

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФБГОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»
Институт химии

Авторы – составители
Кожина Л.Ф., Косырева И.В., Ли Е.П.

**Никель и его соединения:
свойства и методы определения**

Учебно-методическое пособие для студентов
направления «Педагогическое образование» профиль «Химия»

Саратов, 2017

Авторы – составители: Кожина Л.Ф., Косырева И.В., Ли Е.П. Никель и его соединения: свойства и методы определения. Учебно-методическое пособие для студентов направления «Педагогическое образование» профиль «Химия». Саратов. Электронный ресурс. 2017. – с. 62.

Настоящее пособие составлено в соответствии с программой дисциплины «Общая и неорганическая химия», раздел «Металлы и их соединения» и предназначено для студентов 2 курса Института химии, обучающихся по направлению «Педагогическое образование», бакалавриат. Данное пособие является частью комплекта пособий для самостоятельной подготовки студентов.

Данное пособие составлено преподавателем кафедры общей и неорганической химии и преподавателем кафедры аналитической химии и химической экологии. В разработке приняла участие студентка направления «Педагогическое образование».

Пособие включает описание особенностей электронного строения атомов *d*-элементов, свойства соединений никеля (II) и никеля (III), а также методы определения никеля (II) в водных объектах.

Дисциплина «Аналитическая химия» изучается студентами данного направления в 4 семестре и предлагаемый материал является логическим продолжением вопросов, рассмотренных в курсе «Общей и неорганической химии»

Рекомендуют к печати

Кафедра общей и неорганической химии

Кафедра аналитической химии и химической экспертизы

Саратовского государственного университета

НМС Института химии СГУ

Рецензенты

д.х.н., профессор кафедры аналитической химии

и химической экологии Доронин С.Ю.

к.х.н., доцент кафедры общей и неорганической химии

Акмаева Т.А.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение.....	4
1. Особенности электронного строения атомов <i>d</i> -элементов.....	5
2. Никель и его свойства	8
2.1. Соединения никеля (II).....	12
2.2. Соединения никеля (III).....	16
3. Биологическая роль соединений никеля.....	18
4. Химический эксперимент по теме «Никель и его соединения».....	25
5. Методы определения никеля (II).....	33
6. Тест-методы определения никеля (II).....	50
Список литературы.....	61

ВВЕДЕНИЕ

Раздел «Металлы и их соединения» является составной частью курса «Общая и неорганическая химия», осваивается студентами на 2 курсе, в 3 семестре. Аудиторная работа студентов по изучаемой дисциплине состоит из двух разделов: лекций и лабораторных занятий.

Перед выполнением лабораторной работы по теме «Никель и его соединения» студенты изучают задание, отвечают на теоретические вопросы, поставленные в каждом опыте («домашняя заготовка»), а на занятии проводят соответствующие химические эксперименты. В ходе самостоятельной домашней работы студенты должны оформить и ответить на вопросы, приведенные в задании. Это стимулирует студентов более внимательно и подробно записывать лекционный материал. Кроме теоретических вопросов, в качестве домашней работы предлагаются различные расчетные задачи. При решении задач развиваются логическое мышление, умения и навыки применять ранее полученные знания.

Особое внимание необходимо уделять наблюдениям при проведении химического эксперимента. Особенностью научного наблюдения является его направленность на сбор максимально полной информации об изучаемом объекте или явлении.

Самостоятельная работа – составная часть учебной работы и имеет целью закрепление и углубление знаний, полученных на аудиторных занятиях; поиск и приобретение новых знаний и умений. Умение самостоятельно работать является не только средством, но и целью обучения. Самостоятельная работа – трудная, но необходимая часть учебной работы, так как в ней заложена возможность самостоятельности мышления, творческой активности. Это позволяет студентам глубже разобраться в сути теоретических вопросов и руководствоваться полученными знаниями в своей профессиональной деятельности.

1. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО СТРОЕНИЯ АТОМОВ *d*-ЭЛЕМЕНТОВ

К *d*-блоку относятся 32 элемента периодической системы. Они находятся в больших периодах таблицы Менделеева. У атомов IIIБ-группы появляется первый электрон на *d*-орбитали. В последующих Б-группах происходит постепенное заполнение *d*-подуровня до 10 электронов. Строение валентных оболочек атомов описывается общей формулой $(n-1)d^a ns^b$, где *a* (число электронов) = 1-10, *b* (число электронов) = 1-2. **Все *d*-элементы являются металлами.** Они обладают некоторыми особенностями по сравнению с металлами главных подгрупп:

- характеризуются заполнением внутренних *d*-орбиталей. Химические свойства этих элементов определяются участием в реакциях электронов *s*- и *d*-орбиталей;

- у *d*-элементов лишь небольшая часть валентных электронов делокализована по всему кристаллу (у щелочных и щелочноземельных металлов валентные электроны полностью отданы в коллективное пользование). Остальные *d*-электроны участвуют в образовании направленных ковалентных связей между соседними атомами. *d*-металлы в кристаллическом состоянии обладают не чисто металлической связью, а ковалентно-металлической;

- для *d*-элементов характерен большой набор валентных состояний и соответственно, разнообразие степеней окисления. И как следствие этого, изменение кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств в широких пределах.

- вследствие незаконченности *d*-подуровня и наличия близких по энергии вакантных *ns*- и *np*-уровней, *d*-элементы склонны к комплексообразованию;

Особенностью элементов этих периодов является непропорционально медленное уменьшение атомного радиуса с возрастанием числа электронов (порядкового номера). Это объясняется *d*-сжатием вследствие проникновения

электронов на предвнешний *d*-подуровень. В результате наблюдается незначительное изменение атомных и химических свойств элементов с увеличением атомного номера.

С увеличением атомного номера в группах металлические свойства закономерно уменьшаются; возрастают значения величин энергии ионизации и электроотрицательности.

Так как *d*-металлы и их ионы имеют неспаренные электроны, способные при поглощении световой энергии переходить из основных энергетических уровней и подуровней на более высокие уровни (в возбужденное состояние), то большинство ионов и их соединений окрашены.

Свойства *d*-элементов разных групп

Характеристики элементов	IIIБ	IVБ	VБ	VIБ	VIIБ	VIIIБ			IB	IIБ
	Sc, Y, La	Ti, Zr, Hf	V, Nb, Ta	Cr, Mo, W	Mn, Tc, Re	Fe, Ru, Os	Co, Rh, Ir	Ni, Pd, Pt	Cu, Ag, Au	Zn, Cd, Hg
Орбитальный радиус атома, пм	169	159	159	152	139	141	136	-	129	118
Степени окисления	+3	+2, +3, +4	+2, +3, +4, +5	+2, +3, +4, +6	+2, +3, +4, +6, +7	+2, +3, +6	+2, +3	+2, +3, +4	+1, +2, +3	+2
Энергия ионизации (E, кДж/моль)	600	660	664	685	700	710	720	805	730	870
Координационные числа	4, 6, 8	4, 6, 7, 8	4, 6, 7, 8	4, 6, 8, 9	4, 6, 7, 8	4, 5, 6	4, 6	5, 6	2, 3, 4	4, 6

Комплексообразование повышает восстановительные свойства металлов и уменьшает окислительные свойства ионов металлов. Для получения информации о комплексах с различными лигандами следует обращаться к специальным таблицам, в которых приведены значения стандартных потенциалов комплексных частиц. Способность к

комплексообразованию зависит от природы металла и наличия вакантных орбиталей у его иона и растет с увеличением заряда иона и уменьшением его радиуса. Склонность к комплексообразованию в наибольшей степени выражена у ионов переходных металлов, особенно *d*-элементов VIII, I и II группы.

Более 1/3 всех микроэлементов организма составляют *d*-элементы. В организмах они существуют в виде комплексных соединений или гидратированных ионов со средним временем обмена (жизни) гидратной оболочки от 10^{-1} до 10^{-10} с. Поэтому можно утверждать, что «свободные» ионы металлов в организме не существуют: это либо их гидраты, либо продукты гидролиза. В биохимических реакциях *d*-элементы наиболее часто проявляют себя как металлы-комплексообразователи. Лигандами при этом выступают биологически активные вещества, как правило, органического характера или анионы неорганических кислот.

Увеличение уровня промышленного производства и связанное с ним загрязнение окружающей среды привело к резкому росту числа отравлений ионами тяжелых металлов. Токсичность переходных и тяжелых металлов обусловлена их способностью участвовать в комплексообразовании. Полагают, что избыточное количество катионов металлов приводит к замещению ими других катионов в активных центрах ферментов. Для того, чтобы выполнять функции антидотов (веществ, которые применяют при выведении ионов тяжелых металлов), используют комплексоны, образующие комплексные соединения хелатного типа с катионами-токсикантами. Они должны отвечать ряду требований:

- они должны быть нетоксичны;
- комплексоны не должны подвергаться разложению или какому-либо изменению в биологической среде;
- их антидотное действие зависит от прочности образующегося металло-комплекса, что определяется величиной константы устойчивости;

- эффективность комплексонов в отношении токсичных металлов зависит не только от стабильности образуемого комплекса металл-хелат, но и от прочности связи извлекаемого металла с биокомплексами организма;
- образуемые комплексы металл-хелаты должны быть растворимы в биологических жидкостях, что способствует их выведению с уриной из организма человека.

2. НИКЕЛЬ И ЕГО СВОЙСТВА

...науки, которые не родились из эксперимента, той основы всех познаний, бесполезны и полны заблуждений...

Леонардо да Винчи

Никель был открыт в 1751 г. Однако задолго до этого саксонские горняки применяли в стекловарении некую руду, внешне похожую на медную, для окраски стекол в зеленый цвет. Все попытки получить из этой руды медь оказались неудачными, в связи с чем руду стали называть «купферникель», что означает «дьявольская руда». Из этой руды (красный никелевый колчедан) в 1751 г. А. Кронштедт (Швеция) выделил оксид зеленого цвета и из него путем восстановления получил новый металл, названный никелем. Содержание никеля в земной коре составляет $8 \cdot 10^{-3}$ % от общей массы.

Знаете ли Вы?

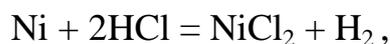
...что высокодисперсный никель, полученный, например, восстановлением оксида водородом самовоспламеняется на воздухе, т.е. является пирофорным.

Знаете ли Вы?

...что особую форму пиррофорного никеля представляет никель Ренея, который получают при сплавлении никеля с алюминием при 1200°С с последующей обработкой сплава концентрированным раствором гидроксида натрия для растворения алюминия. Полученный осадок промывают водой и этиловым спиртом. Используется как эффективный катализатор реакций гидрирования и восстановления органических соединений.

Никель находится в Периодической системе элементов в побочной подгруппе VIII группы, порядковый номер 28. Электронная конфигурация атома $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$, в соответствии с правилами заполнения уровней и подуровней имеет на предвнешнем 3d-подуровне 2 неспаренных электрона.

Никель относится к семейству железа. Поэтому свойства никеля нужно рассматривать в сравнении с другими элементами этого семейства. Никель – металл, относительно твердый, ковкий, пластичный, высокоплавкий. Никель проявляет только **восстановительные** свойства. На воздухе покрыт оксидной пленкой. Никель находится в ряду напряжений металлов до водорода. Взаимодействуют с разбавленными кислотами с выделением водорода



образуя в растворе аквакатионы никеля $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$; полуреакция



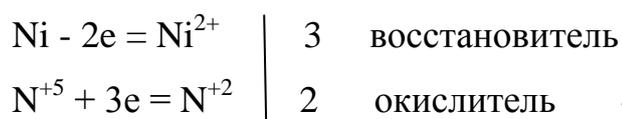
характеризуется значением стандартного потенциала $E^0 = -0,25 \text{ В}$.

Для железа и кобальта соответствующие полуреакции имеют вид:

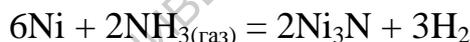
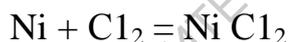


Относится к металлам средней активности. В ряду железо-кобальт-никель восстановительные свойства металлов уменьшаются. Наиболее резкое уменьшение происходит при переходе от железа к кобальту.

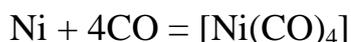
В водном растворе катионы никеля (II) $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ имеют ярко зеленую окраску. Никель пассивируется в концентрированной серной и азотной кислотах. Растворяется в разбавленной азотной кислоте с образованием солей никеля (II):



Никель со щелочами не взаимодействует; реагирует с кислородом и неметаллами при сплавлении; с аммиаком:



Комплексообразующие свойства никеля (0) проявляется в образовании карбонила. Атом никеля проявляет свойства комплексообразователя, молекула CO свойства сильного лиганда. Никель имеет электронную конфигурацию $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$. 3d-подуровень имеет 2 неспаренных электрона, под влиянием сильного лиганда происходит спаривание электронов и в образовании связей с 4 лигандами по донорно-акцепторному механизму принимают участие вакантные 4s- и 4p- орбитали. В соответствии со стремлением к образованию устойчивой 18-электронной оболочки атом никеля предоставляет 10 электронов и 8 электронов - 4 молекулы лиганда.



Знаете ли Вы?

...что тетракарбонил никеля – первый из синтезированных соединений класса карбониллов. Получен в 1890 г. Мондом из мелкоизмельченного («восстановленного») никеля и оксида СО. Токсичность этого соединения осложняет его практическое использование.

Никель растворяется в растворах карбоната аммония с образованием гидроксида диакватетраамминоникеля (II):



Применение никеля:

объем мирового производства никеля составляет более 1 млн.т. 25% никеля вырабатывается в странах бывшего Советского Союза. Большая часть никеля используется при получении разнообразных сплавов. Добавка никеля в сталь увеличивает ее химическую стойкость и улучшает механические свойства. Например, **вигаллиум** (65% Со, 25% Cr, 3% Ni, 4% Мо) который служит материалом для деталей реактивных двигателей и газовых турбин; обладает коррозионной устойчивостью в агрессивных газовых средах при нагревании до 1000°С. **Нихром** – (67,5% Ni, 16% Fe, 15% Cr, 1,5% Mn), обладает повышенной жаростойкостью и удельным электросопротивлением. Широкое применение нашли такие сплавы, как константин, платинит, монель-металл, мельхиор. Монель-металл (68% никеля и 32% меди) используется с веществами вызывающими коррозию. Монель-металл отличается высокой стойкостью к агрессивным средам, пластичностью, прочностью. Используется в химическом производстве, машиностроении, судостроении, электротехнике. Нихром содержит 60% никеля и 40% хрома.

Знаете ли Вы?

... некоторым металлическим сплавам, например нитинолу (55% никеля и 45% титана), присущ эффект памяти формы. Он заключается в том, что деформированное изделие из такого материала при нагреве до определённой температуры возвращается к своей первоначальной форме. Это связано с тем, что данные сплавы имеют особую внутреннюю структуру под названием мартенсит, обладающую свойством термоупругости. В деформированных частях структуры возникают внутренние напряжения, которые стремятся вернуть структуру в исходное состояние. Материалы с памятью формы нашли широкое применение в производстве - например, для соединительных втулок, которые при очень низкой температуре сжимаются, а при комнатной - распрямляются, формируя соединение гораздо надёжнее сварки.

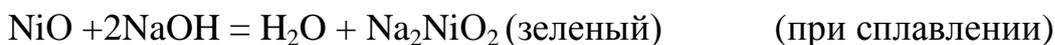
Метод получения никеля сложный и многостадийный. Основан на общих способах получения металлов. В 1899 г Монд разработал карбонильный процесс, основанный на термической неустойчивости карбонила никеля.

2.1. СОЕДИНЕНИЯ НИКЕЛЯ (II)

Оксид никеля (II) NiO термически устойчив, не растворим в воде, но растворяется в разбавленных кислотах:

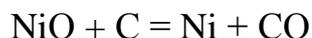


Кислотные свойства проявляются при сплавлении с основными гидроксидами и основными оксидами при сплавлении:

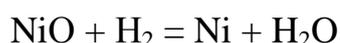


Оксид никеля NiO проявляет слабовыраженные амфотерные свойства с преобладанием основных свойств.

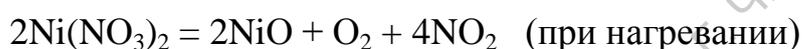
Окислительные свойства никеля (II) проявляются при сплавлении с углеродом:



и при взаимодействии с водородом при нагревании:



Оксид никеля образуется при разложении карбоната или нитрата:



а также при нагревании металлического никеля на воздухе:



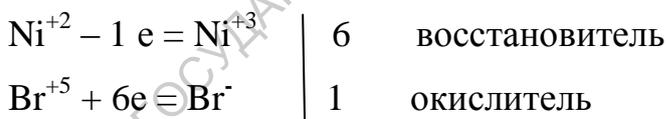
Гидроксид никеля (II) Ni(OH)₂ не растворяется в воде; имеет яблочно-зеленую окраску, термически неустойчив:



проявляет слабые амфотерные свойства ($\text{IP}(\text{Ni}(\text{OH})_2) = 1,6 \cdot 10^{-14}$):



Восстановительные свойства:



Гидроксид никеля переводится в раствор действием гидрата аммония с образованием **комплексного** основания:

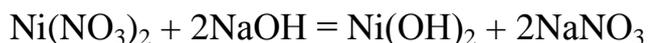


При взаимодействии с концентрированным раствором аммиака образуется $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2$, устойчивость которого характеризуется константой $1,01 \cdot 10^8$.

Сравнивая отношение гидроксидов железа и кобальта к раствору аммиака, нужно отметить, что аммиачный комплекс железа (II) не

существует; аммиачный комплекс кобальта (II) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2$ характеризуется $K_{\text{уст}} = 2,45 \cdot 10^4$; у комплексного соединения никеля (II) $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2$ - $K_{\text{уст}} = 1,01 \cdot 10^8$. В данном ряду наблюдается увеличение устойчивости аммиачных комплексов рассмотренных соединений.

Получение гидроксида никеля (II) основано на общем способе получения нерастворимых в воде оснований по реакции обмена растворимой соли с раствором щелочи:



ПР $(\text{Ni}(\text{OH})_2) = 1,6 \cdot 10^{-14}$, $K_{\text{д}}$ по основному типу $= 3 \cdot 10^{-5}$, слабое основание.

Знаете ли Вы?

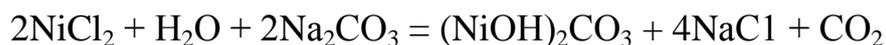
...что гидроксид никеля (II) впервые изучил в 1751 г. шведский химик и минералог Аксель Фредрик Кронстенд.

Гидроксид никеля (II) кислородом воздуха не окисляется в отличие от гидроксидов железа (II) и кобальта(II); для перевода в соединения никеля (III) необходим сильный окислитель.

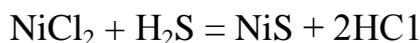
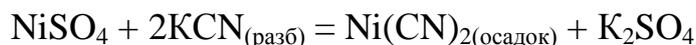
Растворимые соли никеля (II) подвергаются **гидролизу** по катиону;



При взаимодействии с карбонатами щелочных металлов происходит гидролиз и образуется осадок основного карбоната $(\text{NiOH})_2\text{CO}_3$



Соли никеля вступают в реакции обмена:



NiS сульфид нерастворим в воде и разбавленных кислотах,

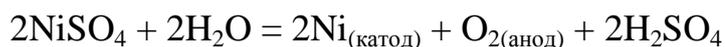
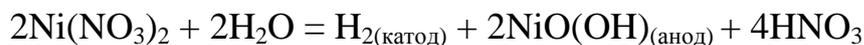
ПР $= 3,2 \cdot 10^{-19}$,

NiS растворяется в кислотах - окислителях:

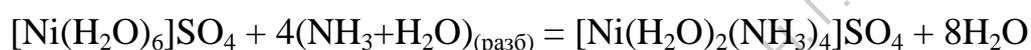
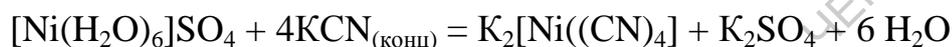


восстановительные свойства обусловлены минимальной степенью окисления атома серы.

Процессы электролиза в водных растворах никеля (II) протекают:



Комплексообразование:

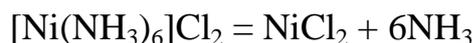


При наличие в водных растворах солей никеля (II), соединений проявляющих способность выступать в роли лигандов, наблюдается замещение молекул воды на более сильные лиганды.

При добавлении к соли никеля (II) цианидов зеленая окраска зеленого раствора меняется на желтую. При добавлении к соли никеля (II) небольшого количества аммиака вначале образуется осадок гидроксида никеля зеленого цвета, который растворяется при введении избытка аммиака, и образуется раствор аммиачного комплекса фиолетово-синего цвета.

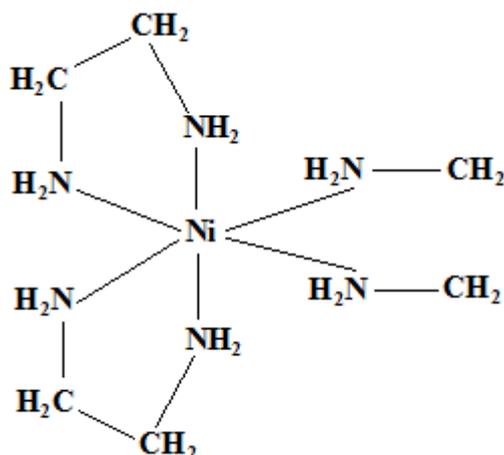
Аммиакаты разрушаются при любых воздействиях, которые удаляют (при нагревании) или разрушают (действием окислителя) молекулу аммиака, переводят аммиак в кислотной среде в катион аммония, либо связывают центральный атом в виде малорастворимого соединения.

Например,



Наиболее известны комплексные соединения никеля с органическими лигандами. Комплекс никеля с этилендиамином более прочный, чем

аммиачный. Это объясняется хелат-эффектом. В структуре этилендиаминового комплекса образуются три пятичленных цикла:

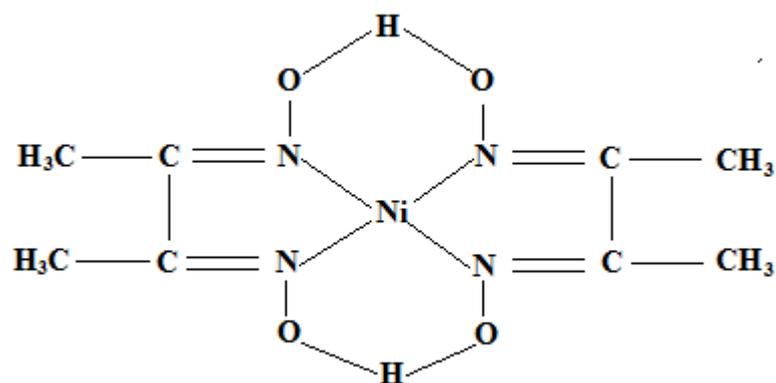


Ион-никеля (+2) является акцептором электронов и предоставляет вакантные орбитали в общее пользование при образовании 6 связей с атомами азота –донорами электронов. $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ $K_{\text{уст}} = 1,01 \cdot 10^8$. $[\text{Ni}(\text{en})_3]^{2+}$ $K_{\text{уст}} = 1,29 \cdot 10^{19}$

Знаете ли Вы?

что исследования этилендиаминовых комплексов никеля проводил в 20-30х гг. XX в. немецкий химик В. Хибер.

Если к раствору аммиачного комплекса никеля $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ добавить несколько капель реагента диметилглиоксима, то происходит переход фиолетово-синего окрашивания в малиново-красное, обусловленное образованием диметилглиоксиматного комплекса никеля, строение которого можно представить:



Образующийся комплекс является более прочным, происходит реакция конкурирующего комплексообразования. Большая прочность объясняется наличием в его структуре двух пятичленных и двух шестичленных циклических структур.

Окраска комплексных соединений никеля различная. Это обусловлено природой лигандов, образующих комплексный ион. Более сильные лиганды вызывают большее расщепление d -подуровней и это определяет положение максимума поглощения в спектрах поглощения растворов комплексных соединений. Аквакомплекс никеля $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ имеет зеленую окраску, так как поглощает видимый свет в красной области спектра (максимум поглощения находится при 740 нм). Цвет раствора аммиачного комплекса $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ фиолетовый, поглощает желто-зеленый компонент света (максимум длины волны при 571 нм). Окраска раствора комплексного иона $[\text{Ni}(\text{en})_3]^{2+}$ красно-пурпурная, максимум полосы поглощения при 545 нм. Чем сильнее лиганд, тем больше энергия расщепления и наблюдается смещение максимума полосы поглощения в более коротковолновую область.

Знаете ли Вы?

...что диметилглиоксиматный комплекс никеля впервые был получен Л.А. Чугаевым в 1905 г. «Реакция Чугаева» получения красного осадка (в разбавленных растворах – красного окрашивания) используется в качественном и количественном анализе на никель. Одна из наиболее чувствительных качественных реакций на ионы никеля.

Какова дентатность лиганда в этом соединении?

Восстановительные свойства соединений никеля (II) проявляются в сильно щелочной среде в присутствии сильного окислителя:



Окислительно-восстановительные реакции такого типа позволяют осуществить переход к соединениям никеля (III).

Хлорид-ион в солях никеля (II) при взаимодействии с азотной кислотой проявляет восстановительные свойства, процесс сопровождается образованием свободного хлора:



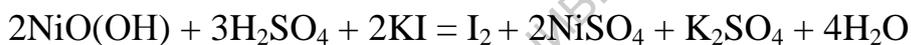
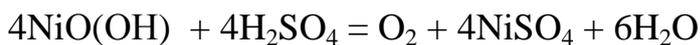
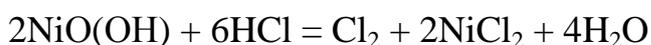
2.2. СОЕДИНЕНИЯ НИКЕЛЯ (III)

Гидроксид никеля (III) $\text{NiO}(\text{OH})$ осаждается в виде гидрата $\text{Ni}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, вещество черного цвета, не растворяется в воде, термически неустойчивый.

Знаете ли Вы?

...что NiO(OH) получено в 1864 г. немецким химиком Кристиан Фридрих Шёнбейн.

Метагидроксид никеля (III) NiO(OH) не реагирует со щелочами, разлагается кислотами. Сильный окислитель, характеризуется величиной стандартного восстановительного потенциала:



NiO(OH) образуется в щелочной среде в присутствии сильных окислителей:



В отличие от гидроксидов железа (III) и кобальта (III), гидроксид никеля (III) нельзя получить, используя в качестве окислителя пероксид водорода. Пероксид водорода каталитически разлагается в присутствии гидроксида никеля на O₂ и H₂O.

Соединения никеля (III) обладают сильными окислительными свойствами, поэтому процесс комплексообразования осложняется

окислением лигандов, и лишь немногие лиганды, наиболее устойчивые к окислению, могут образовывать с никелем (III) комплексные соединения.

3. БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ СОЕДИНЕНИЙ НИКЕЛЯ

Соединения никеля постоянно находятся в растительных и животных организмах как примесь, на уровне $5 \cdot 10^{-5}\%$ - $1 \cdot 10^{-6}\%$. По сравнению с соединениями железа и кобальта малая биологическая роль никеля связана с химической инертностью его соединений. Никель принимает участие в кроветворении, влияет на углеводный обмен. Является токсичным элементом, его макроколичества вызывают отравление живого организма.

Знаете ли Вы?

...никель относится к числу микроэлементов, необходимых для нормального развития живых организмов. Однако о его роли в живых организмах известно немного. Известно, что никель принимает участие в ферментативных реакциях у животных и растений. В организме животных он накапливается в ороговевших тканях, например, в перьях.

Никель в организме является необходимым микроэлементом. Среднее содержание его в растениях $5,0 \cdot 10^{-5}\%$ на сырое вещество, в организме наземных животных $1,0 \cdot 10^{-6}\%$, в морских - $1,6 \cdot 10^{-4}\%$.

Установлено, что никель активизирует фермент аргиназу, влияет на окислительные процессы; у растений принимает участие в ряде ферментативных реакций (карбоксилирование, гидролиз пептидных связей и других). На обогащенных никелем почвах содержание его в растениях может повыситься в 30 раз и более, что приводит к эндемическим заболеваниям (у растений - уродливые формы, у животных - заболевания глаз, связанные с повышенным накоплением никеля в роговице: кератиты, кератоконъюнктивиты).

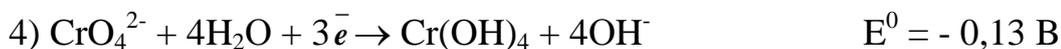
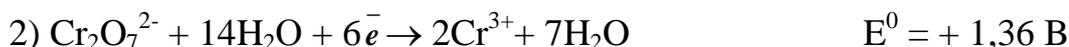
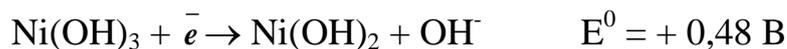
Цельный металлический никель не опасен. Пыль, пары никеля и его соединений токсичны, а также вызывают заболевания носоглотки, легких, злокачественные новообразования, дерматиты, экземы. В атмосферном воздухе ПДК (среднесуточная) для металлического никеля, его оксидов и сульфата $0,001 \text{ мг/м}^3$, для растворимых солей в виде гидроаэрозоля $0,0002 \text{ мг/м}^3$, в воздухе рабочей зоны ПДК $0,005 \text{ мг/м}^3$. Для металлического никеля ПДК в воде $0,1 \text{ мг/л}$, в почве $3,0 \text{ мг/кг}$.

На основе изученного материала заполните таблицу:

Соединение	Нахождение в природе- минерал	Применение	Токсичность
NiAs (арсенат никеля)	Никелин (красный никелевый колчедан)		
(FeNi) ₉ S ₈	Пентландит (железо-никелевый колчедан)		
Ni ₃ [AsO ₄]·8H ₂ O	Аннабергит (никелевые цветы)		

Студенты могут самостоятельно проверить степень освоения теоретического материала дома при подготовке к лабораторной работе, используя следующие задания.

- Подберите окислитель для окисления Ni(OH)₂ в стандартных условиях, если:



- Какой из приведенных гидроксидов обладает наиболее сильными восстановительными свойствами?

- 1) $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 2) $\text{Co}(\text{OH})_2$ 3) $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 4) $\text{Fe}(\text{OH})_3$

- Напишите уравнение реакции и подсчитайте сумму коэффициентов в правой части уравнения:



- 1) 14 2) 9 3) 10 4) 12

- Качественной реакцией на никель (II) является:

- 1) $\text{NiCl}_2 + \text{HON}=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{NOH} \rightarrow$ 3) $\text{NiCl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
2) $\text{NiCl}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow$ 4) $\text{NiCl}_2 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow$

- Соединения никеля проявляют основные свойства в схемах реакций:

- 1) $\text{NiO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ 3) $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{NaOH}_{\text{конц.}} \rightarrow$
2) $\text{Ni}(\text{OH})_3 + \text{HCl}_{\text{конц.}} \rightarrow$ 4) $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{HCl}_{\text{конц.}} \rightarrow$

- Металлический никель растворяется при комнатной температуре в:

- 1) H_2O 3) H_2SO_4 разб. 5) HNO_3 конц.
2) H_2SO_4 конц. 4) $\text{HCl}_{\text{конц.}}$ 6) HNO_3 крепк.

- Для получения никеля высокой степени чистоты используют:

- 1) $\text{NiO} + \text{Mg} \xrightarrow{t^\circ}$ 3) $\text{NiCl}_2_{\text{водн.}} + \text{H}_2 \xrightarrow{t^\circ}$
2) $\text{Ni}(\text{CO})_4 \xrightarrow{t^\circ}$ 4) $\text{NiCO}_3 \xrightarrow{t^\circ}$

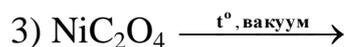
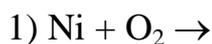
- Гидроксид никеля (II) ($\text{PP} = 1,6 \cdot 10^{-14}$) можно растворить в стандартных условиях:

- 1) NH_3 ($K_{\text{уст. комплекса}} = 2,0 \cdot 10^8$) 3) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ($K_{\text{уст. комплекса}} = 1,1 \cdot 10^2$)
2) KCN ($K_{\text{уст. комплекса}} = 1,0 \cdot 10^{31}$) 4) KNCS ($K_{\text{уст. комплекса}} = 65$)

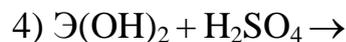
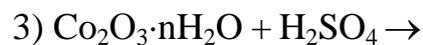
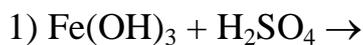
- Какую или какие реакции можно использовать для получения гидроксида никеля (III)?

- 1) $\text{NiCl}_2 + \text{O}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$ 3) $\text{NiCl}_2 + \text{NaClO} + \text{NaOH} \rightarrow$
2) $\text{NiCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$ 4) $\text{NiCl}_2 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$

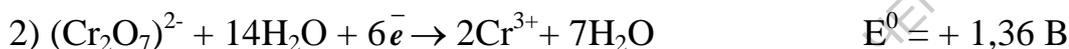
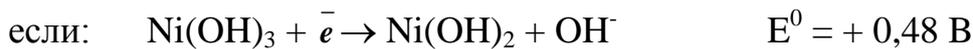
- Какую или какие реакции можно использовать для получения оксида никеля (II)?



- Какая или какие реакции протекают по кислотно-основному типу?



- Подберите окислитель для окисления $\text{Ni}(\text{OH})_2$ в стандартных условиях,



Знаете ли Вы?

...Мировым лидером по добыче никеля является Россия, затем идут Канада, Австралия, Куба, Новая Каледония и Индонезия.

...Никель содержится в некоторых метеоритах, которые по составу представляют собой сплав никеля и железа (так называемые железоникелевые метеориты).

...Ядро Земли, по одной из распространенных гипотез, состоит из железоникелевого сплава. Если это так, то Земля примерно на 3 % состоит из никеля

Знаете ли Вы?

...Никель применяется в аэрокосмической промышленности. С помощью никеля создаётся никелевое покрытие на поверхности другого металла с целью предохранения его от коррозии. Никель применяется при производстве железо-никелевых, никель-кадмиевых, никель-цинковых, никель-водородных аккумуляторов.

...Никель используется в стоматологии (при протезировании и изготовлении брекет-систем).

...Никель используется при производстве монет во многих странах (в США, 5 центовая монета носит разговорное название “никель”).

...Никель также используется для производства обмотки струн музыкальных инструментов.

...В организме животных никель накапливается в тканях (особенно в перьях). Повышенное содержание никеля у животных вызывает заболевания глаз. Повышенное содержание никеля в почвах у растений приводит к эндемическим заболеваниям (у них появляются уродливые формы).

...Никель является основной причиной аллергии на металлы.

...Поджелудочная железа богата никелем. Никель способен угнетать действие адреналина и снижать артериальное давление. Избыток никеля в организме вызывает болезнь «вителиго». Никель депонируется в поджелудочной и околощитовидной железах.

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «НИКЕЛЬ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ»

Опыт 1. *Получение и свойства гидроксида никеля (II)*

Цель	Реактивы и оборудование
Методика эксперимента	Уравнения реакций и наблюдения
<p>Получите гидроксид никеля (II), действуя щёлочью на раствор соли никеля (II). Исследуйте его кислотно-основные свойства, отношение к раствору аммиака, кислороду воздуха, бромной воде.</p> <p>Сделайте вывод о свойствах гидроксида никеля (II).</p>	

<p>- На основании опытов, проведённых ранее, сравните поведение гидроксидов никеля (II), кобальта (II), железа (II) при стоянии на воздухе. В обоснование ответа приведите значения соответствующих стандартных окислительно-восстановительных потенциалов.</p>	
<p>- Охарактеризуйте кислотно-основные свойства гидроксидов никеля (II), кобальта (II), железа (II). Используйте данные расчета рН в суспензиях гидроксидов.</p>	
<p>- Какое основание сильнее – гидроксид никеля (II) или гидроксид гексаамминникеля (II)? Объясните причину этого различия.</p>	
Выполнено	Подпись преподавателя

Опыт 2. *Комплексные соединения никеля (II)*

Цель:	Реактивы и оборудование:
Методика эксперимента	Уравнения реакций и наблюдения
Добавьте к раствору соли никеля (II) сначала небольшое количество раствора аммиака, а затем избыток. Что наблюдаете?	
- Охарактеризуйте комплексообразующие свойства никеля (II).	
- Напишите уравнение диссоциации гексаамминогидроксида никеля(II) и укажите константу устойчивости данного комплекса. Устойчив ли аммиакат никеля (II)?	$[Ni(NH_3)_6](OH)_2$ $K_{уст} =$
- Что произойдет, если к водным растворам сульфатов железа (II), кобальта (II) и никеля (II) прилить избыток раствора аммиака? Напишите соответствующие уравнения реакций.	

- Объясните, почему при добавлении щелочи к водному раствору $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ выпадает зеленый осадок, а при добавлении щелочи к водному раствору $\text{K}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$ осадок не образуется? Для обоснования ответа используйте значения констант устойчивости соответствующих комплексов. Докажите протекание реакции расчетом константы равновесия.

Выполнено

Подпись преподавателя

Опыт 3. *Получение сульфида никеля (II)*

Цель	Реактивы и оборудование
Методика эксперимента	Уравнения реакций и наблюдения
В пробирку с раствором соли никеля (II) добавьте несколько капель раствора сульфида аммония. Напишите ионные уравнения реакции обмена.	
Выпишите ПР, константу диссоциации сероводородной кислоты, предложите способы получения сульфида никеля.	
Как можно перевести сульфид никеля в растворимое состояние? Предложите уравнение химического процесса растворения.	
Выполнено	Подпись преподавателя

Опыт 4. *Получение и свойства гидроксида никеля (III)*

Цель	Реактивы и оборудование
Методика эксперимента	Уравнения реакций и наблюдения
Получите гидроксид никеля (II) по реакции обмена растворимой соли со щелочью. К осадку гидроксида никеля (II) добавьте бромную воду. Отметьте изменение окраски осадка.	
- Сравните кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства гидроксидов железа (III), кобальта (III), никеля (III). Напишите необходимые для обоснования ответа уравнения реакций.	

<p>- Напишите уравнения реакций взаимодействия гидроксидов железа (III), кобальта (III) и никеля (III) с концентрированными и разбавленными растворами соляной и азотной кислот. Для гидроксидов каких элементов взаимодействие протекает по кислотно-основному, а для каких – по окислительно-восстановительному типу?</p>	
Выполнено	Подпись преподавателя

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

После выполнения лабораторной работы студентам предлагается заполнить обобщающую таблицу по свойствам соединений никеля.

вещество	Уравнения химических реакций
Ni	
NiO	
Ni(OH) ₂	
NiO(OH)	
NiCl ₂ и т.д.	

Заполните таблицу, отражающую практическое применение сплавов никеля:

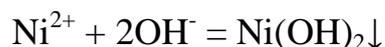
Название сплава	Состав сплава	Практическое применение

5. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ (II)

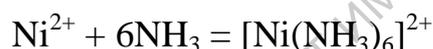
Материал по изучению никеля и свойств его соединений является основой для разработки методов определения никеля в различных объектах. Предлагаемый материал может быть использован студентами при изучении дисциплины «Аналитическая химия».

Качественные реакции ионов Ni^{2+}

1. **Гидроксиды щелочных металлов (NaOH, KOH)** образуют с солями никеля (II) зеленый осадок $Ni(OH)_2$:

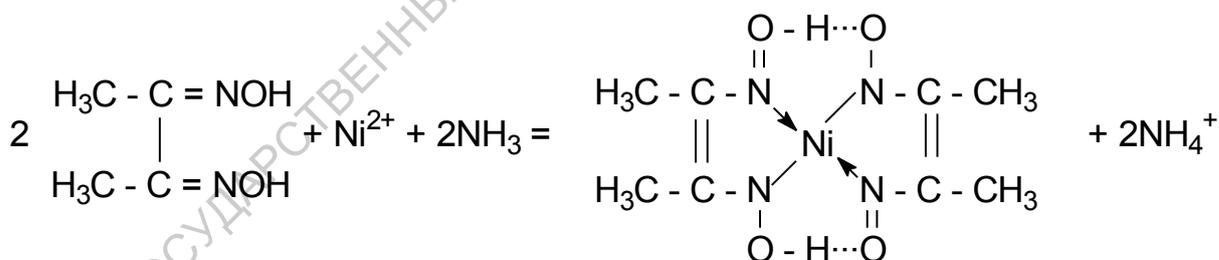


2. **Раствор аммиака NH_3 (водн.)** с ионами Ni^{2+} образует вначале зеленый осадок основной соли $(NiOH)_2SO_4$, который растворяется в избытке NH_3 с образованием комплексного аммиаката синего цвета:



Поэтому NH_3 полностью не осаждает ионы Ni^{2+} .

3. **Диметилглиоксим (реактив Чугаева)** в аммиачной среде образует с ионами Ni^{2+} ало-красный осадок внутрикомплексного соединения:



Осадок диметилглиоксимата никеля растворим в сильных кислотах и щелочах и нерастворим в разбавленном растворе аммиака.

H_2O_2 не влияет на аналитический сигнал реакции; при действии окислителей Br_2 , $(NH_4)_2S_2O_8$ и других осадок переходит в растворимое комплексное соединение красного цвета.

Обнаружению никеля данной реакцией мешают Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , $Hg(I)$ и др. катионы, образующие в аммиачном растворе окрашенные осадки. Поэтому при дробном способе идентификации Ni^{2+} требуется их удаление.

В аналитической химии методы анализа подразделяются на методы пробоотбора, разложения проб, разделения, обнаружение и определение компонентов в анализируемой пробе. Наиболее значимым является метод определения, который характеризуется измерением свойств анализируемого компонента или регистрацией его аналитического сигнала.

К основным методам определения веществ, относят химические методы (гравиметрический и титриметрический анализ), физико-химические методы анализа (например, спектрофотометрические, хроматографические, кинетические виды анализа), физические методы (спектрофотометрический, атомно-эмиссионный, атомно-абсорбционный анализы), а также биологические методы анализа.

Для определения никеля в водных объектах окружающей среды, используются такие методы анализа, как гравиметрический, титриметрический, спектрофотометрический метод, экстракционно – фотометрический метод и др. (таблица 1).

Основными реагентами для определения никеля (II) являются α -диоксимы (диметилглиоксим, α -бензилдиоксим, α -фурилдиоксим и т.д.), также применяют 8-оксохиналин, ПАН, диэтилдитиокарбамат и другие органические реагенты, пределом обнаружения никеля в водных объектах от 75мкг до 25 мг.

Таблица 1. Методы определения никеля (II)

Реагент	Методика определения	Метрологические характеристики
<i>Гравиметрический метод</i>		
ДМГ (диметилглиоксим)	<p><i>Определение никеля в присутствии других металлов.</i></p> <p><u>Для приготовления раствора реагента:</u> 1 г ДМГ растворяют в 100 мл этилового спирта.</p> <p><u>Определение:</u> Раствор, содержащий 20-100 мг никеля в 150мл, обработать 25мл 10%-ным раствором винной кислоты. Если в растворе содержится Fe(II), его следует окислить до Fe (III) несколькими каплями бромной воды. Далее добавить 1-2г NH₄Cl и нагреть раствор до 80-85⁰С. Раствор реагента(5 мл на каждые 10мг никеля) прилить при этой же температуре, конечная концентрация спирта должна быть 30-35%. При более низкой или высокой концентрации спирта, наблюдается растворение комплекса или выпадение в осадок ДМГ. Перемешивать магнитной мешалкой и добавлять 2 М р-р аммиака, до полного осаждения комплекса(pH=8). Выдерживать 60 мин, собирать осадок на стеклянном фильтре, промыть водой и сушить при 130°-150°С. Высушенный осадок взвесить. F при определении никеля</p>	0,2-25мг Ni

	по массе Ni(НДМГ) ₂ = 0,2032	
α-бензилдиоксим	<p><i>Определение никеля в растворе чистой соли.</i></p> <p><u>Для приготовления раствора реагента:</u> 1 г α-бензилдиоксима в 100мл ацетона.</p> <p><u>Определение:</u></p> <p>Раствор, содержащий 0,2-5 мг Ni, разогреть до начала кипения, прибавить раствор CH₃COONa или водный раствор аммиака до щелочной реакции. Постепенно добавить раствор реагента до полноты образования осадка, затем добавить 10-20 мл ацетона. К концу осаждения фильтрат, окрашен в желтый цвет. Затем осадок отфильтровывают, промывают горячей водой, сушат до постоянного веса при 120°-130°С и взвешивают.</p> <p>α-бензилдиоксимат никеля устойчив в более кислой среде(рН от 4,2 до 10,4), при рН= 4,2 никель выделяется из раствора полностью. F при определении никеля = 0,1093</p>	0,2-5мг
α- фурилдиоксим	<p><i>Определение никеля в присутствии других металлов.</i></p> <p><u>Для приготовления раствора реагента:</u> 0,2 г реагента растворяют в 100 мл</p>	0,5 мг

	<p>дистиллированной воды.</p> <p><u>Определение:</u></p> <p>Для осаждения 0,5мг никеля из раствора объемом 25-50 мл, при нагревании добавить 0,2%-ный раствор реагента и аммиак до образования щелочной среды. Перемешать, дать отстояться. Через 10-15 мин наблюдается выпадение хлопьевидного осадка красного цвета. Осадок отфильтровать, через фильтрующий микротигель, промыть насыщенным раствором маточным раствором, затем промыть дистиллированной водой. Сушить в сушильном шкафу при 120°-130°С. Полное выделение никеля происходит при рН от 6,4 до 10,5</p>	
8-оксохиналин	<p><i>Определение никеля в растворе чистой соли.</i></p> <p><u>Для приготовления раствора реагента:</u> Готовят 2%-й раствор 8-оксохиналина.</p> <p><u>Определение:</u></p> <p>В 100 мл нейтрального раствора, содержащий 10-15мг никеля, вносят 3г CH_3COONa и подкисляют 10 мл 10% CH_3COOH.</p> <p>Осаждение проводят спиртовым раствором реагента при 70°С. Осадок собирают</p>	10-15мг

	<p>на фильтре, промывают горячей водой, прокаливают до NiO и взвешивают.</p> <p>Полное осаждение никеля (II) проходит при pH от 4 до 10</p>	
<i>Титриметрический метод</i>		
<p>Комплексон III (индикатор мурексид)</p>	<p><i>Комплексонометрическое определение никеля(II)</i></p> <p><u>Реагенты:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Раствор сульфата никеля; 2. Комплексон III, 0.01M 3. Буферный раствор, состоящий из NH_4Cl и NH_3 4. Мурексид, сухой препарат в смеси с NaCl(1:100). <p><u>Определение:</u></p> <p>Исследуемый раствор соли никеля(II) поместить в мерную колбу емкостью 200 мл (250), довести до метки водой, тщательно перемешать. Для титрования отбирают аликвоту 20,00(25,00)мл, добавить 10мл буферного раствора, 2-3 капли индикатора и титровать раствором комплексона III до перехода желтой окраски в</p>	<p>Не более 15 мг в 100 мл</p>

	сиреневую. Определение проводят при рН 8-12	
Цианид калия	<p><u>Определение:</u></p> <p>К раствору, содержащему ионы никеля, добавляют 1-5 мл 25% - ного водного раствор аммиак, разбавляют раствор до объема 250 мл, приливают 10 мл KI (8г/л) и 10 мл AgNO₃(0.5 г/л). Приготовленный раствор титруют цианидом калия(4,6г/л), до исчезновения мутности. Для быстроты и точности титрования устанавливают конечную точку фотометрическим методом.</p>	0,02мг
Цианид калия (индикатор дифенилкарбазон)	<p><u>Определение:</u></p> <p>В одну колбу помещают нейтральный раствор соли никеля, не содержащий Cu(I), Cu(II), Zn, Cd, Fe (II), Hg (I), Hg (II), V, Co, а в другую – дистиллированную воду. В обе колбы добавляют по 20 мл 20%-ного нитрата аммония, как высаливающий реагент. 15 мл 1/5 н. карбоната натрия (для поддержания рН раствора) и разбавляют до объема 100—150 мл. Далее в колбы добавляют 20 мл бензола и 0,3 мл 1,5%-ного раствора индикатора в этаноле. Титруют раствором KCN до появления красной окраски бензольного слоя.</p>	$\leq 10^{-5}$ г
Диметилглиоксим	<u>Определение:</u>	

(без индикаторный)	Для определения никеля к анализируемому раствору добавляют аммиак до появления слабого запаха и титруют 0,1 – 0,04 М раствором диметилдиоксима (11,6 – 4,6 г диметилдиоксима растворяют в 100 мл 2 н. гидроксида натрия и разбавляют до 1 л водой), пока взятая стеклянной палочкой капля раствора не перестанет образовывать красное пятно на индикаторной бумаге.	
Диметилглиоксим	<p><u>Непрямое титрование с использованием диметилдиоксима</u></p> <p><u>Определение:</u></p> <p>Осажденный и промытый диметилглиоксимат никеля, растворяют в 15-20 мл горячей 1н. соляной кислоты и промывают фильтрат водой. Фильтрат и промывные воды собирают в коническую колбу объемом 500мл, разбавляют до 90-100 мл и кипятят 15-20 мин. Разбавляют раствор до 250 мл водой, подогреть до 55-60° С, внести 2-3 мл раствора хлорида меди и титруют 0,1н раствором КМnO₄,наблюдается образование слабо розовой окраски.</p>	0,5-2мг
Диметилглиоксима	<p><u>Описание:</u></p> <p>К раствору, содержащему ионы никеля, добавить 0.2 мл 1% спиртового раствора реагента и 1 мл 2н водного раствора аммиака.</p>	75-250мкг

	<p>Кипятить 5 мин, далее дать остыть, затем отфильтровать через стеклянный фильтр №3, промывая горячим насыщенным раствором диметилглиоксимата никеля и 5 мл дистиллированной воды. Осадок растворить в 6 мл горячей 20%-ной соляной кислоты, далее промывают фильтр двумя порциями соляной кислоты по 6 мл. В колбу Эрленмейера собрать фильтрат и кипятить 1 мин. После охлаждения переместить в сосуд Шулека для бронирования и разбавить водой до 100-150 мл. Чтоб данный раствор не окислялся кислородом воздуха, растворить 0,5 г гидрокарбоната калия. К раствору добавить хлористый бром, встряхнуть и выдержать 15мин. Добавить 10 мл свежеприготовленного 5%-ного раствора иодида калия, выделившийся йод титруют тиосульфатом.</p>	
<p><i>Спектрофотометрический метод</i></p>		
<p>Диметилглиоксим</p>	<p><u>Реагенты и оборудование:</u></p> <p>Соль никеля, стандартный раствор с содержанием никеля 0.1 мг/мл раствора, готовить по средством растворения навески в 8н. соляной кислоте</p> <p>25% -й водный раствор аммиака;</p> <p>Насыщенный раствор брома;</p>	<p>0,01-0,1мг в 50 мл</p>

ДМГ спиртовой 1%

Соляная кислота - 8н

Мерные колбы на 100мл-7 шт., пипетки на 25,10 и 5 мл;

Фотоэлектроколориметр любого типа.

Определение:

Для построения калибровочного графика: В 6 мерные колбы при помощи пипетки отмеряют соответственно 25,20,15,10,5 и 3 мл стандартного раствора соли никеля.

В каждую из колб добавить 5 капель свежеприготовленной бромной воды, и по каплям добавляем 25%-й водный раствор аммиака до обесцвечивания бурой окраски бромной воды 3 капли избытка. Далее приливаем 0,5-1,0 мл спиртового раствора реагента и доводим до метки водой. Проводят определение при 470 нм.

Строят калибровочный график: $D - C_{Ni}$, мг/мл.

Подготовка исследуемого раствора:

В мерную колбу на 50 мл вносят исследуемый раствор, содержащий ионы никеля. Далее добавляют 5 капель бромной воды, 25%-й водный раствор аммиака до обесцвечивания бурой окраски бромной воды и 3 капли избытка, 1 мл ДМГ и при

	необходимости доводят до метки водой. Проводят фотометрическое определение при 470 нм.	
1,8-дигидрокси-3.6-дисульфонафталин-2.7-бис-(азо-2'-гидрокси-3'-сульфо-5'-нитрофилен), динатриевая соль в присутствии ЦПХ	<p><u>Определение никеля(II) в породе-диорит</u></p> <p><u>Реагенты:</u></p> <p>10^{-3}М раствор никеля(II), 10^{-2} М этанольный раствор ЦПХ, аммиачно-ацетатный буферный раствор (рН 3-11)</p> <p><u>Определение:</u></p> <p>Навеску образца 2г растворили в смеси концентрированных кислот: 16 мл HF+12мл HCl+4HNO₃.</p> <p>Полученную смесь обработали 5-8 мл HNO₃ при 60-70°C до полной отгонки HF. Полученный осадок расворили в воде, фильтровали в колбу объемом 50мл и доводили до метки водой.</p> <p>Для определение никель(II) аликвотную часть полученного раствора помещали в колбу вместимостью 25 мл, добавляли 2,5 мл и 10^{-3}М водного раствора реагента, 2 мл 10^{-2} М ЦПХ разбавляли водой до метки буфером рН6.</p>	<p>$lgK_1=4.92\pm 0.21$</p> <p>для Ni:R:ЦПХ</p> <p>$lgK_1=7,83\pm 0.19$</p> <p>$s_{r\text{ сред.}}=0.0135$</p>

	Оптическую плотность измеряли $\lambda = 490$ нм, в кювете толщиной $l = 1$ см на КФК-2	
Диметилглиоксим, в присутствии йода	<p><u>Реагенты:</u></p> <p>В колбу на 100 мл перенесли навеску 0,956 г $\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ и растворяли в 50 мл дистиллированной воды, приливали несколько капель H_2SO_4 (1:1), затем довели до метки (1 мл р-ра содержит 500 мкг никеля (II)). Рабочие растворы никеля готовили, соответствующим разбавлением исходного раствора.</p> <p>Приготовление раствора NaOH 10 %: В колбу на 100 мл перенесли 10 г щелочи и растворяли в дистиллированной воде. Раствор йода (I_2) 0,01 н готовить растворением 0,1269 г металлического йода в 0,25 %-м растворе KI. Приготовление раствора 1 %-го ДМГ 1 г препарата в 10 %-м растворе NaOH и довели объём до 100 мл. Для создания щелочной среды используют 14М водный раствор аммиака.</p> <p><u>Определение:</u></p> <p>В мерные колбы объемом 50 мл вводят по 2 мл 20 %-й винной кислоты, 10 мл 14М водного раствора аммиака, 1 мл 1 %-го раствора ДМГ. Прибавляют аликвотную часть подготовленного анализируемого раствора никеля, содержащего не более</p>	5 до 50 мкг в 50мл

	<p>50 мкг никеля. В последнюю очередь добавляют 3 мл</p> <p>0,01 н раствор I₂ и доводят объем раствора до 50 мл</p> <p>дистиллированной водой. Оптическую плотность измеряют через 10 мин при длине волны λ_{max}= 460 нм</p> <p>на фоне холостого раствора.</p>	
α-фурилдиоксим	<p><u>Реактивы:</u></p> <p>α-фурилдиоксим, 0,5% спиртовой</p> <p>Стандартный раствор соли никеля</p> <p>Тартрат натрия калия, 20%</p> <p>Тиокарбамид, 5%-ный</p> <p>Гидрокарбонат натрия, 10%</p> <p>Хлороформ или тетраглюрид углерода хч (промытый 0,1н раствором тиосульфата натрия)</p> <p><u>Определение:</u></p>	2-100мкг

	<p>Раствор соли никеля, подкисляют разбавленной HCl, добавляют 1-5 мл тартрата натрия-калия, в зависимости от мешающих катионов, 1 мл тиокарбамида и 1 мл α - фурилдиоксида. Нейтрализуют раствор до pH 8-9 добавлением гидрокарбоната натрия. Проводят экстракцию двумя последовательными порциями по 5 мл хлороформа, либо тетрахлорида углерода. Объемные экстракты собирают в мерной колбе на 50 и 25 мл, добавляют растворитель до метки, перемешивают и измеряют оптическую плотность ($\lambda=438\text{nm}$) в кювете толщиной 1-5 см</p>	
<p>Диметилглиоксимат натрия (эстроген хлороформ)</p>	<p><u>Определение:</u> Анализируемый раствор, поместить в делительную воронку, добавить 20 мл 25% раствора тартрата натрия(при наличии Fe^{2+} и Fe^{3+}) и 2 мл водного раствора аммиака. К полученному раствору добавляют 10 мл 5%-го спиртового раствора реагента. Встряхнуть в течении 1 мин с добавлением 30 мл хлороформа. По окончании встряхивания 2г сульфата натрия в колбе Эрленмейера объемом 50мл и измеряют светопоглощение на фотометре с фиолетовым светофильтром.</p>	<p>50-130мкг</p>
<p>1-(2-Пиридилазо)-2-нафтол (ПАН), в хлороформе</p>	<p><u>Определение:</u> Растворитель - хлороформ, $\epsilon \cdot 10^{-3}$, л моль⁻¹ * см⁻¹=53, pH 8-10, $\lambda=565\text{nm}$</p>	<p>Индекс чувствительности = 0,0012</p>

8-Оксихинолин	<u>Определение:</u> Растворитель – хлороформ, рН = 6.7, $\lambda_{\max} = 395$, $\epsilon \cdot 10^{-3}$, л моль ⁻¹ * см ⁻¹ = 49	
Диэтилдитиокарбамат	<u>Определение:</u> Растворитель - изопентиловый спирт; хлороформ; четыреххлористый углерод, рН =9,0-9,5	Индекс чувствительности 0,010 (390) 0,0017 (325) 0,0019 (325)
<i>Экстракционно-спектрофотометрический метод</i>		
N-этил-3-карбазолкарбоксальдегид-3-тиосемикарбазона	<u>Определение:</u> Образует комплекс желтого цвета, который экстрагируют в н-бутанол из ацетата натрия и буфера уксусной кислоты при рН 6,0. Величину оптической плотности комплекса Ni (II) -ЕССТ измеряли в разные интервалы времени $\lambda_{\max} = 400$ нм, чтобы определить временную стабильность комплекса. Экстракция комплекса в растворитель была мгновенной и стабильной в течение более 72 часов. Система подчинялась закону Бера с отличной линейностью и коэффициентом корреляции 0,999. Установлено, что молярная поглощательная способность и	1,2-5,6 мкг/мл ⁻¹ никеля (II)

	чувствительность выделенных частиц составляют $1,114 \times 10^4$ л/моль ⁻¹ см ⁻¹ и $5,29 \times 10^{-3}$ мкг/см ⁻² при $\lambda_{\max} = 400$ нм соответственно.	
2-(4-метоксибензоил)-4-(2-нитрофенил)ацетгидразин	<p><u>Определение:</u></p> <p>Реакция протекает в водно-ацетоновой среде с объемным содержанием ацетона не менее 20%. В слабощелочной среде (рН 8-9,5) происходит образование комплексного соединения синего цвета с отношением 1:1(Ni(II):АГ), данное соединение хорошо извлекается в органические растворители(бутанол).</p> <p>Проведению данной реакции не мешают 2000 –кратные количества алюминия, цинка, 300-кратное – железа(III), 150 –кратное – марганца (II), 10-кратное – меди(II). Максимум поглощения $\lambda=440$нм, комплексного соединения $\lambda=590$нм</p>	Коэффициент селективности 160
2-гидрокси-5-иодтиофенол и дифенилгуанидин	Никель (II) образует хорошо хлороформ-экстрагируемый тройной комплекс с 2-гидроксил-5-иодтиофенолом (НІТР) и дифенилгуанидином (ДПГ). Комплекс, который имеет состав 1: 2: 2 (Ni: НІТР: DPG) и константу двухфазной стабильности $\text{Log } b = 6.62$, может использоваться для селективного, чувствительного и надежного экстрактивного спектрофотометрического определения никеля. Длина волны максимального поглощения, молярная поглощательная способность, чувствительность Санделла, оптимальный интервал	0,02-3,6 мг/мл

	<p>pH, предел обнаружения, диапазон линейности и относительное стандартное отклонение разработанной методики составляют 480 нм, $2,64 \times 10^4$ л моль⁻¹ см⁻¹, 2,23 нгсм⁻², 4,5-6,8, 0,02 мг⁻¹, 0,07-3,6 мг⁻¹ и 1,8% соответственно. Он был применен для определения никеля в металлических. Магний и геологический образец-карналлит.</p>	
<p><i>Сорбционно-фотометрический метод</i></p>		
<p>Диметилглиоксим</p>	<p><i>Взаимодействия ионов никеля (II) на углеродных сорбентах</i></p> <p><u>Определение:</u></p> <p>При модификации сорбентов используется стандартный прием пропитки органическим реагентом ДМГ. из 10%-го NaOH и 96%-го этилового спирта. Далее сорбент с модифицированным реагентом сушат, до постоянного веса.</p> <p>Определение никеля: К навеске сорбента 0,1г прилить 50 мл раствора сульфата никеля(II) и буферный раствор. Перемешивать систему в течение 30 мин, по окончании определять остаточную концентрацию ионов никеля (II).</p> <p>Адсорбция возрастает при pH 9,5</p>	

6. ТЕСТ-МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ (II)

Никель является одним из распространенных химических элементов, встречающихся в нашей жизни. Ионы никеля (II) содержатся в почве, воздухе, но наибольший интерес у химиков-аналитиков вызывает его содержание в водных объектах окружающей среды. В большом содержании ионов данного металла, считается весьма токсичным и даже губительным для организма человека. При чрезмерном использовании водных объектов, содержащих высокую концентрацию ионов никеля (II), по данным «Центра контроля за заболеваниями» зафиксированы ряд случаев желудочно-кишечного расстройства, аллергической реакции, снижения функции легких и почечной недостаточности в организме человека. Предельно допустимые концентрации никеля в водоемах санитарно-бытового водопользования 0,1 мг/дм³. Поэтому экспрессная оценка содержания никеля в различных объектах очень актуальна.

В таблице 2 приставлены тест-методики для определения ионов никеля(II) в водных объектах окружающей среды. Данные методики не требуют длительных проб подготовок, большого количества дорогостоящего оборудования и обученности персонала, поэтому нашли широкое применение в экспресс анализе.

Таблица 2. Тест-методы определения никеля(II) в водных объектах

Реагент	Тест-средство	Способ иммобилизации	Методика тест-определения	Метрологические характеристики (НГОС, ПО)
Диметилглиоксим	Бумаги Merckoquant (E. Merck) QUANTOFIX (Macherey-Nagel)	Тест-полосы в течении некоторого времени, последовательно пропитывают 0,1-1% р-ром ДМГ, 5-12% тиосульфатом натрия, 3-8% р-ром фторида калия, 5-10% р-ром янтарной кислоты и 0-3% р-ром гидроксламином. (рН 2-7). Сушат в сушильном шкафу при температуре 50°C.	Опустить тест-полоску в анализируемый раствор на 5-6 сек, после чего извлечь и сравнить через 10 сек, окрашивание индикаторной полоски с цветовой шкалой. Окраска малорастворимого комплексного соединения образованная на поверхности бумаги - красного цвета.	0,02-10 мг/л
Диметилглиоксим	Таблетки пенополиу	Таблетку пенополиуретана d=16 см, h = 10 мм, массой сорбента 40мг, обработали	<i>Метод, основанный на сорбции ионов никеля из аммиачного буферного раствора</i>	0,2 -4мг/л

им	ретана	триоксиламина и 0,2 мл 3*10 ⁻⁴ М раствора диметилглиоксима в спиртовом растворе.	<i>таблеткой ППУ (пенополиуретана).</i> В сосуд для встряхивания помещают 15мл анализируемой пробы и добавляют 10 мл аммиачного буферного раствора, в каждый сосуд добавляют таблетки ППУ и встряхивают 30 мин. Таблетки высушивают и сравнивают интенсивность окраски образуемого малорастворимого комплексного соединения со шкалой. (рН = 9)	
Димети лглиокс им	Индикатор ная бумага	Для приготовления раствора реагента используют 10г буры, 10г цитрата натрия, 1 г диметилглиоксима в 100 мл . Далее вымачивают полоску фильтровальной бумаги в данном растворе в течении 24ч.	Двухстороннюю липкую ленту размером 10×10мм с одной стороны приклеивают фильтровальную бумагу, пропитанную раствором реагента, на другую сторону наносит сухой пероксидисульфат аммония (для окисления никель (II) никель (III)) и заклеивают чистой фильтровальной бумагой.	≥0,05 мг/л

			Для определения ионов металлов отбирают 1 мл пробы, содержащей никель(II), поместить и оставить на 10-15 мин в ней квадратик индикаторной бумаги, сравнить окраску жидкости со стандартной цветовой шкалой, составленной по концентрациям 0,05-0,1-0,5-1-5-10мг/л	
1 - (4 – сульфо фенил) -3- метил - 5 - (бензокс азол – 2 ил) формаза н	Модифици рованная матрица на основе силикагеля в ОН ⁻ форме (ДИАСОР Б – 100 – ТА)	Модифицированную матрицу ДИАСОРБ – 100 – ТА m = 2 г выдержать 24 при 21-22°С в 0,1 н. растворе NaOH для перехода в ОН ⁻ форму, промыть водой до нейтральной реакции среды и высушить на фильтре при комнатной температуре. ДИАСОРБ – 100 – ТА	Индикатор, изготовленный из 95,999% силикагеля, 0,004% формазана и 3,997% водно-этанольного раствора, массой 0,1 г помещали в анализируемый раствор с заданной концентрацией ионов никеля (II) наблюдали изменение окраски от красного до синего (измеряли окраску индикатора с помощью спектрофотометра)	30-300 мкг·мл ⁻¹

		<p>взаимодействует с водно – этанольным раствором (1:1) объемом 50 мл и 1 - (4 – сульфифенил) -3- метил - 5 -(бензоксазол – 2 ил) формазаном. Закрепление осуществляется при температуре 50°С в течении 1,5ч.</p>		
<p>4-(2-пиридилазо)-2-нафтол с ионами Zn(II)(Zn(ПАН)₂)</p>	<p>Силикагель Silpearl UV 254(СП)</p>	<p>ПАН(Reanal) 10⁻³ моль/дм³ готовили растворением навески в ацетоне. Закрепление ПАН на поверхности носителя закрепляли адсорбцией реагентов из органических растворителей. Силиканель UV 254(СП)</p>	<p>Для приготовления цветовой шкалы 10см³, содержащего 0;0,15;0,3;0,6;1,2 или 6 мкг Ni (II) и 0.1см³ ацетатного буферного раствора (рН3,8), перемешивали с 0,05 г Zn(ПАН)₂ – СП ($a = 2,5 \cdot 10^{-6}$ моль/г) в течение 15 мин. Сорбент в отсутствие никель(II) окрашен в лимонно - желтый цвет, с ионами никель(II) окраска изменяется от оранжевой до красно-фиолетовой.</p>	<p>≥3мкг/дм³</p>

		последовательно промывали HCl и бидистиллированной водой 1:1 и высшивали в течении 8 ч при 120°C.		
Дитизон	Силикогель - Silpearl (СП)	Сорбцию $Mn(HDz)_2$ немодифицированным и ионов металлов модифицированным СГ изучали в статическом режиме. Для этого 5,0-100,0 мл исследуемого раствора определенной концентрации перемешивали магнитной мешалкой в течение 1-30 мин с 0,010-0,200 г сорбента. Сорбент отделяли центрифугированием и высушивали на воздухе.	Раствор Ni (II) с концентрацией 0,2 ммоль / л готовили растворением навески $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ в дистиллированной воде. Для получения шкалы тест-определения Ni(II) готовят серию растворов объемом 10 мл с pH= 5 и содержанием Ni(II) 0,0,12, 0,22, 0,33 мг/л. Растворы перемешивают магнитной мешалкой с 0,1 г $Mn(HDz)_2$ -СГ в течение 3 минут. Сушат на воздухе.	0,12мг/л

<p>Диметилглиоксим</p>	<p>Сорбент макросетчатый карбоксильный катионит КБ – 2Э-7 в Na – форме</p>	<p>Перед проведением сорбции в анализируемый раствор (рН 4,5), помещали в полиэтиленовый стаканчик с крышкой и вносили в него навеску сорбента КБ-2Э-7 в Na-форме. Содержимое стаканчика перемешивали в течение 30-40 мин. Затем раствор сливали. Концентрат засыпали ~ 3 мм в круглые формы диаметром 10 мм. После сорбции Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+} зерна катионита КБ-2Э-7 окрашиваются.</p>	<p>Готовили серию стандартных растворов с содержанием определяемых ионов (в мг/л): Cu^{2+} - $(1,6 \div 16) \cdot 10^{-3}$, Co^{2+} и Ni^{2+} - $(1,2 \div 6) \cdot 10^{-4}$, Mn^{2+} - $(1,4 \div 19) \cdot 10^{-2}$. Приготовленные стандартные цветовые шкалы используются для визуальной оценки содержания ионов Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Mn^{2+} в анализируемых пробах. Для определения одного иона из стандартной шкалы выбирали 5 образцов ионо-обменных концентратов с возрастающей интенсивностью окраски. Выбранный шаг в изменении концентрации иона металла образцах шкалы составлял ~ 2,5. Стандартную шкалу с помощью фотопечати переносили на бумагу. Интенсивность окраски концентрата из анализируемого раствора сравнивали со</p>	<p>0,001 мг/л</p>
------------------------	--	---	---	-------------------

			шкалой.	
Рубеано водород ная кислота (дитиоо ксамид)	Пенополиу ретан	Из листового ППУ h=5 мм вырезали таблетки d=16 мм, массой (0,0193±0,0004) г. Таблетки в течение 60 мин. выдерживали в 1 М HCl, затем промывали водой до нейтральной реакции, отжимали и высушивали. Промытые таблетки пропитывали раствором 0,1 М буры и K ₂ CO ₃ , высушивали в сушильном шкафу при температуре 60°C.	В баллон одноразового медицинского шприца емкостью 20 мл, поместили таблетку ППУ с иммобилизованной РВК и заливали 10 мл питьевой воды. Смесь встряхивали в течение 5 мин. Раствор сливали и извлекали таблетку. Сравнивали окраску таблетки со стандартной световой шкалой. рН = 9.2	0.02-1,00мг/л

		<p>Для иммобилизации РВК на ППУ таблетки выдерживали в 0,01 М спиртовом растворе реагента, взятом из расчета 2 мл раствора на 3 таблетки ППУ, в заключении высушивание на воздухе при комнатной температуре до полного удаления спирта.</p> <p>Подготовленный сорбент хранить в темной, плотно закрывающейся склянке.</p>		
Диметилглиоксим	Силикагель б-силохром СХ-120	<p>В химический стакан помещали навеску силикагеля 2 г., приливали реактив Чугаева (10 мл) перемешивали и оставляли</p>	<p>Приготовили растворы никеля (II) следующих концентрациях: 10,5; 12,4; 17,8; 25,3; 35,0 мг/л.</p> <p>Сорбент с иммобилизованным комплексообразователем помещали в</p>	0,3мкг/мл

		<p>на 24 часа при t 20-25°C. После чего, сорбент с иммобилизованными комплексообразователем стабилизировали методом тепловой обработки 8 часов при t 30-35°C</p>	<p>стеклянную трубку диаметром 10 мм и длиной 100 мм. Через полученную систему пропускали раствор анализируемого иона известной концентрации. Наблюдалось развитие окраски тест-средства в результате взаимодействия комплексообразователя, закреплённого на носителе с исследуемым ионом.</p>	
--	--	--	--	--

Предлагаемые формы обучения создают благоприятный эмоциональный настрой на занятия, поддерживает стремление к активному поиску и добыванию знаний. Приобретаемые навыки логического мышления - умение классифицировать, сравнивать, обобщать, выделять существенные признаки, проводить аналогии и причинно-следственные связи, делать правильные умозаключения и выводы - являются основой фундамента профессионализма будущего педагога.

В результате освоения материала по теме «Никель и его соединения» студенты должны

Знать:

- особенности электронного строения атомов металлов;
- понятие металлической связи;
- количественные характеристики металлических свойств;
- основные свойства различных соединений никеля;
- основные области практического применения никеля и его соединений;
- основные техносферные опасности, их свойства и характеристики, характер воздействия вредных и опасных факторов на человека и природную среду, связанные с соединениями никеля.

Уметь:

- записывать электронную конфигурацию атома никеля в основном и возбужденном состоянии; катиона никеля;
- определять валентные возможности и степень окисления атома никеля в соединениях;
- применять величины стандартных окислительно-восстановительных потенциалов и ряд напряжений металлов для оценки свойств металла и его соединений;
- записывать уравнения химических реакций, характеризующих свойства никеля и его соединений;
- идентифицировать никель и его соединения в окружающей среде.

Владеть:

- навыками характеристики свойств никеля и его соединений;
- применения знаний общей химии для характеристики свойств соединений;
- навыками анализа разнообразных экологических ситуаций, прогнозирования функционирования природных систем в условиях антропогенного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьяков Ю.Д. и др. Неорганическая химия. Химия элементов: Учебник в 2 томах. Том 1/ Ю.Д. Третьяков, Л.И. Мартыненко, А.Г. Григорьев, А.Ю. Цивадзе. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ; ИКЦ «Академкнига», 2007. – 537 с.
2. Практикум по общей и неорганической химии: Пособие для студентов вузов / В.И. Фролов, Т.М. Курохтина, З.Н. Дымова и др.; Под ред. Н.Н. Павлова, В.И. Фролова. – 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Дрофа. 2002. – 304 с.
3. Демонстрационные опыты по общей и неорганической химии: Учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. проф. Б.Д. Степина. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2003. – 336 с.
4. Гринвуд Н. Химия элементов: в 2 томах./ Н. Гринвуд, А. Эрншо; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. Т.2.-670 с.
5. Энциклопедический словарь юного химика / Под ред. Д.Н.Трифонов. – 3-е изд., испр. и доп.- М.: Педагогика- Пресс, 1999.- 368 с.
6. Пат. 2126963 РФ. Реагентные индикаторные бумажные тесты (риб-тесты) на основе хромогенных ионообменных целлюлоз и способ их получения/ Островская В.М. Заявка от 06.06.1997. Опубликовано 27.02.1999
7. Золотов Ю.А. Химические тест - методы анализа/ Ю.А. Золотов, В.М. Иванов, В.Г. Амелин М.: Едиториал УРСС, 2002. 304с.
8. Пат.180338 СССР. Способ определения никеля/ Дмитриенко С.Г., Золотов Ю.А, Косырева О.А., Рунов В.К., Фролова Е.В. Заявка № 4885967/25 от 29.11.90. Опубл. 23.03.1993. Бюл.№11

9. Амелин В.Г., Модифицированные поверхностно-активными веществами органические реагенты и реактивные индикаторные бумаги в фотометрических и тест-методах определения микрокомпонентов: дис. Амелин В.Г. канд. химич.наук: 02.00.02: утв.8.07.1999 / Василий Григорьевич Амелин ; научн. кон. д.х.н. С.Н. Штыков ;Мин. общего и профессионального образования Р Ф, Владимир. гос. ун-т, 1999. 427с.
10. Пат. 2368896 РФ. Индикатор для определения ионов никеля (II) в растворе/И.Н Липунов, Т.В. Скорых, И.Г. Первова, Т.И. Маслакова, Г.Н Липунова, Т.А. Мельник, О.В. Олина Заявка 2008118016/04 от 05.05.2008. Опубликовано 27.09.2009 Бюл. №27
11. Запорожец О.А. Визуальный тест-метод для определения Ni (II) на основе иммобилизованного на кремнеземе 4-(2-пиридилазо)-2-нафтолата цинка/ О.А. Запорожец, Н.И. Петрунук, Е.В. Калиниченко, В.В. Сухан// Химия и технология воды.1999. т.21, №3. С 281-286.
12. Запорожець О. А., Твердофазно-спектрофотометричне визначення нікелю та цинку іммобілізованим дитизоном/ О. А. Запорожець, Л. С. Зінько, Т. Є. Кеда, К. П. Левченко, І. В. Притика// Методи и объекты химического анализа 2007. т. 2, № 1, С. 62–69.
13. Бобкова Л.А. Сорбционно – цветометрическое определение тест - определение ионов марганца(II), кобальта(II), никеля (II) и меди (II) в природных водах/ Л.А Бобкова, Т.В. Односторонцева, В.В. Козик//Ползуновский вестник 2009. №3
14. Атаманиченко Я.А. Тест-метод для определения никеля (II) в питьевой воде/ Я.А. Атаманиченко, Р. П. Панталер, А. Б. Бланк// Методы и объекты химического анализа. 2007. т. 2 № 1, С. 35–39.
15. Садомцева О.С. Качественное и количественное определение ионов никеля в объектах окружающей среды с использованием новейшей тест-системы/ О. С. Садомцева, В.В. Шакирова, В. В. Уранова, М. В., Фадеева, А. Д. Кожина// Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) №7 (16), 2015. С 166-171