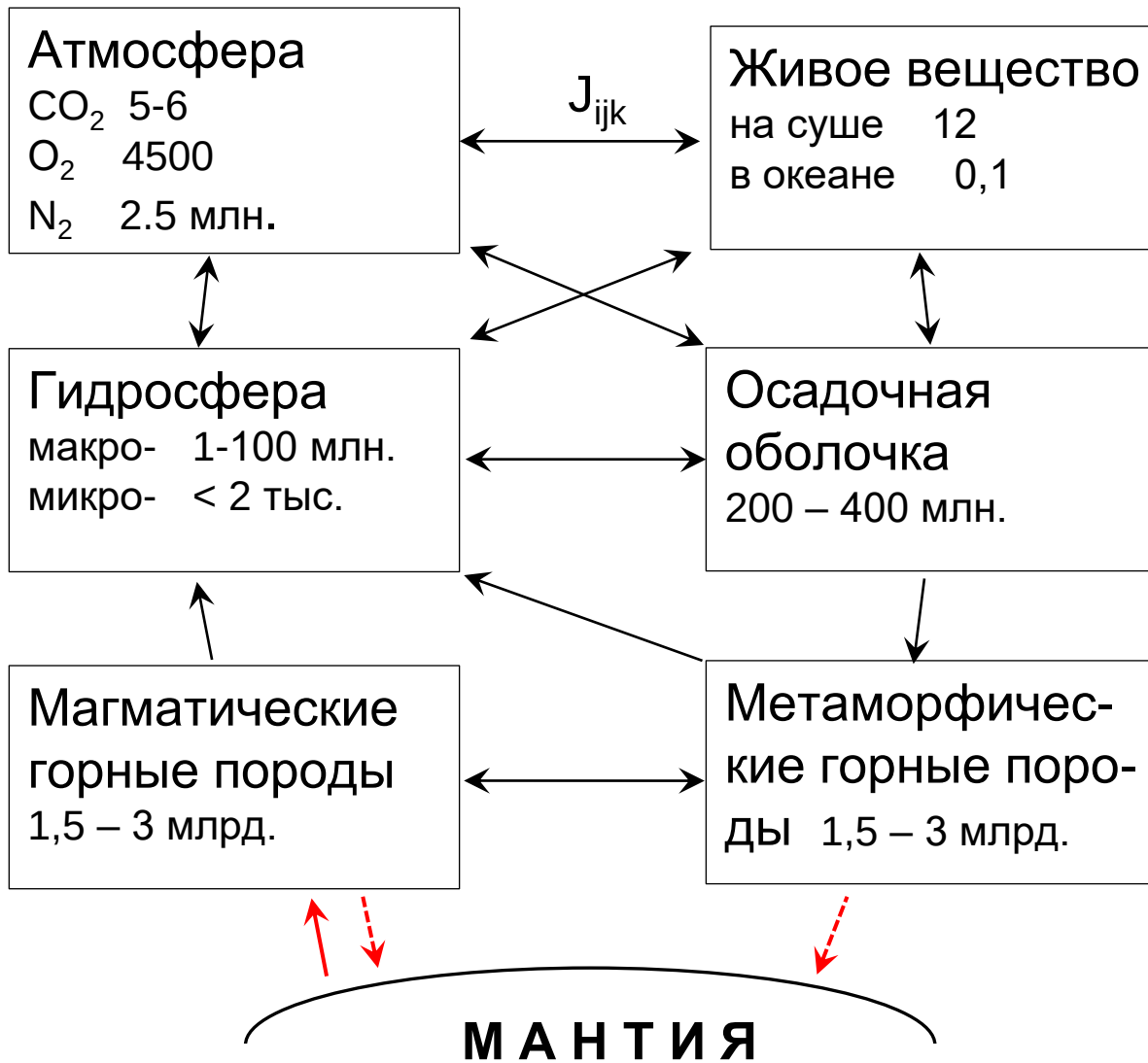
- среднее время нахождения атомов данного компонента в резервуаре;
- время, за которое в резервуар поступит такое же количество данного компонента, которое там сейчас находится;
- отношение массы компонента в резервуаре к сумме потоков, поставляющих данный компонент в данный резервуар из других резервуаров.



Динамика систем с отрицательными обратными связями первого порядка

$$(J_i^- = k_i M_i)$$

Такие системы самопроизвольно стремятся к стабилизации. Приближение к новому стационарному состоянию происходит асимптотически. Для геологических резервуаров их изменчивость перестает фиксироваться по истечении 2-3 τ



Характерные времена пребывания компонентов в оболочках (лет)

Сопоставление времен пребывания позволяет определить, какие оболочки Земли находятся в состоянии, близком к стационарному, а какие продолжают эволюционировать.

При этом необходимо учитывать, что биологическая эволюция способна принципиально изменять состав и потоки в биосфере.

Наибольшая неопределенность в модели геохимического цикла – это оценка потока вещества, возвращающегося из коры в мантию в зонах субдукции.

Проблема постоянства состава Мирового океана («задача про бассейн»)

$$\frac{dM_i}{dt} = \sum J_{ik}^+ - \sum J_{ik}^-$$

Для постоянства состава океана, наблюдаемого в геологических данных,

требуется, чтобы $\frac{dM_i}{dt} = 0$

Дж.Драйвер (1974) провел тщательные расчеты по балансу макроионов в морской воде, и получил, что такие балансы сходятся для всех макроионов морской воды, кроме Mg, для которого сток в океан примерно на 20% превышал удаление в морские осадки.

Позже, в результате исследований дна Мирового океана было установлено, что гидротермальная деятельность в океанской коре связывает этот избыточный Mg (баланс сошелся).

Расчеты балансовых моделей позволяют геохимикам оценить степень незнания количественных характеристик природных процессов, и получить объективную картину изученности геохимических циклов.

Соотношения между стационарностью и эволюцией в геохимических циклах

Причинами эволюции резервуаров, входящих в геохимические циклы могут быть:

1. Изменение потоков, поступающих в / уходящих из геохимического цикла в мантию, как вследствие изменения мантии, так и вследствие изменения геотектонического режима (например, переход к тектонике литосферных плит от какого-то предшествующего режима).
2. Наличие в геохимическом цикле «медленного» резервуара, не достигающего стационарности за время геологической истории Земли (магматического, $\tau = 1.5 - 3$ млрд. лет ?).
3. Радикальное изменение структуры геохимического цикла или свойств отдельных резервуаров, вызывающее резкое изменение потоков. Например, появление в архее кислородного фотосинтеза и последующее GOE; появление в девоне древовидных растений и увеличение пула лигнина в осадочной оболочке, и т.п.

При большой разнице во временах пребывания для разных резервуаров «быстрые» резервуары успевают подстраиваться к изменяющимся потокам из «медленных» резервуаров. Их состояние в каждый данный момент времени неотличимо для наблюдателя от стационарного («квази-стационарное»), но меняется на больших интервалах времени.

