

Общая химия

Классификация и номенклатура неорганических соединений

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Геолого-геофизический факультет

Кафедра общей химии ФЕН

Общая химия

Классификация и номенклатура неорганических соединений

Методическое пособие
для студентов геолого-геофизического факультета

Новосибирск
2002

В настоящем пособии описаны основные принципы классификации неорганических соединений. Рассмотрен общий подход к вопросам классификации, приведены примеры классификационных схем. Описаны правила традиционной химической номенклатуры простых веществ, бинарных соединений, кислот, оснований и солей. Даны основные понятия и определения терминам, применяемым в химии координационных соединений, а также правила систематической номенклатуры, используемой для составления названий этих соединений. Большое количество примеров, приведенных в пособии, поможет обучающимся в освоении непростого химического языка.

Предназначено для студентов 1-го курса ГГФ специальностей “Геофизика”, “Геохимия”, “Общая геология”, “Геология нефти и газа”. Пособие также может быть полезно студентам 1-го курса ФЕН специальностей “Химия”, “Биология” и “Медицинская биология”.

Составитель

канд. хим. наук В. А. Емельянов

Рецензент

канд. хим. наук доцент А. П. Чупахин

© Новосибирский государственный университет, 2002

КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Принципы классификации и основные классы неорганических веществ

*«- Дорогая, ты не подскажешь, где у нас сахар?
- Милый, ну сколько можно повторять: сахар у нас
в банке из-под кофе, на которой написано: соль.»*

Диалог двух сердец.

Целью любой классификации является выделение из множества объектов ограниченных по численности групп (классов), отдельные объекты которых имеют общие признаки. Эти признаки называются классификационными.

Необходимость классификации неорганических соединений обусловлена существованием более 4 млн индивидуальных веществ, имеющих неорганическую природу. Попытка простого запоминания свойств, строения, названий и даже состава веществ без систематизации Ваших знаний, без опоры на классификацию заранее обречена на провал.

Признание любой системы классификации научным сообществом определяется правильностью выбора классификационных признаков, позволяющих выделять классы объектов ограниченной численности, обладающих общими химическими свойствами. Выделение таких классов кроме систематизации знаний позволяет вырабатывать систему правил (номенклатурные правила) для образования названий химических соединений.

Ярким примером уникально краткой, но чрезвычайно информативной классификации химических элементов служит Периодическая система Д. И. Менделеева, в которой элементы классифицированы по количеству валентных электронов, по типу симметрии атомных орбиталей в валентной оболочке атома, по максимально возможным положительным и отрицательным степеням окисления, по количеству энергетических уровней и т. д. Даже разделение простых веществ по физическим свойствам (электропроводность, теплопроводность и т. п.) на металлы и неметаллы можно провести, опираясь на Периодическую систему. Ни одна другая наука не имеет такого краткого и емкого справочного пособия, при умелом ис-

пользовании которого можно очень много рассказать не только об известных, но и о не известных Вам и даже не открытых элементах и веществах.

Что касается неорганических соединений, то первую их классификацию в 1787 г предложил А.Л. Лавуазье, выделив среди известных к тому времени соединений простые вещества, продукты их горения - оксиды, продукты реакций оксидов с водой - основания и кислоты и как результат взаимодействия последних появлялся класс солей. С современных позиций такая схема, безусловно, является слишком ограниченной, однако идея использования химических реакций для классификации веществ оказалась весьма плодотворной.

В настоящее время наиболее распространена классификация неорганических соединений именно по наиболее характерному для них типу химических превращений. Выбрав в качестве классификационного признака перенос в этих превращениях разного рода частиц (протоны, электроны, электронные пары и, наконец, просто части молекул), можно многие известные неорганические вещества разделить на 10 классов:

1. Кислоты: HCl , H_2SO_4 .
2. Основания: NaOH , NH_3 .
3. Соли: NH_4Cl , Na_2SO_4 .
4. Окислители: Cl_2 , KMnO_4 , H_2O_2 .
5. Восстановители: Zn , H_2 , CO .
6. Комплексообразователи: CuCl_2 (Cu^{2+}), PtCl_4 (Pt^{4+}).
7. Лиганды: NH_3 , CO , Cl^- .
8. Координационные соединения. $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$, $\text{K}_2[\text{PtCl}_6]$.
9. Радикалы: NO_2 , ClO_3 .
10. Ассоциаты: N_2O_4 , Cl_2O_6 и т. д..

Однако, для того, чтобы пользоваться этой классификацией, необходимо обладать изрядным запасом химических знаний. Очевидно также, что одно и то же химическое соединение может вступать в реакции различных типов, поэтому оно оказывается одновременно в нескольких классах, что приводит к размыванию их границ и утрате четкости деления. Этих недостатков лишены схемы, в классификационные признаки которых заложены однозначные качественные или количественные различия. Попробуем составить такую классификацию, в качестве основного признака выбрав число элементов, входящих в состав соединения. Тогда все множество соеди-

нений разобьется по крайней мере на 3 больших класса: простые вещества, двухэлементные (бинарные) и многоэлементные соединения.

Здесь классы строго разграничены, но утрачена общность химических свойств соединений, находящихся в одном классе. Чтобы ее выявить, необходимо последовательно вводить дополнительные классификационные признаки и продолжать систематизацию. Традиционно разделив простые вещества на неметаллы и металлы, выделим среди последних активные (реагирующие с водой), обычные (вытесняющие водород из кислот) и инертные металлы. Признаком в данном случае может служить положение металла в ряду напряжений. Аналогичную классификацию можно провести среди неметаллов, скажем, по их активности по отношению к натрию и к железу.

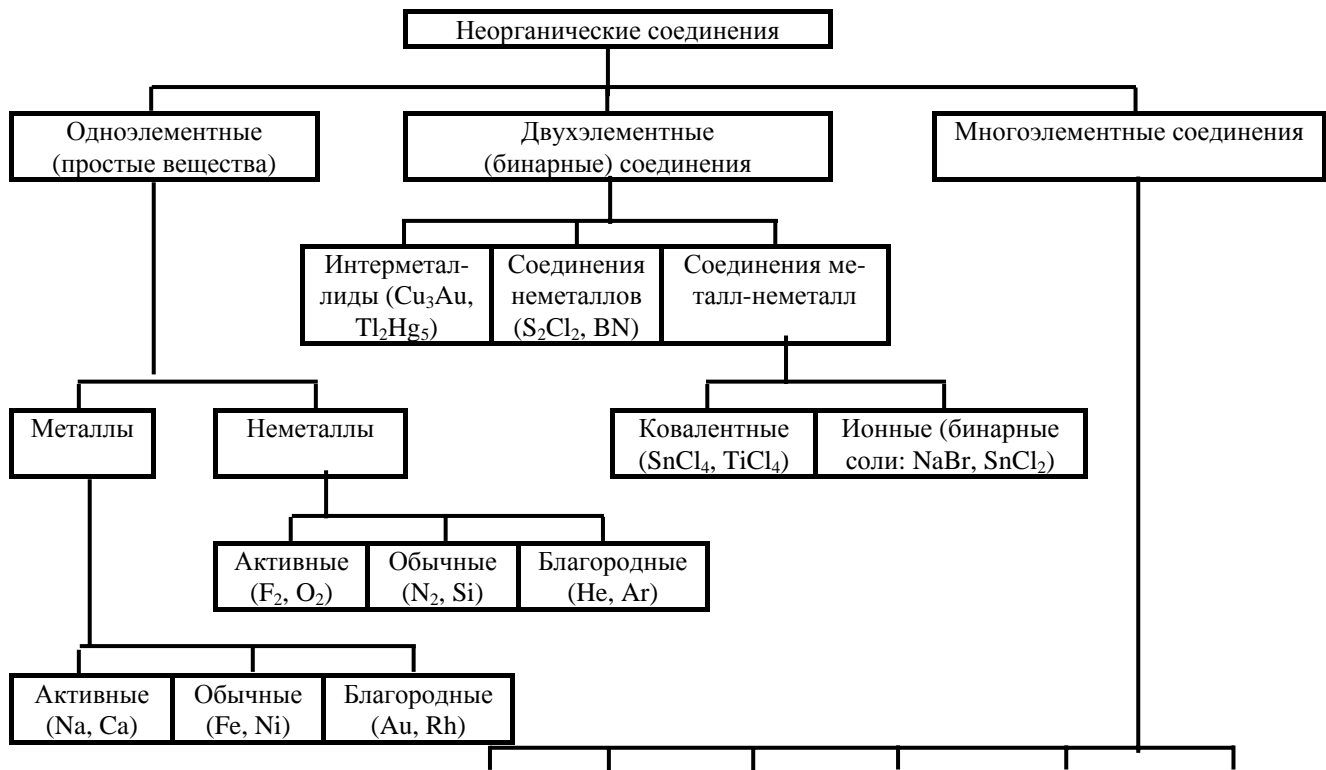
Руководствуясь схожими критериями, бинарные соединения следует разделить на три класса: соединения металлов (интерметаллиды), неметаллов и соединения металл - неметалл, традиционно называемые солями (либо оксидами, если неметалл - кислород). Строго говоря, истинными солями можно считать лишь бинарные соединения металлов в низших степенях окисления, с преимущественно ионным характером связи. Если связь в молекуле такого бинарного соединения в основном ковалентная, что справедливо при высокой степени окисления металла, то по своим физическим и химическим свойствам эти вещества больше похожи на соединения неметаллов.

Самый многочисленный класс в нашей схеме - многоэлементные соединения. Наиболее известные Вам представители этого класса - кислоты, основания и соли, но есть еще координационные (комплексные) соединения, кластеры, соединения включения (клатраты) и другие вещества, подробное рассмотрение которых выходит далеко за рамки нашей достаточно несложной системы классификации.

Продолжая применять все новые и новые признаки, мы приходим к выделению классов соединений с очень близкими химическими свойствами. Однако при этом все более и более возрастает число классов, что в конечном итоге может дискредитировать саму идею классификации.

Результат проведенной нами работы представим в виде классификационной схемы, которая может нам помочь при изучении правил химической номенклатуры, изложенных в следующем разделе.

Рассмотренные примеры классификации неорганических соединений далеко не исчерпывают всех вариантов. Каждый начинающий химик может составить свою собственную схему, классифицировав известные ему химические соединения по наиболее удобным и отчетливым для него признакам. Если Ваша схема получится удачной, она послужит Вам путеводителем в увлекательном мире химии и для Вас не составит проблем отыскать в своей памяти одно устойчивое место (полочку или баночку), в котором находится необходимая Вам соль (сахар или кофе).



Кислоты (H_2SO_4)	Основания (LiOH)	Соли (KNO_3)	Комплексы ($\text{Na}_3[\text{RhCl}_6]$)	Кластеры ($\text{Os}_3(\text{CO})_{12}$)	Клатраты ($\text{CH}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
--	--------------------------------	-------------------------------	---	---	---

Номенклатура неорганических соединений

«Хоть горшком назови, только в печку не ставь.»

«Назвался груздем – полезай в кузов.»

Из поговорок.

Химия, как и любая наука, имеет свой язык, причем письменная форма химического языка играет более важную роль по сравнению с его устной формой. Основным отличием языка химии от обычных языков является наличие в нем номенклатурных правил, то есть таких правил, руководствуясь которыми можно давать названия элементам, соединениям, методам, аппаратам и теоретическим концепциям. Для химика наиболее важны правила называния огромного числа известных химических соединений.

Целью современной систематической химической номенклатуры является однозначное описание состава и, по мере возможности, строения соединений. Необходимость создания такой номенклатуры определяется растущим объемом химической информации, сложностью ее обработки, хранения и использования с помощью электронной вычислительной техники. Образно говоря, химик в своей деятельности не может руководствоваться первой из приведенных в эпиграфе пословиц. Две объективные причины препятствуют созданию единой систематизированной химической номенклатуры - наличие языковых барьеров (одно и то же вещество может по-разному называться на национальных языках) и сложившиеся традиции в крупных сообществах химиков, работающих в разных странах.

Работа номенклатурной комиссии ИЮПАК (Международный союз теоретической и прикладной химии) и аналогичных комиссий национальных комитетов химиков направлена на преодоление последствий действия указанных выше причин и выливается в создание принципов и правил для составления названий. В соответствии с этими правилами названия соединений можно разделить на три категории.

1. Рекомендованные названия химических соединений, построенные в соответствии с принципами систематической химической номенклатуры.

2. Альтернативные (традиционные) названия соединений, построенные с нарушением принятых новых принципов номенклатуры, но имеющие широкое распространение.

3. Неноменклатурные (тривиальные или специальные) названия, которые подлежат изъятию из языка.

Правила систематической номенклатуры легко осваиваются, она наиболее формализована, не допускает двойного толкования и особенно важна для описания сложных молекул. Что касается традиционной номенклатуры, то для перехода от ее названий к формулам веществ требуется практический опыт и значительно большее запоминание, однако эти названия зачастую существенно короче систематических и более удобны в обращении. Несмотря на то, что комиссия ИЮПАК признает не все названия, построенные по правилам традиционной номенклатуры, она по-прежнему широко распространена. Для свободного чтения химической литературы, особенно написанной несколько десятилетий назад, необходимо твердое знание ее основных положений, изложенных нами в следующих разделах.

Названия и символы элементов

Символы химических элементов согласно правилам ИЮПАК приведены в периодической таблице. Впервые эта символика (одна-две буквы латинского названия) была предложена Берцелиусом. Названия химических элементов в большинстве случаев имеют латинские корни. В случае, если элемент известен в течение нескольких столетий, в ряде языков он имеет свое собственное, тривиальное название (золото, железо, медь, сера, азот и т. д.).

Все новые элементы должны иметь двухбуквенные символы и, если они относятся к металлам, их названия должны оканчиваться на **-ий**, например Db (Дубний). Все изотопы элемента имеют одно название, кроме изотопов водорода, которые имеют собственные названия и символику (^1H - протий, $^2\text{H} \equiv \text{D}$ - дейтерий, $^3\text{H} \equiv \text{T}$ - тритий). Надстрочный индекс слева от символа элемента показывает массовое число изотопа, надстрочный индекс справа, обязательно сопровождающийся знаком (+ или -) после цифры, применяется для ионов и показывает их заряд. Число атомов данного элемента в частице (молекуле, ионе) указывают подстрочным индексом справа от символа, атомный номер – подстрочным индексом слева.

Разрешено использовать следующие групповые названия:

- для элементов главных подгрупп: щелочные металлы (I гр.), щелочноземельные металлы (II гр., кроме Mg), халькогены (VI гр.), галогены (VII гр.), благородные газы (VIII гр.); не рекомендовано использовать название пниктогены (V гр.) и его производное – пниктиды;
- для элементов побочных подгрупп: лантаноиды (La – Lu), актиноиды (Ac – Lr), названия лантаниды и актиноиды использовать не рекомендовано; редкоземельные металлы (III гр., кроме актиноидов); семейство железа (Fe, Co, Ni); семейство платины (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt); переходные элементы (d и f-элементы, то есть все элементы побочных подгрупп).

Названия простых веществ

Простые вещества называют, как правило, так же, как и соответствующие элементы. Свои собственные названия имеют только аллотропные модификации углерода (алмаз, графит, карбин, фуллерены) и вторая модификация кислорода (озон). При названиях аллотропных модификаций остальных элементов обычно указывают ее краткую физическую характеристику (белый, красный, черный фосфор, кристаллическая и пластическая сера, серое и белое олово и т. д.).

Бинарные соединения

В формулах двухэлементных соединений, состоящих из металла и неметалла, символ металла записывают на первом месте, то есть слева, а символ неметалла – справа. В соединениях из двух металлов или неметаллов первым записывают символ того элемента, который стоит в периоде развернутой Периодической системы левее, а в группе – ниже. Исключение составляют благородные газы, помещаемые как бы в нулевую группу и начинающие этот условный ряд и водород, который в этом ряду неметаллов традиционно помещают между элементами V и VI групп. Кислород записывают на первом месте только в соединениях со фтором. Примеры: MnI_2 , FeO , $CuAl_2$, $FeNi_3$, XeO_4 , CH_4 , AsH_3 , H_2S , VrF_3 , ClO_2 , OF_2 .

Названия бинарных соединений составляют из двух слов. В русском языке первым словом обозначают более электроотрицатель-

ный элемент (реальный или условный анион), составляя его из латинского корня названия элемента с окончанием **-ид**, вторым словом является русское название менее электроотрицательного элемента (реального или условного катиона) в родительном падеже:

NaCl - хлорид натрия; B_2O_3 - оксид бора;
 Al_2S_3 - сульфид алюминия; Mg_3N_2 - нитрид магния.

В случае, если менее электроотрицательный элемент имеет несколько положительных степеней окисления, в названии следует указать либо его степень окисления, либо число атомов аниона, используя числовые приставки:

$FeCl_3$ - хлорид железа(III); $FeCl_2$ - дихлорид железа;
 SF_6 - гексафторид серы; SF_4 - фторид серы(IV);
 PbO_2 - диоксид свинца; PbO - оксид свинца(II);
 Pb_3O_4 - оксид свинца (II, IV); N_2O_4 - тетраоксид азота.

В последнем примере однозначность написания формулы по названию обусловлена отсутствием у азота степени окисления (VIII).

Если соединение содержит катионы нескольких металлов или анионы нескольких неметаллов, то при написании формулы придерживаются того же порядка, как и в случае соответствующих бинарных соединений, а называют вещество справа налево, используя дефис:

$SnBrCl_3$ - трихлорид-бромид олова;
 $KNaCl_2$ - хлорид натрия-калия;
 Cu_2Cl_2O - оксид-хлорид меди(II);
 $CaTiO_3$ - оксид титана(IV)-кальция;

Кислород, азот, углерод и сера могут образовывать анионы не только в обычных для них отрицательных степенях окисления. Эти анионы имеют собственные названия:

O_2^{2-} - пероксид; O_2^- - надпероксид; O_3^- - озонид; N_3^- - азид;
 C_2^{2-} - ацетиленид; S_2^{2-} - дисульфид; S_n^{2-} - полисульфид.

Названия некоторых стабильных анионов, состоящих из атомов более чем одного элемента, традиционно также имеют окончания **-ид**:

OH^- - гидроксид; CN^- - цианид; CN_2^{2-} - цианамид;
 NH_2^- - амид; NH_2^- - имид; SCN^- - роданид.

Анион OH^- называть гидроксильным ионом не рекомендуется. Название гидроксил оставляют за нейтральной или положительно заряженной группой OH вне зависимости от того, свободна она или является заместителем.

Традиционная номенклатура бинарных соединений водорода с металлами подчиняется приведенным правилам и такие соединения называются гидридами, только если при стандартных условиях являются твердыми веществами:

CaH_2 - гидрид кальция; UH_3 - гидрид урана;

Несколько водородных соединений имеют свои собственные, прочно укоренившиеся названия, которые оставлены за ними во всех вариантах современной номенклатур:

H_2O - вода; NH_3 - аммиак;

H_2O_2 - пероксид водорода; N_2H_4 - гидразин.

Газообразные соединения водорода, водные растворы которых проявляют кислотные свойства, называют, присоединяя к корню названия второго элемента слово водород, используя суффикс **-о-**:

HI - йодоводород; H_2S - сероводород;

HN_3 - азидоводород; HCN - циановодород.

Сами водные растворы этих газов называют соответствующими **кислотами**:

HCl (водн) - хлороводородная кислота;

H_2Te (водн) - теллуридоводородная кислота.

Названия летучих водородных соединений элементов V группы (кроме азота) образуются от латинского корня названия элемента с окончанием **-ин**; для остальных элементов и в случае, если в состав молекулы входит более одного атома элемента V и VI групп, рекомендуется использовать окончание **-ан**:

PH_3 - фосфин; BiH_3 - висмутин;

SiH_4 - силан; PbH_4 - плюмбан;

Si_2H_6 - дисилан; B_2H_6 - диборан;

P_2H_4 - дифосфан; H_2S_3 - трисульфан.

Многочисленные соединения водорода с углеродом называют по правилам номенклатуры органических веществ.

Двухэлементные катионы, образованные присоединением протона к бинарному водородному соединению, получают окончание **-оний (-ий)**:

NH_4^+ - аммоний; H_3O^+ - оксоний;

PH_4^+ - фосфоний; AsH_4^+ - арсоний;

N_2H_5^+ - гидразиний(1+); N_2H_6^+ - гидразиний(2+).

Если в состав условного катиона входит кислород, то он имеет специальное название, оканчивающееся на **-ил**, такое же, как и название аналогичного незаряженного радикала:

NO^+	-	нитрозил;	CO^{2+}	-	карбонил;
NO_2^+	-	нитроил (нитрил);	PO^{3+}	-	фосфорил;
SO^{2+}	-	тионил;	CrO_2^{2+}	-	хромил;
SO_2^{2+}	-	сульфурил;	UO_2^{2+}	-	уранил.

В результате названия некоторых многоэлементных соединений образуются по правилам номенклатуры бинарных веществ:

NOCl	-	хлорид нитрозила;	PH_4Br	-	бромид фосфония;
SOCl_2	-	хлорид тионила;	NH_4CN	-	цианид аммония;
UO_2F_2	-	фторид уранила;	NH_4SCN	-	роданид аммония.

В интерметаллических соединениях значения электротрицательностей элементов обычно близки и поэтому разделение формулы на две составляющие было бы неоправданно искусственным. Ввиду этого названия таких соединений образуют из одного слова, в котором названия элементов с соответствующими числовыми приставками разделены дефисом:

Mg_2Sn	-	олово-димагний;
NaZn_4	-	тетрацинк-натрий;
Rb_7Hg_8	-	октартуть-гептарубидий;
MnCu_2Al	-	алюминий-димедь-марганец.

Кислородсодержащие кислоты

Названия этого класса соединений строятся из группового слова «кислота» и прилагательного, которое составляется из русского корня названия элемента, окончания **-ая-** и суффиксов, указывающих, насколько степень окисления кислотообразующего элемента отличается от максимальной.

Для высшей или единственной степени окисления применяют суффиксы **-н-**, **-ов-**, **-ев-** :

H_3BO_3	-	борная кислота;	H_2CO_3	-	угольная кислота;
H_2SiO_3	-	кремниевая кислота;	H_2CrO_4	-	хромовая кислота;
HNO_3	-	азотная кислота;	HPO_3	-	метафосфорная кислота;
HReO_4	-	рениевая кислота;	H_3PO_4	-	ортофосфорная кислота.

Приставки **орто-** и **мета-** применяют, чтобы различать названия кислот, молекулы которых отличаются только «содержанием воды».

Если возможны две степени окисления, то для низшей используют суффиксы **-ист-**, **-овист-**:

H_2SeO_3	-	селенистая кислота;	H_2TeO_3	-	теллуристая кислота;
HAsO_2	-	метамышьяковистая кислота;			

H_3AsO_3 - ортомышьяковистая кислота.

В случае трех возможных степеней окисления кислотообразующего элемента, помимо упомянутых суффиксов, для самой низкой (обычно +1) применяется составной суффикс **-новатист-**:

H_3PO_2 - фосфорноватистая кислота;

$\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$ - азотноватистая кислота.

В названиях кислот с четырьмя различными степенями окисления последовательно используют суффиксы **-н-**, **-новат-**, **-ист-** и **-новатист-**:

HClO_4 - хлорная кислота;

HClO_3 - хлорноватая кислота;

HClO_2 - хлористая кислота;

HClO - хлорноватистая кислота.

Для того, чтобы различить кислоты, содержащие разное количество атомов кислотообразующего элемента в одной степени окисления, применяют числовые приставки:

$\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ - дихромовая кислота; $\text{H}_2\text{Cr}_3\text{O}_{10}$ - трихромовая кислота;

$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_5$ - дисернистая кислота; $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$ - тетраборная кислота.

Оксокислоты, в которых атомы кислорода замещены на атомы серы (частично или полностью) или на пероксогруппы (-O-O-), получают к своему названию приставку соответственно **тио-** или **пероксо-** (по необходимости, с числовой приставкой):

$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ($\text{H}_2\text{SO}_3\text{S}$) - тиосернистая кислота;

H_2CS_3 - тритиоугольная кислота;

HNO_4 ($\text{HNO}_2(\text{O}_2)$) - пероксоазотная кислота;

$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_6(\text{O}_2)$) - пероксодисернистая кислота.

Средние соли кислородсодержащих кислот

Названия средних солей состоят из традиционных названий катионов и анионов. Если элемент в образующих им оксоанионах проявляет одну степень окисления, то название аниона оканчивается на **-ат**:

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ - карбонат аммония; K_4SiO_4 - ортосиликат калия;

NaBiO_3 - висмутат натрия; LiBO_2 - метаборат лития.

В случае двух степеней окисления ещё используют окончание **-ит**:

BaSeO_4 - селенат бария;

FeAsO_4 - ортоарсенат железа(III);

BaSeO_3 - селенит бария;

$\text{Fe}(\text{AsO}_2)_2$ - метаарсенит железа(II).

Если степеней окисления элемента в анионах может быть более двух, то для самой низкой (обычно +1) применяют приставку **гипо-** с окончанием **-ит**:

$\text{Na}_2\text{N}_2\text{O}_2$ - гипонитрит натрия; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ - гипофосфит кальция. Последнее вещество является средней солью, поскольку в этом анионе два атома водорода присоединены непосредственно к атому фосфора и не проявляют кислых свойств.

Названия анионов, образованных элементом в степени окисления +7, имеют приставку **пер-** и окончание **-ат**:

H_3OClO_4 - перхлорат оксония; KMnO_4 - перманганат калия; Ag_5IO_6 - ортопериодат серебра; SrIO_4 - метапериодат стронция.

Соли поли- тио- и пероксокислот называются по тем же правилам, сохраняя соответствующую приставку от названия кислоты:

$\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ - дифосфат магния; $\text{Cs}_3\text{PO}_2(\text{O}_2)_2$ - дипероксофосфат цезия; $\text{K}_2\text{SO}_3(\text{O}_2)$ - пероксосульфат калия; $\text{Rb}_2\text{S}_2\text{O}_2$ - тиосульфит рубидия.

Кислые и основные соли

Если в состав соли входят атомы водорода, которые при диссоциации проявляют кислотные свойства и могут быть замещены на катионы металлов, то такие соли называются кислыми. Названия таких солей образуют, добавляя к названию аниона соответствующей средней соли приставку **гидро-**, по необходимости добавляя числовую приставку:

CoHSO_4 - гидросульфат кобальта(II);

$\text{Ba}(\text{HS})_2$ - гидросульфид бария;

$\text{Ba}(\text{HO}_2)_2$ - гидропероксид бария;

$\text{CrH}_2\text{P}_2\text{O}_7$ - дигидродифосфат хрома(II);

$\text{Cr}(\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7)_3$ - тригидродифосфат хрома(III);

CrHP_2O_7 - гидродифосфат хрома(III).

В случаях, когда соль, помимо кислотного остатка содержит гидроксид-ионы, такие соли называются основными. Их названия получают к названию аниона приставку **гидроксо-**, также с числовой приставкой по необходимости:

$(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ - гидроксокарбонат меди;

FeOHNO_3 - гидроксонитрат железа(II);

$\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl}$ - дигидроксохлорид алюминия.

Основные соли можно рассматривать как соли и гидроксиды одновременно, тогда это необходимо отражать и в формуле, и в на-

звании; такие названия строятся с применением числовых приставок. Если в названии аниона уже есть приставка или необходимо избежать двусмысленности, применяют умножающие числовые приставки (**бис-**, **трис-**, **тетракс-**, **пентакс-** и т.д.):

$\text{Cu}_3\text{CO}_3(\text{OH})_2$ - дигидроксид-карбонат тримеди;

$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ - гидроксид-трис-(фосфат) пентакальция;

$\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ - гексагидроксид-бис-(сульфат) триалюминия-калия.

Кристаллогидраты

Названия кристаллогидратов состоят из слова **гидрат** с приставкой, отвечающей числу молекул воды, и традиционного названия вещества:

$\text{Pb}(\text{BrO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - гидрат бромата свинца(II);

$\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - дигидрат дигидрофосфата марганца(II);

$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - декагидрат тетрабората натрия;

$(\text{UO}_2)_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ - додекагидрат ортоарсената уранила;

$\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ - 18-гидрат сульфата хрома(III);

$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - гидрат аммиака;

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - дигидрат хлорида кальция;

$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ - додекагидрат сульфата алюминия-калия;

$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - гексагидрат сульфата железа(II)-аммония.

Две последние соли относятся к семействам квасцов и шёнитов соответственно. Групповое название **квасцы** применяется к двойным сульфатам состава $\text{M}^{\text{I}}\text{M}^{\text{III}}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, **шёниты** - к двойным сульфатам состава $\text{M}_2^{\text{I}}\text{M}^{\text{II}}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Координационные (комплексные) соединения

Сложившиеся к концу XIX века представления о химическом родстве, вылившиеся в понятие валентности элемента, позволяли объяснить стехиометрию подавляющего большинства как неорганических, так и органических соединений. Однако состав некоторых веществ, главным образом соединений переходных металлов, не находил объяснений в рамках этих представлений. Например, PtCl_2 и CuCl_2 – обычные хлориды платины(II) и меди(II), а вот соединения K_2PtCl_4 и $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2$ уже не укладываются в сознании химиков того времени. Число таких веществ быстро увеличивалось благодаря развитию работ по синтезу. Это внешнее противоречие между валентностью элемента и числом окружающих его атомов удалось разрешить А. Вернеру, создавшему первую теорию строения комплексных соединений. Он представлял себе химическое родство как силу, равномерно действующую в пространстве по всем направлениям. Под действием этой силы каждый атом стремится равномерно окружить себя ионами или молекулами, оказывающимися после этого в непосредственной связи с атомом, играющим роль центра притяжения. Явление притяжения ионов или молекул **центральным атомом** Вернер назвал координацией.

В роли центрального атома (**комплексобразователя**) могут выступать и ионы – моно- и полиядерные, гомо- или гетероядерные. Число атомов, непосредственно связанных с центральным атомом, называется **координационным числом**. Классические (Вернеровские) **комплексные соединения** – это соединения, в которых координационное число центрального атома превышает его формальную степень окисления. Современные определения термина «координационное (комплексное) соединение» или «комплекс» довольно гибки и достаточно громоздки, причем их содержание развивается и изменяется с развитием всей неорганической химии.

Частицы (ионы или молекулы), связанные с центральным атомом, называют **лигандами**. Атомы, посредством которых осуществляется эта связь, называются **донорными**. По числу донорных атомов в составе различают **монодентатные** и **полидентатные** лиганды. Последние способны образовывать несколько связей с одним центральным атомом, образуя цикл (**хелат**), или с несколькими центральными атомами, выступая в качестве **мостика** в полиядерных соединениях.

Центральный атом вместе с координированными лигандами образует **внутреннюю сферу** комплексного соединения, которую можно называть **комплексом**. Если комплекс оказывается электрически заряженным, то он называется комплексным ионом, а в состав соединения в целом для компенсации заряда должны входить катионы или анионы, образующие **внешнюю сферу**.

В соответствии с правилами ИЮПАК каждое координационное соединение получает свое собственное **систематическое** название, полностью отражающее его состав. Называть комплексные соединения по любой другой номенклатуре, кроме систематической, не рекомендуется.

Формулы и названия лигандов

Если в качестве лигандов выступают **одноэлементные анионы** или **анионы, имеющие специальные названия**, то названия таких лигандов состоят из корня названия или полного названия аниона с соединительной гласной **-о-**; в случае **анионов оксокислот** соединительную гласную добавляют к полному названию аниона:

F^- - фторо; Cl^- - хлоро; H^- - гидридо; N^{3-} - нитридо; N_3^- - азидо;

O^{2-} - оксо; O_2^{2-} - пероксо; O_2^- - надпероксо; O_3^- - озона;

S_2^{2-} - дисульфидо(2-); OH^- - гидроксо; CN^- - циано; NH_2^- - амидо;

NH^{2-} - имидо; NO_3^- - нитрато; CO_3^{2-} - карбонато; SO_3^{2-} - сульфито;

HSO_4^{2-} - гидросульфато; $S_2O_3^{2-}$ - тиосульфато; IO_6^{5-} - ортопериодато.

По традиции **сульфид-** и **гидросульфид-**ионы именуют так:

S^{2-} - тио; HS^- - меркапто.

Анионы углеводов называют как радикалы, не употребляя соединительной гласной:

CH_3^- - метил; $C_6H_5^-$ - фенил; $C_5H_5^-$ - циклопентадиенил.

Для обозначения в качестве лигандов **нейтральных групп атомов** (молекул) используют их названия без изменений:

N_2 – диазот; CS_2 – сероуглерод; C_2H_4 – этилен; N_2H_4 – гидразин.

Для **некоторых нейтральных лигандов** по традиции применяют **специальные** названия:

H_2O – аква; NH_3 – аммин; CO – карбонил;

CS – тиокарбонил; NO – нитрозил;

Положительно заряженные лиганды, представляющие собой многоэлементные катионы, сохраняют названия этих катионов с

добавлением окончания **-ий**, если в исходном названии его не было: N_2H_5^+ - гидразиний; NO^+ - нитрозилий; NO_2^+ - нитроиллий.

Традиционное название лиганда H^+ - гидро.

Многоэлементные лиганды могут быть координированы к комплексообразователю различными своими атомами или несколькими атомами (**полидентатные лиганды**). При наличии информации о координации такого лиганда ее можно отразить в названии, указав в конце химический символ координируемого атома или атомов (через дефис):

CN^- - циано-N или циано-C; ClO_3^- - хлорато-O или хлорато-O,O.

По традиции **нитрит-ион**, координированный атомом кислорода, называют нитрито, атомом азота – нитро.

Формулы комплексных соединений

При написании формулы комплексного соединения в основном руководствуются теми же правилами, что и при составлении формул бинарных и других соединений, описанных выше, за исключением записи собственно комплексной частицы. Эту частицу обязательно заключают в квадратные скобки, соблюдая следующий порядок: вначале записывают центральный атом, затем положительно заряженные лиганды, нейтральные и потом отрицательно заряженные. Если в состав комплекса входит несколько одинаковых лигандов, то их количество указывают числовым индексом, заключая формулы многоатомных лигандов в круглые или фигурные скобки. Скобки применяют и в случае одноатомных лигандов, если возможны разночтения, а также для отделения лигандов друг от друга во избежание двусмысленности.

Лиганды, одинаковые по типу заряда, но разные по химическому составу, записывают в соответствии с практическим рядом неметаллов (см. Бинарные соединения), а именно по порядку расположения в этом ряду их первых (слева) элементов независимо от сложности лигандов. Если первые элементы совпадают, то сравнивают вторые и т. д. Среди лигандов, образованных атомами одних и тех же элементов, первым будет записан имеющий меньшее число атомов первого элемента и т. д.

Названия комплексных соединений

Название комплексного соединения составляют, читая его формулу справа налево, строго соблюдая указанный порядок расположения лигандов.

Систематическое название **соединения без внешней сферы** состоит из одного слова, включающего названия лигандов с числовыми приставками и русское название химического элемента - комплексообразователя в **именительном падеже**:

$[\text{Co}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3]$ – трихлоротриамминкобальт;

$[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{NO}_2)_2]$ – динитротетрааквакобальт¹;

$[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)_2]$ – динитритотетраамминкобальт²;

$[\text{Cr}(\text{C}_6\text{H}_6)_2]$ – дибензолхром;

$[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ – тетракарбонилникель;

$[\text{Pt}\{\text{P}(\text{C}_2\text{H}_5)_3\}_2\text{Cl}_2]$ – дихлоробис(триэтилфосфин)платина.

Название соединения, содержащего **комплексный катион**, формируется из названия внешнесферного аниона в именительном падеже и названия комплексного катиона. Последний называют так же, как и комплекс без внешней сферы, изменяя падеж названия комплексообразователя на **родительный** и указывая его степень окисления. Названия катиона и аниона пишут раздельно:

$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ – гидроксид диамминсеребра(I);

$[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – гидрат сульфата тетрааквамеди(II);

$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{ClO}_4)_2$ – перхлорат тетраамминмеди(II);

$[\text{Pt}(\text{N}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}_2]\text{Br}_2$ – бромид дихлородигидразинийплатины(II);

$[\text{Ru}(\text{N}_2)(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2$ – хлорид пентааммин(диазот)рутения(II);

$[\text{Ru}(\text{H}_2\text{O})(\text{NH}_3)_4(\text{HSO}_3)]\text{Cl}$ – хлорид гидросульфатотетраамминрутения(II);

$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4][\text{Pt}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}_2$ – хлорид дихлоротетраамминплатины(IV)-тетраамминплатины(II);

$[\text{Cs}(\text{H}_2\text{O})_6][\text{Ga}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{SO}_4)_2$ – сульфат гексааквагаллия-гексааквацезия(I).

Название соединения с **комплексным анионом** также строится из названия аниона в именительном падеже и катиона в родительном. В названии комплексного аниона используют латинский корень названия комплексобразователя, дополняя его окончанием **–ат** и указывая его степень окисления:

$(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$ – гексахлороплатинат(IV) аммония;

¹ Координация лиганда NO_2^- через атом N.

² Координация лиганда NO_2^- через атом O.

$\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ – бис(тиосульфато)аргентат(I) натрия;
 $\text{Li}[\text{AlH}_4]$ – тетрагидридоалюминат(III) лития;
 $\text{K}[\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4]$ – тетрафенилборат(III) калия;
 $\text{K}_2[\text{FeNO}(\text{CN})_5]$ – пентацианонитрозилферрат(III) калия;
 $\text{K}_7[\text{Cu}(\text{IO}_6)_2]$ – бис(ортопериодато)купрат(III) калия;
 $\text{H}_2[\text{Mn}(\text{IO}_3)_6]$ – гексаиодатоманганат(IV) водорода;
 $\text{K}_2[\text{Hg}(\text{NO}_3)_4]$ – тетранитратомеркурят(II) калия;
 $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{N}_3)_6]$ – гексаазидостаннат(IV) натрия;
 $\text{K}_2[\text{Re}(\text{CN})_4\text{N}]$ – нитридотетрацианоренат(V) калия;
 $\text{Rb}_4[\text{Sb}^{\text{III}}\text{Cl}_6][\text{Sb}^{\text{V}}\text{Cl}_6]$ – гексахлоростибат(V)-гексахлоростибат(III) рубидия.

Названия соединений, содержащих **комплексный катион** и **комплексный анион**, составляются по тем же правилам:

$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4][\text{PtCl}_6]$ – гексахлороплатинат(IV) тетраамминплатины(II);
 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{Co}(\text{NH}_3)_2(\text{NO}_2)_4]_3$ – тетранитродиаамминкобальтат(III) гексаамминкобальта(III).

Для разнолигандных комплексных соединений часто оказывается возможным существование нескольких **геометрических изомеров**. Сведения о точном строении таких комплексов передают специальными приставками к названию (например, **цис-** или **транс-**). В более сложных случаях отмечают каждую из возможных позиций вокруг центрального атома **латинской буквой** или **цифрой** и в названии указывают положение каждого сорта лигандов:

цис- $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ – цис-дихлородиаамминплатина;

$[\text{Pt}(\text{b-NH}_3)(\text{d-N}_2\text{H}_4)(\text{c-NH}_2\text{OH})(\text{a-NO}_2)]\text{Cl}$ – хлорид (а-нитро)(с-гидроксиламин)(d-гидразин)(b-аммин)платины(II).

Систематическая номенклатура координационных соединений в неорганической химии наиболее формализована и последовательна, она позволяет во многих случаях однозначно указывать и состав и строение соединений. Поэтому комиссия ИЮПАК **не запрещает** использовать ее для построения названий соединений, которые не являются по своей природе комплексными, но формально могут быть представлены как комплексные. Вот так, например, будут выглядеть названия некоторых известных кислот и солей по **систематической номенклатуре**:

H_2SO_4 – тетраоксосульфат(VI) водорода;

NaReO_4 – тетраоксоренат(VII) натрия;

$(\text{NH}_4)_4\text{P}_2\text{O}_7$ – гептаоксодифосфат(V) аммония;

$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ – пероксогексаоксодисульфат(VI) калия;

$\text{Cs}_2\text{S}_2\text{O}_3$ – тиотриоксосульфат(VI) цезия.

Рекомендовано использовать систематические названия для **новых соединений**, не имеющих устоявшихся названий. Замена же всех известных традиционных названий на систематические в настоящее время нежелательна, в первую очередь из-за их громоздкости. Было бы также крайне несправедливо разом отказаться от изящной краткой и емкой традиционной номенклатуры, складывавшейся столетиями и имеющей немалые заслуги перед химическим сообществом.

Знакомство с номенклатурой неорганических соединений показывает, что рассмотренные принципы и правила являются своеобразной грамматикой химического языка. Она изменяется и развивается вместе с развитием самого языка и самой химической науки. Начинающий специалист всегда должен помнить, что успех в обмене информацией с коллегами может быть достигнут только в том случае, если он разговаривает с ними на одном, понятном всем языке.

Литература

1. Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л., Цветков А.А. Основы номенклатуры неорганических веществ / Под ред. Б.Д. Степина. М.: Химия, 1983. 112 с.
2. Беляев А.В. Введение в неорганическую химию. Модуль I, части I и II. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1992. 52 с.
3. Шретер В., Лаутеншлегер К.-Х., Бибрак Х. и др. Химия. Справочник. М.: Химия, 2000. 648 с.