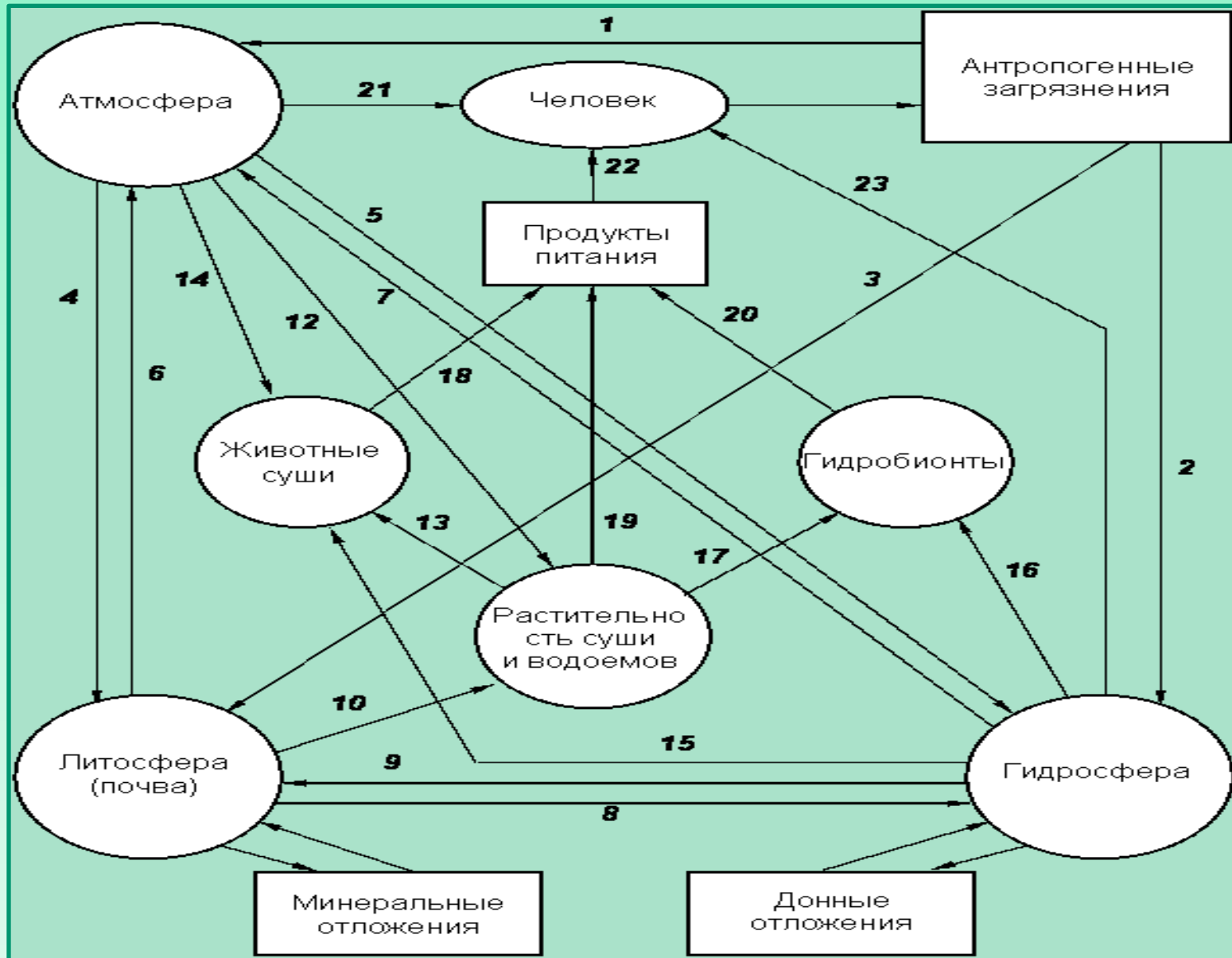
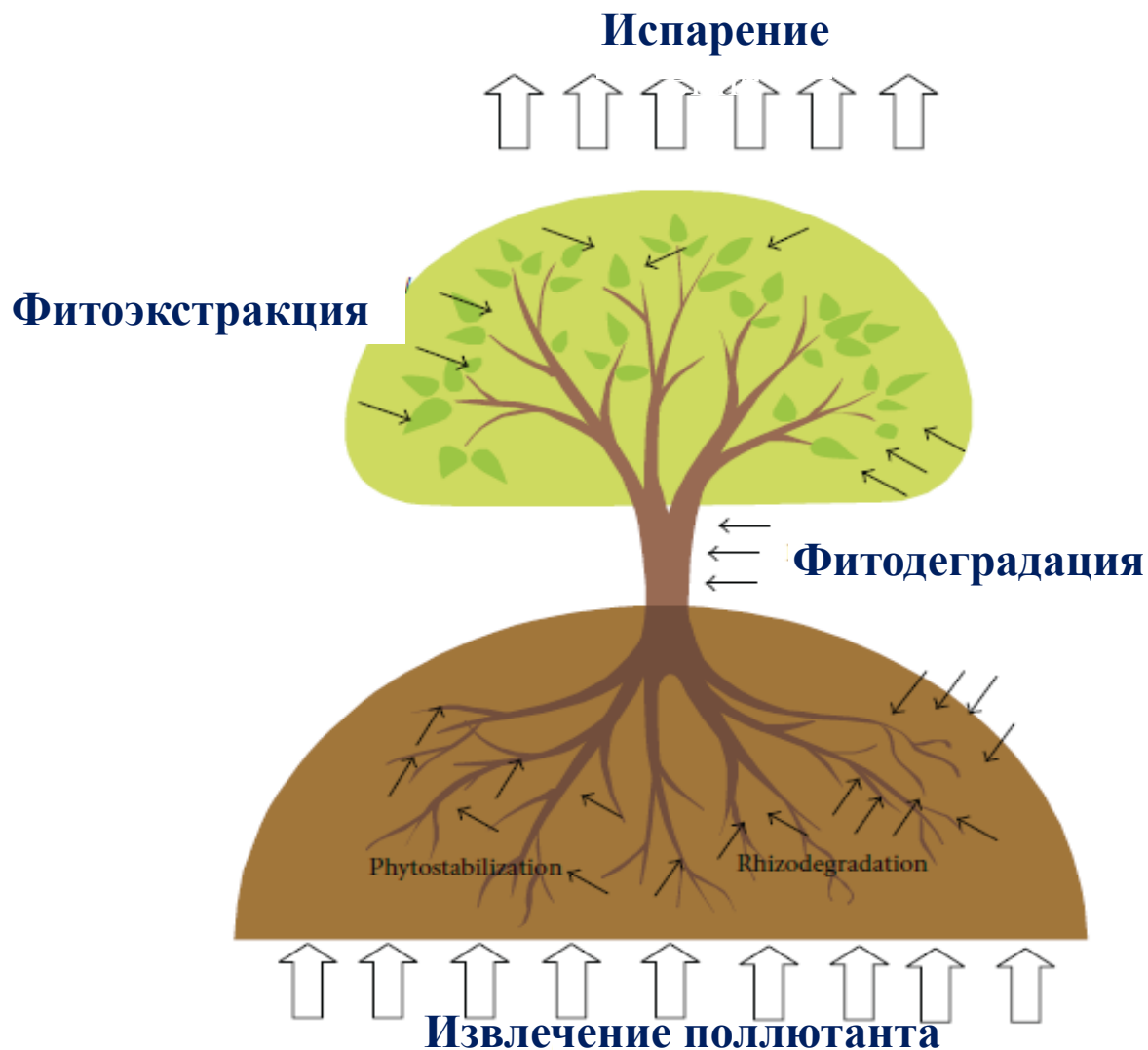


ПОТОКИ ЭЛЕМЕНТОВ В БИОСФЕРЕ

Трансформация и транспорт вещества в Биосфере



Трансформация и транспорт вещества в живом веществе



Аккумуляция металлов растением в процессе фиторемедиации

Факторы, определяющие превращения и транспорт веществ в природе

- **Интенсивность миграции (водной и аэрозольной)**
- **Химические превращения
(осаждение – растворение – комплексообразование)**
- **Наличие геохимических барьеров**
- **Биохимическая трансформация**

Интенсивность миграции (водной и аэрозольной)

Первичный источник элементов – литосфера

Относительная подвижность окислов элементов (К.Х. Смит, 1913 г.)

% выноса окислов из пород (для CaO - 100%)

Соединение	Концентрация в сухом остатке речных вод, %	Концентрация в породах земной поверхности, %	Относительная растворимость (CaO – 100%)
CaO	48,34	5,27	100
Na ₂ O	14,61	1,69	96,1
MgO	9,55	2,86	36,3
K ₂ O	3,09	2,84	11,9
SiO ₂	19,76	58,88	3,7
R ₂ O ₃	4,65	19,35	2,6

Интенсивность миграции (водной и аэрозольной)

Относительная подвижность элементов при выветривании
Ряды миграции (Б.В. Полюнов, 1877-1952 гг.)

Типы миграционных рядов элементов	Состав рядов миграции	Порядок величины миграции
Энергично выносимые	Cl, Br, I, S	$2n \cdot 10$
Легковыносимые	Ca, Na, Mg, K	n
Подвижные	SiO ₂ (силикаты), P, Mn	$n \cdot 10^{-1}$
Слабоподвижные	Fe, Al, Ti	$n \cdot 10^{-2}$
Практически неподвижные	SiO ₂ (кварц)	$n \cdot 10^{-\infty}$

Интенсивность водной миграции

Ряды миграции элементов по А.И.Перельману

$$\text{Коэффициент водной миграции} = \frac{\text{Э}_{\text{мин.}}}{\text{Э}_{\text{кларк}}}$$

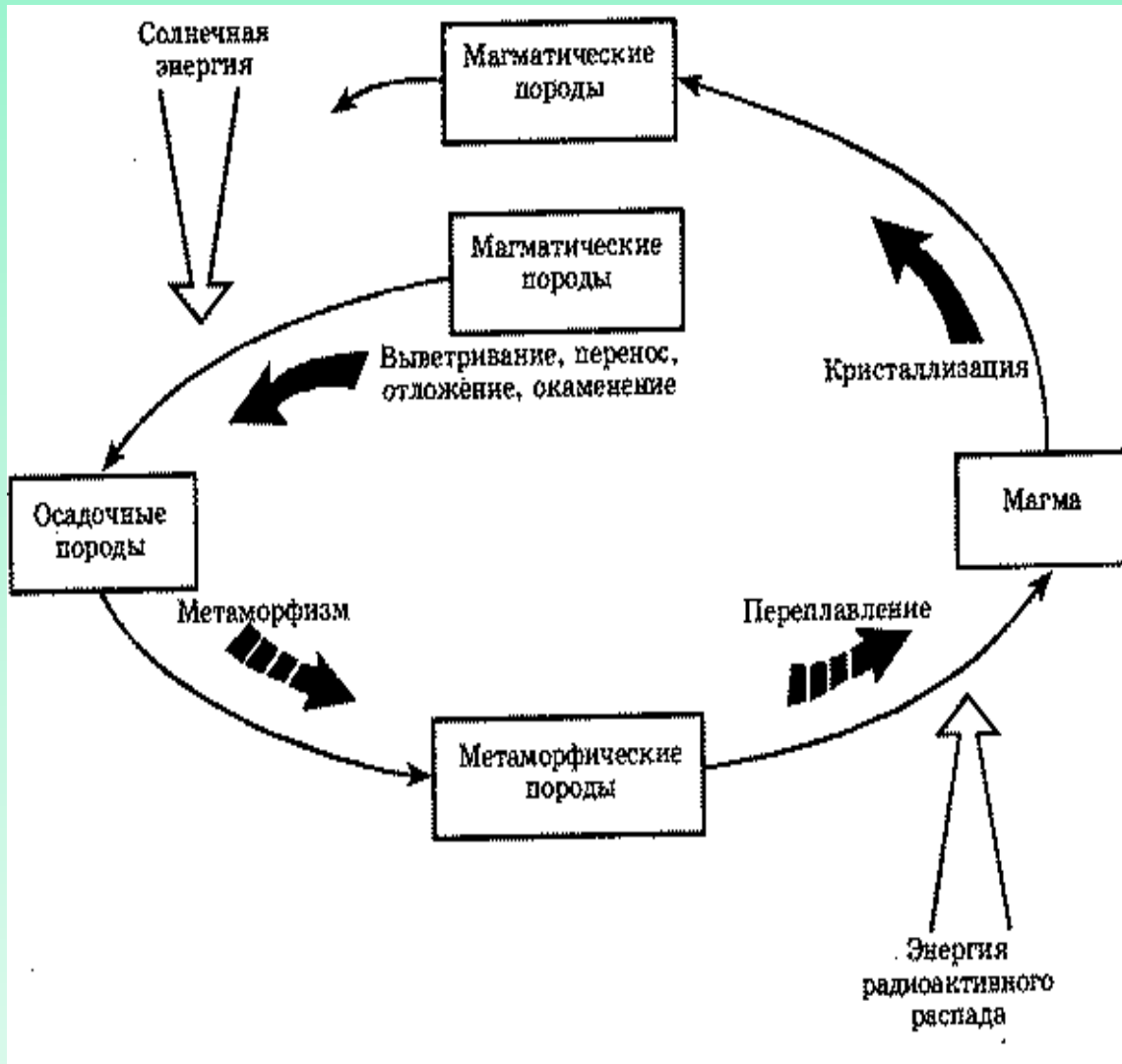
$\text{Э}_{\text{мин.}}$ - содержание элемента в минеральном остатке воды,

$\text{Э}_{\text{кларк}}$ - кларк элемента в литосфере

Интенсивность миграции	Коэффициент водной миграции	Состав ряда
Очень сильная	$n \cdot 10 - n \cdot 100$	S, Cl, B, Br, I
Сильная	$n - n \cdot 10$	Ca, Na, Mg, F, Sr, Zn, Mo, Se, Au
Средняя	$0, n - n$	Si, K, Mn, P, Ba, Rb, Ni, Cu, Li, Co, Cs, As, Tl, Ra
Слабая и очень слабая	$0, 0n$ и менее	Al, Fe, Ti, Zr, Th

Большой (геологический) круговорот веществ в Биосфере

обусловлен взаимодействием солнечной энергии с глубинной энергией Земли осуществляет перераспределение вещества между биосферой и более глубокими горизонтами Земли



Осадочные горные породы, образованные при выветривании магматических пород, в подвижных зонах земной коры вновь погружаются в зону высоких температур и давлений. Там они переплавляются и образуют магму - источник новых магматических пород.

После поднятия этих пород на земную поверхность и действия процессов выветривания вновь происходит трансформация их в новые осадочные породы.

Символом круговорота веществ является спираль, а не круг. Это означает, что новый цикл круговорота не повторяет в точности старый, а вносит что-то новое, что со временем приводит к весьма значительным изменениям

Геохимические барьеры.

Геохимические барьеры - участки резкого изменения интенсивности и типа миграции (А.И. Перельман, 1961г.)

Классификация

- 1. Кислородные или окислительные:** изменение окислительно-восстановительных условий в ландшафте. (участки резкой смены восстановительной среды на окислительную).
- 2. Сульфидные, или сероводородные:** контакт кислых вод с сероводородной средой, образование нерастворимых сульфидов железа, меди, свинца, цинка.
- 3. Глеевые** (*горизонт почвенного профиля*): контакт кислых вод с восстановительной средой, потеря кислорода, образование труднорастворимых форм V, Se, Cu, U.
- 4. Щелочные:** зона резкой смены кислой среды на щелочную: контакт карбонатных и силикатных пород, формируются горизонты, обогащенные Ca, Mg, Mn, Ba, Sr, V, Zn, Cu, Co, Pb, Cd.
- 5. Кислые:** изменение условий от щелочных к кислым, от сильнощелочных к слабощелочным, от сильнокислых к слабокислым, осаждение As, Mo, Se..
- 6. Сорбционные:** поглощение веществ гуминовыми соединениями и глинистыми минералами, несущими отрицательный заряд, сорбция Ni, Co, Cu, Zn, Hg, Ba.
Во влажных тропиках, где развиты почвы с положительно заряженными коллоидами, гидроксидами железа и алюминия сорбируются Cl, S, P, V, As, Cr, Mo.
- 7. Испарительные:** присущи аридным территориям (высокая температура, мало осадков), происходит засоление почв, выпаривание Ca, Mg, K, Na, F, S, Sr, Cl, Zn и др.

Геохимические барьеры

Причины образования: *смена температуры, давления, состава*

Осаждение элементов:

Сульфатный барьер

$\left. \begin{array}{l} \text{Ca}^{2+} \\ \text{Ba}^{2+} \\ \text{Sr}^{2+} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{из хлоридного рассола} \\ + \text{SO}_4^{2-} \text{ из сульфатных подземных вод} \end{array}$

Изменение Red-Ox условий:

Кислородный барьер (pH>3)

Восстановительные условия $\text{Fe(II)}_{\text{sol}}$

Окислительные условия $\text{Fe(III)}_{\text{res}}$

Изменение pH

pH осаждения	Элемент
11	Mg(II)
9	Ag(I), Mn(II), Hg(II)
8	Co(II), Ni(II), Cd(II)
7	Fe(II), Pb(II)
6	Zn(II), Be(II), Cu(II), Cr(III)
5	Al(III)
4	U(VI), Th
3	Sn(II), Fe(III)

pH<3 $\text{Fe(III)}_{\text{sol}}$

pH>3 $\text{Fe(III)}_{\text{res}}$

Круговорот воды в Биосфере



10^{-15} кг/год

Круговорот воды между сушей и океаном через атмосферу: влага, испарившаяся с поверхности Мирового океана за счет солнечной энергии, переносится на сушу, где выпадает в виде осадков, которые вновь возвращаются в океан в виде поверхностного и подземного стока.

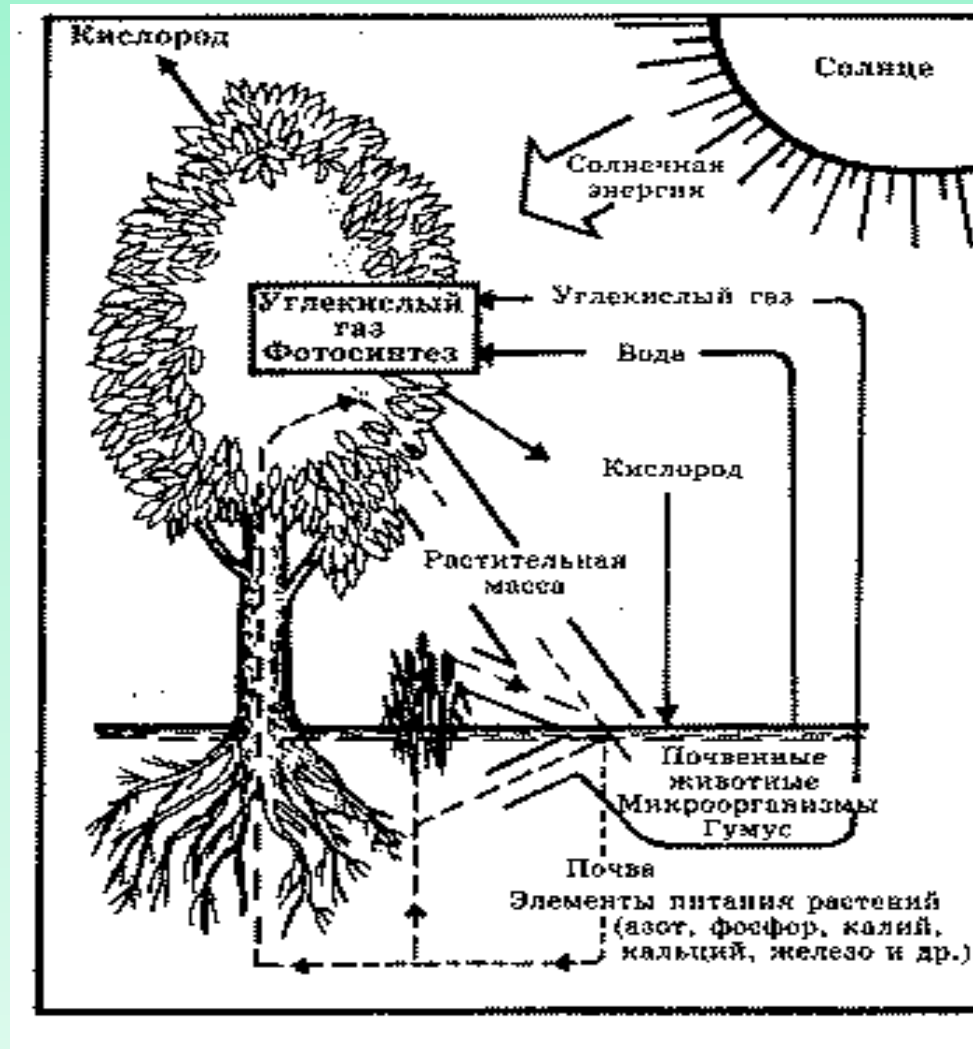
В круговороте воды на Земле ежегодно участвует более 500 тыс. км³ воды.

Круговорот воды играет основную роль в формировании природных условий на нашей планете.

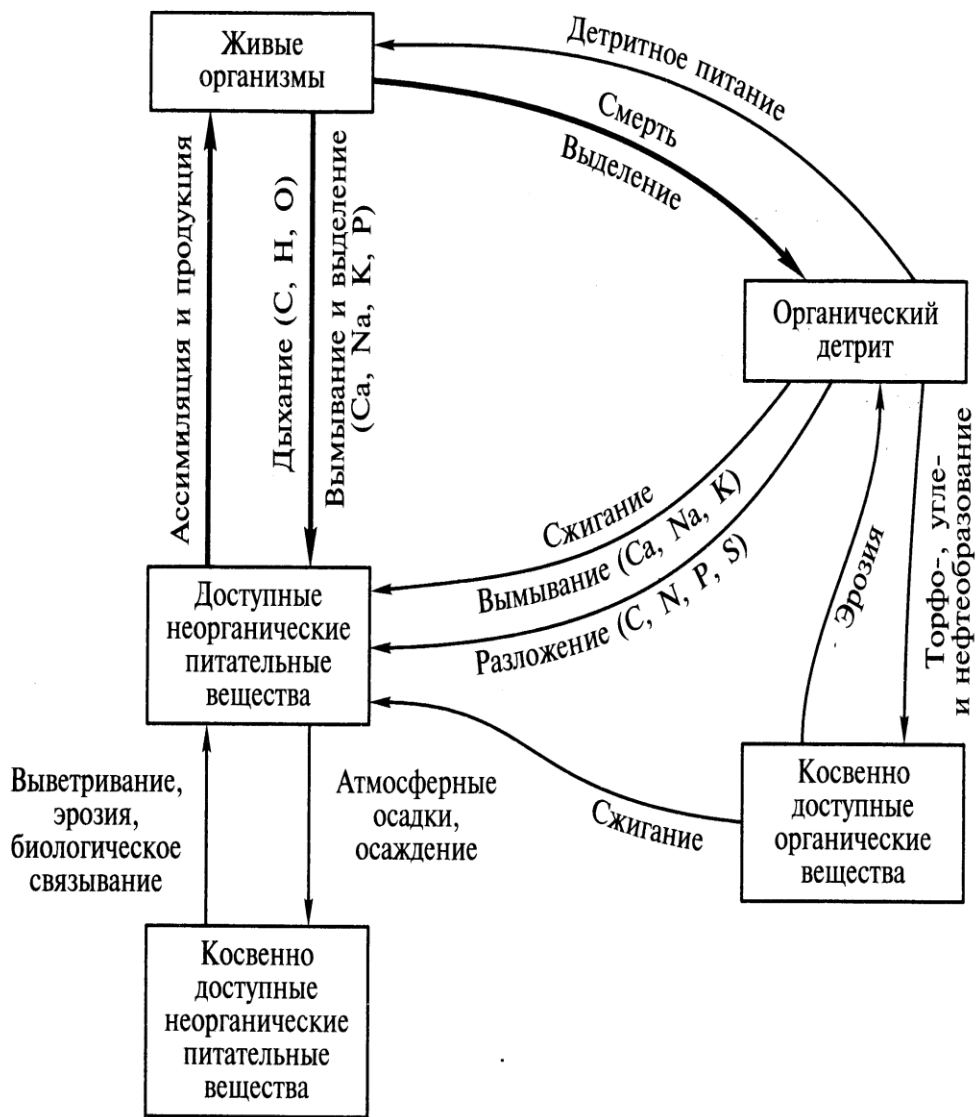
С учетом транспирации воды растениями и поглощения ее в биогеохимическом цикле, весь запас воды на Земле распадается и восстанавливается за 2 млн лет.

Малый круговорот веществ (биогеохимический) в Биосфере

Образование живого вещества из неорганических соединений в процессе фотосинтеза и превращение органического вещества при разложении вновь в неорганические соединения.



Блочная модель экосистемы



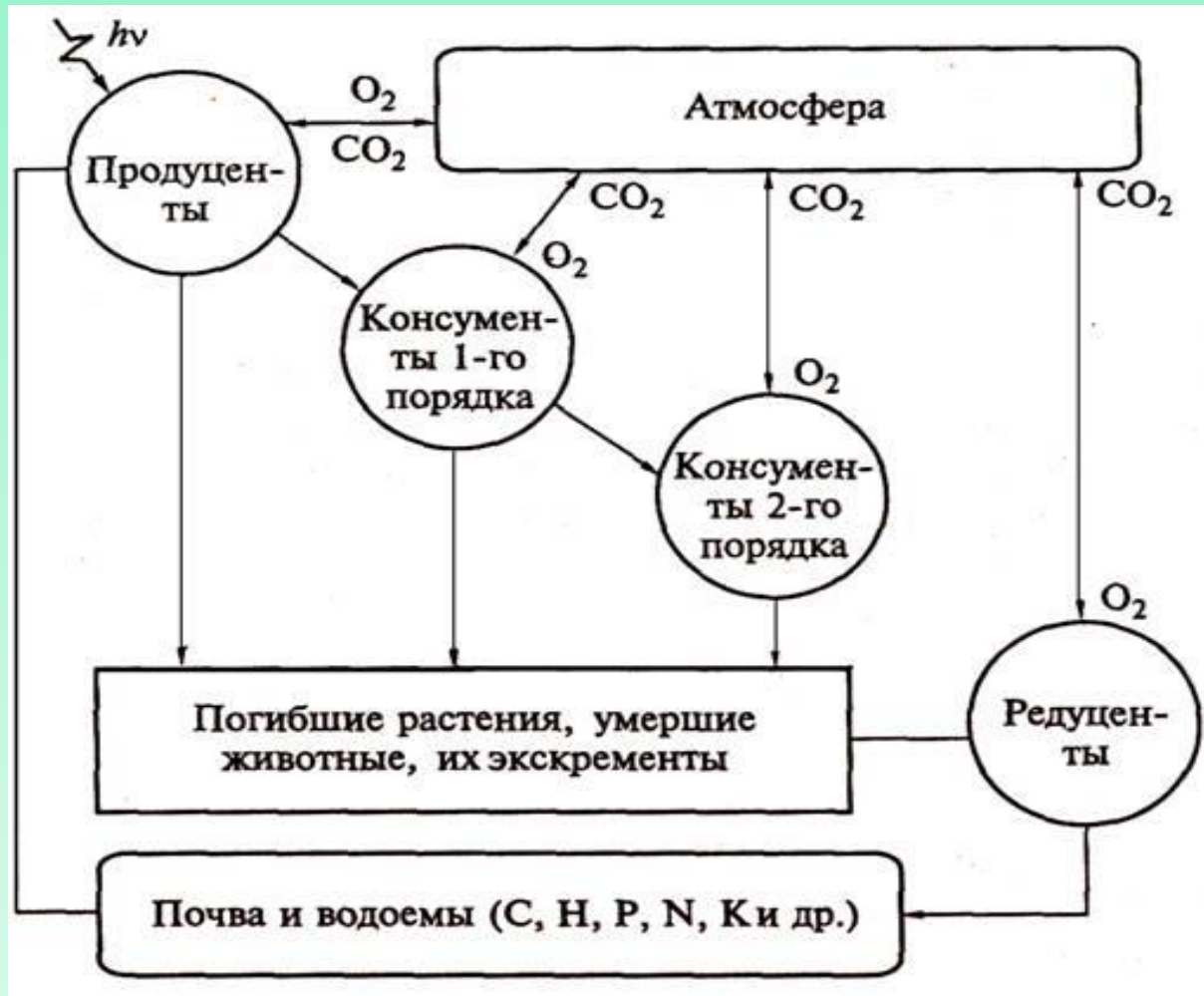
Процессы ассимиляции и распада, благодаря которым происходят круговороты биогенных элементов в биосфере, тесно связаны с поглощением и освобождением энергии организмами.

В наибольшей степени с превращениями энергии в сообществе связан круговорот углерода, так как большая часть энергии, ассимилированной в процессе фотосинтеза, содержится в органических углеродсодержащих соединениях.

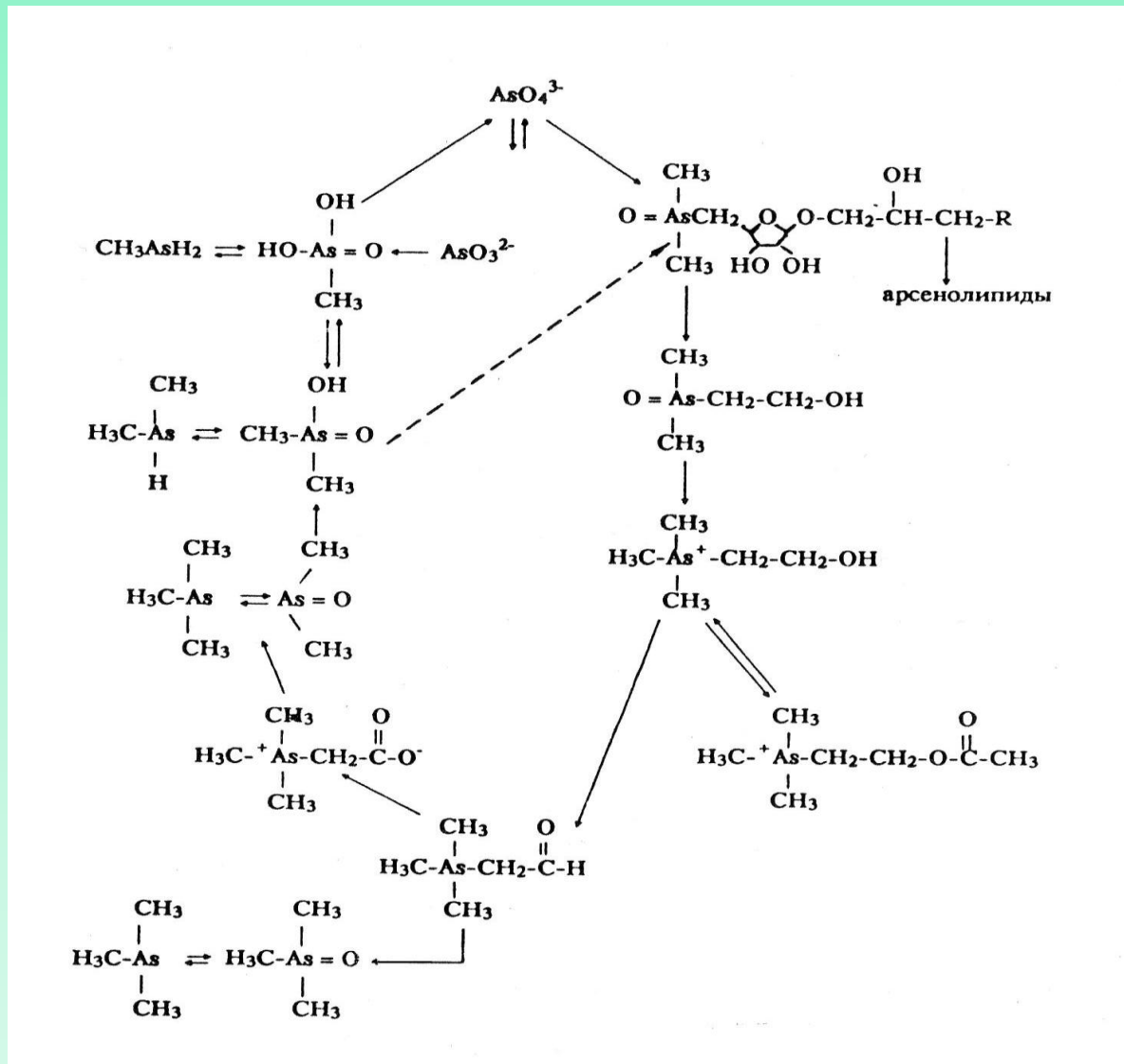
Среди процессов, сопровождающихся выделением энергии, самым главным является дыхание, при котором углерод высвобождается в виде углекислого газа.

Метаболизм органических соединений, содержащих азот, фосфор и серу, связан с удерживанием их в организме, т. к. они необходимы для синтеза органических молекул, образующих структурные и функциональные компоненты живых тканей. Поэтому прохождение азота, фосфора и серы через каждый трофический уровень несколько замедленно по сравнению со средним временем переноса энергии.

Биогеохимический цикл миграции биогенных химических элементов в Биосфере



Биоорганический цикл мышьяка в природе



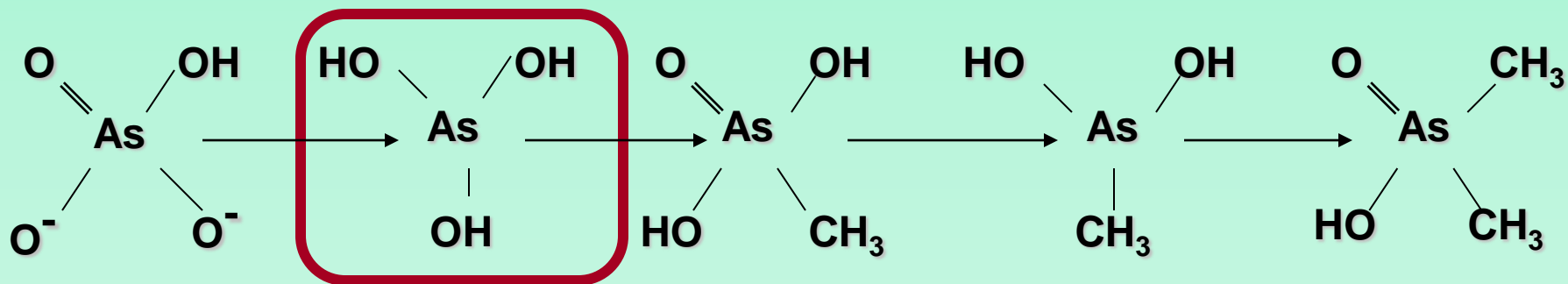
Кларк (земная кора) – 1,7 мг/кг

ПДК: природные (питьевые) воды – 0,01 мг/л

Биохимическая трансформация

на примере мышьяка

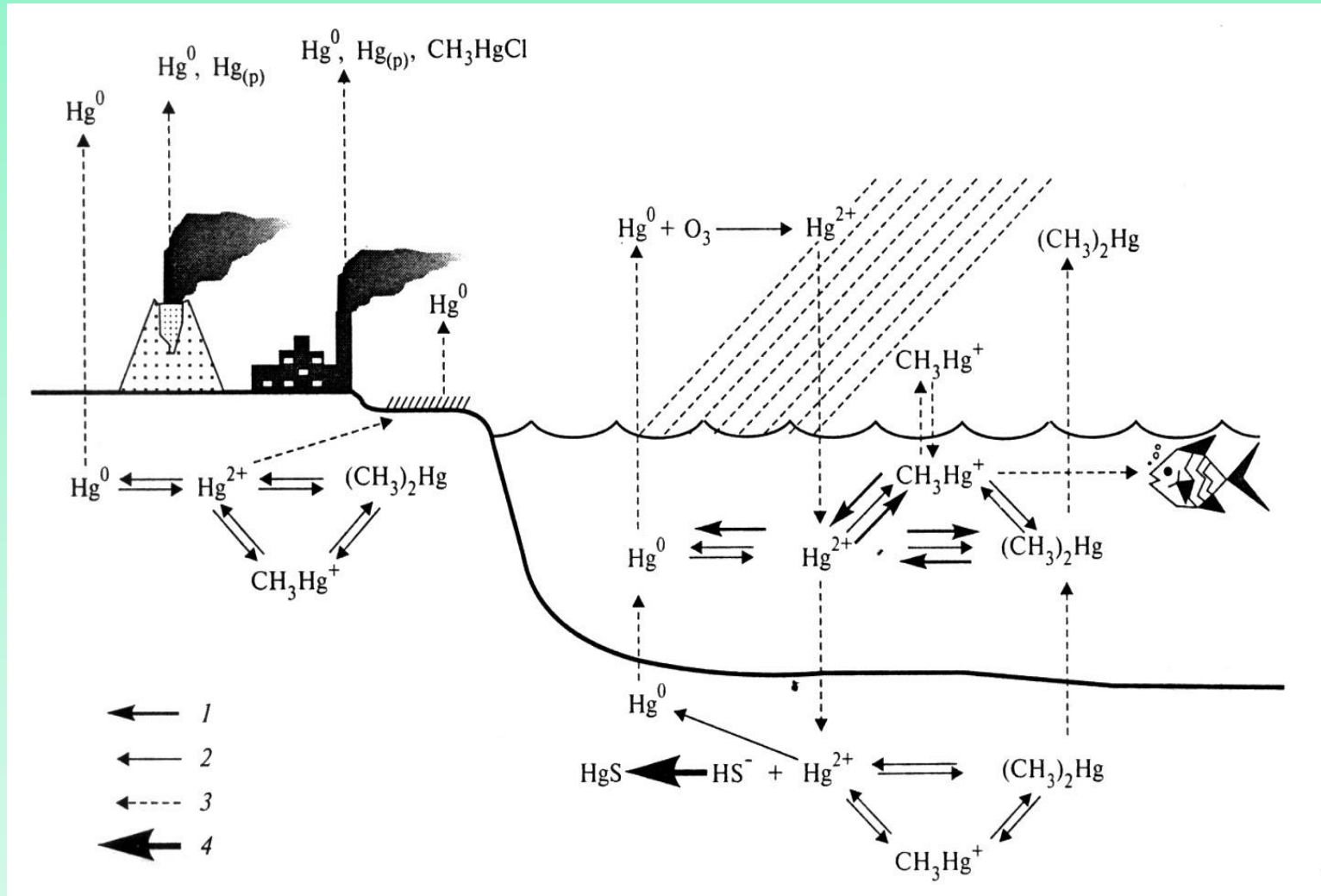
Био-метилирование:



Хемосинтез: (бактерии)



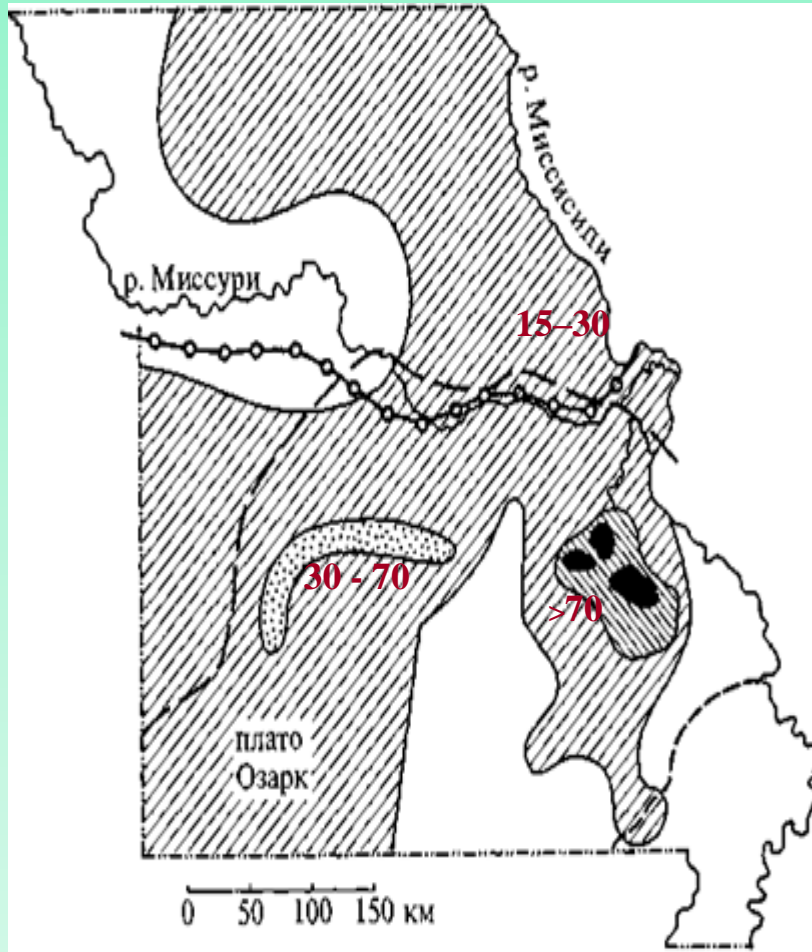
Биогеохимический цикл ртути в Биосфере



Кларк (земная кора) 0,05 - 0,1 мг/кг

ПДК: природные (питьевые воды) – 0,01мкг/л; почвы - 2,0 мг/кг

Природные геохимические аномалии: месторождения, рудопроявления



Свинцовый пояс – район старейших в США (Ю-В части штата Миссури) разработок свинца.

Процессы взаимодействия растительности и почвенной биоты с минеральным субстратом приводят к формированию геохимических аномалий на поверхности почвы.

В лесной подстилке аккумулируются металлы, рассеивающиеся из рудного тела.

В данном случае древесная растительность действует как **«геохимический насос»**, перекачивающий рудные элементы из глубины на поверхность (В.М. Гольдшмидт, 1938) .

ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ (ТГА)

ТГА – отклонения от нормы содержаний химических веществ, свойственных данному участку биосферы или одной из ее составных частей, которые возникают в результате деятельности людей.

Классификация ТГА (Перельман А.И., 1974 г.)

По типу:

- с повышенным (положительные) геохимическим фоном;
- с пониженным (отрицательные) геохимическим фоном.

По средам:

- педогеохимические (в почвах);
- литогеохимические (в породах);
- гидрогеохимические (в водах);
- атмогеохимические (в атмосфере);
- биогеохимические (в организмах: фито- и зоо-).

Классификация ТГА (Перельман А.И., 1974 г.)

По размерам:

- глобальные - аномалии, охватывающие весь земной шар или большую его часть. Примеры: *повышенное содержание CO_2 в атмосфере в результате сжигания угля и нефти, накопление стронция после ядерных взрывов.*

- региональные – аномалии, распространяющиеся на части материков, отдельные страны, зоны, области, провинции.

Они возникают в результате применения минеральных удобрений, ядохимикатов и т.д. Локальные аномалии связаны с конкретным эпицентром (рудником, заводом и т.д.), их радиус не превышает десятков километров. К локальным геохимическим аномалиям относятся, например, повышенное содержание металлов в почвах (см.) и водах вокруг некоторых металлургических комбинатов и других предприятий промышленности и энергетики.

Однако обычно ТГА захватывают в сферу влияния техногенного потока несколько сред и образуют сложно построенные по форме, протяженности, составу и характеру дифференциации веществ техногенные ореолы и потоки рассеяния.

По особенностям формирования можно выделить ТГА трех основных видов:

- 1. Аномалии, формирующиеся на техногенных геохимических барьерах. При этом могут концентрироваться элементы, поступающие в результате природной и техногенной миграции. Так, на водохранилищах у барьеров в приплотинной части происходит концентрирование целого ряда элементов (в том числе тяжелых металлов, токсичных веществ), мигрировавших в виде растворов и взвесей.**
- 2. Аномалии, образующиеся на природных геохимических барьерах за счет поступления в миграционный поток элементов, связанных с антропогенной деятельностью. Такие аномалии чаще всего встречаются вблизи промышленных предприятий, на механических, сорбционных и других природных барьерах.**
- 3. Аномалии (отрицательные), возникающие за счет интенсивного антропогенного выноса элементов. Примером такого выноса служит растворение и перенос целого ряда элементов и их соединений кислыми и щелочными водами, поступающими в результате откачки на поверхность Земли.**

ТГА с повышенным содержанием техногенных веществ (в сравнении с нормальным геохимическим фоном) возникают:

- 1. При единовременных аварийных выбросах техногенных веществ (при аварийных разливах нефти в акваториях, аварийных сбросах загрязненных сточных вод и др).**
- 2. В результате ограниченного во времени, но интенсивного техногенного воздействия (разработка месторождений полезных ископаемых: по выработке месторождения активная деятельность прекращается, но последствие - геохимическое воздействие на окружающую среду отвалов вскрышных пород - длительное время продолжается и поддерживает существование техногенного геохимического ореола).**
- 3. В результате стационарного режима воздействия источника техногенных веществ на окружающую среду (заводы, фабрики, теплоэлектроцентрали, промышленные комплексы в целом, сельскохозяйственные предприятия, автомагистрали и другие постоянно действующие объекты).**

В первых двух случаях ТГА, хотя и резко выражены, относятся к остаточным. Продолжительность их существования зависит от степени первоначального нарушения функций живого вещества экосистемы и от совокупности ландшафтно-геохимических условий.

Авария на Саяно-Шушенской ГЭС (17.08.2009г.)

Индустриальная техногенная катастрофа



До



После

В результате аварии погибло 75 человек, оборудованию и помещениям станции нанесён серьёзный ущерб. Работа станции приостановлена. Последствия аварии отразились на экологической обстановке акватории, прилегающей к ГЭС, на социальной и экономической сферах региона.

Причина аварии - разрушение и повреждение узлов крепления, что привело к срыву крышки и затоплению машинного зала станции.

На данный момент эта авария является крупнейшей в истории катастрофой на гидроэнергетическом объекте России и одной из самых значительных в истории мировой гидроэнергетики

Авария на нефтяной платформе в Мексиканском заливе в апреле 2010 г.



Управляемая нефтегазовой компанией British Petroleum (BP) платформа Deerwater Horizon затонула около побережья штата Луизиана после 36-часового пожара. Началась утечка нефти.

В результате аварии погибли 11 человек, в воды Мексиканского залива вылилось более 5 млн. баррелей сырой нефти, ежедневно в воды залива вытекало до 40 тысяч баррелей нефти (более 6 млн. литров). BP предпринимала многочисленные и большей частью безуспешные попытки устранить утечку.

К марту 2011 г. неочищенными остались 530 миль. Неочищенные участки остались в Луизиане, в том числе часть береговой линии и многочисленные болота.

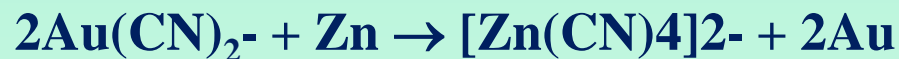
Хвостохранилище горно-обогатительного комбината (п.Комсомольск, Кемеровская обл.)



Комсомольский горно-обогатительный комбинат
Специфика: переработка золотосодержащих руд
методом цианирования

Исходные минералы: *кварц, плагиоклаз, слюды, пирит, пирротин, магнетит, ильменит, арсенопирит, сфалерит и галенит*

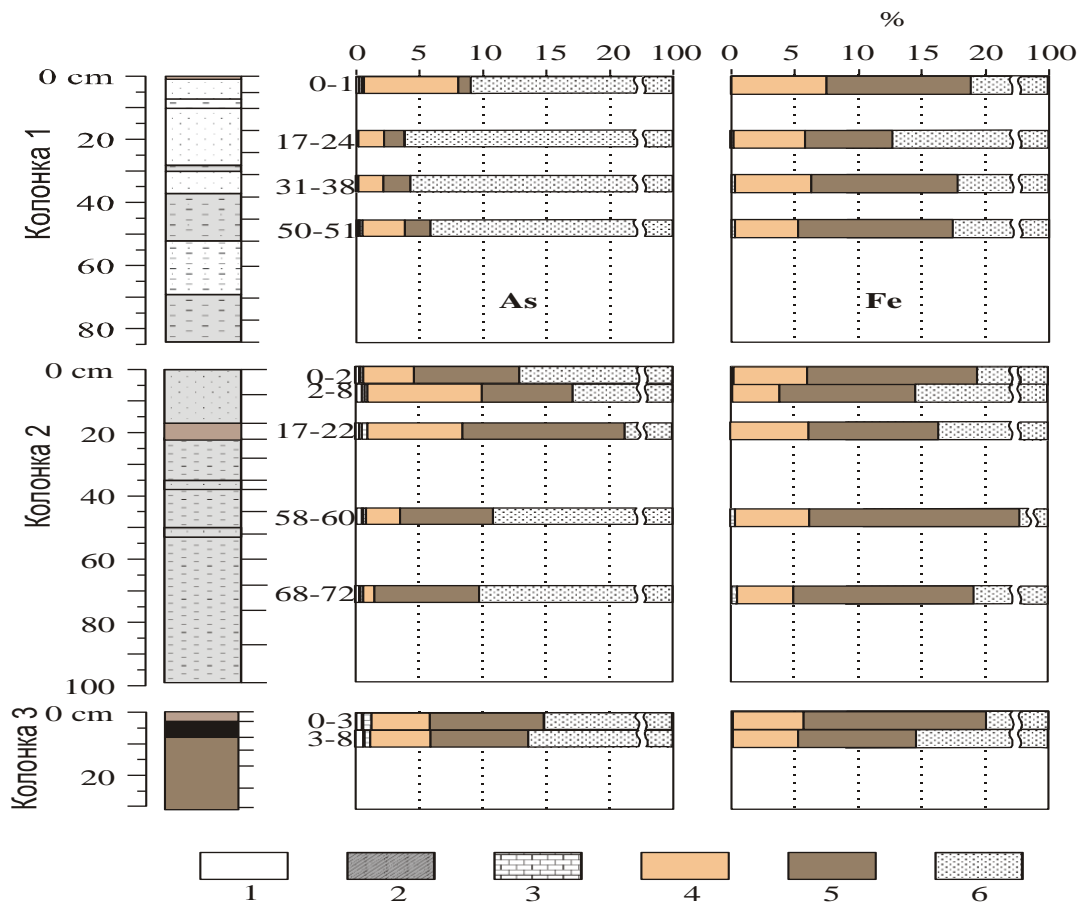
Основные стадии технологического процесса:



Окисление остаточного арсенопирита:



Послойное распределение физико-химических форм элементов в донных осадках техногенного озера Комсомольского ГОКа

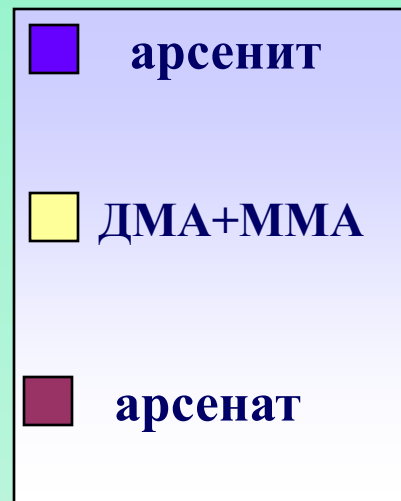
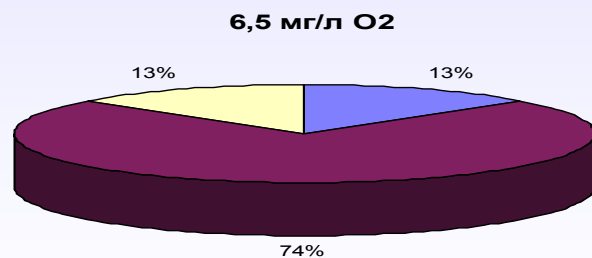
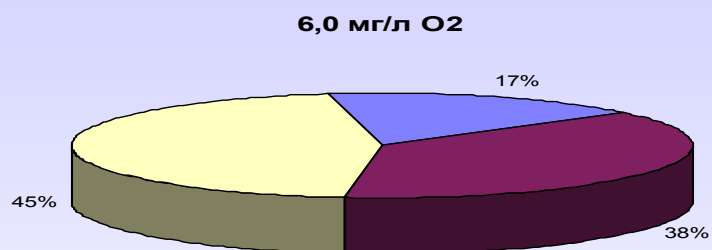
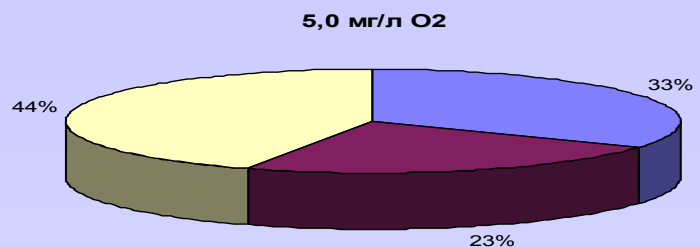


. Формы нахождения мышьяка в затопленной части хвостохранилища.
1 - водорастворимая, 2 - ионообменная, 3 - карбонатная, 4 - легковосстанавливаемая, 5 - средневосстанавливаемая, 6 - остаток.

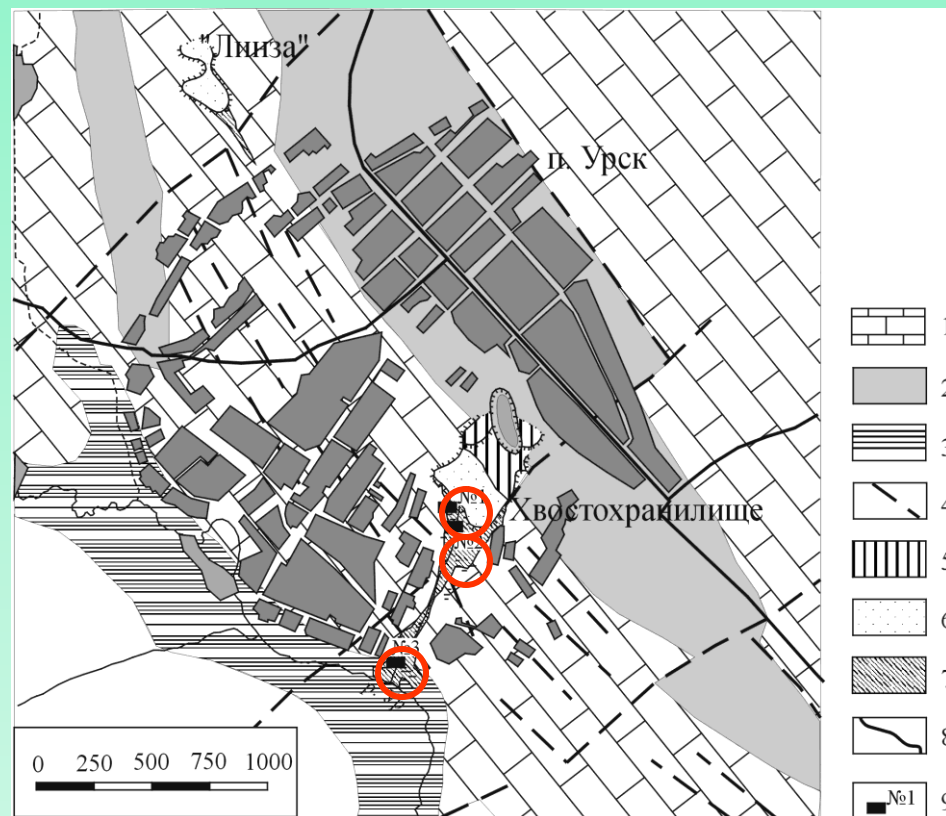
Содержание мышьяка и его химических форм в водах хвостохранилища ГОК, мкг/л

Образец	O ₂ мг/л	pH	Арсенит	Арсенат	ДМА+ММА	As <i>общий</i>
Поверхностная вода	7,5±0,5	8,6±0,05	30±±10	70±20	<70	100±20
(Шурф №1) Поровая вода	5,0±0,5	8,0±0,05	100±30	70±20	130±30	350±50
(Шурф №2) Поровая вода	6,0±0,5	6,3±0,05	90±30	200±40	40±10	400±60
(Шурф №3) Поровая вода	6,4±0,5	6,0±0,05	40±10	220±50	240±40	600±90
Транспирация растений	-	-	<10	<100	40±10	40±10

Распределение мышьяка по химическим формам в поровых водах хвостохранилища (Комсомольск, 1998)



Распределение ртути и ее химических форм в зоне складирования сульфидных отходов цианирования колчеданных руд Урского месторождения (Кемеровская обл.)



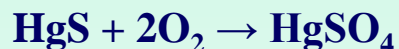
Геологическая схема Урского хвостохранилища:

- 1- известняки, 2 – вулканические породы,
- 3 - четвертичные отложения, 4 - разрывные нарушения, 5 - породные отвалы, 6 - хвостохранилище,
- 7- вещество отходов, снесённое из хвостохранилища,
- 8 - дороги, 9 - шурфы.

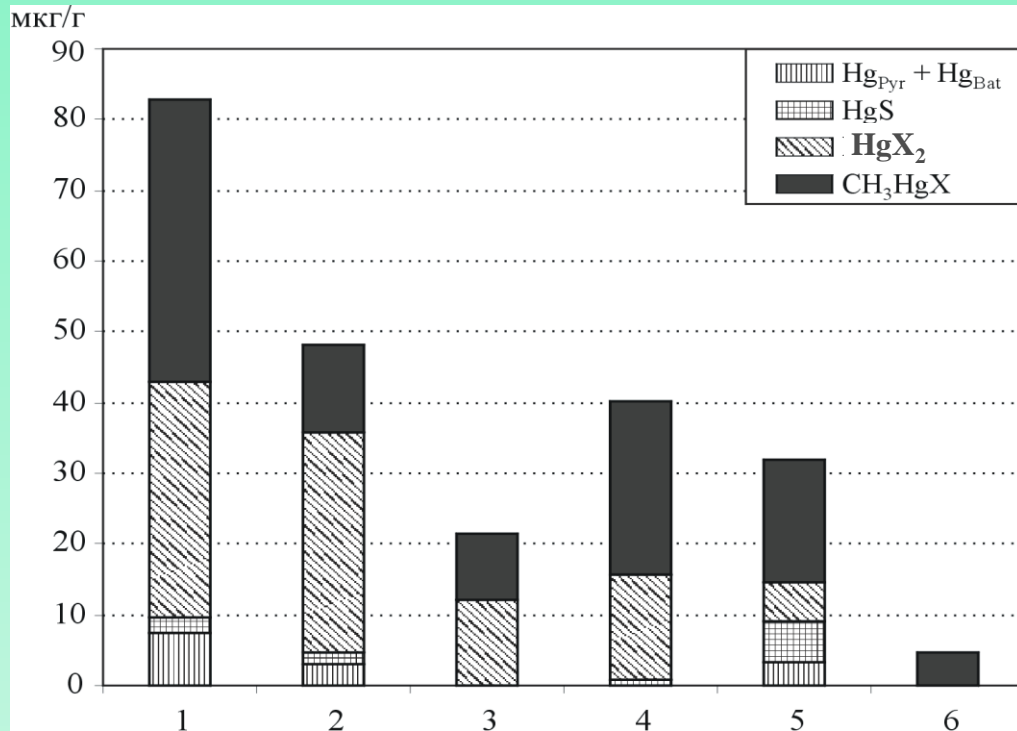
Исходные минералы:

пирит (FeS_2), сфалерит (ZnS),
халькопирит (CuFeS), киноварь (HgS)
арсенопирит (FeAsS), галенит (PbS).

Окисление остаточного минерала :



Распределение ртути в зоне хвостохранилища:



Распределение ртути по химическим формам в твердом веществе:

- 1- вещество отходов;
- 2 – окисленное вещество отходов;
- 3 – охры, образующиеся на контакте с известняками;
- 4 – детритовый материал болотной кочки над поверхностью отходов;
- 5 – вещество отходов, содержащее органические остатки;
- 6 – захороненный торф.

Результаты исследования:

1. В материале отходов преобладают окисленная (HgX_2) и метилированная формы ртути.
2. Образование метилртути, вероятно, происходит в поровом растворе ($pH = 2-4$, $E_h = 0,6-0,8$ В; $t = 20-70^\circ C$, $C_{орг} = 20-400$ мг/л) – в условиях, благоприятных для биометилирования (Сухенко С.А. Ртуть в водохранилищах: новый аспект антропогенного загрязнения биосферы, Н., 1995. – 59 с.)
3. Образование сульфида ртути как вторичной минеральной фазы обусловлено процессом сульфидирования, который может иметь место в анаэробных условиях при участии бактерий

Перемещение и преобразование поллютантов в геосфере играет принципиальную роль в формировании условий существования Биосферы и населяющих ее организмов, начиная от простейших форм до человека.

Процессы перемещения токсикантов в ненарушенных природных системах, а тем более в измененных в результате хозяйственной деятельности, сложны для их описания,

Создание геохимической модели трансформации и транспорта вещества в Биосфере требует детализации множества процессов, ответственных за движение и распределение загрязнителей по всем компонентам биосферы.

Наиболее важные из них (Кондратьев и др., 2005):

- химические реакции, которые преобразуют массу загрязнителей, переводя их в различные состояния;**
- перенос химических элементов при растворении в воде и рассеивание их внутри геологических структур;**
- биологическое разложение и преобразование опасных химических элементов в безвредные формы;**
- процессы осаждения и растворения, которые могут увеличивать или уменьшать пористость, проницаемость среды и тем самым изменять скорости водных потоков (например, при загрязнении высокомолекулярными углеводородами).**

Воздействие поллютантов на живые организмы

Антропогенное нарушение естественных концентраций химических элементов и их соединений в природной среде, а через нее и в живых организмах губительно отражается на их развитии и жизнедеятельности.

Токсическое воздействие химического элемента или его соединения проявляется на разных структурных уровнях организма:

– на молекулярном уровне имеют место процессы ингибирования ферментов, необратимые изменения макромолекул белков и нуклеиновых кислот и, как следствие, нарушение процессов метаболизма;

– на клеточном уровне происходят изменения структуры и проницаемости мембран, нарушение нормальной жизнедеятельности клеток вызывает расстройство функций органа, образуемого данными клетками;

– на уровне организма изменение функционирования органов проявляется характерными признаками отравления в виде замедления роста, ослабления репродуктивной функции (способности к самовоспроизведению и размножению), аномальных изменений физиологических параметров, хронических и онкологических заболеваний, преждевременного старения.

Знание биохимических основ токсичности химических элементов и устойчивости живых организмов к действию загрязняющих веществ, понимание принципов и путей их миграции, превращения и воздействия на живые организмы и среду их обитания позволяет дать адекватную оценку влияния хозяйственной деятельности общества на природную среду.

Изучение экологической опасности загрязнения природной среды веществами антропогенного происхождения невозможно без рассмотрения путей их миграции и трансформации в природных средах и живых организмах.

Современный качественный и количественный химический состав незагрязненной среды обитания живых организмов (Биосферы) формировался на протяжении миллионов лет развития жизни на Земле. Между природной средой и живыми организмами установилось динамическое равновесие обмена веществом и энергией, которое достигалось путем миграции, непрерывного кругооборота жизненно необходимых (биогенных) макро- и микроэлементов.

Антропогенный фактор внес существенную дестабилизацию в динамику природных процессов (изменение климата, выпадение «кислотных» дождей, формирование озоновых «дыр», загрязнение всех компонентов биосферы и др.).