

Н.К. Чертко Э.Н. ЧЕРТКО

**ГЕОХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Минск
Издательский центр БГУ
2008

УДК 550.4
ББК
Ч-50

Рецензент
доктор геолого-минералогических наук, профессор
М.Г. Ясовеев

Рекомендовано
кафедрой почвоведения и геологии
географического факультета БГУ
22 января 2008 г., протокол № 8

Чертко Н.К.
Ч-50 Геохимия и экология химических элементов: Справочное по-
собие / Н.К. Чертко, Э.Н. Чертко Мн.: Издательский центр БГУ,
2008. – с. 140
ISBN 985–

В справочном пособии приведены свойства химических элементов, их миграция, концентрация и содержание в природных средах, заболевания, вызванных избытком или недостатком в организме человека. Кратко излагаются практические аспекты геохимии элементов: геохимические методы поисков полезных ископаемых, аналитические методы. Приведены сведения по геохимии кристаллических и осадочных пород Беларуси.

Рекомендуется специалистам в области геологии, географии, экологии.

УДК 550.4
ББК
© Чертко Н.К., 2008

ВВЕДЕНИЕ

Химические элементы и их соединения являются структурной основой мироздания. В живых организмах некоторые из них выполняют физиологическую функцию. Избыток или недостаток их приводит к формированию биогеохимических эндемий, нарушению обменных процессов, формированию различных заболеваний у растений, животных и человека.

Решение экологических проблем невозможно без получения полной информации о каждом химическом элементе, что восполняется в справочном пособии. В нем в определенной последовательности рассматривается информация о тех свойствах химических элементов, которые связаны с миграцией, концентрацией или рассеиванием их, закономерностях формирования месторождений, приводятся научно обоснованные сведения о влиянии их на возникновение заболеваний, вызванных геохимическим фактором, токсичные дозы, растения-концентраторы элементов.

Практические аспекты справочного пособия знакомят читателя с аналитической химией элементов, геохимическим картографированием территории, методами поисков полезных ископаемых, особенностями геохимии Беларуси.

Кларки (среднее содержание химических элементов) в приложении дают представление об оптимальном содержании химических элементов. Они используются для объективной оценки содержания элементов в природных средах путем сравнения полученных данных с ними.

Специалисты и читатели, которых интересует проблемы геохимической экологии, связанной с разработкой мероприятий по созданию оптимальных условий жизни человека и поисками месторождений полезных ископаемых, получают в справочном пособии полезную для себя в практическом отношении информацию.

Автор благодарен официальным и неофициальным рецензентам за ценные замечания и предложения: академику А.А. Махначу, доктору геолого-минералогических наук М.Г. Ясовееву, кандидатам геолого-минералогических наук О.В. Лукашеву, Л.И. Мурашко, В.В. Коцур, профессору Е.Н. Мешечко, старшему преподавателю Н.Ф. Гречаник.

Посвящается памяти друзей по учебе и работе: доктору филологических наук В.У. Протченко, кандидату химических наук З. Мачионису, кандидату экономических наук В.С. Емелину.

1. ГЕОХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Геохимия элементов определяется внутренними и внешними факторами миграции, экология – физико-химическими свойствами самих элементов и их соединений. Природные и техногенные факторы создают условия образования биогеохимических эндемий, поэтому при проведении исследований необходимо разрабатывать способы оптимизации ландшафтов. Для решения практических вопросов, связанных с геохимией и экологией элементов, приводим необходимую самую важную информацию по каждому из них.

Кларк химических элементов в земной коре приведен по Дж. Эмсли (1993), в скобках – по Л.Н. Овчинникову (1990) на основе публикаций А.П. Виноградова, С.Р. Тейлора, К.Х. Ведеполья, Д.М. Шоу, Б. Мейсона, К.К. Турекяна, А.А. Беуса; в почве и золе растений – по А.П. Виноградову (1962), Д.П. Малюга (1963); в речных водах – по К.К. Турекяну.

Для облегчения сравнительного анализа содержания химических элементов приводим связь между весовыми, процентными и безразмерными единицами:

$1 \text{ ч/млн} = 1 \text{ ppm} = 1 \text{ мг/кг} = 1 \text{ мг/л} = 1 \text{ г/т} = 1 \text{ мкг/г} = 10^{-4} \% = 0,0001;$

$1 \text{ ч/млрд.} = 1 \text{ ppb} = 1 \text{ мкг/кг} = 1 \text{ мг/т} = 1 \text{ мкг/л} = 1 \text{ мкг/дм}^3 = 10^{-7} \% = 0,0000001; 1 \overset{\circ}{\text{A}} = 10^{-8} \text{ см} = 0,1 \text{ нм} = 10^{-10} \text{ м}.$

ВОДОРОД

Бесцветный газ, не растворяется в воде. Число изотопов водорода с учетом ядерных изомеров – 3. Преобладает на Солнце и звездах. В природе распространен изотоп ^1H (99,985 %), незначительное количество ^2H (0,015 %), период полураспада ^3H – 12,26 года с β типом распада. Радиус H^- – 154, H^+ – 10^{-5} , атомный 78 пм. Основная линия в атомном спектре 656,285 нм.

Кларк водорода в земной коре 0,152 % (0,11), в атмосфере – $0,53 \cdot 10^{-4}$ об. %.

Водород широко распространен в природе: в воде, минеральных и органических соединениях. В свободном состоянии его очень мало. Из-за малого заряда ядра атом водорода сравнительно слабо притягивает электроны и присоединяет лишь тогда, когда другие элементы легко их отдают, т.е., щелочные и щелочноземельные металлы при их

нагревании. Более характерны соединения водорода, в которых он проявляет положительную степень окисления. Элемент взаимодействует почти со всеми неметаллами.

Среди изотопов водорода научный и практический интерес вызывает дейтерий (2H). Он накапливается в древних минералах и водах. Тритий встречается в верхних слоях атмосферы, может выпадать с атмосферными осадками. Образуется под воздействием ионизирующего излучения.

ГЕЛИЙ

Инертный газ, один из важнейших элементов Вселенной. Объем гелия в атмосфере – $5,2 \cdot 10^{-4} \%$ (5,2 мг/т). Время нахождения в атмосфере 10^7 лет. Состоит из однородных молекул газа. Слабо растворяется в воде. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 5. В природе известны 2 изотопа гелия. Наиболее распространены 4He (99,99 %), 3He (0,000138 %). Атомный радиус гелия 128 пм.

Кларк в земной коре $0,8 \cdot 10^{-6} \%$ ($6 \cdot 10^{-5}$ см³/г). Элемент попутной добычи газов (7 % в природном газе). Много содержится в подземных водах при низкой температуре и в низких концентрациях в застойных водах. Источниками и месторождениями гелия могут быть углеводородные газовые струи, радиоактивные минералы, минеральные источники, глубинные дислокации, замкнутые куполовидные структуры.

В организме человека гелий хорошо всасывается желудком. Заболевание, вызванное избытком гелия – асфиксия. Период полувыведения 7–60 мин.

Используется гелий при водолазных работах на больших глубинах, в аэростатах и приборах для низкотемпературных исследований.

ЛИТИЙ

Мягкий, белый, серебристый металл. Литий медленно реагирует с кислородом и водой. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 5. В природе распространены два стабильных изотопа: 7Li (92,5%), 6Li встречаются реже (7,5 %). Радиус ионный Li^+ – 78, атомный – 152 пм. Основная линия в атомном спектре – 670,776 нм.

Кларк Li в земной коре $2,0 \cdot 10^{-3} \%$ ($2,5 \cdot 10^{-3}$) (концентрируется в пегматитах, соляных озерах), морской воде – $0,17 \cdot 10^{-4}$, речных водах – $2,5 \cdot 10^{-7}$, живом веществе – $1 \cdot 10^{-5} \%$.

Известно 46 минералов лития, все редкие, из них основные – сподумен, лепидолит, пенталит. Содержание в собственных минера-

лах низкое (3,2–7,6 % в форме оксида), что объясняется его небольшой атомной массой, а также тем, что литиевые минералы представлены двойными солями. Последнее обусловлено малыми значениями его энергетических показателей, вследствие чего *Li* с трудом строит самостоятельные кристаллические структуры и нуждается в помощи более сильных и более распространенных элементов. Ионный радиус лития близок к ионному радиусу железа и магния, поэтому они изоморфны в минералах. Из-за малого ионного радиуса и низкой координации (IV-VI) изовалентный изоморфизм его с другими щелочными металлами с крупными катионами и высокой координацией затруднен. В половине минералов лития, в том числе в большинстве его силикатов, элементы *K*, *Na*, *Cs*, *Ca*, *Ba*, *Sr* и *Rb* являются не изоморфными, а парагенными. Для него характерен гетеровалентный изоморфизм, особенно с *Mg* и *Fe(II)*. Образование двойных солей обусловлено большой активной поляризацией лития. По щелочности он слабее других щелочных металлов. Частично концентрируется в решетках железа и магния, Слабо улавливается алюмокремниевыми решетками минералов пегматитов и концентрируется в минеральных источниках (Виши во Франции). В условиях гипергенеза литий рассеивается, но накапливается в глауконитах (до 13 %), меньше в боратах. Геохимический барьер лития испарительный. Элемент слабо подвижный в любой геохимической обстановке. Почти все соли хорошо растворимы, за исключением Li_2CO_3 , LiF , особенно Li_3PO_4 . Ограничена способность к комплексообразованию. Практические месторождения приурочены к гранитным пегматитам (сподумен), олово-литиевым пневматолитам, минеральным термам. Возможна комплексная добыча с *Rb*, *Cs*, *Be*, *Nb (Ta)*, *Sn*, драгоценными камнями (светлые и розовые бериллы), попутная добыча с оловом. В организме человека содержится 0,67 мг лития. Суточное поступление с пищей – 0,1 мг. Много в черном хлебе, морепродуктах. Период полувыведения – 1–2 суток. Токсичная доза – 92–200 мг. Концентрируется в крови и мышечной ткани. При дефиците *K* и *Na* реабсорбируется и заменяет их в тканях. При недостатке лития снижается рост и развитие организма, развиваются галлюцинации. При избытке лития появляются токсические признаки: астения, сонливость, нейропатия, тремор, снижение болевой чувствительности, светобоязнь, нистагм, мышечные судороги, стерильность у мужчин, трахеобронхит.

Растения-концентраторы: пасленовые, лютиковые, солянки, мальвовые, табак, белена, дурман, красные и бурые водоросли, сабельник, алоэ.

Используется в технике в виде сплавов с *Al* и *Mg* в смазках, аккумуляторах, стеклах, медицине и ядерных бомбах. Литий является единственным промышленным источником трития.

БЕРИЛЛИЙ

Металл, с воздухом и водой не взаимодействует. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 6. В природе основной изотоп ${}^9\text{Be}$ (100 %), следы радионуклида ${}^{10}\text{Be}$ с $T_{1/2} = 1 \cdot 10^6$ лет. Распад радионуклида идет с образованием β частиц. Основная линия в атомном спектре 467,342 нм. Радиус Be^{2+} – 34, атомный – 113,3 пм.

Кларк бериллия в земной коре $2,6 \cdot 10^{-4}$ % ($2,0 \cdot 10^{-4}$), такой же в почве – $6 \cdot 10^{-4}$, золе растений – $2 \cdot 10^{-4}$ %, речных водах – 0,2 мкг/л.

Оксифильные свойства бериллия высокие. Изоморфизм ограничен из-за большой разницы в зарядах *P*, *V*, *Cr*. Способен к комплексообразованию. Концентрируется в кислых породах и щелочных пегматитах (берилл). Близок по свойствам к *B*, *Al*, *Mg*, *Si*, *Ca*, *Zn*. Характерен парагенезис с *Na*, *Ca* и *Al* и отсутствие с калием.

Геохимические свойства бериллия определяются малым ионным радиусом, низким координационным числом, относительно высоким потенциалом ионизации второго (валентного) электрона и амфотерностью. По размерам ионного радиуса бериллий близок к *Si*, но сильно проигрывает ему в потенциале ионизации и валентности, поэтому замещение бериллия кремнием, несмотря на сходство их координационных чисел (IV), энергетически невыгодно и в природных минералах встречается редко. Поляризация бериллия высокая и активная, чем вызвана трудная растворимость ряда его солей. Имеется сходство с ионами типа купро (*Zn*, *Cd*). Поляризация и амфотерный характер оксидов вызывают образование комплексов $[\text{BeO}_2]^{2-}$ или $[\text{BeO}_4]^6$. Возможны замещения с *Si* и *Al*. Большинство минералов относится к гранитным пегматитам, реже к нефелин-сиенитовым и сиенитовым. В первых образуются собственные решетки минералов, во вторых – он входит в чужие решетки путем замещения комплексного аниона алюминия. Бериллий неизвестен в поверхностных образованиях, а его активная поляризация ведет к быстрой сорбции в почвах.

В магматических породах щелочноземельного ряда содержание бериллия закономерно возрастает от ультраосновных пород (0,2 г/т) к кислым (3,5 г/т); в различных группах щелочных пород изменяется от 2 (кимберлиты) и 3,9 (миакситы) до 18 г/т (агпаитовые нефелиновые сиениты). Обнаруживается в гранитных пегматитах, апатитах, скарнах, грейзенах. Месторождения могут формироваться в метаморфо-

генных условиях. Большое влияние оказывает F , который образует с Be устойчивые комплексы типа $(BeF_4)^{2-}$, $(BeF_3)^{1-}$, (BeF_2) , $(BeF)^+$. Фтор – главный экстрактор и переносчик бериллия в магматогенных (особенно гидротермальных) месторождениях. В них присутствует постоянный парагенезис с флюоритом. Вследствие амфотерности Be одинаково легко образует собственные минералы как в кислой среде, выполняя функцию типичного катиона, так и в щелочной, где приобретает кислотную функцию заместителя кремния.

Известно 59 минералов бериллия: преобладают силикаты (34) и фосфаты (12), мало боратов (3) и оксидов (7), арсенатов (2), карбонатов (1). В гипергенных условиях образуются некоторые силикаты (сферобертранит, бериллит, туггупит), арсенаты (беарсит) и гидроксид (бехоит). Ведущие минералы берилла: берилл, хризоберилл (александрит) и фенакит. Разновидности берилла известны как драгоценные камни: изумруд, аквамарин, гелиодор, воробьевит, морганит.

Геохимические барьеры бериллия: сорбционный, карбонатный. Элемент слабо подвижный в любой геохимической обстановке.

В организме человека содержится 11–36 мкг бериллия, преимущественно в легких, печени, селезенке, костях. Суточное потребление с пищей – 12 мкг. Период полувыведения – 1040 суток, ускоряется комплексообразователями ЭДТА, тримефацином. Высокие дозы токсичны. Свободно проникает в клетки всех тканей.

Заболевания, вызванные избытком бериллия: лихорадка у лейтейщиков, воспаление легких, бериллиевый рахит, остеосаркома.

Промышленные источники – люминесцентные лампы. Используется в сплавах с Cu и Ni .

БОР

Неметалл, встречается в нескольких аллотропных модификациях. Не вступает во взаимодействие с водой, кислотами и щелочами. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 6. В природе распространены стабильные изотопы: ^{11}B (80,1%), ^{10}B (19,9%). Радиус B^{3+} – 23, атомный – 831 пм. Основная линия в атомном спектре: 249,773 нм.

Кларк бора в земной коре $1,0 \cdot 10^{-3}$ % ($9 \cdot 10^{-4}$), почве – $1 \cdot 10^{-3}$, золе растений – $4 \cdot 10^{-2}$ %, речных водах – 10 мкг/л.

В геохимии известна валентность три с образованием комплексного аниона $[BO_3]^{3-}$ со слабокислотными свойствами, легким гидролизом его солей и выпадением свободной $B(OH)_3$. Отсюда следует относительная трудность растворения его солей, особенно кальция и магния, легкая вытесняемость другими кислотами (угольной,

серной). Мета- и ортобораты, фторид бора летучи. Ион $[BO_3]^{3-}$ имеет форму плоского треугольника, сочетание которого в цепи и сетке дает структуры, напоминающие вязи силикатов. В боросиликатах в качестве катионов встречаются Fe^{2+} , Mn , Ca , Mg , Pb , TR и др.

Миграция бора в гипергенной зоне имеет следующие особенности: образуется устойчивый комплекс $B(OH)_3$, соли этого комплекса с кальцием и магнием трудно растворимы, но легко растворимы щелочные соединения. Отмечено значительное накопление бора в термах и озерах, как дериватах поствулканических борных эманаций, вместе с солями калия и натрия, а также в остаточных рассолах морей.

Бор – типичный комплексообразователь. Наиболее важным носителем этого элемента являются слоистые минералы (слюды, глины). В ходе кристаллизации увеличивается количество рассеянного бора в решетке минерала-хозяина. Этот процесс называется эндокрипцией.

Известно 153 минерала, из них 114 – бораты и гидробораты. Генетически минералы делятся следующим образом: в пегматитах – 20 %, пневматолитах – 20, осадочных образованиях – 60 %. Бор почти отсутствует во всех щелочных нефелиновых породах, весьма редок в ультраосновных и основных. В пневматолитах он накапливается в ранних их стадиях вместе с сульфидами и хлором.

Геохимические барьеры бора: сорбционный, щелочной, нейтральный. Элемент подвижный в кислой среде. Индикаторы месторождений – пегматиты, скарны. Поиски связаны с молодыми вулканическими выделениями, осадочными породами химического генеза.

В организме человека содержится 20 мг бора, из них 40 % в мышцах, 37 % в скелете. Поступает с борной кислотой и боросодержащими фармакопрепаратами. Из естественных продуктов источниками являются бобовые, виноград, груши, морковь, листовые овощи, орехи, пиво, яблоки. Суточное потребление с пищей – 1–3 мг, с водой – 0,23 мг. Период полувыведения – 11 суток, токсичная доза – 4 г.

Бор стимулирует фотосинтез, синтез нуклеиновых кислот, регулирует метаболизм углеводов, повышает активность ферментов. Ингибирует активность оксиредуктаз микросом и протеолитическую активность ферментов поджелудочной железы и кишечника, улучшает синтез нуклеиновых кислот в костях

Заболевания, вызванные недостатком бора: гипоавитаминоз D , задержка роста, повышение активности щелочной фосфатазы костей. Заболевания, вызванные избытком: стерильность, анемия (в сочетании с дефицитом Cu и Co , избытком Mo). Отравления, вызванные бором: симптомы гастроэнтерита, гепатита, нефроза, отека мозга.

В растениях бор регулирует функционирование ауксина, цитокинов, гиббереллинов. Растения-концентраторы: багульник, береза, астрагал, молочай.

Используется для получения боросиликатного стекла, при производстве синтетических моющих средств и ингибиторов горения.

УГЛЕРОД

Химически инертный неметалл. Число изотопов углерода с учетом ядерных изомеров – 8. В природе распространены: ^{12}C (98,90 %), ^{13}C (1,1 %) и следы ^{14}C с периодом полураспада 5730 лет, β типом распада. Ковалентный радиус углерода 77, при двойной связи – 67, тройной – 60, C^{4-} – 260 пм. Основная линия в атомном спектре: 283,671; 426,726; 723, 642 нм.

Кларк углерода в земной коре – $4,8 \cdot 10^{-2}$ % ($2 \cdot 10^{-2}$), почве – 0,4, золе растений – 0,5 %, речных водах – 6,9 мг/л ($\text{C}_{\text{орг}}$).

Известно 189 минералов углерода неорганического происхождения и 28 органического. Основные соединения: известняк, уголь, природный газ, нефть, графит, алмаз.

Геохимические барьеры углерода: биогеохимический, сорбционный. Активно мигрирует в любых условиях.

Основные диагностические поисковые признаки. Алмаз следует искать в жильных и трубчатых образованиях ультраосновных пород или в россыпях, образованных их разрушением. Спутники: агат, халцедон, пироп и др.

Графит образуется в разных генетических условиях: в древних свитах гнейсов, в пегматитах щелочных магм, среди мрамора, при воздействии на угли изверженных пород.

Поиск *угля* и *нефти* проводится на основе геологических, палеогеографических и тектонических данных. Нефть может проявлять себя по газовым выходам, химизму нефтяных вод (*B, Br, I, Ra, Th*), наличию ванадия и грязевых вулканов.

Углеводородные газы накапливаются в районах дислокаций в областях нефтяных месторождений, битумов; *угольная кислота* - в районах молодых вулканов, реже в теплых магматических термах.

Практическое значение имеют следующие соединения углерода: угольная кислота и соли угольной, щавелевой и других кислот, соединения циана и родана, ископаемые смолы, парафины, нефть, битумы, углеводородные газы, угли, алмаз, графит, карбиды, карбонаты *Ca, Mg, Zn, Pb, Fe, Co*. Угольная кислота геохимически связана с двумя процессами: непосредственным выделением CO_2 из охлаждающихся магм

(ювенильная CO_2) и вытеснением из карбонатов более сильными кислотами в глубинах.

Геохимические барьеры углерода: биогеохимический, сорбционный. Миграция активна в любых условиях.

В организме человека содержится 16 кг углерода, из них 40 % – в мышцах и 37 % – в скелете. Суточное потребление с пищей – 300г. Период полувыведения 37 суток. Является структурной основой органической материи.

Используется для получения кокса, сажи, активированного угля.

АЗОТ

Азот относится к неметаллам. Образует множество органических и неорганических соединений. Число изотопов азота с учетом ядерных изомеров – 8: преобладает ^{14}N (99,63 %) и ^{15}N (0,37 %). Долгоживущие изотопы отсутствуют. Период полураспада ^{13}N 9,97 мин. Радиус атомный – 71 пм. Основная линия его в атомном спектре 399,50 нм (АА).

Кларк азота в земной коре $25 \cdot 10^{-4}$ % ($2 \cdot 10^{-3}$), почве 0,1–5 %, золе растений – 20 %, в речных водах – 1 мг/л. Молекулярный азот (N_2) инертный из-за тройной химической связи и самой высокой энергетической связи среди газов – 940,5 кДж/моль. Азот переводится в атомарное состояние при температуре 3500 °С и высоком давлении.

В природе азот известен в виде комплексных кислородных ионов, редко – в виде $[NH_4]^+$ или $[SCN]$. Соли этих ионов известны лишь как современные образования, за исключением селитры. Самыми важными природными соединениями являются соли $[NO_3]$ в сочетании с K и Na , которые относятся к растворимым и подвижным, Концентрируются в условиях сухого пустынного климата.

Известно 42 минерала азота, из них 10 нитратов и 10 сульфатов.

Основные диагностические поисковые признаки селитры: проводится исследование современных отложений в местах аридного климата. Геохимические барьеры: биогеохимический, сорбционный.

В организме человека содержится 2,1 (1,8) кг азота. Суточное потребление с пищей – 13–16 г, является составной частью белков. Наиболее токсичные среди азотистых соединений цианиды, меньше – оксиды азота, нитраты, нитриты. Оксид азота образуется при сжигании горючего в двигателях самолета, который разрушает озон. Период полувыведения 90 суток

Используется в производстве удобрений, кислот, пластмасс, взрывчатых веществ и т.д.

КИСЛОРОД

Кислород является чрезвычайно реакционноспособным неметаллом, жизненно необходимым парамагнитным элементом. Образует оксиды с химическими элементами, за исключением инертных газов.

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 8. Известно 3 стабильных изотопа ^{16}O (99,76 %), ^{17}O (0,048 %) и ^{18}O (0,20 %). Радиоактивные изотопы короткоживущие (^{15}O имеет $T_{1/2}$ 122 с). Радиус O^+ – 22, O^{2-} – 132, ковалентный (простая связь) – 66 пм. Основная линия в атомном спектре – 844,636 нм.

Кларк кислорода в земной коре 47,4 % (46,5), гидросфере – 85,9 живом веществе – 70 %, почве – 0,2 мг/кг, золе растений – 1 мг/кг.

Кислород в свободном состоянии проникает в глубины гидро- и литосферы. Граница его проникновения геохимически очень важна и отделяет две области образований. Особое значение она имеет для сульфидов, определяя наличие особой зоны цементации и выше ее – железной шляпы.

Известно 2730 минералов кислорода, из них 850 силикатов (кварц и др.). Сырьевые ресурсы не ограничены. Основным источником – сжиженный воздух. В воде зимой растворено 4 мг/л, летом – 6 мг/л кислорода. Геохимические барьеры: окислительный, органогенный. Относится к активным мигрантам.

В организме человека содержится 43 кг кислорода. Суточное потребление с пищей – 2600 г у мужчин, 1800 г – у женщин. Период полувыведения – 14 суток. Токсичная доза – 300 мг. Используется для биологического окисления в свободном и связанном виде. Экологически значим недостаток кислорода. Норма концентрации озона в воздухе производственных помещений 100 мкг/м³. При концентрации его в количестве 120 мкг/м³ человек теряет работоспособность при нагрузке, при 160 – ухудшается функция легких, при 200 мкг/м³ – появляются раздражение в горле и кашель. Среднесуточная концентрация озона в незагрязненных районах 20–60 мкг/м³. В загрязненных районах количество O_3 увеличивается в приземном слое. Озон защищает атмосферу от ультрафиолетового излучения. Разрушают его атомы хлора в составе фреонов и NO .

Кислород в организме человека подобен электричеству в электроприборах. Антиоксиданты (витамины *C*, *E*, *A* и др.) не дают сжечь его, выполняя роль защитных кожухов от постоянно образующихся свободных радикалов кислорода.

Кислород используется для выплавки стали, при резке металлов, в химической промышленности.

ФТОР

Неметалл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 7. Наиболее распространен стабильный ^{19}F (100 %). Период полураспада искусственных радионуклидов происходит в течение часов с β и γ типом распада. Радиус F^- 133, ковалентный – 58 пм. Основная линия в атомном спектре 685,603 нм.

Кларк F в земной коре – $9,5 \cdot 10^{-2}$ % ($6,4 \cdot 10^{-2}$), почве – $2 \cdot 10^{-2}$, золе растений – $1 \cdot 10^{-3}$ %, речных водах – 0,1 мг/л.

Известно 134 минерала фтора, из них 58 силикатов, 26 фторидов. Основной минерал – флюорит (CaF_2), фторапатит [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$], криолит [Na_3AlF_6]. Взаимодействует даже с инертными газами (XeF_2). В свободном состоянии молекула газа F_2 не реагирует с O_2 . При окислении сульфидных минералов осаждается с гидроксидами железа. Замещает гидроксильные группы.

Радиус иона фтора близок ионному радиусу кислорода и гидроксил-иона, поэтому в сложных комплексах может их замещать. Фтористые соединения трудно растворимы, поэтому флюориды резко отличаются от солей других галоидов и начинают кристаллизоваться в более ранних геофазах остывания постмагматических процессов. Криолит выпадает при температуре около 350 °С пегматитового процесса, а флюорит кристаллизуется в интервале от 400 до 150 °С. Повышенное содержание фтора обнаружено в ряде термальных источников. В известняках фтор осаждается кальцием (CaF_2).

Геохимические барьеры: органогенный, испарительный. Подвижен фтор в любой геохимической обстановке.

Месторождения фтора преимущественно эндогенные. Обнаруживается в районах щелочных гранитов и их контактных зонах, в пневматолитах и горячих термах, отдаленных от очагов гранитов до 2–3 км. Извлекается попутно из апатитов и фосфоритов. Индикатор поиска природного криолита и флюорита.

В организме человека содержится 4,6 г фтора. Суточное потребление с пищей – 1,5–1,8 мг. Всасывается 60–97 % фтора поступившего в желудочно-кишечный тракт. Источники фтора среди продуктов питания в порядке убывания: крупа перловая (1,15 мг/кг), гречневая (1,08), пшено (0,97), мясо птицы (0,9), творог (0,823), хлеб (0,76), картофель (0,54), капуста и морковь (0,5 мг/кг). Период полувыведения до 1000 суток. Токсичная доза – 20–80 мг, летальная – 2 г.

Фтор концентрируется в зубах, костях до 4 г, мышцах – до 6 мг, коже – 13 мг, хрящах – 200 мг/кг, крови – 0,3 мг. Фтор может быть конкурентом йода в синтезе гормонов щитовидной железы. С возрастом содержание F в костях увеличивается. Всасывание улучшается соляной кислотой, фосфатами, сульфатами, Fe^{3+} ; ухудшается – Ca , Mg , Al (альмагель и т.п.). Вместе с Ca и Mg образует центры кристаллизации апатита в костях, инициирует минерализацию, но не предупреждает переломы. Может замещать йод в щитовидной железе.

Заболевания, вызванные недостатком фтора: фтороз, кариес, остеопороз, ухудшение роста, заживления ран и переломов, иммунодефицит с хроническим тонзиллитом и аденоидами.

Заболевания, вызванные избытком фтора (при концентрации в питьевой воде 1,5–5 мг/л или 0,1–0,5 ммоль/л): флюороз зубов, у детей ранняя дифференцировка скелета, у взрослых – сочетание остеосклероза с остеопорозом и остеомалацией; остеохондроз и спондилез, кифоз, обызвествление связок, желчекаменная и мочекаменная болезнь.

Концентратором фтора среди растений является чай. Норма содержания для растений – 0,04–100 мг/кг сухого вещества, в кормах допускается 30–40 мг/кг сухого вещества.

Используется в химической промышленности, как флюс в металлургии (CaF_2) и производстве алюминия (AlF_3).

НЕОН

Очень редкий, бесцветный, инертный газ, практически без запаха. Взаимодействует с газообразным фтором. Объем в атмосфере составляет $1,2 \cdot 10^{-3} \%$ ($2 \cdot 10^{-3} \%$ по массе). Время нахождения в атмосфере 10^7 лет. Элемент представлен однородными молекулами газа, инертен, химических соединений нет. Хорошо растворяется в воде. Легче воздуха, поэтому он утерян Землей.

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 9. Элемент представлен тремя стабильными изотопами: ^{20}Ne (90,48 %), ^{22}Ne (9,251), ^{21}Ne (0,27 %). Радиус атома – 160 пм. Основная линия в атомном спектре – 865,438 нм. Кларк в земной коре $7 \cdot 10^{-9} \%$ ($7,7 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{г}$).

Используется в осветительных приборах. Не токсичен, но может вызвать асфиксию.

НАТРИЙ

Мягкий серебристо-белый металл. Строение атома натрия шаровое, типа благородных газов. Подвижность высокая, почти

полностью вымывается из верхней толщи пород в условиях гумидного климата. Осаждается в аридном климате и образует соединения типа $NaCl$, Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , $NaNO_3$. Минеральные виды натрия по генезису на 70 % магматические или термальные и на 30 % – гипергенные образования. Возможно частичное изоморфное замещение натрия и кальция. На срезе быстро окисляется. Бурно реагирует с водой.

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 4. В природе распространен изотоп ^{23}Na (100 %). Искусственные радионуклиды выделяют β и γ частицы: ^{22}Na ($T_{1/2} = 2,605$ г.), ^{24}Na ($T_{1/2} = 14,97$ ч.). Радиус Na^+ – 98, атомный – 153 пм. Основная линия в атомном спектре – 588,995 (АА) нм.

Кларк натрия в земной коре – 2,50 % (2,38), живом веществе – $2 \cdot 10^{-2}$, почве – 0,63, золе растений – 2,0 %, речных водах – 6,3 мг/л.

Известно 222 минерала натрия, в основном, хлориды и сульфаты. Связь ионная. Ионный радиус близок к ионному радиусу железа и магния, поэтому они изоморфны в минералах.

В соляном разрезе находится после гипса и ангидрита и до солей K и Mg . Поиски $NaCl$ связаны с палеогеографическими особенностями осадков в аридных условиях. В молодых отложениях или в современных соляных озерах и лиманах следует искать Na_2SO_4 . Для Na_2CO_3 известны лишь современные образования в условиях аридного климата.

Геохимические барьеры: испарительный и сорбционный (глина, гумус). Хорошо подвижен в любой геохимической обстановке.

В организме человека содержится 100–150 г натрия (60–80 % – во внеклеточной жидкости, 10–15 % – в мышцах, 20–30 % – в костях). Суточное потребление натрия с пищей – 4,4 г, период полувыведения – 10–15,8 суток. Натрий поддерживает осмотическое давление, нормальную деятельность сердечной мышцы и равновесие с ионом калия при нервно-мышечной возбудимости. Удерживает воду в тканях.

Заболевания, вызванные недостатком натрия: происходит сгущение крови, возникает кишечная колика, наступают судороги скелетных мышц, угнетается центральная нервная система.

Заболевания, вызванные избытком натрия: гипернатриемия – жажда, лихорадка, тахикардия, повышение артериального давления; за счет дегидратации клеток – мозговые нарушения, сердечная недостаточность. Токсичная доза – 14 г.

Растения-концентраторы: галофиты, пасленовые, крестоцветные, лебедовые, водоросли.

Используется в ядерной и ракетной технике. Запасы не ограничены. *NaCl* – ключевое вещество для химической промышленности. Применяется при производстве хлора, соды, щелочей.

МАГНИЙ

Магний является слабощелочным металлом. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 12. Распространены в природе стабильные изотопы ^{24}Mg (78,99 %), ^{26}Mg (11,01 %), ^{25}Mg (10 %), радионуклид ^{28}Mg с периодом полураспада 21 час. Радиус ионный Mg^{2+} – 78, атомный – 160 пм. Основная линия в атомном спектре: 285,213 нм (АА).

Кларк магния в земной коре – 2,3 % (2,26), почве – 0,63, в золе растений – 7,0 %, речных водах – 4,1 мг/л.

Его соединения легче растворимы, чем стронция и бария. Ионные радиусы Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} близкие между собой, чем и определяется их большая изоморфная смесимость. Геохимическая миграция магния сложная и охватывает все геосферы. В глубинных геосферах мы имеем преимущественно силикаты, в гипергенной – карбонаты, фосфаты, арсенаты. Почти весь магний выпадает в ранних стадиях кристаллизации изверженных пород. Входит в состав глубинных ультраосновных и основных пород. Простые соли магния с SO_4 , Cl , Br , I легко растворимы и трудно растворимы карбонаты и силикаты. Обнаруживается в глубинных оливиновых породах и поздних осадках морских и озерных бассейнов. В метасоматических замещениях и при перекристаллизации известняков надо искать доломиты и магнезиты.

Известно 191 минеральных вида магния, преобладают силикаты (55 %). Геохимические барьеры: сорбционный, карбонатный, биогеохимический, испарительный, силикатный, щелочной.

Магний образует прочную связь с дисперсными частицами почв. Антагонисты магния: Ca , K , NH_4^{2+} , H^+ ; синергисты – P , витамин А. В кислых ландшафтах выщелачивается.

В организме человека содержится 21–28 г магния. Суточное потребление с пищей – 600 мг. Период полувыведения – 130 суток. Важнейший активатор многих ферментативных процессов (около 300 ферментов). В миокарде Mg^{2+} участвует в регуляции гликолиза, цикла Кребса. Соотношение $\text{Ca}:\text{Mg}$ в костях в норме 1:55, во всем организме – 2:1. Абсорбция магния улучшается белками (особенно казеином), витамином D; ухудшается – фосфатом, жирными кислотами.

Заболевания, вызванные недостатком магния: нарушения нервной регуляции, повышенная возбудимость центральной нервной системы, атаксия, спазм мышц, подергивание век, аритмия, выпадение

волос, гипопаратиреоз, артрит, мочекаменная и желчекаменная болезнь, артериальная гипертензия, сахарный диабет, синдром повышенной усталости, повышение риска онкогенеза.

Заболевания, вызванные избытком магния: седативный, иногда наркотический эффект, угнетение дыхательного центра, уремия, дает наркотический (вплоть до угнетения дыхательного центра) и противосудорожный эффект.

Растения содержат магний в молекуле хлорофилла (10 %). Структура хлорофилла близка к структуре гема в пигменте крови (вместо *Mg* входит *Fe*).

Используется для изготовления легких сплавов, а также в антикоррозийных системах защиты других металлов.

АЛЮМИНИЙ

Твердый прочный металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 11. В природе распространен ^{27}Al (100 %). Радиус Al^{3+} – 57, атомный – 143,1 пм. Основная линия спектра 396,152 нм. Кларк алюминия в земной коре составляет 8,02 % (8,07), почве – 7,13, золе растений – 1,40 %, речных водах – 400 мкг/л.

В природе известен трехвалентный алюминий и виде ионов Al^{3+} и $[\text{AlO}_4]^{5-}$. Это типичный амфотерный равноквантовый атом. Образование катиона или аниона зависит от величины pH: в сильнощелочной среде формируется комплексный анион, который замещает $[\text{SiO}_4]^{4-}$ с одной свободной валентностью нейтрализуемой вхождением в решетку одновалентных щелочей (*K*, *Na*, *Li*), реже – других катионов. В кислой среде алюминий является типичным катионом в некоторых сульфатах и кислых силикатах. Известны соединения алюминия с фтором, карбонатами, фосфатами и арсенатами.

Главное геохимическое значение принадлежит свободному глинозему $[\text{Al}_2\text{O}_3]$ и его гидратам, которые растворяются в кислотах и щелочах. Выпадение из раствора возможно при pH 4–11.

При дифференциации гранитных остаточных магм алюминий остается в пегматите. В минералах магматического и глубокометаморфического происхождения алюминий окружен четырьмя атомами кислорода, в минералах гипергенного происхождения – шестью атомами. В образовании полезных ископаемых практическое значение имеют процессы каолинитизации и бокситизации, которые протекают во влажном и теплом климате.

Каолиновый процесс вызывается постепенным гидролизом алюмосиликатов с выносом сильных катионов и замещением их водо-

родом. Активизации гидролиза содействуют кислые эманации вулканов, углекислые источники или струи в периферии охлаждающихся вулканических эруптивов, кислые гуминовые воды.

Бокситовый процесс сводится к осаждению из растворов и гидрозоль в морях и озерах, при латеритизации пород в жарком и влажном климате, при выщелачивании карбонатных пород и возможной позднейшей метаморфизацией.

В эндогенных условиях алюминий концентрируется в щелочных нефелин- и лейцитсодержащих породах и анортозитах. Накапливается в процессах алунитизации, связанных с гидротермальной переработкой кислых вулканических образований. Наибольшие скопления алюминия наблюдаются в остаточных и переотложенных корах выветривания на щелочных, основных и кислых породах.

В экзогенных условиях при формировании коры выветривания все минералы *Al* разрушаются, но выносятся только в щелочной и сильнокислой среде, в других условиях – накапливается. В присутствии SiO_2 растворимость Al_2O_3 возрастает, а при наличии CO_2 снижается. Алюминий образует комплексные соединения. Гуминовые кислоты связывают 55 мг *Al* на 1 г кислоты, фульвокислоты – до 140 мг. Коллоидный глинозем, по сравнению с коллоидным кремнеземом, менее устойчив и быстрее коагулирует, поэтому при совместной миграции они разделяются. В связи с различной геохимической подвижностью соединений *Al*, *Fe* и *Mn* происходит их дифференциация в прибрежной зоне водоемов. Ближе к берегу накапливаются бокситы, в верхней части шельфа – железные руды, внизу шельфа – марганец.

Основные соединения алюминия: бокситы в виде бемита и гиббсита. Известно более 550 минералов, из них преобладают алюмосиликаты. Промышленное значение имеют бемит и диаспор – $Al_2O_3 \cdot H_2O$ (содержит 85 % Al_2O_3), гиббсит (гидраргиллит) – $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ (65,4), нефелин $KNa_3[AlSiO_4]_4$ (34), лейцит $K[AlSi_2O_6]$ (23,5) и алунит – $KAl_3[SiO_4]_2(OH)_6$ (37 % Al_2O_3).

Геохимические барьеры: термодинамический, кислородный, нейтральный и щелочной.

В организме человека отмечено 61–12000 мг алюминия: в крови – 0,6 мг/л; в скелете – до 20 мг; в легких – 10 мг; в печени – 1 мг; остальное – в мозгу, половых железах, эпителиальной и соединительной тканях. Суточное потребление с пищей составляет 2,45–45,0 мг. В желудочно-кишечный тракт попадает 45–135 мг, но всасывается около 2–3 мг/сутки (преимущественно на уровне желудка). Период полувыведения алюминия – 200 суток. Токсичная доза – 5 г.

Алюминий концентрируется в чае. Экологическое бедствие наступает когда концентрация в кормах составляет более 50 мг/кг, удовлетворительные условия при содержании 1,5–2,0 мг/кг.

Источниками поступления алюминия в организм являются животные (2,0–20,0 мг/кг) и растительные (200–2000 мг/кг) продукты. Приготовление пищи в алюминиевой фольге или посуде увеличивает уровень *Al* в продуктах питания в 2 раза. Он является составной частью клеток и тканей. При инфекционном артрите содержание *Al* повышается в 5 раз. У алкоголиков в крови его содержание увеличивается в 2 раза. *Al* и *P* взаимно затрудняют энтеральную абсорбцию. При нормальном соотношении в пище и воде ($P : Al = 28$) всасывание *Al* не вызывает патологии. Уменьшение поступления в организм фосфатов приводит к дефициту кальция с замещением его в костях алюминием и развитием рахита. С тетрациклином гидроксид алюминия образует нерастворимый комплекс. Основной мишенью-лигандом для *Al* является ДНК, особенно в нейронах. При избытке *Al* поражается, прежде всего, кора больших полушарий, гиппокамп, часть спинного мозга, а также вилочковая железа и костный мозг.

Заболевания, вызванные избытком алюминия: болезнь Альцгеймера (старческое слабоумие) – формирование узлов в нейронах мозга; энцефалопатия с эпилепсией и миоклонией; синдром деменции-паркинсонизма; болезнь Дауна; боковой амиотрофический склероз; пигментная дистрофия сетчатки; микросфероцитарная анемия; старческий амилоидоз; рак мочевого пузыря; рахит; остеомалация; сердечная аритмия. Вдыхание алюминиевой пыли (профессиональная патология) приводит к пневмокониозу и бронхоструктивному синдрому. Меры профилактики и лечения: исключение использования алюминиевой посуды при приготовлении пищи, очищение фильтрами воды; воздержание от приема фармакопрепаратов, содержащих *Al*; не следует злоупотреблять вегетарианством; ликвидация дефицита *F* путем введения его в допустимой дозе (соль *F* и *Al* хорошо растворима в воде и быстро выводится, соль *F* и *Ca* остается в тканях).

Используется в самолетостроении, строительстве и других отраслях народного хозяйства.

КРЕМНИЙ

Наиболее распространенный в природе неметалл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 11. В природе распространены стабильные ^{28}Si (92,23 %), ^{29}Si (4,67) и ^{30}Si (3,10 %). Искусственный радионуклид ^{32}Si с периодом полураспада 710 лет с β и γ типом распада.

Радиус Si^{4+} – 26, Si^{4-} – 271, атомный – 117 пм. Линии в атомном спектре: 288,156 – 637,136 нм.

Кларк кремния в земной коре – 27,7 % (27,99), почве – 33, золе растений – 15 %, речных водах – 6,13 мг/л.

В природе кремний образует кислотные комплексные анионы $[SiO_4]^{4-}$ или $[SiO_3]^{2-}$, в метеоритах известен силицид (CSi – карбид силиция). Тетраэдры комплексных анионов кремния создают структуры типа цепей, вязи, пластин и др. Оксид кремния, как и его слабые кислоты, легко растворяются в щелочных условиях, образуя золь. В воде слабо растворимы, легко образуют золи и гели. Эти свойства определяют ход миграции кремния.

Черный аморфный кремний получается при восстановлении SiO_2 углеродом. Кристаллы полупроводников представляют собой серо-голубой металл. Аморфный кремний не реагирует с соединениями, кроме HF , растворяется в горячей щелочи.

Известно более 1500 минеральных видов кремния: 847 силикатов и алюмосиликатов, 14 оксидов, 4 карбида, 4 фторида, 3 силицида, 3 фосфата. Запасы его не ограничены.

Все эндогенные и многие экзогенные процессы протекают в окружении кремния и он влияет на геохимию этих процессов. Содержание SiO_2 используется в качестве основной константы в петрохимической систематике изверженных пород и при делении осадочных пород. Ряд возрастания относительной стабильности силикатов в процессе выветривания: оливин → гиперстен → авгит → амфибол → биотит → кальциевый плагиоклаз → натриевый полевой шпат → калиевый полевой шпат → мусковит → кварц.

Геохимический барьер кремния кислый. Элемент слабо подвижный в гипергенных условиях. Накопление и обилие SiO_2 отвечает такой серии геохимических процессов, в которых отсутствуют сильные щелочи и щелочные земли.

В организме человека содержится 2–7 кг кремния. С возрастом его количество уменьшается. Суточное потребление с пищей – 18 мг. Период полувыведения – 60–90 суток.

Концентрируется в волосах, хрусталике, соединительной ткани, мышцах, крови, костях, коже. Кремниевая кислота является строительным материалом, стимулятором роста соединительных тканей. Снижает вероятность возникновения раковых заболеваний. Положительно влияет на метаболизм P , Cl , F , S , Mo , Mn , Co . Тормозит поглощение Sr , Cd , Al растениями. Уменьшает токсичность избытка марганца.

Растения-концентраторы: хвощ, пырей, крапива.

Заболевания, вызванные избытком кремния: силикоз легких, потеря эластичности мягких тканей, кожи, кровеносных сосудов, прочности костей, атеросклероз.

Используется в полупроводниках, сплавах, полимерах.

ФОСФОР

Фосфор относится к неметаллам. Число изотопов фосфора с учетом ядерных изомеров – 10. В природе известен один стабильный изотоп ^{31}P (100 %). Искусственные радиоактивные изотопы имеют период полураспада до 25,3 дней. Радиус P^{3+} – 44, P^{3-} – 212, атомный – 93 (белый фосфор) и 115 (красный фосфор) пм. Основные линии в атомном спектре 952,573 и 956,344 нм.

Кларк фосфора в земной коре 0,1 % (0,1), почве – $8\text{--}10^{-2}$, золе растений – 7 %, речных водах – 20 мкг/л.

Фосфор известен в природе в виде комплексного кислородного иона $[\text{PO}_4]^{3-}$, в метеоритах – в виде фосфидов, представленных шрейберзитом ($\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Co}$) $_3\text{P}$. Соли трехосновной кислоты дают однозамещенные растворимые фосфаты и труднорастворимые двух- и трехзамещенные соли.

Фосфорная кислота слабая и легко вытесняется угольной и серной. Этим объясняется миграция фосфора и его солей, большая роль его в живом веществе, многочисленность и разнообразие фосфорнокислых соединений в зоне гипергенеза. В магматических и высокотемпературных процессах для фосфора известны три распространенных соединения: монацит, апатит и ксенотим. Характерным осадителем фосфора являются карбонатные соединения.

Наиболее распространены в природе соединения фосфора гипергенного генезиса (50 %), в два раза меньше их в гидротермальных жилах и пегматитах разных магм, на долю первично-магматических соединений приходится 5 %. Наиболее многочисленны соединения фосфора с алюминием (30 %), железом и марганцем (18), кальцием (15), медью и цинком (10 %).

Накопление фосфора в гипергенных условиях связано с биогеохимическими процессами. Основные черты его миграции определяют два минерала – фосфорит и вивианит.

Известно 239 минералов фосфора, из них 178 гидрофосфатов, 41 фосфат и 9 силикатов.

Геохимические барьеры фосфора: щелочной, карбонатный, сорбционный. Элемент слабо подвижный в щелочной среде, более подвижен в кислой.

В организме человека содержится 650 г фосфора, из них 86 % в составе тканей костей и зубов. Нормальное соотношение $P:Ca$ составляет 1:2. Суточное потребление с пищей – до 2000 мг. Период полувыведения – 2055 суток. Присутствует в каждой клетке тела (ДНК). Участвует во всех физиологических процессах. В продуктах питания максимально накапливается в плавленом сыре (0,8 %), печени (0,5), овсе (0,4), яйце и рыбе (0,2 %).

Заболевания, вызванные недостатком фосфора: рахит, парадонтоз, снижается усвоение кальция. Заболевания, вызванные избытком: нарушения всасывания магния.

Используется в производстве удобрений, инсектицидов, синтетических моющих средств, при обработке металлов.

СЕРА

Сера относится к токсичному неметаллу. Имеется несколько аллотропных модификаций, из которых наиболее устойчива S_8 к действию воздуха и воды. Реагирует с кислотами-окислителями.

Число изотопов серы с учетом ядерных изомеров – 11. Наиболее распространен стабильный ^{32}S (95,02%). Искусственные радионуклиды имеют короткий период полураспада с β типом распада. Радиус S^{4+} – 37, S^{6+} – 29, атомный – 104 (S_8) пм. Линии в атомном спектре: 545,38, 964,99 нм.

Кларк серы в земной коре $2,6 \cdot 10^{-2}\%$ ($3,3 \cdot 10^{-2}$), почве – $8,5 \cdot 10^{-2}$, золе растений – 5 %, речных водах – 3,72 мг/л.

Известны четыре минеральных типа серы: в самородном состоянии, сульфиды, сульфаты, сульфосоли. Растворимость соединений серы не одинакова. Кислые сульфиды легко растворимы. Другие сульфиды трудно растворимы, за исключением щелочных металлов. Сульфаты легко растворимы, за исключением соединений с Pb , Co , Sr , Ba . Главная часть серы фиксируется в летучих погонах, образующих рудные жилы и линзы. Из остаточной магмы сера переходит в пневматолиты, Образование серы в осадочных породах происходит в процессе восстановления сульфатов битумами.

По геохимической значимости сера занимает второе место после O_2 . В эндогенных условиях конкурирует с кислородом. Месторождения по генезису различные. Основные источники серы: сульфидные руды металлов и самородная сера.

Известно более 760 минералов серы. Преобладают сульфиды и сульфаты. Геохимические барьеры серы: испарительный, сорбционный. Мигрирует в кислой и окислительной среде.

Поиски серы ведутся в отложениях различного возраста, но в присутствии жидких и газообразных битумов. Колчеданы – в кристаллических сланцах, часто связанных с диабазами, в тектонически нарушенных районах.

В организме человека содержится 98–140 г серы. Суточное потребление с пищей – 0,85–0,93 г при норме 90 мкг. Период полувыведения – до 140 суток. В функциональном отношении сера сходна с азотом. Она определяет биологическую активность белков, сосредоточена в них, входит в состав инсулина. Дефицит серы обеспечивает здоровую кожу, ногти. Поступает в организм с белками мяса, круп, молока. Серосодержащие аминокислоты – цистин, метионин. Поддерживает баланс кислорода в головном мозге. В организме сера подразделяется на белковую и небелковую. Высокую токсичность имеет сероуглерод (CS_2), используемый в производстве искусственного волокна. Он растворяет жиры, смолы, фосфор, серу. Оксиды серы в атмосфере в избытке влияют на легочную систему.

Заболевания, вызванные недостатком серы: образование цистинных мочевых камней.

Используется в химической промышленности.

ХЛОР

Тяжелый газ с резким запахом. Число изотопов с учетом ядерных изомеров составляет – 13. Наиболее распространены стабильные изотопы ^{35}Cl (75,77 %) и ^{37}Cl (24,23 %). Искусственные радионуклиды живут долго: ^{36}Cl имеет период полураспада $3,1 \cdot 10^5$ лет с β и γ типом распада. Радиус Cl – 181, ковалентный – 99 пм. Основная линия в атомном спектре – 837,574 нм.

Кларк хлора в земной коре – $1,3 \cdot 10^{-2}$ % ($1,8 \cdot 10^{-2}$), почве $1 \cdot 10^{-2}$, золе растений – $1 \cdot 10^{-2}$ %, речных водах – 7,8 мг/л.

Хлор входит в силикаты, фосфаты, титанаты и другие соединения, где является заместителем кислорода и гидроксила. В железных шляпах рудных месторождений он фиксирует Ag , Hg^+ , Hg^{2+} , Cu^{2+} , Pb , Bi . Из многочисленных кислородных соединений хлора в природе встречаются в условиях пустынь соли наиболее окисленных оксидов – Cl^{7+} , $[ClO_4]^-$, в чилийской селитре. Они легко растворимы. Труднее растворимы перхлораты K , Rb , Cs . Все галоиды нечетные элементы

нечетной группы таблицы Менделеева, поэтому для них типично рассеяние, летучесть, легкая растворимость солей и подвижность ионов.

Основной геохимический цикл миграции хлора связан с гипергенными процессами в почвах, морях, озерах, солевых комплексах, растениях и его соединениях с *Na*, *Mg*, *Ca*, *K*.

Известно 135 минералов хлора. Преобладают гидрохлориды (68), силикаты (20), бораты (11). Основной минерал – галит (*NaCl*).

Геохимические барьеры: биогеохимический, испарительный. Хлор подвижный в любой геохимической обстановке. Поиски связаны по признакам нахождения солей *Na*, *K* и *Mg*, а также в местах невулканических процессов и в гидротермах с *Br*, *I*, *B*.

В организме человека содержится 95 г хлора. Суточное потребление с пищей – 3–6,6 г (среднее – 5,2). Период полувыведения – до 10–12 суток.

Равномерно распределен по внеклеточной жидкости, концентрируется в железах желудка и активизирует фермент пепсиноген, преобразуя в пепсин (катализатор гидролиза белков). Под воздействием *HCl* образуются гормоны предстательной железы. Раствор 0,85 % *NaCl* используется как кровезаменитель. Участвует в поддержании осмотического давления и кислотно-щелочного состояния организма, регулирует рН крови и ее состав, в соединении с *K* и *Na* регулирует давление, выводит шлаки из организма, улучшает функцию печени.

Заболевания, вызванные недостатком хлора: выпадение волос и зубов, истощение нервной системы, общая усталость. Наиболее токсичные соединения хлора: яд и лечебное средство сулема (*HgCl₂*), диоксины (*ClO*), пестициды ДДТ и диэлдрин, боевые отравляющие вещества (более 50). Хлор и его соединения в дозе 0,1–0,5 мг/кг разрушают структуру ДНК и хромосом.

Используется в химической промышленности, в производстве пестицидов, как отбеливатель.

АРГОН

Очень редкий, бесцветный, инертный газ без запаха. Объем в атмосфере – 0,934 % (1,286 % по массе). Общие ресурсы $6,59 \cdot 10^{19}$ г. Хорошо растворим в воде и органических растворителях. Природный аргон образуется в результате распада ^{40}K .

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 15. Наиболее распространены стабильные изотопы: ^{40}Ar (99,6 %), ^{36}Ar (0,387 %), ^{38}Ar (0,063 %). Радионуклид ^{42}Ar долгоживущий – 33 г, ^{37}Ar с полураспадом 34,8 дня и ^{39}Ar с полураспадом 269 лет.

Радиус атомный составляет 174, вандерваальсов – 191 пм. Основная линия в атомном спектре – 811,5311 нм. Кларк Ar в земной коре $1,2 \cdot 10^{-4} \%$ ($2,2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^3/\text{г}$).

Используется для создания инертной атмосферы в лампах накаливания и высокотемпературной металлургии, в геохронологии (К–Ar метод).

Аргон получают из атмосферы. Мировое производство его составляет 700000 т/год. Присутствует в вулканических газах, время жизни 28000 лет.

КАЛИЙ

Распространенный щелочной элемент земной коры. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 4. Распространены в природе распространены ^{39}K (93,25 %), ^{41}K (6,73); радионуклид ^{40}K (0,012 %) с периодом полураспада $1,25 \cdot 10^9$ лет. Радионуклид ^{42}K ($T_{1/2} = 12,36$ ч.) и ^{43}K ($T_{1/2} = 22,3$ ч.) в природе не встречаются. Радиус K^+ – 133, атомный – 227 пм. Основная линия в атомном спектре – 766,491 нм.

Кларк калия в земной коре 2,50 % (2,3) (концентрируется в пегматитах), почве – 1,36, живом веществе – 0,3, золе растений – 3,0 %, речных водах – 2,3 мг/л.

Известно 109 минералов калия. Наиболее распространены соединения калия с силикатами (40 %), сульфатами (35), галоидами (12), из них около 75 % соединения гипергенной зоны. Основные соединения его с Cl , SO_4 , CO_3 , NO_3 , PO_4 легко растворимы.

Соли калия растворимы меньше, чем соли натрия, при низких температурах, но более растворимы при 30–100 °С. Они характеризуются незначительной поляризуемостью, что приводит к сорбции их почвами, илами

Кристаллизация калия происходит примерно при 600–800 °С магматически-пегматитового процесса. Часть калия выносится из пегматитов в пневматолиты и накапливается на границе с боковыми породами в виде биотита. В глинах он переходит в необменное состояние. По поведению в зоне гипергенеза калий подобен Mg , а по свойствам – Na . Аккумулируется в кислых породах (ортоклаз, микроклин), слюдах. Он связан с солевыми отложениями, куполами, штоками, соляными озерами и лиманами.

Геохимические барьеры калия: испарительный, сорбционный, биогеохимический, сульфатный (глина, гумус). Элемент слабо подвижный в любой геохимической обстановке.

В организме человека содержится 140–175 г калия, 98,5 % – внутри клеток. Естественные источники калия: сухофрукты, капуста брюссельская, кольраби, шпинат, картофель, фасоль, орехи, морковь, банан, черная смородина, зелень петрушки, томат, апельсин, грейпфрут. Суточное потребление с пищей составляет 3–6 г. Период полувыведения – 30 суток. Токсичная доза калия – 6 г, летальная – 14 г.

Калий является антагонистом *Na*. Они образуют *K–Na* насос (калий в клетке, натрий – в плазме), который поддерживает осмотическое давление, кислотно-основное состояние в процессах обмена в клетках. Обеспечивает трофические и координационные процессы и связь с внешней средой. Ускоряет выведение с мочой *Ca*, *Na* и воды. Вводят при сахарном диабете, недостаточности кровообращения, лихорадочном синдроме.

Заболевания, вызванные недостатком калия: водянка, гипокалиемия и гипогликемия. Заболевания, вызванные его избытком: уменьшается возбудимость сердечной мышцы, реже ритм сердечных сокращений, гиперкалиемия.

Растения-концентраторы калия: папоротники (35,4 % в золе), лилейные, зонтичные, бобовые, крестоцветные, злаки, пасленовые. Коэффициент биологического поглощения около 10.

Используется в удобрениях, химикалиях, производстве стекла.

КАЛЬЦИЙ

Щелочноземельный кальций широко распространен в земной коре. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 16. В природе распространен ^{40}Ca (96,941 %), меньше ^{44}Ca (2,086), ^{42}Ca (0,647), ^{48}Ca (0,187), ^{43}Ca (0,135) и ^{46}Ca (0,004 %). Искусственные радионуклиды имеют короткий период полураспада. Радиус Ca^{2+} – 106, атомный – 197,3 пм. Основная линия в атомном спектре 393,366 нм.

Кларк кальция в земной коре – 4,1 % (3,81), почве – 1,37, золе растений – 3,0 %, речных водах – 15 мг/л.

Соединения кальция многочисленны в земной коре и насчитывают более 300 минералов. Преобладают силикаты, фосфаты и карбонаты. Строение атома прочное, как и его силикатов и фосфатов, кальцита и доломита. Сильные щелочные свойства кальция резко повышают величину рН в контакте с известковыми породами. Углекислые соли кальция растворяются в присутствии углекислого газа с образованием оксида и гидроксида кальция.

Кальций выделяется при более поздней магматической кристаллизации в стадию образования метасиликатов. В пироксенах он объе-

диняется с *Mn* и *Fe*, в роговых обманках – с *Na*. Кальций метасоматически замещается цинком, никелем, кобальтом, железом, медью, кадмием, марганцем и сам замещает магний, свинец, стронций, барий. Он осаждает комплексные анионы вольфрама, серы, хрома, бора.

Геохимические барьеры кальция: сульфатный, сорбционный, карбонатный, биогеохимический, испарительный, силикатный, щелочной, термодинамический. Элемент подвижный в любой геохимической обстановке.

В организме человека содержится более 1 кг кальция, из них в костях – 98 %. Естественные источники: молоко (3 стакана) или 100 г сыра – для обеспечения суточной потребности, творог, яичный желток, икра, соя, капуста савойская и брокколи, зелень петрушки, салат, пастернак. Суточное потребление с пищей около 1,1 г. Всасывается 10–80 % от его поступления в желудочно-кишечный тракт. Чем больше его поступает, тем меньше всасывается. Усвоение кальция повышается в присутствии белков, лизина и аргинина, лактозы и лимонной кислоты; ухудшается – оксалатами, жирами. Период полувыведения – 2100–7000 суток.

С возрастом усвоение кальция постепенно уменьшается, поэтому возникает остеопороз. Щавелевая кислота, как антагонист кальция, осаждает его в виде оксалата кальция в организме. Оптимальное сочетание *P* и *Ca* в организме человека обеспечивает здоровые зубы и кости, а *Ca* и *Mg* – здоровую сердечно-сосудистую систему. Витамин *D* является его синергистом. Кальций участвует в образовании скелета, передаче нервного возбуждения, сокращении мышц, в регуляции проницаемости мембран, в активации свертываемости крови и пищеварительных ферментов.

Заболевания, вызванные недостатком кальция – остеопороз, избытком – образование оксалатных камней.

Используется в металлургии, химической промышленности, строительстве.

СКАНДИЙ

Редкий рассеянный и дефицитный элемент с постоянной валентностью (111). Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 15. В природе известен ^{45}Sc (100 %). Радионуклиды распадаются с образованием γ и β частиц в течение нескольких десятков дней и часов. Радиус Sc^{3+} – 83, атомный – 160,6 пм. Основная линия в атомном спектре – 361,384 нм.

Кларк скандия в земной коре составляет $16 \cdot 10^{-4}\%$ ($1,7 \cdot 10^{-3}$), почве – $7 \cdot 10^{-3}$, золе растений – $7 \cdot 10^{-4}\%$, речных водах – 0,004 мкг/л.

Обладает типичными свойствами дисперсности, имеет амфотерный характер оксидов. Концентрируется в средних геофазах остаточного гранитного расплава с образованием скандиевого минерала – тортвейтита. Повышено содержание скандия в вииките. В метасиликатах (пироксенитах и богатых пироксеном дунитах) в решетках магния и железа происходит эндокриптное захватывание скандия. В осадочных отложениях он рассеивается и выпадает вместе с железом при больших значениях рН, частично накапливается в железных рудах. Слаборастворимые карбонаты переносят Sc в разных процессах. Концентрируется и мигрирует совместно с *Fe*, *Ti*.

Скандий малоподвижный в большинстве геохимических обстановок, слабо мигрирует с органическими комплексами, частично – в сильноокислой среде.

Известно 5 минералов скандия, из них 4 силиката, 1 фосфат. Основной минерал – тортвейтит в гранитных и карбонатных пегматитах.

Суточное потребление с пищей – 0,00005 мг. Токсичная доза не установлена. Концентрируется в костной ткани и крови.

Используется в суперлазерах, галогеновых лампах, ЭВМ.

ТИТАН

Твердый, нетоксичный, амфотерный металл. Титан устойчив к коррозии благодаря оксидной пленке, но при измельчении в порошок горит на воздухе. Число изотопов титана с учетом ядерных изомеров – 13. В природе наиболее распространен ^{48}Ti (73,8 %), изотопы ^{46}Ti , ^{47}Ti , ^{49}Ti , ^{50}Ti – от 5 до 8 %. Искусственный радионуклид ^{44}Ti имеет период полураспада 47 лет с γ типом распада. Радиус Ti^{2+} – 80, Ti^{3+} – 69, атомный – 144,8 пм. Основная линия в атомном спектре – 334,941 нм.

Кларк титана в земной коре – 0,56 % (0,53), основных породах – 0,9, почве – 0,46, золе растений – 0,1 %, речных водах – 3 мкг/л.

Титан имеет сходные черты с алюминием. Образует часто ионы Ti^{3+} , более устойчивые при высокой температуре, которые легко превращаются в $[\text{TiO}_4]^{5-}$. Более типичны ионы Ti^{4+} , $[\text{TiO}_4]^{4-}$. Различие в выделяемой этими ионами энергии невелико, поэтому переходы из одного иона в другой совершаются при незначительных изменениях геохимической обстановки. Возможно их совместное нахождение в решетках минералов. Для титана характерны комплексные ионы титаносиликатов. Он рано кристаллизуется в магматическом процессе.

Титан накапливается преимущественно с железом и магнием в габброидную геофазу кристаллизации. Основное количество элемента связано с ильменитом и около 20 % находится в дисперсном состоянии, как изоморфная или эндокриптная примесь в силикатах. В щелочных породах происходит накопление титана, особенно в магмах агпайтовых, богатых железом. В кислых и основных породах титана встречается мало. Вхождение титана в алюмокремниевые комплексы затруднено. Он осаждается при избытке *Ca*, *Fe*, *TR*. Обилие щелочей приводит к образованию комплексных ионов TiO_4 вместе с ZrO_4 , SiO_4 .

В земной коре встречается только в кислородных соединениях. Повышенные его концентрации характерны для габбро, горнблендитов, пироксенитов, а также щелочных пород агпайтового ряда. Минералы устойчивы к выветриванию и образуют значительные концентрации в россыпях.

Известно около 70 минералов титана, важнейшие из них – ильменит, рутил, титанит, сфен, лопарит. Геохимический барьер – кислородный. Частично мигрирует в сильноокислой среде.

В организме человека содержится 14 мг титана. Суточное потребление с пищей – 0,85 мг. Период полувыведения – 320 суток. Концентрируется в коже, селезенке, надпочечниках, легких (с возрастом увеличивается), кожной мозоли. Титаном богаты сливочное масло, свинина, креветки, кукурузное масло, пшеничная мука, салат-латук, черный перец. При остром лейкозе содержание *Ti* в крови снижается. Органические производные титана возбуждают центральную нервную систему, дыхание, сердечно-сосудистую систему, стимулируют ферментативную активность крови и гомеопозз.

Используется в оборудовании химической промышленности, легких сплавах, остеопротезах.

ВАНАДИЙ

Относится к мягким металлам, устойчив к коррозии, реагирует с концентрированными кислотами. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 11. В природе известны стабильный ^{51}V (99,75 %) и радионуклид ^{50}V (0,25 %) с периодом полураспада более $3,9 \cdot 10^{17}$ лет по β типу. Радиус V^{2+} – 72, V^{3+} – 65, V^{4+} – 61, V^{5+} – 59, атомный – 132,1 м. Основная линия в атомном спектре – 437,924 нм.

Кларк ванадия в земной коре составляет $160 \cdot 10^{-4}$ % ($1,2 \cdot 10^{-3}$), почве $1-10^{-2}$, золе растений – $6,1 \cdot 10^{-3}$ %, речных водах – 0,9 мкг/л.

В геохимии известны две валентности ванадия, ионы имеют вид – V^{3+} , $[VO_4]^{3-}$, V^{5+} , $[VS]^{3-}$. Трехвалентные ионы с положительным заря-

дом рассеяны без образования собственных минералов и замещают Fe^{3+} , Al^{3+} . В глубинной зоне наибольшей устойчивостью обладают ионы V^{3+} , в гипергенной – V^{5+} . Многочисленные минералы образуют ионы $[VO_4]^{3-}$ в соединении с *Ca*, *Pb*, *Cu*.

При протокристаллизации ванадий накапливается в конечных фазах габброидных пород – в титаномагнетитах и пироксенах. В зоне гипергенеза при окислении ванадий переходит в подвижную форму $[VO_4]^{3-}$. Фиксация его в виде менее растворимых соединений определяется образованием двойных комплексов $[VO_4] + [UO_4]$ или нейтрализацией ванадиевой кислоты металлами повышенной поляризации – *Pb*, *Cu*, *Ni*, *Zn*.

В эндогенных условиях в магматических образованиях известны только соединения $V(III)$. Близость ионных радиусов V^{3+} и широко распространенных в магматических породах Fe^{3+} и Ti^{4+} приводит к тому, что ванадий находится в гипогенных процессах в рассеянном состоянии. Концентраторами являются минералы: титаномагнетит, сфен, рутил, ильменит, пироксены, амфиболы и гранаты. В гидротермальных условиях встречаются минералы $V(III)$, $V(IV)$ и $V(V)$. Ванадий образует комплексные соединения с галоидами и переносится гидротермальными растворами.

В экзогенных условиях переносится водами в виде взвесей и истинных растворов (VCl_3 , VCl_4 , $VOCl$, $VOCl_3$). Адсорбируется гидроксидами железа, алюминия и органическим веществом. В зоне гипергенеза обогащенные растворы образуют ванадаты – соли ортованадиевой кислоты (H_3VO_4). Повышенное содержание ванадия отмечается в габбро и базальтах.

Известно 90 минералов, из них 40 ванадатов. Основные: патронит (VS_4), ванадинит $[Pb_5(VO_4)_3Cl]$. Получают попутно из руд других металлов и венесуэльской нефти.

Геохимические барьеры: восстановительный сероводородный, щелочной, сорбционный. Мигрирует в окислительной обстановке.

В организме человека содержится 10–25 мг ванадия: в цельной крови – 2–50 мкг/100 мл (в эритроцитах больше, чем в плазме); много в костях и зубах (дентине), жировой ткани, в легких – 0,6 мг/кг; в печени и почках – 0,03 мг/кг. Суточное потребление с пищей достигает 0,1–2 г; с водой 8–12 мкг. Период полувыведения – 300, для костной ткани – 10000 суток. Токсичная доза 0,25 мг, летальная 2–4 мг.

Ванадий аккумулируется в костях, зубах, жировой ткани, почках, печени, легких. В костях осаждает соли кальция и увеличивает устойчивость зубов к кариесу. Ванадий – эффективный катализатор

окислительно-восстановительных биохимических реакций, является антагонистом *Fe* и *Co*. Стимулирует утилизацию глюкозы, повышая активность инсулина. Активирует синтез ДНК и РНК. Токсичность возрастает с увеличением валентности в 3–5 раз.

Заболевания, вызванные недостатком ванадия: снижается плодовитость, повышается смертность новорожденных, задерживается рост и возникают аномалии скелета. Наблюдается гиперхолестеринемия, задержка *Na* и воды вплоть до отеков (особенно на фоне недостаточности кровообращения); тяжелее протекает сахарный диабет.

Заболевания, вызванные избытком ванадия: маниакально-депрессивный психоз; повышается артериальное давление; бронхиальная астма, экзема. Коррекция избытка базируется либо на введении *Li*, *Fe* и *Co* (антагонизм) путем восстановления ванадатов в ванадил (глутатионом или аскорбиновой кислотой до 3 г в сутки).

Растения-концентраторы: морские водоросли (фотосинтез), азотобактерии, растительные масла, грибы, петрушка, соя, укроп, зерно, печень, морепродукты. асцидии, черная плесень. Стимулирует фиксацию азота и рост ряда азотобактерий.

Используется в сплавах и легированных сталях.

ХРОМ

Твердый, токсичный металл, устойчив к окислению; *Cr* (III) малотоксичен, *Cr* (VI) высокотоксичен. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 13. Распространен стабильный ^{52}Cr (83,79 %). Радионуклиды имеют короткий период полураспада. Радиус Cr^{2+} – 84, Cr^{3+} – 64, Cr^{4+} – 56, атомный – 124,9 пм. Основная линия в атомном спектре – 425,435 нм.

Кларк хрома в земной коре – 0,01 % ($9,3 \cdot 10^{-3}$), почве – $2 \cdot 10^{-2}$, золе растений $2,5 \cdot 10^{-2}$ %, речных водах – 1 мкг/л.

По своим химическим свойствам хром близок к *Mo* и *W*. Большинство солей *Cr* (III) хорошо растворимо в воде, легко подвергается гидролизу. Соединения трехвалентного хрома устойчивы и сходны с алюминием, поэтому они взаимозаменяемы. Содержание хрома высокое в оливиновых породах (до 3–4 % Cr_2O_3). Элемент связан с устойчивыми решетками *Al*, *Fe*, *Mg*.

Эндогенные концентрации соединений *Cr* (III) в силу своего высокого сродства с кислородом образуются в виде оксидов вместе с *Al*, *Mg*, *Fe* (II), *Fe* (III), обособляющимися на высокотемпературной магматической ступени процесса при дифференциации перидотитовой магмы. Соединения *Cr* (VI) образуются только в резко окислительной

обстановке при высоких значениях рН. Промышленный хром связан с ультраосновными породами. Хромит кристаллизуется в конце магматической геофазы.

Экзогенные концентрации отмечаются в виде россыпей. Миграция происходит в виде взвесей. Содержание подвижного хрома в почвах 1,4–10,25 мг/кг при ПДК 15 мг/кг.

Известно 25 минералов хрома. Промышленными являются хромшпинелиды. Геохимические барьеры: щелочной, сорбционный. Мигрирует в кислой среде и окислительных условиях.

В организме человека содержится 6,6 мг хрома, в костях, особенно в эпифизах и хрящах – 4,8, в мягких тканях – 1,8, в плазме и эритроцитах – до 0,1 мг. С возрастом его содержание снижается, но увеличивается концентрация в легких. Суточное потребление с пищей 0,01–1,2 (0,15) мг при норме 90 мкг. Период полувыведения – до 222 суток. Токсичная доза – 200 мг, летальная – 3 г. Оптимизирует работу инсулина по фиксации глюкозы в гликоген и жир. Снижает артериальное давление, предупреждает диабет. Участвует в обмене нуклеиновых кислот. Образует в организме коллоидные растворы.

Заболевания, вызванные недостатком хрома: усугубление или провокация сахарного диабета с разнообразными метаболическими нарушениями; атеросклероз; задержка роста; помутнение роговицы.

Заболевания, вызванные избытком хрома: поражение ретикуло-эндотериальной системы по всем органам; аллергия; повышение риска канцерогенеза; ринит; бронхит; пневмосклероз; гастрит; язва желудка и носовой перегородки.

Растения-концентраторы хрома: картофель (0,13 мг/кг), свекла и морковь (0,11 мг/кг), томаты (0,04 мг/кг). Гигиеническая норма в растениях – 0,2 мг/кг.

Используется в сплавах, для хромирования, в металлокерамике.

МАРГАНЕЦ

Твердый, хрупкий, серебристый металл. При наличии примесей реакционноспособен и горит в кислороде. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 15. В природе распространен стабильный ^{55}Mn (100%). Искусственные радионуклиды имеют различный период полураспада от часов до $3,7 \cdot 10^6$ лет (^{53}Mn) с β и γ типом распада. Радиус Mn^{2+} – 91, Mn^{3+} – 70, Mn^{4+} – 52, атомный – 124 пм. Основная линия в атомном спектре 403,076 нм. Кларк марганца в земной коре составляет $9,5 \cdot 10^{-2} \%$ ($9 \cdot 10^{-2}$), почве – $8,5 \cdot 10^{-2}$, золе растений – $7,5 \cdot 10^{-1} \%$, речных водах – 7 мкг/л (регламентация 150 мкг/л).

Марганец входит в группу железа. Очень легко переходит из одной валентности в другую в зависимости от кислородного потенциала и величины pH в растворах. В геохимии известны катионы Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+} , в лабораторных условиях известен Mn^{7+} . Впервые по отношению к марганцу В.И.Вернадский предложил ввести термин *кларк концентрации*, отмечая им отклонение его содержания в данном минерале или месторождении от кларка марганца в земной коре.

Отношение марганца к железу сильно повышается от основных к кислым породам, что приводит к относительному преобладанию марганца в остаточных гранитных пегматитах. Среди минеральных видов *Mn* преобладают силикаты и фосфаты (около 30 %), оксиды (20 %). Повышение содержания кислорода, как и понижение кислотности, приводит к осаждению марганца. Ряд элементов абсорбируется марганцевыми оксидами: *P, K, Na, Mg, Ca, Fe, Al, C, Ba, Ni, Co, Cu, Li*.

Известно более 150 минералов марганца: оксиды, сульфаты, сульфиды и др. Основные руды: пиролюзит MnO_3 , браунит Mn_6SiO_2 , гаусманит Mn_2O_4 , манганит $MnOOH$, вернадит ($MnO_2 \cdot nH_2O$), псиломелан, родохрозит ($MnCO_3$), манганокальцит ($(Ca, Mn)CO_3$) и манганосидерит ($(Mn, Fe)CO_2$).

Геохимические барьеры марганца: кислородный, щелочной, восстановительный сероводородный, термодинамический. Элемент подвижный и слабоподвижный в восстановительно-глеевой обстановке.

В организме человека содержится 12 мг марганца. Суточное потребление с пищей – 3,7 мг. Период полувыведения – 22 суток. Токсичная доза – 1 г/кг. Аккумулируется в печени, поджелудочной железе, гипофизе. Активирует многие ферментативные процессы. Стимулирует синтез холестерина и жирных кислот. Усиливает накопление фосфора в костях. Марганец необходим для образования тироксина, усвоения пищи, для работы центральной нервной системы, улучшения мышечных рефлексов и памяти.

Заболевания, вызванные недостатком марганца: атаксия, поражение ЦНС и расстройство координации движений, анемия, ухудшается усвоение глюкозы. Заболевания, вызванные его избытком – рахит. Замедляется всасывание *Mn* при избытке *Ca* и *P*.

Растение-концентратор марганца – чай. Экологическое бедствие наступает при концентрации его в кормах более 50 мг/кг, удовлетворительные условия при содержании 1,5 – 2,0 мг/кг марганца.

Используется в производстве сталей, керамике, в удобрениях.

ЖЕЛЕЗО

Наиболее важный и самый распространенный элемент земной коры. Число изотопов с учетом ядерных изомеров 16. В природе распространен стабильный изотоп ^{56}Fe (91,18 %). Искусственные радионуклиды имеют различный период полураспада от часов до 10^5 лет (^{60}Fe) с β типом распада. Радиус Fe^{2+} – 82, Fe^{3+} – 67, атомный 124,1 пм. Основная линия в атомном спектре – 248,327; 835,991 нм.

Кларк железа в земной коре – 4,1 % (5,33), почве – 3,8, в золе растений – 1,0 %, речных водах – 67 мкг/л (норма не более 300 мкг/л).

Радиусы ионов железа обеих степеней окисления (+2, +3) занимают среднее положение среди других радиусов катионов. С этим, очевидно, связано его среднее по величине электростатическое поле, определяющее возможности широких замещений или вхождений. В группу геохимического семейства железа входят *Ti, V, Mn, Cr, Ni, Co*.

Железо является руководящим химическим элементом Земли. Вглубь Земли его содержание увеличивается в отдельных геосферах. В этом направлении к кислородным соединениям присоединяются сульфидные. Главная часть железа выделяется из расплава в течение прото- и мезокристаллизации и в конечном гранитном магматическом остатке количество железа минимальное. Иногда часть железистого остатка переходит в остаточный расплав.

Эндогенные магматические концентрации железа отмечены в основных и средних породах, а также генетически связанных с ними постмагматических продуктах. Мигрирует в эндогенных условиях в виде хлоридов. Крупные месторождения железа дают диабазовые покровы и интрузии в некоторых случаях с известняками, а также щелочные граниты и сиениты на контакте с карбонатными породами.

Экзогенные концентрации железа характерны для осадочных пород и кор выветривания ультраосновных пород. Мигрирует в форме бикарбонатов, сульфатов и гуминовых соединений. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ является конечным продуктом природных соединений *Fe*, попадающих в зону окисления. В осадочных породах железо будет накапливаться в осадках болот и морей, при подводном извержении диабазов.

Известно более 300 минералов железа, из них ведущие – гематит (Fe_2O_3), магнетит ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), сидерит (FeCO_3).

Геохимические барьеры железа: кислородный, восстановительный сероводородный, термодинамический. Элемент подвижный и слабо подвижный в восстановительно-глеевой обстановке.

В организме человека содержится 3,5–4,2 г железа, в составе гемоглобина 80 % и миогемоглобина 10 %. Суточное потребление с пищей – 9–20 мг. Период полувыведения 700 суток. Токсичная доза – 200 мг, летальная – 7–35 г.

Необходим для образования гемоглобина, миоглобина (красного пигмента в мышцах), некоторых ферментов (ферритин), для метаболизма витаминной группы *B*, а также для транспорта электронов, кислорода, окислительно-восстановительных реакций и активации перекисного окисления (предварительно подготовленного ионами меди). Последняя функция важна для детоксикации многих ксенобиотиков и деструкции микроорганизмов и раковых клеток.

Источники железа: печень, язык, шоколад, сухофрукты, бобовые, кизил, айва, земляника, персики, груши, яблоки, овес, рожь, брюква, шпинат, маслины, поваренная соль, творог, мидии, устрицы. Всасывается из пищи преимущественно неорганическое железо (3–10 %) от попавшего в желудочно-кишечный тракт (всего 1–20 мг/сутки). Всасывание железа блокируется *Mn*, соевым белком, отрубями пшеницы, фитином, фосфатами, танином (чай), полифенолами, кофе; улучшается – аскорбиновой кислотой, животными белками, цистинном, лизинном, гистидином, соляной кислотой.

Антагонисты железа – кофе, чай; синергисты – витамин *C*, элементы *Cu*, *Co*, *Mn*, аминокислоты (цистеин, метионин), алкоголь.

Заболевания, вызванные недостатком железа: анемия, невращения, астения, тахикардия, кардиалгия, синдром Пламмера-Винсона.

Заболевания, вызванные избытком железа: накопление в артериях липопротеинов с низкой плотностью, т.е. «вредной» разновидности холестерина, образование бляшек и отложение их на стенках сосудов; диффузный гемохроматоз с развитием бронзовой окраски кожи, сахарного диабета, цирроза печени с портальной гипертензией.

Используется в производстве сталей, керамике.

КОБАЛЬТ

Твердый металл с ферромагнитными свойствами, устойчив к кислороду. Медленно взаимодействует с разбавленными кислотами. Число изотопов с учетом ядерных изомеров 17. В природе распространен стабильный изотоп ^{59}Co (100 %). Искусственные радионуклиды имеют различный период полураспада от часов до 5 лет с β и γ типом распада. Радиус Co^{2+} – 82, Co^{3+} – 64, атомный – 125,3 пм. Основная линия в атомном спектре – 345,350 нм.

Кларк кобальта в земной коре – $2,0 \cdot 10^{-5} \%$ ($2,3 \cdot 10^{-3}$), в почве – $1 \cdot 10^{-3}$, золе растений – $1,5 \cdot 10^{-3}\%$, речных водах – 0,2 мкг/л.

Характерна связь кобальта в минералах с *Fe*, *Ni*, *Ca*, *As*. В процессе кристаллизации магмы он уходит в ликвидационное отщепление сульфидов или в летучие погоны, частично вместе с никелем удерживается в силикатах протокристаллизации. Поэтому его материнским источником считаются основные и ультраосновные породы. Постмагматические месторождения связаны с умеренно кислыми гранитоидами. Из магматических очагов выносятся гидротермальными растворами вместе с *Fe*, *Ni* в виде сульфидных, галоидных и мышьяковых комплексов. В контактных пневматолитах обычно связывается с диоритами и гранодиоритами. В гидротермальных дериватах магм он связан с кислой магмой вместе с *As*, *Au*, *Ag*, *U*, *Bi*, (*Ni*). Концентрируется при метасоматозе основных пород с карбонатами, магнетитом и сульфидами железа и меди.

В гипергенных условиях избирательно абсорбируется гелями и геохимически связан с рудами никеля, марганца и железа. Накапливается вместе с *Cu* в терригенных лагунно-дельтовых отложениях. Крупные промышленные концентрации образуются в корках выветривания гипербазитовых массивов, где он ассоциирует с силикатными рудами *Ni*. Крупномасштабные процессы концентрации происходят на дне Мирового океана в кобальтоносных корках и железомарганцевых конкрециях. Отмечается его концентрация в пиритах при метаморфических процессах.

Известно около 40 минералов кобальта, из них 12 сульфидов, 8 оксидов, 8 фосфатов, 3 карбоната и 3 сульфата. Важнейшие из них: смальтит ($CoAs_2$), кобальтин ($CoAsS$), линнеит (Co_3S_4), кобальтистый петландит ($(Fe, Ni, Co)_9S_8$).

Геохимические барьеры кобальта: кислородный, восстановительный сероводородный, термодинамический, сорбционный, щелочной. Элемент подвижный и слабо подвижный в восстановительно-глеевой обстановке.

В организме человека содержится 1,5 мг кобальта, из них 50–100 мкг в витамине B_{12} . Накапливается преимущественно в почках, печени, эндокринных железах, лимфатической системе, в крови – 0,07–0,6 мкмоль/л (40–350 мкг/л). Суточное потребление с пищей – 0,3 мкг. Период полувыведения – 10 суток. Основное поступление из говяжьей печени и почек (по 0,2 мкг/г сухого вещества), рыбы речной, фасоли, гороха, свеклы, салата, петрушки, малины, черной смородины, зеленых листьев овощей.

Заболевания, вызванные недостатком кобальта: дегенерация центральной и периферической нервной системы, дистрофия костей, усиление аллергии немедленного типа; пернициозная анемия (Аддисон-Бирмера).

Заболевания, вызванные избытком: гиперкератоз кожи, хронический бронхит, интерстициальный фиброз легких; гиперлипидемия, гипотония, кардиопатия (использование до 1,5 мг/л хлористого кобальта для улучшения органолептических свойств пива приводит к остановке сердца – при продолжающейся электрической деятельности проводящей системы сердца), полицитемия. Токсичная доза 500 мг.

Используется в керамике, для получения магнитных сплавов, катализаторов, художественных красок.

НИКЕЛЬ

Пластичный металл, устойчив к коррозии, не реагирует со щелочами и растворяется в кислотах. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 14. В природе распространен стабильный ^{58}Ni (68,27 %), искусственный радионуклид ^{59}Ni с максимальным периодом полураспада $7,6 \cdot 10^4$ лет с β и γ типом распада. Радиус Ni^{2+} – 78, Ni^{3+} – 62, атомный – 124,6 пм. Основная линия в атомном спектре составляет 341,476; 352,454 нм.

Кларк никеля в земной коре – $80 \cdot 10^{-4}$ % ($7 \cdot 10^{-3}$), кислых породах – $8 \cdot 10^{-4}$, основных – $1,6 \cdot 10^{-2}$, ультраосновных – $2,2 \cdot 10^{-1}$, почве $4 \cdot 10^{-3}$, золе растений – $5 \cdot 10^{-3}$ %, речных водах – 0,3 мкг/л.

Устойчивость конфигурации и высокая поляризация никеля определяет его геохимические свойства. Энергетически двухвалентные элементы, такие как никель, кобальт, магний и железо, близки между собой и взаимно замещаются. Он практически полностью захватывается протопыделениями железа, поэтому накапливается в глубинах земной коры. В земном ядре его примерно в 500 раз больше, чем в кремниевой оболочке земной коры. Если в магме обособляется сульфидная часть, то никель почти полностью связывается с ней. Сульфиды никеля выпадают в начальные фазы пневматолита и позднее.

Эндогенные концентрации связаны с базитовыми и гипербазитовыми магмами подкорковых очагов. В ультраосновных породах никель связан с оливинами, в которых он изоморфно замещает *Fe* и *Mg*, и его концентрации достигают иногда 0,4 %. Никель характеризуется большим сродством с S, поэтому при достаточной концентрации ее в магматическом расплаве он обособляется в виде сульфидов вследствие ликвации расплава на силикатную и сульфидную фазы. Вместе с

Ni в сульфидный расплав переходит *Cu*, *Co*, *Pt*, часть *Fe*. Вследствие этого образуются специфические по составу сульфидные медно-никелевые руды. Из гранитоидных магм *Ni* иногда может выноситься гидротермальными растворами вместе с *Co*, *As*, *S*, *Bi*, *Ag*, *U* и образовывать жильные месторождения сульфидов и арсенидов.

Экзогенные концентрации отмечаются в корах выветривания, формирующихся в массивах серпентинизированных гипербазитов. Никель накапливается в виде гидросиликатов коллоидального типа, нередко связанных с высоким содержанием магния, окислением и щелочной реакцией.

Известно 45 минералов никеля. Основные соединения: сульфиды (20), силикаты (12), арсенаты (8), ванадаты (8). Геохимические барьеры кобальта: восстановительный сероводородный, термодинамический, сорбционный, щелочной. Мигрирует в кислых водах окислительной и восстановительно-глеевой обстановок.

В организме человека содержится около 12 мг никеля: в крови – 80 мкг/л (плазма и эритроциты – поровну); в печени и селезенке – по 20 мкг; в костном мозге – 30 мкг. Суточное потребление его с пищей – 60–600 мкг. Период полувыведения никеля – 350 суток. Токсичная доза его – 50 мг.

Никель индуцирует синтез фосфатидилсерина (стабилизация мембран), эритроцитов (синергизм с *Co*), тестостерона, гликогена; стимуляторов активности макрофагов. Он активизирует ферменты: аргиназы, карбоксилазы, ацетил-СоА-синтетазы, метилдегидрогеназы, альфа-амилазы, трипсин, уреазы. Ингибирует кислую фосфатазу, участвует в регуляции работы катехоламинов. В растительных продуктах его больше, чем в продуктах животного происхождения.

Заболевания, вызванные недостатком никеля: гиперхолестеринемия, снижение резервных запасов гликогена, анемия, атрофия семенников, задержка развития.

Заболевания, вызванные избытком: кератит, кератоконъюнктивит, лейкома (бельмо) роговицы, альвеолиты и бронхиолиты, коронарospазм, дуоденит, снижение иммунитета, повышение риска заболевания раком легких и почек.

Используется в сплавах, в металлических перекрытиях и катализаторах, для изготовления монет.

МЕДЬ

Красноватый пластичный металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 18. В природе распространены стабильные изото-

пы ^{63}Cu и ^{65}Cu (соответственно 69,17 и 30,83 %). Искусственные радионуклиды ^{64}Cu и ^{67}Cu короткоживущие ($T_{1/2} = 12,7$ ч. и 61,9 ч. соответственно). Радиус Cu^+ – 96, Cu^{2+} – 72, атомный – 127 пм. Основные линии в атомном спектре – 324,754 (АА), 327,39 нм.

Кларк меди в земной коре составляет $5 \cdot 10^{-3}$ % ($5,3 \cdot 10^{-3}$), в кислых породах – $1 \cdot 10^{-3}$, в основных – $1 \cdot 10^{-2}$, почве – $2 \cdot 10^{-3}$, золе растений – $2 \cdot 10^{-2}$ %, речных водах – 7 мкг/л.

В глубинных соединениях медь одновалентная, как в первичных сульфидах и куприте (Cu_2O). Все остальные минералы отвечают валентности два. Разноквантовый характер в строении двухвалентной меди типа купро ведет к высокой поляризации и энергии решеток соединений, понижению растворимости при осаждении гидратов, сильному поглощению абсорбентами, окраске комплексных солей, увеличению летучести галоидных соединений, понижению твердости минералов. Для одновалентных соединений меди характерна слабая, для двухвалентных – сильная миграция ионов. Легко растворимы галоиды и сульфаты меди, но ее осаждают ионы CO_3 , SiO_4 , PO_4 , AsO_4 .

Медь легко отделяется от магмы при дифференциации основных пород. При гидротермальном процессе главное осаждение меди происходит около 400–300 °С. Эндогенные магматические концентрации связаны с основным (сульфидные медно-никелевые, колчеданные) и кислым (скарновые, меднопорфиновые) магматизмом.

В гипергенной обстановке медь фиксируется преимущественно анионами CO_3 , SiO_3 . Концентрации отмечены в зонах вторичного сульфидного обогащения, а также в терригенных осадках лагунных и дельтовых фаций.

Известно более 170 минералов меди, из них преобладают сульфиды (47 %), фосфаты (35), сульфаты (18) и галоиды (18 %). Промышленное значение имеют: самородная медь Cu (92 %), халькопирит (CuFeS_2 – 4,5), борнит (Cu_5FeS_4 , – 63,3); халькозин (CuS_2 – 79,8), кубанит (CuFe_2S_3 – 22–24), ковеллин (CuS – 66,5), куприт (Cu_2O – 88,8), малахит (CuCO_3 ; $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – 57,4), азурит (2CuCO_3 ; $\text{Cu}(\text{OH})_2$ – 55,3 %).

Геохимические барьеры меди: сорбционный, нейтральный, восстановительный, термодинамический. Хорошо мигрирует в кислых водах окислительной и восстановительно-глеевой обстановок в форме комплексных соединений.

В организме человека содержится 72 мг меди: в печени – 30 %, кости и мышцы – 30 %. Суточное потребление с пищей 2–6 мг. Период полувыведения – 30 суток. Токсичная доза – более 250 мг.

Медь занимает второе место после железа в качестве катализатора окислительно-восстановительных процессов, кроветворения (участвует в синтезе коллагена, эластина, гемоглобина); в фагоцитозе; регулирует функции витаминов *A, B, P, PP, C*; стабилизирует тиоловые группы. Голубая кровь с гемоцианином содержит медь. Улучшает работу аминокислоты тирозина. Естественные источники: телячья и баранья печень; эмментальский сыр, какао, пивные дрожжи, огурцы, фундук, шиповник, устрицы, рыба, соя, чечевица. Чем больше меди в пище, тем она хуже всасывается. Абсорбция меди ухудшается в присутствии элементов *Mo, Ca, Zn, Cd, Pb, Mn*.

Заболевания, вызванные недостатком меди: дисплазия соединительной ткани, нейродегенерация, гипохромная анемия, экзема.

Растения-концентраторы меди: бобовые.

Используется в технике и электронике.

ЦИНК

Цинк является сильным восстановителем среди металлов. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 23. В природе распространены ^{64}Zn (48,6 %), ^{66}Zn (27,9 %), ^{68}Zn (18,8 %), ^{67}Zn (4,1 %), ^{70}Zn (0,6 %), радионуклид ^{65}Zn с $T_{1/2}$ 243,8 дней, β и γ типом распада. Радиус Zn^{2+} – 83, атомный – 133,2 пм. Основная линия в атомном спектре – 250,199 нм.

Кларк цинка в земной коре составляет $75 \cdot 10^{-4}$ % ($6,8 \cdot 10^{-3}$), почве – $5 \cdot 10^{-3}$, золе растений – $9 \cdot 10^{-2}$ %, речных водах – 20 мкг/л.

Цинк, в основном, равномерно распределяется среди солеобразующих ионов: силикатов, фосфатов, арсенатов, ванадатов, карбонатов и сульфидов. Он образует ионы типа купро с сильной поляризацией. Захватывает железо и галлий и удерживается марганцем, кадмием и индием. Склонен к реакциям комплексообразования. Органические соединения цинка хорошо растворимы в воде.

Эндогенные концентрации цинка отмечены в остаточных дифференциатах магматических очагов и выносятся гидротермальными растворами в виде комплексных соединений. Осаждаются в форме сульфидов при температурах ниже 300 °С в обстановке нейтрализации растворов в присутствии серы. Подавляющая часть промышленных месторождений принадлежит к смешанному эндогенно-экзогенному типу, формирование которого обусловлено осадочными и осадочно-метасоматическими процессами, происходящими в местах разгрузки эндогенных гидротермальных растворов на морском дне, в придонных осадках, в трещинных зонах рудопроводящих структур. В сульфидных жилах, в основном, образуется цинковая обманка с концен-

трацией ряда редких элементов. Цинк почти полностью уходит в пневматолиты.

В зоне гипергенеза сульфиды цинка легко окисляются и переходят в форму растворимых солей в соединении с Cl^- , $[NO_3]^-$, $[SO_4]^{2-}$. Однако они могут осаждаться анионами $[CO_3]$, $[SiO_4]$, $[PO_4]$. Может накапливаться в карбонатной среде в виде смитсонита.

Соединения цинка встречаются довольно часто в природе. Основные минералы: сфалерит ZnS (67 % Zn), содержащий примеси Cd , In , Ga , Ge , и вюртцит ZnS (63), смитсонит $ZnCO_3$ (52), каламин $Zn_4[Si_2O_7](OH)_2 \cdot H_2O$ (53,7 %). Главные промышленные минералы свинцово-цинковых руд – галенит PbS и сфалерит.

Геохимические барьеры: восстановительный сероводородный, щелочной, сорбционный, испарительный, термодинамический. Мигрирует в кислых водах окислительной и восстановительно-глеевой обстановках.

В организме человека содержится 1,4–2,4 кг цинка, в плазме крови – 20 мкмоль/л, эритроцитах – 160, лейкоцитах – 1,6 ммоль/л. Он концентрируется в поджелудочной железе, гипофизе, половых железах. Суточное потребление с пищей – 0,013 г, период полувыведения 245 суток, токсичная доза не установлена.

Цинк участвует во многих жизненных процессах. Его называют «уличным регулировщиком» в организме, так как направляет эффективное течение процессов, поддерживает работу ферментных систем клеток. Он регулирует постоянство состава крови и pH. Цинк улучшает всасывание белка, лизина, глутаминовой кислоты, цистеина, гистидина, лактозы, гонадотропина, глюкокортикостероидов, а также витамина А. Он усиливает синтез специфического переносчика для витамина А, который регулирует кинетику цинка. Ухудшает всасывание фитиновой кислоты, фосфатов, Ca , Cu , Cd , Mg .

Естественные источники цинка: бобы, пшеничные отруби, семя кунжута, дрожжи, кленовый сироп, семечки, желток, яйца, мясо ягненка и индейки, рыба, свинина.

Заболевания, вызванные недостатком цинка: задержка роста и развития, нарушение кожных покровов, костеобразования и кроветворения, снижение иммунитета, нарушения психики и воспроизводства, гемохроматоз, болезнь Вильсона, кистозный фиброз поджелудочной железы, железodefицитная анемия, таллассемия, хронический язвенный дерматит, блефароконъюнктивит, фотофобия, эрозионно-язвенный стоматит, нарушения аппетита, диарея, парагевзия (нарушения вкуса),

параосмия (нарушения обоняния), гепатоспленомегалия (вплоть до цирроза печени), половые дисфункции.

Заболевания, вызванные избытком цинка: угнетение роста, анемия, снижение энзимной активности, иногда дефицит *Fe* и *Cu*. Токсическая доза 150–600 мг, летальная – 6 г, оптимальная – 60 мг в день.

Растения-концентраторы цинка: злаковые.

Используется в сплавах, аккумуляторных батареях и быту.

ГАЛЛИЙ

Рассеянный, токсичный, мягкий металл. Число изотопов галлия с учетом ядерных изомеров – 23. Распространены в природе ^{69}Ga (60,11 %) и ^{71}Ga (39,89 %). Период полураспада искусственных радионуклидов исчисляется часами и сутками. Радиус Ga^{3+} – 62, Ga^+ – 113, атомный – 122,1 пм. Линия в атомном спектре – 639,65 нм.

Кларк галлия в земной коре составляет $18 \cdot 10^{-4}$ % ($1,7 \cdot 10^{-3}$), в магматических породах содержание растет от $0,2 \cdot 10^{-3}$ в ультрабазитах до $1,8 \cdot 10^{-3}$ в базитах и $4 \cdot 10^{-3}$ в кислых и щелочных. Кларк в почве равен $1,7 \cdot 10^{-3}$ % (12,3 г/т), золе растений – 0,02 – 0,30 мг/кг, речных водах – 0,09 мкг/л.

Галлий не образует собственных минералов и рассеян в природе. Все четыре элемента, которые его окружают в Периодической системе (цинк, алюминий, германий, индий), мигрируют совместно с ним. Наибольшие концентрации рассеянного галлия связаны с высокотемпературными процессами пегматитового или пневматолитового генезиса. Он эндокриптно улавливается железом и цинком в сульфидной фазе, алюминием и железом – в пегматитовом процессе. Отмечено повышенное содержание галлия в боксите и золе углей.

Собственные минералы редкие: галлит – CuGaS_2 (32 % *Ga*). Может концентрироваться в гранитах, нефелиновых сиенитах, алюминиевых и цинковых рудах. В почвах большее содержание его на щелочных породах. Добывается из руд *Al*, *Zn*, *Cu*, углей, фосфоритов.

Геохимический барьер галлия кислородный. Элемент малоподвижный в большинстве обстановок при частичной миграции в сильнокислой среде.

В организме человека содержится в мышечной ткани примерно $0,14 \cdot 10^{-6}$ % галлия, в крови – до 0,08 мг/л. Период полувыведения 6–12 суток. Токсичная доза не установлена. Концентрируется в костной ткани, почках, печени, а также в злокачественных образованиях, в зонах роста и заживления костей. Растения-концентраторы: мхи, лишайники.

Используется в световодах, при производстве микроволнового оборудования. В соединения с *P*, *As*, *Sb* обладает свойствами полупроводников.

ГЕРМАНИЙ

Рассеянный, нетоксичный, хрупкий неметалл. Устойчив к воздействию воздуха, воды, кислот (кроме азотной) и щелочей. Гомолог кремния и углерода. Проявляет кроме сульфуро-сидерофильных свойств окси- и органофильные, что определяет многообразие путей его миграции. Наиболее устойчивы соединения *Ge* (II) и *Ge* (IV). Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 24. В природе наиболее распространен ^{74}Ge (36,5 %). Искусственные радионуклиды имеют короткий период полураспада от нескольких часов до 288 дней. Радиус Ge^{2+} – 90, Ge^{4+} – 272, атомный – 122,5 пм. Основная линия в атомном спектре – 206,866 нм.

Кларк германия в земной коре около $1,8 \cdot 10^{-4} \%$ ($1,4 \cdot 10^{-4}$), почве – $5 \cdot 10^{-4}$, золе растений – $1,4 \cdot 10^{-3} \%$, речных водах – 0,11 мкг/л.

Свойства германия близки к кремнию и олову. В природе встречается как примесь к силикатам, ниоботанталатам в виде аниона $[\text{GeO}_4]^{4-}$ в незначительных количествах. Рассеян в разных геофазах и геозонах. Типичные спутники – сульфиды серебра и меди, станин, цинковая обманка, частично соединения сульфида висьмута. Отмечена высокая концентрация германия в золе каменного угля (до 1,5 %). Некоторые его соединения летучи. В эндогенном процессе оксифильные и сидерофильные свойства преобладают над сульфурофильными. В экзогенном процессе накапливается в железных и угольных месторождениях, в условиях активной вулканической деятельности.

Известно 20 минералов германия, из них 8 сульфидов и 12 оксидов. Собственные месторождения германия формируют: германит $\text{Cu}(\text{Fe}_{0,5}(\text{Fe}_{0,5}\text{Ge}_{0,5}))$ ($\text{Ge}_{2,7}$ – 10,6 %), реньерит $\text{Cu}(\text{FeGeS})_4$ ($\text{Ge}_{5,9}$ – 8,7 %). Извлекают как побочный продукт очистки *Zn* и *Cu* из бурого угля. Во многих минералах значительная часть германия приходится на легкорастворимую форму (50–100 %).

Геохимические барьеры германия: сорбционный, кислородный. Соединения германия слабо подвижные.

Поиск германия проводится сильно телескопированных месторождений, связанных с геофазами I–K. Благоприятные признаки – наличие сульфидов олова, руды *Sb*, *As*, *Ag*. Возможен поиск в золе углей, сланцев, битумов.

В организме человека содержится 0,44 мг (в крови) германия. Суточное потребление его с пищей – 0,4–1,5 мг. Период полувыведения составляет около 320 суток. Органическое соединение германия $[Ge(CH_2CH_2COOH)O_1 \cdot n]$ синтезировано в Японии проф. Асаи в качестве противоракового средства. Обладает также защитным свойством против радиоактивного облучения, понижает кровяное давление, вызывает обезболивающее действие. Растения-концентраторы: хвойные, хвощи, папоротники, женьшень, алоэ, чеснок, черная плесень, некоторые виды грибов и лишайников.

Используется в полупроводниках, сплавах, специальных стеклах для инфракрасной оптики.

МЫШЬЯК

Редкий, токсичный металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 21. В природе известен стабильный ^{75}As (100 %). Искусственные радионуклиды имеют короткий период полураспада. Радиус As^{3+} – 69, As^{5+} – 46, атомный – 125 пм. Основная линия в атомном спектре – 193,759 нм.

Кларк мышьяка в земной коре – $1,5 \cdot 10^{-4} \%$ ($1,8 \cdot 10^{-4}$), почве – $5 \cdot 10^{-4}$, золе растений – $3 \cdot 10^{-5} \%$, речных водах – 2 мкг/л.

Геохимия мышьяка более сходна с сурьмой и висмутом, чем с фосфором. Его свойства зависят от pH среды и термодинамических условий. В природе встречаются следующие валентности и заряды: As^{3+} , As^{3-} , As^{5+} , $[AsO_4]^{3-}$.

Известны минеральные виды арсенатов с Fe^{3+} , Cu , Pb , Zn , Co , Bi , U , Ca , Mg (около 60), многочисленны сульфоанионы (35). В гипергенной зоне ведущее место занимает As^{5+} , однако более устойчивы соединения As^{3+} . Формирование минеральных видов мышьяка в гипогенных условиях протекает в геофазах области пневматолитов и гидротермалитов в интервале температур 400–250 °С. Здесь характерна связь его с золотом, серебром шеелитом в арсенопиритах кислых пород и их дериватов в геофазах I–K с Ag , Sb , Pb , нередко с Br , Co , Ni с кислыми и более основными породами; в высоко расположенных магматических очагах (тип вулканический). Известны его скопления в термах и эманациях молодых вулканических районов с наличием аурипигмента, реальгара. Мышьяк сорбируется глинами и илами, арсенаты мигрируют в океан.

Известно 368 минералов мышьяка (преобладают гипергенные), из них 213 гидроарсенаты и арсенаты. Основное количество их представлено в силикатной форме.

Геохимический барьер мышьяка восстановительный сероводородный. Элемент слабо подвижный в любой обстановке.

В организме человека содержится 18 мг мышьяка, в цельной крови – 2,5 мг. Суточное потребление с пищей – 1 мг. Период полувыведения – 1–40 суток. Токсичная доза его 5–50 мг, летальная – 50–340 мг. Соединения *As* (III) более токсичны, чем *As* (V). Мышьяк участвует в окислительно-восстановительных реакциях, может заменять фосфор. Активирует *SH*-содержащие ферменты (метилтрансферазы) и угнетает их при интоксикации. Токсичность его снижается солями $FeSO_4$ и $CaCO_3$, фосфорными удобрениями.

Естественные источники мышьяка: морская рыба (особенно печень), устрицы, креветки (147 мг/кг), лангусты, коровье молоко. В морской воде содержится 2–5 мкг/л.

Заболевания, вызванные недостатком мышьяка: повышение содержания в организме *Cu* и *Mn*, нарушение функции хромосом и митохондрий, угнетение рождаемости и роста.

Заболевания, вызванные избытком мышьяка: депрессия, расстройство памяти, речи, слуха, зрения, обоняния, внимания; поражение кожи и ее придатков; рак гортани, глаз; белокровие; энтероколит; аномалии скелета и мочеполовой системы; замедление роста.

Растения-концентраторы: планктон, съедобные грибы. В растениях стимулирует фиксацию азота и рост ряда азотобактерий. Много его содержится в растительных маслах.

Используется в сплавах, полупроводниках, пестицидах, стеклах. Входит в состав боевых отравляющих веществ (иприт, люизит).

СЕЛЕН

Неметалл серого цвета. Красный цвет имеет аморфный селен. Меняется электропроводность в зависимости от освещения. На воздухе горит, не взаимодействует с водой, растворяется в концентрированных щелочах и кислотах. Сходен с *S* и *Te* и относится к элементам сульфурофильной группы.

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 26. Наиболее распространен стабильный ^{80}Se (49,8 %). Искусственные радионуклиды имеют короткий период полураспада (дни, месяцы) с образованием β и γ частиц. Радиус Se^{4+} – 69, Se^{2-} – 191, атомный – 215,2 пм. Основная линия в атомном спектре – 1032,726 нм.

Кларк селена в земной коре $5 \cdot 10^{-6}$ % ($8 \cdot 10^{-6}$). Он понижается в магматических породах от $0,13 \cdot 10^{-6}$ в базальтах до $0,04 \cdot 10^{-6}$ % в гра-

нитах. Кларк его почве – $1 \cdot 10^{-6}$ % , золе растений $3 \cdot 10^{-5}$ % , речных водах – 0,02 мкг/л.

Селен по своим свойствам примыкает к сере, поэтому широко распространен в сульфидных рудах меди и никеля. Типичны селениды (соединения H_2S) и селенаты $[SeO_4]^{2-}$. Наиболее устойчивы кислородные соединения четырехвалентного селена (SeO_2 – сильный окислитель), поэтому в зоне гипергенеза селенаты обычно превращаются в селениты и рассеиваются. Наиболее характерны селениды следующих металлов: Cu^+ , Cu^{2+} , Ag^+ , Hg^{2+} , реже Pb^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Bi^{3+} . Генетически они связаны с геофазами охлаждения термального процесса. Селен накапливается при вулканогенной эксгальтации.

Собственно селеновая минерализация наблюдается в небольших месторождениях, руды которых приурочены к кальцитовым, баритовым, гематитовым жилам. Наиболее освоенным видом сырья являются медные месторождения. Содержание селена в рудах медно-цинково-колчеданных и серно-колчеданных месторождений самые высокие среди сульфидных месторождений. Селен представлен самородным, ферроселитом, клаусталитом и другими селенидами, а также селеносодержащим пиритом. Им обогащены многие типы экзогенных месторождений, связанные с базальтовой и андезитовой магмой.

В экзогенных условиях селенит-ион легко восстанавливается до элементарного селена, который сорбируется гидроксидами железа, поэтому основная его масса не мигрирует далеко и накапливается на месте разрушения сульфидных минералов.

Известно более 40 собственных минералов селена, в том числе один самородный, большинство селениды, 12 оксидов и других соединений (все 12 из зоны окисления).

Геохимические барьеры селена: восстановительные сероводородный и глеевый. Элемент подвижный и слабо подвижный в окислительной обстановке.

В организме человека содержится 14 мг селена, достигая максимума в 18–20 лет и снижаясь к 60–70 годам. Концентрируется в сетчатке глаз. Суточное потребление с пищей – 0,15–0,2 мг. Период полувыведения для разных органов от 11 до 100 суток. Выполняет роль кофактора одного из ферментов, который препятствует повреждению клеток свободными радикалами (побочными продуктами клеточного метаболизма), поэтому вместе с витамином Е выступает как антиоксидант, замедляя старение. Выводит тяжелые металлы из организма (Cd , Hg , As , Pb , Ag , радионуклиды). Замедляет течение рака, укрепляет иммунитет. Углеводы затрудняют усвоение селена. Источники се-

лена в пищевых продуктах: рис и другие крупы, морепродукты, черный хлеб, орехи (фисташки), чеснок, клевер, астрагал.

Заболевания, вызванные недостатком селена: известно более 20 заболеваний, вызванных недостатком (болезнь Кашина-Бека, остеопороз с деформацией суставов и позвоночника, малый рост, гиперлордоз поясничного отдела позвоночника, брахидактилия, дефицит кальция, болезнь Кешана, увеличение размеров сердца с очаговыми некрозами, поражение скелетных мышц, кровоизлияния в кожу, дистрофия и очаговые некрозы различных органов с нарушением их функций, вторичный дефицит цинка). Возникают при низком поступлении селена, при хронической интоксикации тяжелыми металлами, при тяжелых заболеваниях печени. Повышается риск инфаркта миокарда и рака. Содержание оптимизируется при поступлении селенметионина по 50–100 мкг в сутки, витамина Е, ликвидации дефицита цинка.

Заболевания, вызванные избытком селена: потеря волос и разрушение ногтей. Токсичная доза его составляет 5 мг и проявляется при замене серы в аминокислотах.

Растения-концентраторы: кукуруза, дрожжи, чеснок, лук, грибы (мухоморы, шампиньоны, боровики), помидоры, капуста брокколи. Астрагал является индикатором концентрации его в почвах или породах. В кислых почвах *Se* с трудом усваивается корневой системой.

Используется в электронике и фотокопирующих устройствах, солнечных батареях, полупроводниках.

БРОМ

Жидкость с резким запахом. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 28. Наиболее распространены стабильные ^{79}Br (50,69 %) и ^{81}Br (49,31%). Искусственные радионуклиды имеют короткий период полураспада. Радиус Br^- – 196, ковалентный – 114,2 пм. Основная линия в атомном спектре – 827,244 нм.

Кларк брома в земной коре составляет $0,37 \cdot 10^{-4} \%$ ($2,4 \cdot 10^{-4}$), почве – $5 \cdot 10^{-4}$, золе растений – $1,50 \cdot 10^{-2} \%$, речных водах – 20 мкг/л.

По свойствам бром ближе примыкает к хлору, но уступает ему по своей реакционной способности. Бромная кислота сильнее соляной. Бром мигрирует в виде растворимых соединений. В редких случаях образует твердые соединения бромистого серебра в железных шляпах серебряных месторождений. Кислородные соединения непрочны. Бромиды встречаются совместно с хлоридами и накапливаются в остаточных щелоках соляных растворов с калием и магнием. Как примесь имеется в поваренной соли.

Известно 4 редко встречающихся минерала брома: эмболит, бромаргирит, йод обромит, бромирит. Как примесь имеется в природных рассолах, соляных озерах, морской воде. Основные его соединения известны с *S*, *Se*, *Te*, *P*, *As*, *Sb*.

Геохимические барьеры брома: органогенный, испарительный. Элемент подвижен в любой геохимической обстановке.

В организме человека содержится 200 мг брома. Суточное его потребление с пищей – 6,5–7,5 мг. Период полувыведения до 8–18 суток. Концентрируется в щитовидной железе. Накопление брома увеличивается при дефиците хлора. Он является составной частью желудочного сока. Оптимальная доза успокаивает центральную нервную систему и восполняется морской водой при купании.

Заболевания, вызванные избытком брома: ринит, бронхит, энтерит, конъюнктивит, неврологический синдром, сонливость, атаксия, снижение функций органов чувств, бред с галюцинацией, раздражения (высыпания, усиление секреции железистого аппарата) слизистых оболочек и кожи. Токсичная доза брома 3 г, летальная – 35 г.

Растения-концентраторы брома: наземные растения (15 мг/кг) – редька, огурцы, фасоль, клевер, грибы; морские растения (740 мг/кг). В листьях растений его содержание больше, чем в корнях.

Используется в качестве добавок к топливу, пестицидам, ингибиторам горения, в фотографии.

КРИПТОН

Очень редкий, бесцветный газ без запаха. В атмосфере содержание криптона – $1,14 \cdot 10^{-4}$ об. %. Реагирует с фтором, но KrF_2 не устойчив с водой.

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 27. Радионуклиды живут от нескольких минут до 10 лет (^{85}Kr). Искусственный радионуклид ^{85}Kr распадается за 10,72 лет. Радиус Kr^+ 169, ковалентный – 189 пм. Основная линия в атомном спектре: 877,675 нм.

Кларк Kr в земной коре – $1 \cdot 10^{-9}\%$ ($4,2 \cdot 10^{-9}$ см³/г), гидросфере – $6,7 \cdot 10^{-12}\%$. Основное соединение – KrF_2 .

Получают из атмосферы. Мировое производство 8 т/год.

Вводится в организм через легкие. Концентрируется в легких и жировой ткани, костном мозге. В организме человека содержится около 383 кБк криптона.

Используется криптон в электровакуумной и световой технике, ^{85}Kr – в качестве индикатора износа целости деталей, как световой

эталон длины (1 м – длина, равная 1650763,73 длины волны оранжево-красной линии атомного спектра ^{86}Kr).

РУБИДИЙ

Очень мягкий металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров 30. Распространен в природе ^{85}Rb (72,17 %) и радионуклид ^{87}Rb (27,83 %). Искусственных короткоживущих радионуклидов 20. Радиус Rb^+ – 149, атомный – 247,5 пм. Основная линия в атомном спектре – 780,027 (АА), 424,440 нм.

Кларк рубидия в земной коре $9 \cdot 10^{-4}\%$ ($1,1 \cdot 10^{-2}$), почве $6 \cdot 10^{-3}$, золе растений $1,5 \cdot 10^{-2}\%$, речных водах – 1 мкг/л.

Рубидий изоморфно замещает калий во всех калиевых минералах. Элемент кислых магм. В пегматитах и пневматолитах он накапливается вместе с калием в слюдах и полевых шпатах. В зоне гипергенеза рубидий частично сорбируется почвами, частично выносится речными водами и накапливается в океане, соляных осадках, селитре.

Собственных минералов рубидий не образует. Концентрируется в микроклине, лепидолите, мусковите, биотите. Характерен изоморфизм с калием. Геохимический барьер рубидия – сорбционный. Хорошо мигрирует в кислых водах окислительной и восстановительно-глеевой обстановок.

В организме человека содержится 320 (680) мг рубидия. Суточное потребление его с пищей – 2,2 мг. Период полувыведения – 95 суток. Он накапливается в мышцах, сердце, эритроцитах. Рубидия в живых организмах в 100 раз выше, чем в морской воде. Токсичная доза не установлена, нейтрализуется калием.

Концентрируется в водорослях и в растениях над месторождениями редкометалльных пегматитов, танталоносных апогранитов.

Используется в производстве фотоэлементов, медицине, катализе, научных исследований, в службе точного времени.

СТРОНЦИЙ

Серебристо-белый, мягкий металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 23. Распространены в природе четыре стабильных изотопа: ^{88}Sr (82,58 %), ^{86}Sr (9,86 %), ^{87}Sr (7,0 %), ^{84}Sr (0,56 %). Наибольший период полураспада у радионуклида ^{90}Sr ($T_{1/2} = 29$ лет). Распад идет с образованием γ и β частиц. Радиус Sr^{2+} – 127, атомный – 215,1 (α-форма) пм. Основная линия в атомном спектре: 460,733 нм.

Кларк стронция в земной коре составляет $3,7 \cdot 10^{-2} \%$ ($3,7 \cdot 10^{-2}$), почве – $3 \cdot 10^{-2}$, золе растений – $3 \cdot 10^{-2} \%$, речных водах – 50 мкг/л.

Стронций относится к распространенным химическим элементам. Более высокое накопление его характерно для условий гипергенных и холодных жильных процессов. Концентрируется при кристаллизации оливина и пироксена. В магматических и термальных геофазах рассеивается, за исключением некоторых агпаитовых жил. В них встречаются богатые стронцием карбонаты, фосфаты, силикаты, сульфаты. В карбонатах стронций собирается под влиянием биогенных процессов. В щелочных пегматитовых породах стронций входит в состав ряда акцессорных минералов, в магматических – в рассеянном состоянии благодаря изоморфизму с кальцием. С органическими соединениями образует комплексы.

Известно около 30 минералов стронция и лишь два из них распространены в природе: целестин $SrSO_4$, стронцианит ($SrCO_3$). Геохимические барьеры: сульфатный, карбонатный, щелочной, испарительный сорбционный, термодинамический. Элемент подвижный в любой геохимической обстановке

В организме человека содержится 0,32 г стронция. Суточное потребление его с пищей – 1,9 мг. Период полувыведения – 980 суток. Избыток в организме приводит к замещению *Ca* на *Sr*, снижению поступления фосфора. Стронций концентрируется в костях.

Заболевания, вызванные избытком элемента: стронциевый рахит (уровская болезнь). Токсичная доза не установлена.

Концентраторы стронция – радиолярии.

Используется в специальных стеклах для теле- и видеоаппаратуры, в зарядах осветительных ракет для получения красного огня.

ИТТРИЙ

Мягкий металл. Легко горит. Реагирует с водой с выделением водорода. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 32. В природе известен изотоп ^{89}Y (100 %). Радионуклиды распадаются с образованием α и β частиц в течение нескольких десятков дней и часов. Радиус Y^{3+} – 106, атомный – 181 пм. Основная линия в атомном спектре 371,030 нм.

Кларк иттрия в земной коре составляет $3 \cdot 10^{-3} \%$, ($3,2 \cdot 10^{-3}$), почве – $2 \cdot 10^{-3}$, золе растений – $1 \cdot 10^{-4} \%$, речных водах – 0,7 мкг/л.

Иттрий имеет химическое сходство и совместное нахождение в природе с лантаном и лантаноидами. Однако иттрия в породах больше, лантаноидов. Присутствует во флюорите, гранатах, цирконе. Ит-

трий в ряде решеток с ниобием, танталом и титаном замещает кальций и его вхождение с одной избыточной положительной валентностью требует для компенсации вхождения одного одновалентного иона (фтора или OH).

Известно около 40 минералов соединений иттриевой группы (2 галоидных, 1 карбонат, 12 силикатов, 20 титанониобитов и танталатов, 4 фосфата и арсената). Основным широко распространенным минералом является аналог монацита – ксенотим (YPO_4). Генетически почти все минералы иттрия и иттриевых лантаноидов связаны с редкометальными щелочными гранитными пегматитами, из которых добывается иттрий. Ксенотим может накапливаться вместе с монацитом.

В мышечной ткани человека содержится значительно меньше иттрия ($0,02 \cdot 10^{-4} \%$), чем в костной ($0,07 \cdot 10^{-4} \%$), в крови – около $0,0047$ мг/л. Суточное потребление с пищей – $0,016$ мг.

Концентратором иттрия предположительно является лещина.

Используется в красных люминофорах для экранов цветного телевидения, в рентгеновских фильтрах, сверхпроводниках, сплавах.

ЦИРКОНИЙ

Твердый и самый распространенный металл из группы редких элементов. Цирконий устойчив к коррозии, но горит на воздухе. Не реагирует с кислотами (кроме HF) и щелочами. Типичный оксифильный элемент. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 25. В природе известно четыре стабильных изотопа, из них наиболее распространены ^{90}Zr (51,45 %). Радионуклид ^{96}Zr (2,8 %) имеет период полураспада $3,6 \cdot 10^{17}$ лет. Радиус Zr^{2+} – 109, Zr^{4+} – 87, атомный – 160 пм. Основная линия в атомном спектре – 339,198 нм.

Кларк циркония в земной коре равен $1,9 \cdot 10^{-2} \%$ ($1,6 \cdot 10^{-2}$), почве – $3 \cdot 10^{-2}$, золе растений – $3 \cdot 10^{-4} \%$, речных водах – 2,6 мкг/л.

Цирконий имеет геохимическое сходство с Si и Zn , изоморфизм с Si^{4+} . Типичный четырехвалентный амфотерный элемент, который дает ион Zr^{4+} в кислой среде и $[ZrO_4]^{4-}$ щелочной. Формирование начинается в начальной стадии протокристаллизации гранитной магмы. Здесь он выделяется в виде кристалликов циркона вместе с магнетитом, апатитом, роговой обманкой и биотитом. Поэтому в типичных сиенитах обычно циркон концентрируется. Пегматиты таких сиенитов часто превращаются в цирконовые пегматиты. Обогащение цирконом происходит и во вторичных пегматитах гранитной магмы, десилицированных при контактном и частично магматическом действии известковых пород на больших глубинах. Часть циркона остается в

пегматитовом расплаве, давая начало малакону, циртолиту, альвиту – комплексам с ThO_2 , CeO_2 , UO_2 , H_2O , P_2O_5 . В щелочных породах нефелин-сиенитового ряда наблюдается максимальное накопление циркония в виде разнообразных соединений цирконо-силикатов. В ходе гипергенных процессов циркон накапливается в песках с монацитом и магнетитом (иногда до 50–60 % шлиха).

Известен 61 минеральный вид циркония, из них 49 собственные минералы: силикатов – 45, оксидов – 10, карбонат – 1, фосфат – 1, сульфат – 1. Минералы в основном связаны с породами щелочного ряда. Преобладает циркон ($ZrSiO_4$, 67 % ZrO_2), баделлеит (ZrO_2). Месторождения циркония: прибрежные экзогенные (95 %), эндогенные щелочные граниты, сиениты, карбонатиты. Все месторождения комплексные с Hf , Ti , Fe , Y , P , Sn , Cr .

Геохимические барьеры циркония: сорбционный, кислородный. Элемент слабо подвижный в любой обстановке. Хорошо мигрирует в кислых и щелочных водах.

В организме человека содержится 1680 мг циркония. Суточное потребление с пищей – 4,2 мг. Период полувыведения – 1320 суток. Радионуклид концентрируется в скелете.

Используется в сплавах, цветной глазури, керамике и абразивах, конструкциях ядерных реакторов и тугоплавких тиглей.

НИОБИЙ

Токсичный, мягкий, редкий металл. Число изотопов ниобия с учетом ядерных изомеров – 31. Известен один стабильный изотоп ^{93}Nb (100 %), период полураспада искусственного радионуклида ^{94}Nb равен $2,4 \cdot 10^4$ лет с β и γ типом распада. Радиус Nb^{4+} – 74, Nb^{5+} – 69, атомный – 142, 9 пм. Основная линия в атомном спектре – 405,894 нм.

Кларк ниобия в земной коре $20 \cdot 10^{-4}$ % ($2,1 \cdot 10^{-3}$ %), наибольшее содержание в щелочных породах ($12,2 \cdot 10^{-3}$ %), почве – 3–300 мг/кг, золе растений – $5 \cdot 10^{-5}$ %, речных водах – 0,01 мкг/л.

Титан эндокриптно поглощает ниобий, поэтому его концентрация связана с титановыми минералами, в минералах богатых ниобием содержится олово и вольфрам. Слабая кислота ниобия легко образует двойные и тройные комплексы с другими сложными анионами: $[SiO_4]$, $[TiO_4]$, $[ZrO_4]$, $[SnO_4]$. Известны ионы ниобия Nb^{5+} , $[NbO_3]^-$.

Ниобий находится в магматических расплавах и в высокотемпературных водных растворах, не уходит в пневматолит и в рудные жилы вместе с элементами типа купро. В высокотемпературных гранитных пегматитах он присутствует совместно с Fe , Mn , Ti , Th , TR . Вто-

рой этап выделения ниобия связан с сильной пневматолитической переработкой пегматитов и образованием второй генерации черных минералов с оловом, литием и цирконием. В щелочных пегматитах нефелин-сиенитовых магм происходит накопление ниобия. При контакте нефелиновых магм с известняками образуются минералы перовскитовой группы, богатых ниобием. Наиболее устойчив $Nb(V)$. Склонен к комплексообразованию с органическими веществами.

Известно более 73 минералов ниобия, из них 52 оксидов, 1 гидроксид, 21 силикат и силикофосфат. Ассоциирует в минералах с Ti , Ta , Fe , Mn , Zr . С танталом наблюдается непрерывный изоморфизм, что объясняется их высокими потенциалами ионизации. Они близки по ионному радиусу и имеют общую шестерную координацию с Ti и Sn . Концентрируется в щелочных породах. В качестве важнейших промышленных источников бывают гидротермально-метасоматические образования. Ниобиевое сырье – лопаритовые руды агапайтовых нефелиновых сиенитов. Практическое значение имеют пирохлор – $NaCaNb_2O_6F$ (Nb_2O_5 – 40,0–71,5 %), колумбит – $FeNb_2O_6F$ (Nb_2O_5 – 40,0–76,6 %) и лопарит – $NaCe(Ti, Nb)_2O_6$ (Nb_2O_5 – 8,04–12,8 %).

Геохимические барьеры ниобия: кислородный, механический, сорбционный. Частично мигрирует в щелочной среде.

В организме человека содержится 0,02–0,6 мг ниобия. Суточное потребление с пищей – 0,00062 мг. Период полувыведения 6–200 суток. Всасывается слабо из-за низкой растворимости. Накапливается в крови, мышцах, скелете, печени, почках. Угнетает деятельность ферментов при содержании 830 мг/кг $NbCl_5$. Токсичная доза – 2 г.

Используется как легирующая добавка к стали.

МОЛИБДЕН

Мягкий, токсичный металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 23. Известно 7 стабильных изотопов, самый распространенный из которых ^{98}Mo (24,13 %). Радиоактивные изотопы короткоживущие, скорость их распада измеряется часами, тип распада – β и γ . Радиус Mo^{2+} – 92, Mo^{6+} – 62, атомный 136,2 пм. Основная линия в атомном спектре – 202,030 нм. Кларк молибдена в земной коре – $1,5 \cdot 10^{-4}$ % ($1,2 \cdot 10^{-4}$), почве – $1,2-2 \cdot 10^{-4}$ % (0,1–40 мкг/кг), золе растений – $2 \cdot 10^{-3}$ %, речных водах – 1 мкг/л.

Молибден характеризуется активной поляризацией, пониженной твердостью соединений, образованием устойчивых соединений с серой, летучестью галогенных соединений, изменчивой валентностью и способностью к легкому образованию комплексов. Рений, как энер-

гетически более сильный ион, чем молибден, вовлекается в его решетку и накапливается в молибдените. При недостатке свободного кислорода в гипогенных условиях валентность молибдена в соединениях равна 4, в гипергенных процессах преобладает валентность 6. Ионы типа $[MoO_4]^{2-}$ подвижны. Кислая реакция приводит к выпадению молибдена, щелочная – к его миграции.

С четырехвалентным ионом молибдена связано основное образование минералов молибденита. Сильнокислая среда приводит к растворению этих соединений, щелочная – к осаждению.

Молибден не задерживается в продуктах первичной кристаллизации магмы. Он уходит в последующие фазы и разделяется между остаточными магмами и дистиллятами. Если упругость пара данного элемента большая, молибден выделяется в дистиллят. При высоком внешнем давлении элемент сохраняется в пегматоидном остатке.

По свойствам к молибдену близки *W*, *Re*, *Mn*. Сильный комплексообразователь, изоморфен с вольфрамом, большое сродство с серой. Легкоподвижный ион Mo^{6+} активно осаждается органикой, $CaCO_3$, металлами Mn^{2+} , Cu^{2+} , гидроксидами железа, алюминия, марганца. Промышленные концентрации молибдена связаны с кислыми магмами, из которых он выносится постмагматическими гидротермальными растворами. Концентрация молибдена повышается в магматических породах от более древних к молодым по мере увеличения в них кремнезема и щелочей.

Известно 24 минеральных вида молибдена, из них 13 молибденатов, 5 сульфидов. Преобладает молибденит – MoS_2 (*Mo* 60 %), из которого получают металл, а также как побочный продукт производства меди. Второстепенную роль играет молибдошеелит $Ca(Mo, W)O_4$ (*Mo* 0,5–15 %), редкие минералы, распространенные в зоне окисления, – повеллит $CaMoO_4(48)$, ферримолибденит $Fe_2O_3 \cdot 2MoO_3 \cdot 7H_2O$ (60) и вульфенит $PbMoO_4$ (*Mo* 46 %).

Геохимические барьеры молибдена: испарительный, карбонатный, сорбционный, сероводородно-глеевый. Подвижен в окислительной обстановке.

В организме человека содержится 9,5 мг молибдена, в крови – 1,5 мкг/100 мл. Суточное потребление с пищей – 300 мкг. Период полувыведения – 28–30 суток. Элемент концентрируется в печени, почках, надпочечной железе. Входит в состав ферментов, катализирующих восстановление нитратов, фиксирующих молекулярный азот, клубеньковые бактерии. Естественные источники: печень, почки, фасоль, горох, листовые овощи. Токсичная доза 5 мг.

Заболевания, вызванные избытком молибдена: нарушение P – Ca обмена, деформация костей, подагра (образуется избыток мочевой кислоты при распаде пуринов), мышечная атония, артериальная гипотония, угнетение функции костного мозга. Метионин, цистеин, тиосульфат могут связывать молибден.

Растения-концентраторы молибдена: бобовые (350 мг/кг сырой массы). Концентрируется в корнях больше, чем в наземной массе. Критический недостаток в почвах составляет менее 1,5 мг/кг, избыток в растениях – более 4 мг/кг. Антагонист молибдена – медь.

Используется в сплавах, электродах, катализаторах.

ТЕХНЕЦИЙ

Радиоактивный, сильно токсичный неметалл. Образуется при распаде ядерного топлива. За геологическую историю Земли элемент распался, поэтому его называют «вымершим динозавром».

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 25. Период полураспада радионуклидов от часов до $4,2 \cdot 10^6$ лет (^{98}Tc) с β и γ типом распада, распространен ^{95}Tc – $2,13 \cdot 10^5$ лет. Радиус Tc^{2+} – 95, Tc^{4+} – 72, Tc^{7+} – 56, атомный – 135,8 пм. Основная линия в атомном спектре – 429,706 нм. Кларк в земной коре – нет ($1 \cdot 10^{-7}$ %).

Используется в исследовательских и медицинских целях.

РУТЕНИЙ

Блестящий, серебристый металл из группы платиноидов. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 20. В природе распространено семь стабильных изотопов, из которых наиболее распространен ^{102}Ru (31,6 %). Искусственные радионуклиды имеют короткий период полураспада с β и γ типом распада. Радиус Ru^{3+} – 77, Ru^{4+} – 65, Ru^{8+} 54, атомный – 134 пм. Основная линия в атомном спектре – 372,803 нм.

Кларк рутения в земной коре – $1 \cdot 10^{-7}$ % ($4 \cdot 10^{-7}$), золе растений – $n \cdot 10^{-9}$ %.

Соли рутения легко переходят из одного состояния в другое. В конечном виде дают устойчивые минералы в виде самородных сплавов и немногих соединений с серой, мышьяком и сурьмой. Эти соединения построены по принципу атомных металлических решеток. Основная часть элемента находится в самородном состоянии с платиной и осмистым иридием, частично в рассеянном состоянии. Он рассеян в железном расплаве, приурочен к ультраосновным и основным породам литосферы. В гипергенных условиях элемент устойчив и в про-

цессе седиментации рассеивается, частично выносится в океан. Наиболее устойчивы соединения четырехвалентного рутения.

Поиски проводятся в песках и шлихах районов ультраосновных пород и их дериватов. В шлихах известна связь с хромитом, оливином, красным пиропом, золотом, магнетитом.

Известно 20 минералов рутения. Встречается в свободном состоянии. Концентрируется в ультрабазитах (0,15 г/т). Получают рутений из отходов при очистке никеля. Геохимический барьер – механический. Перемещается механическим путем.

В плазме крови содержится 2 % рутения, в щитовидной железе – 1,45, легких – 1,25, почках – 1,21 %. Оксид RuO_4 высокотоксичный. Равномерно распределяется по организму.

В растениях его больше содержится в корнях, чем в наземной массе (5 мг/т при варьировании 0,5–200 мг/т).

Используется для придания твердости *Pt*, *Pd* и в качестве катализатора. Получают из отходов при очистке никеля.

РОДИЙ

Благородный, твердый, нетоксичный металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 34. В природе распространен стабильный ^{103}Rh (100 %). Искусственные радионуклиды имеют короткий период полураспада с β и γ типом распада. Радиус Rh^{2+} – 86, Rh^{3+} – 75, Rh^{4+} – 67, атомный – 134,5 пм. Основная линия в атомном спектре равна 369,236 нм.

Кларк родия в земной коре равен $2 \cdot 10^{-8}$ % ($5 \cdot 10^{-7}$), золе растений – $n \cdot 10^{-9}$ %. Соли родия мало устойчивы, легко переходят из одного состояния в другое. В конечном виде дают устойчивые минералы в виде самородных сплавов и немногих соединений с серой, мышьяком и сурьмой. Эти соединения построены по принципу атомных металлических решеток. Основная часть элемента находится в самородном состоянии с платиной и осмистым иридием, частично в рассеянном состоянии. Он рассеян в железном расплаве, приурочен к ультраосновным и основным породам литосферы. В гипергенных условиях элемент устойчив и в процессе седиментации рассеивается, частично выносится в океан. Наиболее устойчивы соединения трехвалентного родия.

Известно 20 минералов, в которых родий встречается как акцессорная примесь. Основными источниками являются некоторые медные и никелевые руды (до 0,1 % *Rh*).

Геохимический барьер механический. Характерно самородное состояние. Миграция механическая. Родий и его соединения относительно нетоксичны.

ПАЛЛАДИЙ

Благородный, твердый, нетоксичный металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров 25. В природе распространены шесть стабильных изотопов, из них наиболее распространены ^{106}Pd (27,33 %), ^{108}Pd (26,46), ^{105}Pd (22,33 %). Искусственные радионуклиды имеют короткий период полураспада с β и γ типом распада. Радиус Pd^{2+} – 86, Pd^{4+} – 64, атомный – 137,6 пм. Основная линия в атомном спектре – 340,458 нм. Кларк палладия в коре составляет $6 \cdot 10^{-8}\%$ ($9 \cdot 10^{-7}$), почве 0,5–30 мг/т, золе – $n \cdot 10^{-9}\%$ (2–285 мг/т), водах – 0,02–0,06 нг/л.

Соли палладия мало устойчивы, легко переходят из одного состояния в другое. В конечном виде дают устойчивые минералы в виде самородных сплавов и немногих соединений с серой, мышьяком и сурьмой. Они построены по принципу атомных металлических решеток. Основная часть элемента находится в самородном состоянии с платиной и осмистым иридием, частично в рассеянном состоянии. Он рассеян в железном расплаве, приурочен к ультраосновным и основным породам литосферы. В гипергенных условиях элемент устойчив, в процессе седиментации рассеивается, частично выносится в океан. Палладий образует стабильные ковалентные комплексы с гуминовыми кислотами, *Se*, *Te*, *As*, *Sb*, *Bi*. Наиболее устойчивы соединения двухвалентного палладия.

Известно 48 минералов, в которых встречается палладий как акцессорная примесь. Характерно самородное состояние.

Геохимический барьер палладия механический. Мигрирует механическим путем. Встречается в пирротиновых высокотемпературных рудах, в нортитах и пироксенах. Извлекается как побочный продукт при очистке меди и цинка. Используется главным образом как катализатор. Некоторые соединения токсичны.

СЕРЕБРО

Мягкий металл с серебристым цветом. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 46. В природе распространены стабильные изотопы ^{107}Ag (51,84), ^{109}Ag (48,16 %). Искусственных радионуклидов два: ^{110}Ag ($T_{1/2} = 249,8$ д.), ^{111}Ag ($T_{1/2} = 7,47$ д.). Распад идет с выделением β

и γ частиц. Радиус Ag^+ – 113, Ag^{2+} – 89, атомный – 144,4 пм. Основная линия в атомном спектре – 328,068 нм.

Кларк серебра в земной коре равен $0,07 \cdot 10^{-4} \%$ ($7,3 \cdot 10^{-6}$), почве – $1 \cdot 10^{-5}$, золе растений – $1 \cdot 10^{-4} \%$, речных водах – 0,3 мкг/л.

Серебро образует характерные ионы типа купро, с сильной поляризацией и валентностью в геохимии равной единице. По ряду свойств оно примыкает к палладию. Нерастворимые и комплексные соединения серебра по свойствам близкие к золоту и меди, а легко-растворимые соли – к натрию.

С сильной поляризацией связана слабая электролитическая диссоциация атомов серебра в водных растворах. Высокий атомный радиус серебра тождествен атомному радиусу золота, что обеспечивает широкий диапазон взаимных сплавов серебра и золота.

Тесная связь серебра отмечается с селеном, теллуром, сурьмой, мышьяком, в меньшей степени с висмутом, таллием и галлием, а также с металлами – свинцом, золотом. Характерны галоидные соединения элемента с хлором, бромом, йодом. Минералы серебра в гипогенных условиях формируются при средних и низких температурах, начиная с геофазы пневматолитов средних и кислых магм.

Серебро входит в решетку сульфидов и сульфосолей меди и в состав теллуридов в небольших количествах. Ионы Ag входят в решетку самородного золота, достигая в экстремуме почти 50 мас.%. Оно может содержать до 20 % примесей различных металлов – *Au, Cu, Fe, Bi, Sb, Hg*.

Серебро образует пленки, дендриты, округлые, волосовидные выделения. Встречаются самородки массой до 20 т. Важное значение имеют (в %): аргентит AgS (87,1), электрум *Au, Ag* (15–50), прустит Ag_3AsS_3 (65,5), пираргирит Ag_3SbS_3 (65,5), пилобазит $(Ag, Cu)_{16}Sb_2S_{11}$ (62,1–84,9).

В эндогенных условиях серебро имеет ювенильный и мантийный источник и связан щелочно-базальтоидным магматизмом. В этом случае повышенные концентрации серебра встречаются в сульфидных медно-никелевых месторождениях. Собственно серебряные и серебряно-полиметаллические месторождения гидротермального генезиса связаны с магмами среднего и кислого состава, в том числе с вулканическими комплексами.

В вулканических областях рудоносные растворы, отлагающие серебро, могли иметь различное происхождение: магматическое, метеорное и океаническое. В гидротермальных растворах серебро находится в виде подвижных тиосульфатных и хлоридных комплексов.

В экзогенных условиях, в зоне окисления сульфидных месторождений, серебро переходит в раствор в виде сульфата или тиосульфата и переохлаждается в самородной форме или в форме галоидов. В элювиальных, делювиальных и аллювиальных россыпях серебро накапливается в незначительных количествах.

Известно более 62 минералов серебра, из них многочисленны сульфосоли (30), сульфиды (18), галоиды (10). Геохимические барьеры: восстановительно-сероводородный. Мигрирует в виде комплексного иона в кислых и щелочных водах окислительной обстановки.

В организме человека содержится 790 мкг серебра. Суточное потребление с пищей – 70 мкг. Период полувыведения – 80–160 суток.

В организме человека ионы серебра в количестве 0,5–1 мг/л в течение полуминуты ослабляют вирус гриппа, в течение часа убивают возбудителя брюшного тифа, дифтерии, стрептококка и стафилококка. Ионы серебра проникают внутрь клетки бактерии, образуют нуклеаты и клетка отмирает. Они угнетают образование аминокислот опухолевой ткани. Аналогично действуют ионы ртути и меди. В ферментных системах серебро блокирует тиоловые группы.

Заболевания, вызванные избытком серебра: аргирия – процесс отложения кристалликов металлического серебра в коже и она темнеет, как при загаре. Патологии это заболевание не вызывает. Токсичная доза серебра в организме 60 мг, летальная – 1,3–6,2 г.

Растения-концентраторы: огурцы, капуста, грибы, зеленые водоросли, полынь, тысячелистник, шалфей.

Используется в фотографии, ювелирном деле, для получения зеркал, в электронике.

КАДМИЙ

Токсичный серебристый металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 31. В природе известны 8 стабильных изотопов, из них ведущие ^{114}Cd (28,72 %), ^{112}Cd (24,13 %) Периоды полураспадов радионуклидов – дни, часы. Радиус Cd^{2+} – 103, Cd^+ – 114, атомный – 148,9 пм. Основная линия в атомном спектре – 643,847 нм.

Кларк кадмия в земной коре составляет $0,11 \cdot 10^{-4}\%$ ($1,7 \cdot 10^{-5}$), почве – $5 \cdot 10^{-5}$, золе растений – $1 \cdot 10^{-6}\%$, речных водах – 0,1 мкг/л.

Валентность кадмия 2, его ион симметричен и устойчив типа палладия. Кадмий замещает цинк в решетках минералов. Известны минералы кадмия: гринокит в соединении с серой и отавит – с карбонатами. Ион сильной поляризации, поэтому активно сорбируется кол-

лоидами почв и в небольшом количестве выносятся в океан. Возможно эндокриптное удержание кадмия минералами кальция.

Известно 8 минералов кадмия. Основное их количество встречается среди сульфидов цинка. В гранитах может быть до 1,6 г/т кадмия, в осадочных породах – 0,21 г/т.

Геохимические барьеры кадмия: щелочной, восстановительный сероводородный. Мигрирует в окислительной и восстановительно-глеевой геохимических обстановках.

В организме человека содержится 50 мг кадмия. Суточное потребление с пищей – 0,15 мг. Период полувыведения – 6,3 года. Концентрируется в костях, печени и почках. Образует устойчивые потенциально токсичные комплексы с биосоединениями с сульфидной группой (RS). Токсикозу кадмия противостоит витамин D.

Заболевания, вызванные избытком кадмия: боли в мышцах, деформация скелета, нарушения функции легких, почек, разнообразные опухоли. Токсичная доза – 3–330 мг, летальная – 1,5–9 г.

Растения-концентраторы: рапс, салат, шпинат, шампиньоны. Кадмий преобладает в корнях. В растениях *Cd* и *Zn* являются синергистами и могут взаимозамещаться во многих ферментах. Кадмий подавляет всасывание цинка.

Используется в производстве сплавов, красок, аккумуляторных батарей.

ИНДИЙ

Редкий, рассеянный, токсичный металл. Устойчив к воздействию воды и воздуха. Растворяется в кислотах. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 59. В природе наиболее распространен радионуклид ^{115}In (95,7 %) с периодом полураспада $6 \cdot 10^{14}$ лет с β и γ типом распада и стабильный ^{113}In (4,3 %). Радиус In^{3+} – 92, In^{+} – 132, атомный – 162,6 пм. Основная линия в атомном спектре – 451,131 нм.

Кларк индия в земной коре $0,049 \cdot 10^{-4} \%$ ($1,5 \cdot 10^{-5}$), золе растений – 0,1 %, речных водах – 1,4 мкг/л.

В геохимии известны ионы трехвалентного индия сильной поляризации, поэтому температура плавления низкая и ряд соединений летучи. Встречается в цинковой обманке, халькопирите, сульфостаннатах свинца и сурьмы. Накапливается во вторичных соединениях алюминия и оксида железа. Элемент рассеян в разнообразных минералах. Улавливание ионов индия возможно путем полярного изоморфизма ионами меньшей активности и сходными по объему: цинком, марганцем, двухвалентными железом и медью. В гипергенных усло-

виях рассеивается больше, чем в гипогенных, изредка накапливаясь в галмее, ярозите, охрах. Изоморфно замещает цинк и свинец. Цинковая обманка и некоторые сульфосоли с *Pb*, *Zn*, *Sn*, *Sb* являются главнейшими источниками этого элемента. Максимум концентрации характерен для станнина (950 г/т) и сфалерита (365 г/т).

Геохимический барьер индия кислородный. Частично мигрирует в сильноокислой среде.

В организме человека содержится 11–20 мг индия. Период полувыведения 48 суток. Концентрируется в коже, мышцах и скелете.

Используется в предохранительных устройствах, полупроводниках (*InAs*, *InSb*).

ОЛОВО

Токсичный, мягкий, пластичный металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 37, среди них 10 стабильных. Радионуклиды в природе не встречаются и имеют короткий период полураспада. Радиус Sn^{2+} – 93, Sn^{4+} – 74, атомный – 140,5 пм. Основная линия в атомном спектре – 283,999 нм.

Кларк *Sn* в земной коре – $2,2 \cdot 10^{-4} \%$ ($2,3 \cdot 10^{-4}$), почве – $1 \cdot 10^{-3}$, золе растений – $5 \cdot 10^{-4} \%$, речных водах – 0,5 мкг/л.

Геохимическое сходство у олова с *Si*, изоморфизм с Si^{4+} , сродство к *O*₂, *S*, *F*, *Cl*. Соединения Sn^{2+} растворимы в воде, а *SnO*₂ и *SnO* практически нерастворимы.

Олово – элемент двойственной природы в геохимии, дает ионы типа купро с активной поляризацией и высокой прочностью связи электронных оболочек. По строению близок к свинцу, по пропуску оболочки в слое *N* (*f*) примыкает к цирконию и молибдену. Отсюда его связь с цирконием и молибденом в гранитных остаточных магмах, а также с сульфидными комплексами (цинком и свинцом). В природе оно четырехвалентное, металлические свойства выражены слабо.

Диоксид олова (*SnO*₂) выпадает в осадок при низких и средних значениях pH, легко образует золи и гели, подобно кремнезему. В сильно щелочной среде растворяется с образованием станнатов. Он относится к слабым основаниям. Ионы олова имеют вид: Sn^{4+} , $[SnO_3]^{2-}$, $[SnS_3]^{2-}$, $[SnO_4]^{4-}$, $[SnS_4]^{4-}$, $[SnS_6]^{8-}$. При низких значениях величины pH происходит разложение комплексов, при высоких – их растворение. Олово осаждается всеми кислотами.

Прото- и мезокристаллизация ведут к накоплению олова в остаточном расплаве, при охлаждении которого олово разделяется на две части – пегматитовую и пневматолитовую. Классические месторож-

дения олова связаны с пневматолитами – кварцевыми жилами и кварцевым грейзеном. Если кислотность понижена воздействием карбонатных пород, происходит задержка в осаждении оловянного камня. Контактные месторождения олова занимают промежуточное положение между кварцевыми пневматолитами и сульфидными жилами.

В гипергенных условиях олово образует россыпи при выветривании породы, что приводит к накоплению касситерита. Большой удельный вес, особый блеск и цвет служат типичными внешними признаками этого минерала.

Известно 77 минералов олова. Преобладают халькогениды, основной – касситерит (SnO_2). Геохимические барьеры олова: кислородный, механический. Элемент слабо подвижный в любой обстановке.

В организме человека содержится 14 мг олова. Суточное потребление с пищей – 0,2–3,5 мг и 38 мг при регулярном употреблении консервированной пищи. Период полувыведения – 56–400 суток. Частично поступает с пылью воздуха. Аккумулируется в печени, почках, скелете, мышцах. С возрастом накапливается в организме. Интоксикация организма начинается при содержании 250 мг/кг. Высокотоксичное и хорошо растворимое метилированное олово $(CH_3)_4Sn$, образуется в анаэробных загрязненных водах. Токсичная доза – 2 г.

Используется в сплавах, смазках, пайке, полимерах.

СУРЬМА

Токсичный, редкий металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 40. Известно два стабильных изотопа ^{121}Sb (57,3 %) и ^{123}Sb (42,7 %), период полураспада искусственных радионуклидов короткий с β и γ типом распада. Радиус Sb^{5+} – 62, Sb^{3+} – 89, атомный – 182 пм. Основная линия в атомном спектре – 231,147 нм.

Кларк сурьмы в земной коре равен $0,2 \cdot 10^{-4}$ % ($3 \cdot 10^{-5}$), почве – 0,9 мг/кг, речных водах – 1 мкг/л.

Сурьма обладает амфотерными свойствами с валентностями 3 и 5. Природные соединения принадлежат к различным группам: самородная сурьма и сплавы с серебром и мышьяком, сульфиды, оксиды, соли сурьмяной кислоты. Сурьма относится к низкотемпературным элементам и ее выпадение в рудных жилах происходит в геофазах с интервалом температур 200–50 °С гидротермальных процессов. В чисто сурьмяных первичных месторождениях образуется антимонит (Sb_2S_3). В эндогенных условиях транспортируется гидротермальными

растворами в комплексных соединениях в виде тиокислот типа Na_3SbS_3 и галогенидах, обладающих высокой летучестью.

В зоне гипергенеза сурьмяные руды окисляются, образуя кермезит, оксиды и охры. Большая часть сурьмы остается на месте, так как слабо мигрирует.

Известно 150 минералов. Преобладают гипогенные сульфиды. Основной минерал – антимонит Sb_2S_3 (71,4 %), бертьерит $FeSb_2S_4$ (57,0), гудмундит $FeSbS$ (57,8), тетраэдрит $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ (35,4 %). В окисленных рудах присутствуют валентинит Sb_2O_3 (83,5 %), сенармонтит Sb_2O_3 (83,5), сервантит Sb_2O_4 (79,2), кермезит Sb_2S_2O (75,0 %). В кислых породах сурьмы больше, чем в щелочных.

Геохимические барьеры сурьмы: кислородный, сорбционный. Элемент слабо подвижный в любой среде.

В организме человека содержится 8 мг сурьмы. Суточное потребление с пищей – 48 мкг (усваивается 1–15 %). Период полувыведения 40–730 суток. $Sb(V)$ менее токсичен, чем $Sb(III)$. Соединения $Sb(III)$ имеют большее сродство к эритроцитам, $Sb(V)$ – плазме крови. Накапливается в почках, скелете, крови, волосах, щитовидной железе. Блокирует тиоловые группы, оказывает мутагенное действие.

Заболевания, вызванные избытком сурьмы: пневмония, фиброз костного мозга, рак легких. При острой интоксикации – лихорадка, снижение давления, дерматит, экзема. Токсичная доза сурьмы 100 мг.

Загрязняют сурьмой предприятия черной и цветной металлургии, производство цемента, кирпича, сжигание угля.

Концентрирует сурьму капуста. В растениях ведет себя аналогично фосфору. Повышенные дозы фосфора препятствуют поступлению сурьмы в растения. В наземных растениях содержание Sb составляет 0,06 мг/кг сухой массы. Концентрируется в корнях и вегетативных органах.

Используется для придания прочности другим металлам, в аккумуляторных батареях, подшипниках.

ТЕЛЛУР

Рассеянный, токсический металл, на воздухе не горит, не взаимодействует с водой и HCl , растворим в HNO_3 . Число изотопов теллура с учетом ядерных изомеров – 39. Наиболее распространен в природе стабильный ^{128}Te (31,73 %) и два радионуклида – ^{130}Te (33,97 %) с периодом полураспада $2,4 \cdot 10^{21}$ лет и ^{123}Te (0,89 %) с периодом полураспада $1,3 \cdot 10^{13}$ лет. Радиус Te^{4+} – 97, Te^{6+} – 56, атомный – 143,2 пм. Основная линия в атомном спектре – 200,202 нм.

Кларк теллура в земной коре равен $0,5 \cdot 10^{-6} \%$ ($3 \cdot 10^{-7}$), гидросфере – $3 \cdot 10^{-7} \%$.

Теллур резко отличается от серы и селена. В соединениях типа H_2Te он дает чисто металлические соединения. Из кислородных соединений более устойчив TeO_2 . Теллур образует минералы с ограниченным числом халькофильных элементов большого атомного веса: золотом, ртутью, свинцом, висмутом, серебром, медью, никелем.

Выделение соединений теллура относится к геофазам I–K. Теллуриды тяжелых металлов выпадают после кристаллизации сульфосолей. Теллураты, теллуриты выпадают в геофазу L, как чисто вторичные образования. В природе распространена ассоциация золото – висмут – теллур.

Основное соединение теллурит (TeO_2) встречается редко. Получают при очистке меди из анодного шлама. Концентрируется в золоторудных месторождениях.

Теллур извлекают попутно при переработке сульфидных медных, отчасти свинцовых руд, а также золото-серебро-теллуридных руд. Более 2/3 мирового производства получают при переработке халькопирита. Среднее содержание теллура в халькопирите – 37 г/т, галените – 20, пирите – 23 г/т. Активные запасы *Te* заключены в медных (более половины мировых запасов и добычи), свинцово-цинковых, никелевых, а также некоторых месторождениях благородных металлов.

Золото-теллуридные месторождения приурочены в основном к вулканическим депрессиям или кальдерам и характеризуются минералогически сложным телескопированным оруденением. При окислении сульфидных минералов *Te* осаждается с гидроксидами железа.

Известно более 110 минералов теллура. Преобладают теллуриды и сульфотеллуриды. Основная часть их приходится на различные соединения с *Bi* и благородными металлами, а остальная – на *Cu*, *Fe*, *Ni*, *Co*, *Pb* и др. Геохимический барьер теллура – кислородный. Мигрирует частично в щелочной среде.

В организме человека содержится 600 мг теллура. Суточное потребление с пищей – 0,6 мкг. Период полувыведения – до 38 суток. Аккумулируется в печени, почках, легких, мышцах.

Заболевания, вызванные избытком теллура: выпадение волос. Токсичная доза – 0,25 мг, летальная – 2 г.

Концентратор теллура – чеснок.

Используется в сплавах, в электронике, для получения химических реактивов, катализаторов.

ЙОД

Тяжелый неметалл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 37. Наиболее распространен стабильный ^{127}I (100 %). Искусственные радионуклиды распадаются (часы, дни), исключая ^{129}I с периодом полураспада $1,6 \cdot 10^7$ лет с β и γ типом распада. Радиус r – 220, ковалентный – 133,3 пм. Основная линия в атомном спектре – 804,374 нм.

Кларк йода в земной коре составляет $0,14 \cdot 10^{-4}$ % ($4,7 \cdot 10^{-5}$), почве – $5 \cdot 10^{-4}$, золе растений – $5 \cdot 10^{-3}$ %, речных водах – 7 мкг/л.

Иод характеризуется высокой поляризуемостью, образует сильный анион по своим кислотным свойствам. Энергия решеток минералов с этими анионами наименьшая из всех известных в геохимии. Он образует комплексные анионы – йодаты $[\text{IO}_3]^-$, $[\text{IO}_4]^-$. Известны соединения йода с серебром, медью, ртутью, кальцием, натрием, магнием, свинцом, аммонием. Большая часть его находится в рассеянном состоянии. Элемент накапливается лишь в последних низкотемпературных фазах геохимических процессов и приурочен к остаточным соляным водам и озерам, в продуктах жизнедеятельности водных растений, в нефтяных водах и грязевых вулканах, в пустынных областях. Соли йода легко растворимы, за исключением его соединений с медью, серебром, свинцом.

Известно 9 минералов йода. Преобладают йодиды меди, серебра и брома. Источник йода – минерализованные подземные воды: йодобромные, йодные, нефтяных и газовых месторождений.

Геохимический барьер йода: органогенный. Элемент исключительно подвижный в любой геохимической обстановке.

В организме человека содержится 11–20 мг йода, в щитовидной железе – 16–40 ммоль/кг сухого вещества. Суточное потребление с пищей – 0,1–0,2 мг, потребность человека в йоде – 60–200 мкг в сутки. Поступает с поваренной солью, морской рыбой (сельдью, пикшей, треской), морскими водорослями, креветками, омарами, устрицами, молоком. Период полувыведения – до 100–120 суток.

Йод регулирует функцию щитовидной железы, сжигает жир. Для синтеза тироксина используется активный йод. Некоторые йодиды представляют собой сложный анион I^3^- , который занимает место активного йода и может вызывать зобогенный эффект с гипотиреозом.

Блокируют транспорт йода в щитовидную железу *Br*, *At*, тиоцианат, селеноцианид, нитраты (которые образуются из органических нитрилов), перхлорат, перренат, роданиды, резорцин, салицилаты, пертехненат; капуста, брюква, рапс, горчица белая и черная, клевер

белый, маниок, кукуруза, батат, просо, бобы, молодые побеги бамбука, турнепс. Антагонисты йода: *Hg, Sb, As, S, F*. йод улучшает рост, активизирует умственную активность, положительно влияет на функцию волос, кожи, зубов, ногтей. В Беларуси отмечается дефицит йода.

Заболевания, вызванные недостатком йода: эндемичный зоб (увеличение железы), гипотериоз (недостаточность функции железы).

Заболевания, вызванные избытком: тиреотоксикоз, триада Базедова, токсическая аденома щитовидной железы, аллергия. Токсичная доза йодидов – 2 мг, летальная – 35 г.

Растения-концентраторы: водоросли, морские губки.

Используется как дезинфицирующее и фармакологическое средство, в пищевых добавках, красителях, катализаторах, фотографии.

ЦЕЗИЙ

Редкий, мягкий, золотистого цвета металл. Число изотопов цезия с учетом ядерных изомеров – 40. В природе распространен ^{133}Cs (100 %). Искусственных радионуклидов три: ^{134}Cs ($T_{1/2} = 2,065$ лет), ^{135}Cs ($T_{1/2} = 3 \cdot 10^6$ лет), ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,17$ лет). Распад идет с выделением β и γ частиц. Радиус Cs^+ – 165, атомный – 264,4 пм. Основная линия в атомном спектре – 460,376 нм.

Кларк цезия в земной коре $3,0 \cdot 10^{-4}$ % ($4,3 \cdot 10^{-4}$), почве – $5 \cdot 10^{-4}$, золе растений – $n \cdot 10^{-4}$ %, речных водах – 0,02 мкг/л.

Цезий относится к легко ионизируемым элементам из-за низкого потенциала ионизации. Он участвует в создании центров кристаллизации черных металлов, имеет сильные щелочные свойства. Его соли хорошо растворимы и дисперсны. Поляризуемость ионов цезия ведет к образованию комплексных соединений меньшей растворимости.

Поиски цезия следует связывать с остаточными пегматитами гранитных магм, остаточными щелоками соляных растворов и летучими эманациями вулканов калиевых магм. Входит в решетки минералов лития и калия. Большой размер ионного радиуса ограничивает его доступ в решетку полевых шпатов. Основным источником цезия – редкоземельные пегматиты, но по запасам они уступают минеральным видам. По всем параметрам сходен с рубидием. Промышленное значение имеет поллуцит $\text{CsAlSi}_2\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (до 30 % Cs_2O). Содержание Cs_2O в минералах варьирует от 5 до 32 %. Силикаты в целом богаче цезием, чем борат (до 5 %) и фторборат (до 7 %).

Выявлено 8 минералов цезия: 5 силикатов, 1 борат, 1 фторборат, 1 оксид. Наивысшее содержание Cs (2,86 %) из несобственных

минералов зафиксировано в розовом берилле – воробьевите. Лепидолит и жильбертит содержат от 0,2 до 0,65 % Cs, рубидиевый лепидолит – до 0,95 %. В некоторых случаях более 0,1 % Cs имеют поздние микроклины (0,23-0,27 %) и розовый мусковит (0,137 %) из поллуцит-содержащих зон редкометалльных пегматитов, а также циннвальдит из грейзенов (0,208 %).

Геохимический барьер цезия сорбционный (глины, торф, гумус). В микроколичествах ($1 \cdot 10^{-3}$ %) сорбируется очень прочно и необменно. Все соли хорошо растворимы. В гумидных ландшафтах мигрирует активно, в аридных – слабоподвижный.

В организме человека содержится 1,5 мг цезия. Суточное потребление с пищей – 0,01 мг, распределяется равномерно. Период полувыведения 105 суток. Содержание в цветковых колеблется в пределах 3–89 мкг/кг сухого вещества. Растения-концентраторы: грибы – свинушка > польский гриб > горькуша (индикаторы загрязнения).

Используется как промотор в каталитических процессах, в производстве специальных стекол приборов радиационного контроля.

БАРИЙ

Токсичный, мягкий металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 35. Основной изотоп – ^{138}Ba (71,70%), всего семь стабильных изотопов. Период полураспада радионуклидов от 28,7 часов до 11 лет. Радиус Ba^{2+} – 143, атомный – 217,3 пм. Основная линия в атомном спектре – 455,403 нм.

Кларк бария в земной коре – $5 \cdot 10^{-2}$ % ($4,7 \cdot 10^{-2}$), почве – $5 \cdot 10^{-2}$ %, золе растений – $n \cdot 10^{-2}$ %, речных водах – 10 мкг/л.

Барий относится к распространенным элементам земной коры. Он образует прочные соединения с комплексными анионами со слабой растворимостью. В магматических и постмагматических месторождениях находится в рассеянном состоянии. Формирование бариевых полезных ископаемых (барита и витерита) приурочено к поздним гидротермальным процессам, баритовым жилам низких температур. В гипергенных условиях баритовые стяжения известны в морских бассейнах в сочетании с коллоидными марганцевыми рудами. В известняках карбонаты замещаются бариевыми соединениями.

Основные минералы бария – барит (BaSO_4) и витерит. Геохимические барьеры: сульфатный, карбонатный, термодинамический. Элемент слабо подвижный в любой геохимической обстановке.

В организме человека содержится 22 мг бария. Суточное потребление с пищей – 0,75 мг. Концентрируется в скелете – 20 мг,

меньше в пигментной и радужной оболочке глаз. В обмене веществ ведет себя аналогично *Ca* и *Sr*. Токсичная доза составляет 200 мг, летальная – 3,7 г.

Используется при производстве красок, стекла и в буровых растворах.

ЛАНТАН И РЕДКИЕ ЗЕМЛИ (TR)

Редкие земли (57–71) разбиваются на две группы посередине по границе европия и гадолиния. По своим щелочным свойствам они близки к кальцию или магнию, а геохимически – к церию. Все 15 редких земель, а также скандий и торий, в природе часто встречаются в одних и тех же минералах. Они трехвалентны, ограничено распространение валентности 4 у церия, празеодима в сильнощелочных магмах богатых кислородом.

Характер основности понижается в группе лантаноидов по мере возрастания порядковых номеров элементов, как и радиусов ионов.

Все атомы TR входят в решетку апатита, гадолинита, где они захватываются кальцием. Кристаллизация щелочных магм с высоким рН ведет к образованию комплексов церия и тория с накоплением более щелочных церия и лантана. Кристаллизация кислых гранитных магм приводит к накоплению ионов редких земель с большими номерами. Редкие земли концентрируются в остаточном маточном растворе магмы в пегматитовую геофазу. Среди редких земель насчитывается около 70 минеральных видов со следующими соединениями – фторидами, силикатами, карбонатами, фосфатами. Избыток кальция ведет к осаждению редких земель.

Лантаноиды образуют близкую по свойствам группу химических элементов, которые называются редкоземельными элементами (РЗЭ). В природе они не представляют опасности из-за низкого содержания. Накопление в почвах может происходить с фосфорными удобрениями. Лантаноиды делят на две подгруппы: цериевые (Ln_{Ce} , *La, Ce, Pr, Nd*) и иттриевые (Ln_Y , *Pm, Sm, Eu, Cd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu*). Наиболее распространены цериевые лантаноиды.

Редкоземельные элементы образуют более 100 минералов, среди которых преобладают силикаты, карбонаты, фосфаты, имеются оксиды и гидроксиды. Концентрируются в карбонатных породах. Кроме минералов с аномальной валентностью (церинит CeO_2) и (Eu^{2+} в ибоните), все редкоземельные элементы представляют собой изоморфные смеси соединений 14 лантаноидов и иттрия. Согласно закону Оддо-Гаркинса, количество и содержание нечетных лантаноидов в минерале

обычно в несколько раз меньше, чем четных. Наиболее важными промышленными минералами редких земель являются бастензит $CeCO_3F$ (75 % TR_2O_3) – паразит $CaCe_2(CO_3)F_2$ (61% TR_2O_3), TR - – алит $Na_6Ca_2MnCeZrSi_{12}O_{32}(OH)_2Cl$ (10 % TR_2O_3), монацит – $CePO_4$ (70 % TR_2O_3). С анионами CO_3^{2-} , F , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} лантаноиды образуют наиболее прочные, легко растворимые, устойчивые в широком диапазоне температур комплексные соединения. Они типичные антикоагулянты.

Лантан (La). Мягкий металл. На воздухе окисляется, легко воспламеняется. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 26. В природе известен ^{139}Ln (99,91 %) и радионуклид ^{138}Ln (0,09 %) распадается с образованием β частиц в течение $1 \cdot 10^{11}$ лет. Радиус La^{3+} – 122, атомный – 187,7 пм. Основная линия в атомном спектре – 394,910 нм.

Кларк лантана в земной коре $32 \cdot 10^{-4}\%$ ($3 \cdot 10^{-3}$), речных водах – 0,2 мг/л. Лантан является типичным представителем группы лантаноидов или редких земель (РЗЭ). Все металлы, входящие в эту группу имеют сходные свойства. Геохимический барьер – кислородный. Мигрируют в большинстве геохимических обстановок, частично мигрируют в сильноокислой среде.

Церий (Ce). Серый металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 28. В природе известен ^{140}Ce (88,48 %), ^{142}Ce (11,08 %), ^{138}Ce (0,25 %), ^{136}Ce (0,19 %). Радионуклиды распадаются от часов до 140 дней образованием β и γ частиц. Радиус Ce^+ – 149, Ce^{3+} – 105, атомный – 170,4 пм. Основная линия в атомном спектре – 349,257 нм. Кларк Ce в земной коре – $68 \cdot 10^{-4}\%$ ($6,1 \cdot 10^{-3}$). Известные минералы – монацит, бастензит. Содержание в костной ткани около $2,7 \cdot 10^{-4}\%$, в крови – менее 0,002 мг/л. Растение-концентратор – капуста.

Празеодим (Pr). Мягкий металл с высокой реакционной способностью. Медленно реагирует с кислородом, быстро с водой. Число изотопов празеодима с учетом ядерных изомеров – 26. В природе известен ^{141}Pr (100 %). Период полураспада радионуклидов от часов до дней. Радиус Pr^{3+} – 106, Pr^{4+} – 92, атомный – 182,8 пм. Основная линия в атомном спектре 417,939 нм. Кларк празеодима в земной коре – $9,5 \cdot 10^{-4}\%$. Характерные минералы – монацит, бастензит. Растение-концентратор – капуста. Используется в сплавах для получения постоянных магнитов, в оптических стеклах.

Неодим (Nd). Мягкий металл. Медленно реагирует с холодной водой, но быстро с горячей. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 24. В природе известно 7 стабильных изотопа и 1 радионуклид ^{144}Nd с периодом полураспада $2,1 \cdot 10^{15}$ лет. Радиус Nd^{3+} – 104, атомный – 182,1 пм. Основная линия в атомном спектре – 430,358 нм.

Кларк в земной коре – $38 \cdot 10^{-4} \%$ ($7,6 \cdot 10^{-4}$). Известные минералы – монацит, бастензит. Малотоксичен. Вызывает раздражение глаз. Растение-концентратор – капуста. Используется в сплавах для получения постоянных магнитов, в оптических стеклах, глазури в стекле.

Прометий (Pm). Радиоактивный токсичный металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 27. Используется в специальных миниатюрных батареях. В природе не известен. Получается в миллиграммовых количествах в ядерных реакторах. Радиус Pm^{3+} – 106, атомный – 181 пм. Все линии в атомном спектре одинаковой интенсивности (389,215 – 441,796 нм). Следы в урановых рудах. В организме человека отсутствует. Растение-концентратор – капуста.

Самарий (Sm). Металл. Относительно устойчив в сухом воздухе. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 24. В природе известно 4 стабильных изотопа и 3 радионуклида самария с периодом полураспада $7 \cdot 10^{15}$ лет. Радиус Sm^{2+} – 111, Sm^{3+} – 100, атомный равен 180,2 пм. Основные линии в атомном спектре – 356,827; 359,260 нм. Кларк в земной коре – $7,9 \cdot 10^{-4} \%$ ($7,3 \cdot 10^{-4}$). Малотоксичен. В организме человека действует как стимулятор, накапливается в капусте.

Европий (Eu). Мягкий металл. Быстро взаимодействует с кислородом и водой. Наиболее из реакционноспособных элементов среди лантаноидов. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 26. В природе известно 2 стабильных изотопа: ^{151}Eu (47,8 %), ^{153}Eu (52,2 %). Радиус Eu^{2+} – 112, Eu^{3+} – 98, атомный – 204,2 пм. Основная линия в атомном спектре – 420,550 нм. Кларк европия в земной коре составляет $2,1 \cdot 10^{-4} \%$ ($1,2 \cdot 10^{-4}$). Малотоксичен. Растение-концентратор – капуста. Используется в сплавах для получения постоянных магнитов, органических реагентов, специальных стекол, катализаторов, в керамике и электронике.

Гадолиний (Gd). Металл. Медленно реагирует с кислородом и водой. Растворяется в кислотах. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 23. В природе известно 6 стабильных изотопа и радионуклид ^{152}Gd (0,20 %), который распадается в течение $1,1 \cdot 10^{14}$ лет с образованием α частиц. Радиус Gd^{3+} – 97, атомный – 180,2 пм. Основная линия в атомном спектре: 376,839 нм. Кларк гадолия в земной коре $7,7 \cdot 10^{-4} \%$ ($7,2 \cdot 10^{-4}$). Малотоксичен. В организме человека действует как стимулятор. Используется в производстве магнитов, огнеупоров, в электронике, сплавах.

Тербий (Tb). Металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 31. В природе известен ^{159}Tb (100 %). Радиус Tb^{3+} – 93, Tb^{4+} – 81 атомный – 178,2 пм. Основная линия в атомном спектре – 350,917 нм.

Кларк тербия в земной коре – $1,1 \cdot 10^{-4} \%$ ($1,9 \cdot 10^{-4}$), малотоксичен. В организме человека действует как стимулятор. Используется в твердотельных устройствах и лазерах.

Диспрозий (Dy). Реакционноспособный твердый металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 24. В природе известно 7 стабильных изотопа. Радионуклид ^{154}Dy распадается в течение $3 \cdot 10^6$ лет с выделением α частиц. Радиус Dy^{3+} – 93, атомный – 177,3. Основная линия в атомном спектре 353,170 нм. Кларк в земной коре – $6 \cdot 10^{-4} \%$ ($4,7 \cdot 10^{-4}$), малотоксичен. В организме человека действует как стимулятор. Используется в сплавах для изготовления магнитов.

Гольмий (Ho). Металл. Число изотопов гольмия с учетом ядерных изомеров – 39. В природе известен стабильный ^{165}Ho (100 %). Радионуклид ^{166}Ho распадается в течение 1,117 дня с выделением β частиц. Радиус Ho^{3+} – 89, атомный – 176,6 пм. Основная линия в атомном спектре – 345,600 нм. Кларк его в земной коре – $1,4 \cdot 10^{-4} \%$ ($1,5 \cdot 10^{-4}$), малотоксичен. В организме человека действует как стимулятор. Используется: для концентрирования шлаков в высоких магнитных полях.

Эрбий (Er). Металл. Медленно покрывается оксидной пленкой на воздухе и медленно реагирует с водой. Растворяется в кислотах. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 25. В природе известно 6 стабильных изотопа. Радионуклиды распадаются в течение дней и часов с образованием β и γ частиц. Радиус Er^{3+} – 89, атомный – 175,7 пм. Основная линия в атомном спектре – 400,796 нм. Кларк эрбия в земной коре – $3,8 \cdot 10^{-4} \%$ ($3 \cdot 10^{-4}$), малотоксичен. В организме человека действует как стимулятор. Используется для изготовления стекол, поглощающих ИК область спектра, и в сплавах с титаном.

Тулий (Tm). Самый редкий металл из лантаноидов. Медленно окисляется на воздухе, реагирует с водой. Используется как основной источник излучения в портативном рентгеновском оборудовании. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 28. В природе известен ^{169}Tm (10 %). Радионуклид ^{170}Tm распадается в течение 128,6 дней с образованием β и γ частиц. Радиус Tm^{3+} – 87, Tm^{4+} – 94, атомный – 174,6 пм. Основная линия в атомном спектре – 409,419 нм. Кларк тулия в земной коре – $0,48 \cdot 10^{-4} \%$ ($3,6 \cdot 10^{-4}$). Малотоксичен. В организме человека действует как стимулятор.

Иттербий (Yb). Мягкий металл. Медленно окисляется на воздухе, реагирует с водой. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 29. Радиус Yb^{2+} – 113, Yb^{3+} – 86, атомный – 194 пм. Основная линия в атомном спектре – 369,420; 398,777 (АА) нм. Кларк иттербия в земной

коре – $3,3 \cdot 10^{-4} \%$ ($3,1 \cdot 10^{-4}$), малотоксичен. В организме человека действует как стимулятор. Радионуклиды распадаются в течение нескольких дней с образованием β и γ частиц. Используется в датчиках нормального напряжения.

ГАФНИЙ

Пластичный, нетоксичный, редкий и рассеянный металл Не взаимодействует с кислотами (кроме Hf) и щелочами. По своим химическим свойствам сходен с Zr . Имеет с ним одинаковые размеры ионов и полное сходство электронной структуры. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 33. Преобладают стабильные изотопы ^{180}Hf (35,10 %), ^{178}Hf (27,30), ^{177}Hf (18,60), ^{179}Hf (13,63 %). Искусственный ^{182}Hf имеет период полураспада $9 \cdot 10^6$ лет с β типом распада. Радиус Hf^{4+} – 84, атомный – 156,4 пм. Основная линия в атомном спектре – 202,818(АА) нм.

Кларк гафния в земной коре равен $5,3 \cdot 10^{-4} \%$ ($2,4 \cdot 10^{-4}$), почве – 1,8 мг/кг, золе растений – 0,01 мг/кг, речных водах – 0,004 мкг/л.

Гафний по своим свойствам близок к цирконию, что приводит к их совместной миграции в земной коре. Накапливается в минералах кислых гранитных пегматитов. Известен минерал гафнон (69–75 % HfO_2). Встречается совместно с Zr (близок по химизму) в силикатах (0,5–6,5 %). Наиболее богаты гафнием щелочные сиенитовые породы (23 г/т), образуют устойчивые соединения с фтором. Относительно большие содержания HfO_2 обнаружены в бадделеите (до 3 %), эвдиалите (2,1 %), эльпидите (до 4,7 %). В цирконе обычные содержания гафния не превосходят 3,8 %, однако известны редкие разновидности гафниевых цирконов, содержащих элемент до 31 %. Геохимический барьер – сорбционный.

Используется в высокотемпературных сплавах и керамике, контрольных стержнях для атомных реакторов.

ТАНТАЛ

Редкий, мягкий металл. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 28. Известно два стабильных изотопа: ^{181}Ta (99,98 %) и ^{180}Ta (0,012 %). Период полураспада искусственного радионуклида ^{182}Ta короткий с β и γ типом распада. Радиус Ta^{3+} – 72, Ta^{4+} – 68, Ta^{5+} – 64, атомный – 143 пм. Основная линия в атомном спектре – 265,327; 271,467 нм.

Кларк тантала в земной коре $2 \cdot 10^{-4} \%$ ($2,2 \cdot 10^{-4}$), почве – 2 мг/кг, золе растений – 1 мкг/кг сырого вещества.

Образует комплексы с анионами кремния, титана, циркония, олова. Для нейтрализации танталовой кислоты используются ионы кальция, иттрия и ряда редких земель. Элемент сохраняется в остаточном расплаве и распределяется в типичных гранитных пегматитах и остаточных образованиях нефелиновой магмы, богатых титаном.

В земной коре тантал, как и ниобий, относится к редкому элементу. В минералах, богатых танталом, возможно повышенное содержание урана. Элемент образует слабую амфотерную кислоту, которая нейтрализует кальций. Тантал представлен ионами Ta^{5+} , $[TaO_3]^-$. Минералы тантала формируются в магматических расплавах и высокотемпературных водных растворах гранитных пегматитов и щелочных пегматитов нефелин-сиенитовых магм.

Известно более 47 минералов тантала, из них 43 сложных оксида, 1 карбид, 1 боросиликат, 1 борат, 1 оксид. Основные минералы представлены – танталитом $(Fe, Mn)Ta_2O_6$ (Ta_2O_5 40–81 %), микролитом $NaCaTa_2O_6F$ (Ta_2O_5 40,0 –79,7 %) и воджинитом $MnSnTa_2O_8$ (Ta_2O_5 70,5 %). Получают главным образом как побочный продукт при извлечении олова. Важнейшим источником *Ta* могут быть гранитные пегматиты, щелочные породы.

Геохимические барьеры тантала: сорбционный, восстановительный сероводородный. Частично мигрирует в щелочной среде.

Суточное потребление тантала с пищей – 0,001 мг. Токсичная доза 300 мг. Аккумулируется в печени, костях, почках. Ведет себя как коллоид. Токсичен только TaF_5 , а Ta_2O_5 – 4 класса опасности. Характерна высокая биологическая совместимость, что используется хирургами при протезировании. Склонен к комплексообразованию, особенно устойчивы они с фтором и органическими адендами.

Используется в электронике, производстве хирургических инструментов, оборудовании для химической промышленности, ЭВМ, суперсплавах, керамике.

ВОЛЬФРАМ

Тугоплавкий металл. Устойчив к кислороду, кислотам и щелочам. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 29. Наиболее распространены ^{184}W (30,7 %), ^{186}W (28,6), ^{182}W (26,3), ^{183}W (14,28 %). Искусственные радионуклиды имеют короткий период полураспада по β и γ типу. Радиус W^{4+} – 68, W^{6+} – 62, атомный – 137,0 пм. Основная линия в атомном спектре – 202,998 нм.

Кларк вольфрама в земной коре $1,0 \cdot 10^{-4} \%$ ($1,4 \cdot 10^{-4}$), колебания в магматических породах незначительны (в ультраосновных снижается до $1 \cdot 10^{-5}$, в кислых повышается до $1,5 \cdot 10^{-4} \%$), почве – 1,5 мг/кг, золе растений – $7 \cdot 10^{-2} \%$, речных водах – 0,03 мкг/л. ПДК водоемов 0,05 мг/л.

В природных условиях устойчив шестивалентный вольфрам, что определяет способность к сильной поляризации и образованию комплексного отрицательного иона. Он концентрируется в остаточной фазе гранитной магмы и вместе с ее летучими попадает в дистиллят. Отмечается постоянное нахождение вольфрамовых минералов среди пневматолитовых образований (высокотемпературных кварцевых жил, скарнов, грейзенов). Вольфрам образует летучие соединения, что позволяет ему ассоциироваться с легкоподвижными литием, висмутом, мышьяком. Формируются оксиды, гидраты, соли с *Fe*, *Mn*, *Pb*, *Ca*, *Cu*. Минеральных видов очень мало (около 15). Практическое значение имеют вольфрамит, шеелит, повелит.

Вольфрам связан с кислыми гранитными дериватами, богатыми летучими соединениями и нередко генетически связан с оловянными рудами, а также в местах контакта гранитных магм с известняками.

Вольфрам более растворим со щелочноземельными элементами (*Ca*, *Mg*, *Ba*, *Sr*). Устойчивые анионные комплексы образует W^{6+} .

Эндогенные концентрации связаны с коревыми гранитными магмами, характеризующимися перенасыщенностью глиноземом, высокой кислотностью, повышенными содержаниями *Sn*, *F*, *B*. Накапливается в продуктах остаточной кристаллизации и выносится газогидротермальными умеренно кислыми растворами.

Устойчивость минералов вольфрама в экзогенных условиях определяет возможность формирования россыпных месторождений. Накопление вольфрама фиксируется и в осадочном процессе. Повышенные концентрации отмечаются в континентальных отложениях – карбонатных отложениях, обогащенных *Fe*, *Mn*, *C*.

Известно 28 минералов вольфрама, преобладают вольфрамиты (18). Основное сырье: шеелит ($CaWO_4$), гюбнерит ($MnWO_4$), ферберит ($FeWO_4$), вольфрамит $[(Fe, Mn)WO_4]$. Встречается в месторождениях различного генезиса. Геохимический барьер кислородный. Слабо мигрирует в щелочной среде.

Содержание вольфрама в костной ткани $0,25 \cdot 10^{-7} \%$, в крови – 0,001 мг/л. Суточное потребление с пищей – 0,015 мг. Период полувыведения до 4 суток, из костей – до 1100 суток. При норме положи-

тельно влияет на активность ферментов. При высоких дозах блокирует активность *Mo*, снижает активность ферментов дыхания и роста. В растениях токсичен при превышении нормы в 18 раз.

Используется в сплавах, нитях накаливания, для изготовления режущего инструмента.

РЕНИЙ

Редкий, рассеянный металл. Устойчив к окислению. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 34. Наиболее распространены стабильный изотоп ^{185}Re (37,40 %) и радионуклид ^{187}Re (62,60 %) с периодом полураспада $4,5 \cdot 10^9$ лет по β типу, другие – с коротким периодом от часов до нескольких дней. Радиус Re^{4+} – 72, Re^{6+} – 61, Re^{7+} – 60, атомный – 137,0 пм. Основная линия в атомном спектре – 346,046 нм.

Кларк рения в земной коре – $4 \cdot 10^{-8}$ % ($8 \cdot 10^{-8}$).

Валентность рения в геохимии 4 (в сернистых соединениях), частично 7 (в кислородных соединениях). Величина четырехвалентных ионов сближает рений с молибденом, титаном, вольфрамом и осмием. Самостоятельных минералов не образует. Соединения характеризуются большой летучестью. Накопление его вероятно в сульфидной зоне, а снижение – в глубинных силикатных зонах и при протокристаллизации силикатов, богатых железом и магнием. Как летучее соединение накапливается в остаточных гранитных расплавах, уходит в пневматолиты с молибденом и очень рано выпадает в геофазы образования пегматитовых минералов (гадолинит). Значительно возрастает содержание рения в соединениях эрбиевых и иттербиевых земель. В сульфидных пневматолитах он накапливается лишь при высоких температурах.

Многие соединения рения растворимы в воде, мигрируют и образуют газовую фазу. Устойчивы халькогениды рения. Основные и средние породы содержат 0,3–10 мг/т Re, гранитоиды – 0,2–6, осадочные – 0,2–5 мг/т. Извлекается как побочный продукт очистки газов при выплавке молибдена. Геохимический барьер – сорбционный.

Период полувыведения 22 суток. Накапливается в щитовидной железе. Растения-концентраторы – лебедовые.

Рений используется в нитях накаливания, термисторах и катализаторах.

ПЛАТИНОИДЫ

Платина – пластичный, благородный металл. Устойчив к кислороду, воде. Растворим только в царской водке и расплавах щелочей.

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 36. В природе распространены стабильные ^{195}Pt (33,8 %), ^{194}Pt (32,9), ^{196}Pt (25,3) и радионуклиды ^{192}Pt (0,79), ^{190}Pt (0,01 %) с периодами полураспада соответственно 10^{15} и $6,9 \cdot 10^{11}$ лет с α типом распада. Радиус платины Pt^{2+} – 85, Pt^{4+} – 70, атомный – 138 пм. Основная линия в атомном спектре – 204,937 нм.

Кларк платины в земной коре – $1 \cdot 10^{-7}$ % ($5,7 \cdot 10^{-7}$), гидросфере 0,1–0,3 мг/л, почве 0,020–0,075 мг/кг, золе растений – 3,5–6,6 мг/кг. Кларк осмия в земной коре – $2 \cdot 10^{-7}$ %, иридия – $6,5 \cdot 10^{-8}$ %.

Платиновые металлы образуют две группы – легких (рутений, родий, палладий) с плотностью от 11,9 до 12,3 г/см³ и тяжелых (осмий, иридий, платина) с плотностью между 21,4 и 22,5 г/см³. Однако их распространение и миграция сходны. Склонность переходить в высшие степени валентности убывает в каждом ряде Периодической системы слева направо, аналогично группе железа. Для рутения устойчиво соединение валентности 4, для родия – 3, палладия – 2, осмия – 6 и 8, иридия – 3 и 4, платины – 2 и 4.

Соли платиновых металлов мало устойчивы, легко переходят из одного состояния в другое и прочны лишь самородные сплавы и некоторые соединения с серой, мышьяком и сурьмой. Элементов платиновой группы находятся в самородном состоянии: самородная платина и осмистый иридий. В состоянии атомного рассеяния платиноиды находятся в сульфидах, силикатах ультраосновных и основных пород.

В эндогенных условиях платина концентрируется в сульфидных медно-никелевых месторождениях в процессе кристаллизационной или ликвационной дифференциации магм (вкрапленные руды) или путем множественных инъекций сульфидного расплава, возникшего в промежуточных магматических камерах (массивные руды). В хромитовых месторождениях накопление платиноидов происходит в результате последовательно проявленных сегрегационно- и ликвационно-магматических и пневматолитово-гидротермальных процессов.

В гипергенных условиях минералы платиновой группы ведут себя стойко. В процессе седиментации рассеиваются в осадочных породах. Возможно образование оксида палладия. В экзогенных процессах они устойчивы к химическому выветриванию, накапливаются в аллювиальных и других россыпях. Платиноиды содержатся в составе более 90 минералов. В самородном виде встречаются все платиноиды, но наиболее часто платина. Твердые растворы платиноидов: изоферроплатина Pt_3Fe (Pt – 90 %), осмирид Ir, Os (Ir – 65–80), иридосмин Os, Ir (Os – 50–80), рустенбургит Pt_3Sn , мончеит PtTe_2 , брэггит (Pt, Pd ,

$Ni)S$ (Pt – 32–58%). Известны основные соединения платины с Fe , Ir , Os , Ru , Pd , Sn , Pb , Te , Bi , Sb , As .

Руда разрабатывается при содержании Pt 3–15 г/т из россыпей песка и получают как побочный продукт при очистке Cu и Ni . Наибольшее содержание платиноидов в основных и ультраосновных породах (0,3–0,2 г/т). Способны к комплексообразованию, особенно с гумусовыми кислотами почв. Геохимический барьер – сорбционный.

В организме человека содержание платины в зубах составляет $0,008 \cdot 10^{-6} \%$, сердце – $0,0007 \cdot 10^{-6} \%$, крови – 0,04 мкг/л. Суточное потребление с пищей – 0,63 мкг. Период полувыведения 32 суток.

Экспериментами установлено, что платина равномерно распределяется по организму. Плохо всасывается в желудке. Активирует железосодержащие белки-ферменты, ингибирует репликацию ДНК (противоопухлевой эффект) при сохранении синтеза РНК и белков.

Используется в украшениях, фармацевтике, как катализатор.

ЗОЛОТО

Мягкий пластичный металл желтого цвета, устойчив к окислению. Число изотопов золота с учетом ядерных изомеров 39. Распространен в природе изотоп ^{197}Au (100 %). Искусственных радионуклидов три: ^{195}Au – ($T_{1/2} = 186,1$ дня), ^{198}Au – ($T_{1/2} = 2,693$ дня), ^{199}Au – ($T_{1/2} = 3,14$ дня). Распад идет с выделением β и γ частиц. Радиус Au^+ – 137, Au^{3+} – 91, атомный – 144,2 пм. Основная линия в атомном спектре – 201,200 нм.

Кларк золота в земной коре – $0,11 \cdot 10^{-6} \%$ ($3,5 \cdot 10^{-7}$), золе растений – $1 \cdot 10^{-4} \%$, речных водах – 0,02 мкг/л.

В химии известны две валентности золота – 1 и 3. Характерна сильная поляризация, а ионный радиус близок к радиусу серебра, что приводит к образованию их сплавов в природе, отчасти с медью. Высокая плотность металла приводит к накоплению золота в россыпях. Все свойства золота приводят к тому, что оно механически распыляется и дает коллоидальные растворы. Для золота характерно комплексообразование. Коллоидные растворы и органические соединения бактерицидны.

Главнейшие минералы редкого, но вездесущего золота: самородное состояние, в соединении с металлами платиновой группы, сульфиды, теллуристы и селенисты соединения.

Гранитная магма при охлаждении дает пегматитовый остаток и ряд высокотемпературных газовых выделений, которые пространст-

венно отделяются от гранита и по мере охлаждения дают начало погонам дистиллята, из них для золотого процесса характерны четыре:

- отщепление от эффузивных пород с накоплением теллура, селена и серебра;

- высокотемпературные отщепления типичных кварцевых жил с сульфидами, кристаллизация которых начинается около 400–450 °С и дает наиболее типичные золотые месторождения;

- жильбертизация комплекса и образование кварцевых жил;

- в серии оловянных и вольфрамовых дистиллятов, следующих один за другим, образуется особый тип шеелито-золотых жил.

В эндогенных условиях золото имеет подкоровое происхождение, на что указывает высокий кларк в мантийных породах основного ряда, а также близкий к метеоритному (мантийному) изотопный состав C , O_2 , S , встречающихся в породах и рудах. Месторождения связаны с гранитоидами (гранодиоритами и плагиогранитами). Предполагается, что первоначально золото было привнесено в древние бассейны осадконакопления глубинными растворами и расплавами, затем происходила его концентрация в коровых очагах гранитной магмы. При длительном взаимодействии глубинных флюидных систем с золотоносными вмещающими толщами происходит многократная перегруппировка. Золото обособляется в подвижных постмагматических продуктах в форме тиосульфатных $Au(S_2O_3)^{3-}$ и хлоридных ($AuCl_2^{2-}$ и $AuCl_4^-$) комплексных водных растворов.

Процесс формирования крупных месторождений золота является многоэтапным и начинался часто в докембрии и завершился в фанерозое. Золото имеет тесное сродство с Ag и Cu , с которыми оно образует твердые растворы и интерметаллические соединения. В природных процессах золото, серебро и медь ассоциируют с двумя плеядами элементов, которые являются соседями в Периодической системе Менделеева. С одной стороны, это Ni , Pt , Pd , Os , Fe , связанные с основными магмами, с другой – Zn , Hg , Pb , Bi , концентрирующиеся в кислых и средних магмах. Поэтому золото приурочено к медно-никелевым и свинцово-цинковым месторождениям.

Метаморфизм приводит к перераспределению и концентрации золота в виде крупных месторождений. Значительную роль в этом играют флюидно-метаморфические процессы, которые происходят в зонах динамометаморфизма среди черносланцевых толщ, обогащенных золотом, и в зеленокаменных поясах. При метаморфизме образуются золотоносные конгломераты.

В экзогенных условиях происходит высвобождение золота из пород и руд и его накопление в зонах окисления некоторых сульфидных месторождений (в железных шляпах) и россыпях речного и прибрежно-морского происхождения.

Известно 27 минералов золота, включая самородные и интерметаллические (с *Ag*, *Hg*, *Cu*, *Pb*). Главный минерал – самородное золото. Оно образует обособления в виде зерен, пленок, дендритов, реже кристаллических агрегатов. Другие минералы, как правило, промышленными не являются. К ним относятся интерметаллические соединения: электрум *AuAg*, ауруприд *AuCu₃*, аурустибит *AuSb₂*, родит *Au(Rh, Ir, Pd)*, кюстелит *Ag(Au)* и теллуриды – калаверит *AuTe₂*, сиванит $(Au, Ag)Te_4$, креннерит $(Au, Ag)Te_2$, петцит *Ag₃AuTe₂* и другие.

Геохимический барьер – биогенный. Миграция механическая. Подвижность золота активизируется микроорганизмами. Они же способствуют его концентрации.

В организме человека содержится в коллоидной форме около 60мкг золота. Суточное потребление с пищей – 0,01 г. Период полувыведения 40–120 суток. Коллоидное золото угнетает функции костного мозга, ингибирует уреазу, пероксидазу, амилазу. В организме химически инертный. Самородное золото выявлено в биомассе железобактерий, микроскопических грибах.

Растения-концентраторы: кукуруза, конский щавель.

Используется в ювелирном производстве, в электронике.

РТУТЬ

Токсичный жидкий металл. Устойчив к действию воздуха и воды. Не реагирует с кислотами (за исключением концентрированной *HNO₃*) и щелочами. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 37. Преобладают в природе ²⁰²*Hg*, ²⁰⁰*Hg* (соответственно 26,65 и 23,1 %), всего семь стабильных изотопов. Радионуклиды имеют короткий период полураспада. Радиус *Hg²⁺* – 112, *Hg⁺* – 127, атомный – 160 пм. Основная линия в атомном спектре – 253,652 нм (АА).

Кларк ртути в земной коре $0,5 \cdot 10^{-5}$ % ($7,2 \cdot 10^{-6}$) (повышенный кларк отмечен в базальтоидных магмах), почве $1 \cdot 10^{-6}$ % (50 мкг/кг), золе растений – $1 \cdot 10^{-7}$ %, речных водах – 0,07 мкг/л, в атмосфере – 20–50 нг/м³.

В природе преобладают соединения двухвалентной ртути. Они принадлежат к поверхностным образованиям. Первичными рудами являются киноварь и шватцит.

Минералы ртути принадлежат к следующим группам: самородная ртуть и ее амальгама с золотом и серебром; сурьмянистые блеклые руды, где ртуть замещает медь и цинк; соединения с серой, селеном и теллуrom; галоидные соединения; редкий оксид монтроидит.

Соли ртути легко растворимы, за исключением сульфидов, трудно растворимы карбонаты и фосфаты. Ртутные месторождения приурочены к глубоким и большим по простиранию разломам, к зонам молодой тектонической деятельности.

Поступление ртути из земной коры за счет газов составляет 25–125 тыс. т/год. Геохимически ртуть близка к *Cd, Zn, Au, Ag, Tl*. Сильный комплексообразователь, быстро обменивается на лиганды, что определяет его высокую токсичность.

В эндогенных условиях перенос осуществляется из магматических источников в форме сульфидных комплексов (HgS_2^{2-}) в высококонцентрированных щелочных растворах. В ходе эндогенного рудогенеза образует общие минералы с *Sb* и месторождения комплексных ртутно-сурьмяных руд.

Известно около 60 минералов ртути, основной – киноварь. В ней имеются примеси *Se, Tl, Ga, Ge, Cd, Ag, Sb, As, Sn, Zn, Au, Cu, Pb*. Наиболее обогащенными ртутью являются щелочные породы.

Геохимический барьер ртути сорбционный. Мигрирует в кислых и щелочных водах окислительной геохимической обстановки.

В организме человека содержится около 13 мг ртути. Суточное потребление с пищей – 15 мкг, всасывается 80 %. Период полувыведения 30–120 суток. Ртуть липофильна. Легко проникает в молоко и через плаценту. Концентрируется в волосах, щитовидной железе, гипофизе, мозжечке и, особенно, в почках. Мишени-лиганды: тиоловые группы всех носителей, повышение проницаемости лизосом. Ртуть угнетает гидролитические и окислительные ферменты, реагирует с SH-группами ряда ферментов. Метилированная ртуть усваивается легче, чем неорганическая. Нейтрализаторы ртути – молоко, яичный белок. Металлическая ртуть связывается концентрированным раствором хлорного железа, *Cd* усиливает токсичность ртути.

Заболевания, вызванные избытком ртути: болезнь Минамата – поражение центральной нервной системы, мозжечковая атаксия, нарушение зрения, покалывание и онемение пальцев рук и стоп, вокруг рта и по передней части грудной клетки, постоянные боли в конечностях, затрудненная речь, снижение слуха, высыпания, атрофия нервной ткани головного мозга и периферических нервов с пролиферацией ткани и, в итоге, микроцефалией. Поражение щитовидной железы в

виде гипотиреоидного зоба. Токсичная доза 5 мкг/л – неорганическая ртуть; 0,5 мкг/л – метилртуть.

Растения-концентраторы ртути: водные макрофиты (угнетаются при содержании 1 мг/л). Известкование почв ускоряет поступление ртути в растения, в которых она концентрируется в корнях, в меньшей степени – в семенах.

Используется в фунгицидах, измерительных приборах, электроаппаратуре, хлорном и щелочном производстве.

ТАЛЛИЙ

Мягкий металл. Халькофильный элемент, но проявляет и оксифильные свойства, что обусловлено его сходством со щелочными металлами. На влажном воздухе быстро покрывается оксидной пленкой. Реагирует с кислотами. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 41. Известны в природе ^{207}Tl (70,48 %), ^{203}Tl (29,52 %) и следы радионуклида ^{208}Tl , который распадается с образованием β и γ частиц в течение 3,052 мин. Радиус Tl^+ – 149, Tl^{3+} – 105, атомный – 170,4 пм. Основная линия в атомном спектре – 351,924 нм.

Кларк таллия в земной коре – $0,6 \cdot 10^{-4}$ % ($9 \cdot 10^{-5}$), в гранитах – $1,2 \cdot 10^{-4}$, в магматических породах содержание его закономерно возрастает от $1,8 \cdot 10^{-4}$ в ультрабазитах до $1,26 \cdot 10^{-4}$ % – в кислых породах, в почве – 0,2 мг/кг.

Таллий относится к одновалентным элементам. Ионы у него типа купро слабой поляризации. Обладают сходством со щелочами, поэтому большинство его соединений растворимы. Накапливается в конечной фазе гидротермальной сульфидной минерализации и в остаточных щелоках соляных растворов, обогащенных калием и рубидием. Изоморфно замещает калий.

Известно 35 минералов таллия (сульфо- и арсеносоли в силикатных минералах). Все они крайне редки и собственных месторождений не образуют. Получают при переработке свинцово-цинковых и мышьяковых руд, а также пиритовых продуктов. В калийных удобрениях может достигать концентрации 500 мг/кг. Основные минералы-носители: сфалерит, марказит, галенит.

Геохимические барьеры: сорбционный и испарительный. Мигрирует в кислых и глеевых водах с различной реакцией среды.

В организме человека содержится 6 мкг таллия. Суточное потребление – до 1,5 мкг. Содержится в мышечной ткани $7 \cdot 10^{-6}$ %, костной ткани – $2 \cdot 10^{-7}$, крови – 0,00048 мг/л. В организме по содержанию следует за калием, но обладает в 10 раз большим сродством к ряду

ферментов, блокируя их функции. Накапливается в волосяных луковицах и происходит выпадение волос. Нейтрализует цистеин. Оказывает деминерализующее влияние на кости (фосфат), особенно совместно с *Zn* и *Ba* (рахит). Поражает почки и центральную нервную систему, происходит помутнение хрусталика.

Заболевания, вызванные избытком таллия: рвота и понос, мышечная слабость, парестезии пальцев стоп и кистей (особенно болезненные в области подошв), атаксия, возбуждение и бессонница, паралич черепно-мозговых нервов, тремор, судороги. При хронической интоксикации: уремия, анемия, дистрофия печени по типу гепатита, кардиомиопатия, атрофия яичек, выпадение волос (с черным пигментом в корне и рядом), поперечная исчерченность ногтей. Летальная доза – 600 мг. Период полувыведения – 1,6–300 суток.

Растения-концентраторы: капуста, табак.

Используется в специальных стеклах, в электротехнике.

СВИНЕЦ

Мягкий токсичный металл. Свинец устойчивый к действию кислорода и воды, растворяется в азотной кислоте. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 41. Преобладают стабильные изотопы ^{208}Pb (52,4 %), ^{206}Pb (24,1), ^{207}Pb (22,1 %) и следы трех радионуклидов ^{205}Pb ($T_{1/2} = 1,51 \cdot 10^7$ лет), ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22,3$ года) и ^{214}Pb ($T_{1/2} = 26,8$ ч.) с β и γ типом распада. Радиус Pb^{2+} – 132, Pb^{4+} – 84, Pb^{4-} – 215, атомный – 175 пм. Основная линия в атомном спектре – 405,781 нм.

Кларк свинца в земной коре составляет $14 \cdot 10^{-4}$ % ($1,3 \cdot 10^{-3}$), почве – $1 \cdot 10^{-3}$, золе растений $1 \cdot 10^{-3}$ %, речных водах – 3 мкг/л.

Все соединения свинца в природе двухвалентны, за исключением PbO_2 , Pb_3O_4 . Повышенная поляризация понижает растворимость его соединений. В сочетаниях с простыми анионами растворимость свинца увеличивается, с комплексными – понижается. Типична кристаллизация свинца с кальцием, хотя энергетически свинец сильнее и вытесняет кальций из соединений. Свинец образует соли соляной, угольной, серной, хромовой, молибденовой, фосфорной кислот.

Факторы, благоприятствующие промышленной концентрации свинца: дифференциация кислой магмы, медленная кристаллизация гидротермальных растворов, наличие тектонических структур, наличие карбонатных пород – лучших осадителей свинца.

Известно 315 минералов свинца, из них больше половины гипергенные, халькогенидов более 139. Основной минерал – галенит

(*PbS*), церуссит, англезит. Примеси галенита: *Se, Te, Ag, Bi, Tl, Sb, Zn, Cu, Fe, As, Cd, Sn, In, Au, Hg, Re*.

В зоне окисления галенита происходит следующая трансформация его соединений от кислых до щелочных: *PbS* (галенит) → *PbSO₄* (англезит) → *PbCO₃* (церуссит) → *Pb₅(PO₄)₃Cl* (пироморфит) → *Pb₅(VO₄)₃Cl* (ванадинит).

Геохимические барьеры свинца: щелочный, сорбционный, термодинамический. Мигрирует в кислых водах окислительной и восстановительно-глеевой обстановок.

В организме человека содержится 120 мг свинца, из них 95 % в костной системе. Норма в костной системе – 6 мкг/г. Суточное потребление с пищей – 0,06–0,5 мг. Курильщики дополнительно получают 1 мкг свинца от каждой сигареты. Период полувыведения – 10000 суток. Усиливает токсичность других металлов. При отравлении свинцом нарушается обмен гемоглобином, угнетается выделение *Fe* в порфириновое кольцо. С серой в белках образует прочные связи, происходит отравление ферментов. Наиболее токсичные органические соединения – тетраэтилсвинец и др. Токсичная доза 1 мг/л, летальная – 10 г в сутки.

Растения-концентраторы свинца: мхи, лишайники, черника, папоротник, хвощ, осока, кислица. Концентрируется в корнях. Растения аккумулируют 0,003–0,005 % от его валовой формы, норма – 5–10 мг/кг, токсичная доза от 30 мг/кг.

Используется в аккумуляторах, производстве кабелей, красок, стекла, смазок, бензина, средств защиты от радиации и др.

ВИСМУТ

Редкий, розоватый, хрупкий, токсичный металл. Висмут устойчив к действию кислорода и воды. Растворим в концентрированной азотной кислоте. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 35. В природе известен один стабильный изотоп ²⁰⁹*Bi* (100 %) и следы радионуклида ²¹⁰*Bi* с периодом полураспада 5,01 дней с β и α типом распада (продукт распад радона). Радиус *Bi*⁵⁺ – 74, *Bi*³⁺ – 96, атомный – 155 пм. Основная линия в атомном спектре – 206,170 нм.

Кларк висмута в земной коре составляет $0,48 \cdot 10^{-5} \%$ ($1,9 \cdot 10^{-5}$), его содержание возрастает от ультраосновных пород ($1 \cdot 10^{-7}$) к кислым ($1 \cdot 10^{-6} \%$), почве – 0,2 мг/кг, золе растений – 1 мг/кг, речных водах – 0,1 мкг/л.

Висмут имеет положительные и отрицательные ионы и комплексные анионы с *O, S, Se, Te*. В геохимии преобладают устойчивые

трехвалентные соединения сульфаноионов (Bi_2S_3), которые характеризуются высокой поляризацией, деполаризацией и контрполяризацией. Оксид Bi_2O_3 – типично основной, известен катион $[BiO]^+$ – висмутит, но они редки в природе. Элемент образует соли преимущественно с анионами. Галоидные соединения висмута летучи. Распространены соли кислородных кислот с преобладанием карбонатов.

Ход кристаллизации висмута сложный. В процессе охлаждения магмы долго сохраняется в растворе и выпадает при дифференциации кислых гранитных магм. Некоторая часть его накапливается в пегматитах, где фиксируется с рудами вольфрама, отчасти олова. Однако основная часть висмута связывается с сульфидными рудами вместе с *Au, Fe, Ag, Pb* и рассеивается. Концентрируется с сульфидами олова, а также с ураном. Часть висмута в виде карбоната или бисмутинита накапливается в россыпях с очень малым ореолом рассеяния.

Главными гипергенными минералами висмута являются карбонаты, серый бисмит и лимонно-желтая охра висмута. Эти вторичные минералы слабо мигрируют.

Промышленные концентрации висмута образуются в связи с постмагматическими процессами гранитной магмы. Его относят к группе халькофильных элементов, ближайшие аналоги – *Sb* и *Pb*.

Известно более 140 минералов висмута. Преобладают халькогениды (105) и минералы гипогенного генезиса. Основные минералы – самородный *Bi* и галено-висмутин $PbBi_2SO_4$. Получают главным образом как побочный продукт при выплавке свинца и меди. Устойчивы оксиды и сульфиды висмута. Неустойчивы соли сильных кислот и органические соединения. Висмут изоморфен свинцу.

Промышленное значение имеют самородный висмут *Bi*, висмутин Bi_2S_3 (81,3 %), виттихенит Cu_3BiS_2 (45,15 %), тетрадемит Bi_2Te_2S (59,27 %), айкинит $CuPbBi_2S_3$ (36,29 %). В зоне окисления формируются бисмит Bi_2O_3 , бисмутин Bi_2CO_3OH . Более 90 % висмута получают попутно из руд цветных и редких металлов. Сырьем служат свинцовые, частично медные и оловянные концентраты.

Геохимические барьеры: кислородный, карбонатный, щелочной. Частично мигрирует в сильноокислой среде.

В организме человека содержится 230 мкг висмута. Суточное потребление с пищей – 20 мкг. Период полувыведения – 5 суток. Концентрируется в печени, костях, мышцах, легких. Повышенное поступление висмута у курильщиков.

Заболевания, вызванные избытком висмута: энцефалопатия, гингивит, викалин. Токсичная доза 300 мг.

Используется в электронике, сплавах, производстве катализаторов, лекарств, косметических средств и красителей. В медицине используется в вяжущих, обволакивающих, анацидных (защита нервных окончаний) препаратах. Хлорид висмута ($BiOCl$) используется для образования искусственного перламутра.

ПОЛОНИЙ

Радиоактивный, токсичный металл. Период полураспада ^{209}Po составляет 105 лет. В земной коре встречается в виде следов в урановых рудах. Получают при нейтронной бомбардировке висмута. Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 33. В природе встречены следы четырех радионуклидов с коротким периодом полураспада с α и γ типом распада.

Радиус Po^{4+} – 65, Po^{2-} – 230, атомный – 167 пм. Основная линия в атомном спектре – 300,321 нм. Полоний образуется при распаде ^{222}Rn . Один из наиболее сильных α радиоизлучателей. Имеет 27 радионуклидов, самый токсичный ^{210}Po с периодом полураспада 138,4 дня.

Кларк полония в земной коре весьма низкий – следы в урановых рудах ($2 \cdot 10^{-15}$ %), гидросфере $2 \cdot 10^{-11}$ %, почве – $0,12 \cdot 10^{-3}$ Бк/м².

В организме человека около 18,5 Бк полония, из них 11,8 Бк – в костях. Суточное потребление с пищей – 0,118 Бк. Период полувыведения – до 80 суток. Наиболее устойчивый Po^{4+} . Способен к комплексообразованию. Концентрирует табак. Используется как источник тепла в космическом оборудовании и источник α -частиц для научных исследований.

АСТАТ

Радиоактивный неметалл. Астат не изучен из-за короткого периода полураспада. Получают искусственным путем для целей исследования при нейтронной бомбардировке ^{209}Bi .

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 29. Наиболее известны искусственные радионуклиды ^{210}At и ^{211}At с периодом полураспада соответственно 8,1 и 7,2 ч. с α типом распада. Радиус At^{5+} – 57, At^- – 227 пм. Основная линия в атомном спектре – 224,401 нм. Общее содержание его в земной коре до 1,6 км оценивается в 70 мг. В организме связывается с белками и накапливается в щитовидной железе.

Геохимический барьер восстановительный сероводородный.

Биологическая роль астата и содержание его в организме человека не известны.

РАДОН

Тяжелый, бесцветный и радиоактивный газ, токсичен. В некоторых местностях уровень содержания радона в воздухе превышает допустимый. Встречаются радоновые воды, которые используются для лечебных целей. Его содержание в атмосфере – 500 т, по объему – $6 \cdot 10^{18}$ %. Больше всего в воздухе над почвой (1 атом/мл воздуха). В помещениях радона больше, чем в атмосфере. Суперактивный биологически, экологически, радиотоксикологически. Обеспечивает 30 % естественного облучения на Земле. Обуславливает естественную радиоактивность воздуха.

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 28. В природе известны следы трех радионуклидов с α и γ типом распада: ^{222}Rn с периодом полураспада 3,82 дня, ^{220}Rn – 55,6 с, ^{219}Rn – 3,96 с. Основная линия в атомном спектре – 745 нм.

Кларк радона в земной коре $n \cdot 10^{-16}$ %, атмосфере – $7 \cdot 10^{-17}$ %, речных и питьевых водах содержится 0,37–3,7 Бк/л, артезианских 10–40 Бк/л, лечебных водах – более 100 кБк/м³.

Строительные материалы могут быть сильным источником радона (в 1000–5000 раз больше по сравнению с фоном). Радон накапливается в помещениях с пластиковыми материалами и красками на эпоксидной основе. Источник получения – ^{226}Rn . ПДК ^{222}Rn в воздухе рабочих помещений – $3 \cdot 10^{-11}$ Ки. Превращается в ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{210}Bi .

Средняя концентрация радона в воздухе жилых помещений составляет 25 Бк/м³. Его выделяет бетон и бытовой газ при сгорании. При этом риск заболевания раком легких составляет 3–4 случая на 1000 человек, при 200 Бк/м³ – 30–40 случаев.

ФРАНЦИЙ

Радиоактивный металл с коротким периодом полураспада (20,0–21,8 мин). В природе франций не встречается. Ничтожное количество его образуется в урановых рудах. Получается в следовых количествах из актиния при нейтронной бомбардировке радия. Число изотопов франция с учетом ядерных изомеров – 30. В природе встречается ^{223}Fr ($T_{1/2} = 21,8$ мин), распад идет с выделением β и γ частиц.

Радиус Fr^+ – 180, атомный – 270 пм. Основная линия в атомном спектре – 717,7 нм.

Используется в научных исследованиях.

РАДИЙ

Радиоактивный элемент, в природе встречается в урановых рудах. Взаимодействует с кислородом и водой. Радиевых минералов не существует, рассеян в природе

Число изотопов радия с учетом ядерных изомеров – 25. Встречаются в природе ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1600$ лет), ^{228}Ra ($T_{1/2} = 5,75$ лет), ^{223}Ra ($T_{1/2} = 11,43$ дня), ^{224}Ra ($T_{1/2} = 3,66$ дня) с выделением α и β частиц, а ^{228}Ra – γ и β -частиц. Радиус Ra^{2+} – 152, атомный – 223 пм. Основная линия в атомном спектре – 381,442 нм.

Кларк радия в земной коре $6,0 \cdot 10^{-11}$ %, почве – $8 \cdot 10^{-11}$ %, золе растений – $2 \cdot 10^{-11}$ %, речных водах – 0,01 мкг/л.

В организме человека содержится $2,64 \cdot 10^{-11}$ % радия, в костной ткани – $4 \cdot 10^{-13}$ %, мышцах – $0,23 \cdot 10^{-13}$ %, крови – $6,6 \cdot 10^{-9}$ мг/л. Суточное потребление с пищей – 2,2 пг ^{226}Ra . Период полувыведения 18 лет. В организме ведет себя аналогично кальцию.

Растение-концентратор – бразильский орех.

АКТИНИЙ

Радиоактивный, мягкий, токсичный металл с максимальным периодом полураспада 21,77 года (^{227}Ac). Реагирует с водой с выделением водорода. В природе актиний встречается в следовых количествах. Он является продуктом разложения ^{235}U , спутник урановых руд.

Число изотопов актиния с учетом ядерных изомеров 26. В природе известны следы ^{225}Ac и ^{228}Ac . Они распадаются соответственно в течение нескольких дней и часов с образованием β и γ частиц. Основная линия в атомном спектре – 408,844; 416,840 нм.

ТОРИЙ

Радиоактивный малотоксичный металл, рассеян в природе. Защищен оксидной пленкой. Торий взаимодействует с водяным паром и медленно с кислотами. Его сплавы могут быть твердыми.

Число изотопов с учетом ядерных изомеров – 25. Распространен в природе ^{232}Th (100 %) с наиболее длительным периодом полураспада ($T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$ лет). Распад идет с образованием α и γ частиц. Радиус Th^{3+} – 101, Th^{4+} – 99, атомный – 179,8 пм. Основная линия в атомном спектре – 401,914 нм.

Кларк тория в земной коре $12 \cdot 10^{-4}$ % ($1 \cdot 10^{-3}$). Концентрации изменяются в широких пределах в зависимости от петрохимического состава. Прослеживается рост содержания тория от ультраосновных

($5 \cdot 10^{-7}$) к кислым ($1,8 \cdot 10^{-3}$ %) породам. Особенно заметно нарастает содержание в породах щелочного ряда до $6,5 \cdot 10^{-3}$ %, в речных водах – 0,1 мкг/л.

Основной источник тория – монацитовый песок, включения в пегматитах, цирконе и сфене. Соли тория сильно гидролизуются, выделяя гидрат ThO_2 . Большинство из них устойчивы и трудно растворимы. В качестве примесей торий входит в оксиды, силикаты. Встречается в породах от ультраосновных дунитов до кислых гранитов. Торий выделяется с момента телокристаллизации гранитных и щелочных магм в виде изоморфной примеси в апатитах, цирконе и ортитах последних стадий магматического процесса. Значительная часть его уходит в пегматитовые расплавы гранитов и нефелиновых сиенитов с образованием основной части ториевых соединений. В земной коре торий находится в рассеянном состоянии, его в два раза больше, чем урана. Накапливается механически или абсорбционно.

Торий встречается в оксидах, силикатах, титанотанталониобатах, фосфатах, карбонатах. Главные минералы: торианит $(Th_5U)O_2$, торит $ThSiO_4$, ферриторит $(Th,U,Fe)SiO_4 \cdot H_2O$, эшинит $(Ce, Th)(Nb, Ti_2)O_6$, приорит $(Y, Th)(Nb, Ti)_2O_6$, монацит $(Ce,Th)(P,Si)O_4$. Наиболее высокие содержания ThO_2 в торианите (от 58 до 93 %), в ураносодержащих минералах его количество изменяется от 1 до 25 % в монаците.

В эндогенных условиях близость ионных радиусов способствует широкому проявлению изоморфизма с редкоземельными элементами, Y, U . По мере снижения температуры в постмагматический этап происходит разделение урана и тория с группой редкоземельных элементов, которые накапливаются в щелочных комплексах пород. Наиболее благоприятны для накопления тория карбонатиты, сиениты и другие щелочные породы, щелочные граниты. В изверженных породах концентрируется в виде ториевых и торийсодержащих минералов, последних в природе гораздо больше. Они устойчивы в зоне окисления.

В экзогенных условиях элемент встречается в виде россыпей ториевых и торийсодержащих минералов.

Геохимический барьер тория – кислородный. Элемент слабо подвижный в большинстве геохимических обстановок. Частично мигрирует в сильноокислой среде.

В организме человека содержится 30 мкг тория. Суточное потребление с пищей – 3 мкг. Период полувыведения – 14 лет. Концентрируется в костях.

Используется торий в преломляющихся материалах, ядерных топливных элементах, газонепроницаемых оболочках.

УРАН

Радиоактивный металл, занимающий ведущее положение среди радиоактивных элементов по длительности периода полураспада – ^{238}U ($4,46 \cdot 10^9$ лет). В геохимии ведущее положение занимает устойчивый ион U^{6+} , в который переходят ионы четырехвалентного урана. Лишь один минерал уранинит (смоляная руда) отнесен в своей основе к U^{4+} . Однако соединения типа UO_2 быстро окисляются в кислых растворах, переходя в промежуточный оксид, который называется закись-окись урана (U_3O_8). Его называют урановой смоляной рудой.

Кларк урана в земной коре $2,4 \cdot 10^{-4} \%$ ($2,6 \cdot 10^{-4}$).

В природе известно около сотни минералов, содержащих в узлах своих решеток ионы урана. Среди них на долю минералов урана с высшей степенью окисления относится 75 %. Это гидраты, соединения с сильными кислотами, комплексные кислоты. Шестивалентный ион урана является амфотерным оксидом. С сильными кислотами он представляет типичное основание, со слабыми – образует комплексные анионы, которые могут нейтрализоваться сильными катионами. Типичные ионы урана – $[\text{UO}_2]^{2+}$, $[\text{UO}_4]^{2-}$.

Ряд соединений урана летучи (карбиды, галоиды, ураниловые соединения), поэтому в период выделения летучих комплексов элемент уходит в пневматолиты, где дает начало образованию урановых смолков при наличии висмута, серебра, никеля, кобальта вместе с карбонатами железа, кальция и магния. Высокое содержание урана в кислых гранитных породах.

2. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ

2.1. Геохимические методы поисков полезных ископаемых

Для поисков месторождений полезных ископаемых успешно применяется широкий комплекс геохимических методов: *литогеохимический, атмогеохимический, гидрогеохимический, биогеохимический*. Наибольшего развития и эффективности достигли литогеохимические методы поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния, в меньшей степени – по первичным геохимическим ореолам рассеяния.

Литогеохимические методы поисков полезных ископаемых. Для изучения геохимического поля производятся измерения содержания химического элемента путем геохимического опробования в отдельных точках наблюдений или непрерывно, вдоль заранее выбранных направлений (профилей) или по маршрутам. Опробование – это отбор проб с последующим их анализом или без отбора проб путем контактных или дистанционных определений химического состава природных образований. Исследования геохимического поля с целью поисков месторождений полезных ископаемых ведутся методами геохимических съемок. Геохимические съемки делятся на рекогносцировочные, собственно поисковые, детальные, разведочные в пределах рудных полей в масштабе 1:1000. Полученные показатели о содержании химических элементов делятся на параметрические и непараметрические геохимические показатели. Геохимическими параметрами следует именовать величины, имеющие объективный смысл, численные значения которых уточняются одновременно с увеличением точности исследований, например, кларковые или фоновые величины. Численные значения непараметрических показателей не поддаются строгому определению, величины их произвольно изменяются с увеличением точности исследований или заранее известны. Для анализа используются фракции 1,0 или 0,5 мм.

Первичный ореол воспроизводит контур рудного тела. Граница устанавливается визуально или по данным химических анализов петрогенных элементов

Вторичные ореолы рассеяния по фазовому состоянию делятся на механические, солевые и газовые (Н.И. Сафронов, 1936).

В механическом ореоле рассеяния минеральные компоненты присутствуют в форме твердых веществ – первичных или вторичных минералов и рудных обломков. Их рассеяние связано с физической дезинтеграцией рудного тела. Они представлены в элювиально-делю-

виальных образованиях, древних остаточных корках выветривания. С ними связаны месторождения золота, платины, касситерита, хромита и других минералов.

В солевом ореоле рассеяния минеральные компоненты месторождения присутствуют в форме растворенных или сложно связанных с породами соединений. Образуются в результате движения, диффузии, капиллярного подъема и испарения минерализованных вод, контактирующих с рудными породами. Солевые ореолы рассеяния образуют месторождения медно-колчеданных руд, плавикового шпата и других типов рудных месторождений.

Газовые ореолы рассеяния образуются под воздействием диффузии газовых компонентов месторождений через поры горных пород к дневной поверхности. Они характерны для месторождений радиоактивных руд и развиваются независимо от процессов выветривания, а также ртути. На поверхности подвергаются адсорбции и окклюзии.

Вторичные ореолы в современном элювио-делювии или древней коре выветривания, образованные за счет интервалов рудного тела или его первичного ореола, существовавших в профиле коренных пород до выветривания, именуется остаточными ореолами рассеяния. В наложенных ореолах до развития вторичных процессов рассеяния первичная рудная минерализация отсутствовала (А.П.Соловов, 1985).

По признаку доступности для обнаружения различаются открытые ореолы рассеяния – выходящие на дневную поверхность, и закрытые ореолы – выявляемые на некоторой глубине от поверхности.

Верхние горизонты суши, в которых протекают процессы выветривания, ведущие к разрушению и ликвидации ранее образовавшихся местных концентраций химических элементов, называются *полем рассеяния месторождений полезных ископаемых*. Литогеохимическую аномалию в рудовмещающих породах называют «*первичным ореолом*» при условии доказанного ее развития вокруг рудного тела или месторождения. Возникающие зоны повышенных содержаний ценных или сопутствующих элементов в окружающих природных образованиях путем гипергенной миграции и прилегающих к коренным залежам называют *вторичными ореолами рассеяния месторождений*.

Атмогеохимические методы поисков месторождений. Методика поисков основана на определении свободного, растворенного и сорбированного газа с учетом вокруг месторождений первичного и вторичного газового ореола. Эти методы развиваются в трех направлениях: газовой съемки по почвенному воздуху, газо-ртутного метода, водно-гелиевой съемки (А.И.Фридман).

Высокая миграционная способность газов определяет их фильтрацию и диффузию далеко за пределы залежей и рудных тел. По вертикали газы поднимаются на сотни метров и более. Объектами исследований служат почвы. Глубокие горизонты земной коры подвергаются глубинной съемке, газовому каротажу по буровому раствору, керну, шламу. Обнаруживаются газовые и нефтяные залежи на глубине 1–3 км. Для многих видов месторождений установлены газы-индикаторы. Почвенный воздух над газовыми и нефтяными залежами обогащен CH_4 и тяжелыми углеводородами. В почвенном воздухе зоны окисления сульфидных месторождений повышено содержание CO_2 , SO_2 , H_2S , CH_4 и других газов. В тектонических зонах на никелевых месторождениях содержится N_2 , CH_4 . По зонам глубинных разломов, рифтам, через вулканы мигрируют глубинные газы к поверхности. Гелиевая съемка может использоваться для прогнозирования землетрясений, поэтому над зонами глубинных разломов в почвенном воздухе образуются широкие аномалии ртути.

Гидрогеохимические методы поисков полезных ископаемых.

Объектом исследования служат поверхностные и подземные воды. Существует подводный вариант метода при поисках газа и нефти на шельфе, при поисках руд в районах рифтовых зон. Эти методы эффективны при поисках нефти, газа, калийных солей, металлических ископаемых. Водные ореолы и потоки рассеяния простираются на тысячи метров. Созданы полевые лаборатории для выполнения анализов у источника, колодца, скважины. Гидрогеохимические аномалии зарегистрированы накануне крупных землетрясений в Средней Азии. Повышается минерализация воды и содержание в ней хлора, фтора, натрия и других ионов.

Биогеохимические методы поисков рудных месторождений.

Объектом исследования являются отдельные части растений: ветки, листья, кора или корни, учитывая неравномерное распределение химических элементов в растениях. Эти методы используются в горных районах, в местах перекрытия коренных пород осадочными отложениями небольшой мощности. По концентрации химических элементов в растениях определяются ореолы рассеивания и сами месторождения. В настоящее время хорошо изучены закономерности накопления растениями элементов-индикаторов в пределах рудных биогеохимических ореолов, способы интерпретации аномалий, приемы составления карт. Важным моментом в работе является выбор не только вида растения, но и его составной части как индикатора поиска. А.Л. Ковалевский доказал, что в Сибири наиболее информативным показателем

является кора хвойных растений. На основе анализа хвои и ветвей открыто молибденовое месторождение в Канаде. Однако биогеохимические методы по эффективности и практическому использованию уступают другим видам поисков.

2.2. Лабораторные и полевые методы анализа

Геохимические исследования создают вещественную основу для всех стадий геологоразведочного процесса. Данные прикладной геохимии используются при расчленении и корреляции магматических, метаморфических и осадочных комплексов, при геологическом картографировании, геодинамических реконструкциях, прогнозе, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, первичных и вторичных ореолов рассеяния.

Использование геохимических методов важно при количественной оценке прогнозных ресурсов и запасов, технологическом изучении различных видов минерального сырья для комплексного использования и снижения неблагоприятных экологических последствий промышленного освоения месторождений. Составлены требования к результатам и качеству геохимических работ. Они выполняются как часть работ в составе стадий, так и самостоятельно, но проводятся в опережающем и сопряженном вариантах.

Для обработки твердых проб используются следующие экспрессные технические средства:

- дробление породы разрядно-импрессной установкой ПГИ-001;
- истирание породы с использованием истирателя ЛДИ-60;
- серый шлик получают винтовым сепаратором СВ-150; малый концентрационный стол «Труд»;
- магнитные и электромагнитные фракции получают сепаратором типа МП-2, СЭМ-1; СМД;
- просеивание проводится набором сит, отбор проб производится мотобурами МК-10, М-1; мотосверлом МС-2.

2.2.1. Методы определения химических элементов в лаборатории

Со времени образования твердой оболочки Земли изменилось распределение химических элементов. Характер геохимических явлений не раскрыт полностью, так как в лабораторных условиях сложно исследовать реакции, протекающие в земной коре в зависимости от периодической смены температуры и давления.

Подготовка пробы к анализу. Образец отбирается в средней части породы, чтобы не был подвержен выветриванию. Вес образца от 1,5 кг с тонкозернистой текстурой (0–1 мм) до 5 кг с конгломератной текстурой (зерна более 30 мм). Описание производится по цвету, текстуре, макро- и микроскопическим характеристикам, фотографируется.

Образец дробят молотком, затем дробилкой и отбирают весом 40–50 г, пропущенные через сито 12 меш. Затем порошок истирают агатовым пестиком в ступке и просеивают через шелковое сито 100 меш. Сушат два часа при температуре 100 °С и сохраняют в стеклянной таре или ее заменителе. Основные методы определения элементов представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Основные методы определения элементов

Метод	Определяемые элементы	Сущность метода	Чувствительность метода
Эмиссионно-спектральный анализ	Определяет более 70 элементов	Основан на интенсивности спектральных линий	0,1–10 мг/кг
Атомно-абсорбционный (ААС)	<i>Be, Co, Cr, Cd, Ni, Mn, Hg, Pb, Zn, Ag, Mo</i> и др., всего 65 элементов	метод основан на переводе образца в атомный пар и измерении степени поглощения атомами исследуемого элемента излучения стандартного источника света	1–3 мг/л, реже 0,1 мг/л
Атомно-флуоресцентная спектроскопия (АФС)	<i>Ag, As, Au, B, Bi, Cl, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Mg, Ni, Pb, Sb, Sc, Te, W, Tl, Zn</i>	разновидности ААС	
Плазменно-эмиссионная спектрометрия (ПЭС)	щелочные металлы <i>Al, Ta</i> , лантаноиды <i>Re, Ru</i> (всего 24 элемента)	-"	зависит от минерализации подземных вод
Спектрофотометрический (СФ)	<i>Hg, As</i>	-"	0,08–20 мг/л

Продолжение табл. 2.1

Метод	Определяемые элементы	Сущность метода	Чувствительность метода
Колориметрический	<i>Mo, As, Ni, Pb, Ag, Ti, Ge, Au, Co, P, W, Hg, U, Cr, B, Cu, Zn, V, F</i>	метод основан на переводе определенного компонента в окрашенное соединение и установление его концентрации по интенсивности или оттенку окраски	вариации чувствительности всего метода — $n-0, n$ мкг/л, в том числе: 1,0–0,1 мкг/л; 1,0–0,1 100–200 мкг/л
Фотометрический	<i>V, P, Mn, Na, K, Rb, Cs, Sr</i>	метод основан на способности вещества к избирательному поглощению энергии световых волн	органические соединения – 0,04–20 мг/л; неорганические – 0,02–10 мг/л
Полярографический	определение отдельных элементов: <i>F, Cu, Cd, Se, Sb, Pb, Zn, Co, Mo, Mn, Ni</i> или нескольких в одной пробе: <i>Cu</i> и <i>Zn, Co, Zn, Cd, Ta</i> ; статочное количество пестицидов	электрохимический метод основан на получении и интерпретации кривых "ток–напряжение"	неорганические и органические соединения 0,05–1 мг/л, $0,0n - n \cdot 10^{-4}$ мкг/л при амальгамной полярографии с накоплением (АПН)
Люминесцентный (флуориметрический)	<i>Be, Ga, In, Se, U</i>	метод основан на наблюдении люминесценции излучения растворов при возбуждении УФ-светом	0, n мкг/л
Активационный (нейтронный)	<i>As, F, V, Cr, Co, Cu, Ni, Mn, Se, Sb, Hg, Ti, Zn</i>	метод основан на изучении ядерных реакций – облучение исследуемого образца медленными нейтронами в реакторе	0,0 n –0,00 n мкг/л
Хроматографический: а) газовой хроматографии б) жидкостной в) тонкослойный г) ионнообменный	<i>Be, F, Cr, As, карбонил, Ni, CO₂</i>	метод основан на разделении на составляющие компоненты сложных смесей	0,1–3,0 мг/м ³
	остаточное количество пестицидов		предел обнаружения для различных ингредиентов существенно колеблется

Метод	Определяемые элементы	Сущность метода	Чувствительность метода
Потенциометрический	<i>H, NH₄, Ag, Pb, Cd, Ca, Mg, Cu, J, Br, Cl, F, SO₄, HS, S, BF₄, NO₂, NO₃</i> и др.	метод основан на том, что мембранные электроды из специальных (для данного элемента) веществ избирательно реагируют на этот элемент в присутствии других ионов	0,0 п
Кинетический метод	<i>J, V, Au, Co, Mn, Mo, Re, Se, Ag, U</i>	метод основан на зависимости скорости химической реакции от концентрации реагирующих веществ	0,п–0,000п мкг/л
Рентгеноспектральный		основан на использовании рентгеновских спектров элементов	п мг/кг

Для *качественной оценки* используются небольшое количество пробы (1-5 г), которая переводится в водный, кислотный или щелочной раствор. Для *детального ознакомления* с микрохимическими реакциями на 21 элемент следует ознакомиться с работой У. Энерглин, Л. Брили «Аналитическая геохимия». Л.: Недра, 1975. В ней рассматриваются также количественный химический анализ макро- и микроэлементов, спектральный, фотометрический, атомно-абсорбционный, рентгеноспектральный, рентгеноструктурный, флуорометрический, хроматографический.

Рассмотрим сущность отдельных видов анализа.

Эмиссионная спектроскопия используется для определения более 70 элементов. Наиболее распространена она при проведении аналитических работ. Метод высокочувствительный. Аппаратура включает источник энергии, спектрограф и устройство для регистрации и оценки относительной интенсивности спектральных линий. Приборы разнообразны по конструкции.

Пламенная фотометрия используется для анализа растворов и вод. Раствор вводится в пламя газа. Он излучает лучи характерного цвета, интенсивность которых изменяется в зависимости от количества введенного элемента. Это оптический анализ. Приборы различные по конструкции.

Атомно-абсорбционная спектрофотометрия. Анализируемый раствор распыляется в лучах в виде аэрозоля и измеряется степень поглощения атомов исследуемого элемента излучения стандартным источником света. Абсорбционный метод дополняет эмиссионный, име-

ет преимущества из-за более высокой чувствительности и установления микроколичества элемента. Определяется более 60 элементов.

Рентгеноспектральный анализ слабочувствительный, определяется элемент с количеством более 0,1 % в породе. Анализируются металлы в виде порошка, раствора или плавки. При воздействии рентгеновских лучей на образец появляется вторичное излучение. Полученный спектр идентичен спектру при бомбардировке электронами.

Рентгеноструктурный анализ используется для установления кристаллической структуры, для идентификации веществ и определения состава смесей, содержания минералов в глинах. Разработано несколько методов определения.

Флуоресцентный метод измеряет интенсивность флуоресценции растворов. Это достигается облучением раствора пробы монохроматическим светом и наблюдением испускаемого излучения под прямым углом в отношении падающего луча. Вещество поглощает свет выборочно. Для определения движения подземных вод включается красящее вещество флуоресцин желтого цвета.

Хроматография базируется на графическом использовании цвета при идентификации соединений, изолированных процессами диффузии. Делят на абсорбционную и распределительную хроматографию: существует бумажная тонкослойная, колончатая, парофазная (газовая). Используют для качественного и количественного разделения органических и неорганических веществ.

Пирохроматография используется для определения углеводов с высокой температурой кипения.

Активационный (нейтронный) метод основан на изучении ядерных реакций – производится облучение исследуемого образца медленными нейтронами в реакторе.

Колориметрический метод основан на переводе определенного компонента в окрашенное соединение и установление его концентрации по интенсивности или оттенку окраски.

Полярнографический (электрохимический) метод основан на получении и интерпретации кривых «ток-напряжение».

Кинетический метод основан на зависимости скорости химической реакции от концентрации реагирующих веществ.

При наличии выбора приборов для анализа применяют тот метод, который характеризуется высокой *точностью, чувствительностью и производительностью*.

2.2.2. Полевые геохимические методы анализа

В полевых условиях при наличии приборов проводят некоторые виды анализа. Это вызвано потерей части геохимической информации при длительном хранении отобранных образцов. Происходит дегазация ртути, йода, изменение состава газов в атмосферогеохимических пробах, осаждение элементов-индикаторов вод и т.д. Поэтому многие элементы-индикаторы определяются экспрессивными полевыми ядерно-физическими методами. Выбор необходимых полевых аналитических методов зависит от задач исследования и типа пород.

При литогеохимических исследованиях используются следующие методы анализа: ядерно-физические методы с фиксированной настройкой каналов на определенные элементы, со сканированием по спектру от 20 до 82 элементов. Их можно определять аппаратурой РКК-103, Барс-3, Гагара, полевая аналитическая лаборатория «Геос» с приборами АР-104, АР-109, Роса 2, Спарк-2, Дукат-2. В комплекте с АР-109 и Фанта имеются полевые вычислительные комплексы ПВК-1, ПВК-2, позволяющие обрабатывать на месте аналитическую информацию. Определение *Ca*, *Fe*, *V*, *Th*, *K* выполняется на аппарате ЭРА-111, фтора – на СП-3М. Атомно-абсорбционные методы используются для определения валовой ртути (приборы АГП-01, РГА-10, ДАР-1), формы ртути – на приборе ТАР-2, золота и серебра – на АПЗ-1. Для определения халькофильных элементов подходит лазерный анализатор керна ЛАК-1.

При гидрогеохимических методах исследования элементы определяются полевыми лабораториями ПЛАВ-2, Комар-2, Поиск, рН и Eh-метры, физико-химическими методами на основе ионно-селективных электродов РХ «Автомат».

Использование биогеохимического метода позволяет в полевых условиях определять элементы-индикаторы в пробах золы и измельченной брикетированной фитомассе, древесных спилах с использованием приборов АР-104, Спарк-2, Дукат.

В отобранных пробах почвенного воздуха или в приземном слое в полевых условиях можно определять *He* (приборы ИНГЕМ-1, ИНГЕМ-2), *CO*₂, *CH*₄, *O*₂ (приборы ШИ-10, ИГД), *H*₂*S*, *SO*₂ (приборы ФАР-2-11а, УГ-2), радон (приборы СГ-11, ЭМ-6), хроматографическое определение некоторых газов (приборы ХПМ-4, ХПМ-5, ХПЧ-1), газы *CO*, *O*₂, *CH*₄ и другие с помощью дистанционных трассовых анализаторов на основе диодных лазеров (АГЛ-01, АГЛ-2). В полевых условиях для дегазации жидкости используется аппарат МПД-1.

3. ГЕОХИМИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И РАЙОНИРОВАНИЕ

Картографирование содержания химических элементов в породах, водах и растениях используется для прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых, решения вопросов охраны природной среды, при медико-геохимической оценке территории. На основе геохимического картографирования производится районирование, которое необходимо для реализации эффективного и рационального природопользования.

3.1. Геохимическое картографирование

Основы геохимического картографирования были разработаны А.Е. Ферсманом в начале 30-х годов XX столетия. Массовое составление геохимических карт начато в период использования геохимических методов при поисках полезных ископаемых.

В соответствии с общей методологией геохимии карты разделяются на три вида: *элементов и их ассоциаций; систем; процессов.*

Для территории СССР составлена геохимическая карта в масштабе 1:20 000 000 (автор А.И. Перельман). Для отдельных рудных полей имеются карты масштаба 1:2 000.

С целью поисков полезных ископаемых составляются карты *элементов и их ассоциаций.* На их основе можно решать следующие задачи:

- деление изучаемой площади на участки по типам геохимической специализации;
- выделение потенциально рудоносных геологических комплексов, зон, фации, метасоматитов, ореолов;
- оценку участка по коэффициентам (кларк-концентрации или рассеивания);
- отражать фоновое и аномальное содержание элементов в породах;

На геохимических картах *систем* показывается размещение различных систем, для которых на самой карте или в условных обозначениях приводится геохимическая характеристика. Например, геохимическая карта СССР масштаба 1:10 000 000 показывает сочетания геологических формаций с типом их дислоцированности. Выделены комплексы платформенных чехлов и их деформированных частей, а также комплексы щитов, кристаллических массивов, геосинклиналь-

ных и складчатых, орогенных и активизированных областей. В каждом комплексе устанавливаются участки по вещественному составу, приводится геохимическая характеристика с выделением литофильных, халькофильных и сидерофильных комплексов с характерными для них ассоциациями химических элементов.

Геохимические карты *процессов* показывают пространственное распределение щелочно-кислотных, окислительно-восстановительных условий, осадкообразования, выветривания и т.д.

3.2. Геохимическое районирование

Выделение геохимических территориальных единиц разных рангов представляет собой *геохимическое районирование*. Его проводят в результате накопления региональной информации по геохимии элементов на основе геохимического картографирования. Таксономические единицы районирования предложены А.Е. Ферсманом в 30-е годы XX столетия. Они приживаются с трудом в геологии и геохимии, хотя и представляют собой практический интерес при решении вопросов прогнозирования, поисков рудных месторождений и др. Используются различные критерии для выделения таксономических единиц геохимического районирования. Рассмотрим геохимические объекты разного ранга.

Геохимические системы – природные сочетания элементов, которые вызваны основными геотектоническими циклами земной коры или климатическим режимом широтных зон.

В системах протекают *геохимические циклы* элементов – процессы, под влиянием которых элемент после ряда миграций возвращается в старое состояние или соединение, чтобы сызнова начать миграцию.

В ходе районирования представляет интерес генезис минералов или горных пород для установления закономерностей формирования концентрации элементов.

Установление *генезиса* – это определение физико-химической обстановки, в которой шло образование и пребывание минералов и пород. При установлении генезиса иногда получается сложная генетическая картина, так как общие законы равновесия физико-химических систем не всегда реализуются в чистом виде.

В геохимической системе А.Е. Ферсман выделял таксономические единицы: пояса, поля, концентры, узлы, эпохи, провинции, области, формации, стадии, фазы, фации.

Геохимический пояс – области тектонического нарушения, окаймляющие более устойчивые щиты и представляющие районы специфичной геохимической миграции. Например, великий серебряный пояс Америки.

Геохимические поля – определенные участки протекающих геохимических процессов, связанные преимущественно с водными и материковыми накоплениями и перемещениями химических масс.

Геохимические концентры (первичные и вторичные) – зональное распределение химических образований вокруг остывающих массивов или вторичных изменений минеральных ассоциаций.

Геохимические узлы – наложение нескольких тектонических, климатических типов или циклов и вызванные ими особенности геохимической концентрации элементов.

Геохимические эпохи – периоды специфического накопления отдельных элементов или ассоциации элементов.

Геохимические провинции – участки геохимически однородные и характеризующиеся определенными ассоциациями химических элементов.

Геохимические области – участки земной коры, отличающиеся определенным накоплением некоторых элементов значительно выше кларка данной геосферы, например, пегматитовые поля, соляные озера.

Геохимические формации – сочетания элементов и минералов, объединенных определенными границами физико-химических равновесий (геоэнергетические уровни).

Геохимические стадии – основные периоды в истории охлаждения Земли как космического тела и его дальнейших изменений под влиянием геохимических процессов.

Геохимические фазы – отдельные территориальные отрезки физико-химических процессов охлаждения магматических расплавов и их дериватов.

Геохимические фаши – часть земной поверхности, которая обладает одинаковыми физико-химическими и геохимическими условиями накопления и формирования осадочных пород.

С появлением новой информации классификационные признаки и таксономические единицы для районирования изменяются. Каждый автор стремится привнести что-либо новое и оригинальное. В результате при аналитическом сравнении таксонов в историческом аспекте иногда с трудом удается найти общие черты районирования.

А.А. Смыслов и др., при проведении региональной геохимической зональности территории СССР использовал следующие таксономические единицы: мегаблоки, пояса, провинции, области и зоны.

Мегаблоки имеют субмеридиональное простирание и отличаются геохимической специализацией. Например, Казахстанско-Западносибирский салыческий мегаблок литофильной и халькофильной специализации.

Геохимические пояса – участки рудной специализации, например, Енисейско-Кызылкумский железорудный пояс.

В пределах пояса выделяется *провинция* – участки сингенетической, эпигенетической экзогенной аккумуляции ведущих, преимущественно литофильных элементов.

Область – участки со своей характерной геохимической специализацией (сидерофильной, халькофильной, литофильной).

Зоны выделяются по активизации, связанной с орогенными участками: зоны активизированных окраин и платформ с определенной геохимической специализацией; суборогенные зоны с халькофильно-литофильной специализацией; зоны краевых прогибов; зоны глубинных разломов и т.д.

Если территориальные единицы иногда выделяются по негеохимическим признакам, то их характеристика основана на специфических геохимических показателях. Геохимическое районирование требует дальнейшего развития и совершенствования.

4. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОХИМИЯ

Рассмотренные общие закономерности миграции, концентрации и рассеяния химических элементов в гипо- и гипергенной зонах позволяют лучше понять особенности миграции и концентрации элементов в отдельных регионах. Для нас представляет интерес геохимия Беларуси (запад Восточно-Европейской платформы), ее исторический аспект и современное состояние. На основе накопленной геохимической информации научно-исследовательскими и практическими геологическими организациями Беларуси приводим обобщенную информацию по имеющимся в нашем распоряжении материалам (Геология Беларуси, 2001 и др.).

4.1. Особенности геологического строения Беларуси и его влияние на концентрирование химических элементов

Внутренняя структура фундамента Беларуси была создана в процессе трансформации первичной океанической коры в континентальную. В формировании структур фундамента выделено три этапа: *протоокеанический (раннеархейский)*, *переходный (позднеархейско-раннепротерозойский)* и *континентальный (раннепротерозойской)*, которые отличаются закономерностями концентрации химических элементов.

В *протоокеанический этап* накапливались мощные базитовые и пелитовые серии пород, которые под действием метаморфизма в условиях гранулитовой фации превратились в гранулит-базитовые и гранулит-гнейсовые метаморфические комплексы с локальными проявлениями гранитоидного метаморфизма. Валовой химический состав соответствует базальту с региональной геохимической специализацией базитовых комплексов на железо, титан, ванадий, скандий и обедненность их хромом и никелем.

Переходный этап характеризуется существенной ролью тангенциальных, в основном, сжимающих напряжений. Образовались сложные структуры гранулитового пояса с мощными зонами бластомилолитов. Геодинамические обстановки разнообразны. Метаморфические и магматические породы обусловили возникновение различных по составу и генезису рудопроявлений. Специализированная на железо первоначальная порода предопределила концентрацию железорудных скоплений (Околовские железистые кварциты, Новоселковские ильменит-магнетиты габбро-норитовой формации). С вулканогенно-крем-

нисто-железистой формацией связываются сульфидные концентрации. В конце переходного этапа внедрялись гранитоиды (жуховичский, выгоновский и бобовнянский комплексы). В их экзоконтактах формировались зоны грейзенизации, скарнирования с повышенным содержанием вольфрама, олова и других металлов.

Для переходного этапа характерно формирование Центрально-Белорусского прогиба с накоплением терригенных, эффузивно-терригенных и кремнисто-вулканогенных отложений. Эндогенные процессы протекали, в основном, в его западной части.

Континентальный этап характеризуется глыбовыми тектоническими движениями, которые привели к усложнению структур. Образовались суперрегиональные глубинные разломы и зоны интенсивного проявления корового гранитоидного интрузивного и меньше эффузивного магматизма. Формировались магматические комплексы с редкометальной и редкоземельной геохимической специализацией (габбро-анортозит-рапакиви-гранитная, субщелочные калиевые граниты, оливин-долеритовая, щелочные габброиды и сиениты). Протекали процессы щелочного метасоматоза с концентрацией ряда элементов вдоль зон разломов. Отмечены геохимические признаки обнаружения редких металлов в пределах шеелит-скарновой и медно-молибденовой формации, которые приурочены к субщелочным гранитоидам мостовского комплекса и ильменит-апатитового оруденения в субщелочных габброидах. Внедрялись интрузии габбро-гипербазитов со специализацией на медь, никель, платиноиды и золото.

Изученность большинства комплексов фундамента Беларуси недостаточная, возможна их металлогеническая специализация.

На континентальном этапе было завершено формирование внутренней структуры кристаллического фундамента. На всей территории установился *платформенный геохимический режим*, в котором выделяются *готский, ранне- и позднебайкальский, каледонский, герцинский и киммерийско-альпийский этап развития*.

Раннебайкальский этап (средний рифей – ранний венд) в тектоническом отношении представлен внутриконтинентальным рифтогенезом и формированием Волыно-Оршанского палеопрогиба, который пересекает Беларусь с юго-запада на северо-восток полосой шириной 200км. Сформировалась Оршанская впадина. Вероятно выделение здесь карбонатитового и кимберлитового магматизма. В пределах бортовых частей прогиба предполагается обнаружение концентрации редких элементов. В Оршанской впадине возможна концентрация нефтегазоносных толщ.

На позднебайкальском этапе (поздний венд-ранний кембрий) образовалась толща мощностью около 300 м вулканогенной трапповой и вулканогенно-осадочной формации волынской серии на юго-западе Беларуси с концентрацией меди, возможно золота. В Кобринско-Могилевском палеопрогибе существовал морской бассейн.

В *каледонский этап* (кембрий, ранний девон) с большей части территории Беларуси происходил снос веществ, за исключением опускающейся западной части. С осадками этой части впадины связываются перспективы невысокой нефтегазоносности. Ордовик оставил маломощные отложения с единичными прослоями горючих сланцев и фосфоритов.

Герцинский этап (средний девон – средний триас) характеризуется формированием Припятского прогиба на протяжении позднего девона. В карбоне, перми и раннем триасе завершалось формирование прогиба, в котором образовались нефтеносные области, крупные соленосные и сланценозные бассейны. С осадками рифтовой стадии развития связаны давсонит-бокситовое оруденение, региональная угленосность каменноугольных отложений, промышленные рассолы.

В пределах Северо-Припятского плеча и Жлобинской седловины установлено проявление кимберлит-пикритового магматизма на уровне речичского горизонта франского яруса (Никитин, Дроздов, Штефан и др., 1997). Однако они могут быть не перспективны в отношении алмазоносности (Веретенников и др., 1997).

На заключительном этапе (поздняя пермь – средний триас) развития Припятского прогиба накапливалась молассоидная пестроцветная формация.

За пределами Припятского прогиба и Брестской впадины в герцинский этап отлагались терригенные и карбонатные фации с ресурсами подземных вод. Развивалась Белорусская антеклиза – обособленная положительная структура.

Киммерийско-альпийский этап (поздний триас) характеризуется прогибанием Припятско-Днепровской синеклизы вплоть до линии Молодечно – Орша. В позднем триасе происходило общее поднятие территории Беларуси, поэтому осадконакопление характерно для ее южной части (средняя юра). С озерными и мелководно-морскими осадками средней юры связаны залежи бурых углей в западной части Припятского прогиба.

Максимальная трансгрессия моря достигла в меловой период. С мелководными отложениями связано осаждение кварцево-глауконитовых осадков.

товых песков, фосфоритов. В позднемеловую трансгрессию отлагался писчий мел, иногда – силициты.

Начиная с палеогена поверхность Беларуси приподнимается выше уровня моря. Отложения мезозоя размываются и деформируются. В дальнейшем в палеогене происходят периодически погружения и поднятия, трансгрессии и регрессии с образованием мелководных бассейнов, в которых встречаются отложения фосфоритов, глауконитовых песков и проявления янтаря.

В позднем олигоцене юг Беларуси испытывает подъем и в дальнейшем не покрывается морем, за исключением небольших прогибаний, в которых встречаются песчано-глинистые толщи с угольными пластами и глинистые толщи в озерных водоемах.

Геоморфологические и климатические условия четвертичного периода обеспечили формирование отложений торфа, гравия, песка, глин, вторичных отложений мела, пресноводной извести, сапропелей.

Таким образом, геологическое развитие территории Беларуси обусловило многократные периоды осадконакопления и корообразования, формирование фундамента и осадочного чехла, что способствовало локальной концентрации основных, редких и рассеянных элементов иногда в виде промышленного рудопроявления и нефтегазонасности. Это обязывает изучение геохимии состава пород в геологическом времени.

4.2. Геохимия кристаллического фундамента

Кристаллический фундамент вскрыт более 4500 скважинами, которые пробурены неравномерно. Единичные скважины имеются на востоке и северо-востоке. На основании изучения скважин установлена сложность строения глубокометаморфизированных пород, которые подверглись интенсивной ультраметаморфической переработке в минералы, структуры, текстуры и обновленный химический состав.

Архейская щучинская серия слагает практически весь фундамент Беларуси, а нижнепротерозойская оковская и житковичская серия – небольшие площади соответственно в центре и на юге Беларуси. Гнейсовые толщи амфиболитовой фации имеются в центре республики, базальты и кислые породы – по профилю Гродно–Старобин.

По Г.Г. Доминиковскому (1978), архей представлен метаморфическими (кристаллосланцы и гнейсы) и магматическими (граниты, габбро-нориты) образованиями. В верхнем протерозое метаморфические образования оковской серии состоят из гнейсов и сланцев, а

магматические – из гранитов и габбро. В среднем протерозое обнаружена магматическая гранодиоритовая формация и в песковском комплексе – габбро, габбро-анортозиты, габбро-диабазы, диабазы и микроклиновые граниты. В верхнем протерозое также отмечены кварцитопесчаники и кварцевые порфиры.

Главные разновидности пород основного состава заборской толщи щучинской серии характеризуются следующими основными геохимическими особенностями (Геология Беларуси, 2001): содержание SiO_2 составляет 39,13–49,67 %, MnO – 0,16–0,36, K_2O – 0,33–1,29, P_2O_5 – 0,16–1,01, повышенное количество TiO_2 (1,33–3,76), Al_2O_3 (10,83–14,51), FeO (8,37–15,72), CaO (8,14–10,22), MgO (2,60–7,49), Na_2O (1,61–3,11 %). Закись железа FeO преобладает над оксидом Fe_2O_3 (3,35–12,11 %).

Среднее содержание микроэлементов в заборской толще распределяется следующим образом: близкие величины к кларку характерны для Cr , Ni , Pb , Mo , Sn , Ga , Sr , Zr , Y , Yb ; выше кларка содержание V , Co , Sc , Cu , Zn ; ниже кларка земной коры количество Ti , Ba , Be , Nb , La .

В гнейсах литвинской толщи щучинской и кулажинской серии химические элементы по содержанию близки к кислым породам: повышено количество SiO_2 (49,02–71,76 %), Al_2O_3 (12,66–19,84), K_2O (1,23–4,79), P_2O_5 (0,09–3,4), меньше, чем в основных породах, TiO_2 (0,36–1,49), Fe_2O_3 (0,72–4,07), FeO (1,67–8,60), MnO (0,02–0,20), MgO (1,07–5,33), CaO (1,21–6,16), содержание Na_2O примерно одинаковое (2,07–3,65 %).

Микроэлементы в гнейсах литвинской толщи практически мало чем отличаются по величине от кларка (V , Cr , Sc , Cu , Pb , Zn , Mo , Sn , Ga , Sr , Be , Zr , Nb , Y , Yb), повышено содержание Co , Ba , La , ниже кларка – Ni .

В рудьянской толще нижнего архея вскрыты метаморфические породы, представленные кристаллическими сланцами, гнейсами, кварцитами, мрамором. Особенности их химического состава следующие. Мрамор, кальцифиры, магнезиально-кальциевые метасоматиты выделяются низким содержанием петрогенных элементов, за исключением кальция и магния: SiO_2 (2,60–51,29 %), TiO_2 (0,03–0,38), Al_2O_3 (0,30–5,64), Fe_2O_3 (0,40–1,15), FeO (0,49–1,93), MnO (0,04–0,10), Na_2O (0,20–1,05), K_2O (0,06–0,22), P_2O_5 (0,01–0,08), MgO (2,07–16,64), CaO (25,15–51,62 %). Максимальные величины петрогенных элементов у кальцифиров и магнезиально-кальциевых метасоматитов. В гнейсах петрогенные элементы в количественном отношении при-

ближаются к породам кислого и основного состава, занимая промежуточное положение между ними по отдельным элементам.

Распределение микроэлементов в гнейсах рудмянской толщи следующее: большинство элементов в количественном отношении приближается к кларковой величине при более высоком содержании *Co* и низком – *Ni, Sr, Be, Zr, Nb*. В карбонатно-мраморных породах концентрируется *Co*, близко к кларку количество *Mo, Sn, Sr*, остальные элементы (*V, Cr, Ni, Sc, Cu, Pb, Zn, Ba, Be, Zr, Nb, Y, Yb*) имеют величины значительно меньше их кларков.

В нижнем протерозое житковичской серии сланцы люденевичской свиты представляют собой непрерывный ряд пород с содержанием SiO_2 54–97%. Преобладает закисное железо над окисным при низком содержании Na_2O и CaO . По мере увеличения кремнекислотности пород в них наблюдается снижение содержания микроэлементов.

Кожановичская свита житковичской серии нижнего протерозоя представлена дацитами, трахидацитами, риодацитами и риолитами. По химическому составу эти породы занимают промежуточное положение между известняково-щелочной и субщелочной сериями пород калиево-натриевого ряда. Они обогащены *Ba* (0,24%) и обеднены *V, Cr, Ni, Cu*. По мере возрастания SiO_2 в породах увеличивается щелочность за счет K_2O и резко снижается содержание *Mg, Ca, Zr, Sn, Mo, PЗЭ*.

Кварцитовидные песчаники белевской свиты нижнего протерозоя по химическому составу отличаются более высоким содержанием SiO_2 (88–94%), Al_2O_3 (1–5), суммарного железа ($Fe^{3+} + Fe^{2+}$ 1–5%), остальные петрогенные элементы в сумме не превышают 1,4–1,6%. В них отмечено повышенное количество *Co* (10 г/т), *Cu* (40), *Pb* (30), *Sn* (3,7), *Zr*(300), *Y* (50), *Yb* (4,5), *La* (65г/т) за счет обогащенности пород обломочными минералами циркона, монацита, сульфидов.

Верхнепротерозойские отложения занимают около 85% территории Беларуси и представляют собой терригенные, вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи мощностью 1000–1300м, расположенные на кристаллическом фундаменте. Их относят к платформенным образованиям, продолжением которых являются палеозойские, мезозойские и кайнозойские отложения.

По исследованиям и обобщениям В.Е. Бордона (1978), кристаллический фундамент Беларуси в геохимическом отношении детально изучался, начиная с 1953г. В нем выделены кислые, основные и средние породы.

Кислые породы, по сравнению с аналогичными породами литосферы, удерживают больше *Ni, Co, V, Cr, Pb, Mo, W, Nb, Ta, Ag, Ge, La, Yb, Ga, Sc, Ce, Sb*; средние породы относительно обогащены *Co, Mo, Ag, Ge, La, Yb, Ga, Sc, Ce, P, Sb*; для основных пород характерны *Co, W, Ag, Ge, La, Ga, Be, Sn, P, Sb*. Это обогащение в пределах кларка, однако, оно оказывает влияние на геохимические особенности и специализацию осадочных пород, образовавшихся в значительной степени при разрушении кристаллического фундамента.

Фоновое содержание макро- и микроэлементов в главных типах пород гнейсово-мигматитовых комплексов кристаллического фундамента Беларуси приведено в работе А.А. Архиповой (1997) (табл. 4.1).

Рассчитанный фон метаморфических пород среднего и кислого состава раннего докембрия сопоставим с кларком пород по А.П. Виноградову, но с более высоким содержанием *Sc*, низким *Sr* (средние породы) и *Be* (кислые породы).

Таблица 4.1

Среднефоновое содержание петрогенных оксидов (масс. %) и микроэлементов (г/т) в главных типах пород гнейсово-мигматитовых комплексов фундамента Беларуси (А.А.Архипова, 1997)

Оксиды, микро- элементы	Гнейсы среднего состава			Породы кислого состава		
	бедные <i>Ca</i>	богатые <i>Ca</i>	бедные + богатые <i>Ca</i>	гнейсы	мигматиты амфиболитовой фации	гнейсы + мигматиты
% <i>SiO₂</i>	62,85	59,54	61,23	71,43	71,15	71,25
<i>TiO₂</i>	0,73	0,97	0,85	0,38	0,36	0,37
<i>Al₂O₃</i>	15,75	15,33	15,55	12,98	13,48	13,30
<i>Fe₂O₃</i>	2,25	2,46	2,35	1,76	1,56	1,63
<i>FeO</i>	4,51	5,64	5,07	2,48	1,31	1,74
<i>MnO</i>	0,09	0,10	0,09	0,05	0,04	0,04
<i>MgO</i>	2,73	3,11	2,92	1,58	0,86	1,12
<i>CaO</i>	2,94	5,51	4,20	2,14	1,45	1,70
<i>Na₂O</i>	3,24	4,07	3,65	3,22	2,78	2,94
<i>K₂O</i>	2,71	1,21	1,97	2,68	5,83	4,68
<i>P₂O₅</i>	0,23	0,34	0,28	0,17	0,17	0,17
П.п.п.	1,60	1,44	1,52	0,96	0,79	0,85
К-во проб	182	175	357	109	189	298
<i>г/т V</i>	88	140	110	60	45	52
<i>Cr</i>	55	70	60	43	15	28
<i>Ni</i>	30	34	31	20	12	16
<i>Co</i>	18	27	21	12	8,2	9,8

Оксиды, микро- элемен- ты	Гнейсы среднего состава			Породы кислого состава		
	бедные Са	богатые Са	бедные + бога- тые Са	гнейсы	мигмати- ты амфи- болитовой фации	гнейсы + мигма- титы
Sc	16	25	19	9,4	9,1	9,2
Cu	37	45	40	26	40	33
Pb	16	9,6	14	13	28	21
Zn	70	100	82	51	38	44
Mo	1,5	1,8	1,6	1,6	1,3	1,4
Sn	3,5	3,1	3,4	3,0	3,5	3,3
Ga	20	19	20	18	21	20
Sr	290	350	310	380	370	370
Ba	810	380	660	890	1900	1400
Be	1,7	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8
Zr	215	190	200	200	190	190
Nb	15	12	14	15	15	15
Y	29	29	29	25	25	25
Yb	3	2,7	2,9	2,7	3,1	2,9
La	59	78	65	68	56	53
К-во проб	386	211	597	245	292	537

4.3. Геохимия древней коры выветривания и осадочных пород Беларуси

4.3.1. Кора выветривания запада Восточно-Европейской платформы

Кора выветривания, развитая на породах кристаллического фундамента. С древней корой выветривания связаны месторождениями первичных и вторичных каолинов, бокситовая минерализация, проявление железных руд, повышенное содержание ряда химических элементов, россыпные концентрации ценных минералов. Вещественный состав и геохимические особенности коры выветривания исследовались под руководством А.С. Махнача, Н.Н. Левых (1973), Н.Н. Левых (1999). На территории Беларуси (запада Восточно-Европейской платформы) известны коры выветривания, развитые на породах кристаллического фундамента в пределах различных тектонических структур и отдельных горизонтах платформенного чехла: докембрийские, раннекембрийские, предсреднедевонские, предпоздне- и позднедевонские, каменноугольные, мезозойские и кайнозойские. Они представлены, в основном, остаточными образованиями,

верхние горизонты которых уничтожены денудационными процессами, и полигенетичны из-за преобразования на более поздних этапах под толщами осадочных пород. В процессе выветривания происходит дезинтеграция пород материнского субстрата с перераспределением химических элементов, в результате которого возможна концентрация ценных элементов и минералов. Происходит интенсивный вынос *Na*, *Ca*, *Mg*, *K*.

Коры выветривания в процессе преобразования обогащаются глинистыми минералами: латериты, гиббсит-каолиновая минерализация, каолин, бокситы. Наиболее мощные коры на западе и юге Беларуси, где тектонические условия благоприятствовали их сохранности.

Процессы выветривания приводят к окислению железа и его накоплению в виде рудопроявления с содержанием до 50 % *Fe*. Отмечены повышенные и аномальные содержания *Ti*, *V*, *Ni*, *Co*, *Zr*, *Y*, *La*. Например, коры выветривания Микашевичско-Житковичского выступа достигают местами до 300 г/т иттрия и до 200 г/т лантана.

В пределах Белорусского массива имеются предпосылки для концентрирования россыпных ильменита, лейкоксена, рутила, циркона. На юге Беларуси возможно выявление оловянных и комплексных олово-редкометалльных россыпей (бассейн р. Уборть с мезозойской корой выветривания).

Коры выветривания кристаллического фундамента обладают коллекторскими свойствами. В ряде районов Беларуси к ним приурочены пресные и минерализованные воды с мощностью водоносного горизонта в несколько десятков метров. По химическому составу пресные воды преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые с минерализацией 0,2–0,4 г/л.

Коры выветривания, развитые на породах платформенного чехла. На осадочных породах они выражены слабее, чем на кристаллическом фундаменте, так как материнский субстрат сложен преимущественно продуктами разрушения выветрелых пород фундамента, в которых отдельные соединения находятся в термодинамическом равновесии с обстановкой гипергенеза.

Породы платформенного чехла коры содержат преимущественно каолинит с высокоокристаллизованными разностями, по сравнению с породами материнского субстрата (песчаники, алевролиты, глины, известняки, доломиты, мергели, базальты, нефелиниты, лейцититы, эффузивы трахидацитового состава). На породах вулканогенной толщи елецкого горизонта верхнего девона формировался монтмориллонит, темноцветные минералы замещаются карбонатами. Слабо

выветриваются породы карбонатного состава – известняки, доломиты, мергели.

Коры выветривания платформенного чехла перспективны на алюминий, являются источником формирования россыпных концентраций ильменита, магнетита, лейкоксена. В отдельных случаях концентрация тяжелых минералов достигает 5-8 % от всей породы.

4.3.2. Геохимия осадочных пород

Геохимия и металлоносность осадочного чехла Беларуси рассмотрена в монографии В.Е. Бордона (1997). В пределах республики выделено пять основных этапов осадкообразования:

- доордовикский (рифей, венд, кембрий) – первая фаза накопления терригенного материала;
- ордовикско-каменноугольный – первая максимальная фаза карбонатакопления;
- пермско-среднеюрский – вторая фаза накопления терригенного материала;
- верхнеюрско-нижнепалеогеновый – вторая фаза карбонатообразования;
- среднепалеогеново-неогеновый – третья фаза накопления терригенного материала.

В платформенном чехле республики 24,5% занимают карбонатные отложения, 20,7 – глинистые, 34,7 – песчано-алевритовые, 14,8% – отложения солей.

По В.Е. Бордон, Л.И. Матрунчик (1990), геохимическая модель осадочного чехла Беларуси представлена в табл. 4.2.

Содержание элементов в осадочной толще колеблется в широких пределах. По сравнению с фундаментом, наблюдается более высокое содержание *Cu, Ti, V, Mn, Ga, Zr, Ba, Pb* и дефицит *Ni, Co, Be, Cr, Sr, Y, Yb*.

В осадочной оболочке выделены три группы пород по концентрации химических элементов:

- карбонатные – *Ca, Mg, S, P*;
- глинистые – *Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Ga, Sr, Pb, Al, Fe, K, Na*;
- песчано-алевритовые отложения – *Li, Be, Y, Rb, Zr, Ba, Yb, Hg, Si*.

Кембрийские отложения в своем составе включают глауконит, фосфаты, пирит, доломит, кальцит, сидерит, гипс, барит, преобразованные слюдистые минералы (А.А. Махнач, 1989; В.И. Абраменко,

Таблица 4.2

**Геохимическая модель осадочного чехла Беларуси
(В.Е. Бордон, Л.И. Матрунчик, 1990)**

Порода	Осадки в бассейнах седиментации	Генезис	Главные минералы	Петрогенные элементы	Минералогенные элементы	Наиболее распространенные микроэлементы	Объем от общей массы пород, %
Песчаники и алевролиты	пески, алевролиты	кластические осадки	кварц, полевые шпаты темноцветные	<i>Si</i>	<i>Ti, Zr, Sn, Cu, Fe</i>	<i>Zr, Ba, Li</i>	34,7
Глины и сланцы	глинистые илы	то же	глинистые минералы, кварц, полевые шпаты	<i>K, Na, Al</i>	<i>Cu, Fe</i>	<i>V, Mn, Cu, Ti, Ga</i>	20,7
Карбонаты	известковые и доломитовые илы, рифы	биохимические, неорганические, кластические осадки	кальцит, доломит	<i>Ca, Mg</i>	<i>Cu, Pb</i>	<i>Sr, P, S</i>	24,5
Эвапориты	соли	осаждения из пересыщенных растворов	галит, сильвинит, гипс, ангидриты	<i>K, Na</i>	<i>K, Na</i>	–	15,4
Конгломераты, тиллиты	гравий, галечник, валуны	кластические осадки	обломки пород, кварц, полевой шпат	<i>Si</i>	–	<i>Zr, Ti, Cu</i>	2,1

1990). Отмечается диагенетическая и катагенетическая регенерация кварца и полевых шпатов. Слюды подвергались гидратации и выщелачиванию. Фосфатная минерализация незначительная. На северо-западе, где развиты сульфатные отложения присутствует катагенетическая гипсовая минерализация. Баритовый цемент имеется на северо-западе и юго-западе Беларуси.

Ордовикские карбонатные отложения включают гипс почти во всех горизонтах, образования которого связано с эвапоритовыми растворами, фильтровавшимися сверху из среднедевонского бассейна галогенеза. среднего девона условиями обитания мелководного бентоса и постседиментацией.

Девонские отложения формировались в процессе седиментогенеза (сингенеза). Вещественный состав отложений разнообразный как и большой диапазон условий залегания.

В Припятском прогибе представлены отложения:

- карбонатные и карбонатно-глинистые подсолевые и межсолевые отложения;
- терригенные подсолевые и межсолевые отложения;
- соленосные отложения и их фациальные аналоги;
- надсолевые отложения.

Формирование этих отложений происходило под влиянием диагенеза, геостатического уплотнения, постдиагенетической перекристаллизации различных морфологических типов, трещинообразования (диагенетических и тектонических трещин), выщелачивания, доломитизации, катагенетической минерализации в порах, трещинах, кавернах и гнездах, сульфатной минерализации в известняках, аргиллитах, туфах и туффитах, галогенеза. Галитовая минерализация встречается на разных стратиграфических уровнях межсолевого комплекса и практически во всех горизонтах девонских подсолевых отложений. Ее формирование обусловлено деятельностью рассолов верхней и нижней соленосных толщ.

Терригенные породы подвергнуты постседиментационным изменениям с образованием аутигенных цементов, трансформировались полевые шпаты, биотит, незначительно изменены кварц и мусковит.

Глинистые минералы подвержены каолинитизации и гидрослюдизации.

В подсолевой и надсолевой толще формировались карбонатный, сульфатный и галитовый цементы. Среди межсолевых и подсолевых песчаников встречаются галитовый цемент, доломит и ангидрит.

Соленосные породы отличаются высокой растворимостью. Галогенные осадки изначально высоко обводнены (каменная соль, сильвинит, карналлит и прослой карбонатов, сульфатов и соляных глин – галопелитов). На диагенетической стадии происходила перекристаллизация галогенных пород, особенно солей галита. Рассеянная разгрузка менее минерализованных рассолов из уплотняющихся галопелитовых и галитовых горизонтов в сильвинитовые и карналлитовые пласты приводила к замещению сильвина и карналлита галитом, карналлита сильвином.

Для Припятского прогиба характерно выщелачивание солей водами зоны активного водообмена. Вначале выносятся $CaCl_2$, $MgCl_2$, затем KCl и в конце $NaCl$. При выщелачивании карналлита удаляется $MgCl_2$ и образуется сильвин.

В надсолевых отложениях широко развита гипсовая минерализация. Зафиксирована известковая цементация в песчаниках и гравелитах. Отмечена барит-целестиновая минерализация в глинисто-карбонатных породах.

За пределами Припятского прогиба (Белорусская антеклиза, Оршанская впадина, Латвийская и Жлобинская седловина) нижне-среднедевонская толща представлена карбонатными породами, в которых преобладают минералы – кальций и гипс. Кальцит сформировался при значительном участии пресных подземных вод. Гипсовый цемент оолитовых доломитов поровый, реже базальный. В породах городокского горизонта среди гипса и кальцита иногда встречаются пирит, марказит, сфалерит, галенит, халькопирит, барит и кварц.

Верхнедевонская толща за пределами Припятского прогиба сложена доломитами, в меньшей степени доломитовыми известняками. Взаимоотношение доломитовых кристаллов с продуктами окисления сульфидов указывает на то, что доломитизация осуществлялась в окислительных условиях. Иногда в карбонатных породах проявляются следы дедоломитизации и кальцитообразования. Доломитовые породы содержат карстовые пустоты с образованием доломитовой муки.

Каменноугольные отложения имеют сложное строение, залегание и полифазный состав. Наиболее полно изучены давсонитовая минерализация, зоны пластового окисления и конкреции пирита.

По количественным соотношениям минералов глинозема выделены в разрезе чередующиеся породы: давсониты, бокситы и глины. В породах с давсонитовой минерализацией встречаются новообразования кальцита, доломита, сидерита, гематита, гетита, пирита и др.

В песчано-алевритовых отложениях, перекрывающих пласты угля, широко развиты процессы пластового окисления, которые способны обеспечить формирование концентраций химических элементов с переменной валентностью. На отдельных участках угленосных отложений с пластово-инфильтрационными процессами связаны повышенные концентрации редкоземельных элементов, *U*, *Th*, *Be* и *Mo*.

В угленосных отложениях бобриковского горизонта Лельчицкой площади отмечаются конкреции пирита, содержание серы в углях достигает 1,5–3,5 %. Изотопный состав серы (^{34}S 19,4–9,3 ‰) указывает на формирование пирита под действием морской воды, насыщающей торфяные залежи, в результате сульфат-редукции.

Юрские отложения в Припятском прогибе угленосные. Терригенные материалы представлены рыхлыми песками, слабоуплотненными песчаниками и алевролитами, глинами, цеолитными песчаниками, крепко сцементированным глинисто-карбонатным веществом песчано-алевритовыми породами. Основой формирования бурого угля послужил торф.

Меловые отложения представлены пясчим мелом всех ярусов с включением желваков кремня. Преобразованная минеральная форма кремня трансформируется в кварц.

Процесс образования кремния протекал в диагенезе с включением скелетов кремневых губок, радиолярий и диатомей, карбонатных раковин. После регрессии моря желваки разрушались, карбонаты растворялись в условиях слабощелочной реакции среды.

Отложения *палеогена* представлены преимущественно на юге Беларуси. Сводный стратиграфический разрез, составленный Л.И. Мурашко, указывает на распространение в палеоцене разнообразных отложений: опок, глин и песков с гравием кварца, кремния и фосфоритов в основании. В эоцене преобладают пески и алевроиты глауконитово-кварцево-слюдистые с прослоями мергеля. В олигоцене отложения включают глины, алевроит, скопления угля и железистого песка, местами песчаника.

Неогеновая система изучена на разрозненных островных участках на юге и западе Беларуси.

В миоцене бриневский горизонт характеризуется углистыми песками с прослоями бурых углей, углистыми глинами и алевролитами общей мощностью до 6 м. Вышезалегающие отложения представлены глинами, алевроитами, углистыми черными песками. В плиоцене продолжали накапливаться пески, глины, алевроиты.

Четвертичные отложения вторично слабо преобразованы. Мощность от нескольких до 300 м и более. Наиболее мощные отложения плейстоцена и незначительные – голоцена.

Глинистые минералы формируются в результате вермикулитизации (монтмориллонитизации) слюдистых минералов. Образуются смешаннослойные хлорит-вермикулитовые, гидрослюдисто-вермикулитовые минералы, источниками глиен служат полевые шпаты, слюды, хлориты, амфиболы, пироксены. В полугидроморфных условиях слюда превращается в гидрослюду, затем в монтмориллонит и вермикулит. При выносе растворенного вещества из глинистой фракции в ней увеличивается содержание *Ni, Co, Cr, V, Cu, Ti, Mn, Pb, Zr*.

В четвертичных отложениях Беларуси установлены минеральные образования: бурые оксиды железа, пирит, опал, карбонаты, марганцовистые соединения, фосфаты (вивианит), и редко оксиды титана.

Происходит разрушение первичных минералов. В мелкопесчанистой фракции рыхлого материала с глубины 2 м за 110 тыс. лет разрушилось более 22 % полевых шпатов, 40 – гранатов, 30 – циркона, рутила, турмалина, 70 – метаморфических минералов, 42 – эпидота, 70 – амфиболов, 75 – пироксенов, 70 % лейкоксена.

Для породообразующих элементов в четвертичных отложениях Беларуси рассчитаны региональные кларки на основании анализов выполненных в 1400 образцах пород (табл. 4.3).

Таблица 4.3

**Региональные кларки макроэлементов четвертичных отложений,
(В.Е. Бордон и др., 2003)**

Типы отложений, %	Элементы, %								
	<i>Si</i>	<i>Al</i>	<i>Fe³⁺</i>	<i>Fe³⁺</i>	<i>Mg</i>	<i>Ca</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>S⁶⁺</i>
Моренные (52 %)	31,4	7,1	3,9	0,4	1,2	2,6	0,3	2,5	0,02
Водно-ледниковые (31 %)	37,1	4,6	2,1	0,23	0,36	0,4	0,4	1,2	0,008
Озерно-ледниковые (5 %)	32,0	4,2	2,4	0,23	1,15	2,5	0,3	0,9	0,03
Аллювиальные, эоловые и др. (12 %)	36,4	3,6	1,8	0,16	0,38	1,9	0,5	1,0	0,096
Покровные отложения	34,2	5,4	2,8	0,3	0,8	1,8	0,4	1,6	0,02
Четвертичная толща в целом	33,8	5,8	3,0	0,31	0,84	1,83	0,4	1,8	0,026

Наиболее высокий региональный кларк по Al , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg , Ca , K в моренных отложениях, Si – в водно-ледниковых, аллювиальных и эоловых, S^{6+} – в озерно-ледниковых, Na – в аллювиальных. Покровные отложения и четвертичная толща в целом по содержанию макроэлементов практически сходны.

4.4. Образование полезных ископаемых

Концентрация химических элементов и формирование полезных ископаемых определяется геологическим развитием региона, геохимическими процессами и палеогеографическими условиями в геологическом времени.

Геологические исследования позволили открыть ряд важных полезных ископаемых: строительные материалы и камни, калийные и карбонатные удобрения, нефть, каменная соль, минеральные воды. Установлены ресурсы и запасы бурых углей, горючих сланцев, сапропелей, железных руд, давсонита, редких металлов и высокоминерализованных рассолов. В разведке находятся месторождения железа, гипса, цеолитосодержащих силицитов, открываются перспективы выявления промышленно значимых месторождений фосфоритов, глауконита, пирофиллита, сырья для изготовления минеральных волокон, янтаря, алмазов, редких, цветных и благородных металлов.

4.4.1. Горючие полезные ископаемые

Горючие полезные ископаемые в Беларуси представлены нефтью, бурым углем, горючими сланцами, торфом.

Промышленная нефтеносность установлена в Припятском прогибе. Нефть связана с подсолевыми терригенными, карбонатными, межсолевыми, верхними солевыми отложениями верхнего девона.

Отложения нефти относятся к сапропелевому и смешанному типам. Степень катагенеза органического вещества характеризуется низким уровнем. Состав и свойства нефтей изменяются в широком диапазоне, так как формировались самостоятельно и различаются особенностями исходного вещества, степенью его катагенетической преобразованности и сохранности залежей углеводородов.

Нефть подсолевого карбонатного комплекса по групповому углеводородному составу относится к метановому типу, как и межсолевого комплекса, содержащего меньше парафиновых и больше нафтеновых углеводородов. В подсолевом комплексе содержание серы 0,92–0,19 %, смол – 18,55–6,71, увеличивается выход бензиновых

фракций – 14–28,9 %. В межсолевых отложениях нефть малосернистая (0,09 %), малосмолистая (1,79), имеет высокий выход бензиновых фракций – до 20 %. Однако встречается нефть сернистая (1,13 %), смолистая (23), с низким выходом бензиновых фракций (11 %).

Угленосные формации в Беларуси связаны с континентальными отложениями неогена, палеогена, средней юры и карбона.

Палеогеновые и неогеновые континентальные угленосные отложения широко развиты в южной части на территории Припятского прогиба, Полесской седловины и Брестской впадины. Буроугольную формацию слагают аллювиальные болотные и озерные отложения. Исходный материал формировался в условиях обводненных пойменных торфяных болот различной степени проточности, реже – в условиях зарастания озер.

Зольность углей палеоген-неогена колеблется от 7,7 до 45,0 %. Выход летучих веществ для залежи в среднем составляет 55,3 %, безводной смолы 2,8–21,8 %. Массовая доля серы колеблется от 0,2 до 3,9 %, горного воска (бензолного битума) – от следов до 8,5, смолистых веществ – от 20 до 46, гуминовых кислот – от 54,9 до 88,3 %.

Среднеюрская буроугольная формация развита в пределах Припятского прогиба. Мощность изменяется от 10 до 250 м при глубине залегания 60–500 м. Зольность повышена (26,5–42,0 %), влажность – 18,1 %, сернистость – 0,8–3,1 %. Выход летучих веществ на горючую массу составляет 40,6–67,9 %. Содержание гуминовых кислот – 24,3–48,4, смол полукоксования – 1,7–4,3, битума 1,5–5,7, углерода на горючую массу – 63,2–74,0, водорода – 3,4–5,3 %.

Каменноугольные угленосные отложения Припятского прогиба содержат гумусовые угли, образовавшиеся из остатков высших растений, и сапропелево-гумусовые, в составе которых значительную роль играли водоросли. Глубина залегания пластов 287–900 м и более, влажность углей – 5–10 %, средняя зольность – 24–34 %, содержание серы 1,0–3,5 % и более.

Горючие сланцы в Припятском прогибе имеют глубину залегания 50–600 м (Любанское и Туровское месторождения) и приурочены к верхнему девону-нижнему карбону. В Любанском месторождении содержание CO₂ 4,9–16,7 %, серы – 2,1, зольность – 66,4–77,0, выход смолы – 8,2–11,1 %. В других отложениях эти величины имеют большие или меньшие значения.

Торфяных месторождений в Беларуси 9192 с первоначальными запасами торфа 5,7 млрд т. Наиболее широкое распространение болотообразовательных процессов было характерно для атлантиче-

ского периода (4400–8000 лет назад). В структуре геологических запасов торфа низинный тип составляет 54,5, переходный – 7,3, верховой – 38,3 %. Содержание углерода в торфе 45,4–61,7 %. В составе торфяного фонда имеются запасы ценных видов сырья: битуминозного, гидролизного (сфагнового), грязелечебного.

4.4.2. Металлические полезные ископаемые

В кристаллическом фундаменте Беларуси выявлены рудопроявления трех генетических классов: метаморфогенного, магматогенного и гидротермального. Докембрийские месторождения и рудопроявления представлены сложными полихронными и полигенными образованиями. Систематика рудопроявлений представлена в табл. 27 и основана на главной рудоносной фазе. В самостоятельные рудные формации выделены рудопроявления поздних фаз регенерации, которые оторваны во времени от главной и связаны с иными геодинамическими обстановками.

С кристаллическим фундаментом Беларуси связаны полезные ископаемые *Fe, Ti, Cu, Pb, Zn, Mo, Be, Au*, редких земель и др. В платформенном чехле, в отложениях нижнего карбона, открыто месторождение боксит-даунсонитовых руд пригодных для производства алюминия и соды. В терригенных глауконитово-кварцевых отложениях палеогена встречается повышенное содержание ильменита, рутила, циркона, которые иногда образуют титано- и циркониеносные россыпи. Установлены признаки меденосности вулканогенно-осадочных отложений волинской серии венда и пестроцветной формации триаса. Телетермальная минерализация сульфидов *Fe, Zn, Pd, Cu, Hg, Mo* отмечается в докайнозойском разрезе большинства структурно-тектонических зон. Отмечена концентрация *Li, Rb, Cs, Sr, Br, I* в водах межсолевого и подсолевого комплексов девона Припятской впадины.

Коллективом исследователей БелНИГРИ и ПО “Белгеология” проведено металлогеническое районирование фундамента с выделением металлогенических и рудных зон разного ранга:

- Западно-Белорусская (Щучинско-Воронянская металлогеническая зона) с рудопроявлением *Fe, Cu, Mo*.
- Кореличская – *Fe, Ti, V*.
- Рудмянская – *Fe*, мрамор, волластонит.
- Околовская – *Fe, Cu, Pb, Zn, Au*.
- Выгоновско-Бобовнянская – редкие элементы.
- Мазурско-Могилевская – редкие элементы, *Pb, Zn, Au*.

- Житковичская –Be, Zr, редкие земли.

Месторождения и проявления железа в дорифейских образованиях относятся к трем формациям в сводовой части Белорусского кристаллического массива: ильменит-магнетитовой, магнетит-кварцитовой и магнетит-эвлизитовой силикатно-магнетитовых руд.

Среди *рудных формаций цветных металлов* кристаллического фундамента в Беларуси выделены следующие (табл. 4.4):

- метаморфические вулканогенно-осадочные – колчедано-полиметаллическая (Рубежовичи), серноколчеданная (Пуховичи, Мир);
- магматические – магнетит-ильменитовая (Новоселки и др.), медно-никелевая (Столбцы);
- постмагматические приконтактные – скарново-магнетитовая (Шинковцы), скарново-медно-молибденовая (Шнипки), шеелит-скарновая (Раевщина, Глушковичи);
- постмагматические гидротермальные – редкометально-пегматитовая (скв. № 138), медно-молибден-порфировая (Скидель, Караневщина);
- метасоматитовая – редкометально-редкоземельная;
- гидротермально-метасоматические зон разломов – сульфидно-полиметаллические проявления (Ельня, Ляцкое), золото-сульфидные;
- проявления цветных металлов в осадочном чехле (меди в ассоциации со свинцом и цинком) – вулканогенно-осадочные породы венда (Столинское, Лунинецкое), медистые песчаники триаса.

Редкие и рассеянные элементы представлены в кристаллическом фундаменте (бериллиево-редкоземельное месторождение Диабазовое), в пунктах минерализации молибдена, редких металлов и редких земель (Караневщинский, Новоселковский), многочисленными геохимическими аномалиями этих металлов и их акцессорной минерализацией. В платформенном чехле выделено несколько площадей с титано-циркониевыми россыпями в морских глауконитово-кварцевых песках и алевролитах палеогена.

Редкометально-пегматитовая формация калиево-натриевого типа кристаллического фундамента встречается среди метаморфитов околоской серии, в которых обнаружено содержание тантала до 30 г/т. В Жуховичском гранитоидном массиве фиксируется тантал (до 0,1 %), бериллий

Таблица 4.4

Рудные формации кристаллического фундамента Беларуси (Полезные ископаемые Беларуси, 2002)

Формации		Вмещающие породы	Метасоматиты	Рудные элементы: <i>главные, сопутствующие (концентрация)</i>	Рудные минера- лы: <i>главные, сопутствующие</i>	Месторо- ждения и проявле- ния
рудная	рудноносная или рудовмещаю- щая					
Класс метаморфогенных рудных формаций						
1. Метаморфические						
Магнетит- эвлизитовая	Кальцифир- кристаллослан- цево- плаггиогнейсовая	Амфибол- пироксеновые и дву- пироксеновые кри- сталлосланцы	Железистые метасо- матиты, эвлизиты	<i>Железо</i> (общее – до 29 %), фосфор (1,2 %), герма- ний (до 20 г/т)	<i>Магнетит,</i> пирротин, гематит	Рудьма, Деревное
2. Метаморфизованные						
Магнетит- кварцитовая	Магнетит- кварцит- амфиболит- плаггиогнейсовая	Амфиболовые, амфи- бол-биотитовые пла- гиогнейсы, амфибо- литы	Железистые метасо- мати-ты с кумминг- тонитом, жедритом, биотитом, скарноиды	<i>Железо</i> (общее – 24–25%), фосфор (0,3 %), сера (0,11 %), золото (до 3,6 г/т)	<i>Магнетит,</i> пирит, пирротин, ильменит, мартит, гематит, апатит	Околов- ское, Ру- бежовичи
Сернокол- чеданная	Магнетит- графит- амфиболит- плаггиогнейсо- вая, сланцево- микрогнейсовая	Амфиболиты, плагги- огнейсы, иногда с графитом, слюдяные сланцы, гнейсо- кварциты	Карбонатно- магнезиально- железистые и крем- неце-лочные метасо- матиты	<i>Железо,</i> сульфиды (до 35 %), медь (до 1 %), цинк (до 1 %), свинец (до 0,5 %), серебро (до 7 г/т), мо- либден (до 0,01 %), олово (до 0,01 %), гра- фит (до 8 %)	<i>Пирит, пирротин,</i> магнетит, халько- пирит, сфалерит, галенит, пентлан- дит, молибденит, графит	Унихово, Мир, Пу- ховщина, Раевщина

Продолжение таблицы 4.4

Формации		Вмещающие породы	Метасоматиты	Рудные элементы: <i>главные, сопутствующие (концентрация)</i>	Рудные минералы: <i>главные, сопутствующие</i>	Месторождения и проявления
рудная	рудноносная или рудовмещающая					
Колчеданно-полиметаллическая	Магнетит-кварцит-амфиболит-плагиогнейсовая	Амфиболиты, амфибол-биотитовые и биотитовые плагиогнейсы	Карбонатно-магнезиально-железистые и кремнеще-лочные метасоматиты с актинолитом, биотитом, клинопироксеном, гранатом, карбонатом	Медь (до 1,2 %), цинк (до 6-10 %), свинец (до 1 %), молибден (до 20–30 г/т), серебро (до 20–30 г/т), золото (до 2 г/т), кадмий, висмут	Халькопирит, сфалерит, галенит, пирит, пирротин, магнетит, марказит, пентландит	Рубежевичи
Класс магматогенных рудных формаций						
1. Магматические						
Медно-никелевая сульфидная	Перидотит-пироксенит-габброноритовая, габбро-долеритовая	Габбро, анортозиты, троктолиты и др.	Серпентин-актинолит-хлоритовые метасоматиты	Медь (0,2–0,8 %), никель (0,1–0,3 %), кобальт (до 0,09 %), свинец (до 0,1 %), вольфрам (до 0,015 %), золото (0,5 г/т), цинк	Пентландит, пирротин, халькопирит, кубанит, магнетит, ковеллин, борнит	Столбцовское, точка минерализации Каме-нецкая
Титано-железорудная ильменит-магнетитовая	Метагаббровая, габбро-диабазовая	Амфиболовые габбро, габброно-риты, габброам-фиболиты, кристалл осланцы	Амфиболлизированные породы	Железо (общее – 16–52 %), титан (2,7 %), ванадий (до 0,066 %), фосфор (до 0,06 %), никель, кобальт, медь	Магнетит, ильменит, пирротин, пирит, пентландит, халькопирит	Новоселковское, Долгиновское, Южное, Большекупское, Щорсы, Кольчицкое,

Продолжение таблицы 4.4

Формации		Вмещающие породы	Метасоматиты	Рудные элементы: <i>главные,</i> сопутствующие (концентрация)	Рудные минералы: <i>главные,</i> сопутствующие	Месторождения и проявления
рудная	рудноносная или рудовмещающая					
						Березовское
2. Постмагматические приконтактовые						
Сульфидно-магнетитовая	Амфиболит-кристаллосланцевая, монцодиорит-гранитовая	Биотитовые и амфибол-биотитовые гнейсы, гранитогнейсы, гранитоиды	Биотизированные породы	<i>Железо (11–26 %), сера (0,5–2,5 %), кобальт (до 0,01 %), цирконий (0,018 %), золото</i>	<i>Магнетит, пирит, пирротин, гематит, халькопирит, марказит</i>	Щинковцы, Шнипки
Медно-молибденовая скарновая	Амфиболит-кристаллосланцевая, монцодиорит-гранитовая	Милонитизированные амфиболовые и гранат-биотитовые гнейсы	Известковистые скарны, кварц-карбонатные прожилки	<i>Медь (до 1,5 %), молибден (до 0,01 %), кобальт (до 0,06 %), серебро (до 22 г/т), вольфрам (до 40 г/т), золото (до 12 г/т), никель, цинк, свинец, олово, ниобий</i>	<i>Халькопирит, молибденит, пирит, пирротин, сфалерит, галенит, халькозин, кобальтин, ковеллин, борнит</i>	Шнипки
Вольфрамовая шеелит-скарновая	Сланцево-микрогнейсовая, мигматит-гранитовая	Плагиогнейсы биотитовые и глиноземистые, амфиболиты, слюдяные сланцы	Известковистые скарны, пропилитоиды, кварц-карбонатные и полевошпатовые прожилки	<i>Вольфрам (до 0,07 %), медь (до 0,2 %), цинк (до 1 %), молибден</i>	<i>Шеелит, самородная медь, куприт, халькопирит, борнит, молибденит, пирит, пирротин, магнетит</i>	Раевщина, Глушкови-чи, точка минерализации Мир
3. Постмагматические гидротермально-метасоматические						

Продолжение таблицы 4.4

Формации		Вмещающие породы	Метасоматиты	Рудные элементы: <i>главные, сопутствующие (концентрация)</i>	Рудные минералы: <i>главные, сопутствующие</i>	Месторождения и проявления
рудная	рудноносная или рудовмещающая					
Медно-молибденовая порфировая	Амфиболито-гнейсовая, гранит-мигматитовая	Амфиболовые и биотит-амфиболовые плагиогнейсы, фанитные прожилки	Кремнещелочные метасоматиты, пропи-литойды	Медь (0,1–1,0 %), молибден (0,02 – 0,20 %), золото (до 0,1 %), серебро	Борнит, халькопирит, молибденит, халькозин, пирит, магнетит	Скидель, Караневщинское
Редкометалло-пегматитовая	Мигматит-плагиогранит-гранитовая	Плагиограниты, пегматиты	Биотитизированные породы	Тантал (до 0,1 %), ниобий (до 0,02%), бериллий (до 0,02 %), олово (до 40 г/т)	Нет свед.	Скв. № 138 Столбцы
Редкометалльных и редкоземельных метасоматитов	Кварцево-сиенит-гранитовая, габбро-сиенитовая	Щелочные лейкограниты	Апогранитные щелочные метасоматиты	<i>Бериллий, редкие земли, цирконий, вольфрам, олово</i>	Гельвинит, бастнезит, лейкофан, фенакит, ксенотим, циркон, ортит	Диабазовое
Класс гидротермально-метасоматических рудных формаций зон разломов						
Сульфидно-полиметаллическая	Разные	Амфиболиты, кристаллосланцы, чарнокитойды	Пропилитойды	<i>Свинец (до 0,3 %), цинк (до 0,9 %), медь (до 0,06 %), золото (до 0,2 г/т), серебро, молибден</i>	<i>Галенит, сфалерит, халькопирит, молибденит, пирит, пирротин, магнетит</i>	Ельня, Ляцкое
Золото-сульфидно-кварцевая	Разные	Амфиболиты, плагиогнейсы, габброиды	Окварцованные, хлоритизированные, карбонатизированные, сульфидизированные породы	<i>Золото (от 0,2–0,6 до 10–15 г/т), мышьяк (до 1 %), серебро (до 7 г/т), кобальт (0,1 %), медь,</i>	<i>Пирит, арсенопирит, халькопирит, пирротин, марказит, леллингит</i>	Унихово, Рубежовичи, Рудьма, Мир, Ра-

Окончание таблицы 4.4

Формации		Вмещающие породы	Метасоматиты	Рудные элементы: <i>главные,</i> сопутствующие (концентрация)	Рудные минералы: <i>главные,</i> сопутствующие	Месторождения и проявления
рудная	рудноносная или рудовмещающая					
				никель, висмут		евщина, Шнип-ки, Ельская площадь
Редкоземельных метасоматитов	Разные	Биотитовые, биотит-амфиболовые плагиогнейсы, гранат-биотитовые кварцитогнейсы	Кремнещелочные кварц-альбитовые с биотитом, хлоритом, серицитом, карбонатом	Церий (0,1–1,0 %), лантан (0,1–1,0 %), <i>ниобий</i> (до 0,1 %), олово (до 80 г/т), скандий (до 0,02 %), бериллий, молибден, золото	Монацит, циркон, ортит, <i>бастнезит</i> , <i>анатаз</i> , турмалин, апатит, пирит, торит, марказит	Шнип-ки, Караневщинское, Новоселковское

Диабазовое месторождение бериллия и редких земель выявлено на глубинах 25–37 м в южной части Беларуси. Рудные тела представляют собой метасоматические образования по диабазам и гранитам мощностью до 8–9 м.

Редкоземельная метасоматическая формация зон разломов встречается в глубинных разломах, секущих древние метаморфические толщи, с комплексной тантал-ниобий-редкометалльно-циркониевой минерализацией. Новоселковское проявление редких земель содержит брекчированные альбиты с аномально высоким содержанием лантана, иттрия, ниобия (до 0,1 %), церия (0,3), скандия (0,2), бериллия (0,002), олова (0,008 %), мощность пород около 9 м.

Караневщинское проявление редких земель в Ляховичском районе на глубине более 424 м содержит монацит до 1,5 кг/т, лантан и церий 0,07–0,20 %. На других глубинах встречается медь (до 300 г/т), молибден (до 50), лантан (до 300), церий (до 500), цинк (до 700 г/т).

Благородные металлы самостоятельных рудных проявлений возможно не образуют. Золотоносность дорифейских пород установлена на Скидельской площади в зоне кварцитов и метасоматитов.

В железорудных формациях золото приурочено к сульфидным или сульфидно-карбонатным фациям (Околовская зона). Спутниками золота являются мышьяк, серебро, ртуть, медь, никель, кобальт. Зафиксированы концентрации золота до 10–15 г/т. Данные по распространению платины и платиноидов отсутствуют.

Боксит-давсонитовое месторождение (Заозерское в Ельском районе) представлено содовым сырьем и рудой на алюминий. Формирование структуры месторождения происходило при проявлении солянокупольной тектоники в каменноугольное время. Бокситовые минералы включают гиббсит, нордстрандит и белит. Сопутствующие минералы представлены сидеритом, кальцитом, доломитом, гематитом, кварцем. Повышенно содержание галлия, лития, ниобия, тантала. Титан образует самостоятельные минералы. Это позволяет отнести руды к комплексным редкометалльно-алюминиево-содовым седиментационно-диагенетического типа.

Кроме Заозерского месторождения в Припятском прогибе установлены три проявления боксит-давсонитовых руд.

Титаново-циркониевые россыпи зарегистрированы в алевролитопесчаной глауконито-кварцевой формации палеогена в пределах Брестской впадины, Микашевичско-Житковичского выступа фундамента Беларуси.

4.4.3. Неметаллические полезные ископаемые

В осадочных отложениях Беларуси обнаружены разнообразные неметаллические ископаемые:

- соли (калийная, калийно-магнезиальная, каменная, гипс и ангидрит);
- агроулучшители и природные сорбенты (доломиты, фосфориты, сапропель, глауконит, цеолитосодержащие силициты);
- промышленное сырье (строительный и облицовочный камень, каолины, пиррофиллит, тугоплавкие и огнеупорные глины, бентонит, пески, диабазы, волластонит, графит, янтарь, кремний);
- строительные материалы (мел, мергель, глинистые породы, строительные пески и гравийно-песчаные породы).

4.4.4. Подземные воды

В Беларуси имеются большие запасы подземных вод: пресные, минеральные, лечебные и промышленные. Это возобновляемые запасы полезных ископаемых. Они постоянно взаимодействуют с горными породами, поверхностными водами и атмосферой. Подземные воды приурочены к породам кристаллического фундамента и осадочным породам.

Верхний гидрогеологический этаж зоны активного водообмена представлен мощным покровом четвертичных отложений. Подземные воды его подразделяются на грунтовые (безнапорные) и межморенные (напорные).

Средний гидрогеологический этаж осадочного чехла формируется магистральными, иногда средними реками, и структурно-геологическим фактором. Движение вод напорное и мало зависит от геоморфологической структуры.

Нижний водонапорный этаж минерализованных вод относится к зоне замедленного водообмена. Местами наблюдается активная гидравлическая связь с водами вышележащих этажей. Это приводит к снижению минерализации подземных вод.

Химический состав пресных подземных вод преимущественно гидрокарбонатно-кальциево-магниевый с минерализацией 0,1–0,6 г/л и повышенным содержанием железа 1,5–3,0 мг/л (ПДК 0,3 мг/л), марганца (до 0,5–0,8 при ПДК 0,1 мг/л). На большей части территории Беларуси химический состав подземных вод не имеет существенного отклонения от природного фона.

Минеральные лечебные воды имеют минерализацию более 1 г/л и делятся на питьевые (лечебные и лечебно-столовые) и бальнеологические (для наружного применения в виде ванн, примочек и т.д.). Лечебные свойства минеральных вод определяются следующими показателями: общая минерализация; ионно-солевой, газовый и микроэлементный состав; терапевтически активные органические вещества; радиоактивность, температура, активная реакция (рН). По ионно-солевому составу, наличию активных ионов и газовому составу минеральные воды подразделяются на классы и подклассы. Основные классы вод следующие: гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные и их комбинации. При отнесении вод к подклассу учитываются ионы, содержащиеся в концентрациях более 20 мг-экв %.

В Беларуси выделяются следующие бальнеологические группы минеральных вод: без специфических компонентов и свойств; сероводородные; бромные и йодо-бромные; железистые и радоновые.

Промышленные воды в Беларуси представлены хлоридными рассолами среди девонских и верхнепротерозойских отложений Припятского прогиба. В них концентрируются *Br*, *I*, *Sr* и редкие щелочные металлы. Выделено до шести типов промышленных рассолов.

Йодо-бромно-редкометаллоносные рассолы хлоридно-кальциево-натриевого и хлоридно-натриево-кальциевого геохимических классов имеют среднюю минерализацию 331 и 360 г/л. Содержание йода составляет 11–95 мг/л, брома – 1407–5370, редких металлов в пределах 636–4002 мг/л.

Хлоридно-магниево-кальциевые рассолы в межсолевом комплексе имеют минерализацию 363–438 г/л с пониженным содержанием йода (11–22 мг/л) и повышенным брома (4,03–6,5 г/л).

Бромно-редкометалльные рассолы удерживают брома 4,6–6,6 г/л, редких металлов – 0,9–2,7 г/л.

Несмотря на разнообразие полезных ископаемых Беларуси затраты на импорт минеральных сырьевых и топливных ресурсов превышают показатели экспорта. Однако недра Беларуси располагают достаточными потенциальными возможностями. Необходимо лишь детальное и систематическое исследование недр республики.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеевко, В.А.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Учебник. Изд. 2-е, переработ. и доп./*В.А. Алексеевко.* – М.: Высшая школа, 2005. – 354 с.
2. *Бордон, В.Е.* Геохимия и металлоносность осадочного чехла Белоруссии/ *В.Е. Бордон.* – Мн.: Наука и техника, 1977. – 216 с..
3. *Бордон, В.Е.* Петрология и геохимия кристаллических пород докембрия Беларуси / *В.Е. Бордон, Е.Т. Ольховик.* – Мн.: Наука и техника, 1977. – С. 148–153
4. *Войткевич, Г.В.* Краткий справочник по геохимии. – М.: Недра, 1974 – 136 с.
5. Геология Беларуси / *А.С. Махнач, Р.Г. Гарецкий, А.В. Матвеев* и др. – Мн.: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с..
6. *Иванов, В.В.* Экологическая геохимия элементов: Справочник. /*В.В. Иванов*– М.: Недра: кн. 1 – 1994; кн. 2 – 1994; кн. 3 – 1996. – М.: Экология: кн. 4 – 1996; кн. 5 – 1997; кн. 6 – 1997. – 304 с.
7. Интерпретация геохимических данных: Учебное пособие / Под ред. *Е.В.Склярова.* – М.: Интернет Инжиниринг, 2001. – 281 с.
8. *Левых, Н.Н.* Коры выветривания запада Восточно-Европейской платформы. / *Н.Н. Левых.* – Мн., 1999 – 201 с.
9. *Минеев, Д.А.* Геохимия и минералогия редких элементов: Учебное пособие / *Д.А. Минеев* – М., 1982. – 92 с.
10. *Москалев, Ю.И.* Минеральный обмен / *Ю.И. Москалев* – М.: Медицина, 1985 – 288 с.
11. *Озима, М., Подосек Ф.* Геохимия благородных газов / *М. Озима, Ф. Подосек.* Пер. с англ. – Л.: Недра, 1987. – 342 с.
12. *Овчинников, Л.Н.* Прикладная геохимия / *Л.Н. Овчинников.* – М.: Недра, 1990.– 248 с.
13. Полезные ископаемые Беларуси // Редкол.: *А.М. Синичка* (отв. ред.) и др. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2002 – 527 с. + 2 л. карт

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

**Кларки главных типов осадочных пород, % масс
(Е.В. Склярлов и др., 2001)**

Элементы	Глубоководные глины	Глинистые сланцы	Песчаники	Карбонатные породы	Почвы
H	–	0,4	0,25	$9,0 \cdot 10^{-2}$	–
Li	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Be	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
B	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$
C	–	1,1	1,3	–	2,0
N	–	$5,8 \cdot 10^{-2}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	0,1
O	–	50,3	51,5	49,2	49,0
F	0,13	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Na	4,0	1,0	0,53	0,14	0,63
Mg	2,1	1,5	0,7	3,97	0,52
Al	8,4	7,72	2,63	0,8	7,12
Si	25,0	21,5	36,1	3,1	33,0
P	0,15	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$7,3 \cdot 10^{-2}$
S	0,13	0,26	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,12	$7,8 \cdot 10^{-2}$
Cl	2,1	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
K	2,5	2,64	1,15	0,34	1,38
Ca	2,9	2,1	3,5	31,4	1,37
Sc	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	–
Ti	0,46	0,44	0,2	$6,0 \cdot 10^{-2}$	0,49
V	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Cr	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$9,4 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	–
Mn	0,67	$8,0 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$8,3 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$
Fe	6,5	4,42	1,59	0,9	3,8
Co	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Ni	$2,25 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
Cu	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Se	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$
Br	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$
Rb	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$
Sr	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$
Sr	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$
Y	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$

Элементы	Глубоководные глины	Глинистые сланцы	Песчаники	Карбонатные породы	Почвы
Zr	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$
Nb	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	–
Mo	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Rn	–	$n \cdot 10^{-4}$	–	–	–
Pd	–	$n \cdot 10^{-7}$	–	–	–
Ag	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	–	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Cd	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$
In	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	–	–
Sn	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	–	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Sb	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Te	–	$1,0 \cdot 10^{-6}$	–	–	–
I	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Cs	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	–	$5,7 \cdot 10^{-4}$
Ba	0,23	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$
La	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	–
Ce	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Pr	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	–
Nd	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	–
Sm	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	–
Eu	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	–
Gd	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	–
Tb	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	–
Dy	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$	–
Ho	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	–
Er	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	–
Tm	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	–
Yb	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	–
Lu	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	–
Hf	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
Ta	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	–
W	–	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$	–
Re	–	$n \cdot 10^{-8}$	–	–	–
Os	–	$n \cdot 10^{-8}$	–	–	–
Ir	–	$n \cdot 10^{-8}$	–	–	–
Pt	–	$n \cdot 10^{-7}$	–	–	–
Au	$n \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	–
Hg	$n \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
Tl	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Pb	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Bi	–	$9,7 \cdot 10^{-6}$	–	$1,3 \cdot 10^{-6}$	–
Th	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$

Кларки микроэлементов пород кристаллического фундамента Беларуси ($n \cdot 10^{-3} \%$) (В.Е. Бордон и др., 1995)

Элемент	Кислые	Основные	Средние	Среднее
Ni	1,44	6,62	3,50	2,98
Co	1,94	9,18	4,30	3,82
V	5,27	11,00	9,20	7,89
Mn	18,83	36,26	34,00	27,88
Ti	191,00	252,30	198,00	199,75
Cr	3,04	5,18	3,40	3,41
Pb	2,19	9,73	1,50	1,69
Mo	0,16	0,15	0,20	0,18
W	2,54	0,80	–	1,00
Zr	5,68	2,53	2,80	3,84
Nb	2,08	0,48	0,70	1,19
Ta	0,86	0	0	0,32
Cu	1,12	2,61	2,20	1,83
Ag	0,16	0,16	0,15	0,15
Zn	5,20	5,36	4,50	4,82
Ge	4,51	0,45	0,25	1,84
La	7,11	8,23	8,10	7,74
Yb	1,06	0,31	0,40	0,64
Y	1,37	0,78	1,00	1,12
Tl	0,62	0,50	0,60	0,60
Be	0,16	0,14	0,14	0,14
Ga	0,31	0,37	0,40	0,38
Sc	0,66	0,95	0,90	0,82
Sn	0,28	0,19	0,30	0,28
Ce	28,23	0	25,00	24,20
Cd	0,65	0	0	0,24
P	19,03	31,90	26,00	23,89
Sr	25,92	24,26	29,10	27,54
Ba	52,56	22,96	38,20	42,29
Sb	0,17	0,14	0,70	0,46

Средний состав живого вещества (В.В. Добровольский, А.И. Перельман) и золы растений (А.П. Виноградов, Д.П. Малюга)

Элемент	Вес. %	В золе, %	Элемент	Вес. %	В золе, %
O	70,0	–	Pb	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
C	18,0	–	V	$6 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$
H	10,5	–	I	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Ca	$5 \cdot 10^{-1}$	3,0	Cr	$7 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
K	$3 \cdot 10^{-1}$	3,0	La	$3 \cdot 10^{-5}$	–
N	$3 \cdot 10^{-1}$	–	Ni	$8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Si	$2 \cdot 10^{-1}$	15,0	Sn	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Na	$2 \cdot 10^{-1}$	7,0	Y	$3 \cdot 10^{-5}$	–
P	$7 \cdot 10^{-2}$	7,0	Co	$4 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
S	$5 \cdot 10^{-2}$	5,0	Li	$6 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Mg	$4 \cdot 10^{-2}$	7,0	Mo	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Cl	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	As	$6 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$
Fe	$1 \cdot 10^{-2}$	1,0	W	$1 \cdot 10^{-6}$	–
Al	$5 \cdot 10^{-3}$	1,4	Ag	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Sr	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$	Ga	$2 \cdot 10^{-6}$	–
Mn	$9,6 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-1}$	Cs	$6 \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-4}$
TR	$n \cdot 10^{-3}$	0,1	Se	$2 \cdot 10^{-6}$	–
Ti	$1,3 \cdot 10^{-3}$	0,1	U	$8 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Ba	$9 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-2}$	Hg	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$
F	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	Sb	$2 \cdot 10^{-7}$	–
Zr	$3 \cdot 10^{-4}$	–	Cd	$2 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Br	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	Au	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Ge	10^{-4}	–	Ra	$n \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-11}$

**Региональный кларк химических элементов в природных средах
Беларуси (Н.К.Чертко, 1990)**

Элементы	Почвы, мг/кг, N=5000	Поверхностные воды, мг/л, N=20	Атмосферные осадки, мг/л, N=20	Растительность, мг/кг сухого вещества, N=614
Si	335300	3,50	0,80	6089
Al	27500	0,02	0,01	190
Fe	15900	0,56	0,40	272
Ca	5800	43,60	7,00	6589
Mg	2500	8,00	0,88	2298
Na	4100	1,30	0,90	335
K	10400	4,97	1,50	7237
N	5500	2,00	0,50	11287
C	106700	278,90	–	345000
P	460	0,023	0,015	3744
S	850	2,55	4,20	1340
Cl	110	11,60	6,00	594
Mn	416	0,037	0,0004	318
Zn	33,90	0,009	0,0003	71
Cu	13,60	0,018	0,0002	6,64
Co	6,45	0,0025	0,0001	0,19
B	19,00	0,009	0,0002	7,28
Mo	1,48	0,0023	0,00005	0,61

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ГЕОХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	4
2. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ	90
2.1. Геохимические методы поисков полезных ископаемых	90
2.2. Лабораторные и полевые методы анализа	93
2.2.1. Методы определения химических элементов в лаборатории.....	93
2.2.2. Полевые геохимические методы анализа	98
3. ГЕОХИМИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И РАЙОНИРОВАНИЕ	99
3.1. Геохимическое картографирование.....	99
3.2. Геохимическое районирование	100
4. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОХИМИЯ	103
4.1. Особенности геологического строения Беларуси и его влияние на концентрирование химических элементов	103
4.2. Геохимия кристаллического фундамента	106
4.3. Геохимия древней коры выветривания и осадочных пород Беларуси.....	110
4.3.1. Кора выветривания запада Восточно-Европейской платформы.....	110
4.3.2. Геохимия осадочных пород.....	112
4.4. Образование полезных ископаемых	118
4.4.1. Горючие полезные ископаемые	118
4.4.2. Металлические полезные ископаемые.....	120
4.4.3. Неметаллические полезные ископаемые	128
4.4.4. Подземные воды	128
ЛИТЕРАТУРА	130
Приложения.....	131

Справочное издание

Чертко Николай Константинович
Чертко Эдуард Николаевич

ГЕОХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Справочное пособие

Редактор
Технический редактор
Корректор

Компьютерная верстка

Подписано в печать 2007. Формат . Бумага офсетная.
Гарнитура . Печать офсетная. Усл. печ. л. Уч.-изд.л.
Тираж 200 экз. Зак.