Тема 10. Тяжелые халькофилы
Ч. 2. Zn-Cd-Hg

	1a	2a	3a	4a	5a
4	Cu	Zn	Ga	Ge	As
5	Ag	Cd	In	Sn	Sb
6	Au	Hg	Tl	Pb	Bi

Триада Zn – Cd – Hg: общие свойства

- Все элементы триады проявляют в Земной коре халькофильные свойства, цинк – также литофильные (рассеивается в силикатах), а ртуть – атмофильные (летит в парах).
- Элементы триады имеют общую валентность +2 (ртуть также 0 и +1). Они образуют ковалентные связи в соединениях с серой, и ионные связи в кислородной среде.
- Цинк и ртуть – очень минерагенные микроэлементы, а кадмий, напротив, рассеянный из-за геохимического сходства с цинком.
- В гидротермальных растворах элементы триады образуют устойчивые комплексы с ионами HS^- и Cl^-.
- Важным свойством элементов триады является их летучесть – максимальная у Hg, меньшая у Cd и Zn. Температуры кипения чистых веществ у них (соответственно) 357,7°C, 765°C и 906°C. Перенос в газовой фазе заметен для Hg уже при комнатных температурах, у Cd при повышенных температурах (в фумаролах), у Zn – в магматическом процессе.

Триада Zn – Cd – Hg: общие свойства

- При эволюции вещества Солнечной системы в распределении элементов триады обнаруживается сходство:

Элемент (ppm)	Космическая распространенность (CI-хондриты)	Примитивная мантия	Верхняя часть континен-тальной коры
Zn	309	53,5	67
Cd	0,674	0,035	0,09
Hg	0,035	0,006	0,05

- По сравнению с веществом углистых хондритов (наименее измененной твердой составляющей протопланетного облака) мантия Земли существенно обеднена Zn, Cd и Hg. По современной трактовке – это следствие формирования Земли из метеоритного вещества, затронутого ударным метаморфизмом, при котором элементы триады вследствие их умеренной летучести были частично потеряны.
- При дифференциации мантии Zn немного обогащает кору (он более похож на Fe, чем на Mg при плавлении мантии). Hg существенно перераспределяется в кору Земли вследствие своей летучести, тогда как Cd занимает промежуточное положение.

Триада Zn – Cd – Hg: общие свойства

- Элементы триады сильно взаимодействуют с живым веществом.
- Кадмий и ртуть – очень токсичные элементы, относящиеся к 1 классу опасности, цинк – к 1 классу опасности в почве и 2 классу опасности – в воде.
- Всем элементам триады свойственна значительная техногенная эмиссия в окружающую среду.
- Вследствие этого с элементами триады связаны существенные эколого-геохимические опасности.

Свойства элементов триады Zn – Cd – Hg

Элемент	**Zn**	**Cd**	**Hg**
Атомный номер	30	48	80
Валентности	**+2**	**+2**	0, +1, +2
Радиус иона, Å	0.74	0.95	1.19 1.06
Координационное число	VI	VI	
Распространенность, г/т			
- Земная кора	**76**	**0.2**	**0.08**
- ультра-осн. г. п.	50	0,06	0.03
- основные г. п.	110	0,2	0.08
- средние г. п.	72	0,2	-
- кислые г. п.	60	0,2	0.08
- осадочные г. п.	90	0.3	0.4
Вода океана, мг/кг	0.0005	0.0001	$1 \cdot 10^{-6}$
ПДК, питьевая вода, мг/кг	5.0 (орг.-л.)	0,001	0.0005
Число минералов	216	25	92
Добыча, т в год	**13 000 000**	**24 000**	**3 700**

Цинк

- Цинк проявляет себя в Земной коре и на ее поверхности двойственно: в расплавах и горных породах, в наземных ландшафтах и гидросфере – как литофил, в гидротермальных системах – как халькофил.
- Zn имеет 5 стабильных изотопов с массами от 64 до 70 (главный ^{64}Zn, 48.63%). В природе зафиксированы вариации изотопного состава ($\delta^{66}Zn$) в пределах 2 ‰, в практике геохимических исследований они еще не используются.
- В Земной коре Zn находится в валентном состоянии +2.
- В водных растворах цинк образует катион Zn^{2+} с хорошими миграционными свойствами. В экзогенных условиях он мигрирует в водах в свободном состоянии, в комплексах с минеральными и органическими лигандами. При повышенных температурах Zn^{2+} образует устойчивые комплексы с Cl^- и OH^-.

Цинк

- Кристаллохимический радиус иона Zn^{2+} (Ri=0.74 Å) соответствуют октаэдрической позиции в минералах. Цинк проявляет хороший изовалентный изоморфизм с Mg и элементами группы железа: Zn-Mg-Fe^{II}-Mn^{II}-Ni-… в силикатах, оксидах (магнетите, шпинели), так и сульфидах (без Mg).
- Близость химических и кристаллохимических свойств Zn и Cd предопределяет сходство их геохимического поведения (см. Кадмий).
- Цинк – минерагенный микроэлемент, известно более 200 его собственных минералов, относящихся ко многим классам- сульфиды, сульфосоли, оксиды, соли кислородных кислот.
- Наиболее распространенный в природе минерал цинка – *сфалерит* ZnS (высокотемпературный полиморф – *вюрцит*), из кислородных соединений – карбонат *смитсонит* $ZnCO_3$.
- Сфалерит и вюрцит выступают в природе как изоморфные носители большого набора примесей - халькофильных микроэлементов: Cd, Hg, Ga, In, Tl, Ge, Cu^{II}, Ag.
- Наблюдаемая в природе ассоциация Zn со Pb имеет парагенетический характер – близкие свойства сфалерита и галенита (при слабых изоморфных связях).

Цинк

- В магматических процессах Zn рассеивается в породообразующих минералах – темноцветных силикатах – оливине, пироксенах, также магнетите. Распределение Zn по типам пород нормального ряда похоже на Fe^{II} – он дает максимум в основных породах. В средних и кислых породах носителем Zn обычно является биотит.
- В отличие от меди и других халькофилов, цинк не участвует в железо-сульфидной ликвации. В результате магматогенных месторождений цинка нет.

Цинк

- В гидротермальном процессе цинк – весьма активный участник. Он хорошо переносится высокотемпературными растворами, и в грейзенах и гипотермальных месторождениях не отлагается. Три основных промышленных типа цинковых месторождений:
  - плутоногенные жильные Pb-Zn-месторождения (Садонский рудный р-н на Сев. Кавказе, и др.);
  - колчеданные (Cu-Zn и полиметаллический типы) (Ю.Урал, Япония, Австралия); эти месторождения содержат около 60% разведанных запасов цинка;
  - стратиформные Pb-Zn месторождения в карбонатах (тип миссисиппи).
- Эти гидротермальные месторождения объединяют:
  - общая форма миграции Zn в гидротермальных системах – хлоридные комплексы,
  - минеральная форма отложения – сфалерит и магматический источник тепла.
- Механизмы рудоотложения – разные:
  - в Pb-Zn жильных – охлаждение и метасоматоз,
  - колчеданные – гидротермально-осадочные на дне морских бассейнов.

  В отношении стратиформных месторождений до сих пор нет единства взглядов.

Цинк

- При выветривании цинк легко мобилизуется и не дает концентрирования при выветривании. Он хорошо мигрирует в природных водах как в растворе, так и во взвеси, особенно – в сорбированном виде на пленках гидроксидов Fe и Mn. В осадочном процессе цинк рассеивается.
- Известно концентрирование Zn в черных сланцах, где он накапливается за счет осаждения в сероводородной среде.
- Цинк относится к жизненно необходимым элементам. Он входит во множество ферментов, участвующих во многих биохимических процессах. В организме взрослого человека содержится около 2 г цинка. Известны заболевания, вызванные недостатком цинка (не эндемические).
- Растворимые соединения цинка токсичны при повышенных концентрациях. Возможны бытовые отравления при хранении пищевых продуктов в оцинкованной посуде.
- По Zn установлены ПДК в питьевой воде (по органолептическим показателям).

Цинк

- **Добыча.** Цинк добывается из колчеданных, жильных и стратиформных месторождений. Общий объем добычи довольно устойчив на уровне 12-13 млн. т в год. Основными производителями цинка сейчас являются Китай (>30%), Перу (12%), Австралия (10%). Сбор и утилизация цинка представляют значительные проблемы, тем не менее уровень рециклинга рафинированного цинка достиг в США 60 %.
- Добыча цинка в настоящее время превысила глобальные потоки выветривания и речного стока. Однако техногенная эмиссия в гидросферу по данным (Rauch, Pacyna, 2009) относительно невелика. Техногенная эмиссия в атмосферу достигла ⅓ природного потока.
- **Использование.** Основные направления использования – антикоррозионные покрытия («оцинковка») в строительстве и быту (около 50%), сплавы (латунь и др.) (20%), в химической промышленности, сельском хозяйстве и медицине.
- Цинк – относительно благополучный в экологическом отношении элемент. Загрязнение Zn в почвах систематически фиксируется в «спальных» районах городов (использование оцинкованных конструкций – крыш, труб, водостоков и т.п.), но не имеет критических последствий. В нечерноземных почвах наблюдается недостаток цинка, что требует внесения микроудобрений.

Кадмий

- Кадмий – геохимический спутник цинка. Химические и кристаллохимические свойства кадмия и цинка близки (Zn - Ri=0.74 Å; Cd - Ri=0.95 Å), но распространенность цинка в 300 раз больше, поэтому цинк выступает как элемент-«хозяин», а кадмий – как спутник. Отношение этих элементов (в Земной коре в среднем Cd/Zn=0.003) может служить индикатором некоторых геохимических процессов.
- Распространенность кадмия в Земной коре (0,2 ppm) несколько больше, чем оценка для примитивной мантии (0,035 ppm), что отражает его немного повышенную летучесть (см. ниже), тогда как для цинка такого эффекта нет.
- У Cd шесть стабильных изотопов с массами от 106 до 114 (главный ^{114}Cd, 28.73%). В природе зафиксированы вариации изотопного состава ($\delta^{114/110}$Cd) в пределах 4 ‰. Данных по изотопии Cd еще очень немного. Есть перспективы использования изотопии кадмия для идентификации антропогенного воздействия, поскольку выявлено фракционирование изотопов Cd в металлургических процессах.

Кадмий

- Аналогично цинку, геохимическое поведение кадмия двойственное: в расплавах и горных породах, в наземных ландшафтах и гидросфере – он проявляет литофильные свойства, в гидротермальных процессах – халькофильные.
- В Земной коре Cd находится в валентном состоянии +2. В водных растворах кадмий дает катион Cd^{2+} с хорошими миграционными свойствами. При повышенных температурах Cd^{2+} образует устойчивые комплексы с Cl^{-}.
- Главным минералом – носителем Cd является сфалерит. В нем примесь Cd обычно составляет 0,3-0,4% (до 1,7%). Еще больше его в вюрците. Кадмий также постоянно присутствует в халькопирите и блеклых рудах, но в концентрациях на два порядка уступающих сфалериту.
- Кадмий относится к категории рассеянных микроэлементов, у него установлено 25 собственных минералов (на 2015 г.), очень редких в природе. Более половины из них относится к классу сложных сульфидов. Относительно распространенные минералы кадмия – *гринокит* CdS (аналог вюрцита) и *отавит* $CdCO_3$.

Кадмий

- Поведение кадмия в магматических процессах практически не изучено, по-видимому он повторяет судьбу Zn - рассеивается в темноцветных силикатах. Как и цинк, он не участвует в железо-сульфидной ликвации.
- Кадмий обладает большой летучестью в магматических газах, существенно превышающей аналогичную способность цинка. В результате в конденсатах вулканических газов отношение Cd/Zn превышает 0,1 (при отношении в магматических породах 0,002-0,003). Причина этого, возможно заключается в том, что в вулканических газах кадмий летит в атомарной форме – Cd° (у цинка такой перенос проявлен слабее). Следствием летучести в вулканических газах оказалось обнаружение самостоятельных кадмиевых минералов в осадках фумарол (на вулк. Кудрявый – 3 новых Cd-минерала).
- В гидротермальном процессе Cd следует за Zn. Все цинковые месторождения содержат кадмий, Cd/Zn обычно находится в интервале 0,003 – 0,010. Относительное обогащение кадмием фиксируется на поздних стадиях процессов, в переотложенных и регенерированных рудах. Причина этого – из-за большего радиуса ионов K_d кадмия в сфалерите <1, и он немного накапливается в растворе при кристаллизации ZnS.

Кадмий

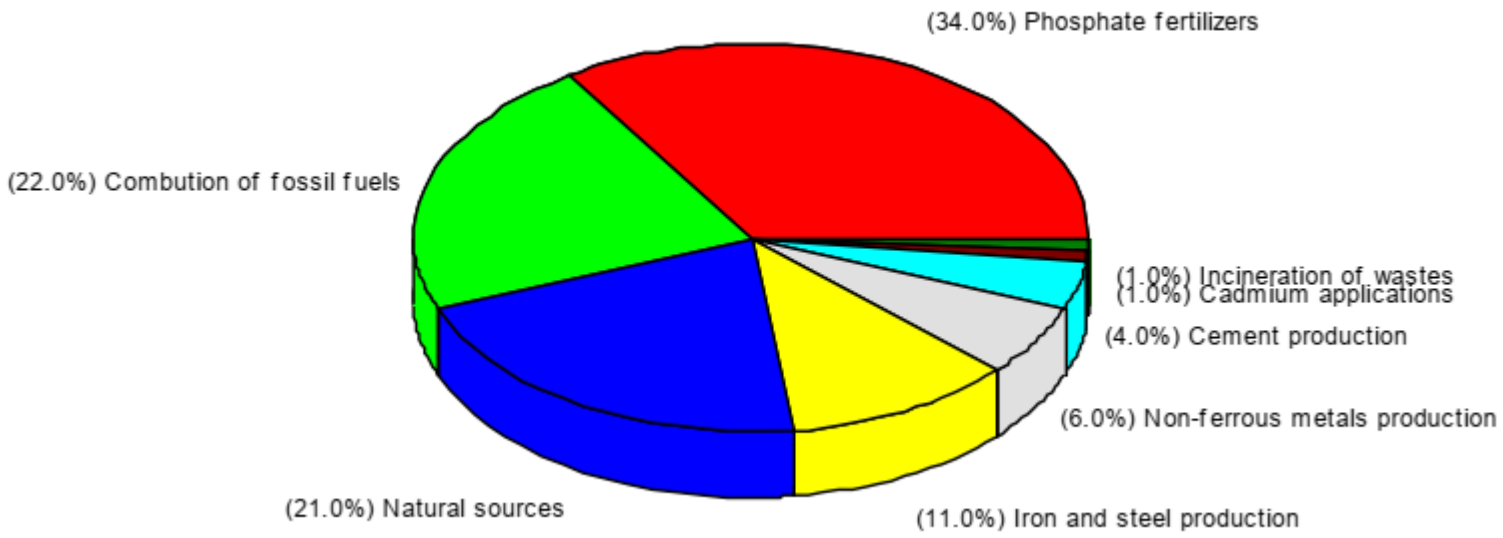
- При выветривании кадмий рассеивается и переходит в поверхностные воды. Эти реакции у кадмия идут несколько медленнее, чем у цинка, вследствие чего в осадочных породах обнаружен отавит – собственный карбонат кадмия.
- В осадочном процессе кадмий, как и цинк, рассеивается. В океанской воде кадмий накапливается относительно цинка (Cd/Zn=0.2).
- Позитивные биохимические функции кадмия не установлены.

Кадмий

- Кадмий - очень токсичный микроэлемент 1-го класса опасности, обладающий кумулятивным действием. В живых организмах он блокирует некоторые функциональные группы, в особенности – сульфгидрильные, и таким образом нарушает работу многих ферментативных систем. Это приводит к поражению центральной нервной системы, печени и почек. При длительном воздействии Cd накапливается в костях и жировой ткани печени. Кадмий очень медленно выводится из организма, что приводит к хроническим заболеваниям.
- Заражение почв кадмием от горно-добывающих предприятий в Японии в середине XX века привело к эндемическому заболеванию «итай-итай» (патология костей, анемия, почечная недостаточность и др.).
- По кадмию установлены жесткие ПДК в почве, воде, воздухе и продуктах питания. В ЕАЭС и ЕС приняты регламенты, ограничивающие использование кадмия (в изделиях радиоэлектроники и др.)

Кадмий

Исследования, проведенные в странах Зап. Европы в конце XX века показали многообразие путей воздействия Cd на здоровье населения. При этом антропогенные источники существенно преобладали над природными (в 4 раза), и были в основном не связаны с «целевым» использованием Cd. Более ½ экспозиционной дозы составляли эмиссия продуктов сжигания топлива и поступление в составе фосфатных удобрений.



Относительный вклад различных источников Cd в воздействие на человека. Европейское Сообщество, 1990-е годы. [Van Asshe, 1998]

- В 2019 году Европейский Совет принял The Fertilising Products Regulation (EU) 2019/1009, согласно которому с 2022 года запрещена торговля фосфатными удобрениями, содержащими более 60 мг/кг Cd.
- В России с марта 2020 г. уже действует ГОСТ Р 58658-2019, в котором установлена предельная концентрация Cd 20 мг/кг.

Кадмий

- **Добыча.** Кадмий добывается попутно с цинком из колчеданных, жильных и стратиформных месторождений (из сфалерита), а также – из некоторых медных месторождений (из халькопирита). Общий объем производства кадмия в последние десятилетия стабилизировался на уровне 22-24 тыс. т в год. Основные производители – Китай (33%), Ю.Корея (20%), Япония (8%).
- При этом из цинковых руд суммарно извлекается менее половины содержащегося в них кадмия, а остальное количество уходит в отходы (хвосты обогащения Zn-руд, стоки и шламы, и др.). Потери Cd в окружающую среду при производстве чистого металлического Zn до сих пор трудно поддаются оценке (см. Achternbosch et al., 2009)
- Утилизация вторичного кадмия (Ni-Cd-аккумуляторы, лом цветных металлов, солнечные Cd-Te-панели и др.) представляет значительную проблему.
- Масштабы целенаправленной добычи кадмия сопоставимы с глобальным речным стоком кадмия (26 тыс. т/год – Viers et al., 2009). Однако оценка суммарного техногенного потока Cd через среднее глобальное отношение Cd/Zn=0,003 и производство Zn, дает величину извлечения из литосферы порядка 40 тыс. т/год. Судьба теряющегося кадмия нуждается дальнейших исследованиях.

Кадмий

Использование. Кадмий в современных технологиях используется в нескольких направлениях:

- - химические источники тока – Ni-Cd аккумуляторы, Pb-Cd и Hg-Cd батарейки;
- - антикоррозионные покрытия стали и сплавов («кадмирование»);
- - пигменты – сульфиды и селениды (желтые и оранжевые);
- - пленочные солнечные батареи (CdTe);
- - также – сплавы, припои, поглотители нейтронов – регулирующие стержни на АЭС и др.

- В связи с токсичностью Cd такие его применения, как антикоррозионные покрытия и пигменты стремятся сократить. В настоящее время основная область применения - Ni-Cd аккумуляторы.
- Несмотря на сдерживающие меры, мировые цены на кадмий довольно заметно растут.

Ртуть

- Ртуть по своим геохимическим свойствам в Земной коре и на ее поверхности – халькофил и атмофил.
- Ртуть и ее соединения очень токсичны. Ртуть относится в элементам 1-го класса опасности в воде, почве, воздухе и продуктах питания.
- Ртуть – единственный металл, жидкий при стандартных условиях. Она легко испаряется и переносится в газообразном состоянии. У ртути есть и органические летучие соединения. Все это приводит к очень большой миграционной подвижности ртути, что выделяет ее из всех халькофильных элементов.
- У Hg семь стабильных изотопов с массами от 196 до 204 (главный ^{202}Hg, 29.86%). В природе зафиксированы небольшие вариации изотопного состава ($\delta^{202/198}$Hg), в пределах 7 ‰ (Hoefs, 2018), связанные с биологическими процессами.
- Огромный интерес геохимиков-изотопистов вызвало обнаружение у изотопов ртути масс-независимого фракционирования необычного типа – фракционирования четных изотопов относительно нечетных. Природа такого фракционирования до сих пор остается предметом дискуссий.

Ртуть

- В Земной коре Hg проявляет валентные состояния 0, +1 и +2.
- Самородная (жидкая) ртуть найдена на некоторых ее месторождениях (Альмаден, Идрия). Жидкая ртуть используется на ряде производств и в бытовых приборах (термометры, манометры и др.), что неизбежно ведет к ее эмиссии в окружающую среду (см. ниже – экологические проблемы). В атомарном виде ртуть переносится в воздухе, водяных парах термальных источников, подземных газах. Оценка выделения ртути из недр земли в газообразной форме («холодное дыхание») до сих пор очень приблизительная (от 3 до 30 тыс. т в год).
- В валентных состояниях +1 и +2 ртуть в водных растворах образует катионы (Hg_2^{2+}, Hg^{2+}), хорошо мигрирующие в воде. Для ртути характерно комплексообразование с OH^-, Cl^- и HS^-.
- Отличительной способностью ртути является образование органических производных вида $Hg\text{-}R^+$ и $Hg\text{-}R_2$. В природе это выражается в образовании иона метил-ртути CH_3Hg^+ и диметил-ртути $(CH_3)_2Hg$ (микробиологическим путем) – очень активных мигрантов в биосфере. В промышленности алкил- и арил-производные ртути широко используются в качестве промежуточных соединений в органическом и неорганическом синтезе. Эмиссия таких соединений в окружающую среду очень опасна.

Ртуть

- Кристаллохимические радиусы ионов Hg^{+} и Hg^{2+} 1.19 и 1.06 Å, соответственно. Эти величины существенно заметно радиусов ионов других халькофильных элементов, что затрудняет изоморфизм ртути

- Ртуть – очень минерагенный микроэлемент, на 2015 г. было известно около 100 ее собственных минералов, в большинстве – редких. Обилие собственных минералов – следствие того, что у ртути нет хороших аналогов среди макро- и микроэлементов. Распространенными минералами ртути являются *киноварь* HgS (тригональная), и ее кубическая полиморфная модификация мета-циннобарит.

Киноварь из шахты Тонгрен, (Гуйчжоу, Китай). Фото: *Minfind 2017* (увеличено).

- В виде примеси ртуть фиксируется в сфалерите, блеклых рудах, а также в золоте.

- Помимо вхождения в структуру минералов, для ртути характерна сорбция на поверхностях твердых веществ, как в ионной, так и в атомарной форме.

Ртуть

- В магматическом процессе ртуть рассеивается. Она не входит в породообразующие минералы и уходит из магматических тел с остаточными флюидами. Вулканические газы выносят ртуть, причем она не концентрируется в конденсатах фумарол, а рассеивается в атмосфере.
- В высоко- и среднетемпературных гидротермах ртуть не задерживается из-за большой летучести. Единственная продуктивная формация – это низкотемпературная As-Sb-Hg-формация, представленная несколькими типами (кварц-диккитовым, лиственитовым и карбонатным). К этой формации относятся такие месторождения, как Альмаден (Испания, добыча прекращена в 2003 г.), Идрия (Словения, добыча прекращена в 1987 г.), Ваншан (Китай), Хайдаркан (Киргизия), Никитовка (Украина, добыча прекращена) и др. Основной рудный минерал – киноварь.
- Ртуть переносится гидротермальными растворами в виде гидросульфидных комплексов, а также в атомарной форме Hg°(aq).

Ртуть

- При выветривании ртуть мобилизуется и затем рассеивается через воздух и воду. Ртуть легко сорбируется на органических и глинистых частицах и накапливается в донных осадках загрязненных водоемов. При разложении органического вещества микроорганизмами ртуть подвергается метилированию. Метил-производные Hg обладают высокой миграционной подвижностью и могут выделяться из загрязненных осадков в водную толщу. Тем самым, загрязненные осадки («техногенные илы») становятся вторичным источником загрязнения водоемов.
- Загрязнение рек метил-производными ртути усиливается в зимний период, когда сокращается газообмен с атмосферой. В Среднем Поволжье были случаи запрета подледного лова рыбы из-за превышения нормативов по ртути в воде (источник загрязнения – смыв пестицидов с полей). Загрязнение метил-ртутью фиксировалось в периоды заполнения водохранилищ на великих сибирских реках из-за процессов метилирования в затопленных почвах даже при фоновых содержаниях ртути в них.
- Ртуть хорошо мигрирует в трофических цепях биосферы, постепенно накапливаясь в последующих звеньях. Особенно это проявлено для метил-ртути.

Ртуть

- Ртуть – очень токсичный элемент, относящийся к 1-му классу опасности. Наиболее опасны ее пары из-за поступления в органы дыхания, и органические производные из-за липофильности – способности растворяться в жирах, легко проникать и накапливаться в организмах животных.
- Ртуть оказывает токсическое действие на нервную систему, почки и другие органы. Доказана эмбриотоксичность ртути.
- Биохимический механизм действия ртути – блокирование групп –SH в ферментах.
- При острых отравлениях ртуть выводится из организма через почки и через легкие – с выдыхаемым воздухом. Период полувыведения ртути (без медикаментозного лечения) – около 70 дней.
- Загрязнение среды ртутью – причина болезни Минамата (Япония, 50-е годы XX века), вызванной сбросом промстоков в залив Минамата. Источником ртути было химическое предприятие “Chisso”, где в это время было начато крупнотоннажное производство ацетальдегида и винилхлорида, в котором соединения ртути использовались как катализаторы. Стоки содержали органические производные Hg (метил-, фенил- и др.) Эти соединения передавались с концентрированием по трофической цепи: планктон – моллюски и рыба – человек. Токсическому поражению, в том числе – с хроническими необратимыми последствиями, подверглось несколько сотен человек.
- Близкий случай массового отравления метил-ртутью произошел в префектуре Ниигата (Япония) в 1965 г.
- Самый масштабный пример болезни Минамата – отравление зерном, обработанным фунгицидами перед посевом в Иране (1971 г.). Токсическому воздействию подверглось (оценочно) около 100 тыс. человек, было зарегистрировано более 600 смертных случаев.

Ртуть

- По ртути установлены жесткие нормативы содержания в компонентах окружающей среды: ПКД в воздухе жилых помещений – 0,0003 мг/м^3, в питьевой воде – 0,0005 мг/л.
- В 2013 г. принята «Минаматская конвенция о Ртути», которую ратифицировали (или присоединились) более 140 государств, в т.ч. Россия. В соответствие с этой конвенцией с 2020 г. запрещено производство, экспорт и импорт нескольких видов ртуть-содержащей продукции: электрических батарей, реле, компактных люминесцентных ламп и ламп с холодным катодом, ртутных термометров и манометров.
- В России в рамках Санитарно-эпидемиологической службы действует специальная *служба демеркуризации*, задачей которой является очистка помещений и территорий от загрязнения ртутью.
- Сбор и утилизация отходов, содержащих ртуть – непростая организационная и техническая задача, решение которой зависит от экологической сознательности населения.

Ртуть

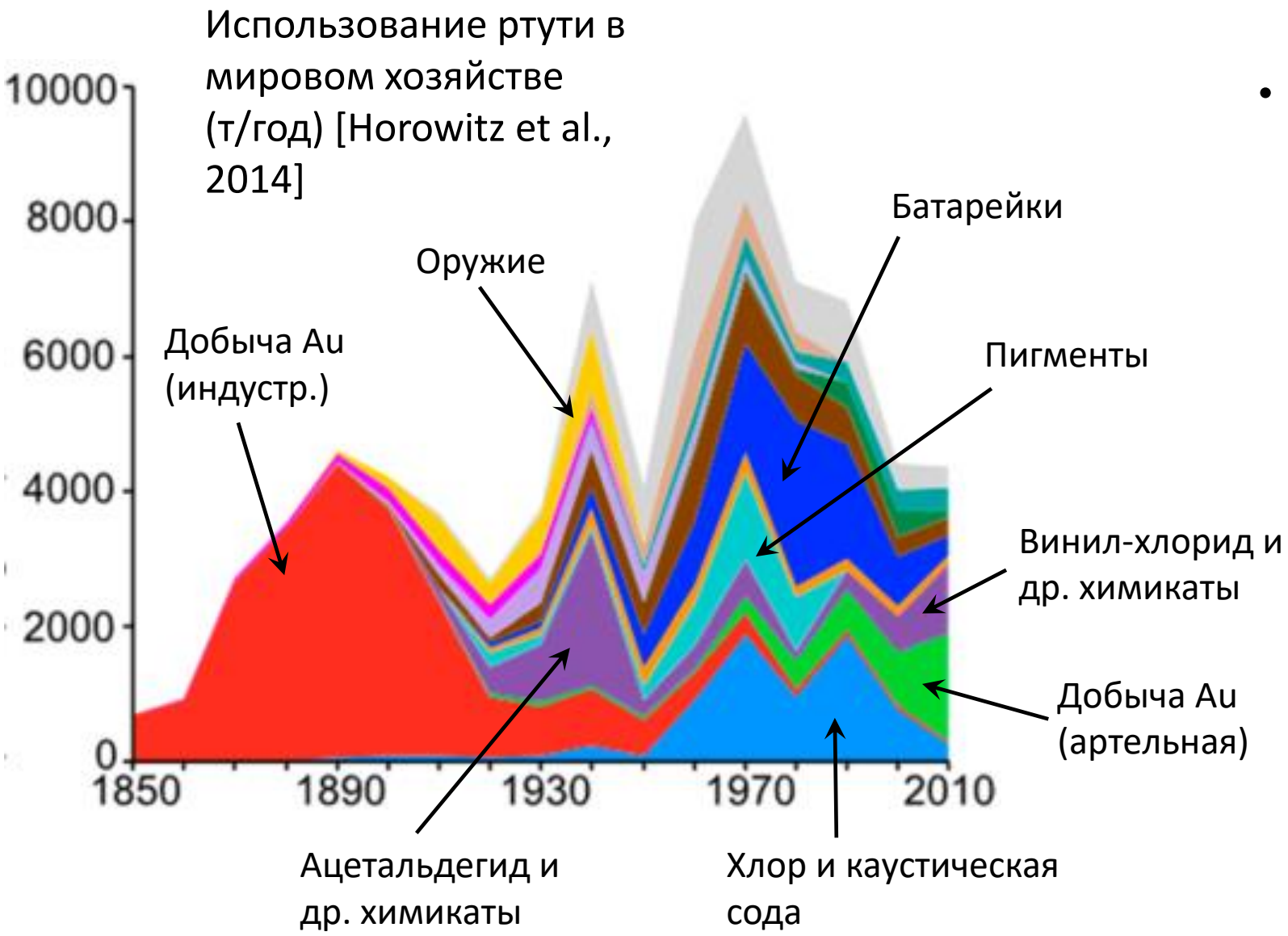
Добыча. Мировая добыча ртути достигла максимума в 1970-х годах (около 8 тыс. т в год), и с тех пор постепенно снижается. В 2020 г. она составила 3,7 тыс. т. Основной производитель ртути - Китай (54%), также - Мексика, Таджикистан и др.

Использование. Несмотря на опасность ртути для человека, она широко используется в мировом хозяйстве. Основные направления:

- - электролизное получение хлора и соды (ртуть используется как анод при электролизе) *(снижается)*;
- - добыча золота (извлечение Au из концентратов амальгамированием);
- - производство винилхлорида методом гидрохлорирования ацетилена;
- - люминесцентные лампы *;
- - химические источники тока – Hg-Cd батарейки*;
- - пигменты – сульфиды (красные);
- - измерительная аппаратура – термометры и манометры*;
- - фунгициды для протравки посадочного зерна;
- - также – катализаторы, амальгамы в стоматологии, реле и выпрямители в электротехнике и др.

* - виды использования, запрещенные или ограниченные с 2020 г. «Минаматской конвенцией о Ртути».

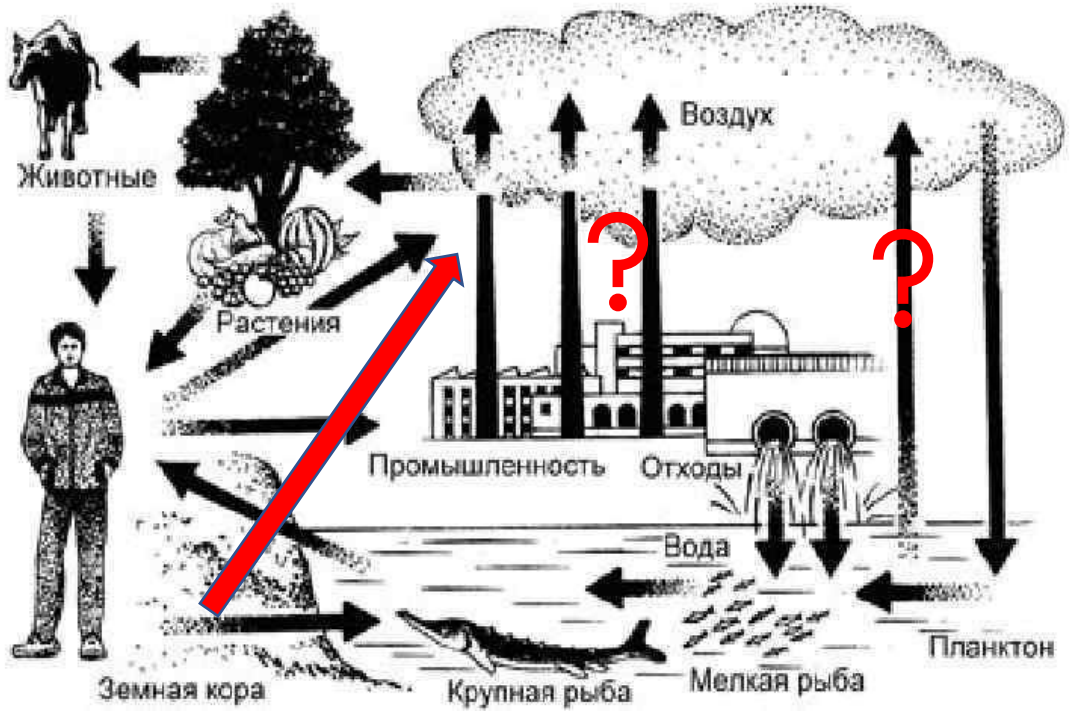
Ртуть



- Структура использования ртути и ее соединений существенно изменялась в течение индустриальной эпохи.

Ртуть

- **Техногенная эмиссия ртути в окружающую среду.** По имеющимся оценкам, доли разных видов техногенной деятельности в суммарную антропогенную эмиссию: сжигание угля, нефти и газа – 25%, кустарная добыча золота – 37%, производство цемента – 9%, цветная металлургия – 10% (UNEP, 2013). На долю отходов, ртуть из которых еще можно было бы утилизировать, приходится менее 3% эмиссии.



Биогеохимический цикл ртути (по Р.Р.Бруксу)

- Количество целенаправленно добываемой ртути (3.7 тыс. т/г) в настоящее время существенно превышает глобальный речной сток (~1 тыс. т/год).
- Однако общее состояние современного природно-техногенного цикла Hg сейчас недостаточно понятно, в основном, из-за двух неопределенностей:
- а) несовершенства учета попутной техногенной эмиссии ртути;
- б) ненадежностью оценок «холодной эмиссии» ртути из литосферы и океана в биосферу.