

Лекция №5

Химия воды. Жесткость воды. Основные виды жесткости. Методы определения жесткости, способы устранения. Физико-химические свойства d – элементов.

Химия воды.

Вода – главный реагент в химии. Именно свойства водных растворов определяют вид законов земной химии. Воды на Земле очень много. В составе атмосферы, гидросферы, литосферы и мантии её $1,6 \cdot 10^{19}$ тонн. Если «выжать Землю досуха», то получится «капля воды» диаметром около 3200 километров!

В силу хорошей растворимости солей многих – и, прежде всего, металлов – большая часть земной воды является соленой. И только 0,6% жидкой воды гидросферы является доступной пресной водой.

Однако «пресность» - ещё не гарантия достаточного качества воды. Именно особая активность воды как растворителя приводит к тому, что в чистом виде вода – это специальный химический реактив, очень чувствительный к условиям хранения. ■

Неизбежно присутствующие в природной воде загрязнения создают проблемы при ее использовании в технике и существенно влияют на состояние экосистем.

Природная вода в результате промышленного и хозяйственного использования подвергается воздействию различных загрязнителей. Главными из них, (по данным ООО "Очистные сооружения" <http://www.los.ru/content/subs/doc3>) являются :

Органические загрязнители

Десятки миллионов тонн органических соединений, в том числе миллионы тонн ПАВ, ежегодно поступают в атмосферу и водоемы из многочисленных и разнообразных источников (испарение, потери и неполное сгорание химического органического топлива, городские и промышленные жидкие, твердые и газообразные отходы и т. д.). В окружающей среде они подвергаются воздействию различных физико-химических и биологических агентов. Многие из них распадаются за сравнительно короткий срок (10-100 дней). Но в ряде случаев промежуточные продукты разложения органических соединений оказываются более токсичными загрязнителями, чем исходные вещества, и система подвергается вторичному химическому загрязнению.

Пестициды

Пестициды представляют собой химические вещества, используемые для борьбы с вредными организмами. Пестициды применяются главным образом в сельском хозяйстве, хотя их используют также для защиты запасов продовольствия, древесины и других природных продуктов. Во многих странах с помощью пестицидов ведется химическая борьба с вредителями лесов, а также переносчиками заболеваний человека и домашних животных (например с малярийными комарами).

Ежегодно в окружающую среду вводится 2 млн. т пестицидов. Даже очень малые концентрации пестицидов токсичны и придают воде неприятные привкусы и запахи. Многие из них разрушаются очень медленно (иногда в течении нескольких лет). Часто продукты распада пестицидов достаточно стойки и также могут оказывать токсическое действие.

Нефтепродукты

Особую группу химических загрязнителей составляют нефтепродукты. Общая масса нефтепродуктов, попадающих ежегодно в моря и океаны, оценивается по данным американских ученых в 6.1 млн. т, из них 2.1 млн. т составляют потери при транспортировании нефти, 1.9 млн. т выносятся реками, остальное поступает с городскими и промышленными отходами прибрежных районов и из природных источников.

В водной среде нефтепродукты образуют пленку, которая взаимодействует с естественной поверхностной пленкой, увеличивая ее толщину и образуя квазиравновесную систему. Одна тонна нефти может растекаться и покрыть поверхность воды, равную 20 км², в течение 6-7 суток. До 25 % от общей массы (легколетучие компоненты) испаряется за несколько дней. Тяжелые фракции оседают на дно водоема, изменяя биологические особенности среды обитания.

Тяжелые металлы

К стойким химическим загрязнителям кумулятивного действия со специфическими токсическими свойствами относятся и тяжелые металлы. Тройку наиболее экологически опасных тяжелых металлов составляют свинец, ртуть и кадмий. Более 35 видов металлов извлекается в составе руд и химического топлива из недр Земли на ее поверхность. В процессе переработки руд, сжигания энергоносителей, потребления тяжелых металлов огромные их количества поступают в атмосферу и водоемы в виде отходов.

Например, в Мировой океан из атмосферы ежегодно поступает 200 тыс. т свинца. А антропогенное накопление ртути в биосфере (главным образом в

гидросфере) к настоящему времени оценивается в 1 млн. т. Потери кадмия в биосфере составляет 5 тыс. т/год.

Биогенные вещества

Особую опасность представляют соединения азота и фосфора, в больших количествах попадающие в водоемы с бытовыми промышленными сточными водами, из атмосферы (оксиды азота), а также вследствие вымывания минеральных и органических удобрений из почвы. В результате смыва удобрений в водоемы мира ежегодно поступает от 3 до 6 млн. т. P_2O_5 .

Попадая в водоемы, биогенные элементы стимулируют развитие сине-зеленых водорослей. Происходит эвтрофикация (цветение) водоемов. Вследствие массового гниения водорослей в воде появляются сероводород, меркаптаны, фенолы и другие токсичные продукты, исчезает кислород.

Неорганические соли

Отдельную группу химических загрязнителей составляют неорганические соли. Несмотря на малую токсичность многих растворимых солей, все возрастающее накопление их в природных пресных водах вызывает ряд серьезных экономических и экологических проблем: увеличение затрат на водоподготовку на электростанциях и промышленных предприятиях, уменьшение запасов пресной воды, пригодной для полива сельскохозяйственных угодий, ухудшение условий нереста рыб, ухудшение качества питьевой воды и т. д.

Понимание химического аспекта опасности для окружающей среды нарушения состава природных вод приводит к осознанию необходимости активных действий по снижению количества и эффективной очистке промышленных стоков. Эти проблемы рассматриваются в курсе промышленной экологии.

Жесткость воды. Основные виды жесткости.

Рассмотрим типичные компоненты «обычной пресной воды».

Чаще всего в качестве анионов в природной воде присутствуют хлорид-анион Cl^- , сульфат-анион SO_4^{2-} и гидрокарбонат-анион HCO_3^- . Последний появляется в воде вследствие растворения углекислого газа из атмосферы и диссоциации образующейся при этом угольной кислоты. А, поскольку в контакт с атмосферой вступают все природные воды при техническом использовании, гидрокарбонат-анион присутствует во всех природных водах.

В качестве катионов в природных водах наиболее распространены катионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и, достаточно часто, Fe^{2+} .

Количественный состав воды некоторых природных водоисточников

Водоисточник	Содержание ионов, мг/л					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Океан	418,0	1329,0	11428,0	146,0	2768,0	19833,0
Черное (море)	250,0	650,0	5510,0	80,0	1310,0	9630,0
Волга (река)	48,9	10,1	11,9	63,7	61,9	14,4
Москва (река)	41,3	8,4	2,3	79,4	7,7	4,4
Рейн (река)	50,3	11,7	5,2	181,4	24,6	8,0
Байкал (озеро)	15,2	4,2	6,1	59,2	4,9	1,8*
Мичиган (озеро)	26,2	8,3	4,7	58,3	7,1	2,7*

* Cl⁻ + Br⁻

Особенно мешают техническому применению воды растворенные в ней гидрокарбонатные соли кальция, магния и, иногда, железа.

Вода, в которой присутствуют эти соли, называется жесткой. В соответствии с ГОСТ Р 52029-2003 жесткостью воды называется совокупность свойств, обусловленных концентрацией в ней щелочноземельных элементов, преимущественно кальция и магния. (Эту сноску прочесть обязательно!).

Жесткая вода при нагревании выделяет осадок карбонатов, которые затрудняют теплопередачу в теплообменниках и уменьшают «живое сечение» технологических трубопроводов, увеличивая их гидравлическое сопротивление. В жесткой воде ухудшаются моющие свойства мыл и детергентов, затрудняется растворение некоторых солей. Жесткая вода ухудшает условия приготовления и вкус некоторых пищевых продуктов (в частности, мяса и овощей, а также чая).

Жесткость воды выражается в градусах жесткости (°Ж). Градус жесткости соответствует концентрации щелочноземельного элемента, численно равной 1/2 его моля, выраженной в мг/дм³ (г/м³). 1°Ж для солей кальция – 20,04 мг Ca²⁺ или 12,15 мг Mg²⁺ в 1 литре воды.

Жесткость воды при раздельном определении катионов щелочноземельных металлов определяется по формуле:

$$^{\circ}\text{Ж} = \sum (C_i / C_{is}),$$

где C_i – концентрация катиона щелочноземельного металла в мг-экв/литр, а C_{is} – концентрация катиона этого металла, соответствующая 1°Ж.

По величине общей жесткости вода подразделяется на очень мягкую ($^{\circ}\text{Ж} < 1,5$), мягкую ($1,5 < ^{\circ}\text{Ж} < 3,0$), средней жесткости ($3,0 < ^{\circ}\text{Ж} < 6,0$), жесткую ($6,0 < ^{\circ}\text{Ж} < 9,0$) и очень жесткую ($^{\circ}\text{Ж} > 9$).

Жесткость воды, в зависимости от анионного состава растворенных в ней солей, разделяют на карбонатную и некарбонатную. Карбонатная жесткость, в свою очередь, бывает устранимой (временной) и остаточной.

Методы определения жесткости, способы устранения.

Количественно жёсткость воды может быть определена химическими методами (кисотно-основное и комплексометрическое титрование), с которыми вы познакомитесь в лабораторном практикуме, а также физико-химическими методами (например, кондуктометрия – измерение электропроводности).

Для улучшения качества воды проводят специальные мероприятия для уменьшения ее жесткости (умягчение воды).

Временная жесткость устраняется посредством кипячения воды, поскольку при нагревании растворимые бикарбонаты переходят в плохо растворимые карбонаты и выпадают в осадок (накипь).

Методы обработки природных вод для технических целей.

1. Простейшим методом умягчения воды является ее кипячение.

При этом гидрокарбонаты кальция переходят в плохо растворимые карбонаты и осаждаются:

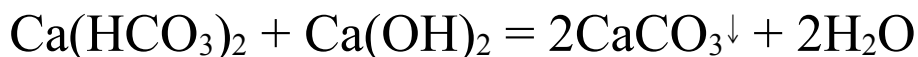


Гидрокарбонаты магния образуют при кипячении карбонаты, которые более растворимы, чем гидроксиды. Поэтому в составе накипи появляются гидрокарбонаты магния $\text{Mg}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$.

2. Химическая обработка воды (реагентный способ).

В качестве химических реагентов для умягчения воды используются реагенты, которые в результате химического взаимодействия с растворенными солями кальция и магния дают плохо растворимые осадки. Такими реагентами являются гашеная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$, негашеная известь CaO , сода Na_2CO_3 , фосфаты натрия (например, Na_3PO_4) и др. реагенты.

Использование дешевой извести требует точного расчета для того, чтобы внести в воду такое количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которое соответствует протеканию реакции перехода кислой соли в среднюю:



и не приведет к увеличению концентрации ионов Ca^{2+} при передозировке реагента.

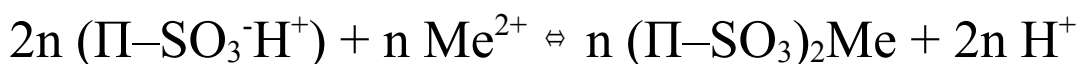
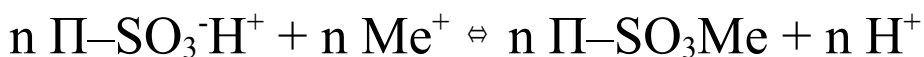
3. Ионообменный метод.

Наиболее совершенным способом умягчения воды является ее обработка с помощью ионообменных сорбентов («ионообменных смол», «ионитов»).

Ионообменные сорбенты представляют собой гранулированные структуры, содержащие нерастворимый в воде молекулярный каркас (органический или неорганический полимер П), к которому химически «прикреплены» активные функциональные группы. Эти группы способны диссоциировать на ионы, один из которых остается связанным с каркасом, а другой переходит в раствор. Система находится в динамическом равновесии, а потому может «обменивать» первоначально имевшийся ион на другой, содержащийся в растворе.

В случае, когда подвижным является катион (активная функциональная группа $\text{П-SO}_3^-\text{H}^+$), сорбент называется катионитом. В случае подвижного аниона – анионитом (активная функциональная группа $\text{П-N}(\text{CH}_3)^+\text{OH}^-$).

При пропускании жесткой воды через колонку, наполненную катионитом, происходит обмен содержащихся в ней ионов Me^+ (Na^+ , K^+) и Me^{2+} (Ca^{2+} , Mg^{2+}) на катионы водорода H^+ :



В уравнении присутствует специальный знак равенства $\rightleftharpoons$. Это означает, что данная реакция может протекать как слева направо, так и справа налево. Такие реакции называются обратимыми. При очистке воды реакция в основном протекает слева направо, поскольку в исходном состоянии катионит насыщен катионами водорода. После достижения равновесия колонку отключают от потока и промывают небольшим количеством раствора кислоты. Равновесие смещается влево и катионит восстанавливается в своей активной форме.

Если прошедшую через катионообменную колонку воду пропустить через анионообменную колонку, то она очистится и от анионов кислот, превратившись в очень чистую воду. Такая вода используется в особо ответственных случаях (полупроводниковое производство, атомная промышленность и др.)

Важнейшей количественно характеристикой ионита является его адсорбционная (обменная) емкость. Эта величина равна количеству миллимоль-эквивалентов ионов, которые может связать 1 грамм ионита.

Основным недостатком этого способа является относительно высокая стоимость ионитов и необходимость специального оборудования (колонки, арматура, насосы).

На этом мы заканчиваем рассмотрение s-элементов и переходим к следующей группе элементов Периодической системы – d-элементам. Мы переходим к рассмотрению свойств d-металлов после s-металлов в соответствии со структурой длиннопериодического варианта Периодической

системы Д.И.Менделеева. Этот вариант наиболее адекватно отражает строение внешних электронных оболочек атомов элементов и взаимосвязь их химических свойств.

Физико - химические свойства d – элементов.

d-Элементы

Все d-элементы являются типичными металлами. Среди них и 5 из 7 металлов древности (золото, серебро, медь, железо, ртуть), знакомство с которыми и породило понятие металличности.

Нахождение в природе, методы получения. Физические свойства d–металлов.

В природе d-металлы находятся в различных формах – и в виде простых веществ (такие, как золото, серебро, платина и некоторые другие), и в виде соединений (как правило, оксидов или сульфидов). Некоторых же d-металлов в природе не обнаружено (Все элементы 7 Периода таблицы Д.И.Менделеева).

Соответственно методы их получения также варьируются в широком диапазоне технологий – от простой «добычи» путем отделения от пустой породы, до сложных химико-технологических и ядерно-физических процессов.

Весь комплекс вопросов о нахождении в природе, методах получения и свойствах d-металлов логически связан с их положением в Периодической системе.

Положение d-металлов в Периодической системе.

В Периодической системе d-элементы появляются в 4 Периоде и заполняют 4,5,6,7 Периоды:

4	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn
5	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd
6	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg
7	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub

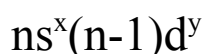
В настоящее время известны все 40 элементов, которые должны заполнять 4 «вставных декады» (декада – десять последовательных элементов Периода) этой формы Периодической Системы. Однако последние 10 элементов (№№ 103-112) являются настолько нестабильными, что не

существуют в естественных условиях и получают в экспериментах на ускорителях в микроколичествах (зачастую в количестве нескольких атомов).

Распределение электронов в атомах d-металлов в стабильном и возбужденном состоянии.

У d-элементов, в соответствии с принципами наименьшей энергии и Паули и правилом Гунда идет заполнение предвнешней (n-1) d-оболочки.

Общую конфигурацию валентных электронов d-металлов можно записать в виде:



где n – номер Периода, X, как правило, принимает значение 2, но может быть равно 0 или 1, а Y принимает значения от 1 до 10. При этом (X+Y) = N, где N- номер группы элемента.

Как известно, с ростом порядкового номера у элементов уменьшается разность энергий их уровней и подуровней, и в некоторых случаях наблюдается даже инверсия порядка их заполнения.

Это связано с тем, что полузаполненные (d^5) и полностью заполненные (d^{10}) d-подуровни, а также близкие к ним d^4 , d^6 и d^9 , обладают особой устойчивостью.

В возбужденном состоянии все d-элементы имеют возможность заполнять как 4f-подоболочку (пустую в 4 и 5 Периодах), так и 5f-подоболочку (пустую в 6 Периоде). Элементы начала периодов могут при возбуждении переводить свои ns-электроны на частично заполненный (n-1)d-подуровень.

Обзор свойств d-металлов в зависимости от строения их атомов.

В зависимости от количества электронов на (n-1)d-подуровне d-элементы делятся на три типа.

1 тип – *ранние d-элементы*. Это элементы 3 – 7 групп. У них идет заполнение пяти d-орбиталей, причем каждый добавляющийся d-электрон имеет спин, параллельный всем уже имеющимся d-электронам и способен образовывать дополнительную ковалентную химическую связь.

2 тип – *поздние d-элементы*. Это элементы 8 – 10 групп. У них идет дозаполнение уже частично заполненных d-орбиталей, причем каждый добавляющийся d-электрон спаривает свой спин с уже имеющимся на орбитали электроном и потому снижает способность атома образовывать дополнительную ковалентную химическую связь.

В связи с отмеченными особенностями заполнения электронных оболочек, типичные высшие степени окисления ранних d-элементов возрастают по мере увеличения порядкового номера в Периоде, а типичные высшие степени окисления поздних d-элементов уменьшаются по мере увеличения их порядкового номера в Периоде.

Отметим, что, поскольку реакционная способность металлов увеличивается в Группях с увеличением порядкового номера, высшие степени окисления более тяжелых d-металлов в Группях более устойчивы. Так, степень окисления железа Fe(VIII) (8 Группа) – это «химическая экзотика», а тетроксид осмия Os(VIII) (тоже 8 Группа) – OsO₄ – «рядовое соединение» этого металла.

3 тип – *s-подобные d-элементы*. Это элементы 11 – 12 групп. Все они имеют уже заполненную d-подоболочку (d¹⁰) и их химические свойства определяются в основном внешними s-электронами.

Поскольку все d-металлы в большей или меньшей степени склонны проявлять различные степени окисления, их химические свойства часто проявляются в форме окислительно-восстановительных реакций. Эти элементы могут быть как восстановителями (в своих низших степенях окисления), так и окислителями (в своих высших степенях окисления). **Металл в нулевой степени окисления всегда является восстановителем.**

Все эти элементы проявляют склонность к комплексообразованию по механизму донорно-акцепторных связей.

Физические свойства d-металлов

Рассмотрим физические свойства d-металлов по их типам.

Физические свойства ранних d-металлов

К этому типу относятся 15 химических элементов 3 – 7 Групп 4 – 6 Периодов Периодической системы.

21 <u>Sc</u>	22 <u>Ti</u>	23 <u>V</u>	24 <u>Cr</u>	25 <u>Mn</u>
39 <u>Y</u>	40 <u>Zr</u>	41 <u>Nb</u>	42 <u>Mo</u>	43 <u>Tc</u>
71 <u>Lu</u>	72 <u>Hf</u>	73 <u>Ta</u>	74 <u>W</u>	75 <u>Re</u>

По своим физическим свойствам все они являются типичными металлами, с высокой температурой плавления (как правило, выше 1500⁰C) и неплохой электропроводностью, однако у каждого из них обнаружены особенности, делающие их уникально-необходимыми в той или иной конкретной области применения.

Физические свойства поздних d-металлов

К этому типу относятся 9 химических элементов 8 – 10 Групп 4 – 6 Периодов Периодической системы.

4	26 Fe	27 Co	28 Ni
5	44 Ru	45 Rh	46 Pd
6	76 Os	77 Ir	78 Pt

Тип поздних d-металлов разделяется на два семейства – *семейство железа* (*Fe, Co, Ni*) – твердые тугоплавкие металлы средней плотности и *семейство платиноидов* (*Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt*), отличающееся высокой коррозионной стойкостью, пластичностью и большой плотностью.

Физические свойства s-подобных d-металлов

К этому типу относятся 6 химических элементов 11 – 12 Групп 4 – 6 Периодов Периодической системы.

4	29 Cu	30 Zn
5	47 Ag	48 Cd
6	79 Au	80 Hg

Они образуют два семейства по 3 элемента: *семейство меди* (*Cu, Ag, Au*) и *семейство цинка* (*Zn, Cd, Hg*).

Семейство меди – типичные тяжелые металлы с хорошей электро- и теплопроводностью, пластичностью и отличной коррозионной стойкостью, однако с небольшой механической прочностью.

Семейство цинка – тяжелые металлы с невысокой температурой плавления (ртуть – жидкий металл при комнатной температуре!), невысокой прочностью и химической стойкостью.

Дополнительные материалы

Вот как выглядит типичный образец фасовки очищенной и деионизированной воды RAVENOL Destilliertes Wasser для химических исследований:



1 л. Цена 72 руб

Ежегодно в мире добывается больше, чем включается в биологический круговорот: кадмия в 100 раз, сурьмы в 150, ртути в 110, свинца в 35, мышьяка и железа в 15, урана в 6, олова в 5, меди в 4, молибдена в 3 раза. Добыча таких химических элементов, как серебро, хром, никель, цинк, примерно равна ежегодному потреблению растительностью.

Множество химических элементов и их соединений освобождается при сжигании угля и рассеивается в окружающей среде, причем в масштабах, больших, чем при добыче. Ежегодно при сжигании угля выделяется больше, чем включается в биологический круговорот: ртути в 8 700 раз, мышьяка в 125, урана в 60, кадмия в 40, лития и бериллия в 10, олова в 3 - 4 раза. Основная масса рассеянных элементов попадает в пределы наземных экосистем, поскольку добыча металлов и сжигание угля происходят на суше. Хотя часть этих элементов с речным стоком и в результате циркуляции воздушных масс выносятся в моря и океаны, тем не менее, ежегодно поверхность суши обогащается ими на миллионы тонн.

http://www.history.ru/index.php?option=com_ewriting&Itemid=0&func=chapterinfo&chapter=30858&story=22161

Содержащееся в тексте ГОСТовского определения жёсткости противоречие с принятой в химии классификацией s-металлов 2 периода не изменяет ясности формулировки, но свидетельствует о необходимости более тщательного редактирования текстов нормативных актов специалистами.

Характеристика важнейших промышленных ионитов:

Ионообменные смолы		Катиониты		Аниониты	
		Группа	Сильнокислотные	Слабокислотные	Высокоосновные
Марка		КУ 2-8	КБ-4П-2	АВ 17-8	АН-31
Нормативный документ		ГОСТ 20298-74	ГОСТ 20298-74	ГОСТ 20301-74	ТУ-2227-344-00203447-99
Внешний вид		Полупрозрачные сферические зерна от желтого до коричневого цвета	Полупрозрачные сферические зерна от белого до желто-розового цвета	Сферические зерна от светло-желтого до темно-коричневого цвета	Желтые зерна неправильной формы
Полимерная основа		Стиролдивинил-бензольная	Метаакрилдивинил-Бензольная	Стиролдивинил-Бензольная	Полиэтиленполиаминная конденсационная
Массовая	доля	8	2.5	8	-
ДВБ, %					
Структура матрицы		Гелевая	Гелевая	Гелевая	Гелевая

Ионогенная группа	-SO ₃	-COONa	-N(CH ₃) ₃	Вторичные и третичные аминогруппы
форма товарного катионита	H ⁺	Na ⁺	OH ⁻	Cl ⁻
Размер зерен, мм	0,315-1,25	0,315-1,6	0,315-1,25	0,4-2,0
Объемная доля рабочей фракции, % не менее	96	95	95	92
Эффективный размер зерен, мм	0,40-0,55	0,6	0,4-0,6	-
Коэффициент однородности, не более	1,7	2,5	1,7	-
Массовая доля влаги, % не более	50-60	65-75	35-50	5
Полная статическая обменная ёмкость, не менее мг-экв/см ³	1,8	3,5	1,15	2,5
Динамическая обменная ёмкость, не менее мг-экв/см ³	526		700	1230
Максимальная рабочая температура, С	120	150	60	100
Рабочий диапазон pH	1-14	7.4-14	1-14	1-6
Насыпная масса товарного ионита, г/дм ³	750-800	680-820	700-740	720-750
Гарантийный срок хранения , год	1	1	1	1
Упаковка, полипропиленовые мешки, кг	40	20	38	25

■ Конкретные значения X и Y для элементов 4 – 6 Периодов таковы:

Элемент	X	Y
4 Период		
Sc	2	1
Ti	2	2
V	2	3
Cr	1	5
Mn	2	5
Fe	2	6
Co	2	7
Ni	2	8
Cu	1	10
Zn	2	10

5 Период

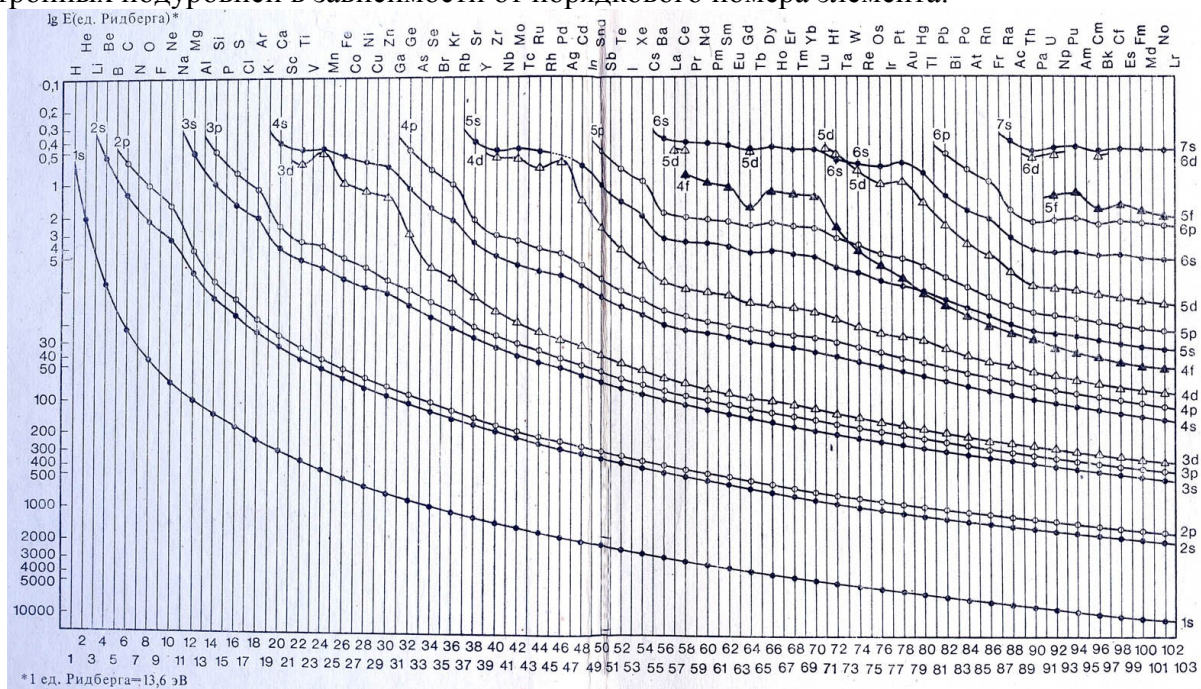
Y	2	1
Zr	2	2
Nb	1	4
Mo	1	5
Tc	2	5
Ru	1	7
Rh	1	8
Pd	0	10
Ag	1	10
Cd	2	10

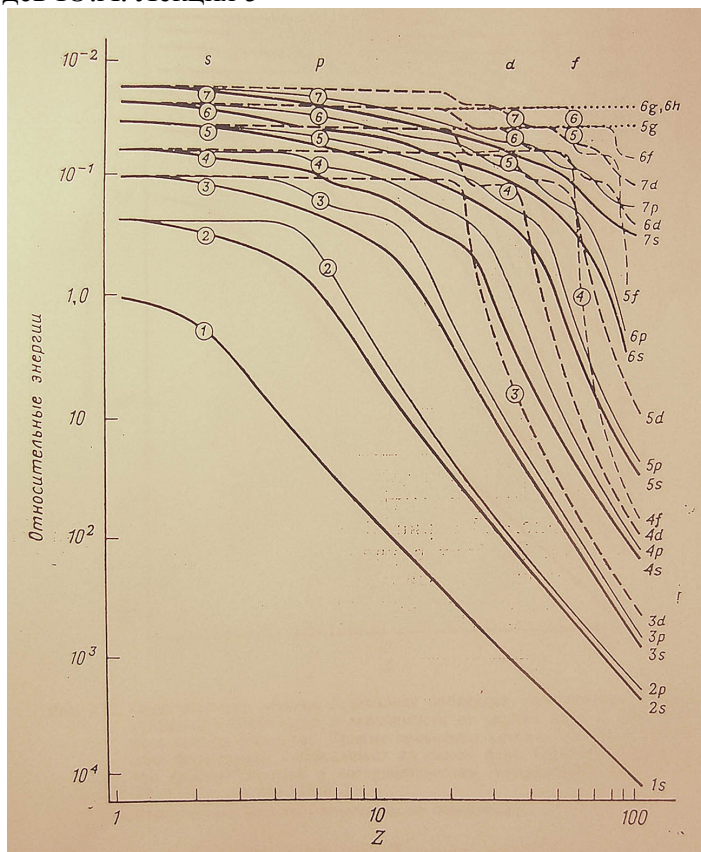
6 Период

La	2	1
Hf	2	2
Ta	2	3
W	2	4
Re	2	5
Os	2	6
Ir	0	9
Pt	1	9
Au	1	10
Hg	2	10

Красным шрифтом выделены элементы, не подчиняющиеся правилу Клечковского и имеющие «провалы электронов».

Вот как, по данным различных авторов, выглядят зависимости энергий электронных подуровней в зависимости от порядкового номера элемента:





Известно, что при анодном растворении железа при больших плотностях тока образуются соединения Fe(VIII) – ферраты.

[Химическая энциклопедия, т.2, кол. 272](#)

Некоторые физические свойства ранних d-металлов 3 – 7 Групп Периодической системы Д.И.Менделеева.

Физические свойства d-элементов 3 группы

Свойство	Элемент		
	Sc	Y	Lu
Внешний вид	Серебр., α – гексагон., β – кубич.	Серо-черн., гексагон.	Серебр.-сер., блестящий гексагон.
ρ , г/см ³	Гексагон. – 2,985, кубич. – 3,01; 3,1	4,34; 4,47	9,849
$t_{пл}$, °C	1541	1552	1663
$t_{кип}$, °C	2831	3337	3302

Физические свойства *d*-элементов 4 группы

Свойство	Элемент		
	Ti	Zr	Hf
Внешний вид	Серебр.-сер., α – гексагон., β – кубич.	Св.-сер., гексагон.	Серебр.-сер., гексагон.
ρ , г/см ³	4,50; 4,54	6,49; 6,50; 6,52	13,09; 13,1; 13,31
$t_{пл}$, °C	1670	1852	2227
$t_{кип}$, °C	3287	4377	4602
Электропро- водность (Hg = 1)	1	2	3

Физические свойства *d*-элементов 5 группы

Свойство	Элемент		
	V	Nb	Ta
Внешний вид	Св.-сер., кубич.	Св.-сер., кубич.	Серо-корич., кубич.
ρ , г/см ³	6,11	8,55 – 8,57	16,6
$t_{пл}$, °C	1890	2468	2906
$t_{кип}$, °C	3380	4742	5425
Электропроводность (Hg = 1)	4	5	6

Физические свойства *d*-элементов 6 группы

Свойство	Элемент		
	Cr	Mo	W
Внешний вид	Серо-бел., кубич. или гексагон.	Серебр.-бел., кубич.	Серый, кубич.
ρ , г/см ³	7,16; 7,2	10,3; 10,23	19,3
$t_{пл}$, °C	1857	2617	3410
$t_{кип}$, °C	2672	4612	5660
Электропроводность (Hg = 1)	7	20	18

Физические свойства *d*-элементов 7 группы

Свойство	Элемент		
	Mn	Tc	Re
Внешний вид	Серебр-бел., гексагон.	Серебр.-сер., гексагон.	Серый, кубич.
ρ , г/см ³	7,4	11,5	20,5
$t_{пл}$, °C	1244	2172	3180
$t_{кип}$, °C	1962	4877	5627
Электропроводность (Hg = 1)	0,1	—	5

■ Физические свойства металлов семейства железа по <http://edurt.ru/index.php?st=2544&type=3&lang=1>

Свойства	Fe	Co	Ni
Атомная масса	55,85	58,93	58,70
Энергия ионизации			
$\Xi^0 \rightarrow \Xi^+$, эВ.	0,58	0,94	1,28
кларк, ат.%			
(распространненость в природе)	1,5	1×10^{-3}	3×10^{-3}
Агрегатное состояние (н. у.)	ТВЕРДЫЕ ВЕЩЕСТВА		
Цвет	серебристо-белый	серо-стальной	серебристо-белый
$t_{пл}$, °C	1539	1493	1455
$t_{кип}$, °C	3070	2880	2800
Плотность d , г/см ³	7,87	8,9	8,91

■ Физические свойства элементов семейства платиноидов по <http://www.xumuk.ru/bse/2088.html>

Свойство	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt
Атомная масса	101,07	102,9055	11906,4	190,2	192,22	195,09
Среднее содержание в земной коре, % по массе	$(5 \cdot 10^{-7})$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Плотность (при 20 °C), г/см ³	12,2	12,42	11,97	22,5	22,4	21,45
t _{пл} , °C	2250	1960	1552	ок. 3050	2410	1769
t _{кип} , °C	ок. 4900	ок. 4500	ок. 3980	ок. 5500	ок. 5300	ок. 4530
Удельное электросопротивление, ом·см·10 ⁻⁶	7,16-7,6 (0°C)	4,7 (0°C)	10,0 (0°C)	9,5 (0°C)	5,40 (25°C)	9,81 (0°C)
Модуль нормальной упругости, кгс/мм ^{2**}	47200	32000	12600	58000	52000	17330
Твёрдость по Бринеллю, кгс/мм ²	220	139	49	400	164	47
Предел прочности при растяжении, кгс/мм ²	—	48	18,5	—	23	14,3
Относительное удлинение при разрыве, %	—	15	24—30	—	2	31

 Важнейшие физические свойства элементов семейства меди по http://bobysh.ru/lecture/himiya/uch_chem_neorgan14.html

Свойства	Cu	Ag	Au
Атомная масса	63,546	107,868	196,966
Энергия ионизации			
$\Xi^0 \rightarrow \Xi^+$, эВ.	7,726	7,547	9,223
кларк, ат. %			
	0,003	$2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-8}$
(распространенность в природе)			
Агрегатное состояние (н. у.)	ТВЕРДЫЕ ВЕЩЕСТВА		
Цвет	красный	белый	желтый
t _{пл} , °C	1083	961,3	1064,7
t _{кип} , °C	2593	2180	2707
Плотность d, г/см ³	8,96	10,50	19,3

 Важнейшие физические свойства элементов семейства цинка по http://bobysh.ru/lecture/himiya/uch_chem_neorgan15.html

Свойства	Zn	Cd	Hg
----------	----	----	----

Атомная масса	65,38	112,40	200,59
Энергия ионизации $\Xi^0 \rightarrow \Xi^+, \text{эВ.}$	9,391	8,991	10,43
кларк, ат. % (распространненость в природе)	1×10^{-3}	8×10^{-6}	6×10^{-7}
Агрегатное состояние (н. у.)	ТВЕРДЫЕ ВЕЩЕСТВА		ЖИДКОСТЬ (20 °С)
Цвет	голубовато-белый	белый	серебристо-белый
$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	419,5	321	-38,86
$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	907	765	356,73
Плотность $d, \text{г/см}^3$	7,13	8,642	13,546