

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ  
ИМ. В. И. ВЕРНАДСКОГО

Серия «АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ»

---

# АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ НИКЕЛЯ

*В. М. Пешкова, В. М. Савостина*

---



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
Москва 1966

*Серия «Аналитическая химия элементов»*

Главный редактор  
*академик А И Виноградов*

Редакционная коллегия  
*И П Алимарин, Л К Бабко, А И Бусев, А И Виноградов,*  
*А Н Ермаков В И Кузнецов, П Н Пилей, Д И Рябчиков,*  
*И В Танинае Ю А Черников*

Редактор тома «Аналитическая химия никеля»  
*А И Бусев*

Адрес редакции  
Москва, В 334, Воробьевское шоссе, 47а,  
Институт геохимии и аналитической химии им В И Вернадского  
Академии наук СССР

---

## ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

Институт геохимии и аналитической химии им В И Вернадского АН СССР осуществляет издание серии монографий по аналитической химии отдельных элементов. Эта серия — «Аналитическая химия элементов» — составит около пятидесяти томов. Потребность в подобного рода издании давно назрела. Вместе с тем у нас накопился огромный опыт многочисленных лабораторий и теперь стало возможным и необходимым его подытожить. Таким образом, возникло настоящее издание — серия «Аналитическая химия элементов», — которое осуществляется впервые. Аналитическая химия любого элемента и его различных соединений в настоящее время представляется чрезвычайно разнообразной как вследствие сложности современных объектов исследования и широты диапазона концентраций, которые бывает необходимо определить, так и вследствие разнообразия используемых методов.

В связи с этим для монографий был разработан общий план как в смысле содержания, так и последовательности изложения материала.

В монографиях содержатся общие сведения о свойствах элементов и их соединений. Затем рассматриваются химические реакции, являющиеся основанием для аналитических методов. Методы как физические, так и физико-химические и химические излагаются применительно для количественного определения данного химического элемента, начиная с анализов сырья, далее — типичных полупродуктов производства и, наконец, конечной продукции — металлов или сплавов, окисей, солей и других соединений и материалов. Как правило, приводятся принципы определения и, где это необходимо, дается точное описание всего процесса определения. Необходимое внимание уделяется быстрым методам анализа. Самостоятельное место занимает изложение методов определения так называемых элементов-примесей в чистых материалах.

Обращается внимание на точность и чувствительность методов в связи с общей тенденцией повышения чувствительности методов определения следов элементов-примесей. Монографии содержат обширную библиографию, доведенную до последних лет, они рассчитаны на широкий круг химиков, в первую очередь химиков-аналитиков исследовательских институтов и заводских лабораторий.

рий различных отраслей хозяйства, а также на химиков преподавателей и студентов химических высших учебных заведений. К составлению монографии привлечены наши крупнейшие специалисты, имеющие опыт работы в области аналитической химии того или иного химического элемента

Отдельные тома серии аналитической химии элементов будут выходить самостоятельно, по мере их подготовки Вышли в свет монографии, посвященные торию, галлию, урану, рутению, молибдену, калию, бору, цирконию и гафнию, кобальту, бериллию, никелю; готовятся к печати монографии по аналитической химии редкоземельных элементов и иттрия, технеция, прометия, астатина и франция, ниобия и тантала; протактиния, галлия

Мы обращаемся с просьбой ко всем читателям присылать свои замечания и отзывы о монографиях

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Аналитической химии никеля посвящены многочисленные работы, во многих из них рассматриваются вопросы взаимодействия никеля с  $\alpha$ -диоксимами, впервые введенными в практику аналитической химии Л. А. Чугаевым. Поэтому в монографии широко освещены методы с использованием  $\alpha$ -диоксимов как реагентов на никель.

Книга написана по общему плану серии монографий «Аналитическая химия элементов». Из-за обилия материала авторы не считали целесообразным приводить исчерпывающую библиографию по методам определения никеля. В первую очередь нашли отражение обобщающие и итоговые работы.

Авторы выражают благодарность старшему научному сотруднику Центрального научно-исследовательского института черных металлов А. А. Федорову за предоставление новых проектов ГОСТа по определению никеля в сталях, разработанных в этом институте под руководством доктора химических наук П. Я. Яковлева.

*В. Пешкова, В. Савостина*

## Глава I

### ХИМИКО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НИКЕЛЯ

В 1751 г никель был открыт шведским химиком Кронштедом. В чистом виде никель получен в 1804 г Рихтер, Пруст, Тенар и другие химики доказали индивидуальность никеля [951].

Никель принадлежит к элементам восьмой группы периодической системы Д. И. Менделеева.

Порядковый номер никеля равен 28. Атомный вес никеля по углеродной шкале равен 58,71. Природные и искусственно полученные изотопы никеля указаны в табл. 1. Изотопным составом

Изотопы никеля [1199] Таблица 1

Атомный вес	Тип излучения	Период полураспада	Происхождение изотопа	Содержание в природном никеле, %
56	$\gamma$	6,4 дня	Искусственное	—
57	$\beta^+$	36 час	»	—
58	—	Стабилен	Естественное	67,76
59	K, нет $\beta^+$	$5 \cdot 10^4$ лет	Искусственное	—
60	—	Стабилен	Естественное	26,16
61	—	»	»	1,25
62	—	»	»	3,86
63	$\beta^-$	125 лет	Искусственное	—
64	$\beta^-$	Большее $3 \cdot 10^{15}$ лет	Естественное	1,16
65	$\beta, \gamma$	2,6 часа	Искусственное	—
66	$\beta^-$	54,8 часа	»	—

объясняется меньший атомный вес природного никеля [58, 71] по сравнению с кобальтом [19, 58, 332], имеющим порядковый номер 27.

Атом никеля имеет следующую электронную структуру

K    L            M    N  
2    2, 2, 4    2, 2, 4 3, 5    2

Радиус иона  $Ni^{2+}$  равен 0,78 Å, ионный потенциал  $Z/R$  равен 2,6

Элементы первого переходного периода по возрастанию третьего потенциала ионизации располагаются в следующий ряд [233] Sc, Ti, V, Fe, Co, Mn, Ni, Cu, Zn, Ca

Трудность окисления ионов  $Cu^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  объясняется высокими значениями третьего потенциала ионизации

В большинстве соединений никель положительно двухвалентен, но известны главным образом комплексные соединения, где никель имеет валентность  $+3$  и  $+4$

По распространенности в природе никель превосходит медь и несколько уступает цинку Кларк для никеля 0,018% (вес) В земной коре содержится  $2 \cdot 10^{-2}\%$  (вес) никеля, в литосфере  $8 \cdot 10^{-4}\%$ , метеоритах каменных 0,14% и железных 8,6% [299]

Предполагается, что ядро Земли на 6—8% состоит из никеля Никель содержится в метеоритах Среднее содержание никеля в растенных составляет  $10^{-6}\%$

Промышленное значение имеют сульфидные, силикатные или окисленные руды никеля

Никель — металл серебристо белого цвета с едва заметным коричневатым оттенком, очень тягучий, ковкий, легко поддается прокатке, ферромагнитен, но в меньшей степени, чем железо Плотность никеля  $8,85—8,9 \text{ г/см}^3$  Никель высокой чистоты (99,94%) имеет  $t_{пл} 1455^\circ\text{C}$

В электрохимическом ряду напряжения никель находится правее кобальта лорчатый потенциал  $-0,250 \text{ в}$

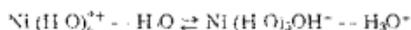
Металлический никель при комнатной температуре в отсутствие влаги устойчив к действию кислорода и галогенов, при нагревании до  $500^\circ\text{C}$  слегка окисляется на воздухе и разлагает воду, выделяя водород Порошкообразный никель, полученный дистилляцией из амальгам или электролизом, слабо пирофорен Никель — малоактивный металл, при комнатной температуре вода на него не действует В разбавленных минеральных кислотах (HCl,  $H_2SO_4$ ) растворяется медленно, легче растворим в азотной кислоте Концентрированная азотная кислота пассивирует металл, как и железо Щелочи, сода, поташ в водных растворах и в расплавах не действуют на никель

Никель входит в состав разнообразных сплавов с железом, а также медью, алюминием и многими другими элементами

Металлический никель в мелкораздробленном состоянии при повышении температуры поглощает водород, применяется как катализатор при гидрировании органических соединений Для никеля установлено существование гидрида  $NiH$  [296] Известны также гидриды  $NiH_2$ ,  $NiH_4$

Никель способен взаимодействовать с окисью углерода, образуя карбонилы

Для никеля, как и для других двухзарядных ионов, координационное число гидратации равно шести [210, 823]. Первая константа гидролиза гидратированного иона никеля в соответствии с уравнением



найденная методом pH титрования нитрата никеля в  $10^{-2}$  М растворе хлората или сульфата калия (при 25°C), равна  $\text{p}K = 10,92$  [400]<sup>1</sup>. В другой работе дается значение  $\text{p}K' = 10,64$  [701].

Спектрофотометрическим методом установлено, что гидратированный ион никеля содержит шесть молекул воды, общая константа присоединения  $\lg \beta_6 = 0,09$  [813].

### Окислы и гидроксиды никеля

Известно несколько оксидов никеля [496]. Оксид никеля (II), NiO — порошок светлого зеленовато-желтого цвета, растворимый в азотной кислоте при нагревании и в растворе аммиака. После прокалывания при высокой температуре оксид NiO не растворяется в щелочах (аммиаке) и минеральных кислотах. Оксид никеля NiO удовлетворяет требованиям к весовым формам. Получается, например, при прокалывании диметилглиоксимата никеля.

Оксид никеля (III) и закись оксид никеля (II и III), Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — порошкообразные вещества темно серого и черно-коричневого цвета (соответственно), растворяются в серной и азотной кислотах с выделением кислорода и в соляной кислоте с выделением хлора.

Двуокись никеля NiO<sub>2</sub> — аморфное вещество черного цвета. Это наименее прочное кислородное соединение никеля. С трудом растворяется в минеральных кислотах, выделяя кислород или хлор.

Ион никеля образует с гидроксид-ионом в зависимости от условий [496] ряд соединений различного состава, проявляя склонность к образованию основных солей [52а, 501].

Гидроокись никеля (II), Ni(OH)<sub>2</sub> — порошок светло-зеленого цвета, при температуре 230°C она разлагается на NiO и H<sub>2</sub>O. Растворима в кислотах и NH<sub>4</sub>OH. Для произведения растворимости Ni(OH)<sub>2</sub> имеются противоречивые данные (табл. 2).

Гидроокись никеля (II) в присутствии сильных окислителей (Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>) в щелочной среде переходит в гидроокись никеля (III), Ni(OH)<sub>3</sub>.

Известны гидроксиды никеля (III) иного состава, например, Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · (OH)<sub>2</sub> [496]. Гидроокись никеля (III) получена в двух модификациях. 1) β-модификация не имеет явно кристаллической струк-

<sup>1</sup> В дальнейшем будут употребляться следующие обозначения:  
 $\beta_n$  — общая константа устойчивости для реакции  $\text{Ni}^{2+} + n\text{A}^{-} \rightleftharpoons \text{NiA}_n^{2-n}$ ,  
 $K_n$  — ступенчатая константа устойчивости  $\text{NiA}_{n-1}^{2-(n-1)-} + \text{A}^{-} \rightleftharpoons \text{NiA}_n^{2-n}$ ,  
 $S$  — растворимость соединения.

туры, при стоянии на воздухе переходит в соединение  $Ni_3O_2(OH)_4$ .  
 2)  $\gamma$ -модификация имеет кристаллическую структуру (шестиуголь-  
 ники или пластинки) Оба соединения растворимы в  $H_2SO_4$  с выде-  
 лением кислорода, при нагревании до  $138-140^\circ C$  разлагаются

Соединение никеля (II, III),  $Ni_3O_2(OH)_4$  выделяется в виде мел-  
 ких черных кристаллов гексагональной системы, при нагревании  
 до  $140^\circ C$  оно переходит в  $NiO$ , выделяя воду и кислород

Таблица 2

Произведение растворимости  $Ni(OH)_2$

Температура $^\circ C$	$pL_p$	Литература	Температура $^\circ C$	$pL_p$	Литература
17	18,06	[501]	25	18,06	[219a]
18	14,87	[3]	25	17,19	[700]
20	15,0	[781]	25	15,5	[1119]
25	15,81	[598]	28-30	16,0	[795]
25	14,5	[1099]	75	16,2	[93]
25	15,21	[993]			

Гидроокиси никеля получают косвенным путем  $Ni(OH)_2$  —  
 действием разбавленных растворов щелочей на соли никеля (обла-  
 дает основными свойствами), гидроокиси никеля (III) и (II, III)  
 образуются при действии окислителей в щелочной среде  $Ni(OH)_3$   
 может быть выделена также действием перекиси водорода в слабо-  
 уксуснокислой среде на соли никеля Последний способ часто при-  
 меняется в качественном анализе для обнаружения и отделения  
 никеля

Чугаев и Хлопин [362] сообщают о получении гидроокиси нике-  
 ля (I)  $NiOH$

Для комплексных соединений никеля, в которых лигандом яв-  
 ляется  $OH^-$ , определены главным образом значения  $K_1$  (табл. 3)  
 Ряд авторов [549, 701, 873] рассчитали константы равновесия гид-  
 ролита иона никеля

Таблица 3

Устойчивость комплексного соединения никеля  $[NiOH]^+$   
 с гидроксил ионом

Температура $^\circ C$	$lg K_1$	$lg \beta_1$	Литература
20	4,70	—	[906]
25	—	12,96	[590]
25	5,0	—	[1119]
100	1,77	—	[873]

## Сульфиды никеля

Метод отделения никеля в виде сульфида широко используется в химическом анализе. Известны три модификации сульфида никеля  $NiS$  ( $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ ) [223], имеющие различную растворимость в водных растворах и кислотах [604]. Сульфид никеля по внешнему виду, будучи выделенным и высушенным, независимо от модификации представляет черный порошок  $NiS_x$  во влажном состоянии на воздухе переходит в  $NiOHS$ . В табл. 4 приведены значения  $pL_p$  и сведения о растворимости в кислотах.

Таблица 4

Свойства сульфидов никеля

Соединение	Температура °C	$pL_p$	Литература	Кислоты, в которых растворяется сульфид	Литература	
$NiS_\alpha$	—	20,5	[1183]	1—2 N HCl на холоду	[6]	
	25	20,5	[219a]			
	18—25	20,5	[1085]			
	25	18,5	[46]			
$NiS_\beta$	—	26,0	[1183]	6 N HCl + $H_2O_2$	[6]	
	18—25	26,0	[1085]			
	25	24,0	[46]			
$NiS_\gamma$	—	27,7	[1183]	2 N HCl + $H_2O_2$	[46]	
	18	23,85	[1085]	2 N HCl + $KClO_3$		
	18	24,16	[46]	$CH_3CO_2OH$ + $H_2O_2$		[171, 139]
	18—25	27,7	[512]	$HNO_3$ конц. при нагревании		[6, 46]
	20	20,96	[513]	Смесь $HNO_3$ и HCl		
	25	20,7	[1091] [984]			

Сульфид  $NiS_\alpha$  легко образует коллоидные растворы (золи), в форме которых проходит через фильтр, это соединение трудно коагулирует.

Никель в виде сульфида часто отделяют (обычно совместно с кобальтом) от других элементов, поэтому важно соблюдать условия для образования легкоотфильтровываемого осадка  $NiS_\alpha$ .

Для получения такого осадка [46] к подогретому нейтральному раствору, содержащему никель и другие катионы первых трех аналитических групп, добавляют  $1/10$  объема 25% ного раствора  $NH_4OH$  и насыщают сероводородом. После хранения около 20—25 мин осадок отфильтровывают, промывают его горячей водой, к которой добавлена смесь  $(NH_4)_2S$  и  $NH_4Cl$  и затем 2N HCl.

Осаждением свежеприготовленным раствором сульфида аммония (не содержащим карбоната аммония) также получают сульфид никеля хорошего качества

Сульфиды никеля и кобальта в кристаллическом состоянии получают при действии сероводорода в присутствии пиридина [234]

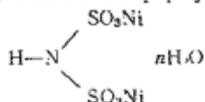
Мозер и Беер [984] методом рентгеновского анализа не обнаружили  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  форм, осадок сульфида никеля при старении преобразуется в  $Ni_{1-x}S$  с растущим числом  $x$

Получено соединение  $NiS_2$  в форме кристаллического порошка серовато черного цвета, известен природный полисульфид никеля,  $Ni_3S_4$  зеленовато черного цвета

Сульфиды кобальта аналогичны сульфидам никеля  $pL_pCoS_x$  равно 22,5,  $pL_pCoS_5$  равно 26,7

### Комплексные соли никеля с неорганическими лигандами

Никель в большинстве соединений двухвалентен. Имеются комплексные соединения, в которых он одновалентен, а также проявляет валентность выше двух. Соединение с формально нулевой валентностью  $K_4[Ni(CN)_4]$  образуется при действии металлического никеля на раствор  $K_2[Ni(CN)_4]$  в жидком аммиаке. Получено соединение одновалентного никеля  $K_2[Ni(CN)_3]$  [453, 1024]. Чугаев и Хлопин [362] описали кристаллическое соединение никеля (I) фиолетового цвета предполагаемой формулы



При добавлении к нему щелочи получается гидроксид  $NiOH$  синего цвета. Известны также соединения никеля (I)  $K_3[Ni(NO)_2(S_2O_3)_2]$ ,  $K_3[Ni(CN)_3NO]$ ,  $Ni(NO)Cl$ ,  $Ni(NO)Br$ ,  $Ni(NO)J$

Сульфат никеля образует ряд кристаллогидратов  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $NiSO_4 \cdot 6H_2O$ ,  $NiSO_4 \cdot 4H_2O$  [138]. В табл. 5 приведены

Таблица 5

Устойчивость соединения никеля с сульфат-ионами

Температура $t, ^\circ C$	Метод определения	$\lg K_1$	Литература
0	Криоскопия	2,06	[497]
0	"	2,34	[832]
25	Кондуктометрия	2,40	[679]

значения констант устойчивости для соединения никеля с сульфат-ионами

Двойные соли  $Me_2SO_4 \cdot NiSO_4 \cdot 6H_2O$ , где  $Me = NH_4^+$ , используются в гальванических ваннах для никелирования

**Нитрат никеля** в зависимости от температуры образует несколько гидроскопических кристаллогидратов  $Ni(NO_3)_2 \cdot 9H_2O$ ,  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $Ni(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$

**Галогениды никеля.** Никель образует соли со всеми галогенами  $NiF_2 \cdot 3H_2O$ ,  $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ ,  $NiCl_2 \cdot 2H_2O$ ,  $NiBr_2 \cdot 6H_2O$ ,  $NiI_2 \cdot 6H_2O$

Таблица 6

Устойчивость галогенидов никеля

Лиганд	Температура, °C	Метод определения	lg K <sub>1</sub>	lg K <sub>2</sub>	lg β <sub>1</sub>	lg β <sub>2</sub>	Литература
F <sup>-</sup>	20	Потенциометрия	0,66	—	—	—	[402]
Cl <sup>-</sup>	25	Полярография	0,56	0,90	—	—	[845]
Br <sup>-</sup>	18	Спектрофотометрия	—	—	3,27	3,11	[799]

[138] Известны двойные соли  $KF \cdot NiF_2 \cdot H_2O$  и комплексные соединения  $K_3[Ni^{IV}F_6]$ ,  $K_2[Ni^{IV}F_6]$  [847, 1080] В табл. 6 приведены данные по устойчивости галогенидов никеля

**Фосфаты и пирофосфаты никеля** Фосфат-ионы образуют с солями никеля аморфный осадок яблочно-зеленого цвета переменного состава, осадок растворим в минеральных кислотах, а также в уксусной кислоте и  $NH_4OH$ . Известны ортофосфат никеля  $Ni_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ , аммоний-никельфосфат  $NH_4NiPO_4 \cdot 2H_2O$ , натрий-триникельфосфат  $Na_3NiP_3O_{10} \cdot 12H_2O$ , аммоний-никельдиметафосфат

Таблица 7

Устойчивость фосфатов никеля

Лиганд	Температура, °C	Метод определения	Константа устойчивости lg β	Литература
Триметафосфат	25	Электропроводность	3,22	[811]
Тетраметафосфат	25	Кондуктометрия	4,95	[811]
»	30	Потенциометрия	2,63 *	[392]
Тетраметафосфаты				
$Ni(P_3O_{10})_4^{2-}$	—	»	2,63	[716]
$Ni(P_4O_{12})_6^{6-}$	—	»	3,20	[716]

$\frac{1_6 \beta_1}{\beta_1} = 1,48$

$(\text{NH}_4)_2\text{Ni}(\text{P}_2\text{O}_7)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  Данные по устойчивости некоторых соединений никеля приведены в табл. 7

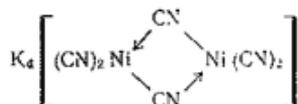
Никель с пирофосфат ионом образует среднюю соль при взаимодействии стехиометрических количеств нитрата никеля и пирофосфата натрия. Осадок, высушенный при  $110^\circ\text{C}$ , имеет состав  $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 5 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  [390] ( $pL_p = 12,77$  при  $t = 25^\circ\text{C}$ ). Растворимость пирофосфата никеля значительно увеличивается в присутствии пирофосфата натрия, что связано с образованием комплексных соединений (табл. 8)

Таблица 8

Устойчивость комплексных пирофосфатов никеля  
(Лиганд  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ,  $t = 25^\circ\text{C}$ )

Метод определения	$\lg \frac{\beta_2}{\beta_1}$	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	Литература
Растворимость	—	$5,82 \pm 0,15$	$7,19 \pm 0,30$	[390, 391]
Калориметрия	1,60	—	—	[391]
Растворимость	1,48	—	—	[62]
»	—	6,96	—	[151]

**Цианид никеля** образуется в виде аморфного осадка яблочно-зеленого цвета при добавлении цианида калия к раствору соли никеля. В избытке цианида калия осадок растворяется с образованием комплексного соединения  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ , окрашенного в желтый цвет. При дальнейшем добавлении KCN цвет раствора становится сначала оранжевым, а затем красным, что связано с образованием соединения  $[\text{Ni}(\text{CN})_6]^{4-}$ , устойчивого лишь при большом избытке  $\text{CN}^-$ . Известно двухъядерное комплексное соединение, в котором никель имеет формально валентность  $\div 1$  [1080]



**Роданид никеля** [1080] легко растворим в воде с образованием растворов зеленого цвета. Известны кристаллогидраты  $\text{Na}_2[\text{Ni}(\text{SCN})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (светло-зеленого цвета) и  $\text{K}_4[\text{Ni}(\text{SCN})_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (голубоватого цвета). В табл. 9 приведены данные об устойчивости цианидных и роданидных комплексов никеля.

Таблица 9

## Устойчивость и произведение растворимости цианидов и роданидов никеля

$\lambda$ , микрон	Температура, °C	Метод определения	$\rho L_p$	$\lg K_2$	$\lg K_3$	$\lg K_4$	$\lg \beta_4$	Литература
CN <sup>-</sup>	25	—	8,77	—	—	—	—	[773]
	20	Распределение	23,2	—	—	—	—	[1187]
	25	Потенциометрия	—	—	—	—	13,75	[936]
	25	"	—	—	—	—	11,7	[937]
	—	Полярография	—	—	—	—	15,46	[1109]
	25	Прирост энтропии	—	—	—	—	22,0	[888]
SCN <sup>-</sup>	20	Спектрофотометрия и метод полного обмена	—	1,18	0,56	0,17	1,81	[691]

Примечание. Методом спектрофотометрии [799] определены для комплексов никеля с SCN<sup>-</sup>  $\lg \beta_4 = 3,27$  и  $\lg (K_3 K_4) = 4,88$

## Комплексные соединения с аммиаком и гидразином

Никель с аммиаком образует ряд комплексных соединений с максимальным координационным числом 6. Водные растворы этих соединений окрашены в голубой цвет, значение  $\epsilon^*$  равно 4,88, при  $\lambda_{\text{макс}} = 570$  микрон, для аммиаката никеля в растворе нитрата аммония  $\epsilon$  равен 4,79 при той же длине волны. На рис. 1 приведены

Таблица 10

## Устойчивость аммиакатов никеля

Температура, °C	Среда	Метод определения	$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$	Литература
25	2 N NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Потенциометрия	—	5,14	—	9,42	—	—	[472]
25	0,1 N NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Растворимость	2,80	4,86	6,52	7,82	9,10	—	[593]
25	Не контролировалась	—	—	—	—	—	—	9,13	[526]
30	То же	—	—	—	—	—	—	8,81	[526]
30	2 N NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Потенциометрия	2,80	5,04	6,77	7,96	8,71	8,74	[472]

\*  $\epsilon$  — молярный коэффициент поглощения

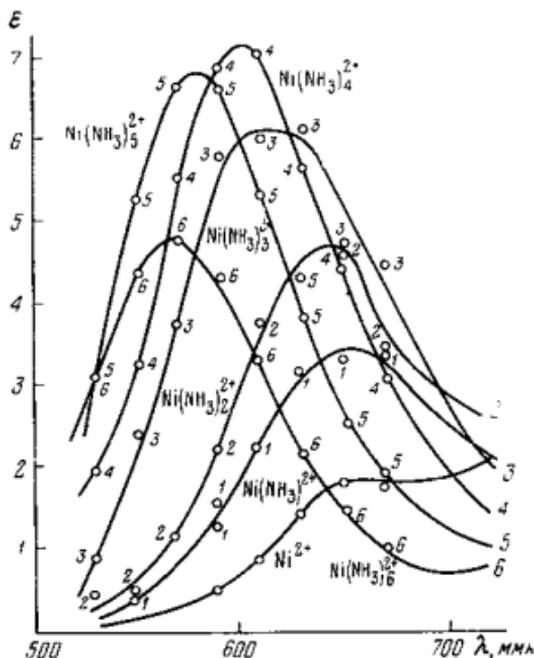


Рис 1 Светопоглощение аммин ионов никеля в 2N растворе нитрата аммония при 23° С  
Цифры соответствуют числу молекул аммиака в комплексах

спектры поглощения в координатах  $\epsilon$  —  $\lambda$  растворов комплексных соединений различного состава. В табл. 10 приводятся данные, характеризующие устойчивость аммиакоатов никеля.

В практике химического анализа часто используют образование аммиакоатов никеля [56]

Таблица 11

Устойчивость комплексных соединений никеля с гидразином [392, 1128]

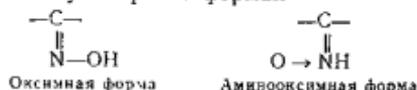
( $t = 20^\circ \text{C}$ ,  $\mu = 0,5$ , метод определения — pH титрование)

$\lg \beta_1$	$\lg \beta_2$	$\lg \beta_3$	$\lg \beta_4$	$\lg \beta_5$	$\lg \beta_6$
2,76	5,20	7,35	9,20	10,75	11,99



Внутрикомплексные соединения с никелем и другими металлами (Pd, Co, Fe, Cu) образует анти форма [352, 359, 530, 550, 948, 949, 1033, 1034, 1045, 1050, 1051, 1124]

Чугаев [356, 359] высказал предположение, что оксимные группы могут находиться в таутомерных формах

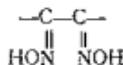


Неоднократно обсуждалась возможность образования связи NH в молекуле оксима В настоящее время считается, что при образовании комплексного соединения никель и другие металлы замещают атом водорода в группе NH

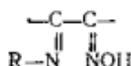
Показана возможность [492, 493] существования таутомерных форм оксимов В более поздней работе Брэди и Мизэрс [494] на примере образования соединения никеля с *o*-монометилловым эфиром  $\alpha$ -бензилдиоксима, аналогичного по структуре с соответствующим  $\alpha$  диоксиматом никеля, подтверждают, что в образующемся комплексном соединении никель замещает атом водорода аминооксимной формы Доказано, что диоксиматы никеля имеют пятичленные циклы [1033, 1034] (см стр 17)

Строение диоксиматов никеля подтверждено Тило и Фридрихом [1224] Чугаев [358] и позднее Пфрейффер [1034, 1035] показали, что одна оксимная группа может быть замещена на имино- и метилимино-группу в  $\alpha$ -диоксиматах, и строение получающихся соединений никеля остается аналогичным  $\alpha$ -диоксиматам

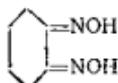
В ряде работ Файгля [645], Кульберга [179, 180], Вознесенского [64], Коренмана [156—158] группировка атомов получила наименование функционально-аналитической или характерной для никеля



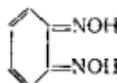
Дубский [607—609] показал способность никеля давать внутрикомплексные соединения аналогичного строения с реагентами, имеющими группировку



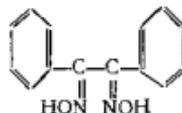
Известны соединения никеля с диоксимами 1,2 циклогександиона, диоксима бензофенона и  $\alpha$ -бензилдиоксима



(1)



(2)



(3)

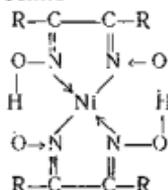
Диоксим бензофенона (2) дает солеобразные соединения, в случае

илдноксима (3), имеющего оксимные группы у атомов углерода входящих в ароматическое ядро, восстанавливается реакция способностью к образованию внутримолекулярных соединений таких же как с диоксидом 1,2 циклогександиона (1) [644].

трикомплексные соединения  $Ni(HD)_2$  хорошо экстрагируются органическими растворителями<sup>1</sup> Координационное число в этих соединениях равно 4

Оксиматы никеля выделяются (в зависимости от природы оксимата) в слабодиссоциирующей, нейтральной или слабощелочной среде

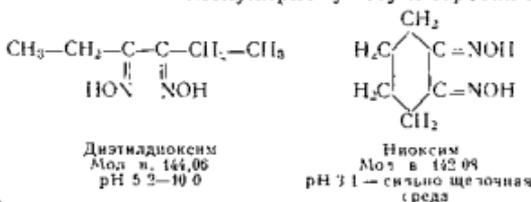
Оксиматы, являясь двухосновными кислотами, реагируют с никелем и другими металлами как одноосновные кислоты, хотя константы диссоциации  $\alpha$  оксима очень близки. Соединения  $\alpha$  оксимами, имеющими различные радикалы, имеют одно и то же строение



Атом водорода второй гидроксильной группы, как показал Брэдли [4], играет очень большую роль в образовании комплексного соединения, давая внутримолекулярную водородную связь

Введенная структурная формула в настоящее время считается принятой [80, 314, 1203]. Вторая гидроксильная группа реакционноспособна в комплексных соединениях диоксидов металлов. Еще Чугаев неоднократно подчеркивал, что соединение с диметилдиоксидом не реагирует с фенилизотиоцианатом, атомом оксимную группу, не ацетируется при действии уксусного ангидрида [80, 446]. Прочность диоксидов никеля

образуется, от наличия четырех циклов в молекуле диоксида никеля, образующего, по Терентьеву и Рухадзе [314], циклический узел. На примере соединений диметилдиоксида никеля [247] видно влияние циклической группировки и строения реагента на условия выделения соединений никеля. Оба вещества очень близки по молекулярному весу и строению молекулы



$HD$  — молекула диоксида

Диоксиматы никеля оказались диамагнитными [80, 292, 473, 790]. Все соединения никеля с  $\alpha$  диоксимами отличаются малой растворимостью в воде, несколько различной в зависимости от строения молекулы оксима Шарпе и Уикфильд [1110] объясняют малую растворимость диметилдиоксимата никеля особенностью кристаллической структуры этого соединения. Осуществляется связь металл — металл [643]. Кокс [578] также говорит о планарном строении четырех ковалентных соединений никеля. Наличие связи Ni — Ni подтверждено рентгенографическими исследованиями [438, 447, 1097]. Другую точку зрения высказывает Сенден и Кавелт [539], рассматривая плоскостную конфигурацию диамагнитных комплексов никеля. Авторы предполагают структурную формулу диметилдиоксимата никеля без наличия водородных связей, но эта точка зрения не нашла подтверждения в более поздних работах.

Позднее Бэнкс и Андерсон [439] предположили, что растворимость различных диоксиматов никеля связана с расстоянием между атомами Ni — Ni. При переходе от диметилдиоксимата к этилметилдиоксимату расстояние Ni — Ni увеличивается и изменяется растворимость производного никеля [680, 681]. Это подтверждает ся также на примере соединения никеля с диоксимом циклогександиона, для которого это расстояние равно 3,20 Å (вместо 3,24 Å у диметилдиоксимата никеля) и которое менее растворимо, чем соединение с диметилдиоксимом.

Систематическое изучение наличия водородной связи в диоксиматах никеля выполнено Вотером с сотр [1246].

На основании ИК спектров было показано отсутствие поглощения свободной OH группы в комплексных соединениях никеля и довольно интенсивные полосы поглощения этих групп у соответствующих свободных  $\alpha$  диоксимов. Для получения более четких спектров авторы дейтерировали группу OH  $\rightarrow$  OD. Имеется ряд работ [474, 1006, 1096, 1097], посвященных изучению ИК спектров диоксиматов никеля, в которых подтверждается наличие водородной связи и отмечается некоторое смещение полосы поглощения OH группы в зависимости от природы радикала  $\alpha$  диоксима. Влияние природы лиганда на полосы поглощения OH группы для диоксиматов никеля подтверждено в ряде последующих работ [709, 910].

Бургер и Руфф [518] также подтвердили влияние водородных связей на прочность комплексных соединений диоксиматов никеля. Рэндль и Бэйкс [1064] не обнаружили связи Ni — Ni в соединении с несимметричным метилэтилдиоксимом и объясняют это влиянием стерического фактора.

В качестве реагентов на никель, представляющих большой практический интерес, следует назвать диметилдиоксим,  $\alpha$  бензилдиоксим, диоксим 1,2 циклогександиона, диоксим 1,2 циклопентандиона и  $\alpha$  фурилдиоксим. Диметилдиоксим — первый из  $\alpha$  диоксимов, нашедших практическое применение, широко применяется в настоящее время для определения никеля гравиметрическим,

Константы кислотной диссоциации  $\alpha$  диоксидов

$\alpha$ Диоксид	Среда	Температура °C	Метод определения	$pK_D$	Литература
Диметилдиоксид	50% ный Диоксан	25	pH титрование	12,19	[682]
	То же	25	То же	12,84	[546]
	» »	25	» »	12,83	[51]
	» »	39,6	» »	12,45	[546]
	75% ный Диоксан	25	» »	13,53	[439]
	То же	30	» »	15,5	[1240]
	$\mu = 0$	25	Растворимость	10,60	[441]
	$\mu = 0$	40	»	10,52	[441]
	0,1 M Na (OH, ClO <sub>4</sub> )	25	»	10,45	[622]
	0,1 M Na (OH, ClO <sub>4</sub> )	25	pH титрование	10,48	[439]
	0,2 M NH <sub>3</sub>	25	Растворимость	10,53	[304]*
	0,05 M NH <sub>3</sub>	25	»	10,59	[558]
0—0,8 M NH <sub>3</sub>	18	»	10,71	[18]*	
0,01 M KClO <sub>4</sub>	25	pH титрование	10,60	[730]	
	18	Растворимость	10,66	[258]	
Метилдиоксид	50% ный Диоксан	25	pH титрование	12,14	[51]
Метилэтидиоксид	То же	25	То же	12,86	[51]
	75% ный Диоксан	25	» »	13,55	[439]
	0,1 M Na (OH, ClO <sub>4</sub> )	25	» »	10,41	[439]
Ндиоксид	0,01 M KClO <sub>4</sub>	25	pH титрование	10,68	[730]
	$\mu = 0$	25	Растворимость	10,60	[441]
	$\mu = 0$	40	То же	10,51	[441]
	50% ный Диоксан	25	» »	12,0	[249]
	75% ный Диоксан	25	» »	13,11	[439]
	0,1 M Na (OH, ClO <sub>4</sub> )	25	» »	10,55	[439]
3 Метилтриоксид	0,1 M Na (OH, ClO <sub>4</sub> )	25	» »	10,61	[439]
	75% ный Диоксан	25	» »	13,23	[439]
4 Метилтетраоксид	0,1 M Na (OH, ClO <sub>4</sub> )	25	» »	10,54	[439]
	75% ный Диоксан	25	» »	13,07	[439]
Диэтилдиоксид	0,1 M Na (OH, ClO <sub>4</sub> )	25	» »	10,67	[439]
	7% ный Диоксан	25	» »	13,03	[439]
Гептоксид	$\mu = 0$	25	Растворимость	10,7	[441]
	$\mu = 0$	40	»	10,47	[441]
	0,1 M Na (OH, ClO <sub>4</sub> )	25	pH титрование	10,71	[439]
	75% ный Диоксан	25	То же	13,33	[439]

\* Рассчитано по данным цитируемых работ

Таблица 12 (окончание)

$\alpha$ Диоксим	Среда	Температура °C	Метод определения	pK <sub>D</sub>	Литература
$\alpha$ Анилиндиоксим	50% ный Диоксан	25	pH титрование	11,5	[249]
$\alpha$ Фурилдиоксим	То же	25	»	11,6	[249]
$\alpha$ -Бензилдиоксим	» »	25	»	12,0	[249]

титриметрическим и фотометрическим методами,  $\alpha$  фурилдиоксим применяется для экстракционно фотометрического определения никеля, диоксими 1,2 циклогександиона и 1,2 циклопентандиона пока не получили большого распространения. Из за способности образовывать соединения с никелем в кислой среде оба эти диоксима имеют преимущества перед диметилглиоксимом при определении никеля в присутствии других элементов  $\alpha$  Бензилдиоксим применяется для фотометрического определения ультрамалых количеств никеля.

В табл 12 приведены константы кислотной диссоциации ряда  $\alpha$ -диоксимов

В табл 13 приведены значения двух констант диссоциации некоторых  $\alpha$  диоксимов, определенные главным образом спектрофотометрическим методом [1190, 1224], а для двух диоксимов ( $\alpha$  фурилдиоксима и гептоксима) также методом распределения [290]

Таблица 13

Константы кислотной диссоциации некоторых  $\alpha$  диоксимов

Реагент	Температура °C	$\mu$	Спектрофотометрический метод				Метод распределения		Литература
			графический		расчетный		lg K <sub>D</sub>	lg K <sub>D</sub> <sup>2</sup>	
			lg K <sub>D</sub> '	lg K <sub>D</sub> <sup>2</sup> '	lg K <sub>D</sub>	lg K <sub>D</sub> <sup>2</sup>			
Диметилдиоксим	20	0,1	10,55	12,0	10,53	12,41	—	—	[290]
	23	0,1	10,6	11,9	—	—	—	—	[442]
$\alpha$ Фурилдиоксим	20	0,1	9,80	11,25	9,90	11,50	9,75	11,25	[290]
	23	0	10,65	12,10	10,64	12,30	10,40	12,20	[290]
Гептоксим	20	0,1	10,65	12,10	10,64	12,30	10,40	12,20	[290]
	23	0	10,7	12,3	—	—	—	—	[442]
Нвоксим	20	0,1	10,75	12,16	10,65	12,16	—	—	[290]
	23	0	10,60	12,40	—	—	—	—	[442]
$\alpha$ Бензилдиоксим	20	0,1	10,12	11,73	10,12	11,91	—	—	[290]

Таблица 14

## Растворимость диметилдиоксима в воде и других средах

Среда	Температура, °C	pS	Литература	Среда	Температура, °C	pS	Литература	
Вода	0	2,56	[25]	0,8 M	18	1,80	[18]	
	18	2,46	[3, 18]	1,0 "	25	1,74	[304]	
	20	2,27	[25]	2,0 "	25	1,64	[304]	
	25	2,32	[3, 7, 304]	3,0 "	25	1,52	[304]	
	40	1,95	[3]	3,0 "	25	1,46	[304]	
	40	2,00	[25]	4,0 "	25	1,46	[304]	
	50	1,74	[3]	5,0 "	25	1,37	[304]	
	60	1,74	[25]	6,0 "	25	1,30	[304]	
	70	1,40	[3]	9,0 "	25	1,12	[304]	
	80	1,28	[3]	10,0 "	25	1,06	[304]	
	80	1,52	[3]	NaOH		2,46	[3]	
	80	1,17	[3]	0,0008 M	18	2,28	[3]	
	100	1,10	[3]	0,008 "	18	1,96	[3]	
	100	1,31	[25]	0,04 "	18	1,44	[3]	
NH <sub>4</sub> OH				1,0 "	18	3,30	[3]	
	0,01 M	25	2,24	[304]	NaCl			
	0,0 "	25	2,08	[304]	0,05 M	25	2,27	[7]
	0,2 "	25	1,99	[304]	0,5 "	25	2,35	[7]
	0,2 "	18	2,02	[18]	5,0 "	25	3,21	[7]
	0,4 "	18	1,92	[18]				

Таблица 15

## Растворимость ряда α-диоксимов в воде

Реактив	Температура, °C	pS	Литература
Метилфенилдиоксим (бензоил диоксим)	18	2,36	[258]
Гептоксим	19,5	1,51	[1248]
Нюксим	21,5	1,24	[1068, 1248]
3 Метилниоксим	25	1,59	[767]
4 Метилниоксим	25	1,66	[443]
3-Этилдиоксим	25	1,83	[443]
7,6-Диметилниоксим	25	1,33	[443]
4 Изопропилниоксим	25	2,39	[443]

Для характеристики  $\alpha$  диоксидов как аналитических реагентов большое значение имеет их растворимость в воде и других средах. В табл. 14 и 15 приведены данные по растворимости диметилдиоксида и других  $\alpha$ -диоксидов в присутствии аммиака, NaOH и NaCl, в табл. 16 — по растворимости в хлороформе, так как этот растворитель наиболее часто применяется в экстракционно-фотометрических методах определения никеля с указанными реагентами.

Таблица 16

Растворимость  $\alpha$ -диоксидов в хлороформе и бензоле

Реагент	Температура, °C	Растворитель	$\rho S$	Литература
Диметилдиоксид	25	CHCl <sub>3</sub>	3,35	[558]
	20—22	CHCl <sub>3</sub>	3,40	[20]
	20—22	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	3,49	[20]
	25	CHCl <sub>3</sub>	3,41	[621]
Нюксим	20	CHCl <sub>3</sub>	2,08	[290]
Гептоксим	20	CHCl <sub>3</sub>	1,72	[290]
$\alpha$ -Фурилдиоксид	20	CHCl <sub>3</sub>	2,32	[290]

Соединения никеля с различными диоксидами отличаются по своей растворимости. Так, например, соединение никеля с несимметричным бензилметилдиоксидом более растворимо, чем с диметилдиоксидом (табл. 17).

Таблица 17

Растворимость ( $S$ , моль/л) диоксидов никеля в воде

Реагент	Температура, °C	$\rho S$	Литература
Диметилдиоксид	25	6,01 (0,05M)	[20]
	25	5,68	[446]
	25	5,98	[669, 670]
	30	5,86	[669, 670]
	35	5,74	[669, 670]
	40	5,62	[669, 670]
	45	5,51	[669, 670]
Нюксим	25	5,80	[441]
Гептоксим	25	6,05	[441]
3-Метилдиоксид	—	5,51	[767]
4-Метилдиоксид	—	6,02	[767]
3-Этилдиоксид	—	4,75	[767]
4-Изопропилдиоксид	—	6,81	[767]
$\alpha$ -Фурилдиоксид	25	6,20	[441]
$\alpha$ -Бензилдиоксид	25	6,15	[441]

В табл 17 приведены данные по растворимости ряда диоксиматов никеля в воде, а в табл 18 значения  $pL_p$  для этих соединений

Таблица 18

Значения  $pL_p^*$  диоксиматов никеля ( $\mu = 0$ )

Реагент	Температура °C	$pL_p$	Литература
Диметилдиоксим	25	23,66	[441]
	—	22,70	[20]
	40	23,23	[441]
	—	23,37	[546]
	—	23,27	[258]
Этилметилдиоксим	25	23,27	[439]
Пиноксим	25	28,39	[441]
	40	26,96	[441]
3 Метилдиоксим	25	27,62	[441]
	40	26,68	[441]
4 Метилдиоксим	25	28,25	[441]
	40	27,20	[441]
Диэтилдиоксим	40	24,21	[439]
Гептоксим	25	26,64	[441]
	40	25,74	[441]
4 Метилфенилдиоксим	25	27,84	[439]
Бензилметилдиоксим	—	24,53	[258]

Успехи определения малых количеств никеля в значительной мере зависят от полноты образования оксиматов никеля и их способности экстрагироваться органическим растворителем. В табл 19 приведены коэффициенты распределения для ряда реагентов. В табл 20 приведены данные по растворимости диоксиматов никеля в органических растворителях.

Устойчивость диоксиматов никеля изучалась методом экстракции (распределения). Этот метод был разработан Рюдбергом, Дирсенем, Силленом [625, 1098, 1151] и в последнее время широко применяется для изучения комплексообразования ряда элементов, в том числе диметилдиоксимата никеля [290]. Дирсен [621] нашел методом распределения общую константу устойчивости диметилдиоксимата никеля, равную  $\lg \beta_2 = 17,24$ .

Кроме метода экстракции, для определения констант устойчивости диметилдиоксимата никеля использован метод растворимости в зависимости от  $pH$  раствора [546].

Чарльз и Фрейзер [546], Фернелиус с сотр [1240], Пешкова и Еочкова [248, 249], Бургер [518] использовали для оценки устойчивости комплексных соединений диоксиматов никеля потенциометр

рический метод рН титрования по Бьерруму. Ввиду малой растворимости диоксиматов никеля в воде титрование проводилось в водно-диоксидных растворах.

Таблица 19

Коэффициенты распределения ряда  $\alpha$ -диоксимов между водой и хлороформом [289]

Реагент	Коэффициент распределения
Диметилдиоксим	$0,12 \pm 0,02$
$\alpha$ Фурилдиоксим	$0,35 \pm 0,02$
Ниоксим	$0,11 \pm 0,04$
Гептоксим	$0,20 \pm 0,01$

В табл. 21 приведены данные по устойчивости диоксиматов никеля, полученные методом распределения [290], а в табл. 22 — методом растворимости [13].

Дирссен и Силлен [624] методом растворимости получили значение общей константы устойчивости для диметилдиоксимата никеля  $\lg \beta_2 = 17,23$ .

В табл. 23 приведены данные по устойчивости диоксиматов никеля, полученные методом рН титрования, главным образом в водно-диоксидных растворах.

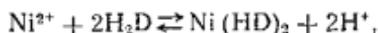
Бэнкс и Лалланте [445] определили константы устойчивости соединений никеля с 4-карбокси-1,2-циклогександиоксимом для щелочной среды при 25°С.

$$\lg K_1 \text{ для } NiD^- \text{ равен } 28,74 \pm 0,60,$$

$$\lg K_2 \text{ для } NiD_2^{2-} \text{ равен } 0,76 \pm 0,15,$$

$$\lg K_3 \text{ для } NiD_3^{3-} \text{ равен } 3,67 \pm 0,73$$

Диоксиматы никеля образуются при различной кислотности раствора. Ниже приводятся вычисленные значения  $pH_{50}$  диоксиматов никеля.



$$K_{\text{равн}} = \frac{[Ni(HD)_2][H^+]^2}{[H_2D]^2[Ni^{2+}]} = K_D^2 \beta_2.$$

$$[H] = \sqrt{K_D^2 \beta_2 \frac{[Ni^{2+}]}{[Ni(HD)_2]} [H_2D]}.$$

$$\frac{[Ni^{2+}]}{[Ni(HD)_2]} = 1 \quad (\text{для } pH_{50})$$

## Растворимость диоксиматов никеля в органических растворителях

Реагент	Растворитель	Температура °С	ρS	Литература		
Диметилдиоксим	CHCl <sub>3</sub> насыщ Н <sub>2</sub> O	Комнатная	3,07	[1106]		
		»	3,22	[1101]		
		25	3,32	[20]		
		25	3,32	[621]		
		25	3,26	[441]		
		10,4	3,52	[669, 670]		
		15,0	3,47	[669, 670]		
		20	3,41	[669, 670]		
		25	3,33	[669, 670]		
		20	4,22	[669, 670]		
		25	4,12	[669, 670]		
		30	4,05	[669, 670]		
		35	3,95	[669, 670]		
		и Гептан	30	6,43	[669, 670]	
		То же	35	6,24	[669, 670]	
		»	40	6,08	[669, 670]	
		»	45	5,95	[669, 670]	
»	50	5,84	[669, 670]			
Этилметилдиоксим	и Гептан	25	5,22	[438]		
		33,3	4,90	[438]		
		16,5	3,01	[447]		
		»	25	3,70	[441]	
		25	5,91	[438]		
		33,3	5,79	[438]		
		25	3,08	[438]		
		33,3	3,01	[438]		
		Гептоксим	CHCl <sub>3</sub>	25	2,25	[441]
				Комнатная	2,09	[706]
Нюксим	1,2 C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	25	4,17	[441]		
		25	4,49	[441]		
3 Метилнюксим	CHCl <sub>3</sub>	—	5,5	[767]		
4 Метилнюксим	CHCl <sub>3</sub>	—	6,02	[767]		
3 Этилнюксим	CHCl <sub>3</sub>	—	4,75	[767]		
3 6 Диметилнюксим	CHCl <sub>3</sub>	—	3,77	[767]		
4-Изопропилнюксим	CHCl <sub>3</sub>	—	6,81	[767]		
4 трет Амилнюксим	CHCl <sub>3</sub>	—	7,18	[767]		
α Фурилдиоксим	CHCl <sub>3</sub>	25	2,80	[441]		
4 (1,3 Тетраметилбутил)нюксим	CHCl <sub>3</sub>	—	2,74	[441]		
		—	7,18	[767]		

Таблица 21

Устойчивость диоксиматов никеля, определенная методом распределения [290]

 $(t = 25 \pm 0,1^\circ \text{C}, \alpha = 0,1)$ 

Реагент	Константа устойчивости	Метод		
		Бьеррума	Дирсена — Силлена	Ледена
Диметилдиоксим	$\lg K_1$	8,98	8,77	9,18
	$\lg K_2$	8,92	8,63	8,64
	$\lg \beta$	17,90	17,40	17,82
$\alpha$ Фурилдиоксим	$\lg K_1$	8,20	8,22	—
	$\lg K_2$	6,65	6,68	—
	$\lg \beta$	14,85	14,90	—
1,2 Циклогександиондиоксим	$\lg K_1$	10,93	10,82	11,13
	$\lg K_2$	10,57	10,68	10,65
	$\lg \beta$	21,50	21,50	21,78
1,2 Циклопентандиондиоксим	$\lg K_1$	11,01	10,97	11,47
	$\lg K_2$	10,89	10,83	10,68
	$\lg \beta$	21,90	21,80	22,15

Таблица 22

Устойчивость диоксиматов никеля, определенная методом растворимости [13]

 $(t = 20 \pm 0,1^\circ \text{C}, \alpha = 0,1)$ 

Реагент	Константа устойчивости	Метод	
		Бьеррума	Дирсена — Силлена
Диметилдиоксим	$\lg K_1$	8,96	8,73
	$\lg K_2$	8,45	8,69
	$\lg \beta$	17,41	17,42
$\alpha$ Фурилдиоксим	$\lg K_1$	7,80	7,72
	$\lg K_2$	6,75	6,72
	$\lg \beta_2$	14,35	14,44
Гептоксим	$\lg K_1$	10,75	10,62
	$\lg K_2$	10,65	10,58
	$\lg \beta_2$	21,30	21,20
$\alpha$ Бензилдиоксим	$\lg K_1$	13,70	—
	$\lg K_2$	11,50	—
	$\lg \beta$	25,20	25,32

Устойчивость диоксидатов никеля, определенная методом рН-титрования

Реагент	Среда	Температура, °С	lg K <sub>1</sub>	lg K <sub>2</sub>	lg β <sub>2</sub>	Литература
Метилдиоксим	50%-ный Диоксан	25	9,6	9,2	18,8	[54]
Диметилдиоксим	То же	25	10,46	9,9	20,3	[482]
		25	11,55	10,80	22,35	[54]
		25,2	10,62	11,08	21,7	[543]
		31,6	10,55	11,22	21,77	[510]
		40	—	—	23,23	[444]
	75%-ный Диоксан	25	10,96	12,14	23,10	[639]
		30	14,6	13,8	28,4	[1240]
	50%-ный Диоксан	25	11,5	11,0	22,5	[566]
Этилметилдиоксим	То же	25	11,5	11,0	22,5	[54]
	75%-ный Диоксан	25	10,41	13,56	23,97	[439]
Пиноксим	То же	25	13,2	12,5	25,7	[239]
3 Метилдиоксим	» »	25	11,28	12,24	23,52	[439]
4 Метилдиоксим	» »	25	10,76	12,21	23,00	[439]
4 Изопропилдиоксим	» »	25	10,06	10,38	20,44	[439]
Диэтилдиоксим	» »	25	12,43	11,26	23,69	[499]
Тетоксим	» »	25	12,26	12,42	24,68	[439]
α Фенилдиоксим	50% ный Диоксан	25	9,9	9,4	19,3	[249]
α Анилиндиоксим	То же	25	9,1	8,6	17,7	[249]
α Фурилдиоксим	» »	25	8,4	6,3	14,7	[249]

Значения  $pH_{50}$  диоксиматов никеля

Реагент	$\lg \beta_2$	$pK_D$	$pH_{50}$
Диметилдиоксим	17,70 *	10,54	4,69
	17,40 **	10,54	4,84
$\alpha$ Фурилдиоксим	14,87 *	9,64	5,20
	14,50 **	9,64	5,30
Гептоксим	21,95 *	10,64	2,67
Нюксим	21,59 *	10,70	2,90
$\alpha$ Бензилдиоксим	25,25 **	10,12	0,46

\* Определено методом распределения

\*\* Определено методом растворимости

Если принять среднюю концентрацию  $[H_2D]$  для диоксимов равной 0,001 М, то

$$[H^+]_{50} = \sqrt{K_D^2 \beta_2} \cdot 10^{-6}$$

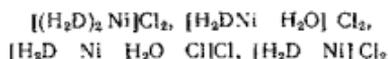
Значения  $pH_{50}$  для ряда диоксиматов приведены в табл. 24

Практически  $\alpha$  бензилдиоксимат никеля выделяется при  $pH \sim 4,41$ , если принять концентрацию реагента, равную его реальной растворимости ( $\sim 10^{-6}$  моль/л)

Для никеля получено большое число соединений с несимметричными и с воднорастворимыми  $\alpha$ -диоксимами, которые пока не нашли практического применения. Ряд несимметричных диоксимов имеют преимущество перед наиболее распространенным диметилдиоксимом благодаря большей растворимости их соединений с никелем в органических растворителях. Выделены *цис*- и *транс*-изомеры соединений с несимметричными диоксимами. Они были использованы для подтверждения планарной конфигурации диоксиматов никеля [62].

В табл. 25 указаны свойства реагентов и соединений никеля с некоторыми оксимами.

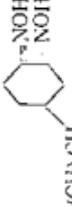
Панет и Тило [1023], Тило и Гейльбарн [1226] получили кристаллические соединения Ni с рядом  $\alpha$ -диоксимов

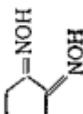
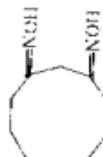
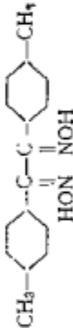
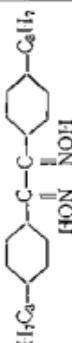


Все эти соединения окрашены в цвета от сине-зеленого до изумрудно-зеленого.

В рассмотренных выше малорастворимых соединениях с диоксимами никель двухвалентный, но известны такие комплексы никеля с этими реагентами, в которых он проявляет более высокую

## Некоторые α-диоксимы, пригодные для определения никеля

Реагент	Формула	Свойства реагента и сведения к никелю	Литература
Метилдиноксим	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{NOH} \quad \text{NOH} \end{array}$	Известны две и триазы изомеры, более устойчивый изомер, практического применения реагент не имеет	[256, 360, 749]
Метилэтилдноксим	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}-\text{C}_2\text{H}_5 \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{NOH} \quad \text{NOH} \end{array}$	Реагент пригоден для гравиметрического и фотометрического определения никеля	[256]
Метилпропилилдноксим	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}-\text{C}_3\text{H}_7 \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{NOH} \quad \text{NOH} \end{array}$	Практического применения реагент не имеет	[359]
Метилн-бутилдиноксим	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}(-\text{CH}_3) \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{NOH} \quad \text{NOH} \end{array}$	Соединения с никелем имеют обычный состав Ni (HD) <sub>2</sub>	[365]
4 Метилдиноксим		Растворимость в воде 3,4 г/л при 25° С, реагент пригоден для гравиметрического и фотометрического определений никеля	[443]
4 Изопропилилдноксим		Растворимость в воде 0,75 г/л при 25° С; реагент представляет интерес для гравиметрического определения никеля	[443]
Фенилдиноксим	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_5 \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{NOH} \quad \text{NOH} \end{array}$	Реагент пригоден для экстракционно фотометрического определения никеля	[261]
Амилдиноксим	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}_5\text{H}_{11} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{NOH} \quad \text{NOH} \end{array}$	То же	[261]

Реагент	Формула	Свойства реагента и соединения с никелем	Литература
Диоксим 1,2-диальдегида		Практического применения реагент не имеет	[443]
Диоксим 1,2-циклооксадиона		Растворимость реагента в воде 0,52 г/л при 25° С, соединение с никелем хорошо экстрагируется изопропиловым спиртом, 630 мг = 483М, 835 мг = 4240	[439]
Оксалендиамидоксим, или оксаламидоксим, или коллокс	$\text{H}_2\text{N}-\text{C}(\text{OH})=\text{C}(\text{OH})-\text{C}(\text{OH})=\text{NH}_2$	Соединение никеля в виде кристаллов оранжевого цвета выделяется в уксуснокислой среде и содержит две молекулы воды, которая теряется при 110° С, используется для аналитических целей	[351, 359, 654, 1028]
Оксалендиоксим	$\text{HO}-\text{C}(\text{OH})=\text{C}(\text{OH})-\text{NOH}$	Соединение с никелем — кристаллический осадок желтого цвета, количественно выделяется из аммиачного раствора	[234]
Оксалендиуранилдидоксим	$\left( \text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}-\text{C}(\text{OH})=\text{C}(\text{OH})-\text{NOH} \right)_2$	Соединение с никелем выделяется в виде кристаллов кармино красного цвета	[684]
Дитетрилдидоксим		Соединение с никелем — кристаллический осадок, по составу аналогичный всем диоксиматам никеля, по свойствам соединения сходно с производным α-бензилдиоксима	[349]
Куменилдидоксим		То же	[359]

валентность Эти соединения получают обычно в присутствии окислителей в щелочной среде

Первая попытка объяснения строения получающегося в присутствии окислителя соединения никеля с диметилдиоксидом была сделана Файглем в 1924 г., который показал, что на один атом никеля расходуется 1 молекула иода, использованного в качестве окислителя. Он выделил темно-красный порошок, которому на основании элементарного анализа приписал формулу  $Ni(DH)_2 OH$ . Этот порошок взрывался при нагревании и растворялся без разрушения только в щелочах. Файгель приписал никелю в этом комплексном соединении валентность +4. Растворение соединения в щелочах объясняется дальнейшей диссоциацией вторых оксимных групп диметилдиоксида [642].

Многие исследователи пытались выделить соединения никеля с диметилдиоксидом в условиях, указанных Файглем, но безуспешно [15, 244, 393]. Однако в 1951 г. Курасу и Рудиске [881] удалось выделить красный осадок при использовании брома в качестве окислителя. В 1948 г. Бабко [15] исследовал это соединение в водных растворах, используя в качестве окислителя иод. Результаты по методу Жоба позволили автору предположить образование двух соединений, одного с соотношением никель диметилдиоксид окислитель, равным 1 : 2, и другого с соотношением 1 : 3. Бабко считает, что окисляется не ион никеля, а диметилдиоксид. Этим же взглядом придерживается Липчинский и Кулев [183a]. Гореман [768] в 1949 г. изучал состав комплексного соединения никеля с диметилдиоксидом, получаемого в присутствии окислителей. Для того чтобы предотвратить окисление реагента бромной водой, он вводил гидроксилламин и в присутствии индикатора крахмала добавлял окислитель до появления бледно-желтой окраски, поддерживая, таким образом, редокспотенциал системы около 0,96 в. Затем он вводил соль никеля и раствор подщелачивал. В этих условиях, по мнению автора, диметилдиоксид не окисляется и, следовательно, окисляется только никель.

Несколько позже Андреев и сотр. [10] показали, что при разрыве комплексного соединения выделяется исходный диметилдиоксид, не подвергшийся окислению. Пешкова и Мельчакова [260] установили, что в условиях, при которых исключена возможность окисления диметилдиоксида, реакция образования окрашенного растворимого соединения с никелем все же наблюдается. Авторы последних двух работ приходят к выводу о том, что в комплексобразовании принимает участие трехвалентный никель. Этому же мнению придерживались и другие исследователи [220].

Прямое определение валентного состояния никеля в этих соединениях провели Мустафин и Фручина [215]. Они изучали растворение гидратов высших окислов никеля в щелочных и аммиачных растворах диметилдиоксида и обнаружили, что такие гидраты (являющиеся смесью закисного и окисного никеля) образуют

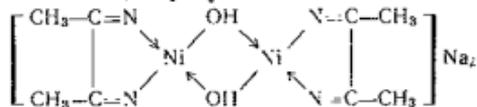
наряду с обычным осадком диметилдиоксима никеля и растворимое соединение. Причем содержание четырехвалентного никеля в исходном гидрате совпало с содержанием его в растворе после обработки твердого гидрата щелочным раствором диметилдиоксима. Таким образом, авторы доказывают наличие четырехвалентного никеля в его растворимом соединении с диметилдиоксимом.

В более поздних исследованиях Сельбина и Юнкина [1135], посвященных изучению природы соединения никеля с диметилдиоксимом, получающегося в щелочных растворах при окислении, показано, что никель в этом соединении имеет валентность +3. Такие выводы сделаны на основании изучения магнитных свойств и элементарного анализа выделенного соединения, которому авторы приписали формулу  $Ni(DH)_2OH$ . Полосы максимального поглощения растворов соединения находятся при  $\lambda = 320, 390$  и  $442$  мк.

В растворах, согласно Гореману, в зависимости от pH образуются два соединения с соотношениями никель реагент, равными 1:2 и 1:4 [768]. Первый комплекс используется обычно для фотометрического определения никеля, но он неустойчив и переходит легко во второй. Второе соединение существует при  $pH > 11$ . Некоторые исследователи обращали ранее внимание на большую стабильность окраски в более щелочной среде [917].

Ряд японских исследователей [1292, 1293] указывают также на существование двух соединений с соотношением никель реагент, равным 1:2 и 1:3, причем второе соединение, по мнению авторов, обладает высокой устойчивостью и получается при  $pH > 11$ .

Состав соединений никеля с диметилдиоксимом в щелочных средах изучали Окач и Шимек [1010—1014]. Они установили, что в щелочной среде диметилдиоксим реагирует с никелем как двухосновная кислота, образуя соединение



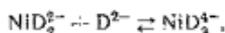
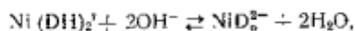
Аналогичные соединения выделены с калием и литием, причем в последнем случае получается моноядерное соединение. Это соединение желтого цвета и устойчиво только в отсутствие окислителя. В присутствии же окислителя оно переходит в устойчивое соединение красного цвета, которому Окач и Шимек приписывают формулу  $[NiD_3]^{2-}$ . Это красное соединение обычно получается в присутствии не менее чем пятнадцатикратного избытка диметилдиоксима и при наличии таких окислителей, как бром, иод или феррицианид в щелочной или аммиачной среде. От природы взятого окислителя зависит только скорость образования окрашенного соединения (например, при действии кислорода воздуха окраска развивается двое суток). Оно не восстанавливается сульфитом, арсенатом, водородом, а

восстанавливается только таким сильным восстановителем, как  $\text{SnCl}_2$ . Потенциометрическим методом авторы определили, что на каждый ион никеля при этом затрачивается два электрона, т. е. никель в этом соединении четырехвалентный.

Но в зависимости от природы восстановителей образуются различные по составу соединения. Например, в соединении, полученном при восстановлении гидразином, отношение металла к реагенту равно 1 : 2, а в случае восстановления двуххлористым оловом оно равно 1 : 3.

Устойчивость соединения  $[\text{NiD}_3]^{2-}$  красного цвета ниже, чем комплексоната и цианида, ибо раствор первого легко обесцвечивается солями цианистоводородной и этилендиаминтетрауксусной кислот. Из двух получающихся при восстановлении форм наиболее устойчивая желтая форма  $[\text{NiD}_3]^{4-}$  при повторном окислении переходит в прочное красное соединение, которое не обесцвечивается этилендиаминтетраацетатом.

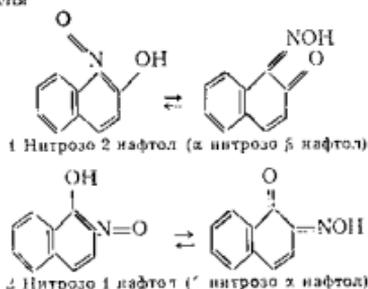
Окач и Шимек предлагают следующий механизм образования окрашенного воднорастворимого соединения:



Соединения с монооксимами и нитрозоафталами. Монооксиды Вельчер подразделяет на несколько групп [1267]. Отдельные представители этого класса реагентов образуют достаточно устойчивые комплексные соединения с никелем.

Эти реагенты более характерны для кобальта. Свойства соединений никеля с монооксимами приведены в табл. 26.

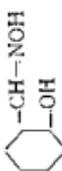
Нитрозоафталы



открытые Ильинским [123—125], образуют комплексные соединения с металлами в форме монооксимов [353].

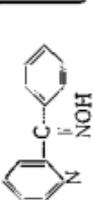
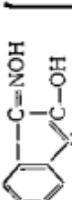
Соединения никеля с нитрозоафталами экстрагируются органическими растворителями.

Моноксимы как реагенты на никель

Реагент	Формула	Свойства реагента и соединений с никелем	Литература
Формальдоксим	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{NOH} \end{array}$	<p>Соединение с Ni в твердом виде имеет состав <math>\text{Ni}_2[\text{Ni}(\text{NOCH}_2)_6]</math>. Реагент используется для обнаружения и определения никеля. Для соединения никеля приводится также формула <math>[\text{Ni}(\text{CH}_2\text{NO})_6]^{2+}</math> [204]</p> <p>в <math>t_{\text{пл}} = 18-20^\circ\text{C}</math>, кобальт мало мешает определению, так как подщелачивает в УФ области (<math>\epsilon_{\text{max}} = 19 \cdot 10^4</math>)</p>	[205, 262, 591, 659, 763, 852]
Ацетальдоксим	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{H} \\    \\ \text{NOH} \end{array}$	Соединение никеля в твердом виде имеет состав $[\text{Ni}(\text{CH}_3-\text{C}-\text{H})_2\text{Cl}_2]$ , хорошо растворимо в воде, NOH	[246, 753, 754]
Салицилальдоксим		этаноле, ацетоне, хлороформе, водные растворы неустойчивы	[419, 643, 930, 1084]

Комплексное соединение с никелем осаждается при pH 7,0-9,0, реагент используется для определения никеля гравиметрическим и экстракционно-фотометрическими методами. Сд, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Co, Pd образуют соединения с салицилальдоксимом

Т а б л и ц а 26 (окончание)

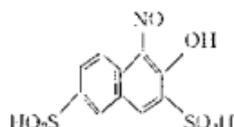
Реагент	Формула	Свойства реагента и соединений с никелем	Литература
Диэтилдиоксоим	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\    \quad   \\ \text{O} \quad \text{NOH} \end{array}$	Реагент является слабой кислотой (водно-диоксидная среда) $pK_D = 11,48 \pm 0,07$ . Соединение довольно устойчиво, $pZ = 18,4$ (водно-диоксидная среда). Реагент используется для титриметрического определения никеля.	[54, 365]
Монометиловый эфир диметилдиоксоима*	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\    \quad   \\ \text{CH}_3\text{ON} \quad \text{NOH} \end{array}$	Для реагента $pK_D = 12,8$ ; устойчивость комплексного соединения с никелем характеризуется величиной $pZ = 12,0$ (водно-диоксидная среда).	[49]
2-Пиридилэтилкетоксим		Оба реагента менее селективны на никель, чем другие монооксими.	[350, 634]
2-Пиридилфенилкетоксим			
Изаиноксим		Все эти реагенты используются для качественного открытия никеля.	[770]
Диэтилоксиацетон	$\begin{array}{c} \text{HC}-\text{C}-\text{CH} \\    \quad   \\ \text{NOH} \quad \text{O} \quad \text{NOH} \end{array}$		
Изонитрозоацетиловин	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\    \quad    \\ \text{O} \quad \text{NOH} \end{array}$	[870]	

\* Как показали исследования [619, 1915] все реагенты общей формулы  $\text{R}_1-\text{C}(=\text{O})-\text{R}_2$ , где  $\text{R}_1 = \text{H}, \text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5$ , и  $\text{R}_2 = \text{O}-\text{CH}_3, \text{O}-\text{C}_2\text{H}_5$ , образуют внутримолекулярные соединения с никелем.

Соединения никеля с нитрозоафталами менее устойчивы, чем соединения кобальта, что позволяет устранять мешающее влияние никеля при экстракционно-фотометрическом определении кобальта промыванием экстракта 2*N* HCl [141]

Комплексообразование никеля с 1 нитрозо 2 нафтолом в водно-диоксановых растворах изучено рядом исследователей [49, 56<sup>8</sup>, 1240], при высоких значениях pH водного раствора образуется комплексное соединение  $NiA_3^-$  с координационным числом никеля, равным 6. Исследование устойчивости и состава комплексного соединения никеля с 1 нитрозо 2 нафтолом проведено также в водном растворе методом распределения [251]. Этот метод позволил установить и заряд комплексного соединения. В качестве экстрагента использовать хлороформ.

Для фотометрического определения никеля применяется также нитрозо-R соль



Данные по устойчивости комплексного соединения никеля с нитрозоафталами приведены в табл. 27

Таблица 27

Устойчивость комплексных соединений никеля с нитрозоафталами

Реагент	Температура, °C	Среда	Метод определения	pK <sub>1</sub>	pK	pK <sub>2</sub>	pK <sub>3</sub>	Литература
1 Нитрозо 2 нафтол (pK <sub>D</sub> = 7,13)	30	75% нитродоксан	pH титрование	11,50	10,10	11,00	28,2	[1097, 623]
2-Нитрозо 1 нафтол (pK <sub>D</sub> = 7,61)	30	То же	То же	10,70	9,20	5,9	2,8	[152, 1097, 1233]
1 Нитрозо-2 нафтол	25	μ = 0,1	Распределение					[11]
2 Нитрозо 1 нафтол	25	μ = 0,1	То же					[14]

**8-Оксихинолин.** Широкое применение в анализе 8 оксихинолин, синтезированный Велером [1280], нашел благодаря работам Берга [453—461], Хана [727] и др.

8 Оксихинолин — бесцветное кристаллическое вещество (τ пл 75° С), обладает амфотерными свойствами: pK<sub>5</sub><sup>нст</sup> = 9,70, pK<sub>5</sub><sup>сн</sup> = 9,73. Изoeлектрическая точка при 18° С находится при

pH 7,2 Растворимость в воде равна  $3,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л [855], при нагревании до 90° С растворимость увеличивается примерно в 7 раз [31]

Ионы никеля дают внутрикомплексное соединение  $Ni(C_6H_5ON)_2 \cdot 2H_2O$ , но реагент мало селективен, большое число металлов (и в том числе кобальт) образуют аналогичные соединения  $Me^{n+}(C_6H_5ON)_n$ . Предложен метод отделения никеля от марганца [461]

Никель и кобальт образуют оксихинолинаты в одинаковых условиях, что исключает возможность их разделения. Оксихинолин может быть использован для выделения и концентрирования никеля. В работах [668, 712, 986] рассматривается влияние кислотности среды на выделение и соосаждение никеля оксихинолином.

Никель полностью осаждается при pH 4,3—14,6, а кобальт — при pH от 4,3 до 14,5. Есть некоторое противоречие в работах Флэка [668] и Берга [461]. По данным Флэка, использованные Сенделом [293] оксихинолинаты никеля и кобальта выделяются количественно в одинаковом интервале значений pH.

Берг отмечает, что оксихинолилат кобальта выделяется из слабоуксусного или щелочного раствора, а соответствующее соединение никеля — из сильноуксуснокислого, содержащего ацетат натрия [31]. В противоположность кобальту никель количественно осаждается из сильноуксуснокислого раствора в виде оксихинолината  $NiA_2$ . Но ввиду трудности получения постоянной весовой формы Берг [461] предлагает титриметрическое окончание. Выделенный осадок оксихинолината никеля промывают теплой водой, растворяют в 15% ной HCl и титруют броматометрически. Бусев [54] уточнил условия титриметрического метода.

Галондпроизводные оксихинолина не нашли применения для гравиметрического определения никеля. Устойчивость оксихинолината никеля охарактеризована данными, приведенными в табл. 28.

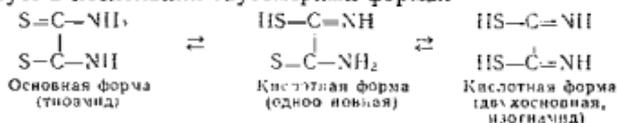
Таблица 28

Устойчивость оксихинолината никеля  
Метод pH титрования со стеклянным электродом

Температура, °С	Условия определения	lg K <sub>1</sub>	lg K	lg β	lg K <sub>2</sub>	Литература
20	μ = 0,01	9,9	8,8	18,7	—	[391, 503]
20	μ = 0,01	10,43	8,97	20,4	—	[789]
25	50% ный шоксан	11,4	9,94	21,8	—	[804]
25	70% ный шоксан	11,65	10,35	22,0	—	[927]
20	75% ный шоксан	13,2	—	—	7,2	[1250]

## Серусодержащие органические реагенты

**Рубеановодородная кислота** (диамид дитиошавелевой кислоты) существует в нескольких таутомерных формах



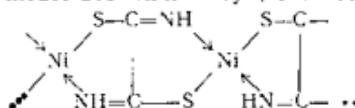
Это соединение было открыто еще в 30 х годах прошлого столетия [901, 1283]. Его применению в аналитической химии предшествовал ряд работ по синтезу [674] и изучению свойств рубеановодородной кислоты Рей [1071, 1072] показал, что этот реагент образует окрашенные малорастворимые внутрикомплексные соединения состава  $\text{MeA}_2$  с никелем, кобальтом, медью и другими двухзарядными ионами. Этим соединениям, названным соответственно рубеанатами, авторы [64, 646, 796, 1072, 1282] приписывают следующую формулу



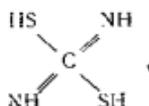
Вознесенский [64, 65] определил растворимость рубеановодородной кислоты (в *моль/л*) в воде, 0,05 *N* и 0,1 *N* аммиаке при 18° С, которая оказалась равной 0,0022, 0,0058 и 0,0122 соответственно для каждого из растворителей. Константа диссоциации рубеановодородной кислоты  $\text{pK}_D = 9,52$

Установлен состав осадка никеля с рубеановодородной кислотой [65]. В кристаллическом осадке рубеаната никеля сиреневого цвета, выделенного в слабоаммиачной среде, найдено 34,98% S (теорет 36,20%), 32,80% Ni (теорет 33,30%)

Малюга [196] приводит значения произведений растворимости для соединений меди ( $\text{pL}_p = 15,12$ ), никеля ( $\text{pL}_p = 14,96$ ), кобальта ( $\text{pL}_p = 14,95$ ). По аналогии с некоторыми меркаптидами никеля Йенсен [796] считает возможным существование полимеров

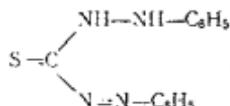


Строение рубеановодородной кислоты установлено рентгенографически [907]



но пока еще нет данных о рентгенографических исследованиях руд-бедняков двухвалентных металлов

Дифенилдитиокарбазон, названный Фишером [655, 656, 695] дитизином,



представляет тонкие пластинки фиолетово-черного цвета с металлическим блеском, в тонком слое они имеют фиолетово-красную окраску [121] Реагент мало растворим в концентрированных минеральных кислотах с образованием малоустойчивых растворов фиолетово-красного цвета В ледяной уксусной кислоте дает растворы синего цвета

В табл. 29 указаны растворимость дитизиона в органических растворителях и в водном растворе щелочи, а также значения молярного коэффициента погашения для двух максимальных полос поглощения в растворах реагента для видимой области спектра

Таблица 29

Растворимость дитизиона и оптические свойства его растворов

Растворитель	Растворимость, г/л	Значения в $10^{-3} \ast$		Окраска	Литература
		1-я полоса	2-я полоса		
Водный раствор щелочи	20	22,0/447		Оранжево-желтая	[121]
Хлороформ	17,8	40,0/605	16,0/455	Сине-зеленая	[573, 886]
Бензол	1,64	38,8/620	20,8/450	Темно-зеленая	[121]
Четыреххлористый углерод	0,64	32,8/620	20,0/450	Изумрудно-зеленая	[573]

\* В знаменателе указана  $\lambda_{\text{макс}}$  (в мик)

Дитизон применяется для фотометрического определения никеля и для концентрирования Ni, Co, Cu

Диэтилдитиокарбаминат натрия  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NC(S)SNa}$  как реагент известен давно [524] Образование окрашенного комплексного соединения никеля с диэтилдитиокарбаминатом (ДДТК) было отмечено в 1939 г. Голландом и Ритке [764], но этот реагент использован для фотометрического определения никеля лишь в 1946 г. [404] Глен и Шваб [708] указали, что растворы ДДТК при pH 5 и ниже быстро разлагаются Другие исследователи [546] также подчеркивали, что ионы никеля следует экстрагировать из щелочных растворов Диэтилдитиокарбаминат натрия применяется при фотометрических (см. стр. 113), титриметрических методах (см. стр. 99) и методах отделения никеля

## Устойчивость комплексонатов никеля

Атом легион	Температура, °С	Среда	Метод определения	Ig K <sub>d</sub>	Ig K <sub>2</sub>	Ig β <sub>2</sub>	Ig K <sub>3</sub>	Литература
Цианометилимидоуксусная кислота $C_6H_5O_4N_2$	20	0,1 M KCl	pH титрование со стеклянным электродом	6,20	4,97	11,17	—	[1122]
N (Карбагидрометилимидоуксусная кислота $C_6H_5O_6N_2$ )	20	То же	То же	8,02	3,88	11,30	—	[1122]
N 2 Оксидэтилимидоуксусная кислота $C_6H_7O_4N$	20	*	*	9,28	4,97	14,25	10,83	[1122]
2 Меркаптоэтилимидоуксусная кислота $C_6H_7O_4N$	30	*	*	9,54	3,15	14,69	—	[1124]
2 Этилендиамин N,N-диуксусная кислота $C_6H_7O_4N$	20	*	*	13,75	4,15	17,90	—	[1122]
2 Карбоксидэтилимидоуксусная кислота $C_6H_7O_6N$	20	*	*	13,75	5,91	19,64	—	[1122]
3 Оксидионэтилимидоуксусная кислота $C_6H_7O_6N$	30	*	*	13,5	—	—	—	[1122]
2 Метоксиэтилимидоуксусная кислота $C_7H_9O_4N$	20	*	*	14,1	—	—	—	[554]
2 Метилэтилимидоуксусная кислота $C_7H_9O_4N$	30	*	*	9,1	5,7	14,8	—	[532]
2 Метилэтилимидоуксусная кислота $C_7H_9O_4N$	20	*	*	9,89	5,46	14,85	—	[1122]
Урацил N,N-диуксусная кислота $C_8H_9O_4N_2$	20	*	*	10,00	5,00	15,00	—	[1122]
2 Этоксикарбонилэтилимидоуксусная кислота $C_6H_7O_6N$	20	*	*	—	3,3	—	—	[4123]
Фенилимидоуксусная кислота $C_6H_7O_4N$	20	0,1 M KCl	pH титрование со стеклянным электродом	7,94	6,38	14,32	—	[1122]
	20	0,1 M KCl	pH титрование со стеклянным электродом	3,53	—	—	—	[1122]

20	Две этилбутилдиэтилоуксусная кислота $C_{16}H_{30}O_4N$	То же	То же	8,70	7,11	16,44	—	[1122]
20	Нитроглюкоусная кислота $C_{6}H_{10}O_6N$	* *	* *	41,26, + -10,07	—	—	—	[1126]
20	Этилендиаминглюкоусная кислота $C_{10}H_{18}O_6N_2$	$\mu \sim 0,1$	Распределение	41,54	—	—	—	[1187]
20		0,1M KCl	*	18,45	—	—	—	[1125]
20		То же	*	18,30	—	—	—	[1127]
20		0,1M $KNO_3$	*	18,62	—	—	—	[982]
20		$\mu \sim 0,1$	Полярография	17,5	—	—	—	[928]
20		$\mu \sim 0,1$	Спектрофотометрия	18,36	—	—	—	[1187]
20		0,1M $KNO_3$	*	17,5	—	—	—	[771]
20		$\mu \sim 0,1$	Спектрофотометрия	20,21	—	—	—	[619]
30	Две этилгетриаминглюкоусная кислота $C_{12}H_{22}O_6N_3$	То же	То же	9,0	—	—	—	[551]
30	Карбоксилэтилдиминдиэтилоновая кислота $C_8H_{14}O_4N$	* *	* *	5,7	—	—	—	[552]
30	Экзилэтилдиэтилдиэтилоновая кислота $C_{12}H_{22}O_4N$	0,1M KCl	* *	9,3	—	—	—	[577]
30	Этилгетриамин $N, N'$ -диэтилоновая кислота	То же	* *	5,8	—	—	—	[551]
30	Нитроглюкоусная кислота $C_6H_{10}O_6N$	* *	* *	15,5	—	—	—	[550]
30	Этилгетриамин $N, N'$ -диэтилоновая $N, N'$ -дипропилоновая кислота $C_{12}H_{22}O_6N$	* *	* *	9,7	—	—	—	[577]



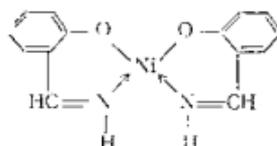
## Амины

Никель легко образует комплексные соединения с пиридином и другими органическими аминами. Эти соединения редко используются для прямого определения никеля, но представляют интерес для маскировки никеля при определении других элементов. В табл. 32 приведены константы устойчивости комплексных соединений с некоторыми аминами.

Пиридин, являясь слабым основанием ( $K_D = 1 \cdot 10^{-9}$ ), образует с никелем ряд комплексных соединений, не отличающихся большой устойчивостью. По устойчивости к ним близки соединения с этилендиамином.

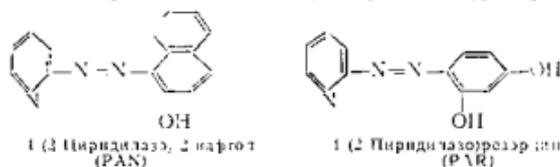
Несколько более устойчивы соединения с 2,2-диаминдипропилендиамином, триэтилентетраамином, этиламином и фенантролином.

Салицилальдамины, являющиеся продуктами конденсации салицилового альдегида, аммиака или различных аминов (ароматического и жирного рядов), образуют внутрикомплексные соединения с никелем.



Салицилаллиминат никеля хорошо растворяется в пиридине, образуя растворы желтого цвета, растворимость его в воде составляет  $2,86 \cdot 10^{-5}$  моль/л [315].

Амины, содержащие азогруппу. Пиридиновые азосоединения, содержащие окси группу в орто положении к диазогруппе, как реагенты были изучены сравнительно мало. Эти соединения, впервые синтезированные Чичибабиным в 1915 г. [345, 346] долгое время не применялись в химическом анализе. Начиная с 1955 г., они стали применяться как комплексонометрические индикаторы, некоторые были рекомендованы для фотометрического определения никеля. Большее распространение получили 1-(2-пиридилтазо)-2-нафтол (PAN) и 1-(2-пиридилтазо)резорцин (PAR).



1-(2-Пиридилтазо)-2-нафтол (PAN), по данным Пис и Вильямса [1030], может находиться в трех формах. При  $pH \leq 2$  получаются растворы соединения желто-зеленого цвета с  $K_D = 1,26 \cdot 10^{-2}$ .

Таблица 32

## Устойчивость комплексных соединений никеля с аминами

Реагент	Температура, °C	Среда	Метод определения	lg K <sub>1</sub>	lg K <sub>2</sub>	lg K <sub>3</sub>	lg β <sub>3</sub>	Литература
Пиридин	25	0,5M C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> N HNO <sub>3</sub>	pH титрование со стеклянным электродом	78	1,05	0,31	2,82	[634]
Этилендиамин	25	μ = 1,0	pH титрование	4,10 ± 0,1	3,95 ± 0,1	—	1,36 ± 0,1	[1259]
2,2 Диэтилводиамина	20	0,1M KCl	pH-титрование со стеклянным электродом	10,7	8,25	—	18,95	[1063]
	30	То же	То же	10,81	8,14	—	18,97	[808]
	40	» »	» »	10,54	7,83	—	18,37	[808]
Пропилендиамин	30	μ = 0,5	pH титрование	7,41	6,30	1,29	18,0	[905a]
Фениantroлин	20	μ = 0,1M NaNO <sub>3</sub>	То же	8,8	8,30	7,70	24,80	[409]
	—	—	Спектрофотометрия	—	—	—	18,3	[584]

(кислая форма), при  $pH > 2$  — нерастворимое в воде соединение желтого цвета, при  $pH > 11$  — соединение красного цвета с  $K_D = 6 \cdot 10^{-14}$ . Значения  $K_D$  найдены для растворов в 20% ном диоксиде при  $\mu = 0,08$ . При  $pH 1-2$  растворы имеют три максимальные полосы поглощения при 275, 323 и 425 мкм.

Реагент с никелем образует растворимое соединение красного цвета, которое экстрагируется полярными растворителями — спиртами (н-бутиловым, изобутиловым, изоамиловым), а также четырёххлористым углеродом [553]. Изучены условия экстракции соединения никеля [1141]. Комплексное соединение никеля с PAN менее устойчиво, чем соединение с ЭДТА [462]. Оно образуется при соотношении  $Ni : PAN = 1 : 2$ , растворы его имеют максимальные полосы поглощения при  $\lambda = 530$  и 570 мкм,  $\epsilon_{570 \text{ мкм}} = 50 \cdot 000$  [1303]. Другие авторы [575] нашли устойчивость образующегося комплекса  $lg \beta_2 = 25,3$ ,  $lg \beta_3 = 23,0$  [465].

Гниличкова и Sommer [762], изучая спектрофотометрическим методом поведение водного раствора 1 (2-пирридилазо)резорцина (PAR), установили существование шести форм, имеющих максимальное поглощение в различных участках спектра.

$H_2R^{2-}$  в 90% ной  $H_2SO_4$  ( $\lambda_{макс} = 433$  мкм),  $H_2R^{2-}$  в 50% ной  $H_2SO_4$

( $\lambda_{\text{макс}} = 390 \text{ мкм}$ ),  $\text{H}_3\text{R}^+$  при  $\text{pH} < 2$  ( $\lambda_{\text{макс}} = 395 \text{ мкм}$ ),  $\text{H}_2\text{R}$  при  $\text{pH}$  2,1—4,2 ( $\lambda_{\text{макс}} = 385 \text{ мкм}$ ,  $K_D = 1 \cdot 10^{-3,1}$ ),  $\text{HR}^-$  при  $\text{pH}$  4,2—7,0 ( $\lambda_{\text{макс}} = 413 \text{ мкм}$ ,  $K_D = 10^{-5,6}$ ),  $\text{R}^{2-}$  при  $\text{pH}$  10,5—13,2 ( $\lambda_{\text{макс}} = 490 \text{ мкм}$ ,  $K_D = 10^{-11,9}$ )

В ацетатном буферном растворе ( $\text{pH}$  2,5—6) PAR образует соединение с Ni [762]. Его устойчивость определена Фрайзером с  $\text{сotr}$  [575],  $\lg \beta_2 = 26,9$ .

Исследованы также комплексные соединения с реагентами близкого строения, с салицилимидом 2-аминопиридином, 2-(*o*-оксифенилметил)пиридином и бензолазорезорцином [1207].

## ОБНАРУЖЕНИЕ НИКЕЛЯ

При анализе природных соединений, сплавов и чистых металлов рекомендуется ряд методов переведения объекта в растворимое состояние. Почти все руды, содержащие никель, растворимы в смеси  $\text{HCl}$  и  $\text{HNO}_3$ , в отдельных случаях для руд, содержащих мышьяк, сурьму и серу, в качестве растворителя используется концентрированная серная кислота. Иногда при обработке кислотами не достигается полного растворения, тогда остаток сплавляют с карбонатом натрия. Силикатные породы также рекомендуется сплавлять с карбонатом натрия.

Для качественного обнаружения никеля применяют химические методы, полярографический метод, метод пламенной фотометрии и радиоактивационные методы.

## I ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НИКЕЛЯ

Кобальт обычно сопутствует никелю, поэтому в рассматриваемых методах всегда предусматривается возможность обнаружения никеля в присутствии кобальта. В отдельных случаях при анализе сложных объектов (минералов, руд) необходимо предварительное отделение обоих элементов электролизом из аммиачного раствора [34, 332a] или осаждением в виде сульфидов [736].

## Обнаружение никеля неорганическими реагентами

Разбавленный водный раствор аммиака выделяет из концентрированных растворов солей никеля осадок основной соли светло-зеленого цвета, растворимый в избытке аммиака с образованием комплексных соединений  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  и  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ , окрашенных в синий цвет. Гексааммиакат никеля с  $\text{KBr}$  образует малорастворимое соединение  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{Br}_2$ , осадок окрашен в аметистово-фиолетовый цвет, перхлорат аммония выделяет осадок голубого цвета  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6](\text{ClO}_4)_2$  [46]. Кобальт дает аналогичное соединение  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{ClO}_4)_2$  желто-красного цвета.

**Тиокарбонат калия**  $K_2CS_3$  с аммиакатами никеля образует растворы, окрашенные в красно-бурый цвет, при малых концентрациях никеля получаются растворы розового цвета. Кобальт (II) определению не мешает. Марганец и цинк мешают [42].

**Цианид калия** образует осадок цианида никеля желто-зеленого цвета, растворимый в избытке реактива с образованием ионов

Рис 2 Кристаллы  $K_2PbNi(NO_2)_6$  (желтые)  
Увеличение в 150—230 раз



$[Ni(CN)_4]^{2-}$  желтого цвета. В отличие от кобальта, который дает более устойчивое цианидное соединение, при действии  $Bg_2$  на  $[Ni(CN)_4]^{2-}$  выделяется осадок черного цвета  $Ni(OH)_2$ , кобальт определению не мешает [42, 171].

**Ферроцианид калия**  $K_4[Fe(CN)_6]$  осаждает ионы никеля, осадок ферроцианида никеля нерастворим в кислотах, но растворим в избытке концентрированного раствора аммиака, при встряхивании этого раствора выделяются кристаллы сиреневого цвета  $[Ni(NH_3)_6]_2[Fe(CN)_6]$  [46].

**Гидрокарбонат** ( $HCO_3^-$ ) образует осадок светло-зеленого цвета, нерастворимый в избытке реактива, в отличие от кобальта. При добавлении бромной воды и нагревании выделяется осадок синего цвета. Предельное разбавление 1 : 500 000 [684].

**Нитрит никеля, свинца и калия**  $K_2NiPb(NO_2)_6$  образуется в уксуснокислой среде в виде кристаллов, имеющих форму кубов и октаэдров (рис 2), окрашенных в желтый или буроватый цвет. Предельное разбавление 1 : 125 000, можно обнаружить 0,008  $\mu g$  Ni [159].

Для обнаружения никеля в присутствии кобальта [159] осадок сульфидов этих элементов растворяют в нескольких каплях  $HCl$  с добавлением  $H_2O_2$ , раствор выпаривают досуха, растворяют остаток в 1—2 каплях воды, вводят кристаллик нитрита натрия и избыток уксусной кислоты. Образуется осадок  $K_2Na[Co(NO_2)_6]$ . В фильтрате от осадка обнаруживают никель диметилдиоксидом. К капле испытуемого раствора добавляют избыток насыщенного раствора молибдата аммония и подогревают примерно до  $70^\circ C$ . В зависимости от количества никеля сразу или через некоторое время выделяется молибдат никеля в виде небольших пластинок. Аналогичные кристаллы образует цинк. В присутствии кобальта раствор окрашивается в розовый цвет, но осадка не образуется [159].

**Перлы с бурой и фосфатом натрия** Перт буры в окислительном пламени окрашивается в красновато-коричневый цвет солями никеля вследствие образования  $\text{Na}_2\text{Ni}(\text{BO}_2)_4$ . Обнаруживаемый минимум 5 мкг Ni

Перт фосфата натрия при сплавлении с солями никеля в окислительном пламени в горячем состоянии окрашен в красновато-коричневый цвет, на холоду перт имеет цвет от желтого до желто-красного. Обнаруживаемый минимум 7,5 мкг Ni

### Обнаружение никеля органическими реагентами

Наиболее часто для обнаружения никеля применяются диоксиды, главным образом диметилдиоксид<sup>1</sup>. Краут [868] еще в 1906 г применил его для обнаружения никеля в золе углей.

Следует отметить, что все оксиды реагируют с палладием, образуя осадки желтого цвета, но в значительно более кислой среде (2—5 N HCl). Во всех случаях осадок палладия, выделенный в более кислой среде, может быть отделен и затем в испытуемом растворе при нейтрализации аммиаком обнаружен никель.

При использовании диоксидов для обнаружения никеля мешают железо (II), кобальт (II), кобальт (III), медь (II), образующие сравнительно хорошо растворимые соединения желто-коричневатого (Co), зеленого (Cu) и розового (Fe (II)) цветов. Для обнаружения никеля в присутствии указанных элементов (кроме Pd) рекомендуется осадок диоксидата никеля отфильтровать или отделить центрифугированием. Совместное присутствие железа и кобальта остожняет обнаружение никеля, в этом случае рекомендуется к раствору добавить  $\text{H}_2\text{O}_2$ , нагреть раствор, разрушить избыток окислителя, прибавить винную кислоту и провести обнаружение никеля диоксидами (см стр 43—50).

**Диметилдиоксид** 1% ный этанольный раствор в присутствии аммиака или ацетатного буферного раствора в слабощелочной среде дает осадок красного цвета, растворимый в хлороформе или бензоле с образованием растворов желтого цвета. В присутствии аммиачного спирта осадок флотируется на границе раздела фаз, это увеличивает чувствительность обнаружения. Обнаруживаемый диметилдиоксидом минимум (в мкг Ni) 0,2 [202], 0,16 [320], 0,1 [147], 0,002 [159], предельное разбавление 1 : 500 000, 1 : 1 000 000 [159], 1 : 400 000 [139]. По данным Чугаева, чувствительность равна  $2,5 \cdot 10^{-6}$  г/мл [349], Брунк [306] подтвердил такую чувствительность.

Для обнаружения никеля в присутствии больших количеств железа на пластинку помещают последовательно по одной капле испытуемого раствора, насыщенного раствора тартрата натрия и две капли этанольного раствора диметилдиоксидом. Осадок диметил-

<sup>1</sup> Или раствор диметилдиоксидом в ацетоне или аммиаке

диоксимата поднимается на поверхность, образуя кольцо. Обнаруживаемый минимум 0,5 мкг, предельное разбавление 1 : 100 000 [320]. Чувствительность можно повысить, если обнаружение проводить на бумаге, предварительно пропитанной раствором диметилдиоксима и высушенной. В этих условиях можно обнаружить 0,015 мкг Ni, предельное разбавление 1 : 3 300 000.

Соли кобальта в больших количествах остожают обнаружение никеля. В этом случае к раствору соли никеля и кобальта приливают концентрированный раствор KCN и 3% ный раствор  $H_2O_2$  до растворения осадка. К раствору цианидов  $[Ni(CN)_4]^{2-}$  и  $[Co(CN)_6]^{3-}$  добавляют растворы 40% ного формальдегида и 1% ного диметилдиоксима. В присутствии никеля выделяется осадок диоксимата никеля. Обнаруживать никель в присутствии кобальта можно так же, переводя последний в аммиачной среде при достаточной концентрации хлорида аммония и диметилдиоксима в комплексное соединение  $[Co2NH_3(HD)_2]^+$ .

Особенно осложнено обнаружение никеля при совместном присутствии его с кобальтом и железом, которые дают соединение  $FeCoC_{12}H_{19}O_8N_8$  [1262].

Никель в этом случае обнаруживают в следующих условиях. В маленькую коническую пробирку вводят 1—2 капли испытуемого раствора, содержащего никель, при нагревании добавляют концентрированный раствор KCN до получения прозрачного раствора, затем вводят на кончике шпателя твердый диметилдиоксим и несколько капель 40% ного формальдегида, перемешивают и центрифугируют. На дне пробирки образуется осадок диметилдиоксимата никеля [645].

Применение бумаги, предварительно пропитанной диметилдиоксимом и высушенной, позволяет обнаруживать небольшие количества никеля в присутствии кобальта и меди. На бумагу наносят каплю испытуемого раствора и промывают бумагу разбавленным раствором аммиака. Окрашенные соединения кобальта и меди растворяются, а розовое пятно соединения никеля остается. Обнаруживаемый минимум 0,8 мкг Ni (предельное разбавление 1 : 62 500 в присутствии 1250 кратного количества кобальта и 1,7 мкг Cu) и предельное разбавление 1 : 29 400 в присутствии 590 кратного количества меди [320].

Для обнаружения никеля в сплавах и никелированных предметах на поверхность объекта, предварительно обезжиренную эфиром, наносят одну каплю насыщенного этанольного раствора диметилдиоксима. К этому месту поверхности осторожно прикладывают фильтровальную бумагу, на которой в присутствии никеля отчетливо выступает розовое пятно диоксимата никеля [320].

Оригинальный метод обнаружения никеля диметилдиоксимом в присутствии бромной воды и зерен анионита предложил Фуимото [692].

Для обнаружения иона никеля могут быть использованы микрокристаллоскопические реакции. При добавлении к капле раствора никеля нескольких кристаллов диметилдиоксима или капли его аммиачного раствора выделяются тонкие иглы, часто образующие



Рис. 3 Кристаллы диоксимата никеля (красные)  
Увеличение в 10—15 раз

пучки кристалликов (рис. 3). В обычном свете они имеют розовую окраску. Кристаллы обладают резко выраженной дихроичностью. Обнаруживаемый минимум 0,002  $\mu\text{г}$  Ni, предельное разбавление 1 1 000 000 (см. рис. 3). Сочетая указанный метод с индуцированным осаждением в виде смешанных кристаллов  $\text{Zn}[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$  и  $\text{Ni}[\text{Hg}(\text{SCN})_4]$ , можно повысить чувствительность до 0,0005  $\mu\text{г}/\text{мл}$ , предельное разбавление до 1 2 000 000 000 [159]. 5000 кратные количества кобальта не мешают определению.

$\alpha$ -Бензилдиоксим выделяет осадок никеля красно-оранжевого оттенка в кислой среде (рН 4—5). Реакция более чувствительна, чем с диметилдиоксимом, предельное разбавление 1 10 000 000. Определению мешают те же элементы, что и при обнаружении диметилдиоксимом [420, 544, 642]. В отчете Международной комиссии по новым аналитическим реактивам за 1948 г. [283] отмечается, что ионы хрома и кобальта при предельном отношении их к никелю как 10 1 снижают чувствительность (предельное разбавление 1 500 000), но не мешают обнаружению никеля. Ионы меди при том же соотношении не мешают, но уменьшают предельное разбавление до 1 10 000. Алюминий, железо, цинк, марганец не мешают при соотношении до 100 1.

Диоксим циклогександиона (ниоксим) позволяет обнаруживать никель в растворах с большим интервалом кислотности (рН 3—11), образуется осадок розово-красного цвета. Предельное разбавление 1 2 500 000. Кобальт не мешает обнаружению никеля в слабо-аммиачном растворе [1253]. В присутствии железа чувствительность обнаружения никеля не изменяется даже при отношении этих элементов 2000 1. Ионы кобальта, вызывающие желтое окрашивание раствора, не мешают обнаружению кобальта, медь должна быть удалена.

$\alpha$ -Фурилдиоксим в слабоаммиачных растворах и в ацетатном буферном растворе образует с никелем осадок кирпично-красного цвета. Предельное разбавление 1 500 000 [1173].

Диоксим циклогептандиона (гептоксим) взаимодействует с ио-

нами никеля в кислой среде (рН 2,7), в нейтральной и щелочной среде, причем в более щелочной, чем все другие диоксими (рН 12) Этот реагент позволяет обнаруживать никель в присутствии очень большого числа элементов

**Монооксим диацетила** в аммиачном растворе образует с никелем осадок красного цвета Предельное разбавление 1 300 000 Обнаружение проводят на катодной пластинке или в маленькой конической пробирке Предварительно отфильтровывают осажденные аммиаком гидроокиси и добавляют к фильтрату каплю этанольного раствора реагента В присутствии никеля через несколько минут выделяется осадок красного цвета Кобальт определению не мешает, медь должна быть удалена

**Оксаламиддиоксим (никеллокс)** из аммиачного раствора выделяет осадок соединения никеля красно-оранжевого цвета Кобальт, марганец, цинк, алюминий реакции не мешают, в больших количествах мешают железо (III), хром и алюминий Предельное разбавление 1 150 000 [879, 1138]

**Оксалдиурямиддиоксим** в аммиачном растворе образует осадок с никелем оранжево-желтого цвета Кобальт не мешает определению Предельное разбавление 1 150 000 [684]

**Дициандиамидинсульфат** образует с никелем в щелочных растворах осадок желтого цвета Кобальт дает растворимое соединение красно-фиолетового цвета Большие количества солей аммония препятствуют выделению осадка никеля [684]

**1,2 Диаминотетраантрахинон-3-сульфоуксусная кислота** дает с никелем осадок голубого цвета, который в избытке аммиака краснеет Чувствительность 5 мкг/мл [684]

**Дизонитрозоацетон** или изонитрозоацетон также используют для обнаружения никеля [870]

**Рубеановодородная кислота** дает осадок синего цвета с фиолетовым оттенком, малорастворимый в минеральных кислотах и аммиаке Предельное разбавление 1 100 000 Bi, Cd, As, Sb, Sn, Au, Pt, Se, Fe, Mo, W, V, Al, Cr, Ti, Zn не влияют на чувствительность при предельном отношении их к никелю 100 1 Ионы  $Co^{2+}$ , окрашивая раствор в буровато-красный цвет, не мешают определению, ионы  $Cu^{2+}$ ,  $Au^+$  и  $Hg^{2+}$  мешают  $Fe^{3+}$  маскируют фтористоводородной кислотой, чувствительность при этом падает Соединение кобальта, в отличие от никеля, легче растворяется в аммиаке и разбавленных минеральных кислотах [283]

**Солянокислый метиламин**  $(CH_3 NH_2)Cl$  При подогревании в фарфоровом тигле безводной соли никеля с равным объемом реактива появляется темно-синее окрашивание Кобальт дает аналогичное окрашивание, но оно исчезает при охлаждении Таким путем можно обнаружить 100 мкг никеля [684]

**Формальдоксим**  $CH_2 = NOH$  в щелочной среде в присутствии ионов никеля окрашивает растворы в зеленовато-желтый цвет, чувствительность обнаружения 0,05 мкг/мл [282, 1268]

## 2 ОБНАРУЖЕНИЕ НИКЕЛЯ В ПРИСУТСТВИИ ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для обнаружения никеля в присутствии других элементов исследуемый материал переводят в раствор действием кислот ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ) или сплавлением [3]. Избыток кислоты выпаривают, добавляют  $6N$   $\text{HCl}$  до полноты осаждения хлоридов катионов пятой аналитической группы осадок отделяют центрифугированием. К прозрачному раствору добавляют раствор аммиака до нейтральной реакции по лакмусу и равный объем  $0,6N$   $\text{HCl}$ , подогревают на кипящей водяной бане и пропускают  $\text{H}_2\text{S}$ . Центрифугат от осадка отделяют, нейтрализуют  $6N$   $\text{NH}_4\text{OH}$  до начала появления муты, добавляют 2 капли  $4N$   $\text{NH}_4\text{Cl}$  и подогревают раствор в кипящей водяной бане. Добавляют 2 капли концентрированного раствора аммиака и пропускают  $\text{H}_2\text{S}$  до полного осаждения. Отделенный через 20—30 мин осадок сульфидов обрабатывают 1 мл  $2N$   $\text{HCl}$  перемешивают оставшийся нерастворенный осадок сульфидов кобальта и никеля до исчезновения запаха сероводорода, отделяют осадок центрифугированием, промывают его горячим разбавленным раствором  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и растворяют в нескольких каплях  $6N$   $\text{HCl}$  с добавлением 2—3 капель  $6\%$  ной  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

После прекращения выделения пузырьков кислорода обнаруживают никель одной из реакций, указанных ранее, лучше всего диметилдиоксимом

## Глава III

### МЕТОДЫ ОТДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ ОТ СОПУТСТВУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

#### 1. ОТДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ ОСАЖДЕНИЕМ

Лучшим и наиболее надежным методом отделения никеля от большинства элементов, безусловно, является осаждение диметилдиоксिमом и другими  $\alpha$  диоксимами. Исключение составляют элементы, образующие диоксиматы палладий, медь, кобальт [162]. Но при соблюдении определенных условий никель может быть достаточно полно отделен от любого из этих элементов. Другие  $\alpha$ -диоксими ( $\alpha$  безилдиоксим, диоксими циклогексан- и циклопептандионов,  $\alpha$  фурилдиоксим) применяются значительно реже для отделения никеля, хотя такие диоксими, как ниоксим и гептоксим (см стр 20), имеют некоторые преимущества перед другими диоксимами именно при отделении никеля.

Подробно условия отделения никеля осаждением каждым из названных диоксимов рассмотрены в главе, посвященной гравиметрическим методам определения.

Никель может быть отделен при помощи диоксимов от палладия. Палладий реагирует с  $\alpha$  диоксимами аналогично никелю, но диоксиматы палладия образуются в более кислых растворах, чем соответствующие диоксиматы никеля (табл 33). Поэтому палладий легко отделяется от никеля осаждением любым из диоксимов из минеральнокислых растворов.

Таблица 33

Условия выделения диоксиматов никеля и палладия

Реагент	Кислотность растворов при выделении диоксиматов	
	никеля	палладия
Диметилдиоксим	pH 6,4	2N HCl
Ниоксим	pH 3,3	5N HCl
$\alpha$ Фурилдиоксим	pH 6,0	pH 0,5

В настоящем разделе рассмотрены только методы отделения никеля осаждением в основном неорганическими реагентами. Другие методы отделения никеля, как правило, представляют групповые методы, никель осаждается вместе с кобальтом.

При обычном сероводородном методе никель остается в фильтрате после осаждения сульфидов из солянокислых растворов. Из этого фильтрата  $Ni^{2+}$  вместе с  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  осаждают по Розе [1092] сульфидом аммония в аммиачном растворе. Кроме названных выше элементов могут выпасть в осадок еще и ионы  $Be^{2+}$ ,  $Ga^{3+}$ ,  $In^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $Zr^{4+}$ ,  $Hf^{4+}$ ,  $Th^{4+}$ ,  $P33^{3+}$ ,  $Sc^{3+}$ ,  $Y^{3+}$ ,  $Nb^{(V)}$ ,  $Ta^{(V)}$ ,  $V^{(V)}$ ,  $W^{(VI)}$  и  $U^{(VI)}$ . Через некоторое время осадок сульфидов и гидроокисей отделяют, промывают водой и 2 N HCl. При этом никель и кобальт остаются в виде сульфидов.

Для осаждения катионов третьей аналитической группы используют сульфид натрия [1172].

Разделение сульфидов никеля, кобальта, марганца и цинка [728] проводят последовательным растворением осадка вначале в 1 N уксусной кислоте, затем в 2 N HCl.

Сероводородный метод часто рекомендуется и для отделения никеля от отдельных катионов группы сульфида аммония. Например, для отделения от цинка следует вести осаждение сероводородом в ацетатном буферном растворе ( $pH < 4$ ) [434, 871]. Никель и кобальт можно отделить от марганца осаждением сероводородом в ацетатном буферном растворе ( $pH 4,0-4,8$ ) [819], от хрома — при  $pH 5,0$  [820].

При отделении никеля сульфидом аммония возникают затруднения вследствие образования коллоидных растворов  $NiS$ . Остроумов [235] предлагает поэтому осажждать никель из раствора, содержащего хлористый ниридин. При этом получается хорошо отфильтровываемый кристаллический осадок  $NiS$ .

Как заменитель сероводорода и растворимых сульфидов используют тиацетамид [386, 664], при действии которого на соли никеля в аммиачном буферном растворе никель осаждается в виде сульфида. Была изучена скорость осаждения никеля этим реагентом и кристаллическая структура получающегося сульфида [1255]. Крин [869] применил этот реагент для разделения меди, никеля и цинка. Медь осаждается тиацетамидом в кислой среде, а в фильтрате в присутствии комплексоната кальция и аммиака осаждается цинк, никель остается в растворе.

Для отделения никеля в виде сульфида применяют также тиакарбонат калия [806].

Часто для отделения никеля и других элементов сероводородным методом используют маскирующие вещества. Свифт и Бартон [1209, 1211] рекомендуют для разделения кобальта, никеля, цинка, железа, хрома, алюминия и марганца вести осаждение в присутствии оксалата и бикарбоната натрия. При этом три последние элемента остаются в растворе.

В присутствии редких элементов разделение осуществляется методами, предложенными рядом авторов [73, 229, 430, 433]

Для отделения никеля от трех и четырехвалентных катионов группы сульфида аммония можно рекомендовать методы, общие для отделения двух и трехвалентных катионов этой группы. В большинстве случаев такие методы основаны на осаждении этих последних катионов в виде гидроокисей или основных солей при определенной концентрации ионов водорода в растворе, создаваемых аммиаком [73, 1210], пиридином [234], ацетатом натрия [737, 857, 1245], бензоатом аммония [894], сукцинатом натрия [1245], карбонатом бария [73], карбонатом аммония [872], гидразинкарбонатом [798], уротропином [865, 1073],  $Hg(NH_2)Cl_2$  [1170]. Недавно для этой цели Остроумов и Волков предложили коричную кислоту [236, 237].

Для разделения никеля и алюминия можно рекомендовать осаждение последнего в виде фторида из раствора, содержащего комплексон (III) [26].

Никель наряду с другими катионами выделяется многими органическими осадителями. Но все эти осадители неизбирательны. Например, довольно часто никель вместе с цинком, медью, кобальтом и другими отделяют от железа, алюминия, марганца осаждением рубеноводородной кислотой [207].

#### Отделение никеля от кобальта

Обзор методов отделения никеля от кобальта осаждением приведен Синглтоном [1163].

Кобальт можно осадить, по Брунку [505] — Фишеру [615], в виде гексанитрокобальтата калия. Этот осадок не будет чистым, если нитрит калия загрязнен  $KOH$  и  $K_2CO_3$ . Поэтому раствор нитрита калия рекомендуют перед употреблением нейтрализовать уксусной кислотой. В случае значительно преобладающего содержания кобальта его следует переосадить [36]. Этот метод используется для разделения радионуклидов никеля и кобальта [955].

Для отделения малых количеств никеля от кобальта применяют цианидный метод Либиха [900], модифицированный метод Велера [1281] и метод, предложенный Салтыковой [288].

Различное отношение к воздействию окислителей лежит в основе метода, предложенного рядом авторов еще во второй половине прошлого века [596, 758, 1082, 1105, 1221]. Из раствора солей никеля и кобальта при действии перманганата калия или гипохлорита в щелочной среде выделяется осадок гидроокиси кобальта (III). Образование  $Ni(OH)_2$  в этом случае идет так медленно, что удается количественно разделить эти два элемента.

Шустер [1117] для разделения никеля и кобальта использовал перекись водорода в щелочной среде, Гласстон и Спикман [707] — перборат натрия. Шустер [1116] предлагает также отделять никель

от кобальта окислением перекисью натрия. Остающуюся без изменения гидроокись никеля  $Ni(OH)_2$  растворяют в аммиачном растворе хлорида аммония. Кобальт остается в осадке в виде  $Co(OH)_2$ .

При кипячении солей никеля и кобальта в присутствии триоксидиэтиламина и большого избытка щелочи никель выпадает в виде  $Ni(OH)_2$ , а кобальт образует прочное комплексное соединение и остается в растворе [1074].

Роданидный метод разделения никеля и кобальта основан на том, что тетрароданокобальтиат аммония растворяется в смеси диэтилового эфира и амилового спирта, а соответствующее соединение никеля не растворяется [534, 1090].

Можно разделять никель и кобальт с помощью фосфат-ионов [1285]. В растворе, содержащий соли этих двух металлов, добавляют смесь растворов  $KH_2PO_4$  и  $Na_2HPO_4$  (рН 5,5). Кобальт осаждается, никель остается в растворе.

В аммиачном фосфатном растворе никель и кобальт осаждаются в виде  $MeNH_4PO_4$ . В отсутствие окислителя в избытке аммиака растворяется соединение никеля, а в присутствии окислителя (персульфат аммония) кобальт образует прочный аммиакат даже при небольшом избытке аммиака, в то время как никель не может быть растворен в этих условиях [1115]. Никель и кобальт можно разделять, используя хорошую растворимость  $CoCl_2 \cdot H_2O$  в ацетоне при 35 °С. Соединение  $NiCl_2 \cdot H_2O$  почти нерастворимо в ацетоне [1225].

Никель может быть отделен от кобальта также путем извлечения никеля аммиачным раствором хлорида аммония из осадка карбонатов [1117].

Дициандиамидинсульфат [720] используется также для разделения никеля и кобальта. Он осаждает никель из раствора, содержащего 10% ный раствор сахара.

$Co(OH)_2$  можно осадить в присутствии ацетатного буферного раствора, содержащего смесь солей никеля и кобальта, действием хлорной и бромной воды [877].

Кроме того, кобальт может быть отделен от никеля [125] с использованием 1 нитрозо-2 нафталя.

## 2.5 ОТДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ

Метод электролиза для отделения никеля используется редко и, как правило, для отделения его от отдельных элементов. Если не соблюдать определенных условий, то при электроосаждении никеля на катоде выделяются также медь, свинец, цинк, кадмий, серебро. Мешают также и те элементы, которые в условиях электролиза никеля образуют малорастворимые осадки.

Надежного электролитического метода отделения никеля от кобальта нет, хотя описаны примеры такого разделения [226]. От хрома и алюминия никель можно отделить электролизом щавелевокислых растворов. Но в отсутствие оксалата в аммиачном растворе также получаются нехорошие результаты, поскольку хлорная

гидроокисей этих элементов не мешают электролизу, однако для наиболее надежного отделения рекомендуется никель переосаждать [970]. От небольшого количества марганца никель легко отделяется электролизом аммиачного раствора, при высоком содержании марганца в раствор следует добавлять сернистый гидразин для предотвращения окисления марганца на аноде [120, 122].

Чтобы отделить никель от цинка, необходимо вести электролиз аммиачного раствора с добавлением бисульфата натрия при 90° С [765] или в присутствии сернистого гидразина [1231].

Большинство других элементов отделяют электролитическим осаждением в условиях, при которых никель остается в растворе. Медь отделяется из сернистого раствора по прописи Кольтофа и Сендела [150], из сернистого раствора осаждаются также кадмий [279] и молибден [279]. Ртуть [38] и висмут [148, 504] отделяют электролизом азотнокислого раствора, олово — из щавелевокислого [142]. Никель может быть отделен и на ртутном катоде [971].

Подробно условия выделения никеля описаны на стр. 81.

### 3 ОТДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ ЭКСТРАКЦИЕЙ

Экстракционные методы для отделения никеля наиболее удобны, поскольку они непродолжительны, одинаково пригодны как для больших, так и для следовых количеств никеля и, наконец, в большинстве случаев позволяют производить последующее определение никеля непосредственным измерением оптической плотности экстракта.

Среди экстракционных методов наибольшее значение имеет экстрагирование никеля в виде диоксиматов. Применяются также методы экстрагирования групповыми реагентами (дитизон, дитил дитиокарбаминат), а также методы, основанные на экстракции органическими растворителями комплексных соединений других металлов, причем никель остается в водной фазе. Последние методы рассматриваются в монографиях, посвященных другим элементам.

#### Экстракция с применением $\alpha$ -диоксимов

Экстракция диоксиматов никеля возможна благодаря различной растворимости их в водной фазе и в хлороформе. Так, растворимость диметилдиоксимата никеля в воде очень мала и равна  $9,3 \cdot 10^{-7}$  моль/л [558]. Флайшер и Фрайзер [670] нашли ее равной  $1,05 \cdot 10^{-6}$ , а Бэнкс и Барнум [441] —  $2,1 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Растворимость комплексного соединения в хлороформе равна примерно  $5 \cdot 10^{-4}$  [21, 441, 558, 670, 964, 999, 1206], в анилине —  $1,74 \cdot 10^{-3}$  [964], в пиридине —  $1,65 \cdot 10^{-3}$  моль/л [964].

Растворимость 1,2-циклопентандиондиоксимата никеля в хлороформе равна  $5,6 \cdot 10^{-3}$  [441, 706], в бензоле —  $1,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л [441], для воды эти величины сравнимы с растворимостью диметилдиоксимата никеля [441, 522].

Как видно из приведенных данных, растворимость диоксидов никеля в органических растворителях хотя и невелика, но все же она намного больше, чем в воде. Поэтому метод экстракции диоксидов никеля и используется для отделения его от других элементов. Принципы отделения общие для всех  $\alpha$  диоксидов.

Диметилдиоксим первым из диоксидов применялся для экстракционного отделения никеля [1106, 1201]. Этот диоксим часто используется в аналитической практике для отделения и концентрирования малых количеств никеля при анализе металлов, сплавов и солей алюминия и алюмосиликатов [931], железа [1004, 1049], кобальта и его солей [1002], урана и его сплавов [334, 1206], чистого электролитического хрома [324], сплавов на основе циркония [1061], кадмия [206] и многих других металлов и сплавов [563, 842]. Экстракция диметилдиоксидом никеля применяется также при анализе перхлоратных растворов легированных сталей [846], содержащих хром, молибден, ванадий, никель, растворов электролитических ванн [678а], цинковых электролитов для получения цинка [864] и других объектов [16, 559]. Описаны методы экстракционного выделения никеля при помощи диметилдиоксима из руд [429, 815], медных солей [1001], галогенидов щелочных металлов [45] и из различных биологических материалов [404, 677].

Значение pH водного раствора, при котором происходит полное выделение и экстракция диоксидов никеля, существенно зависит от природы диоксидов. Данные для трех наиболее распространенных диоксидов приведены в табл. 34.

Таблица 34

Интервал значений pH экстракции миллиграммовых количеств диоксидов никеля

Реагент	Интервал pH полной экс- тракции	Интервал ра
1. 2-Циклогександиоксим	7,8—11,7	[706]
Диметилдиоксим	7,7—10,3	[563]
2. Фурфилдиоксим	7,7—8,3	[697]

Приведенные в табл. 34 значения pH относятся к миллиграммовым количествам никеля. Однако при экстрагировании микрограммовых количеств интервал pH сдвигается в более щелочную область (табл. 35).

При анализе различных материалов приходится учитывать мешающее влияние различных элементов. Одни из них образуют комплексы с диоксидом и частично или полностью экстрагируются органическим растворителем. Другие, обычно трех- и четырехвалентные ионы ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $In^{3+}$ ,  $Ga^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $Zr^{4+}$  и др.), образуют гидроксиды в условиях отделения никеля и препятству-

Интервал значений pH экстракции микрограммовых количеств диоксидов никеля

Реагент	Интервал pH полной экстракции ~ 1 мкг Ni	Литература
Диметилдиоксим	6,0—11,0	Неоубликованная работа авторов [259]
1,2-Циклогептандиондиоксим	5,4—12,7	

ют его экстракции. Поэтому для маскировки таких катионов обычно применяются винная и лимонная кислоты, реже — другие реагенты. Эти маскирующие агенты образуют также комплексные соединения и с никелем, поэтому интервалы значений pH полной экстракции последнего несколько сдвигаются в более щелочную область, где концентрация диоксидов ионов выше. Например, никельдиметилдиоксим экстрагируется в тартратной среде в интервале pH 4,8—12,0, в цитратной — 7,2—12,0 [562]. В присутствии комплексона III диоксиды никеля не экстрагируются.

Авторами настоящей книги на основании констант устойчивости диоксидов, тартратов и цитратов никеля и констант распределения диоксидов между водой и хлороформом была рассчитана доля проэкстрагированного никеля  $\alpha$  (pH 9)

$$\alpha = \frac{[\text{Ni}(\text{HD})_j]_{\text{хл}}}{[\text{Ni}]_{\text{вод}} + \sum_{j=0}^{j=2} [\text{Ni}(\text{HD})_j]_{\text{вод}}}$$

где  $L_n$  — остаток оксикислоты,  $m$  — ее основность,  $\text{Ni}(\text{HD})_j$  — комплексы никеля с диоксидом.

Результаты представлены в табл. 36.

Таким образом, из 0,1 M цитратного раствора никель может быть извлечен только при помощи  $\alpha$  бензилдиоксима, а из 0,1 M тартратного раствора — при помощи всех перечисленных диоксидов. Кроме того, из цитратного раствора никель может быть экстрагирован в виде 1,2 циклогексан- и 1,2 циклогептандиондиоксидов, но при более низкой концентрации цитрат-иона.

Приведенная выше таблица составлена с учетом обычно используемых концентраций диоксидов ( $10^{-3}$  M). Это обстоятельство справедливо только для трех первых, хорошо растворимых в воде диоксидов. Растворимость же  $\alpha$  бензилдиоксима в воде настолько мала, что доля проэкстрагированного с его помощью никеля близка к таковой для диметилдиоксима. Отсюда следует, что наиболее ценным для отделения никеля диоксидными являются те, которые не только образуют с никелем высокоустойчивые комплексы, но и сами хорошо растворимы в воде.

Железо, медь, кобальт также экстрагируются в виде диоксидов хлороформом. Но трехвалентное железо экстрагируется лишь

Доля экстрагированного никеля в присутствии оксикислот

Реагент	$\lg \alpha_{\text{центр}}$	$\lg \alpha_{\text{гартр}}$
$\alpha$ Фурилдиоксим	-5,92	-1,38
Диметилдиоксим	-4,80	-2,54
1,2 Циклогександиондиоксим	-1,38	-5,92
1,2 Циклогептандиондиоксим	-0,84	-6,50
$\alpha$ Бензилдиоксим	-3,62	-10,90

в кислой среде [14а] Обычно его маскируют оксикислотами, отделяют в виде фосфата в случае больших количеств или экстрагируют изопропиловым эфиром из 6—8 *N* HCl [678а] Для экстракции железа (II) необходимо присутствие пиридина [250]

Медь можно отделить от никеля, экстрагируя диоксиматы из аммиачных растворов [842] или промывая экстракт разбавленным раствором аммиака [842], гидроксилamina или цитрата аммония [1206] При большом количестве меди ее маскируют тиосульфатом [10011]

При промывании экстракта аммиаком может разрушиться и диоксимат никеля, если последний не очень устойчив, как, например,  $\alpha$  фурилдиоксимат В этом случае применяют очень разбавленные растворы аммиака Если диоксиматы очень устойчивы, как, например, гептоксимат, то комплексы меди можно разрушать даже щелочью [178, 259]

Отделение никеля от кобальта представляет большие трудности Можно [267] пренебрегать небольшими количествами кобальта (~ до 500 кратных количеств) при экстракции никеля, поскольку диоксимат кобальта имеет небольшой коэффициент распределения между водной и органической фазами Однако при больших соотношениях кобальта и никеля, особенно при отделении малых количеств последнего, нужно учитывать совместную экстракцию кобальта [74] Нильш [1002], например, предложил при определении никеля в солях кобальта [74] отделять последний цианидным методом Понте [1049] рекомендовал удалять кобальт до экстракции в виде гексанитрокобальтата калия, а Халль и Юнг [732] использовали экстракцию эфиром или изоамиловым спиртом роданидного комплекса кобальта

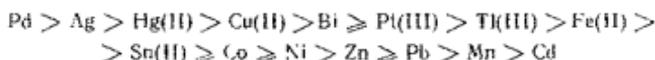
Большие количества марганца препятствуют полной экстракции никеля, так как в щелочных растворах марганец окисляется сам и окисляет никель [1017] Рекомендуется поэтому в присутствии марганца перед экстракцией никеля вводить в раствор солянокислый гидразин или гидроксилamin

Палладий также образует окрашенные экстрагируемые диоксиматы, но они, в отличие от соединений никеля, образуются и экстрагируются в кислых средах. Например,  $\alpha$  фурилдиоксимат никеля экстрагируется полностью при pH 8,0 или 9,0 в зависимости от количества никеля, а  $\alpha$  фурилдиоксимат палладия — при pH 2—3

### Экстракция с применением дитизона

Дитизон дает экстрагируемые комплексы почти со всеми катионами, образующими малорастворимые сульфиды. Но, регулируя значение pH водного раствора, этот реагент можно использовать для экстракционного отделения никеля [266, 268]

Ионы, реагирующие с дитизоном, по способности экстрагироваться в виде дитизонатов располагаются в следующий ряд



Элементы от палладия до висмута экстрагируются из кислых растворов (0,1 — 0,5 N), висмут извлекается из очень слабокислой среды. Никель, по данным Фишера [657, 658], экстрагируется только из слабощелочной среды. Раствор дитизоната никеля в четыреххлористом углероде устойчив к кислотам. Кривые экстракции и реэкстракции не совпадают (рис 4) Иванчев [121] рекомендует это

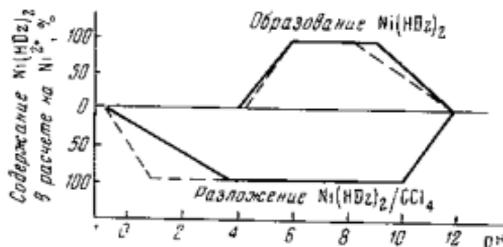


Рис 4 Образование и разложение раствора дитизоната никеля в  $\text{CCl}_4$  в зависимости от pH раствора

— — — время встраивания 30 сек — — — время встраивания 30 мин

обстоятельство использовать для отделения дитизоната никеля от дитизонатов металлов, малоустойчивых в присутствии кислот.

Серебро, ртуть, палладий, золото, медь, висмут в стократных количествах можно отделить от ионов никеля экстракцией раствором дитизона в  $\text{CCl}_4$  при  $\text{pH} < 4$ . Извлечение этих ионов предшествует экстракции никеля. Даже десятикратные количества  $\text{In}^{3+}$  не извлекаются с никелем при pH 8.

Цинк, кадмий, свинец и таллий экстрагируются дитизоном вместе с никелем, но при встряхивании объединенных экстрактов с водным раствором ацетатного буфера, имеющим  $\text{pH} < 4$ , в фазе четыреххлористого углерода остается один никель. Дитизон реагирует с кобальтом совершенно так же, как и с никелем, поэтому отделить никель от кобальта дитизоном невозможно.

При отделении никеля дитизоном от других элементов применяются также селективная экстракция из растворов, содержащих маскирующие агенты: тиосульфат натрия, например, маскирует серебро, ртуть, медь, висмут, платину, таллий (III), свинец [658]. От олова и цинка никель может быть отделен экстракцией дитизоном из растворов, содержащих цианиды: никель остается в водной фазе. Конкретные данные по разделению металлов, в том числе и никеля, содержатся в обзоре Минчевского [962].

### Экстракция с применением диэтилдитиокарбамината (ДДТК)

Этот реагент имеет некоторые преимущества перед дитизоном для экстракционного отделения никеля.

Систематическое изучение экстракции ионов металлов при помощи ДДТК, а также влияния на этот процесс маскирующих веществ выполнено Бодде [482] и Минчевским с соотр. [958]. ДДТК, как и дитизон, экстрагирует большое число ионов металлов, но при различной кислотности водного раствора. Одни авторы указывают, что соединение никеля с ДДТК экстрагируется при  $\text{pH}$  4,6 [1286], другие — при  $\text{pH}$  0 [340]. В кислых растворах (4—3  $N$  по  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 2  $N$  по  $\text{HCl}$ ) экстракции не наблюдается [908, 1196].

Описание полного разделения смеси элементов методами экстракции, в том числе отделением никеля экстракцией с ДДТК, приводят Толг [1228] и другие авторы [759]. Для разделения никеля, кобальта, свинца, кадмия, цинка, марганца и урана используется экстракция с применением ДДТК при  $\text{pH}$  5. Уран реэкстрагируется 1—2  $N$  уксусной кислотой. Цинк, марганец и кадмий реэкстрагируются 2  $N$   $\text{HCl}$  и, наконец, никель отделяется от свинца экстракцией 3% ным раствором  $\text{KCN}$ . Кобальт и никель легко разделяются, если экстракция ведется из аммиачного раствора, где кобальт (II) окисляется в кобальт (III) перекисью водорода [976].

Для отделения никеля в определенных условиях могут быть использованы и такие реагенты, как 8-оксихинолин, нитрозоафтол и многие другие, рассматриваемые в монографии Моррисона и Фрайзера [1213].

Следует еще упомянуть методы разделения кобальта и никеля с использованием экстракции их роданидпиридиновых [678], роданидаммачных [721], роданидкарбозолинов 2(2-гептадецил) 2-имидазолин) этиламинных [312] комплексов.

#### 4 ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОТДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ

##### Ионообменная хроматография

В растворах с высокой концентрацией соляной кислоты многие катионы образуют анионные комплексы, которые адсорбируются анионитом, в то время как никель в указанных условиях почти не дает анионных комплексов и оказывается в фильтрате.

При хроматографировании хлорокомплексы разделяемых металлов сорбируются анионитом и затем по следовательно вымываются разбавленной соляной кислотой. Наиболее легко вымывается никель (практически не сорбируется). Кривые разделения переходных металлов на смоле дауэкс 1 приведены на рис 5.

При хроматографическом отделении никеля широко используется ряд маскирующих реагентов (глицерин, тиосульфат, аммиак, цианид, роданид, салициловая кислота, тиомочевина, комплексоны III и др.)

Предложен метод отделения никеля от других катионов на катионите КУ 2 при температуре 170° С [1а]. В этих условиях, как утверждают авторы, фронт адсорбции выражен резче, чем при комнатной температуре.

Иногда никель отделяют методом распределительной хроматографии. При разделении никеля и марганца на анионите в качестве неводных растворителей применяют ацетон и изопропиловый спирт [1277].

Метод отделения никеля с помощью ионообменной хроматографии систематизирован в табл. 37.

##### Осадочная и адсорбционная хроматографии

Для хроматографического отделения никеля используют колонки, наполненные селективными сорбентами, с которыми никель и другие катионы образуют малорастворимые комплексные соединения различной прочности или осадки различной растворимости. Как правило, кроме реагента осадителя, в колонку помещают либо инертный носитель, либо вещество, сорбирующее получающиеся

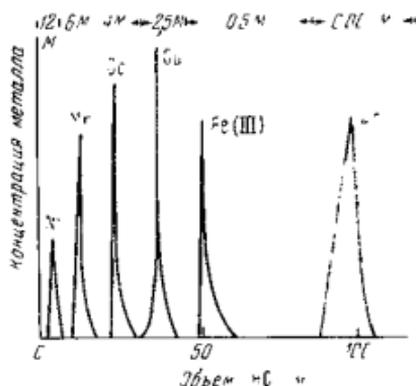


Рис 5 Разделение переходных металлов на смоле Дауэкс 1

## Отделение никеля методом ионообменной хроматографии

Ионит	Разделяемые элементы	Хроматографируемый раствор	Элюент	Литература
Пермутит	Ni, Co	1M Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 1M Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	[68]
Дауэкс 2	Ni, Co	Раствор хлоридов в 9N HCl	9N HCl	[473]
Амберлит IRA 400	Ni, Co	Раствор хлоридов в 9N HCl	9N HCl	[968]
То же	Ni, Co	Раствор хлоридов металлов	1,5M HCl + 75% ный ацетон	[1202]
AG 50W X8	Ni, Fe (III), P, Z, Э	Раствор нитратов металлов	1,5N HNO <sub>3</sub> , 0,5M HCl	[1197, 1198]
СБС, СДВ 2	Ni, Cu	Раствор хлоридов металлов	Щелочной раствор глицерина	[173]
Вофатит в H форме	Ni, Fe (III)	—	Цианидный, рода видный или салицилатный раствор	[77]
Амберлит IR-120	Ni, Ag	Раствор нитратов металлов	2% ный NaNO <sub>3</sub>	[468]
То же	Ni, U (VI)	То же	Раствор ЭДТА	[836]
» »	Ni, Co, Cu	Раствор хлоридов металлов	0,05M Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + + CH <sub>3</sub> COOH	[821]
КУ 2	Ni, Se(Fe)	Раствор аммиаков металлов	Аммиачный раствор	[302]
Дауэкс 1 + 8% дивинил бензола	Ni, Co, Fe (III)	Раствор роданидов металлов	0,04M KSCN	[1235]
Дауэкс 1	Ni, Co, Fe (III), Zn, Cu, Mn	Раствор хлоридов металлов	HCl различной концентрации (см рис 5)	[866, 979]
Дауэкс 50	Ni, Co, Fe (III), Zn, Mn, Bi, Cd, Ba	Раствор хлоридов металлов	HCl + метилпропилактон (см рис 6)	[535]
Дауэкс 50W + + 2—16% ди винилбензола	Ni, Mn, Fe (II—III), Cu, Cd, Zn, Hg(II)	То же	0,1—12N HCl	[929]
Дауэкс IX 8	Ni, Mn, Fe (II и III), Cu, Cd, Zn	» »	0,1—12N HCl	[270]
КУ 2 или Ам берлит АВ 17	Ni, Co, Mn, Zn, Fe (III)	» »	0,1—12N HCl	[276]

Таблица 37 (окончание)

Ионит	Разделяемые элементы	Хроматографический раствор	Элюент	Литература
Даякс 50W X8	Ni, Al	Раствор хлоридов металлов	1,5M HCl	[952a]
Даякс 50W X8 в H форме	Ni, трехвалентные катионы	Раствор нитратов металлов	1,5N HNO <sub>3</sub>	[689]
Даякс 50W X8 в форме этилендиаминия	То же	То же	—	[687]
KU 1	Ni, Cu, Zn, Co, Fe (III), Cd	Раствор сульфатов металлов	Раствор тиомочевини	[57]
Kd F 300	Ni, U	Фосфаты	5,5M HNO <sub>3</sub>	[735]

осадки. В качестве таких сорбентов применяют диметилдиоксим, 8 оксихинолин и ряд его гомологов.

В качестве элюентов могут быть использованы осадители (расстворы диэтилдитиокарбамината, рубановодородной кислоты).

Методы отделения никеля способом осадочной адсорбционной хроматографии представлены в табл. 38.

Колонки, наполненные силикагелем, применяют для отделения никеля от урана [27], железа и меди [28], железа и алюминия [853].

Целлюлоза, обработанная триэтиламином, предложена для разделения смеси железа (III), кобальта и никеля [542], а окисленная целлюлоза — для разделения никеля и железа (III) [118]. Элюентом служит соляная кислота.

Оригинальный метод хроматографии расплавленных солей минеральных кислот никеля, меди (I), хрома (III), кобальта и марганца на колонке, наполненной стеклянным порошком, рекомендует Бернаре [454].

### Отделение никеля хроматографией на бумаге

Флуд [671, 672] использовал для разделения катионов переходных металлов (включая никель) картон, пропитанный цеолитом, оксидом алюминия или алюминатом натрия. Ему удалось разделить < 1 мкг никеля, меди и кадмия. Как правило, при разделении смесей переходных металлов в качестве растворителей применялись смеси кетонов (или спиртов), воды и концентрированной соляной кислоты. Для разделения никеля, кобальта, марганца, цинка и молибдена пригодны лишь смеси низкомолекулярных кетонов с соляной кислотой и водой (рис. 6, [414]).

Особое внимание уделяется методу хроматографии на бумаге, пропитанной органическими реагентами — осадителями. Бумага,

Отделение никеля методом осадочной адсорбционной хроматографии

Адсорбент	Разделяемые элементы	Элюент	Объект	Литература
8 Оксихинолин То же	Ni, Co, Zn (Cd) Ni, Cu, Bi, Co, Zn, Fe(III), V(V), W(VI), U(VI)	—	—	[69] [632, 633]
8 Оксихинолин, или β-нафтохинолин и пи- куфферон	Ni, Cu, Ni, Fe(III), Ni, Co	—	—	[378]
2 Метил-, 3 метил-, 4 ме- тил-, 2-фенил- и 5-ок- сикхинолинсульфонис- лота	Ni, Co, Fe(III), Cu, Cd, Zn, Al, Bi	Этанольный раствор пи- ридина	—	[653]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + диметилдиоксим	Ni, Zn	—	Лимонкофер	[111]
То же	Ni, Cu	—	—	[272]
» »	Ni, Cd (Zn)	—	Лимонкофер	[81-85]
Диметилдиоксим + уголь	Ni, Co	—	Кобальт металлический, цинк металлический	[81, 82, 214]
Диэтилдioxим	Ni, Co	Тартрагный раствор	—	[238]
Na <sub>2</sub> S + агар агар	Ni и элементы, образующие сульфиды	—	—	[231]
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S + агар агар	Ni, Zn, Co, Fe	2M CH <sub>3</sub> COOH + 0,1M (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S	—	[1187]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni, Fe(III), Cu	Раствор ДЦТК	—	[108]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni, Co, Cu, Zn	Раствор диглона в СНСl <sub>4</sub>	—	[307, 417]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni, Co, Cu, Ti(II), Ag, Pb, Cd, U(VI)	Раствор Na <sub>2</sub> S или рурба- новодородная кислота	—	[1118]

## Отделение никеля методом хроматографии на бумаге

Разделяемые элементы или соединения	Подвижный растворитель	Проявитель	Литература
Ni, U (VI) (нитраты)	100 мл этилового эфира + 5 мл HNO <sub>3</sub> (уд в 1,42)	—	[521]
Ni, Mn, Co, Cu, Fe (III) (хлориды)	Метилен пропиленкетон — ацетон + HCl (конец)	Рубеноводородная кислота	[414]
То же	Ацетон + конец HCl + метилен пропиленкетон (70 8 12)	То же	[896]
Ni, Al, Cr, Cd, Fe (III), Mn, Co, Zn	Двухмерная хроматография, первое направление ацетон + H <sub>2</sub> O + конец HCl (87 5 8), второе направление пиридин + H <sub>2</sub> O (60 40)	Пиридин	[100]
Ni, Fe (III), Zn, Co, Cu, Mn	Двухмерная хроматография первое направление колоидный — 0,4N HNO <sub>3</sub> (1 1), второе направление ацетон + 12% ная HCl (88 12)	Рубеноводородная кислота	[128]
Ni, Fe (III), Co, Mn,	Диоксан + антипирин (1 1)	Антипирин	[1046]
Ni, Cu, Co, Mn, U (VI), V (V)	Тетрагидрофуран + конец HCl (50 15)	—	[742]
Ni, Fe (III), Ti, Al, U (V), Co, Cu (хлориды)	1) Бутанол (или амилвый спирт) + бензол + муравьиная кислота + HCl 2) Диоксан + этанол (метанол)	—	[883]
Ni, Co	Ацетон + H <sub>2</sub> O + конец HCl (содержание перемной)	Диметилдиоксин	[882]
Ni, Co, Fe (III) (хлориды)	Ацетон + H <sub>2</sub> O + конец HCl (87 5 8)	Na <sub>2</sub> S или (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S	[101]
Ni, Co, Fe (II, III), Cd, Hg (II)	Двухмерная хроматография, первое направление бутанол + 1N HCl, второе направление ацетон + H <sub>2</sub> O + конец HCl (87 5 8)	Na <sub>2</sub> S	[101]
Ni, Co, As(III), Cu, Fe(III), Mn, Mg, Hg (II), Pb	Бутанол + H <sub>2</sub> O + HCl (57 27,3 15,3) или метилацетон + HCl (92 8)	Диэтилдитиокарбамаг	[1031]

Таблица 39 (окончание)

Разделяемые элементы или соединения	Подвижный растворитель	Проявитель	Литература
Ni, Co, Cu	Метилацетон + конц HCl + H <sub>2</sub> O (15 3 2)	Рубеановодородная кислота	[614]
Ni, Cu, Co, Fe(III), U (IV)	Изопропанол + 20% ная HCl	—	[1018]
Ni, Co, Fe (III)	Последовательно от 12N HCl и ниже до 10N	—	[395]
Ni, U (IV)	Эфир + тетрагидрофуран	—	[1284]
Ni, Fe (III), Cu (хлориды)	Хлороформ + ацетон	—	[467]
Ni, Tl(I), Ag, Mn, Cd, Co, Cu, Zn (фториды)	40% ная HF	Радиоактивные изотопы	[893]
Cu, Ni, Te, Co (оксалаты)	50% ный этанол	Диметилдиоксим	[1160—1162]
Ni, Cu, Te (цитраты)	То же	То же	[1161]
Ni, Mn, Fe(III), Cu, Co	Трибутилфосфат + HCl (9—10M)	—	[1264, 1265]
Ni, Fe(III), Cu, Mn, Co	Бензолацетон + бутанол	Гипобромит и H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	[1047]
Ni, Co, Cu (ацетиацетонаты)	Циклогексан + диоксан + метанол (84 10 6)	Диметилдиоксим или рубеановодородная кислота	[457]
Ni, Fe (III), Cu, Mn (2 теоналперфторацетонаты)	Бензол + метанол + CH <sub>3</sub> COOH (8 30 2)	Диметилдиоксим	[455]
Ni, Fe (III), Cu, Co, Mn (2 теоналперфторобутирилметанаты и 2 фурилперфторобутирилметанаты)	Петролейный эфир + метанол	Рубеановодородная кислота	[456]
Ni, Mn, Co (аммиакаты)	NH <sub>4</sub> Cl + NH <sub>4</sub> OH	В присутствии эта вода Ni и Co делаются резче	[1066]
Ni, Zn, Mn, Co, Cd, Cu	Пиридин или этилендиамин с 1 M NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	—	[826]
Ni, Zn, Co, Mn (нитраты)	0,1N KCN (pH ~ 6) с 5% по объему бромной воды	—	[919]
Ni, Cu, Co (роданиды)	HSCN	8 Оксалинолин	[934]
Ni, Co, Cu (роданиды)	Бутанол + пиридин + NH <sub>4</sub> OH (80 20 10)	—	[1243]
Ni, Co (хлориды)	10—12N HCl	—	[995]

пропитанная коевой кислотой, используется для отделения никеля от меди и железа (III) [1299], пропитанная хлораниловой кислотой — для разделения никеля, железа (III), кобальта, меди, цинка, серебра, кадмия, ртути (II) и свинца [449]. На бумаге, пропитанной рубеоноводородной кислотой, разделяются медь, никель, кобальт [959, 988, 990], пропитанной дитизоном — никель, кадмий, свинец, висмут, железо, серебро, ртуть, олово и частично кобальт [960, 961]. Применение бумаги, пропитанной 8 оксихинолином, для отделения никеля описано Ривсом [1078] и Ласковским [887]. Для этой же цели служит бумага, пропитанная диметилдиоксимом [413]. В отсутствие окислителя никель почти не мигрирует в отличие от других элементов, в присутствии же окислителя (например, бромной воды), напротив, никель продвигается быстрее остальных катионов.

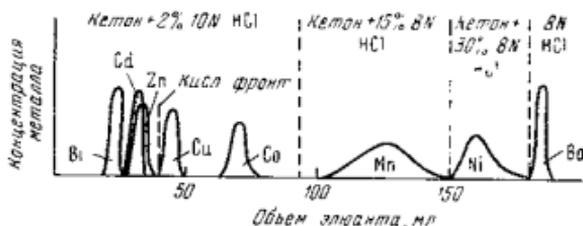


Рис 6 Кривые элюирования хлоридов ряда металлов  
Каждого металла 0,5 мг скорость элюирования 0,16 мл/мин

Предложены методы отделения никеля электрохроматографией на бумаге [1139] в присутствии оксикислот [412, 435], 2,2 бипиридила, 1,10 фенантролина [471], рубеоноводородной кислоты [988], трифосфатов [1145].

Предложен [1222] метод разделения никеля, кобальта и железа (III) на бумаге, пропитанной три н октиламином, который выполняет роль анионита.

Накагава [991] отделил никель от железа (III), кобальта и цинка экстракцией раствором в керосине додецил(триалкилметил) амина (амберлит А I) из водного солянокислого раствора этих солей. Никель остается в водной фазе, а кобальт, железо и цинк переходят в органическую.

Условия отделения никеля хроматографией на бумаге представлены в табл. 39.

## Глава IV

### ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ

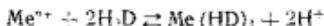
#### 1 ОРГАНИЧЕСКИЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ

##### $\alpha$ -Диоксимы

Большинство гравиметрических методов определения никеля основано на его способности образовывать соединения с  $\alpha$ -диоксимами. Как уже отмечалось (см. стр. 15), Чугаевым исследован ряд соединений  $\alpha$ -диоксимов с никелем, определен их состав и показано, что в определенных условиях эти соединения выделяются количественно [354].

До последнего времени для выделения никеля применяли главным образом диметилдиоксим и в меньшей степени  $\alpha$  бензилдиоксим. Чугаев отмечает меньшую растворимость соединения никеля с диоксимами по сравнению с диоксиматами Cu, Co, Fe, а также температурную устойчивость диметилдиоксимата никеля.

Реакция образования диоксиматов обратима



Чугаев рекомендовал метод количественного определения никеля в присутствии больших количеств кобальта. Кобальт (II) переводят большим избытком аммиака при доступе кислорода воздуха в аммиачное комплексное соединение кобальта (III), которое не мешает выделению диоксимата никеля этанольным раствором диметилдиоксима. Осадок рекомендуется промывать водой и сушить при 110—120° C.

Результаты работы Чугаева по изучению комплексных соединений  $\alpha$  диоксиматов [363], в которых он показал различие в свойствах диоксиматов Ni, Co, Fe, Cu, Pd, в дальнейшем использованы рядом авторов для разработки методов определения никеля в присутствии этих элементов. Однако Брунк [507, 508] отмечает занижение результатов для никеля, если в растворе содержится кобальт в

больших количествах, и предлагает в таких случаях определять никель при условии, если концентрация кобальта не будет превышать 0,1 г на 100 мл раствора

Брунк, сопоставляя методы разделения никеля и кобальта, считает, что более точные результаты получаются при отделении никеля от кобальта диметилдиоксидом по сравнению с нитритным способом. Кобальт с диметилдиоксидом образует осадок зеленого цвета только при длительном стоянии. При осаждении никеля в присутствии кобальта большой избыток аммиака в растворе лишь незначительно повышает растворимость диметилдиоксидата никеля [509, 511]. Для повышения точности результатов перед отделением осадка рекомендуется оставить стоять раствор с осадком 1 час.

В случае определения малых количеств никеля в солях кобальта результаты получаются заниженные, и поэтому рекомендуется минимальную кислоту выводить из раствора действием ацетата натрия. Из-за растворяющего действия этанола объем раствора реагента не должен быть больше половины общего объема раствора, из которого выделяют никель [508, 510].

Ибботсон [777] считает недостатком метода Брунка способность диметилдиоксидата никеля переходить в коллоидное состояние при промывании горячей водой. Для предотвращения этого явления он рекомендует к промывной жидкости добавлять нитрат аммония, осадок диметилдиоксидата никеля, перенесенный на бумажный фильтр, сжигать и взвешивать в форме окиси никеля.

Бойль [489] рекомендует взвешивать осадок диметилдиоксидата никеля.

Дик [599] предлагает промывать отфильтрованное через тигель Гуча соединение диметилдиоксидата никеля 95%-ным этанолом, эфиром, высушивать в вакууме и взвешивать диоксидат. При определении больших количеств никеля осадок отделяют на бумажном фильтре, завертывают во влажный фильтр и прокачивают, весовой формой является окись никеля NiO [58, 95, 182]. Боголюбов [485] отмечает получение завышенных результатов при озолении диметилдиоксидата никеля и прокаливании до NiO. Вагенман [1250] предлагает растворять диоксидат никеля в разбавленной кислоте и определять никель электролизом по Фишеру [326]. Было отмечено, что осадок диметилдиоксидата никеля заметно растворим в горячей воде [1005], поэтому промывать его следует холодной водой и высушивать при 110—120° С.

Наиболее часто никель взвешивают в форме диметилдиоксидата [452a].

При определении никеля в присутствии железа Брунк рекомендует последнее маскировать винной или лимонной кислотами или восстанавливать сернистой кислотой, тиосульфатом, гидразином, гидросиламином, бисульфитом натрия [1262]. В первом случае [1055, 1094] осадок диметилдиоксидата никеля загрязняется железом.

При определении малых количеств никеля диметилдиоксисом методом Чугаева — Брунка результаты получаются неточными [858], так как осадок диметилдиоксимата никеля содержит кобальт. В этом случае следует [858] перевести соли кобальта и никеля в цианидные комплексные соединения и затем выделить никель, действуя бромной водой на щелочной раствор цианидов этих элементов, в виде гидроокиси  $Ni(OH)_2$ , при этом кобальт остается в растворе. Выделенную гидроокись никеля (III) растворяют в минеральной кислоте при нагревании, осаждают никель диметилдиоксисом и взвешивают  $Ni(HD)_2$ .

Метод Мидльтона и Миллера [954], как и предыдущий, основан на различной устойчивости цианидов кобальта и никеля. К раствору цианидов кобальта и никеля добавляют осторожно, по каплям, 1% ный раствор нитрата серебра для разрушения цианидного комплексного соединения никеля, после этого никель выделяют диметилдиоксисом.

Предлагается обработать цианиды кобальта и никеля раствором нитрата серебра, осаждая кобальт в виде малорастворимого  $Ag_2[Co(CN)_6]$  [1109a]. Из фильтрата выделяют никель диметилдиоксисом.

Совместное присутствие железа и кобальта затрудняет определение никеля [451]. В этом случае образуется соединение, содержащее железо, кобальт, диметилдиоксим, оно осаждается вместе с диметилдиоксиматом никеля Вильденбург [1262] приводит формулу  $FeCoC_{12}H_{16}N_2O_6$ . Позднее было подтверждено образование соединения близкого состава [243], соединение легко разлагается, выделяя продукты гидролиза, что говорит о его малой прочности.

Предложен метод определения никеля в присутствии кобальта и железа без использования цианида калия [243]. Для предотвращения выделения осадка диметилдиоксимата железа и кобальта железо предварительно или выделяют гидролизом в виде оксиацетата, или восстанавливают до железа (II), а в дальнейшем осаждают никель в присутствии кобальта, прибавляя избыток сухого диметилдиоксима и аммиак до щелочной реакции на лакмус. Кобальт при этом переходит в сравнительно хорошо растворимое соединение  $[Co(NH_3)_2(HD)_2]Cl$ , растворимость его 1,25, 1,69 и 2,49% при 10, 20 и 30°C соответственно, она увеличивается в нейтральной или слабощелочной среде, т. е. в условиях выделения диметилдиоксимата никеля. При pH 7 и 20°C было найдено в растворе 4,62% комплексного соединения кобальта. Поэтому при определении никеля в присутствии кобальта необходимо разбавлять раствор таким образом, чтобы кобальт не выделялся в осадок вместе с никелем. Осадок диметилдиоксимата никеля (вместе с избытком диметилдиоксима) отфильтровывают, промывают водой, обрабатывают горячей HCl (уд. в 1,12) и из фильтрата выделяют никель диметилдиоксисом осторожным добавлением разбавленного аммиака или раствора ацетата натрия. Осадок отфильтровывают через 1 час при определении сравнительно

Больших количеств никеля или через 3 часа при определении сотых долей процента

Кирчик [841] при определении никеля в специальных кобальтовых сталях указывает, что кобальт (III) не образует соединения  $Fe - Co - DN_2$ . Для предотвращения выделения соединения  $Fe - Co - DN_2$  рекомендуется перед осаждением никеля добавлять N',N' диоксизтилглицин [523]

Коротун [163] при определении никеля в присутствии кобальта окисляет его, а осадок диоксимата никеля переосаждают

При определении никеля в присутствии кобальта и железа используют различную устойчивость цианистых комплексных соединений кобальта и никеля [645]. К раствору, содержащему кобальт, железо, никель, приливают по каплям раствор цианида калия до растворения образующегося осадка, прибавляют при нагревании перекись водорода для окисления кобальта (II) в кобальт (III). При этом получается раствор медово желтого цвета. Для удаления избытка цианида добавляют при нагревании до 50—60° С по каплям раствор формальдегида до появления его запаха и сухой диметилдиоксим. Осадок диметилдиоксимата никеля и избыток диметилдиоксима через 0,5 — 1 час (в зависимости от количества никеля) отфильтровывают, промывают водой, обрабатывают разбавленной HCl и выделяют из этого раствора снова диметилдиоксимат никеля добавлением аммиака или ацетата натрия. Метод пригоден для определения как следов, так и больших количеств никеля в присутствии кобальта и железа

Различная устойчивость цианидов никеля (II) и кобальта (III) используется и в других методах. Так, Ненадкевич и Салтыкова определяют никель гравиметрически в фильтрате от  $Ag_2 [Co(CN)_6]$  и  $Hg_2 [Co(CN)_6]$  [227]

Никель в присутствии одного железа определяется без осложнений. Предлагается отделять железо в виде основного ацетата [1093] или лучше маскировать винной кислотой [96, 182, 192] или тимонной кислотой [73]. Если количество железа невелико, то его осаждают аммиаком в виде гидроокиси, промывают осадок раствором хлорида аммония и из фильтрата осаждают никель диметилдиоксимат. Лучшие результаты получаются, если осаждают железо взмученной суспензией гидроокиси цинка или ацетатным методом [73]

При определении никеля диметилдиоксимом в присутствии небольших количеств кобальта, марганца и цинка получаются хорошие результаты [73], если к исследуемому раствору, содержащему достаточное количество аммонийных солей и слегка подкисленному, нагретому до 60—80° С, добавлять 1% ный этанольный раствор диметилдиоксима и по каплям, осторожно, разбавленный раствор аммиака в небольшом избытке. Через 1 час после стояния на паровой бане осадок отфильтровывают через фильтрующий тигель, промывают холодной водой, сушат при 120° С и взвешивают. Объемистый осадок диметилдиоксимата никеля отделяют на бумажном

фильтре, очень осторожно сжигают, постепенно повышая температуру, и взвешивают NiO

В присутствии больших количеств марганца, кобальта и цинка рекомендуется осаждать никель этанольным раствором диметилдиоксима из раствора, содержащего уксусную кислоту и ацетат натрия. Для определения никеля в присутствии железа и меди [831], мешающие элементы удаляют дитизоном в  $CCl_4$  и в водном растворе определяют никель диметилдиоксисом.

При определении малых количеств никеля получаются заниженные результаты в присутствии аммиака, нитратов [641] и хроматов [818]. Большое значение для определения сравнительно малых количеств никеля (0,5 — 10 мг) имеет кислотность раствора, не зависимо от того, применяется раствор аммиака или ацетата натрия (табл. 40).

Таблица 40

Выделение диметилдиоксимата никеля в зависимости от кислотности раствора [243]

общий	Объем мл		рН	Количество никеля мг	
	ацетата натрия	10%-ного аммиака		введено	найдено
100	0,5 (1M)	—	4,2	9,8	8,3, 6,4
100	1,0 »	—	5,0	9,8	9,2, 9,6
100	7,6 »	—	5,9	9,8	9,7, 9,8
100	3,8 (10M)	—	6,6	9,8	9,9, 9,8
100	7,6 »	—	6,9	9,8	9,8, 9,9, 9,8
50	2 (1M)	—	6,2	0,98	0,96, 0,97
100	2 »	—	6,2	0,98	0,98, 0,93
100	2 »	—	6,2	0,98	0,96, 0,99
100	2 »	—	6,2	0,496	0,5, 0,49
100	2 »	—	6,2	0,287	0,23, 28
100	—	1	6,6	9,8	10,0, 9,8
100	—	2	8,4	9,8	9,8, 9,7
100	—	2,5	8,6	9,8	9,8, 9,6
100	—	5,0	10,2	9,8	9,7, 9,8
100	—	12,5	0,65 $NH_4OH$	9,8	8,6, 8,0
100	—	25,0	1,35 $NH_4OH$	9,8	7,3, 6,9

Как видно из табл. 40, диоксимат никеля полностью выделяется при рН 6,0 — 10,2. В присутствии больших количеств аммиака получаются заниженные результаты и фильтрат после отделения осадка окрашен в розовый цвет вследствие образования растворимого соединения диоксимата никеля (III). Кульберг [180], по дан-

ным Пешковой [245], показал зависимость полноты образования осадка диметилдиоксимата никеля от pH раствора

Из табл. 40 также видно, что разбавление не влияет на полноту выделения осадка, но при увеличении объема до 200—250 мл осадок образуется медленнее и должен быть отфильтрован не раньше чем через 3 часа. Из раствора объемом 100—150 мл осадок можно отделять через 1 час. При использовании макровесов нельзя выделять меньше 0,2 мг никеля.

В присутствии значительных количеств этанола, вводимого с раствором диметилдиоксида, в случае определения малых количеств никеля получаются заниженные результаты [245]. Растворимость диметилдиоксимата никеля в 100 мл водно-этанольных растворов, содержащих 60,3, 20 и 15% этанола, ориентировочно составляет 4, 2 и 0,6 мг соответственно.

Выделять малые количества никеля из растворов его чистой соли или других объектов необходимо при соблюдении определенной кислотности в присутствии метилового красного. Оптимальными условиями для определения никеля в растворе чистой его соли являются следующие. К нагретому до начала кипения раствору, содержащему 0,2—25 мг Ni, добавляют 2—3 капли раствора метилового красного, добавляют ацетат натрия или аммиак до изменения окраски раствора в желтый цвет и постепенно прибавляют 1% ный этанольный раствор диметилдиоксида до полноты осаждения диметилдиоксимата никеля все время следя, чтобы окраска раствора оставалась желтой. Если содержится никеля не меньше 1 мг в 100 мл, то осадок отфильтровывают через 1—1,5 часа, при меньшем содержании никеля или большем объеме осадок отделяют через 2,5—3 часа. Для отфильтровывания применяют фильтрующий тигель № 3 или 4, промывают осадок холодной водой, высушивают при 120°С и взвешивают. Фактор пересчета на Ni равен 0,2032.

При  $\text{pH} > 10,2$  результаты становятся заниженными.

Для быстрого определения никеля предлагается в качестве реактива использовать водный [313] или щелочной раствор диметилдиоксида [537].

Объемистый осадок диметилдиоксимата никеля вызывает неудобства при определении более 30 мг Ni. Поэтому представляет интерес осаждение диметилдиоксимата никеля методом возникающих реагентов из нагретого гидроксидного раствора, к которому добавлена мочеви́на и 1% ный раствор диметилдиоксида в н-пропиловом спирте [711]. При нагревании раствора, содержащего мочеви́ну, кислотность раствора постепенно понижается и выделяется крупнокристаллический осадок диметилдиоксимата никеля [470]. Этот метод пригоден для осаждения до 100 мг никеля.

Гордон с сотр. рекомендуют получать кристаллический осадок диметилдиоксимата никеля нагреванием раствора, содержащего 1,2 бутандиол, аммиак и гидроксилламин [1102—1104].

Гриттинг, де Врие и Меллон [715] спектрографически исследовали чистоту осадка диметилдиоксимата никеля и установили, что в некоторой степени происходит соосаждение Al, Cr, Cu, Mn.

Не соосаждаются К, Na, Sr, Ca, Ba, Mg, Zn, Cd, Sb, As  
α Бензилдиоксим часто используется для гравиметрического определения никеля Этак [422] сообщил о результатах количественного определения 0,002 мг никеля в 5 мл раствора с использованием 0,2% ного раствора α бензилдиоксима в ацетоне в слабо аммиачной среде Предельное разбавление 1 2 000 000 Этак отмечает, что стократные количества Co, Fe, Mg, Cr и Mn не мешают определению никеля, но большие количества нитратов занижают результаты Нитраты нужно предварительно удалять выпариванием с серной кислотой

Соединение никеля с α бензилдиоксимом практически нерастворимо в воде и почти во всех органических растворителях [421, 423]

Гроссман и Манхейм [717—719] в основном подтверждают условия определения никеля, рекомендованные Этаком Для определения никеля в присутствии цинка и магния добавляют хлорид аммония, а в присутствии марганца — лимонную кислоту и соль гидразина для предотвращения окисления марганца кислородом воздуха Определение никеля возможно в присутствии только не больших количеств меди

Штебингер [1188] применил α-бензилдиоксим в органическом микроанализе для определения никеля Он отмечает [1189], что этот метод имеет преимущества для определения только малых количеств никеля При определении  $> 0,025$  г никеля осадок окклюдирует реагент, и поэтому результаты всегда завышены Осадок следует прокалывать до NiO

Гермут [704] определял никель α бензилдиоксимом в присутствии хрома и меди, добавляя битартрат калия и хлорид аммония Отмечается [705] преимущество использования α бензилдиоксима при определении малых количеств никеля как в растворе чистой соли, так и в присутствии кобальта

α Бензилдиоксим используется для определения никеля в ряде работ [246, 538, 544, 582, 860] благодаря его способности выделять соединение никеля в кислой среде, что облегчает отделение его от ряда элементов (алюминия, хрома и др.) Реагент мало растворим в этаноле, поэтому более рационально его растворять в ацетоне При определении  $> 1$  мг никеля следует в испытуемый раствор перед введением реагента добавлять ацетон

α Бензилдиоксимат никеля устойчив в более кислой среде, в более широком интервале pH (от 4,2 до 10,4), чем соответствующее соединение диметилдиоксима При pH 4,2 никель выделяется из раствора полностью Осадок можно промывать горячей водой в отличие от диметилдиоксимата никеля Это соединение устойчивее к избытку аммиака по сравнению с диметилдиоксиматом никеля Можно определять до 0,05 мг никеля [243]

Для определения никеля α бензилдиоксимом в растворе чистой соли оптимальными условиями являются следующие

Раствор, содержащий 0,2—5 мг Ni, подогревают до начала кипения, прибавляют раствор ацетата натрия или аммиака до щелочной реакции по метиловому красному, приливают постепенно раствор  $\alpha$  бензилдиоксима в ацетоне до полноты образования осадка, добавляют 10—20 мл ацетона (в зависимости от количества никеля), следя, чтобы к концу осаждения фильтрат был окрашен в желтый цвет. Затем осадок отфильтровывают, промывают горячей водой, сушат до постоянного веса при 120—130° С и взвешивают. Фактор пересчета на никель равен 0,1093.

Выделение больших количеств никеля затруднительно, так как из-за малой растворимости реагента необходимо применять большие объемы, что осложняет работу. В этом случае выделяют никель в следующих условиях:

К исследуемому раствору, нагретому почти до кипения, прибавляют аммиак до щелочной реакции по метиловому красному и избыток сухого  $\alpha$  бензилдиоксима, раствор подогревают на водяной бане. Через 40—50 мин выделившийся осадок отфильтровывают, растворяют в горячей HCl (уд. в 1,12) и пересаждают в условиях, указанных для выделения никеля из раствора его чистой соли.

Определение малых количеств никеля в присутствии кобальта с хорошими результатами возможно в том случае, если концентрация кобальта не превышает 20—30 мг  $\alpha$  Бензилдиоксимат никеля можно не пересаживать. В присутствии больших количеств кобальта необходимо увеличение объема раствора.

$\alpha$  Бензилдиоксим может быть применен для определения никеля в растворах, содержащих железо. При количестве железа менее 0,3 г можно рекомендовать следующие условия [245].

К 150—200 мл (в зависимости от количества железа) испытуемого раствора добавляют 30 мл 10% ного раствора винной кислоты или ее соли, раствор нагревают до начала кипения, приливают 20 мл ацетона, аммиак до щелочной реакции на лакмус и раствор  $\alpha$  бензилдиоксима в ацетоне до полноты осаждения. Выделившийся осадок отфильтровывают и сушат в условиях, рекомендованных выше для определения никеля в растворе его соли. Если в растворе содержится много железа, то никель осаждают сухим диметилдиоксимом и затем пересаживают в условиях, указанных выше.

Для определения никеля в присутствии меди нельзя рекомендовать  $\alpha$ -бензилдиоксим, так как реагент малорастворим и загрязняет осадок бензилдиоксимата никеля.

$\alpha$  Фурилдиоксим применен для количественного определения никеля [1173] как более чувствительный, реагент, чем диметилдиоксим. Чугаев [354] установил состав  $\alpha$  фурилдиоксимата никеля, найдя в нем 11,85% Ni  $\alpha$  Фурилдиоксим применяется для отделения никеля от других элементов [1076, 1077]. При определении малых количеств никеля [255] полное выделение происходит при pH 6,4 — 10,5.

Для осаждения около 0,5 мг никеля из раствора объемом 25—50 мл добавляют при нагревании 0,2%-ный водный раствор  $\alpha$  Фурилдиоксима и аммиак до изменения окраски индикатора (фенолфталеина или нейтрального красного). При стоянии и помешивании раствора через 10—15 мин хлопьевидный осадок темно-красного или кирпично-красного цвета коагулирует. Осадок отфильтровывают через фильтрующий микротитгель, промывают насыщенным раствором  $\alpha$  Фурилдиоксимата никеля и 1—2 раза водой, а затем сушат при 120—130° С.

В случае определения никеля в растворе, содержащем железо и алюминий при соотношении их 1 : 100, осаждение производят в присутствии тартрата натрия — калия.

$\alpha$  Фурилдиоксим не имеет преимуществ по сравнению с диметилдиоксимом для гравиметрического определения никеля, но условия количественного выделения  $\alpha$  фурилдиоксимата никеля могут быть использованы при экстракционно-фотометрическом определении никеля

Для гравиметрического определения и главным образом количественного выделения никеля заслуживают большого внимания водно-растворимые диоксими 1,2 циклогександиона (ниоксим), 1,2 циклогептандиона (гептоксим) вследствие их способности образовывать соединения с никелем в более кислой среде, чем диметилдиоксим

Ниоксим был получен Валлахом [1253], использовавшим его как реагент на никель Джонсон и Симонс [805] показали возможность определения никеля этим реагентом, названным ими «ниоксимом», в присутствии ряда элементов При определении никеля в присутствии кобальта последний переводят в аммиачное комплексное соединение и добавляют большой избыток реагента

Пешковой с сотр.<sup>1</sup> были разработаны условия количественного определения никеля диоксимом 1,2 циклогександиона [253] Никель указанным реагентом выделяется при pH 3,3—10 и в более щелочной среде Так, например, 2,4 мг никеля количественно осаждаются при добавлении 20 мг 10% ного раствора аммиака в общем объеме 50—70 мл анализируемого раствора Возможность полного выделения малых количеств никеля как в кислой, так и в сильноаммиачной среде позволила разработать гравиметрический метод определения 1,5—3 мг Ni в сульфате цинка

К 10 мл водного раствора, содержащего 0,5 г сульфата цинка добавляют 2 г хлорида аммония и 25% ный раствор аммиака до получения прозрачного раствора и 5 мл 0,5% ного водного раствора ниоксима Выделившийся осадок отфильтровывают через фильтрующий микротигель, промывают водой и высушивают при 110—120° С

Для определения никеля в присутствии кобальта была использована различная растворимость диоксиматов этих элементов при pH 3,3 Осаждение проводилось из ацетатного буферного раствора При соотношении никеля и кобальта 1 : 200 получились хорошие результаты При большем соотношении элементов (1 : 400) необходимо переосаждение, так как осадок никеля загрязнен кобальтом Определить никель в присутствии железа удалось при соотношении никеля и железа 1 : 200, железо связывали винной кислотой, ниоксимат никеля выделялся количественно при добавлении раствора аммиака до щелочной реакции Кроме того, целесообразно отделять никель от железа в виде двойной соли железа с фторидом натрия [308, 311].

Возможно определение никеля ниоксимом в присутствии Sb, Al, Be, Cd,  $UO_2^{2+}$ , щелочных и щелочноземельных металлов [1247].

<sup>1</sup> Дипломные работы Н И Гонтовой (1945 г.) и М И Ведерниковой (1946 г.); МГУ, кафедра аналитической химии

Раут, Смит и Бэнкс [1069] описывает методику синтеза ниоксима Венгер и ряд других авторов [646а, 650, 1269, 1271] отмечают ценные качества ниоксима как реагента на никель и приводят метод определения никеля в кальции

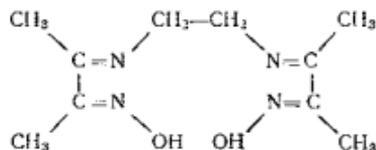
В последнее время появились работы по применению 4 метил- и 4 изопропилниоксима для гравиметрического определения никеля [443] Указанные реагенты осаждают никель при pH 3—7, выделяя осадки высокой чистоты Определению не мешают уксусная, шавелевая, лимонная, сульфосаптициловая кислоты Кобальт и медь нужно маскировать цианидами и роданидами, а алюминий, сурьму (III), висмут (III), железо — винной кислотой

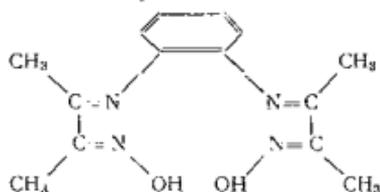
Бэнкс с сотр синтезировали реагент и исследовали аналитические свойства диоксима 1,2 диклогептандиона (гептоксима) [649, 651, 726] Ценным качеством этого реагента является возможность выделения никеля в кислой среде (pH 3,4), что облегчает определение его в присутствии ряда элементов Медь связывают в растворимое соединение роданидом аммония при pH 3,5 [706] Найдены условия [259] определения 0,5 — 5 мкг никеля и установлено, что гептоксим количественно осаждает никель при pH 2,7—12,4

Диоксими 1,2-циклопентандиона [444] и циклодекадиона [569] количественно выделяют никель, но не применяются в практике Предложены методы гравиметрического определения никеля с использованием несимметричных  $\alpha$ -диоксимов, метилдиоксима, метилэтилдиоксима [256], фенилдиоксима [281, 965], бензоилметилдиоксима [258], но эти методы не нашли пока практического применения Для гравиметрического определения применяется оксаламидоксим, названный «никеллокс» [878, 879] Соединение никеля с указанным реагентом [1270] начинает осаждаться при pH 3,78  $\pm$  0,04, количественное выделение никеля имеет место в узком интервале pH 7—8, растворимость соединения в воде равна  $4,82 \pm 0,2$  мг/л при pH 7 и 20° С Для гравиметрического определения никеля использовался *o* гидроксиацетофеноноксим [1041], который выделяет количественно никель при pH 4,8 — 8,5 Медь осаждается при pH 2—3, а никель — начиная с pH 5—5,5 Осадок сушат при 105° С

Для гравиметрического определения 7—30 мг никеля предлагается резпропиониксим [583] Реагент пока не применяется на практике Для количественного выделения никеля применимы салицилаламины Салицилаламин и дисалицилалпропилендиамин могут быть использованы для гравиметрического определения никеля [315, 316]

Представляют интерес монооксими бис биацетилмонооксимэтилендиамин [940]





Ионы никеля количественно выделяются обоими реагентами в слабоаммиачной среде, реагенты могут быть применены для определения никеля в присутствии кобальта (используется различная устойчивость их цианидов), железа (при добавлении тартратов), меди (в присутствии ацетата) Резироохионооксим позволяет гравиметрически определять 7—30 мг никеля [583]

Таким образом, для гравиметрического определения и количественного выделения никеля α-диоксимами наиболее ценными следует считать ниоксим и его производные 4-метил-, 4-изопропилниоксим и гептоксим

### Другие органические реагенты

Из органических реагентов для гравиметрического определения никеля следует отметить салицилаламин [617] и другие шиффовые основания, образующие устойчивые комплексные соединения с никелем [315]

**8-Оксихинолин** количественно выделяет никель из ацетатного буферного раствора [460, 1158] 8-Оксихинолилат никеля прокаливает до NiO

Никель количественно выделяется 8-меркаптохинолином при pH 6—6,5 [177]

**Антралиловая кислота** иногда применяется для количественного определения или выделения малых количеств никеля в нейтральной [694] или слабокислой среде [1157].

**3-Гидрокси-1,3-дифенилтриазин** количественно осаждает никель при pH 4,4—7,0, лучшие результаты получаются в ацетатном буферном растворе Реагент не селективен, осаждаются медь, палладий и др. [1169]

**3-Оксииминометилсалициловая кислота** применяется для определения никеля и меди [1070]

**β-Оксиафталийный альдегид** применим для определения никеля [242] при pH 7,2—7,5 Палладий также образует соединение с указанным реагентом при pH 2,5—3, поэтому должен быть предварительно выделен в более кислой среде

Известен метод количественного определения никеля пиридин-роданидным реактивом [1178] Пиричь заменил пиридин на о-фенантролин [1038] и α,α'-дипиридил [267a]

Из неорганических реагентов следует упомянуть  $K_2HgJ_4$ , при добавлении 10% ного раствора  $K_2HgJ_4$  [1219] по каплям из бюретки при помешивании к раствору  $[Ni(NH_3)_4]^{2+}$  выделяется кристаллический осадок  $[Ni(NH_3)_4]HgJ_4$  зеленоватого цвета Осадок промывают насыщенным раствором  $[Ni(NH_3)_4]HgJ_4$ , потом этанолом и эфиром Через 10 мин сушат его в вакуум эксикаторе

## 2 ЭЛЕКТРОВЕСОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ

Никель (как и другие металлы) выделяют электролизом на платиновом катоде и взвешивают Ввиду близости электродных потенциалов никеля и кобальта ( $-0,228$  в и  $-0,29$  в соответственно [191a]) при электролизе они выделяются совместно

Метод электролиза применяется в техническом анализе специальных сталей и сплавов как для определения, так и для отделения никеля Лучше всего никель выделяется электролитически из аммиачного раствора, когда весь он находится в форме аммиачного комплексного соединения Для повышения электропроводности раствора обычно добавляют сульфат аммония Концентрация аммиака должна быть достаточной для предотвращения выделения гидроокиси никеля Свободные минеральные кислоты ( $HCl$  или  $HNO_3$ ), применяемые для растворения образца, удаляют выпариванием с  $H_2SO_4$  в платиновой или кварцевой чашке, к остатку прибавляют воду, раствор нейтрализуют аммиаком и добавляют 3—5 г сульфата аммония В растворе должны отсутствовать, кроме кобальта, ионы меди, цинка, серебра, также образующие аммиакаты, они выделяются вместе с никелем

Осадок никеля в присутствии больших количеств железа содержит окклюдированную гидроокись железа В присутствии железа необходимо повторное электролитическое выделение никеля [970] Возможно определение никеля в никелевой стали, не содержащей хрома [970] Металлический никель можно также выделять из раствора, содержащего сульфаты никеля и аммония и борную кислоту При полном выделении сравнительно небольших количеств никеля осадок получается недостаточно плотным [22], поэтому метод не может быть рекомендован для количественного определения Большинство авторов рекомендует проводить электролиз никеля из аммиаката, содержащего сульфат аммония

Фрезениус и Бергманн [683] рекомендовали условия, близкие указанным, для количественного определения никеля методом электролиза Этот метод вошел как классический в ряд руководств [22, 96, 142, 172, 326, 561] Он получил дальнейшее развитие после введения вращающихся электродов или специальной мешалки для перемешивания раствора во время электролиза

Кольтгоф и Сендел [150] проводили электролиз током  $\sim 0,5$  а (без перемешивания) и  $0,5$ — $1$  а (с перемешиванием) при напряже-

нии 3—4 в Напряжение и сила тока несколько зависят от формы электрода [142]

Рекомендуется [96] проводить электролиз с неподвижными электродами током 1—2 а, при перемешивании — током 3—5 а Для электролиза почти всегда используют платиновую сетку (катод) и спираль из платиновой проволоки (электроды Винклера), реже применяют электроды Фишера (две платиновые сетки) В обоих случаях перемешивают стеклянной мешалкой

При микроэлектролитическом определении никеля и кобальта перемешивание производят током  $\text{CO}_2$  [1010] В микроэлектролитическом методе применяют [8] электроды Прэгля При электролизе малых объемов (5—6 мл) растворы достаточно хорошо перемешиваются выделяющимися на аноде пузырьками  $\text{O}_2$

Материалом для электродов служит обычно платина, но имеется указание [33], что добавление к платине 10% иридия повышают механическую прочность и химическую устойчивость электродов Иногда платиновую спираль заменяют спиралью из свежеспаванного железа [22], хорошие результаты получаются с катодом из тантала [510] или с катодом из сплава Вуда [1027]

Как уже отмечалось, обычно электролиз проводят из аммиачного раствора с добавлением сульфата аммония Но возможен электролиз [1008] из аммиачных растворов хлорида никеля с добавлением хлорида аммония Однако при электролизе хлоридов образуется хлорамин [22], это может приводить к частичному окислению выделенного никеля, а также растворению платинового анода Хорошие результаты при электролитическом определении никеля из его комплексного соединения  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4] (\text{SCN})_2$  получаются в присутствии сульфата аммония [142, 580]

Рекомендуется [1250] определять никель электролизом, предварительно выделяя его в виде диметилдиоксимата Этот метод более надежен и точен и применим при определении никеля в присутствии других металлов Промытый осадок диметилдиоксимата никеля разлагают  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с  $\text{H}_2\text{O}_2$ , удаляют перекись водорода кипячением раствора и из него выделяют никель электролизом Таким образом определяют никель в присутствии кобальта

Небольшие количества никеля (и других металлов) выделяют внутренним электролизом [1, 293а, 766, 1144, 1227] В создаваемом гальваническом элементе катодом является платина, анодом — металл, менее благородный чем никель (например цинк) Оба электрода соединены металлическим проводником

Имеются отдельные работы, посвященные определению никеля методом внутреннего электролиза [1а, 293а, 766, 1114, 1227]

## Глава V

### ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ

Наиболее распространенные титриметрические методы определения никеля основаны на реакциях осаждения и комплексообразования. Значительно реже применяются окислительно-восстановительные косвенные методы. Кроме того, иногда определяют никель в растворах его чистых солей титрованием растворами щелочей. Имеются косвенные методы, основанные на реакции нейтрализации (оттитровывание избытка реагентов, осаждающих никель).

#### 1 МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА РЕАКЦИЯХ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ

Реакции ионов  $Ni^{2+}$  с оксалат, тартрат, цитрат (и другими) ионами не могут быть использованы для разработки титриметрических методов главным образом потому, что они протекают ступенчато [389]. Так, например,  $Ni^{2+}$  образует следующие комплексы с цитрат-ионом [153]  $NiCit^0$ ,  $NiCit^-$ ,  $NiCit^{2-}$ .

При прямом титровании не удается установить границу между отдельными ступенями комплексообразования.

#### Комплексонометрическое определение никеля

Комплексоны, особенно этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА,  $H_4Y$ ) и ее натриевая соль, часто применяются для титриметрического определения никеля. Образуется соединение с отношением металла к лиганду 1:1. Реакции протекают практически мгновенно.

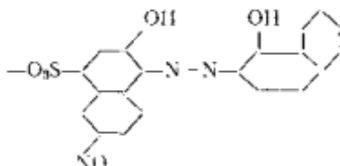
Для установления точки эквивалентности при прямом титровании соли никеля раствором комплексона III<sup>1</sup> пользуются внутренними индикаторами (эриохром черный Т, мурексид, арсеназо и пр.)

<sup>1</sup> Комплексон III — динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты — в дальнейшем называется комплексоном.

Обзор важнейших методов комплексометрического определения никеля имеется в монографиях Шварценбаха [153] и Пришибила [280]

При титровании солей никеля комплексом III необходимо учитывать ряд особенностей. Визуальному титрованию мешает зеленовато-голубая окраска комплексоната никеля, поэтому всегда титруют разбавленные растворы. Кроме того, ионы никеля взаимодействуют с комплексом III при обычной температуре медленно, поэтому в большинстве случаев титруют при нагревании до  $\sim 80^\circ \text{C}$ .

Эриохром черный Т



образует с ионами никеля слишком устойчивое соединение, что препятствует прямому титрованию раствором комплексона III. При обратном титровании избытка комплексона III раствором соли магния в щелочной среде [280] или соли цинка [740] удается получить хорошие результаты.

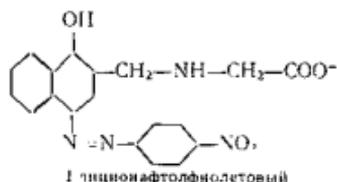
К анализируемому раствору прибавляют в небольшом избытке  $0,01 \text{ M}$  раствор комплексона III. Если полученный раствор имеет кислую реакцию, то его нейтрализуют раствором  $\text{NaOH}$  и прибавляют на каждые  $100 \text{ мл}$  раствора  $2 \text{ мл}$  буферного раствора с  $\text{pH } 10$  ( $35 \text{ г } \text{NH}_4\text{Cl}$  в  $350 \text{ мл}$   $25\%$  ного  $\text{NH}_4\text{OH}$  разбавляют до  $1 \text{ л}$ ). Избыток комплексона III быстро оттитровывают раствором сульфата магния (или цинка) в присутствии эриохромчерного Т до перехода окраски раствора из голубой в красную.

Вместо эриохромчерного Т можно применять эриохром голубой SE [395] или метеомегахром голубой BBL [397], а также омегахром черный PPV [396].

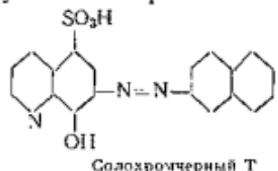
К аликвотной части анализируемого раствора добавляют на каждые  $100 \text{ мл}$  раствора  $2 \text{ мл}$  аммиачного буферного раствора с  $\text{pH } 10$ , несколько миллиграммов эриохром голубого SE и красителя «кислый зеленый» как внутреннего светофильтра. Затем раствор нагревают до  $80^\circ \text{C}$  и титруют  $0,01 \text{ M}$  раствором комплексона III до перехода окраски из красной в отчетливо голубую.

Все три названные выше индикатора имеют преимущества перед эриохромчерным Т, так как позволяют проводить прямое определение ионов никеля. По сравнению с мурексидом они дают более резкий переход окраски в точке эквивалентности.

Для прямого определения никеля применяется индикатор глицинафтолфиолетовый, который образует в щелочных растворах ( $\text{pH} \sim 10,5$ ) с ионами никеля соединение красно-фиолетового цвета [515].

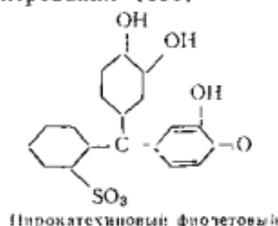


Кроме того, при титровании ионов никеля применяется индикатор солохромчерный Т [835]. В кислой и слабощелочной среде хорошие результаты получены с нафтилазоксином S [688].



а также солохромпрочным Navy 2R [398].

Пирокатехиновый фиолетовый [922] дает возможность титровать ионы никеля в щелочной среде прямым методом, а в кислой среде — методом обратного титрования [666].



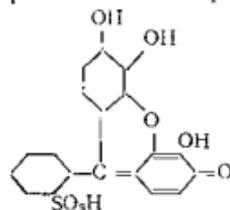
Преимущество последнего метода заключается в том, что никель в отличие от большинства элементов образует с комплексом устойчивое в кислой среде (рН 2) соединение. Это позволяет определять никель в присутствии марганца, кобальта и щелочноземельных элементов. При обратном титровании (рН 2) избыток комплексона III оттитровывают солями висмута. Но висмут образует с комплексом III более устойчивое соединение, чем никель, поэтому для замедления реакции вытеснения ионов никеля висмутом титрование ведут при 0° С. В этом случае никель вытесняется из комплекса с очень малой скоростью. Определению никеля мешают Fe, In, Ga, Bi, Th и Sb.

К слабокислому раствору добавляют 0,5 г сухого NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> и с помощью аммиака доводят значение рН раствора до 2 по универсальной индикаторной бумаге. Затем прибавляют столько комплексона III, чтобы связать все присутствующие катионы (кроме щелочноземельных и Mn<sup>2+</sup>). После вторичного доведения рН раствора до 2 вносят в раствор кусок льда и охлаждают до 0° С. Прибавив 2—3

капли 0,1% ного водного раствора пирокатехинового фиолетового, титруют раствор при хорошем перемешивании 0,05 M раствором  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$  до появления красно фиолетовой или синей окраски и затем дотитровывают раствором комплексона III до появления чисто желтого цвета. Переход окраски индикатора при титровании комплексона III солями висмута не так резок, как при титровании солей висмута комплексонам [923].

В прямом варианте этого метода до 30 мг/100 мл никель определяют в щелочных буферных растворах. В кислой же среде окраска индикатора и его никелевого комплекса сходна (красно фиолетовая).

Пирогаттоловый красный [1204] и бромпирогаллоловый красный [1205] в отличие от пирокатехинового фиолетового



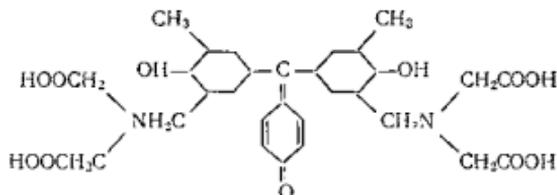
Пирогаллоловый красный

образуют более устойчивые в щелочной среде комплексы, и никель может быть прямо оттитрован раствором комплексона III.

К нейтральному анализируемому раствору добавляют 15 капель 0,05% ного раствора индикатора в 50% ном этаноле, 10 мл аммиачного буферного раствора (1 N  $\text{NH}_4\text{Cl} + 1\text{N} \text{NH}_4\text{OH}$  в соотношении 1 : 1) и титруют 0,01 M раствором комплексона III до перехода голубой окраски в вишно красную.

Совершенно аналогичным образом оба последние индикатора могут быть использованы для определения никеля в слабокислой среде (pH 5) с оттитровыванием избытка комплексона III раствором нитрата свинца [924].

Никель можно титровать также в кислой (pH 4—5) среде в присутствии ксиленолового оранжевого как индикатора [839].



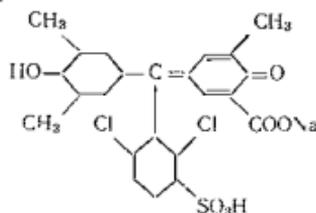
Ксиленоловый оранжевый

При прямом титровании окраска раствора недостаточно резко изменяется от красной до желтой. Поэтому обычно добавляют избыток комплексона III и титруют его раствором  $\text{TlCl}_3$ ,  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ ,  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  или  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ .

К кислому раствору соли никеля добавляют избыток комплексона III затем pH раствора доводят до 4—5 с помощью аммиака или ацетата аммония и титруют избыток комплексона III раствором нитрата тория

Можно проводить титрование раствором  $TiCl_3$  при pH 4—5 и на гравимии. Если присутствует медь, то ее маскируют тиосульфатом и избыток комплексона III оттитровывают раствором соли тория, железо (III) маскируют бифторидом аммония а избыток комплексона III титруют раствором соли таллия. Для определения никеля в растворе, содержащем медь и ртуть [464], рекомендуется титровать в присутствии цистеина.

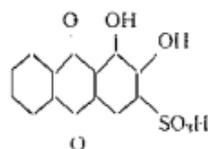
Для прямого титрования никеля также может быть использован хромазурол S [925]



Хромазурол S

Никель реагирует с этим индикатором при pH 7,5. К 100 мл раствора, содержащего 3—24 мг Ni, добавляют 6—8 капель 0,1% ного водного раствора индикатора и разбавленный раствор  $NH_4OH$  до появления фиолетовой окраски от комплекса никеля, затем титруют раствором комплексона III до перехода окраски в зеленовато-желтую.

При комплексометрическом непрямом определении никеля используется ализарин S [724]

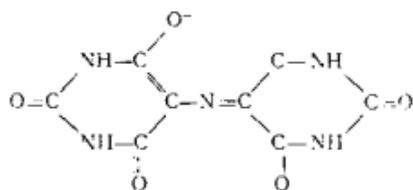


Ализарин S

Избыток комплексона III титруют раствором нитрата тория в кислой среде (pH 2,7—2,9). Присутствие в растворе до 10 мг кобальта не мешает определению. Ионы тория теоретически могут вытеснять ионы никеля из его комплексоната, но при определении никеля непрямым методом скорость вытеснения при обычной температуре так незначительна, что можно без ошибки проводить определение никеля.

Метод титрования никеля в аммиачной среде с использованием мурексида (аммонийная соль пурпуровой кислоты) применяется

наиболее часто



Мурексид

К 100 мл анализируемого раствора, содержащего не более 15 мг Ni, прибавляют индикатор и вводят по каплям  $\text{NH}_4\text{OH}$  до окрашивания раствора в интенсивно желтый цвет. Затем титруют раствором комплексона III до начинающегося изменения окраски. После этого прибавляют 10 мл концентрированного  $\text{NH}_4\text{OH}$  и заканчивают титрование при очень резком переходе окраски из желтой в синне фиолетовую.

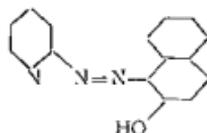
В случае меньшего содержания аммиака окраска изменяется из желтой через оранжево-красную в фиолетовую [280]. Более четкий переход окраски наблюдается при использовании в качестве внутреннего светофильтра метиленового голубого [490].

Точку эквивалентности можно находить фотометрическим методом [597], титруя избыток комплексона III раствором соли никеля при 620 мкм, или титруя избыток добавленной соли никеля раствором комплексона III при 465 мкм.

В аммиачной среде медь, кобальт, кальций образуют прочные комплексы с мурексидом и, следовательно, мешают определению никеля.

Железо (III) маскируют пирофосфатом [1100].

Титрованием с мурексидом невозможно определить микроколичество никеля вследствие нечеткой точки эквивалентности. Для этой цели с успехом может быть применен индикатор пиридилазо-нафтол (PAN) [667].



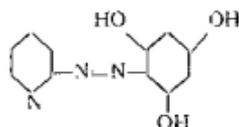
Пиридилазо-нафтол

Прямое титрование раствором комплексона III с этим индикатором невозможно, поскольку он образует очень стабильный комплекс с никелем, и реакция с комплексоном протекает медленно, не смотря на повышение температуры. Поэтому рекомендуется проводить обратное титрование избытка комплексона III растворами солей меди. Но в этом случае следует вводить небольшую поправку на индикатор (0,05 мл 0,01 М раствора соли меди на 50—100 мл титруемого раствора).

Можно не учитывать этой поправки, проводя определение следующим способом

К 50—100 мл приблизительно нейтрального анализируемого раствора прибавляют 2—3 капли уксусной кислоты и комплексон III в небольшом избытке. Раствор нагревают до 70—80° С, прибавляют 1—2 капли индикатора PAN и титруют 0,01 М раствором  $\text{CuSO}_4$  до появления фиолетовой окраски. Затем обратно оттитровывают избыток соли меди 0,02 М раствором комплексона III до перехода фиолетовой окраски в светло-зеленую или чисто желтую (в зависимости от содержания меди [665]).

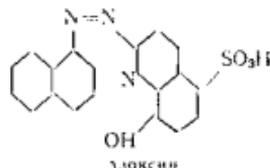
Для титрования никеля рекомендуется пиридилазорезорцин (PAR) [1263]



Пиридилазорезорцин

который позволяет вести прямое титрование никеля комплексом III при pH 5—6 и 90° С. Переход окраски от оранжевой к желто-зеленой настолько отчетлив, что ошибка титрования не превышает объема одной капли. Кроме того, этот индикатор лучше растворим в воде, чем PAN.

Очень удобным индикатором для комплексометрического определения никеля является азоксин (1 нафтолазо-8 хинолинол-5 сульфокислота) [686].



Азоксин

С этим индикатором возможно прямое титрование никеля при pH 5,5—6,5, определению не мешают катионы магния. В точке эквивалентности наблюдается резкий переход окраски. Возможно использование лимонной кислоты для маскирования U, Th, Zr, тио мочевины для Си.

При комплексометрических титрованиях никеля применяется дитизон [541, 738]. Титрование ведется прямым методом. Соль никеля находится в водной фазе, индикатор находится в органической фазе ( $\text{CCl}_4$ ). Этот метод мало удобен из-за наличия двух фаз, от интенсивности перемешивания которых зависит точность определения.

При комплексометрическом определении никеля применяется 8-оксихинолин [528, 1182].

При непрямом комплексометрическом определении никеля можно конечную точку находить потенциометрическим методом [280, 1153].

Оттитровывают избыток комплексона III раствором соли трехвалентного железа [271, 1056]

Титруют никель раствором  $Pb(NO_3)_2$  с Pt — W [53] электродом прямым и непрямым методом

Хорошие результаты получены при прямом комплексометрическом фотометрическом титровании [1208] при длине волны 1000 мμ, при которой комплексонат никеля имеет максимальное поглощение. Чтобы избежать влияния щелочноземельных металлов, титрование проводилось в кислой области, при pH 4,0. По точности метод не уступает титрованию диметилглиоксимом. Имеется амперометрический вариант комплексометрического титрования [531, 851, 1057]

Кроме двуназевой соли этилендиамина тетрауксусной кислоты, для титрования ионов никеля могут применяться другие комплексоны, например нитрилотриуксусная кислота. Двуназевая соль этой кислоты ( $Na_2HX$ ), будучи сама нейтральной (pH 6,8 при концентрации  $10^{-3}$  M), выделяет при взаимодействии с нейтральной солью никеля эквивалентное количество ионов водорода



которые оттитровывают раствором щелочи с кислотно-основными индикаторами, лучше всего метиловым красным [1120].

Другой вариант этого метода заключается в титровании раствора соли никеля, нейтрализованного до pH 5, трехзамещенной солью нитрилотриуксусной кислоты, наблюдается скачок на кривой титрования при pH 5,5—7,8, удобен индикатор нейтральный красный

На том же принципе основано титрование никеля урамидиуксусной кислотой

Скачок на кривой титрования при оттитровывании щелочью выделившихся ионов водорода находится в интервале pH 4,6—8,0, а в случае прямого титрования при pH от 6,0 до 8,5

Было предложено определять никель с помощью гидроксизит этандиамина триуксусной кислоты [861, 1276]. В этом случае к раствору соли никеля добавляют избыток реагента, который оттитровывают раствором соли меди с флуоресцентными индикаторами метилкальцеином и метилкальцеинсиним

Возможно использование нитролотриуксусной кислоты [1006]

### Цианидный метод

Наиболее старинный и вместе с тем самый распространенный метод титриметрического определения никеля был предложен Мором [978] и Кэмпбеллом и Эндру [530]. Титруют аммиачный раствор соли никеля раствором KCN



Для установления момента окончания титрования вводят в качестве индикатора раствор КJ и известный объем титрованного раствора  $\text{AgNO}_3$ . При этом образуется суспензия  $\text{AgJ}$ , нерастворимая в аммиаке, но растворимая в избытке KCN. После того как прореагирует весь никель с KCN, начнет растворяться  $\text{AgJ}$ . Исчезновение мути  $\text{AgJ}$  служит признаком окончания титрования. Грамм эквивалент никеля равен половине его атомного веса [1025].

При титровании небольших количеств никеля ( $\sim 0,02$  мг) обычно наблюдалось перетитрование из-за коагуляции  $\text{AgJ}$  и медленного взаимодействия осадка с раствором KCN. Предложено [161] вводить в раствор крахмал в качестве защитного коллоида.

Были изучены интервалы концентраций никеля, максимальный избыток аммиака и влияние температуры на воспроизводимость результатов титрования [856]. Особенно много внимания было уделено определению никеля в присутствии других элементов, образующих с KCN осадки, комплексные соединения или малорастворимые гидроксиды. Методом Либиха никель легко отделяется от кобальта [660, 900]. При добавлении цианида калия к смеси солей кобальта и никеля оба элемента переходят в комплексы  $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$  и  $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-}$ . Если на такой раствор подействовать бромной водой, то кобальт перейдет в соединение  $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ , а никель выпадает в виде  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ , осадок отделяют от раствора, растворяют в щавелевой кислоте, подщелачивают раствором аммиаком и вновь титруют раствором KCN. Эванс [635] предложил одновременно определять никель и кобальт этим методом из одной пробы. В начале по Мору титруют сумму металлов, затем добавляют избыток KCN, кобальт переходит в очень прочный комплекс  $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ . Затем избыток  $\text{CN}^-$  ионов удаляют кипячением с перекисью водорода и оттитровывают никель. Ионы  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  маскируют винной кислотой. Этот метод широко применяется при анализе сталей (главным образом высоколегированных).

Для определения никеля по классическому варианту метода Мора поступают следующим образом [73].

К раствору, содержащему никель и обычно имеющему кислую реакцию, прибавляют 25% ный раствор  $\text{NH}_4\text{OH}$ , беря его избыток 1—5 мл, разбавляют раствор до объема 250 мл, приливают 10 мл раствора КJ (8 г/л) и 10 мл раствора  $\text{AgNO}_3$  (0,5 г/л). Подготовленный таким способом раствор титруют раствором KCN (4,6 г/л) вначале быстро, пока муть усиливается, а затем более медленно до ее исчезновения. Раствор KCN стандартизируют титрованием известного количества никеля, причем в израсходованный на титрование объем раствора KCN вводят поправку на его количество, потребляемое иодидом серебра. Для увеличения быстроты и точности титрования предлагается устанавливать конечную точку фотометрическим методом [452].

Было предложено много других индикаторов для цианидного метода. Диметилглиоксим и  $\alpha$ -бензилдиоксим применяются как внешние индикаторы [547, 825, 1033, 1251]. В качестве индикатора может применяться также дифенилкарбазон [1086].

К 0,05—0,01 М раствору KCN добавляют 3—4 капли этанольного раствора дифенилкарбазона и титруют его раствором соли никеля. Как только концентрация ионов  $Ni^{2+}$  станет больше эквивалентного количества образуется соединение с дифенилкарбазоном интенсивно розового цвета.

Эта методика мало пригодна из-за образования в точке эквивалентности суспензии никельдифенилкарбазоната, поэтому Эванс [636, 637] рекомендует добавлять бензол, в котором легко растворяется комплекс никеля с дифенилкарбазоном, окрашивая раствор в красный цвет.

В одну колбу помещают нейтральный раствор соли никеля не содержащий Cu(I), Cu(II), Zn, Cd, Fe(II), Pb(I), Hg(II), V, Co а в другую — дистиллированную воду, затем в обе колбы добавляют по 20 мл 20% ного  $NH_4NO_3$  (высаливающий реагент), 15 мл 1/5 N  $Na_2CO_3$  (для поддержания pH раствора) и разбавляют до объема 100—150 мл. Затем прибавляют 20 мл бензола и 0,3 мл 1,5% ного раствора индикатора в этаноле. Титруют раствором KCN до появления красной окраски бензольного слоя.

При титровании  $\leq 10^{-5}$  г никеля следует увеличивать количество карбоната натрия.

Кроме дифенилкарбазона, в качестве индикатора может служить резорцефенооксим, образующий с никелем желтовато-зеленый комплекс, нерастворимый в воде [466].

Никель определяют непрямым методом.

К раствору содержащему соль никеля, добавляют избыток KCN, 10 г ацетата натрия на каждые 75 мл раствора и 5—10 капель 2% ного раствора резорцефенооксима в 40% ном этаноле и титруют стандартным раствором никеля до помутнения раствора, приобретающего зеленовато-желтый цвет.

В цианидном методе применяются и такие комплексонометрические индикаторы, как мурексид. Цианидный комплекс никеля более устойчив, чем мурексидный, и титрование идет без затруднений [603].

Рекомендуется [1177] проводить титрование в присутствии пирридина. В точке эквивалентности возникает фиолетовое малорастворимое соединение  $[NiPyH_2O](CN)_2$ .

Широко распространены методы потенциометрического титрования никеля цианидом калия. Хеско [746] предложил использовать в качестве индикаторного электрода серебряный. Этот же электрод рекомендуют использовать и при анализе сталей [107]. Хорошие результаты получаются при титровании с платиновым и серебряным электродами [342]. В условиях рекомендуемого метода титруется только никель, кобальт, цинк, марганец, медь мешают определению.

## 2 ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИМЕТИЛДИОКСИМА

### Прямое определение осаждением диметилдиоксимата никеля

При титровании раствора соли никеля раствором диметилдиоксима конечная точка титрования устанавливается при помощи подходящих индикаторов или физико-химическими методами

В основе метода лежит реакция образования малорастворимого диметилдиоксимата никеля



Рекомендованы различные способы установления точки эквивалентности. В работах японских ученых [782] в качестве титранта использован этанольный или ацетоновый раствор диметилдиоксима, а внешним индикатором служит соль двухвалентного железа и аммиак. Такой индикатор дает ярко розовое окрашивание от избытка реагента, поскольку двухвалентное железо образует в аммиачной среде комплексное соединение розового цвета  $\text{Fe}(\text{HD})_2 \cdot 2\text{NH}_3$  [250, 261].

Гораздо точнее и удобнее о достижении точки эквивалентности судить с помощью внешнего индикатора — фильтровальной бумаги, смоченной раствором диметилдиоксима. Это теоретически было доказано сопоставлением устойчивости диметилдиоксимата никеля и комплекса железа с этим реагентом [47]. Никель определяли титрованием избытка диметилдиоксима титрованным раствором соли никеля с использованием смоченной диметилдиоксимом бумажки. Тот же прием был применен для прямого титрования солей никеля раствором диметилдиоксима [475, 476]. Титрования проводились в аммиачной среде.

Такое определение точки эквивалентности неудобно, поскольку во время титрования в растворе находится взвешенный розовый осадок диметилдиоксимата никеля, который, попав на бумажку, может исказить выводы.

Этих недостатков лишен метод [17], в котором применяются в качестве индикатора две бумажки: верхняя служит фильтром для задержания взвешенного в растворе диоксимата никеля, нижняя — смочена раствором диметилдиоксима. Оптимальный интервал значений pH 5,9—10,2.

Дальнейшее развитие этот метод получил в ряде работ [2, 310, 1087], в которых в основном выяснялось влияние других элементов на определение никеля. В настоящее время этот метод часто применяется при анализе различных объектов, содержащих никель.

<sup>†</sup>  $\text{H}_2\text{D}$  — молекула диметилдиоксима

Для определения никеля к анализируемому раствору добавляют аммиак до появления слабого запаха и титруют 0,1—0,01 *M* раствором диметилдиоксима (11,6—4,6 г диметилдиоксима растворяют в 100 мл 2 *N* NaOH и разбавляют до 1 л водой) пока взятая стеклянной палочкой капля раствора не перестанет образовывать красное пятно на индикаторной диметилдиоксимовой бумаге. Для приготовления последней полоску фильтровальной бумаги пропитывают насыщенным этанольным раствором диметилдиоксима и высушивают на воздухе. Каплю анализируемого раствора наносят не непосредственно на индикаторную бумагу, а на потонженную поверх нее полоску чистой фильтровальной бумаги для задержания частиц уже образовавшегося в растворе осадка диметилдиоксимата никеля.

Диметилдиоксим восстанавливается [23, 217, 254] на ртутном капельном катоде ( $E_{1/2} = -1,4$  в). Наиболее удобно титровать при потенциале  $-1,85$  в, так как при этом и никель, и диметилдиоксим дают диффузионные токи, и поэтому получается V образная кривая амперометрического титрования. Для титрования можно применять натриевую соль диметилдиоксима [254]. Относительная ошибка метода менее 1%. Наилучший фон — 0,1 *N* ацетат натрия, при котором никель определяют в присутствии трехкратных количеств железа (III), хрома (III), алюминия. Если содержание этих элементов более высокое, их лучше отделять.

Ниже приводим методику определения никеля в стали методом амперометрического титрования раствором диметилдиоксима [23].

0,5 г стали растворяют в HCl (1 : 1) и упаривают раствор до объема 1—2 мл. Затем разбавляют его 10 мл воды и обрабатывают горячей 5% ным раствором NaF, через 8—10 мин прибавляют аммиак до отчетливого запаха и титруют при потенциале  $-1,85$  в не отделяя осадок.

Относительная ошибка не более 2%. Хром не мешает определению никеля. Анализируемый образец содержащий медь, следует растворять в  $H_2SO_4$  (1 : 1) и добавлять затем по каплям 4% ный раствор  $KMnO_4$ . Если выпадает двуокись марганца прибавляют по каплям 0,5% ный раствор соли Мора до просветления раствора. Затем приливают горячую воду, опускают в раствор несколько кусочков металлического алюминия или железа и нагревают 10 мин. После этого фильтруют раствор, осадок промывают 5 раз горячей водой и раствор титруют при потенциале  $-1,85$  в. Можно титровать никель в присутствии диметилдиоксима подом [1159].

Из других диоксимов для амперометрического определения никеля применяется диоксим циклогександиона [254, 527, 781]. Сам реагент восстанавливается на ртутном капельном электроде на фоне 0,1 *N* ацетата натрия ( $E = -1,40$  в) [781]. Японские ученые используют фон 0,25 *M*  $NH_4Cl + 0,2$  *M*  $NH_4OH$  при потенциале 1,8 в (рН 8,8) [781]. Преимущество этого реагента перед диметилдиоксимом заключается в том, что им можно титровать в аммиачной среде (следовательно, не мешает цинк), в тартратной и цитратной среде, что позволяет определять никель в присутствии 60—70-кратных количеств железа и алюминия.

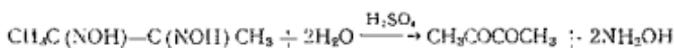
Оксамиддиоксим дает на ртутном капельном электроде в присутствии никеля две волны [880]. Никель титруют 0,05 *M* раствором реагента при потенциале  $-1,14$ — $-1,20$  в в аммиачной среде.

а Фуриллидиоксим также восстанавливается на ртутном капельном электроде ( $E_{1/2} = -1,10$  в), но применение его для титрования никеля затруднено из-за получения в процессе титрования плохо коагулируемого осадка [254, 784]

### Непрямое титриметрическое определение никеля с использованием диметилдиоксима

Метод основан на использовании окислительно-восстановительных или, что значительно реже, кислотно-основных свойств продуктов гидролиза диметилдиоксима никеля

Осадок диметилдиоксима никеля после отделения от раствора, содержащего другие катионы и избыток самого диметилдиоксима, обрабатывают при нагревании кислотами



Получающийся при гидролизе гидроксилламин оттитровывают различными окислителями. Можно окислять выделившийся гидроксилламин бихроматом калия в кислой среде [785], к избытку бихромата добавляют стандартный раствор сульфата железа (II), а избыток последнего оттитровывают перманганатом

Другой вариант метода заключается в оттитровывании избытка бихромата солью Мора, точку эквивалентности находят потенциометрически [786]

Получившийся в результате гидролиза гидроксилламин может быть окислен растворами солей трехвалентного железа [1229] по уравнению



Образовавшееся двухвалентное железо оттитровывают перманганатом. Однако железо (III) не количественно окисляет гидроксилламин, что приводит к довольно большой ошибке

Было предложено [1065, 1067] прямое титрование гидроксилламина до азотной кислоты перманганатом (в 0,2—0,4 N HCl) при 60° С с применением двухлористой меди как катализатора

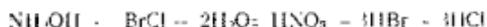
Осажденный и промытый водой диметилдиоксимат никеля, содержащий 0,5—2,0 мг никеля растворяют на фильтре в 15—20 мл горячей 1N HCl и промывают фильтр водой. Фильтрат и промывные воды собирают в коническую колбу емкостью 500 мл, разбавляют до 90—100 мл и кипятят 15—20 мин. Затем разбавляют раствор до 250 мл водой, подогревают его до 55—60° С, вносят 2—3 мл раствора  $\text{CuCl}_2$  и титруют 0,1N раствором  $\text{KMnO}_4$  до появления слабо розовой окраски

Прямое окисление осадка диметилдиоксима никеля может быть проведено перманганатом калия в сильнощелочной среде [750],

причем перманганат восстанавливается до манганата и последний осаждается ионами бария, избыток непрореагировавшего перманганата оттитровывают после разбавления раствором арсенита натрия. Этот метод по сложности выполнения и по точности не выдерживает сравнения с предыдущим.

Описанные выше перманганатометрические варианты определения никеля диметилдиоксिमом не особенно точны из-за малой величины эквивалента никеля. Большее внимания заслуживает метод титрования гидросиламина броматом калия, впервые введенный Фурманом и Флагом [696] (грамм эквивалент никеля равен 1/24 его атомного веса). Гидросиламин окисляют до азотной кислоты избытком бромата, который затем восстанавливают арсенитом, а избыток арсенита оттитровывают броматом в присутствии метилового оранжевого как индикатора.

Более точные результаты дает применение хлористого брома [517]



Возможно определять микрограммовые количества никеля

К раствору, содержащему 75—250 мкг никеля в 25 мл, добавляют 0,2 мл 1% ного раствора диметилдиоксима и 1 мл 2N  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Раствор кипятят 5 мин и после охлаждения фильтруют через стеклянный фильтр № 3, промывая горячим насыщенным раствором диметилдиоксима никеля и 5 мл воды. Осадок растворяют в 6 мл горячей 20% ной  $\text{HCl}$  и промывают фильтр еще двумя порциями  $\text{HCl}$  по 6 мл. Фильтрат собирают в колбу Эрленмейера и кипятят его 1 мин, после охлаждения раствор помещают в специальный сосуд Шульца для бромирования и разбавляют водой до 100—150 мл. Чтобы избежать влияния кислорода воздуха, в сосуде растворяют 0,5 г  $\text{KHC}_2\text{O}_4$ . К раствору добавляют хлористый бром ( $\text{BrO}_3^- + 2\text{Br}^- \rightarrow 3\text{Cl}^- + 6\text{H}^+ - 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{BrCl}$ ), раствор встряхивают и охлаждают в течение 15 мин. Затем добавляют 10 мл свежеприготовленного 5% ного раствора подката калия и выделившийся иод оттитровывают тиосульфатом.

Разработан [306] ванадатометрический метод определения никеля при помощи диметилглиоксима.

Осадок диоксима никеля растворяют в 7N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и окисляют 0,02N раствором  $\text{V}_2\text{O}_5(\text{SO}_4)_2$ , вводя его в избытке, который оттитровывают раствором соли двухвалентного железа. Грамм эквивалент никеля в этом методе составляет 1/8 его атомного веса.

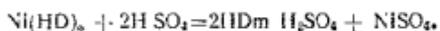
Результаты, полученные этим методом, всегда завышены, впрочем этого можно избежать, если раствор стандартизировать в условиях проведения опыта.

Предложен ряд методов косвенного определения никеля диметилдиоксिमом. Они основаны на растворении диоксима никеля в кислотах, например в  $\text{HCl}$



К осадку добавляют избыток 0,05*N* HCl при нагревании [1025] и оттитровывают избыток HCl по метиловому оранжевому Смирнов [297], проверив этот метод, установил, что переход окраски раствора в слабо желтый цвет в конечной точке неясен и предложил считать концом титрования момент появления розовой суспензии

Чугаев [358] считает, что на разложение 1 моля диоксимата никеля должно расходоваться 2 грамм эквивалента кислоты Смирнов [297] экспериментально установил, что расходуеться 4 грамм эквивалента кислоты Он объяснил это протеканием реакции



Однако, по данным Джонсона и Фрайзера [803], основность оксимного азота слишком мала, чтобы могли образовываться соли

Для массовых определений никеля в рудах разработан [174] ацидиметрический метод с использованием в качестве индикатора метилового оранжевого На 1 грамм эквивалент никеля также затрачивалось 4 грамма-эквивалента кислоты

Протекают следующие реакции [19]



Перечисленные методы не применяются широко, поскольку имеют довольно существенные недостатки Во-первых, ошибка в результатах очень велика вследствие того, что при взаимодействии с HCl образуется монооксим и солянокислый гидроксилламин не всегда количественно Во вторых, метод применим для узкого интервала количеств никеля, поскольку появление суспензии диоксимата при нейтрализации наступает тем раньше, чем больше общая концентрация соли никеля

Никель можно определять с помощью других оксимов Мионов [965] предлагает оксидиметрический вариант окончания определения никеля фенилдиоксимом, дифенилдиоксимом и другими оксимами.

### 3 ДРУГИЕ ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Немногочисленные прямые методы титрования никеля, основанные на реакции нейтрализации, как правило, применяются для определения довольно высоких его концентраций в чистых растворах, при этом получают сравнительно мало точные результаты

Растворы солей никеля, содержащих анион сильной кислоты, могут быть оттитрованы растворами щелочей в присутствии крезолфталеина [592] или фенолфталеина [341] Более точно точку эквивалентности можно установить потенциометрически [487]. В тех случаях, когда никель присутствует в виде солей слабых кислот или кислот средней силы, применяется метод обратного титрования

[132] Осажденную гидроокись никеля растворяют в избытке титрованной кислоты, избыток кислоты оттитровывают по метилоранжу

Еще один вариант ацидиметрического косвенного определения никеля предлагают Дубский и Хауер [608] Никель из раствора его солей осаждают дицианодамином Осадок после промывания на фильтре оттитровывают соляной кислотой по метиловому красному Грамм эквивалент никеля равен  $\frac{1}{4}$  его атомного веса

Из косвенных методов, основанных на реакциях окисления — восстановления, следует отметить следующие Никель, как и многие другие катионы, может быть осажден в виде оксалата из раствора, содержащего этанол или муравьиную кислоту (30% по объему) Осадок растворяют в серной кислоте и при нагревании оттитровывают раствором перманганата [586, 824] Метод довольно точен, но не селективен

Никель можно осадить антравилом натрия [1157] или 8 оксихинолином [1158] Полученные осадки растворяют в кислотах, бромруют смесь хлорамина В и бромида калия, выделившийся бром определяют иодометрически Осадок антравила и 8 оксиполлината никеля после растворения в кислотах можно оттитровать броматом потенциметрическим методом [844]

В аммиачном растворе ионы никеля образуют с гексаванадатом аммония осадок  $Ni(NH_3)_4V_6O_{16}$  или  $Ni(NH_3)_6V_6O_{16}$  [325] После растворения осадка в серной кислоте добавляют финилантрапиловую кислоту и титруют ванадат солью Мора Ошибки не превышают 0,1 мг Аналогично ионы никеля осаждают в виде  $Ni_6(NH_4)_3(AsO_4)_5$  и после растворения в кислоте мышьяк (V) оттитровывают иодометрически [372] Метод не уступает по точности диметилдиоксиматному

Титриметрические методы, основанные на реакции осаждения (комплексобразования) никеля, как правило, являются прямыми Ионы никеля осаждают раствором ферроцианида калия из растворов, не содержащих минеральных кислот Окончание титрования устанавливают с использованием электродов [425] Pt — Ni или Pt — SiC Ионы меди и благородных металлов восстанавливают свинцовой амальгамой в серноокислой среде [424] ( $Pb^{2+}$  удаляется одновременно в виде  $PbSO_4$ ), железо (II) и железо (III) маскируют фторидами Осадку приписывают следующий состав [424]



Тананаев и Левина [309] подробно исследовали титрование никеля раствором ферроцианида калия и установили, что следует применять эмпирический титр ферроцианида, найденный авторами состав осадка отличается от теоретического —  $K_4Ni_4[Fe(CN)_6]_3$

Феррицианид образует с никелем всегда осадок постоянного состава  $Ni_3[Fe(CN)_6]_2$ , что позволило разработать амперометрический метод титрования никеля [194, 347, 348] Раствор соли никеля в присутствии ацетата можно оттитровать двузамещенным фосфатом аммония Состав осадка  $NH_4NiPO_4 \cdot Ni_3(PO_4)_2$  Прибавляют избыток фосфата, который оттитровывают солью цинка потенциометрически [867] или амперометрически [850] Может быть использовано образование малорастворимого соединения  $Ni(Py)_4(SCN)_2$  [602, 814] К раствору, содержащему никель и пиридин, добавляют избыток роданида аммония, который оттитровывают затем по методу Фольгарда или меркурометрически в присутствии диэтилкарбазона [1179] Богнар [484] рекомендует для определения никеля растворять его пиридинроданидное соединение в 1*N*  $H_2SO_4$  и оттитровывать выделившийся роданид нитратом ртути (II) в присутствии кислородного голубого VS Определению мешает кобальт и все элементы, образующие осадки или комплексные соединения с роданидом Титрование раствором диэтилдитиокарбамината натрия возможно лишь после отделения никеля диметилглиоксимом от мешающих элементов [1132] Предложено два варианта потенциометрического титрования — с Ag электродом и визуальное, в присутствии эфира, флотирующего комплексное соединение никеля [772] Известен амперометрический вариант титрования [218]

Дитизон также используется как титриметрический реагент на никель Определение ведут в присутствии ацетата, последовательно встряхивая раствор соли никеля с порциями дитизона в хлороформе до получения чисто зеленого экстракта [130] или ведя титрование в присутствии  $Co^{60}$  в качестве индикатора [618] Рубе ановодородная кислота, а также антрацилат натрия используются для амперометрического титрования никеля [105] Титрование никеля с использованием в качестве осадителя селенита рекомендуется проводить кондуктометрически [595] Метод спектрофотометрического титрования раствором 1 нитрозо-2 нафта в  $N,N'$  диметилформамине дает возможность определить никель и медь при их совместном присутствии Титрование меди проводят при 600, а никеля при 525 мкм [1214] Способность ионов никеля образовывать стабильный комплекс с  $\alpha,\alpha'$  дипиридиллом была использована для титриметрического косвенного метода определения никеля К раствору соли никеля добавляют избыток  $\alpha,\alpha'$  дипиридила, который титруют 0,1*N* раствором  $AgNO_3$  в присутствии 2% ного раствора  $K_2S_2O_8$  Краснокоричневый осадок комплекса серебра с дипиридиллом растворяют в кислоте и ионы серебра оттитровывают по методу Фольгарда [540]

Для установления конечной точки при титриметрическом определении никеля часто используют кондуктометрический [723, 734, 1020], турбидиметрический [661], гетерометрический [480], объемно центрифугатный [1238] методы

Никель определяют кулонометрическим методом [904]

## Глава VI

### ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ

Никель, обладая незаполненной  $d$  оболочкой, образует интенсивно окрашенные соединения с бесцветными и цветными реагентами. Гидратированные ионы никеля также имеют зеленый цвет. Поэтому имеется большое число прямых методов фотометрического определения никеля. Ниже рассмотрены наиболее распространенные и перспективные методы<sup>1</sup>.

#### 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОКСИМОВ

Для фотометрического определения никеля наиболее часто применяются диоксимы и гораздо реже монооксимы. Никель образует с диоксимами два типа соединений: 1) внутрикомплексные соединения двухвалентного никеля ( $MA_2$ ), плохо растворимые в воде, но лучше растворимые (следовательно, экстрагирующиеся) в органических растворителях, 2) соединения, растворимые в воде, образующиеся в щелочном растворе в присутствии окислителя, никель проявляет валентность  $-3$  ( $-4$ ).

#### Определение никеля (II) оксимами

##### Диметилдиоксим

Внутрикомплексное соединение никеля с диметилдиоксимом ярко окрашено, мало растворимо в воде. Метод определения никеля основан на измерении оптической плотности суспензии диметилдиоксимата никеля в эфире [1007]. Спектр суспензии диметилдиоксимата никеля, снятый на спектрофотометре Ямасаки [1295], представлен на рис. 7. Суспензия стабилизируется добавлением к эфиру этанола и коллодия. Метод рекомендуется для анализа медно-никелевых сплавов.

<sup>1</sup> Чувствительность методов дана по критерию Сендела [641], Бланка [43], а где это возможно приведены рассчитанные молярные коэффициенты поглощения соответствующих окрашенных соединений.

Сплав растворяют в  $\text{HNO}_3$ , удаляют окислы азота раствор нейтрализуют аммиаком до перехода никеля и меди в аммиачные комплексы. Затем раствор подогривают, добавляют 15 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксима и переносят в десятилитровую воронку. Раствор охлаждают под краном и встряхивают с 15 мл эфира. Весь осадок диметилдиоксимата никеля переходит в стой эфира. Водный слой отбрасывают. Эфирный слой дважды промывают водой и переносят в кювету для измерения оптической плотности, куда добавляют 5 мл этанола и 5 мл коллодия. После разбавления эфиром до определенного объема измеряют оптическую плотность полученной суспензии.

Недостатком этого метода является необходимость работать с легколетучим эфиром и не очень устойчивой суспензией. Юца и Лангейм [816] исследовали на фотометре спектральную характеристику суспензии, полученной в водном растворе, определили максимум светопоглощения ( $\lambda = 553$  мкм), изучили влияние желатинны как стабилизатора, влияние ее собственного поглощения, а также влияние на устойчивость суспензии различных электролитов. Воспроизводимость результатов равна  $-0,1\%$ , для суспензии соблюдается закон Бера в интервале концентраций от 0,5 мг Ni/50 мл до 0,025 мг Ni/50 мл ( $v = 1600$ ). Кобальт образует слабо окрашенное растворимое соединение, причем интенсивность окраски его зависит от времени. Обычно небольшие количества кобальта не принимают во внимание. Если же содержание кобальта соизмеримо с содержанием никеля, то следует его собственное поглощение вычитать из поглощения исследуемых растворов, а в случае более чем 7 кратных количеств отделять предварительно экстракцией в виде  $(\text{NH}_4)_2[\text{Co}(\text{SCN})_4]$  смесью амилowego спирта и эфира. Цинк не мешает определению, перманганат ион следует восстановить сульфитом. Железо (III) и хром (III) отделяют ацетатным методом.

Для определения никеля поступают следующим образом. К нейтральному раствору, содержащему 0,5—0,025 мг никеля в колбе емкостью 50 мл, добавляют растворы 2,5 мл 1% ного  $\text{NH}_4\text{OH}$ , 10 мл 10% ного  $\text{NH}_2\text{NO}_2$ , 2,5 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксима, 1 мл 1% ного раствора желатинны и все перемешивают. После этого раствор разбавляют водой до метки и измеряют оптическую плотность на фотометре с зеленым светофильтром.

Диметилдиоксимат никеля склонен флотироваться на поверхности раздела водной и органической фаз [29, 160, 1193, 1201]. Это использовалось для увеличения чувствительности обнаружения никеля.

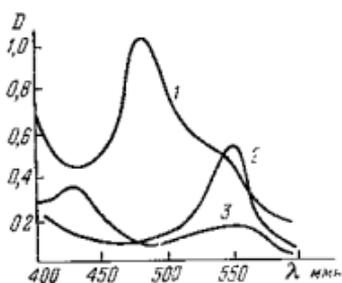


Рис. 7 Светопоглощение суспензий диоксиматов никеля

1 —  $\alpha$ -фурилдиоксимат, 2 — диметилдиоксимат, 3 —  $\alpha$ -бензилдиоксимат

Методы, основанные на измерении оптической плотности ста-  
билизированных суспензий, не получили такого широкого распро-  
странения, как экстракционные методы с применением неполяр-  
ных органических растворителей

Чугаев [358] отметил, что диметилдиоксимат никеля раство-  
рим в этаноле, эфире, бензоле, хлороформе, уксусной кислоте,  
пиридине и др. Растворы в этих растворителях окрашены в оранже-  
вый цвет, который отличается от цвета кристаллов диметилдиок-  
симата. Им впервые были сняты спектры поглощения ряда диок-  
симатов никеля в метаноле [355]. Позднее [440] была дана более  
подробная спектральная характеристика хлороформного раствора  
диметилдиоксимата никеля (табл. 41)

Таблица 41  
Молярные коэффициенты поглощения диоксиматов  
никеля [50, 440]

Решетка	$\lambda_{\text{макс}}$ соеди- нения с нике- лем, микр.	$\epsilon \cdot 10^{-4}$
Диметилдиоксим	265	24,5
	327	4,58
	378	3,43
1,2-Циклооксандрондиоксим	265	23,5
	333	5,02
	383	3,57
1,2-Циклооксепандрондиоксим	273	24,9
	330	5,05
	374	4,05
x Бензандиоксим	373	50,0
	361	9,9
	306	10,9
x Фурилдиоксим	295	51,0
	381	10,4
	335	19,0

Впервые экстракция диметилдиоксимата никеля использова-  
лась не для фотометрического определения, а для отделения нике-  
лети от других элементов, в частности, при определении никеля  
в граните [1106]. Экстракционный метод был применен для фото-  
метрического определения никеля в присутствии кобальта [732].  
Экстракция производится хлороформом из лимоннокислых ра-  
створов.

Бабко и Михельсон [21] подробно исследовали условия эк-  
стракции, определили растворимость диоксимата никеля в ряде  
органических растворителей. Кроме того, эти авторы установили,

что соотношение водной и органической фаз не влияет на успех экстракции

С помощью радиоактивного изотопа  $Ni^{63}$  было показано, что, начиная с концентрации 2 мкг в 300 мл водного раствора, никель экстрагируется хлороформом количественно [563]. Коэффициент распределения диметилдиоксимата никеля в системе  $CHCl_3 - H_2O$  равен 230 [263].

Существенным недостатком следует считать малую растворимость самого диметилдиоксима в воде. Было предложено [1002]

использовать щелочной раствор диметилдиоксима. Избирательность фотометрического определения никеля такая же, как и гравиметрического метода. Однако такие элементы, как кобальт и медь, образующие довольно хорошо растворимые в воде соединения, мало препятствующие выделению осадков диметилдиоксимата, все же экстрагируются в виде диоксиматов. Но диоксиматы этих элементов легко реэкстрагируются щелочами, аммиаком и тиосульфатом натрия.

Несмотря на высокую избирательность, экстракционно-фотометрический метод не получил распространения до работ Нильша [999, 1000, 1001, 1004], который обратил внимание на высокую чувствительность метода при измерении оптической плотности в ближней ультрафиолетовой области спектра (рис 8) в области длин волн 330—380 мкм. Это позволило уменьшить количества определяемого никеля с 250 мкг (Бастингс) до 5 мкг (Нильш). Нулевой хлороформный раствор должен содержать диметилдиоксим, так как, по данным Кристоферсона и Сендела [579a], реагент заметно растворим в хлороформе (0,052 г/л) и его растворы поглощают лучистую энергию в области поглощения соединения (350—380 мкм).

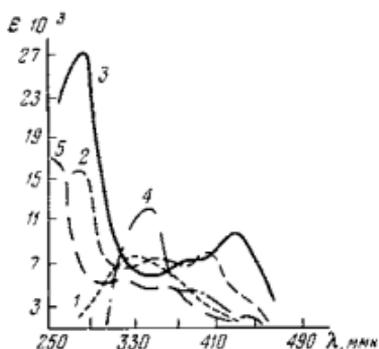


Рис 8 Светопоглощение хлороформных соединений никеля

1 — с Феналдиоксимом, 2 — с  $\alpha$ -бензилдиоксимом, 3 — с Фурилдиоксимом, 4 — с Зилдиоксимом, 5 — с диметилдиоксимом

Анализируемый раствор, содержащий 50—130 мкг никеля, помещают в делительную воронку, добавляют 20 мл 25% ного раствора тартрата натрия (в случае, если анализируемый материал содержит железо) и 2 мл  $NH_4OH$  (уд в 0,91). Затем добавляют 10 мл 5% ного раствора диметилдиоксимата натрия и встряхивают 1 мин с 30 мл  $CHCl_3$ . Экстракт сушат добавлением 2 г  $Na_2SO_4$  в колбе Эрленмейера емкостью 50 мл и измеряют светопоглощение на фотометре с фиолетовым светофильтром.

В дальнейшем экстракционно-фотометрический метод определения никеля диметилглиоксимом развивался в направлении увеличения его чувствительности путем использования более далекой ультрафиолетовой области спектра

В нашей лаборатории изучалась возможность определения ультрамалых количеств никеля диметилдиоксимом с использованием самого коротковолнового максимума поглощения диоксимата ( $\lambda = 265$  мкм,  $\epsilon = 24500$ ) Избыток реагента, поглощающего в этой области и экстрагирующегося хлороформом, удалялся реэкстракцией 0,1*N* раствором щелочи Предложенная методика позволяет определить 0,05 мкг/5 мл никеля

#### $\alpha$ -Фурилдиоксим и $\alpha$ -бензилдиоксим

Чувствительность метода определения никеля в виде диметилдиоксимата с экстракцией хлороформом при измерении оптической плотности в видимой области спектра ( $\epsilon = 3430$  при  $\lambda = 374$  мкм) уступает чувствительности метода с использованием других диоксиминов (см табл 41)

$\alpha$ -Фурилдиоксим и  $\alpha$ -бензилдиоксим образуют с ионами никеля комплексные соединения, характеризующиеся высокими коэффициентами молярного погашения в видимой ( $\alpha$ -фурилдиоксим) и ультрафиолетовой областях спектра (см рис 8)

Соединения с  $\alpha$ -фурилдиоксимом в видимой области спектра характеризуются достаточно высоким коэффициентом молярного погашения ( $\epsilon = 19000$ ,  $\lambda = 435$  мкм) Это дает возможность определять малые количества никеля Большое различие в растворимости соединений никеля с этими диоксиминовыми в воде и хлороформе позволяет разработать высокочувствительные экстракционные методы определения никеля В ультрафиолетовой области спектра определение мешает поглощение самих реагентов Поэтому избыток  $\alpha$ -бензилдиоксима реэкстрагируют раствором щелочи При такой операции [252]  $\alpha$ -фурилдиоксимат никеля разрушается

Реакция образования комплексного соединения никеля с  $\alpha$ -фурилдиоксимом подробно изучена Галером, Митчелом и Мелтоном [697] Они установили, что полная экстракция диоксимата хлороформом наблюдается в узком интервале рН раствора от 7,5 до 8,3 В качестве экстрагентов были исследованы хлороформ, 1,2 дихлорбензол, диэтиловый эфир, этилацетат, четыреххлористый углерод Полярные растворители, как и амиловый спирт, изоамиловый спирт и некоторые другие, не экстрагируют  $\alpha$ -фурилдиоксимат никеля Минимально определяемое абсолютное количество никеля составляло 10 мкг Дальнейшее изучение было выполнено Пешковой с сотр [255], Тейлором [1220], Стантоном и Купом [1185] Ямасакэ [1294] подробно изучил сам реагент и отношение его изомеров к различным ионам металлов Тейлор [1220] исследовал влияние различных ионов на кинетику реакции никеля с  $\alpha$ -

фурилдиоксимом и установил, что при концентрации щелочных металлов  $> 0,1M$  для количественного экстрагирования необходимо увеличивать продолжительность встряхивания. Пешкова и сотр. [252] показали, что в присутствии, например,  $1N$  винной кислоты экстракцию микрограммовых количеств никеля следует проводить не менее чем 15 мин [252]

Было установлено [252], что при концентрации этанола, равной 20% по объему, чувствительность реагента возрастает, без этанола  $\epsilon = 19000$ , в присутствии этанола  $\epsilon = 22000$ . Это можно объяснить изменением диэлектрической постоянной среды [264]

Для определения никеля с помощью  $\alpha$  фурилдиоксида можно рекомендовать следующие условия: в делительные воронки помещают анализируемый раствор, содержащий 0,03—5,00 мкг никеля доводят рН раствора до 9,0—9,5<sup>1</sup> по универсальной индикаторной бумаге добавлением 0,15M раствора двухзамещенного фосфата натрия оставляют стоять на 15 мин и экстрагируют диоксимаг, в зависимости от количества никеля, 2,5 или 5 мл хлороформа, встряхивая 15 мин на вибраторе. Светопоглощение хлороформных экстрактов измеряют при 435—438 мкм относительно хлороформного раствора, прошедшего все стадии обработки, но не содержащего никеля.

Никель можно определять, измеряя оптическую плотность суспензии  $\alpha$  фурилдиоксимата никеля, стабилизированной 1% ным раствором желатины, при 480 мкм [1295]

$\alpha$  Бензилдиоксим как реагент для экстракционно фотометрического определения никеля изучался японскими исследователями [1239, 1294]. Оптимальное значение рН для полной экстракции соединения никеля находится в области (8,8—11,4) [1239]. Избыток реагента в экстракте удаляют раствором щелочи. Минимальная определяемая концентрация никеля равна 1 мкг/мл.

Кривая светопоглощения экстракта соединения никеля с  $\alpha$  фурилдиоксимом показывает [251], что оптическую плотность можно измерять при длинах волн 275, 388 и 406 мкм. Для работы выбрана первая полоса поглощения, избыток  $\alpha$  бензилдиоксида удаляют раствором щелочи. Добавка этанола улучшила экстракцию  $\alpha$  бензилдиоксимата никеля (рис 9). Минимальная определяемая этим методом концентрация никеля равна  $1 \cdot 10^{-3}$  мкг/мл.

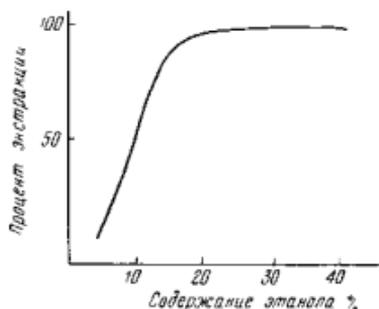


Рис 9 Влияние этанола на экстракцию  $\alpha$  бензилдиоксимата никеля

<sup>1</sup> При повышении рН раствора до 10 происходит разрушение окрашенного соединения, которое вновь образуется при добавлении уксусной кислоты

Если никель определяют  $\alpha$  бензилдиоксидом в присутствии кобальта и меди, которые образуют окрашенные экстрагируемые комплексы, то экстракт обрабатывают раствором едкого щелочи соединения меди удаляется полностью, кобальта — частично. Но из-за низкого молярного коэффициента погашения соединение кобальта не мешает определению, если присутствует не более чем в 10 кратном количестве. Для определения никеля поступают следующим образом:

В делительные воронки емкостью 50 мл помешают анализируемый раствор, содержащий 0,005—5 мкг никеля, добавляют 2 мл 10% ного раствора тартрата натрия — калия, 2 мл 0,02% ного раствора  $\alpha$  бензилдиоксида, содержащего 0,002% едкого натра, и этанол в таком количестве, чтобы содержание его в водном растворе было не менее 20%. Содержимое воронки перемешивают и встряхивают с 5 мл хлороформа 2 мин на вибрационном аппарате.

После разделения фаз (через 1—2 мин) осторожно отделяют водный слой пипеткой и контролируют точность экстракции по величине pH водного раствора по сте экстракции, которая должна находиться в интервале 8—11. Хлороформный экстракт промывают двумя порциями по 5 мл 1N NaOH 2 мин. Оптическую плотность хлороформного экстракта измеряют при 275 мкм относительно хлороформа, обработанного в условиях указанных выше и содержащего такое же количество взятых реагентов (но без никеля).

### Другие диоксиды

Для экстракционно-фотометрического определения никеля применяются воднорастворимые оксиды диоксид циклогександиона и его производные 4 метил-, 4 изопропил, диоксид циклогептандиона и циклопентандиона (см стр 15,27). Эти реагенты менее чувствительны, чем  $\alpha$  бензилдиоксид. Относительно большая растворимость реагентов в воде и широкий диапазон значений pH полной экстракции соединения никеля способствует их успешному применению в анализе.

1,2 Циклогександиондиоксид как реагент для фотометрического определения никеля не применяется достаточно широко из-за низкой растворимости его комплекса в хлороформе. Джонсон и Ньюмен [800, 801] пытались использовать реагент для отделения никеля, применив бензол как экстрагент. Диоксидат собирается на границе двух фаз. Определение заканчивают визуальное после экстракции никеля в водную фазу, сравнивая полученную суспензию с серией эталонов. Такое окончание определения связано с малой растворимостью соединения почти во всех органических растворителях, за исключением хинолина, а также фенола [977].

В отличие от неполярных органических растворителей, оптическая плотность хинолиновых растворов никельдиоксидата непостоянна до  $\lambda = 425$  мкм, поэтому рекомендуется измерять оптическую плотность в области длин волн  $\lambda = 436$  мкм, где  $\epsilon = 1400$ , хотя при измерении в ультрафиолетовой области метод более чувствителен (рис 10).

Влияние кобальта можно устранить маскировкой цианидом [801] или экстракцией комплексного роданида этилацетатом или смесью амитового спирта и эфира

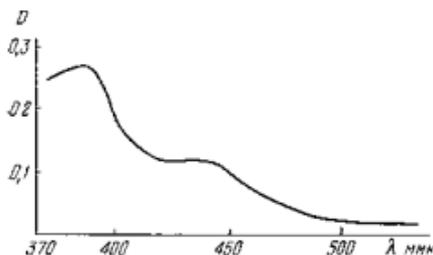


Рис 10 Светопоглощение раствора оксимата никеля в хинолине

Из синтезированных 4 метил, 4 изопропил, 4 тетрамино, 3 этил и других производных 1,2 циклогександиоксима наиболее перспективными оказались два первых ввиду простоты их синтеза и довольно высокой растворимости в воде (для 4 метилпроизводного она равна 3,4 г/л, для 4 изопропилпроизводного — 0,75 г/л) и высокой растворимости их соединений с никелем в неполярных органических экстрагентах

Бленди и Симпсон [478] исследовали 4 метилциклогександиондиоксим (рис 11) и разработали фотометрический метод определения никеля, основанный на экстракции толуолом соединения никеля ( $\epsilon = 3300$  при  $\lambda = 365$  мкм) Экстракция проводилась при pH водного раствора 5,0—5,5, соединение никеля образуется при pH 3—7 в присутствии ванадия, меди, тория, железа, хрома Метод позволяет определить 5 мкг Ni/25 мл с ошибкой  $\pm 1,2\%$ .

Анализируемый раствор, содержащий 5,1 мкг никеля помещают в делительную воронку емкостью 50 мл и добавляют небольшое количество 20% ного раствора винной кислоты для предотвращения гидролиза ионов ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ), затем добавляют 1 мл 10% ного раствора ацетата натрия и разбавляют до объема 30 мл дистиллированной водой Экстрагируют соединение никеля 25 мл толуола (очищенного от тиофена) при встряхивании в течение 2 мин После расщепления фильтруют толуольный раствор через бумажный фильтр и измеряют его оптическую плотность при 365 мкм

Экстракция комплексного соединения никеля с 4 изопропил-1,2 циклогександиондиоксимом изучалась рядом исследователей [479, 767, 916] Можно осадить сначала никель этим реагентом из водного раствора [767], а затем извлекать осадок хлороформом, толуолом [479], ксилолом [916] Преимущество ксилола — его малая растворимость в воде, высокая скорость экстракции оксимата, четкое и быстрое разделение фаз, большая величина коэффициента

распределения комплексного соединения ( $q = 1000$ ), в 5 раз превышающая коэффициент распределения в случае использования хлороформа ( $q = 210$ ) Оптимальный интервал pH при экстракции

7—8, максимальное светопоглощение наблюдается при  $\lambda = 335$  мкм ( $\epsilon = 5000$ ) и при 385 мкм ( $\epsilon = 4000$ )<sup>1</sup>

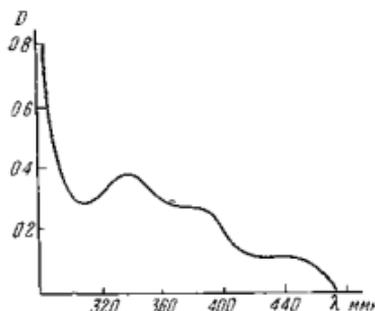


Рис 11 Светопоглощение 4-метилпио ксидата никеля в толуоле

В делительную воронку помещают анализируемый раствор, содержащий 10—150 мкг Ni и создают pH ~ 7 до бавлением 10 мл 1M раствора ацетата аммония, затем добавляют 2 мл насыщенного раствора диоксида Объем раствора доводят до 100 мл (если объем раствора будет > 100 мл то на каждые дополнительные 100 мл раствора добавляют по 2 мл раствора диоксида) Через 30 мин добавляют 10 мл кислоты, встряхивают содержимое воронки 2 мин (если объем раствора превышает 500 мл, то встряхивают более 2 мин)

Экстракт отделяют и измеряют его оптическую плотность при 383 мкм

Реагент при pH 7 почти весь находится в водной фазе и измерению не мешает (его коэффициент распределения равен 0,46) Оптическую плотность измеряют относительно раствора, полученного аналогично но не содержащего никеля Определению мешают железо, кобальт и медь в соотношениях к никелю 20 1, 2 1 8 1 соответственно

1,2 Циклогептандиондиоксид (гептоксид) — аналог циклогександиондиоксида, образует с ионами никеля комплексное соединение, хорошо экстрагируемое органическими растворителями Гептоксидат никеля растворим в хлороформе примерно в 10 раз больше, чем диметилглиоксидат никеля ( $5,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л [706])

Предложен [706] экстракционно фотометрический метод определения никеля этим реагентом с применением хлороформа, медь маскируют тиосульфатом Остальные элементы не мешают реакции Интервал значений pH экстракции 3,8—11,7 Позднее было установлено [259], что этот интервал равен 5,4—12,75 при определении малых количеств никеля Предложен метод определения никеля 1,2 циклогептандиондиоксидом в присутствии больших количеств меди (соотношение никеля к меди равно 1 1000) Минимально определяемая концентрация никеля 0,04 мкг/мл

Кобальт, хотя и образует окрашенное экстрагируемое соединение, не мешает из-за низкого коэффициента молярного погашения, если присутствует в соизмеримых количествах (рис 12)

<sup>1</sup> Величины  $\epsilon$  вычислены авторами

Анализируемый раствор содержащий 1—5 мкг Ni, переводят в делительную воронку емкостью 50 мл, добавляют 1—5 мл 0,02% ного водного раствора реагента разбавляют водой до объема 15 мл и устанавливают pH 5,4—12,75 раствором ацетата натрия или аммиака. После перемешивания растворы оставляют стоять 1 час, затем экстрагируют тремя порциями хлороформа по 5 мл каждая 5 мин на вибрационном аппарате. Хлороформные растворы сливают в мерные колбочки и доводят объем до 50 мл. Оптическую плотность измеряют при 377 мкм относительно хлороформа.

Ультрамалые количества никеля (0,001 мкг/мл) определяют измерением оптической плотности при  $\lambda = 263$  мкм ( $\epsilon = 2,49 \cdot 10^4$ ).

1,2 Циклодекандиоксим образует с ионами никеля соединение, экстрагируемое изоамиловым спиртом [569]. Его растворы в смеси этанола и изоамилового спиртов имеют максимум светопоглощения при 385 и 330 мкм ( $\epsilon = 4240$  и  $4830$  соответственно). Но этот реагент не имеет преимуществ перед диметилдиоксимом.

Из других менее распространенных диоксимов изучены фенилдиоксим и анизилдиоксим [261] (см стр 22, 106). Соединение никеля с фенилдиоксимом хорошо извлекается органическими растворителями (бензолом, хлороформом, дихлорэтаном) при pH от 5,2 до 9,0. Молярный коэффициент поглощения при измерении с синим светофильтром (см рис 8) ( $\lambda_{\text{эффективный}} = 428$  мкм) равен 4500. Добавление пиридина немного повышает чувствительность реакции ( $\epsilon = 5700$ ). Для экстрактов соблюдается закон Бера в интервале концентраций 1—100 мкг/10 мл хлороформа.

Анизилдиоксимат никеля экстрагируется при pH 6—11. Полоса максимального поглощения лежит при 350 мкм ( $\epsilon = 8000$ ) (см рис 8). Наилучшим экстрагентом является хлороформ. Закон Бера соблюдается в интервале концентраций 2—100 мкг Ni/10 мл.

Пирс и Пфлаум [1029] для фотометрического определения никеля применяют оксимидоксим. Образующееся соединение никеля растворяется в кислотах, щелочах и формамиде. Его природа не выяснена.

Кроме того, для фотометрического определения никеля был предложен циклогексантриоксим [685]

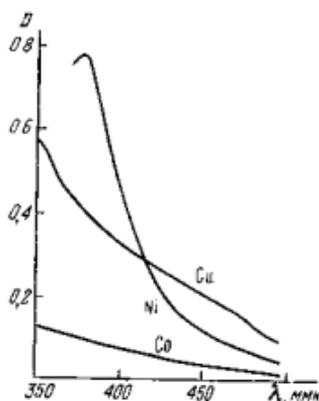
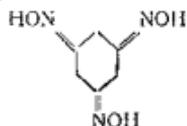


Рис 12 Светопоглощение гептоксимов металлов в хлороформе

Образующаяся при добавлении реагента к раствору никеля суспензия при pH 3—6 стабилизируется желатиной. Максимум поглощения находится при  $\lambda = 560$  мкм. Чувствительность реакции 6 мкг/мл Ni. Мешают  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ .

### Определение никеля диоксимами в присутствии окислителей

#### Диметилдиоксим

В щелочной среде в присутствии окислителя никель образует с диметилдиоксимом интенсивно окрашенное в красный цвет соединение [641]. Кривая светопоглощения показана на рис. 13 (соединение получено в присутствии  $\text{NH}_4\text{OH}$  и  $\text{NaOH}$ ) [260, 768]. Вероятно, состав комплексов, образующихся через разные промежуточные времена, неодинаков. Одно соединение содержит два моля диметилдиоксима на один атом никеля, другое — четыре моля диметилдиоксима на один атом никеля. Диметилдиоксим в присутствии окислителя был использован для фотометрического определения никеля [1089]. В качестве окислителя использовались бром [381, 571, 920, 942, 966, 989, 1130], иод [713, 29, 755], персульфат аммония [97, 774, 943] и др.

Была изучена устойчивость возникающей окраски в водном и этанольном растворах и влияние некоторых посторонних ионов на светопоглощение комплексного соединения никеля [966], исследовано влияние количеств диметилдиоксима на светопоглощение [714].

Никель можно определять в присутствии марганца, железа, меди, кобальта, при использовании тартрата натрия для маскировки [725]. Более подробно изучено влияние меди и кобальта [260]. При высоких концентрациях медь и кобальт мешают определению никеля и по своему влиянию на величину светопоглощения раствора никеля 200 частей меди соответствуют двум частям никеля, 300 частей кобальта — пяти частям никеля. Рекомендуется отделять никель (II) в виде диметилдиоксимата с последующим определением его диметилдиоксимом в присутствии окислителя.

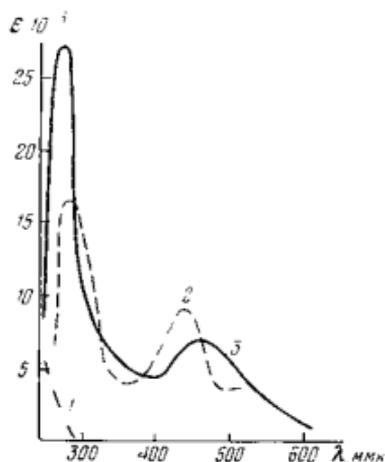


Рис. 13 Светопоглощение водного раствора диметилдиоксима (1), диоксимата никеля в присутствии окислителя в аммиачной среде (2), никельдиметилдиоксимата в присутствии окислителя в щелочной среде (3)

Определение никеля при окислении иодом [257]

К 20 мл испытуемого раствора, содержащего 0,005—0,1 мг Ni в мерной колбе емкостью 50 мл, добавляют 0,5 мл 0,05 M раствора иода, 0,5 мл 0,05 M этанольного раствора диметилдиоксима, 25 мл 1 N раствора щелочи и объем доводят водой до 50 мл. После перемешивания измеряют оптимальную плотность раствора на фотоколориметре ФЭК М, ФЭК Н 52, 54, 57 или фотометре. Эталонные растворы готовят аналогично, обязательно при таком же исходном объеме раствора, содержащего никель, и соблюдая указанный порядок прибавления реактивов.

Определение никеля при окислении бромной водой [1106]. К раствору, содержащему 5 мкг Ni, добавляют 10 капель бромной воды, такое количество концентрированного раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$ , которое необходимо для полного исчезновения окраски брома, и еще избыток его 1 мл. Затем добавляют к охлажденному до комнатной температуры раствору 1 мл диметилдиоксима и разбавляют водой до объема 25 мл. Через 5 мин измеряют оптическую плотность растворов.

Сендел рекомендовал в каждом случае подбирать длину волны учитывая что наивысшая чувствительность достигается при 450 мкм, но при 560 мкм растворы дольше сохраняют во времени неизменную оптическую плотность. Оптическую плотность измеряют с зеленым светофильтром.

Для определения никеля по другому варианту переносят слегка подкисленный раствор содержащий 10—150 мкг Ni, в колбу емкостью 100 мл, добавляют 1 мл бромной воды, 4 мл концентрированного раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$ , 35 мл 95% ного эта нола и 20 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксима. Раствор разбавляют водой до метки и измеряют оптическую плотность на фотометре с зеленым светофильтром.

Определение никеля при окислении персульфатом аммония [97]. В мерную колбу емкостью 100 мл помещают исследуемый раствор, содержащий не менее 5 мкг никеля. Раствор нейтрализуют 5 мл 5% ного раствора КОН забалтывают, приливают 10 мл 3% ного раствора персульфата аммония и вновь перемешивают. После этого приливают при перемешивании 10 мл щелочного раствора диметилдиоксима (1%-ный раствор реагента в 5% ном растворе КОН). Через 2—3 мин содержимое колбы разбавляют дистиллированной водой до метки и измеряют оптическую плотность.

## Другие диоксимы

Другие  $\alpha$  диоксимы также могут быть использованы для определения никеля в присутствии окислителей. Наиболее изучен диоксим циклогександиона. Окислителями могут быть иод, бромная вода, персульфат аммония [265]. Иод и персульфат аммония дают наиболее интенсивное и устойчивое окрашивание растворов.

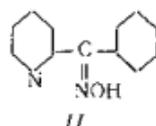
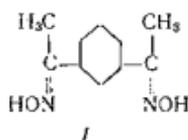
Определение никеля диоксимом циклогептандиона возможно в присутствии окислителя в щелочной среде ( $\text{pH} \sim 11,3$ ), создаваемой аммиаком [649]. Оптическая характеристика соединения напоминает характеристику для соединения с диметилдиоксимом и диоксимом циклогександиона [695]. Начальный спектр принадлежит метастабильному комплексу с полосами максимального поглощения при 445 и 530 мкм. Окраска становится стабильнее, если для подщелачивания раствора до  $\text{pH} 12,1$  вместо аммиака использовать NaOH. При этом сразу получается комплекс с полосой максимального светопоглощения при 457—600 мкм. По чувствительности гептоксим и ниоксим превосходят диметилдиоксим (табл. 42).

Таблица 42

Молярные коэффициенты погашения диоксиматов никеля

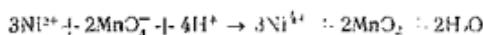
Диоксим	$\lambda_{\text{макс}}$	$\epsilon$
Диметилдиоксим	443	14 000
	536	6 100
Гептоксим	443	15 300
	531	6 400
Диоксим циклогександиона	443	15 000
	537	5 700

2,6-Диацетилпиридилдиоксим (I) и фенил 2-пиридилкетоксим (II) [741] дают в слабощелочных растворах, содержащих никель, желто-оранжевую окраску.



В присутствии окислителей периодата калия, иода, брома, двуокиси свинца образуются соединения голубого цвета (для диоксима) и серо-голубого (для монооксима). Молярные коэффициенты погашения для первого соединения равны 20600 (при 403 мк) и 14200 (при 585 мк), а для второго — 9000 (при 587 мк). Отношение никеля к оксиму в обоих соединениях составляет 1 : 3.

Потенциометрическим титрованием установлено, что реакция протекает по уравнению



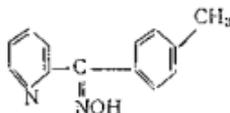
Окисление никеля периодатом было изучено методом изомолярных серий



Для диоксима, представляющего собой смесь стереоизомеров, не удалось установить соотношение никеля к реагенту, но для монооксима оно оказалось равным 1 : 3. В выделенном в чистом виде диоксимате никеля соотношение никеля к реагенту равно 1 : 2.

Никель (II) окисляется в присутствии этих оксимов легко почти всеми окислителями при pH 7—9,5, а висмутатом натрия — даже в уксуснокислой среде

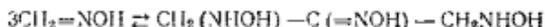
Можно определить никель с никотинамидооксимом [1232]



В щелочной среде (pH 10,5—11,5) в присутствии иода получается окрашенное в голубой цвет воднорастворимое соединение, для его растворов соблюдается закон Бера в интервале концентраций 0,3—10 *мкг/мл*

В присутствии окислителей, обычно кислорода воздуха, никель определяют при помощи формальдоксима ( $\text{CH}_2 = \text{NOH}$ ), который был рекомендован Дениже [591]. Для окрашенных растворов комплексного соединения соблюдается закон Бера [659] в интервале 0,06—20 *мкг Ni*.

Окрашенному соединению приписывают формулу  $\text{Ni}^{\text{IV}}\text{A}_6^{2-}$  [1015], где  $\text{A} = \text{CH}_2\text{NO}^-$ . Вероятно, комплексное соединение никеля образуется с полимеризованной формой реагента [204]



Приготовленному реактиву рекомендуется стоять 24 часа для протекания процесса полимеризации. Растворы окрашенного комплексного соединения имеют полосу максимального поглощения при 470 *нм* ( $\epsilon = 19000$ ). Соединение стабильно при  $\text{pH} > 12$ , в присутствии тартрата или комплексона III никель не реагирует с формальдоксимом. Из окислителей наиболее подходящим является кислород воздуха, поскольку другие окислители разлагают полимер. Комплексное соединение устойчиво 2 часа.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ СЕРУСОДЕРЖАЩИМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ РЕАГЕНТАМИ

### Диэтилдитиокарбаминат натрия

Диэтилдитиокарбаминат натрия (ДДТК) не имеет преимуществ по сравнению с другими органическими реагентами для определения никеля из-за малой селективности. Ионы меди и кобальта образуют окрашенные соединения с ДДТК и мешают определению никеля. Экстракция ДДТК различными растворителями была изучена Боде [481], он определил период полураспада реагента в зависимости от pH раствора (табл. 43).

pH	2,0	3,0	4,0	4,5	5,0
Период полураспада	0,3 сек	3 сек	30 сек	1,5 мин	4,9 мин

Бюде изучил также распределение ДДТК между водным раствором и четыреххлористым углеродом (рис 14)

С никелем ДДТК образует комплексное соединение желто-зеленого цвета  $NiA_2$ , легко экстрагируемое неводными растворителями. Спектр соединения представлен на рис 15 [565]

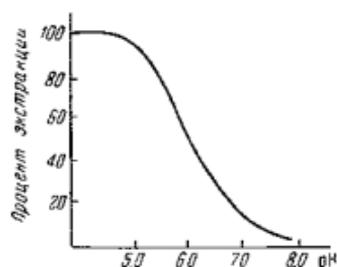


Рис 14. Кривая распределения ДДТК в системе  $CCl_4 - H_2O$

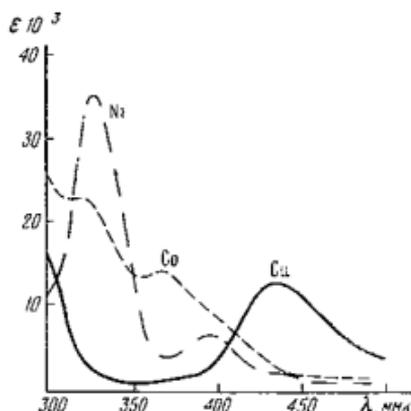


Рис 15. Светопоглощение диэтилдитиокарбаминатов металлов в хлороформе

Был изучен ряд экстрагентов — бромбензол,  $CHCl_3$ ,  $CCl_4$ , изоамиловый спирт, из которых последний оказался наилучшим, поскольку фазы быстро расслаиваются. Кроме изоамилового спирта, для экстракции диэтилдитиокарбомата никеля применяется хлороформ. Комплексное соединение никеля экстрагируется при pH выше 8. Чувствительность реакции высока ( $\epsilon = 35 \cdot 200$ )

Единственным, но существенным недостатком реагента является его малая селективность, поэтому он применяется после отделения никеля от сопутствующих элементов осаждением или экстракцией в виде диметилглиоксимата, хроматографическим методом и др. Совместное фотометрическое определение никеля, кобальта и меди этим реагентом возможно при использовании спектрофотометра [555, 994, 1107]

в зависимости от pH

5,0	6,0	7,0	8,0	9,5	9,0
10,5 мин	51 мин	8,3 часа	3,5 дня	11 дней	35 дней

Спектральная характеристика диэтилдитиокарбаминатов перечисленных металлов приведена на рис 15. Полосы максимального поглощения для меди, кобальта и никеля даются при 436, 367 и 328 мкм соответственно. В табл 44 приведены молярные коэффициенты погашения для этих длин волн.

Таблица 44

Молярные коэффициенты погашения  
диэтилдитиокарбаминатов меди,  
кобальта и никеля

Элемент	$\lambda$ , мкм		
	436	367	328
Медь	12850	1260	2230
Кобальт	2260	14340	21520
Никель	1720	3910	35210

В качестве экстрагента используют хлороформ. Определению мешают кадмий, ртуть, цинк, олово, так как образующиеся осадки с ДДТК легко флотируются. Из анионов мешают те, которые образуют комплексные соединения с определяемыми катионами. Определению мешает также висмут. Ряд мешающих определению катионов маскируют цитратом и пирофосфатом.

Содержание металлов рассчитывают следующим образом [1107]

Если присутствуют два элемента

$$\begin{cases} [Cu] 10^5 = 7,85 D_{436} - 0,38 D_{367}, \\ [Ni] 10^5 = 2,86 D_{328} - 0,50 D_{436}, \\ [Co] 10^5 = 8,39 D_{367} - 0,93 D_{328}, \\ [Ni] 10^5 = 3,42 D_{328} - 5,20 D_{367}. \end{cases}$$

Если присутствуют три элемента

$$\begin{cases} [Cu] 10^5 = 7,93 D_{436} - 1,03 D_{367} - 0,27 D_{328}, \\ [Co] 10^5 = 8,48 D_{367} - 0,91 D_{328} - 0,67 D_{436}, \\ [Ni] 10^5 = 3,42 D_{328} - 5,19 D_{367} - 0,68 D_{436}. \end{cases}$$

Методика несколько видоизменяется применительно к определению никеля в присутствии уранил-иона [436, 556]

Если необходимо определять только никель [1107], то его отделяют от мешающих элементов и затем поступают следующим образом

К кислому раствору содержащему никель, добавляют 5 мл цитратного буферного раствора (20% ный двузамещенный цитрат аммония с добавлением  $\text{NH}_4\text{OH}$  до pH 9,0—9,5, этот раствор очищают экстракцией хлороформом в присутствии диэтилдитиокарбамата), слегка подщелачивают концентрированным  $\text{NH}_4\text{OH}$  (избыток 10 капель) и при титруют 5 мл 0,20% ного водного раствора диэтилдитиокарбамата натрия. Экстрагируют с помощью 10 мл изоамилового спирта 2 мин. Измеряют оптическую плотность при 385 мк.

Для фотометрического определения никеля успешно используются бис (2 оксиэтил) дитиокарбамат [1300], бис (оксиэтил)-дитиокарбамат [436, 1037] и некоторые другие.

### Рубеановодородная кислота дитиооксамид и ее производные

Растворы рубеановодородной кислоты бесцветны или слегка окрашены в желтый цвет, они поглощают лучистую энергию в ближней УФ области до 400 мкм (рис 16). Комплексное соединение

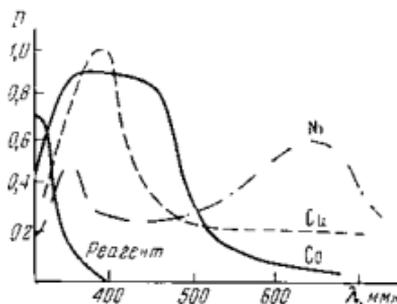


Рис 16 Светопоглощение рубенатов металлов

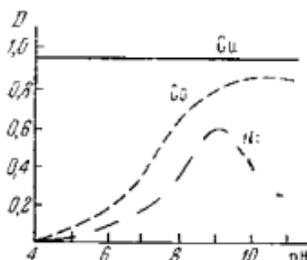


Рис 17 Зависимость образования рубенатов металлов от значения pH водного раствора

никеля окрашено в голубой цвет, растворимо в пиридине, триэтиламине, дioxане, ацетоне.

Наибольший интерес для фотометрического определения никеля представляет раствор комплекса в пиридине розового цвета. Максимум поглощения находится при 350 мкм [639], при этом реагент не поглощает свет, для растворов соблюдается закон Бера при концентрациях никеля  $> 1$  мкг/мл. Окрашенное соединение никеля лучше всего образуется при pH от 9,0 до 10,0 (рис 17). В некоторых работах рекомендуется интервал pH 9,5—10,5 [1287, 1299].

Никель можно отделить в водной среде в виде соединения голубого цвета, при этом получают не истинные, а коллоидные растворы (требуется стабилизация). Такие растворители, как бензол, толуол, хлороформ, не экстрагируют окрашенное соединение [по предположению Енсена [778], это соединение является полимером, в пиридиновом растворе розового цвета имеется мономер

Метод определения никеля рубановодородной кислотой очень чувствителен как в присутствии пиридина, так и в водной среде, но необходимо отделение никеля от кобальта, железа, меди

Рубановодородная кислота образует с кобальтом, железом и многими элементами сероводородной группы и группы сульфида аммония окрашенные комплексные соединения (см рис 15) Это используется для совместного определения никеля, кобальта и меди этим реагентом в водном растворе [788] Полосы максимального поглощения (рис 16) находятся для меди при 385 мк, для кобальта при 370 мк или 440 мк, для никеля при 640 мк (табл 45)

Т а б л и ц а 45

Молярные коэффициенты поглощения рубановодородной кислоты меди, кобальта и никеля

Элемент	$\lambda$ , мк		
	385	440	640
Никель	4300	3920	8930
Кобальт	12950	12500	618
Медь	15800	6060	4010

Оптимальным значением pH раствора для определения всех трех элементов является  $9,0 \pm 0,3$  Защитным коллоидом служит 1%-ный раствор гуммиакции.

К раствору, содержащему ионы меди, никеля и кобальта, в колбах емкостью 25 мл добавляют 4 мл защитного коллоида, 3 мл  $1,5 \cdot 10^{-3}$  M водного раствора реагента, доводят pH до  $9,0 \pm 0,3^1$  и разбавляют растворы до метки Оптическую плотность измеряют при 385 440 и 640 мк

Содержание металлов вычисляют по следующим формулам  
Если присутствует только никель

$$[\text{Ni}] \cdot 10^5 = 11,2 \cdot D_{640}$$

Если присутствуют два элемента

$$\begin{cases} [\text{Cu}] \cdot 10^5 = 7,23 D_{385} - 3,53 D_{440}, \\ [\text{Ni}] \cdot 10^5 = 12,8 D_{640} - 3,24 D_{385}, \\ [\text{Co}] \cdot 10^5 = 8,17 D_{440} - 3,58 D_{640}, \\ [\text{Ni}] \cdot 10^5 = 11,4 D_{640} - 0,57 D_{410} \end{cases}$$

Если присутствуют три элемента

$$\begin{cases} [\text{Co}] \cdot 10^5 = 12,1 D_{440} - 3,76 D_{385} - 3,46 D_{640} \\ [\text{Ni}] \cdot 10^5 = 11,6 D_{640} - 4,08 D_{410} - 4,50 D_{385} \\ [\text{Cu}] \cdot 10^5 = 10,8 D_{385} - 11,0 D_{410} - 0,30 D_{640} \end{cases}$$

<sup>1</sup> Для установления pH пользуются боратыми буферными растворами

Чувствительность метода составляет 0,5 мкг/мл Ni

Аналогично взаимодействует с никелем N,N' бис-(3 диметиламинопропилтидиооксамид) [789],  $(H_3C)_2 - N(CH_2)_3 - NH - CS - NH - (CH_2)_3 - N - (CH_3)_2$

Реагент позволяет определять никель, кобальт и медь одновременно [789] Условия определения этих элементов точно

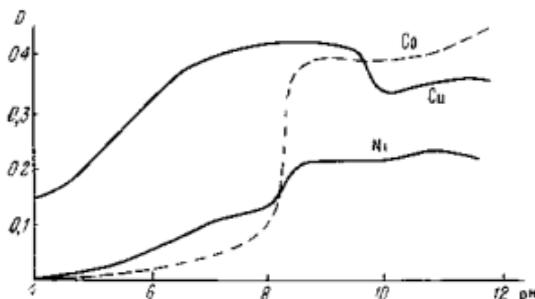


Рис 18 Образование N N рubeанатов металлов и зависимости от значения pH водного раствора

такие же, как и в случае рubeанатов Интервал значений pH образования и спектры соответствующих соединений имеются на рис 18 и 19

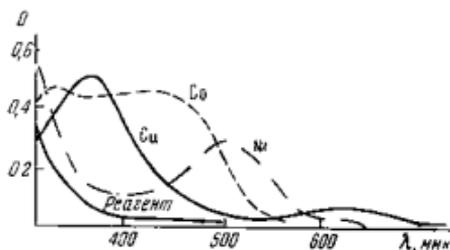


Рис 19 Светопоглощение N N' рubeанатов металлов

Молярные коэффициенты погашения комплексов приведены в табл 46

Содержание элементов вычисляют по формулам на основании измерения оптической плотности растворов при 500, 430 и 365 мкм Если присутствует один никель

$$[Ni] 10^4 = 14,0 D_{500}$$

Молярные коэффициенты погашения  
N,N'-бис-3-диметиламинопропилрубенаатов

Элемент	$\lambda$ , м.мк		
	365	430	500
Кобальт	14 000	14 500	6450
Никель	3140 (4700)	4070 (2640)	7150
Медь	15 000	4580	1970

Если присутствуют два элемента

$$\begin{cases} [\text{Co}] 10^6 = 8,03 D_{430} - 2,63 D_{500}, \\ [\text{Ni}] 10^6 = 16,7 D_{500} - 7,25 D_{430}, \\ [\text{Ni}] 10^6 = 14,8 D_{500} - 1,95 D_{365}, \\ [\text{Cu}] 10^6 = 7,8 D_{365} - 3,10 D_{500}. \end{cases}$$

Если присутствуют три элемента:

$$\begin{cases} [\text{Co}] 10^6 = 10,6 D_{430} - 2,99 D_{365} - 1,95 D_{500}, \\ [\text{Ni}] 10^6 = 16,6 D_{500} - 7,50 D_{430} + 0,11 D_{365}, \\ [\text{Cu}] 10^6 = 9,03 D_{365} - 7,46 D_{430} - 3,37 D_{500} \end{cases}$$

Был исследован ряд N,N-замещенных рубенаоводородных кислот как реагентов для фотометрического определения никеля.

Дифенилрубенаовая кислота [1287, 1290]



образует с никелем в щелочной среде осадок темно фиолетового цвета, растворимый в пиридине с образованием растворов розового цвета. Оптическую плотность измеряют при 510 м.мк. Окраска раствора устойчива во времени. Молярный коэффициент погашения 22000<sup>1</sup>. Реакции мешают те же элементы, что и в случае рубенаоводородной кислоты.

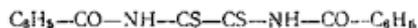
Диэтил (I), диметил (II) и дибензилрубенаоводородные (III) кислоты [1289, 1291]



I



II



III

несколько более эффективны для определения никеля, чем дифенилрубенаоводородная кислота. Растворимость в воде соответ-

<sup>1</sup> Коэффициент вычислен авторами по результатам, полученным в работе [1287]

ствующих никелевых соединений ниже, чем соединений с дифенил- и с рубеоноводородной кислотой. Чувствительность всех трех реагентов в присутствии пиридина одинакова и не превышает чувствительность дифенилпроизводного. Полосы максимального светопоглощения для диметил-, диэтил- и дибензилпроизводного находятся при 480, 490 и 510 мкм соответственно.

N,N'-Динизоамилрубеоноводородная [1288] кислота



образует окрашенное соединение с никелем. Молярный коэффициент погашения образующегося соединения при 510 мкм равен 8000<sup>1</sup>.

### Меркаптокарбоновые кислоты

Меркаптоуксусная кислота  $\text{HS}-\text{HC}_2-\text{COOH}$  образует с никелем комплексные соединения зеленого цвета (в кислой среде) и фиолетового цвета (в щелочной среде) [557]. Второе комплексное соединение, имеющее полосу максимального поглощения вблизи 510 мкм, используется для определения никеля. Устойчивость комплекса никеля [652] невысока ( $\lg \beta_2 = 9,50$ ).

Определению никеля меркаптоуксусной кислотой предшествует выделение его из смеси мешающих ионов (обычно в виде диметилдиоксимата), стабильная окраска получается при pH от 8 до 14.

К 20 мл раствора добавляют 10 мл 25% ного раствора цитрата натрия и 25 мл смеси KCl и  $\text{H}_2\text{BO}_3$  (14,9 г KCl и 12,4 г  $\text{H}_2\text{BO}_3$  в 1 л), 10 мл 20% ного раствора реагента, раствор NaOH до pH 11,5 и после разбавления до 100 мл измеряют светопоглощение на спектрофотометре.

Аналогом меркаптоуксусной кислоты является меркаптопропионовая кислота  $\text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ , предложенная для определения никеля [522]. Спектр соединения с никелем имеет две полосы максимального поглощения при 330 и при 410 мкм (рис 20). Первый максимум позволяет определять 0,5—10 мкг/мл никеля, второй—5—40 мкг/мл. Медь, свинец, марганец не мешают определению никеля, если их содержание не превышает 100, 50 и 50 мкг соответственно, трехвалентное железо мешает. Окраска растворов развивается мгновенно и устойчива в течение 5 час. Исследовано влияние кислотности раствора на устойчивость окраски соединения никеля [1236] (рис 21). При pH 8,7—9,8 получается соединение, имеющее устойчивую окраску.

К раствору, содержащему не более 0,5 мг/50 мл никеля, добавляют 10 мл 1% ного раствора β меркаптопропионовой кислоты, разбавляют до 90 мл и устанавливают pH  $9,1 \pm 0,5$ . Затем раствор разбавляют до 100 мл, перемешивают его и измеряют светопоглощение при 330 или 410 мкм относительно воды [891].

<sup>1</sup> Коэффициент вычислен из данных работы [1288].

Никель можно определять с помощью  $\beta$ -изотиоуреидопронионовой кислоты [1236]. Реагент гидролизуется, а продукт гидролиза —  $\beta$ -меркаптопропионовая кислота — реагирует с никелем. Метод быстрый и простой. Реакция может быть проведена в присутствии алюминия, цинка и пятикратного количества меди. Железо (III) и кобальт мешают реакции даже в малых количествах.

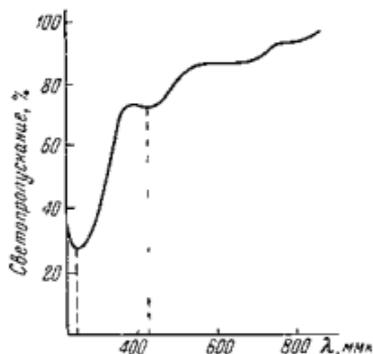


Рис 20 Светопропускание меркаптопропионата никеля

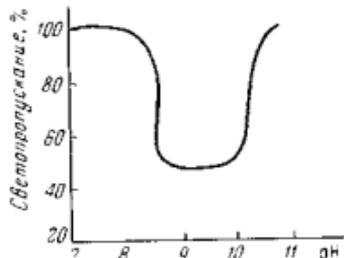


Рис 21 Образование меркаптопропионата никеля в зависимости от значения pH водного раствора

Молярные коэффициенты поглощения<sup>1</sup> равны 8300 и 2000 при 330 и 410 мкм соответственно. Условия определения никеля сходны с указанными для предыдущего реагента.

### Дитизин (дифенилтискарбазон)

Ионы никеля в нейтральных средах образуют с дитизином соединение  $MA_2$  [1140], растворимое в органических растворителях с фиолетово-коричневой окраской. При избытке ионов никеля органический слой может окрашиваться в серый, а водный — в зеленый цвет [657]. При pH 6—8 дитизон реагирует с никелем с большой скоростью. Дитизон имеет собственное поглощение в области максимального поглощения дитизоната никеля (рис 22), поэтому избыток его должен быть отмыт разбавленным раствором  $NH_4OH$  (при pH 10), раствор дитизоната никеля достаточно устойчив. Дитизонат никеля устойчив и к действию кислот, что дает возможность определять никель в присутствии ряда посторонних ионов, взаимодействующих в менее кислой среде.

Элементы, образующие более устойчивые комплексные соединения, можно отделить предварительной экстракцией дитизином

<sup>1</sup> Коэффициенты вычислены авторами из данных работы [1236]

при рН 4 [1301] К таким элементам относятся серебро, ртуть, палладий, золото, медь, висмут Ионы In (III) в 10-кратном количестве

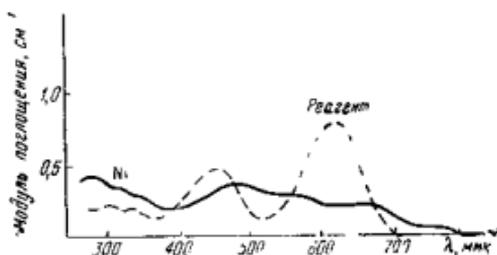


Рис 22 Светопоглощение растворов дитизона и дитизоната никеля в хлороформе

не мешают определению никеля Ионы  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Tl^{+}$  экстрагируются вместе с никелем, но их дитизонаты разрушаются при действии кислот Ионы  $Co^{2+}$  всегда мешают определению никеля, мешают  $S^{2-}$  и  $CN^{-}$  Применяемая для маскирования ряда металлов винная кислота не мешает экстракции дитизоната никеля [638]

Ниже приводятся две методики спектрофотометрического определения никеля с удалением избытка дитизона и без удаления [121]

1. Раствор, содержащий никель, переносят в делительную воронку и нейтрализуют  $NH_4OH$  а затем добавляют такое количество  $NH_4OH$ , чтобы его концентрация была 0,3 N Добавляют при встряхивании раствор дитизона в  $CCl_4$  ( $6 \cdot 10^{-3} M$ ) до тех пор, пока водный слой не станет бесцветным Объединенные органические экстракты разбавляют хлороформом до определенного объема и промывают порциями 0,5 N раствора  $NH_4OH$  по 3 мл (последняя порция должна быть бесцветной) Оптическую плотность экстракта измеряют при длине волны 665 мкм [1140].

2. Приблизительно 10 мл анализируемого раствора помещают в делительную воронку и доводят рН до 8 Прибавляют избыточное количество  $6 \cdot 10^{-3} M$  раствора

Таблица 47

Молярные коэффициенты поглощения дитизонатов никеля и чувствительность реакции

	$\lambda$ , мкм		
	440	665	665
$\epsilon$	27 000	10 300	8 200
Чувствительность, в $\mu g/cm^2$	2	6	7

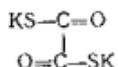
Примечание Значение  $\epsilon$  и чувствительность вычислены из данных работы [1140]

дитиона в  $CCl_4$  и содержимое воронки встряхивают 30 сек. Удвояют объем органического растворителя добавлением раствора  $CCl_4$ , устанавливают рН 6 и еще раз встряхивают 30 сек. Оптическую плотность экстракта измеряют при 620 мкм. Погрешность определения  $\pm 5\%$  [862].

Молярные коэффициенты погашения и чувствительность по Сенделу указаны в табл. 47

### Дитиооксалат калия

Дитиооксалат калия



применяется как реагент на никель [812] с 1909 г. Это соединение было использовано для определения малых количеств никеля в биологических материалах [647]. Реагент достаточно устойчив в растворах, с никелем образует соединение  $NiA_2$  голубого цвета, при низких концентрациях никеля растворимое в воде. Для окрашенных растворов соблюдается закон Бера в интервале концентраций 0,1—1 мкг/мл [1296].

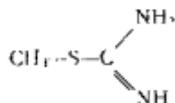
Реагент чувствителен, но не избирателен. Определению мешают  $Sb^{III}$ ,  $Bi^{III}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Hg^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Sn^{II}$ ,  $Sn^{IV}$ ,  $Pd^{2+}$ ,  $Pt^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ce^{IV}$ ,  $Au^{III}$ ,  $Ti^{III}$ ,  $Ti^{IV}$ ,  $UO_2^{2+}$  и  $VO^{2+}$ .

Максимум светопоглощения окрашенных растворов комплекса никеля находится при 500 мкм [946]. Окрашенное соединение образуется в широком интервале кислотности от рН 7 до 0,1 N HCl. Предельное разбавление 1 : 250 000 000.

Дитиооксалат используется также для определения никеля в виде комплексной соли тиооксалата никеля и трифенилметиларсония  $(Ph_3MeAs)_2Ni(S_2C_2O_2)_2$ . Эта комплексная соль экстрагируется при рН водного раствора 4,0—5,0 смесью метилфенилкетона и хлороформа (55 : 45). Экстракт окрашен в красный цвет ( $\lambda_{\text{макс}} = 505$  мкм). Определению не мешают  $Sb^{III}$ ,  $Bi^{III}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Hg^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Pd^{2+}$ ,  $Pt^{IV}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ce^{IV}$ ,  $Au^{III}$ ,  $Ti^+$ ,  $Ti^{IV}$  и  $VO^{2+}$  [529].

### S-замещенные тиомочевины

Никель можно обнаружить действием на его соли сульфатом S метилмочевинны (метилмеркаптид) [1150].



При взаимодействии получается окрашенное в оранжевый цвет (рис. 23) малорастворимое в воде соединение, которое дает в воде очень устойчивую суспензию. Для окрашенных растворов соблю-

дается закон Бера в интервале концентраций 1,0—7,0 мкг/мл. Область pH образования соединения зависит от избытка реагента.

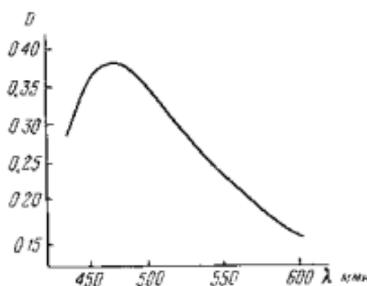


Рис 23 Светопоглощение S метил меркаптидата никеля

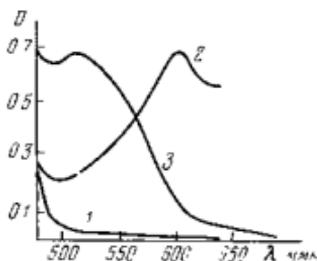
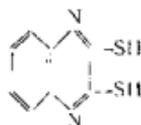


Рис 24 Светопоглощение хиноксаминдитиола (1) и его комплексов с никелем (2) и кобальтом (3)

При 180 кратном избытке эта область составляет 8,75—9,70, а при 40 кратном 9,14—9,51 [1148, 1149]. Чувствительность метода 0,45 мкг/мл. Реагент не избирателен, особенно сильно мешает кобальт.

### Хиноксаминдитиол



Этот реагент синтезирован сравнительно недавно [1983]. Первая работа по определению никеля появилась в 1958 г. [1129]. Хиноксаминдитиол оказался очень чувствительным реагентом на никель, но как все серусодержащие реагенты — малоизбирателен. Определению никеля мешает кобальт. Возможно совместное качественное [560] и количественное [519] спектрофотометрическое определение этих двух элементов. Кобальт образует с реагентом комплексное соединение красного цвета ( $\lambda_{\text{макс}} = 510$  мкм), а никель — синего ( $\lambda_{\text{макс}} = 656$  мкм) (рис 24).

Реакция выполняется в водно-этанольной среде (80—95% -ной), поскольку образующиеся комплексные соединения мало растворимы в воде. Максимальное светопоглощение растворов наблюдается при pH 3,0 ± 0,5.

Для окрашенных растворов соблюдается закон Бера в интервале концентраций 0,2—1,4 мкг/мл Co и 0,5—3,0 мкг/мл Ni. Состав образующихся соединений отвечает формулам  $\text{NiA}_2$  и  $\text{CoA}_3$ .

Молярные коэффициенты погашения и чувствительность по Сенделу указаны в табл 48

Таблица 48

Молярные коэффициенты погашения и чувствительность реакции с хиноксамидитиолом на никель и кобальт

	$\lambda$ , м.мк	
	510	656
$\epsilon_{\text{кобальта}}$	36400	1240
$\epsilon_{\text{никеля}}$	5520	17500
Чувствительность для $\text{Co}^{2+}$ (в мкг/см <sup>2</sup> )	1,7	—
Чувствительность для $\text{Ni}^{2+}$ (в мкг/см <sup>2</sup> )	—	3,4

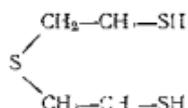
Для совместного определения никеля и кобальта берут раствор с их суммарным содержанием 5—14 мкг (в расчете на конечный объем 25 мл). Железо удаляют экстракцией его в виде ацетилацетоната хлороформом при pH 1,5 (5 мл ацетил-ацетона + 5 мл  $\text{CHCl}_3$ ). Кислая среда создается добавлением в делительную воронку 4 мл 0,5 N HCl. Экстракт отделяют, затем добавляют к водному раствору 5 мл 0,5 N NaOH (pH ~ 2,5) и новой порцией смеси ацетилацетона и хлороформа удаляют медь и оставшееся железо, pH водного раствора доводят до  $3,0 \pm 0,5$  по 2,4 динитрофенолу, затем добавляют раствор реагента и разбавляют до объема 25 мл. Оптическую плотность измеряют при 510 и 656 м.мк.

Содержания никеля и кобальта вычисляют по формулам.

$$617 [\text{Co}] + 94 [\text{Ni}] = D_{510}$$

$$21 [\text{Co}] + 298 [\text{Ni}] = D_{656}$$

### 2,2-Тиобисэтантол [1134]



Хлороформный раствор этого реагента экстрагирует комплексное соединение никеля  $\text{NiA}_2$  из аммиачной среды при pH 10—11, экстракт окрашен в красный цвет. Оптическую плотность экстракта измеряют при 520 м.мк, соединение в хлороформе устойчиво 2—3 недели. Медь, кобальт, палладий мешают определению.

Раствор, содержащий никель помещают в делительную воронку емкостью 50—100 мл, добавляют  $\text{NH}_4\text{OH}$  до pH 10—11 и затем прибавляют 5—10 мл 0,2 M раствора реагента в  $\text{CHCl}_3$ . Встряхивают содержимое воронки несколько минут и отделяют экстракт. Экстрагирование повторяют трижды в указанных условиях и затем проводят еще одну экстракцию чистым хлороформом (5—10 мл). Объединяют все экстракты и доводят общий объем до 50 мл хлороформом. Светопоглощение измеряют при 520 м.мк относительно чистого хлороформа.

Молярный коэффициент погашения равен  $1200^1$  Чувствительность  $0,8 \text{ мкг/см}^2$

### 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В ВИДЕ ПИРИДИНРОДАНИДА

Реакция ионов двухвалентных металлов с роданид-ионами и пиридином (Py) была открыта в 1922 г. Спакью [1176]. Ионы никеля образуют в присутствии этих двух реагентов малорастворимый в воде осадок,  $\text{NiPy}_2(\text{SCN})_2$ , используемый для его гравиметрического определения [1178]. Этот осадок растворим в хлороформе. Спектр представлен на рис. 25.

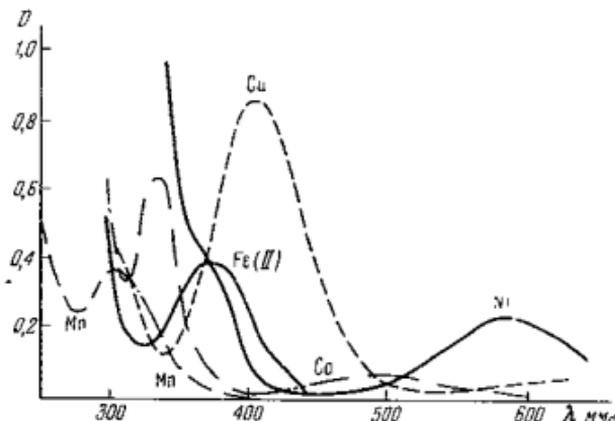


Рис. 25 Светопоглощение пиридинроданидов металлов в хлороформе

Это свойство пиридинтиоцианатов было использовано для определения металлов [794].

К 100 мл водного раствора, содержащего 20–60 мкг Ni добавляют раствор реагента, содержащий 8 мл пиридина, 8 мл 10% ного раствора KSCN и доводят pH до 5–7 добавлением едкого натра. Затем экстрагируют соединение никеля тремя порциями хлороформа по 10 мл каждая, переводят экстракты в мерную колбу емкостью 50 мл и разбавляют до объема 40 мл хлороформом.

Если экстракт не прозрачен, то для его просветления добавляют 1 мл ацетона и доводят до метки чистым хлороформом. Оптическую плотность измеряют при 360 микр. относительно чистого хлороформа.

Для экстрактов пиридинтиоцианата никеля в хлороформе соблюдается закон Бера. Молярные коэффициенты погашения<sup>2</sup> равны 24,5 и 11,1 при 360 и 580 мкн соответственно. Чувствительность по Сенделу равна 0,24 и 0,54 мг/мл при этих же длинах волн.

<sup>1</sup> Молярный коэффициент погашения вычислен из данных работы Сегалла [1134].

<sup>2</sup> Коэффициенты вычислены из данных, приведенных в работе [794].

Рекомендуется брать растворы, содержащие 50—170 мг никеля. Кроме того, возможно [431] совместное спектрофотометрическое определение Cu, Ni, Co, Fe, Mn. Оптическую плотность экстрактов измеряют в этом случае при 450, 360, 335, 375, 300 мкм.

Для определения никеля используют 2 бензотиазолдигидразоны, 2 бензотиазолкарбоксальдегида и 2 нафтотиазол-2-карбоксальдегида [1237]. С обоими реагентами ионы никеля дают оранжевые комплексные соединения в водно-диоксановых средах  $\lambda_{\text{макс}} = 468$  и 474 мкм соответственно.

Приводятся чрезвычайно высокие значения молярных коэффициентов поглощения этих соединений для первого  $\epsilon = 60240$ , для второго —  $\epsilon = 63950$ .

#### 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЗОСОЕДИНЕНИЙ И ДРУГИХ РЕАГЕНТОВ

##### Органические реагенты, содержащие азогруппу

В связи с развитием методов комплексонометрического титрования никеля изучен ряд азосоединений как индикаторов и как реагентов для его спектрофотометрического определения.

К этой группе следует отнести пиридилазонафтол (PAN). Реагент очень чувствителен на ионы никеля и пригоден для определения его малых количеств ( $\epsilon = 50\,000$ ,  $\lambda_{\text{макс}} = 570$  мкм [605, 1142]). Соединение никеля легко экстрагируется хлороформом, четыреххлористым углеродом, бензолом при pH 4—10, хлороформные экстракты имеют полосы максимального поглощения при 530 и 570 мкм (рис 26). Образующееся соединение  $\text{NiA}_2$  довольно устойчиво. В слабкокислой среде при pH 4 только ионы меди, железа и кобальта мешают определению никеля. Но медь легко маскируется тиосульфатом, железо — пирофосфатом. Если присутствует кобальт, то его количество может быть учтено, так как максимум светопоглощения соединения кобальта находится при 630 мкм. Для определения никеля в присутствии кобальта сначала измеряют оптическую плотность при 630 мкм, а затем при 570 мкм (сумма Ni + Co), после вычитания оптической плотности, отвечающей содержанию кобальта, вычисляют количество никеля. Ионы кадмия, цинка, марганца и хрома образуют соединения только в слабощелочной среде (pH 3).

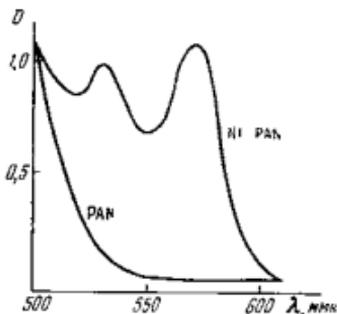
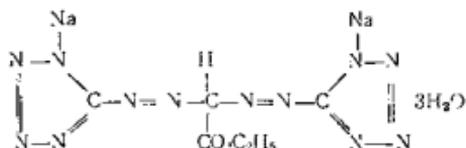


Рис 26 Светопоглощение пиридилазонафтола (PAN) и его комплекса с никелем в хлороформе

Для определения никеля используется также довольно чувствительный азокраситель солохром красный ERS [791] ( $\varepsilon_{510 \text{ мкм}} = 13\,200$ ) Никель образует соединение в слабокислой среде, мешают определению только хром и железо в незначительной степени Мешает комплексон III

Динатриевая соль этил бис (5-тетразолилazo)уксусная кислота [807] образует с ионами никеля комплексное соединение



с максимумами светопоглощения при 410 и 505 мкм Реагент высокочувствителен ( $\varepsilon = 27\,000$ ) Реакции мешают медь, цинк и кадмий, не поглощают железо и кобальт в области максимального поглощения комплекса никеля Рекомендуется интервал значений pH от 6 до 9

Для спектрофотометрического определения никеля применяются малоизбирательные пиридин [222] и 2,2 диэтиленамин [1273] ( $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{—CH}_2\text{)}_2\text{NH}$  Последний образует с ионами никеля комплекс фиолетового цвета с максимумом светопоглощения при 540 и 880 мкм, для окрашенных растворов соблюдается закон Бера в интервале концентраций 0,01—0,06 г ион/л Медь, марганец, хром мешают определению, так как образуют окрашенные в голубой, пурпурный и желтый цвета соединения Реакцию проводят при pH 6—14 Железо (III) и олово (IV) гидролизуются при таких значениях pH, и их необходимо отделить

Никель может быть определен этим реагентом наряду с кобальтом в одном растворе Вначале измеряют оптическую плотность соединения никеля при 850 мкм, где не поглощает комплекс кобальта, затем измеряют суммарное поглощение никеля и кобальта при 460 мкм После вычитания поглощения для никеля находят содержание кобальта

N,N бис (o-аминобензидин)этилендиамин образует с ионами никеля осадок красного цвета, экстрагируемый в бензоле [938] Полоса максимального светопоглощения находится при 486 мкм Определению не мешают  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Sb}^{III}$  Большие количества железа маскируют винной кислотой Мешают  $\text{Co}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  Чувствительность реагента 0,2 мкг/мл

### Прочие органические реагенты

Для определения никеля пригоден мурексид [370] Он взаимодействует с ионами никеля в аммиачной среде, образуется оранжево-желтое соединение

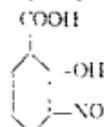
Титруют 10 мл аммиачного испытуемого раствора 0,02% ным раствором му-  
рексида до появления оранжево-желтого окрашивания и сравнивают окраску с  
серией стандартов, которые готовят следующим образом: в 10 пробирок с плоским  
дном и притертыми стеклянными пробками вносят по 10 мл стандартного раствора  
соли никеля с содержанием в 1 мл соответственно 0,5, 1,0, 1,5 — 5 мкг Ni. Затем  
в каждую пробирку прибавляют по 1 мл 0,5% ного раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  и перемери-  
зуют содержимое пробирки. Прибавляют в каждую пробирку от 1 до 10 мл 0,2%  
ного водного раствора мурексида и снова перемешивают.

Обнаруживаемый минимум 0,2 мкг/мл. Определению мешают желе-  
зо (II и III), кобальт, свинец и марганец, если присутствуют в  
больших количествах. Соли цинка и магния мешают даже при ма-  
лых концентрациях.

Никель может быть определен формальдоксимом [281], кото-  
рый образуется в растворе при взаимодействии формальдегида и  
гидроксиламина

К 10 мл сернокислого раствора, содержащего 0,1—4 мг Ni, добавляют одну  
каплю реагента (смесь 3,75 мл 40% ного формалина, 3,5 мл гидроксиламина и  
3,75 мл воды, нагревают до кипения) в присутствии 0,4—1,0 N NaOH. Измеряют  
оптическую плотность зелено-желтых растворов.

Для фотометрического определения никеля используется также  
нитрозосалициловая кислота [594]



Никель образует с этим реагентом окрашенное в красный цвет ра-  
створимое в воде соединение с максимумом светопоглощения при  
500 мкм (обычно оптическую плотность этого соединения измеряют  
при 520 мкм, так как при этом не мешает избыток реагента). Окрас-  
ка растворов стабильна при pH от 5,0 до 5,8 в течение недели.

Многие катионы мешают определению никеля, также образуя  
окрашенные комплексы. Кобальт мешает, если его количество  
превышает 1 мг, медь следует удалять или, измерив поглощение  
раствора, получающегося в кислой среде (pH 4), затем вычитать его  
из суммарной оптической плотности раствора меди и никеля при  
pH 5,0—5,8.

Определению не мешают  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  
 $\text{Al}^3+$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  и  $\text{PO}_4^{3-}$ . Для  
растворов комплекса никеля соблюдается закон Бера в интервале  
концентраций 2—0,13 мг/100 мл.

Ионы никеля образуют с оксамидом [905]  $\text{NH}_2\text{COCONH}_2$  в ще-  
лочной среде окрашенное в желтый цвет соединение. Интенсивность  
окраски увеличивается с прибавлением этанола или эфира. Реак-  
ции мешают катионы, образующие в щелочной среде окрашенные  
гидроокиси. Возможно фотометрическое определение никеля в  
виде соединения с оксамидом. Имеется работа по фотометрирова-  
нию комплексоната никеля [1003].

## Определение никеля неорганическими реагентами

Никель в растворах его чистых солей определяют спектрофотометрически (по зеленой окраске). При высокой концентрации никеля рекомендуется работать с раствором перхлората никеля [450], определяя его методом дифференциальной спектрофотометрии [761, 863]. В анализируемом материале может содержаться 98—100% никеля (спектрографический и электролитический никель). Точность результатов  $\pm 0,05\%$ .

Перхлорат никеля имеет два отчетливых максимума поглощения при 395 и 720 мкм (рис 27). В области коротковолнового максимума определению мешает ион хромата, но не мешают медь и кобальт.

Кроме перхлората может быть также использован сульфат никеля, характеризующийся такими же полосами максимального поглощения.

Метод анализа смесей никеля и кобальта основан на том, что максимальное поглощение сульфата кобальта лежит при 510 мкм, а никеля— 395 и 720 мкм [1175].

Никель можно определять и в виде хлорида [1143], спектр раствора которого [383] аналогичен спектрам сульфата или перхлората никеля. При концентрации хлорида  $> 3 M$  спектр раствора меняется. Определению никеля в виде сульфата и хлорида мешают хлорид аммония, борная кислота, сульфат натрия [1192].

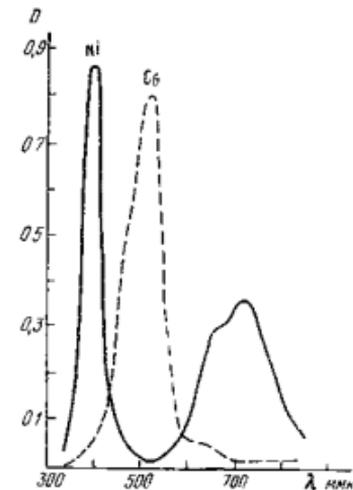


Рис 27 Светопоглощение перхлоратов никеля и кобальта

Довольно широко применяется метод фотометрического определения никеля при помощи аммиака [432, 702, 945].

Окрашенный комплекс  $Ni(NH_3)_6^{2+}$  был предложен для определения никеля в сталях и рудах [432]. Оптимальные концентрации никеля 200—2000 мг/мл. Однако с изменением концентрации аммиака изменяются интенсивность и характер окраски растворов. Сравнительно постоянна оптическая плотность растворов при 2,5 N  $NH_4OH$  (фиолетовый цвет) и 1,5 N  $NH_4OH$  (голубой цвет). Ионы, образующие окрашенные аммиакаты, мешают определению. Измерения на спектрофотометре проводят при длине волны 582 мкм [944]. Этот метод применяется для определения никеля в сталях [432].

Окраска растворов аммиаката никеля устойчива до 4 недель [945]

Содержание NiO в стекле определяют непосредственно по поглощению света этим стеклом [570]

#### 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

Для определения никеля применяют двунариевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты. Оптическую плотность растворов никеля измеряют при  $\lambda = 1000$  мкм [495]. Соединения большинства металлов с комплексоном III не поглощают лучистой энергии в этой области. Таким образом, никель можно определять в присутствии алюминия, бериллия, кальция, кадмия, хрома, железа (III), ртути, марганца, свинца, стронция, тория и циркония. Только кобальт, медь и железо (II) мешают определению (их отделяют хроматографически на амберлите IRA 400).

Если из примесей присутствует один только кобальт, то его можно маскировать нитрозо R солью. Кроме того, определению мешают церий, висмут, серебро, барий и ванадий.

При отсутствии мешающих металлов ошибка метода составляет  $\pm 0,06$  мг. Минимально определяемое количество никеля равно 2 мг.

Определение никеля по инфракрасному спектру его соединения с антрапиловой кислотой производят при 9,35 мк [996]. Этот метод удобен для анализа бинарных смесей никеля с медью, цинком, кобальтом, кадмием, железом, марганцем или ртутью, так как антрапилату каждого элемента присуща своя полоса поглощения в инфракрасной области спектра.

Ионы никеля и одного из названных элементов осаждают антрапилатом натрия, отфильтрованные осадки высушивают и измеряют поглощение в ячейке из бромида калия. Ошибка определения не превышает 2—5%.

## Глава VII

### ПОЛЯРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ

Ионы никеля восстанавливаются в водных растворах на капельном ртутном электроде на фоне солей щелочных металлов, а также в растворах его комплексных соединений — аммиаатов, роданидов, пиридинатов и др.

Потенциал полуволны для ионов гексагидрата никеля  $E_{1/2} = -1,1$  в (насыщ. KCl). При этом наблюдается хорошо выраженный диффузионный ток, величина которого пропорциональна концентрации никеля в присутствии желатини, метилового красного или других поверхностно активных веществ, добавляемых для подавления максимума на полярограммах.

Гидратированные ионы никеля восстанавливаются необратимо. Хотя полярографическому поведению никеля посвящено большое число работ [175, 1184], однако эти методы редко используются для качественного обнаружения никеля, но имеют большое значение для его количественного определения.

Ионы никеля дают хорошо выраженную волну в присутствии аммиака. В качестве поверхностно активных веществ применяют агар агар, столярный клей, желатину и др. При этом потенциал полуволны слегка зависит от концентрации аммиака (табл. 49).

Таблица 49

Значение  $E_{1/2}$  в аммиачных растворах [1184]

Концентрация веществ	$E_{1/2}$ , в
Аммиак 1 <i>N</i> Хлорид аммония 1 <i>N</i> ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ — желатини)	—1,135
Аммиак 0,1 <i>N</i> Хлорид аммония 0,2 <i>N</i> (0,005 <i>M</i> CaCl <sub>2</sub> , 0,01% ный агар агар, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )	—0,90

Аммиачный фон удобен для совместного определения никеля и цинка [239] В отсутствие аммиака  $E_{\text{Zn}}^{\text{Zn}^{2+}} = 1,002 \text{ в}$ ,  $E_{\text{Ni}}^{\text{Ni}^{2+}} = 1,0 \text{ в}$  Однако такое определение возможно в присутствии аммиака, если содержание обоих элементов приблизительно одинаково [175]

На фоне аммиака также разделяются полярографические волны никеля и кобальта, поэтому никель можно определять в присутствии последнего [164]

Было изучено влияние различных добавок на высоту волны никеля в аммиачной среде [193] На фоне 0,1 *N* ацетата аммония, к которому добавлены аммиак (рН 8,5—9,5) и метиловый фиолетовый, можно получать хорошие отдельные волны никеля и цинка

Волна никеля в концентрированных растворах хлоридов сдвигается к более положительным значениям потенциалов полувольт, что указывает на образование комплексного хлорида [1026]

Если раствор содержит пиридин и хлорид пиридиния, то никель можно определять в присутствии больших количеств кобальта, так как потенциалы полувольт этих элементов различаются на 0,3 в ( $E_{\text{Ni}}^{\text{Ni}^{2+}} = -0,8 \text{ в}$ ,  $E_{\text{Co}}^{\text{Co}^{2+}} = -1,11 \text{ в}$ ) Можно определять никель в продуктах кобальтового производства [268] Пиридин, содержащий раствор нитрата бария, применялся как фон для определения никеля в чугунах и сталях [848] На фоне пиридина, хлорида и роданида калия ионы никеля дают хорошо выраженную волну [277]

В 1 *N* растворе KCN потенциал полувольты никеля равен  $-1,44 \text{ в}$  С увеличением концентрации KCN потенциал полувольты сдвигается к более положительным значениям [78, 773] Цианидный фон удобно использовать при определении никеля в присутствии меди и цинка, так как последние не дают волны восстановления

Определение малых количеств никеля в растворах, содержащих большое количество меди, рекомендуется производить на фоне 1 *N* KCl + 1 *N* NaOH, при добавлении  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  и желатины [956]

На фоне роданида калия полярограмма для никеля имеет сложный характер [1218] При низких концентрациях роданид-ионов (0,02—0,01 *M*) на полярограмме появляется вторая волна. Значение  $E_{\text{Ni}}$  для первой волны наиболее положительно в 0,2 *M* раствора KSCN и становится более отрицательным с увеличением и с уменьшением концентрации KSCN На фоне KSCN +  $\text{KNO}_3$  с общей концентрацией электролитов 2*M* при добавлении 0,005%-ного раствора желатины получаются такие же результаты, как и на фоне KSCN + KCl

Хорошо выраженная волна для никеля получается на фоне раствора 0,1 *N* ацетата аммония + 0,025 *N* KSCN, на этом фоне можно определять никель в присутствии примерно равных количеств цинка и кобальта Этот фон использовался для определения никеля в растительном материале [1195]

Роданидный комплекс никеля восстанавливается необратимо [588]

При сочетании роданидного (0,1 М КSCN) и тартратного (0,04 М) фона никель может быть определен в присутствии железа [830], например в ферритах

В 1 N растворе оксалата и в 1 N растворе тартрата в отсутствие роданида ионы никеля не восстанавливаются, но при одновременном присутствии аммиака появляется четкая волна, которую можно использовать [837] для определения никеля в растворах, содержащих марганец

На фоне сульфосалициловой кислоты с добавкой аммиака (NH<sub>4</sub>OH + 1 М NH<sub>4</sub>Cl) или пиридина (0,5 М Py и 1 М NH<sub>4</sub>Cl) легко определяется никель в присутствии железа [1036] Потенциалы полуволн приведены в табл 50

Таблица 50

Потенциалы полуволн (в) для никеля и железа

Среда	Железо	Никель
Аммиачная	-0,6	-1,0
Пиридин	-0,2	-0,8

До 0,05 мкг/мл никеля в присутствии 100 кратных количеств меди и 400-кратных количеств кобальта можно определить методом дифференциальной полярографии [72] Был предложен осциллографический вариант этого метода [137]

Каталитические волны при восстановлении на ртутном капельном электроде некоторых органических веществ в присутствии ионов никеля [490—500] или кобальта использованы для полярографического определения малых количеств никеля [317]

Микроконцентрации никеля (до 10<sup>-7</sup> М) определяют с накоплением на ртутной капле Сущность метода описана в обзорах Стромберга [305], Кублика [874], Несба [997], Синяковой [294]

Впервые Кемуля [829] получил анодные зубцы никеля на фоне 0,01 N KCl методом амальгамной полярографии с накоплением на ртутной капле Впоследствии такие зубцы были получены на фоне 0,1 М KSCN [110]

В последние годы опубликованы работы по полярографическому определению никеля в ряде биологических объектов в растениях [1213], маргарине [337], кормах [520, 1165]

**Определение никеля в сталях** Никель в сталях и сплавах определяют [1062] в растворе, содержащем хлорид пиридиния и хлорид аммония Потенциал полуволны для никеля равен -0,5 в

0,1 г стали помещают в коническую колбу емкостью 100 мл и кипятят сначала с 5 мл HNO<sub>3</sub> (1 1) и затем с 5 мл HCl (1 1) После растворения стали раствор выпаривают досуха Остаток растворяют в 5 мл HCl (уд в 1,19) прибавляют

0,25 г сернистого гидразина и снова выпаривают. К остатку приливают 3 мл  $\text{HCl}$  (1 : 1), 50 мл воды, раствор нагревают и, не охлаждая, переливают в мерную колбу емкостью 100 мл. К раствору добавляют 5 мл пиридина, 3 г хлорида аммония, 5 мл 1% ного раствора желатини, доводят объем до метки водой и тщательно перемешивают; часть раствора отфильтровывают, помещают в электролизер и полярографируют.

Содержание никеля находят методом добавок или сравнением с нормальми стали или сплава. Продолжительность определения 45—50 мин.

Известны методы определения никеля в ферритах [830], в твердых магнитных сплавах [589], в жаропрочных сталях [1146].

**Определение никеля в металлической меди** [295, 1213]. Медь растворяют в азотной кислоте и большую часть меди выделяют электролизом. В растворе после электролиза определяют никель.

Раствор после отделения меди переводят в стакан, выпаривают до появления паров  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и сухой остаток слегка прокалывают. К остатку приливают 4—5 мл  $\text{HCl}$  (1 : 3) и нагревают его до растворения солей. После этого к раствору приливают 25 мл воды, переносят его в мерную колбу емкостью 50 мл, нейтрализуют концентрированным  $\text{NH}_4\text{OH}$  по индикатору, приливают еще 5 мл  $\text{NH}_4\text{OH}$  и доводят объем до метки водой. Полученный раствор тщательно перемешивают. Отбирают 20 мл раствора, прибавляют 0,5—0,7 г сульфата натрия, 5 капель 1% ного клея, перемешивают и полярографируют.

Имеются работы по определению никеля в черновой меди [787] и ее сплавах [95].

**Определение никеля в металлическом кобальте и его солях** [903]. Анализируемый материал растворяют в азотной кислоте, соли переводят в хлориды и полярографируют на фоне хлорида пиридиния, не отделяя кобальт. Преимуществом метода является его быстрота [268].

К остатку хлоридов приливают 30—50 мл воды, переносят в мерную колбу емкостью 200 мл, доводят объем до метки водой и хорошо перемешивают. Отбирают пипеткой 25 мл раствора в мерную колбу емкостью 50 мл, прибавляют 2 мл точно разбавленной (1 : 1)  $\text{HCl}$ , 2,5 мл пиридина, 2,5 мл 0,2% ного раствора желатини, доводят объем до метки водой, перемешивают 20 мл раствора отфильтровывают через сухой фильтр, помещают в электролизер и после пропускания в течение 15—20 мин водорода полярографируют.

Опубликован ряд работ по полярографическому определению никеля в уране [783, 1099], золоте [1043], кремнии [1042], цирконии [427, 1215] и его сплавах [385, 427], а также в легких сплавах на основе алюминия [640], в магнии [219], в электролитических ваннах [579], сточных водах [1052] и других промышленных отходах.

**Определение никеля в горных породах, почвах, животных и растительных организмах.** Метод определения никеля в указанных объектах, разработанный Малюгой [198, 199], основан на его отделении от железа, титана, алюминия, марганца и других металлов рубеоановодородной кислотой в присутствии лимонной кислоты с

последующим полярографированием на фоне 0,02 N  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 0,1 N  $\text{NH}_4\text{OH}$  и 0,005 N  $\text{CaCl}_2$ . Обычно одновременно определяют медь, кадмий, цинк, кобальт. Кобальт мешает определению цинка, поэтому вводят еще операцию отделения кобальта 1 нитрозо 2 нафтолом.

Породу или почву сплавляют с  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , продукты органического происхождения (растения, животные ткани) озоляют в муфеле при температуре не выше  $900^\circ\text{C}$ , золу растворяют в  $\text{HNO}_3$  или  $\text{HCl}$  [295].

Силиконовый раствор после отделения кремниевой кислоты переносят в стакан емкостью 300 мл, прибавляют 5 мл 10% ного раствора лимонной кислоты и  $\text{NH}_4\text{OH}$  до слабощелочной реакции. Затем приливают 5 мл 0,5% ного раствора рубеноводородной кислоты и оставляют стоять до выпадения осадка. Выпавший хлопьевидный осадок рубеноватов металлов (меди, кадмия, никеля, кобальта) отфильтровывают через плотный фильтр и промывают 1% ным раствором  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

Фильтр переносят вместе с осадком в маленькую кварцевую чашку, слегка подсушивают и сжигают на плитке. К сухому охлажденному осадку приливают 2 мл  $\text{HNO}_3$  (уд в 1,40), 2 мл  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1 : 1) и нагревают до выделения паров  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . После этого чашку с сухим остатком помещают в муфель и прокалывают при  $450^\circ\text{C}$ .

По охлаждении остаток растворяют в 2 мл  $\text{HCl}$  (1 : 1) и раствор выпаривают досуха. В чашку приливают 2—3 мл воды, переносят раствор в стакан емкостью 50 мл и добавляют 5 мл 80% ного раствора уксусной кислоты, 0,5 мл 30% ного раствора 1 нитрозо 2 нафтола и разбавляют раствор до 10 мл. Затем стакан покрывают часовым стеклом и раствор нагревают 1 час на водяной бане при  $80^\circ\text{C}$ .

По охлаждении приливают 1 мл 12% ной  $\text{HCl}$  для растворения соединений никели и других металлов, которые могли выпасть в осадок. Осадок отфильтровывают через беззольный фильтр, который затем промывают 2 раза раствором  $\text{HCl}$  указанной концентрации и 3—4 раза горячей водой. Фильтрат упаривают до не большого объема, приливают 2,5 мл  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (уд в 1,84) и упаривают до появления паров  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и разлагают оставшиеся органические соединения несколькими каплями  $\text{HNO}_3$ .

Осадок вместе с фильтром помещают в тигель, подсушивают на плитке и затем прокаливают в муфельной печи. Тигель охлаждают, растворяют содержимое в 2,5 мл  $\text{HCl}$  и раствор выпаривают досуха.

К сухому остатку после охлаждения приливают 5—7 мл воды и кипятят до растворения солей. Раствор переносят в мерную колбу емкостью 25 мл, нейтрализуют концентрированным  $\text{NH}_4\text{OH}$  (по конго красному) и прибавляют 2,5 мл  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Раствор охлаждают, доводят объем до метки водой тщательно перешивают и полярографируют.

## Глава VIII

### СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ

#### 1 СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ХИМИКО-СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Эмиссионный спектр никеля состоит из большого числа линий в ультрафиолетовой и видимой областях [834]. Никель — тугоплавкий металл, поэтому для полного его испарения из объекта требуется несколько минут.

Качественное обнаружение никеля производят по линиям 3414,7, 3101,5, 3050,8 Å, которые появляются в дуговом спектре при содержании около  $10^{-3}\%$  Ni. За линию никеля 3414,7 Å могут быть приняты близкие линии других элементов при повышенном их содержании: 3415,5, 3413,1 Å (железо), 3414,7 Å (кобальт), 3414,6 Å (~ 1% циркония).

Обнаружению никеля по линии 3050,8 Å мешают ~ 0,1% ванадия (3050,89 и 3050,5 Å), ~ 10% церия (3050,58 Å), ~ 1% кобальта (3050,93 Å), ~ 10% тантала (3050,10 Å), ~ 10% алюминия (3050,08 Å), ~ 10% тория (3050,99 Å).

Количественное определение никеля производится по тем же линиям, что и качественное. В интервале концентраций  $10^{-3}$  —  $10^{-1}\%$  при определении никеля по линии 3114,6 Å наблюдается прямолинейная зависимость между логарифмом концентрации и величиной относительного почернения. Повышенные концентрации никеля (0,5—2,0%) в некоторых объектах рекомендуется определять [138а] по линии 2992,5 Å. Порядок появления линий никеля описан в работе [186].

При определении никеля в однотипных железных рудах используют аналитические пары Ni 3414,66 — Fe 3417 или 3415 Å.

Обзор количественных методов определения никеля до 1956 г в геологических объектах приведен в монографии Катченкова [138] и работе Ичиксона [127]. Позже было опубликовано также большое число работ по определению никеля в рудах [116, 117, 1164], минералах и силикатах [228, 941, 1244].

## Ряд работ посвящен определению никеля в следующих объектах

Объект	Литература	Объект	Литература
Сталь и чугуны	[12, 52, 99 272, 628, 1108]	Арсенид галлия	[1016]
Металлические пленки	[164]	Металлический галлий	[373]
Чистый металлический магний	[90]	Германий и двуокись германия	[61]
Магниеые сплавы	[41, 176]	Металлический свинец	[133]
Высокоочищенный бериллий	[898]	Металлическое олово	[374, 375, 1156]
Окись бериллия	[982]	Металлическая сурьма	[368]
Окись алюминия	[1021]	Металлический висмут	[166, 675]
Железная губка	[1171]	Металлический селен	[75]
Металлический кобальт	[209 322]	Нептуний	[1274]
Сплавы кобальта	[92, 1101]	Серебро	[902]
Металлическая медь	[1272]	Золото	[88, 1302]
Сплавы на основе меди	[285, 751, 950]	Платина и палладий	[87]
Окись меди	[911]	Иридий и родий	[181]
Цинковые электроды	[111]	Кремний	[60, 114, 115, 212, 1241]
Сульфид цинка	[140]	Соединения кремния	[60, 204]
Кадмий и его соединения	[379]	Сера	[286]
Металлический титан	[55]	Мышьяк	[939]
Двуокись титана	[119]	Катодный графит	[1259]
Металлические цирконий и гафний	[108]	Вода	[30, 104, 143, 145]
Двуокись тория	[992]	Биологические материалы	[126 374, 885, 1197]
Металлический ванадий	[536]	Топливо	[206a]
Металлический хром	[747]	Полимеры	[223]
Металлический молибден	[11, 382]	Зола	[1111]
Молибдат аммония	[318]	Перекись водорода	[275]
Металлический вольфрам	[211 382 875]	Нитраты и хлориды щелочных металлов высокой чистоты	[587]
Трехокись вольфрама	[89]		
Металлический иттрий	[525 616, 766 776]		

## 2 РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД

Этим методом определяют как высокие концентрации (до 14%), так и следовые количества (до  $10^{-6}\%$ ) никеля. Метод описан в работах Мокнеса [987], Кордови [574], Лосева с сотр [187], Момоти [972] и Ведерполя [1261].

Этот метод дает более высокую воспроизводимость по сравнению со спектральным методом и удобен тем, что анализируемый материал сохраняется. Ошибки в случае больших количеств никеля могут достигать нескольких процентов. Но в большинстве случаев

они не превышают 1%. Возможен анализ как твердых, так и жидких образцов. Простота рентгеновских спектров и самое главное быстрая выполнения позволяют широко применять этот метод для экспресс анализов.

Этим методом успешно определяют никель в сталях [844, 933, 953, 973, 1144, 1152], в геохимических объектах [1261], в сплавах [503, 693, 760, 1216], в железо никелевых пленках [1242], в чистом металлическом бериллии [532, 1137], в ваннах для гальванических покрытий [463], в нефти и продуктах ее крекинга [620, 731, 1095, 1147] и других объектах [1131, 1234].

### 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИЕЙ

Этот метод опубликован в 1955 г. [1254]. Для никеля наиболее чувствительной является полоса поглощения 2320,0 Å, она была рекомендована для анализа [408].

Чувствительность метода с использованием в качестве источника излучения лампы, наполненной гелием, составляет 0,2 мкг/г Ni [699]. В другой работе указана чувствительность 0,13 мкг/г [407]. Чувствительность метода с лампой, наполненной аргоном, равна 0,40 мкг/л [840]. Метод с успехом применялся при определении Ni в биологических объектах [1279], сельскохозяйственных продуктах [406], железе и стали [840].

## Глава IX

### ДРУГИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ

#### 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ РАДИОАКТИВАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Радиоактивационный метод был предложен в 1936 г [752] Сущность метода описана в ряде обзоров [112, 388, 488, 947, 1040, 1166]

Этим методом никель может быть определен в виде ряда изотопов Облучение, как правило, производят тепловыми нейтронами, Колеман [567] предлагает использовать нейтроны с энергией 14 Мэв При этом возможны реакции  $Ni^{61}(n, p) \rightarrow Co^{61}$  ( $T_{1/2} = 99$  мин),  $Ni^{68}(n, 2n) \rightarrow Ni^{67}$  ( $T_{1/2} = 36$  час) При использовании первой реакции чувствительность метода составляет 10 мкг, второй — 0,3 мкг Ni Другие элементы не мешают определению никеля

При определении никеля используется ядерная реакция  $Ni^{64}(n, \gamma) \rightarrow Ni^{65}$  ( $T_{1/2} = 2,56$  часа) Теоретически можно определять  $6 \cdot 10^{-2}$  г Ni при облучении потоком  $0,5 \cdot 10^{12}$  нейтр/см<sup>2</sup>/сек и продолжительности 3 часа [224] Но из-за потерь во время выделения радио химически чистого никеля и за счет распада этого короткоживущего изотопа чувствительность практически равна  $5 \cdot 10^{-5}$  г При определении никеля в соединениях лития (1 г) чувствительность составляет  $7,0 \cdot 10^{-6}$  % [225]

Описан метод определения следов никеля в металлическом селене [1278] Чувствительность составляет  $5 \cdot 10^{-6}$  % В высокочистом кремнии никель определяют с чувствительностью  $1 \cdot 10^{-6}$  % [1019], в полупроводниковой сурьме —  $1 \cdot 10^{-6}$  % [178] Можно определять и большие количества никеля, например в высоколегированных сталях, содержащих 0—2% никеля [722], или в морских осадочных породах, метеоритах [1167], в которых содержание никеля составляет несколько микрограммов на 1 г

Определение никеля с использованием реакции  $Ni^{58}(n, p) \rightarrow Co^{58}$  имеет значительные преимущества, поскольку  $Co^{58}$  — долгоживущий изотоп ( $T_{1/2} = 72$  дня) Чувствительность определения никеля достигает  $6,5 \cdot 10^{-6}$  г [928]

Разработан метод без выделения радиохимически чистого никеля при определении его в бериллии высокой чистоты [890]

Суммарная активность получившихся после облучения изотопов непосредственно измеряется на гамма спектрографе Чувствительность определения никеля по  $Co^{58}$  (0,8 Мэв) составляет  $5 \cdot 10^{-8}$  г

## 2 КАТАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИКЕЛЯ

Индзима и Хасимото [797] предложили определять никель по каталитической реакции окисления *p*-фенетидина феррицианидом калия Чувствительность составляет  $6 \cdot 10^{-2}$  мкг/мл Определению мешают медь, кобальт, железо и др

Для определения никеля используют реакцию тайрон — дифенилкарбазон — перекись водорода [94] При изучении этой реакции как каталитической на кобальт было обнаружено, что никель мешает уже в количестве  $1 \cdot 10^{-3}$  мкг/мл [483] Поэтому оказалось возможным определять никель по величине ингибиторного действия на реакцию тайрон — дифенилкарбазон — перекись водорода в присутствии известного количества кобальта Мешают кобальт и другие переходные металлы Поэтому необходимо никель отделять диметилдиоксимом

## Глава X

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В ПРИРОДНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

#### 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В СТАЛЯХ, СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА И В ФЕРРИТАХ

При анализе сталей никель определяют гравиметрическими, титриметрическими и фотометрическими методами. При арбитражных анализах чаще всего применяют гравиметрический диметилдиоксимадный метод. Стали и чугуны обычно растворяют в смеси соляной и азотной кислот [386].

#### Определение никеля в сталях (чугунах) гравиметрическим методом

В зависимости от марки стали и наличия или отсутствия кобальта рекомендуется тот или иной метод растворения образца и подготовки раствора к осаждению никеля. Приводим прописку для определения никеля, которая имеется в проекте ГОСТа (взамен ГОСТа 2604—44)<sup>1</sup>. Метод основан на осаждении никеля диметилдиоксимом из слабоаммиачного раствора в присутствии винной кислоты и последующем взвешивании диметилдиоксимата никеля.

#### Определение никеля в стали не содержащей кобальта и меди

Навеску стали 0,1 г (при содержании  $\geq 30\%$ ) 2 г (при содержании от 0,1 до 2%) помещают в стакан емкостью 400—500 мл, приливают 20—50 мл HCl (уд в 1,19), стакан накрывают часовым стеклом и умеренно нагревают до полного растворения навески. Затем, слегка сдвинув часовое стекло, осторожно по каплям приливают HNO<sub>3</sub> (уд в 1,40) до прекращения вспенивания раствора и избыток ее 5—7 мл. Раствор продолжают нагревать и выпаривают досуха. К сухому остатку прибавляют 10 мл HCl (уд в 1,19) и снова выпаривают досуха. Эту операцию повторяют еще 2 раза. Затем приливают 10—20 мл HCl (уд в 1,19) и содержимое стакана нагревают до растворения солей. К раствору приливают 150—200 мл горячей воды, нагревают до 80—90° С, обмывают часовое стекло водой, отфильтровывают осадок кремневой кислоты (вольфрамовой, ниобиевой и др.) через два фильтра «белая лента» и промывают 5—6 раз горячей HCl (1/100). Фильтрат и промывные воды сохраняют (основной раствор).

<sup>1</sup> Проект разработан в Центральном научно-исследовательском институте черных металлов под руководством доктора хим. наук П. Я. Яковлева.

Если в осадке присутствует вольфрамовая кислота, последнюю растворяют на фильтре 50 мл горячей 5% ного раствора NaOH. Фильтр промывают 5—7 раз горячей водой и раствор отбрасывают, а фильтр с остатком обрабатывают 5—7 раз горячей HCl (1 1) и отбрасывают. Промывной раствор собирают в стакан емкостью 250—300 мл и выпаривают досуха. Содержимое стакана смачивают 5 мл HCl (уд в 1,19) и снова выпаривают досуха. Соли растворяют в 5—8 мл HCl (уд в 1,19), к раствору приливают 80—100 мл горячей воды, нагревают до 80—90° С. Выпавший осадок кремневой (ниобиевой) кислоты отфильтровывают на фильтр «белая лента» с фильтробумажной массой, осадок на фильтре промывают 5—6 раз горячей HCl (1 100) и фильтр с осадком отбрасывают. Полученный фильтрат и промывные воды присоединяют к основному раствору.

К полученному раствору приливают 20—25 мл насыщенного раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 20—40 мл 50% ного раствора винной кислоты и раствор нейтрализуют 25% ным раствором  $\text{NH}_4\text{OH}$  до pH 8—9 по универсальному индикатору. К раствору прибавляют по каплям HCl (уд в 1,19) до pH 2—3 по универсальному индикатору. Раствор разбавляют горячей водой до 350—400 мл, нагревают до 50—70° С, приливают 1% ный этанольный раствор диметилдиоксима из расчета 10 мл на каждые 0,01 г Ni, после чего приливают 25% ный раствор  $\text{NH}_4\text{OH}$  до pH 8—9 по универсальному индикатору. Раствор с осадком оставляют стоять при 50—70° С не менее 4 час. Затем осадок отфильтровывают на фильтр «белая лента», промывают 3—5 раз раствором  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1 100) и 5—6 раз водой. При содержании  $< 0,5\%$  никеля в стали раствор с осадком оставляют стоять 12 час.

Осадок на фильтре растворяют 50 мл горячей HCl (1 1), промывают 5—7 раз горячей водой, собирая фильтрат и промывные воды в стакан, в котором производилось осаждение. К раствору приливают 5 мл 50% ного раствора винной кислоты. 25% ный раствор  $\text{NH}_4\text{OH}$  до pH 8—9 по универсальному индикатору, HCl (уд в 1,19) до pH 2—3 по универсальному индикатору и разбавляют горячей водой до 350—400 мл. Раствор нагревают до 50—70° С и никель вновь осаждают диметилдиоксимом, как описано выше.

Полученный осадок диметилдиоксимата никеля количественно переносит в стеклянный фильтрующий тигель № 3, предварительно высушенный при 100° С до постоянного веса. Осадок в тигле промывают 3—5 раз  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1 1000), 3—6 раз водой и 3—4 раза этанолом (1 3). Тигель с осадком высушивают до постоянного веса при 110° С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Одновременно проводят холостой опыт с применявшимися реактивами.

#### Определение никеля в сталях, содержащих кобальт и медь

Навеску стали растворяют, как рекомендовано при определении никеля в стали, не содержащей кобальта и меди.

К полученному солянокислому раствору приливают 25 мл насыщенного раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 20—40 мл 50% ного раствора винной кислоты, нейтрализуют 25%-ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  до pH 9—10 по универсальному индикатору и приливают 5 мл избытка  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Затем приливают 20 мл 20% ного раствора персульфата аммония, раствор кипятят 10—12 мин и разбавляют водой до 350—400 мл. Раствор нагревают до 50—70° С, приливают 1% ный этанольный раствор диметилдиоксима до прекращения выпадения осадка диметилдиоксимата никеля и после этого приливают еще 30—40 мл раствора диметилдиоксима для образования растворимой соли диоксимата кобальта.

Раствор с выпавшим осадком диметилдиоксимата никеля оставляют стоять при 50—70° С не менее 4 час. Затем осадок переносит на фильтр «белая лента» и промывают 7—8 раз водой. При содержании  $< 0,5\%$  никеля в анализируемой стали раствор с осадком оставляют стоять 12 час.

Осадок растворяют на фильтре в 50 мл горячей HCl (1 1), фильтр промывают 5—6 раз горячей водой, собирая фильтрат и промывные воды в стакан, в котором производилось осаждение. Приливают 25 мл насыщенного раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 5 мл 50% ного раствора винной кислоты, раствор нейтрализуют 25% ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  до pH 9—10 по универсальному индикатору, разбавляют водой до 350—400 мл,

нагревают до 50—70° С и вторично осаждают никель 1% ным этанольным раствором диметилдиоксима, как указано выше, с последующим прибавлением 0,5—1 мл 25% ного  $\text{NH}_4\text{OH}$

Осадок количественно переносят в тигель с фильтрующим дном № 3, предварительно высушенный до постоянного веса при 110° С, промывают 7—8 раз водой и 3—4 раза этанолом (1/3) Тигель с осадком высушивают до постоянного веса при 110° С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают Одновременно проводят холостой опыт

Рекомендует также гравиметрический метод определения никеля в виде диметилдиоксимата [96] для определения его в сталях и чугунах, связывая железо в комплексное соединение оксикислотами Диметилдиоксимат никеля взвешивают или переводят его в  $\text{NiO}$  Для этого осадок отфильтровывают через бумажный фильтр, осторожно заворачивают осадок с фильтром в другой бумажный увтажненный фильтр, высушивают его и обугливают на асбестовой сетке После этого, не допуская воспламенения, прокаливают осадок 20—30 мин до постоянного веса в муфеле при 800—825°С и взвешивают Окись  $\text{NiO}$  как весовая форма часто использовалась в ботее ранних работах [1258]

Осаждая никель в аналогичных условиях, в качестве весовой формы рекомендуют также диметилдиоксимат никеля [300]

Для арбитражных и маркировочных анализов сталей с высоким содержанием никеля используют в качестве весовой формы диметилдиоксимат никеля [323] При выполнении маркировочных анализов сталей рекомендуют определять никель методом электролиза

При определении никеля в черных металлах в присутствии больших количеств кобальта осадок диметилдиоксимата никеля пересаждают [182]

Можно восстанавливать железо (III) сульфитом до железа (II) и медь (II) до меди (I) и осаждают никель диметилдиоксимом из раствора, содержащего тартрат и аммиак, в отсутствие меди или из ацетатного буферного раствора — в ее присутствии [437] В сталях, не содержащих кобальт, определяют никель диметилдиоксимом, связывая железо винной кислотой [600] Осадок отфильтровывают через 30 мин, в присутствии меди рекомендуется отделять осадок через несколько часов При анализе сталей, содержащих кобальт, используют различную устойчивость цианидов никеля и кобальта, никель осаждается диметилдиоксимом

Сапир [291] для определения никеля в сталях предлагал заменять этанольный раствор диметилдиоксима водным раствором Кирчик [841] при определении никеля диметилдиоксимом в сталях, содержащих кобальт, экстрагировал железо(III) из солянокислого раствора изопропиловым спиртом, а затем использовал различную устойчивость цианидов кобальта и никеля

Описаны аналогичные методы гравиметрического определения никеля диметилдиоксимом [167, 648]

## Титриметрические методы определения никеля в сталях (чугунах)

Определение 10,5—45,0% никеля производят различными титриметрическими методами

Цианидный метод (см гл титриметрические методы)

После растворения навески, как это описано при гравиметрическом определении никеля, и отделения от  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{WO}_3$ , графита [96, 387] фильтрат переводят в коническую колбу емкостью 500 мл добавляют 75 мл горячей воды, 70—50 мл 10% ного раствора тартрата натрия — калия или винной (лимонной) кислоты (для навески 1—0,5 г)<sup>1</sup>

В дальнейшем поступают по одному из двух следующих вариантов с предварительным выделением никеля диметилдиоксимом и без осаждения никеля

По первому варианту осадок диметилдиоксима никеля растворяют в  $\text{HNO}_3$  (1 2), выпаривают раствор до объема 10—15 мл, охлаждают добавляют 80—100 мл воды и 2—3 капли концентрированной  $\text{HCl}$ . Из бюретки добавляют 2—3 мл раствора  $\text{AgNO}_3$  (с известным титром) и постепенно по каплям раствор  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1 1) до полного растворения осадка хлорида серебра. Приливают 7 мл 2% ного раствора  $\text{KJ}$  и растворяют осадок иодида серебра добавлением титрованного раствора  $\text{KCN}$  до получения прозрачного раствора; вновь добавляют 1 мл  $\text{AgNO}_3$  и титруют раствором цианида калия до получения прозрачного раствора [387]

Второй вариант применим для определения никеля в сталях, содержащих не более 0,05% кобальта и меди

Навеску стали растворяют и готовят раствор, как при первом варианте. После добавления комплексобразующих веществ без разбавления раствор нейтрализуют 25% ным  $\text{NH}_4\text{OH}$  до появления слабого запаха, охлаждают его и титруют, как при первом варианте. Если для маскировки железа(III) добавляют тартрат калия — натрия, то титруют при 60—70° С с предварительным разбавлением раствора до 100 мл [387]

Небольшие видоизменения (в концентрации используемых растворов) рекомендуются рядом авторов [96, 394]. Такой метод опубликован в ряде работ [66, 67, 71, 323, 380, 909, 1022, 1174]. Кроме обычного визуального титриметрического метода, предложен потенциометрический вариант с применением серебряно-го индикаторного электрода [335, 336, 486, 757, 1266]

### Определение никеля диметилдиоксимом [17]

Раствор стали (чугуна) для определения никеля готовят как указано на стр 146. Полученный раствор титруют 0,5% ным раствором диметилдиоксима (см стр 97)

### Комплексометрическое определение никеля [739]

2 г стали (при содержании никеля ~1%) растворяют в 30 мл  $\text{HCl}$  (1 1), окисляют железо (II) добавлением  $\text{HNO}_3$  и связывают его лимонной кислотой. Из раствора, при слабом подщелачивании его аммиаком осаждают никель добавлением 40 мл 1% ного раствора натриевой соли диметилдиоксима. Осадок отфильтровывают через бумажный фильтр, промывают его горячей водой и растворяют на фильтре в 30 мл 9N  $\text{HCl}$ , фильтр промывают горячей водой. Фильтрат упари-

<sup>1</sup> Можно прибавлять 150—200 мл 7%-ного раствора пиррофосфата соответственно для навески 0,5—1 г

вают до объема 2—3 мл и разбавляют водой до 50 мл. Полученный раствор подше лачивают аммиаком до появления синей окраски аммиаката никеля, прибавляют 0,2 г мурексида с хлоридом натрия и титруют раствором комплексона III

Флашка [663] рекомендует после растворения осадка диметилдиоксимата никеля в HCl прибавить избыток раствора комплексона III и после подщелачивания аммиаком оттитровывают этот избыток раствором сульфата магния в присутствии эриохромчерного T. Этот метод пригоден для определения никеля в сплаве Cr—Ni—Fe [1059]. При определении никеля в ферритах после растворения объекта в смеси HCl и HNO<sub>3</sub> экстрагируют железо (III) эфиром, а к аликвотной части добавляют избыток комплексона III, доводят pH раствора до 5—6, добавляют смесь гексаметилентетрамина и метилтиолового синего и оттитровывают избыток комплексона III 0,05 M раствором нитрата свинца [1058]. В случае определения никеля в сплавах Fe—Co—Cu железо маскируют триэтаноламином, медь — тиогликолевой кислотой [1060]. В одной порции раствора можно оттитровать вместе кобальт и никель. В другой порции кобальт при добавлении H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и KCN переводят в устойчивое комплексное соединение и титруют один никель.

Никель может быть выделен диметилдиоксимом и после разложения оттитрован раствором комплексона III [543, 897].

При анализе ферритов никель предварительно выделяют диметилдиоксимом [843]. Осадок промывают и растворяют в горячей HNO<sub>3</sub> (1 : 1), избыток кислоты нейтрализуют NH<sub>4</sub>OH (1 : 1) до pH 4, добавляют ацетат натрия, разбавляют до объема 150 мл, добавляют избыток комплексона III и оттитровывают его раствором соли цинка в присутствии PAN.

Разработаны методы прямого комплексометрического титрования никеля при pH 9—10 с применением мурексида [48, 1081].

### Фотометрические методы определения никеля в сталях (чугунах)

Никель определяют фотометрическим методом в сталях (чугунах) в виде окрашенного соединения никеля (III) с диметилдиоксимом в щелочной среде в присутствии окислителей. Железо маскируют винной кислотой. Кобальт (до 1,5%), титан и ванадий (до 12%), хром (до 20%) [386] не мешают определению. Медь должна или отсутствовать, или соединение диметилдиоксимата никеля следует предварительно отделять экстракцией хлороформом [393]. Влияние меди можно устранить также цементацией. Для этого в анализируемый раствор, содержащий HCl (1 : 2), опускают на 10—15 мин свинцовую пластинку в виде спирали. После этого пластинку с выдлившейся медью осторожно вынимают и промывают водой [757]. По проекту ГОСТа (взамен ГОСТа 2604<sup>1</sup>) определение проводят в следующих условиях:

<sup>1</sup> Проект разработан в Центральном научно-исследовательском институте черных металлов под руководством доктора хим. наук П. Я. Яковлева.

0,1 г стали помещают в стакан емкостью 100 мл, приливают 15 мл HCl (уд в 1,19), стакан накрывают часовым стеклом и умеренно нагревают до растворения навески. Затем осторожно приливают HNO<sub>3</sub> (уд в 1,40), слегка сдвинув часовое стекло до прекращения вспенивания раствора и вводят ее избыток 3—5 мл. Раствор продолжают нагревать затем выпаривают его до объема 5—10 мл, охлаждают, приливают 50—60 мл воды и переливают в мерную колбу емкостью 200 мл, доливают водой до метки и перемешивают. Раствор фильтруют через сухой фильтр в сухую колбу, отбрасывая черные порции фильтра.

Две аликвотные части раствора по 10 мл помещают в мерные колбы емкостью по 100 мл и приливают в каждую колбу по 10 мл 20% ного раствора тартрата калия — натрия, 10 мл 5% ного раствора NaOH, 10 мл 10% ного раствора персульфата аммония. В одну из колб приливают 5 мл 1% ного щелочного раствора диметилдиоксима, раствор в другой колбе служит раствором сравнения. После прибавления каждого реактива содержимое мерных колб перемешивают.

Через 3—5 мин после прибавления диметилдиоксима растворы в колбах доводят водой до меток, перемешивают и измеряют оптическую плотность полученных растворов на фотоэлектроколориметре с зеленым светофильтром (область пропускания 520—530 мкм) в кювете с толщиной рабочего слоя 50 мм (при содержании никеля в образце от 0,1 до 1,5%) или в кювете с толщиной рабочего слоя 20 мм (при содержании никеля в образце от 1,5 до 5%).

Содержание никеля в образце находят по калибровочному графику.

**Построение калибровочного графика для определения от 0,1 до 1,5 % никеля.** В 9 стаканов емкостью 100 мл помещают по 0,1 г углеродистой стали не содержащей никеля или спектрально чистого (электролитического) железа. Приливают последовательно 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 и 16 мл стандартного раствора нитрата никеля содержащего 0,1 мг/мл Ni<sup>2+</sup> что соответствует 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8% никеля в образце. Далее анализ проводят, как описано выше.

**Построение калибровочного графика для определения от 1,5 до 5% никеля.** В 9 стаканов емкостью 100 мл помещают по 0,1 г углеродистой стали не содержащей никеля или спектрально чистого (электролитического) железа и приливают последовательно 18, 20, 25, 35, 40, 45 и 50 мл стандартного раствора нитрата никеля, содержащего 0,1 мг/мл Ni<sup>2+</sup> что соответствует 1,8, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5 и 5% никеля в образце. Далее поступают так же как при построении калибровочного графика в случае определения от 0,1 до 1,5% никеля.

Оптическую плотность растворов измеряют в кювете с толщиной слоя 20 мм. По найденным значениям оптической плотности растворов строят калибровочный график.

Применение персульфата аммония в качестве окислителя рекомендовано рядом автором [25, 96, 300]. Как окислитель также широко используется для определения никеля в сталях бром [293, 300, 601, 920, 1181], иод [197, 257, 571], гихохлорит [809].

Представляет интерес дифференциальный фотометрический метод определения больших количеств никеля в сталях [24].

Сравнительно редко производится предварительное отделение железа. После осаждения Fe(OH)<sub>3</sub> в фильтрате определяют никель фотометрически диметилдиоксимом, используя бром как окислитель [203].

Следует упомянуть бесстружковый метод анализа высоколегированных сталей, где никель также определяется фотометрически [188].

## 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В ЛЕГКИХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ

### Определение никеля в меди и сплавах на основе меди и алюминия

При определении никеля в бронзах и сплавах на основе меди олово отделяют в виде оловянной кислоты, медь и свинец — электролизом в кислой среде, никель или осаждают электролизом [35, 691а, 1217], или определяют гравиметрически диметилдиоксिमом [154, 216, 333, 802, 810, 814, 820, 854], используются также титриметрические методы. По методу Мора никель предварительно выделяют диметилдиоксимом и в дальнейшем поступают, как сказано на стр. 90 [216], или титруют раствором комплексона III [129, 130] в присутствии мурексида, медь связывают тиосульфатом. Довольно широко распространены фотометрические методы [861].

Некоторые авторы экстрагируют диметилдиоксима́т никеля хлороформом [545, 1201, 1275] или четыреххлористым углеродом [165] и измеряют оптическую плотность экстракта, медь из экстракта удаляют раствором аммиака. В ряде работ медь отделяют другим способом и определяют никель диметилдиоксимом в присутствии окислителей. Медь отделяют электролизом [1200], на хроматографической колонке [703, 822], связывают комплексом III [131].

Для определения никеля в свинце и бронзах, содержащих свинец и олово [969], и типографских сплавах [141] рекомендуется экстрагировать диметилдиоксима́т никеля и измерять оптическую плотность экстракта. При определении никеля в кобальте [339] последний отделяют экстракцией высокомолекулярными аминами и в водной фазе определяют его фотометрически с использованием PAN. Для определения никеля в присутствии кобальта и железа последнее отделяют экстракцией изопропиловым эфиром из 6—8 N HCl, кобальт связывают в комплексное соединение с KCN, никель экстрагируют хлороформом [1049]. Из хлороформного экстракта никель извлекают 0,5 N HCl и в водном растворе определяют фотометрическим методом диметилдиоксимом в присутствии брома в щелочной среде.

Для определения никеля в сплавах на основе магния и алюминия используют главным образом фотометрические методы. Многие авторы применяют диметилдиоксим в присутствии окислителей в щелочной среде [491, 572, 1130],  $\alpha$ -фурилдиоксим, экстрагируя его соединение с никелем и затем измеряя оптическую плотность [697, 698]. Иногда экстрагируют соединение никеля 5% ным раствором пирролидиндитиокарбамината в хлороформе и измеряют оптическую плотность экстракта [710]. В кальции определяют никель в виде суспензии с нноксимом [650]. Никель выделяют диметилдиоксимом, используя для комплексообразования кальция

и железа глюконо- $\delta$ -лактон [690] При определении никеля в бериллии [1252] экстрагируют хлороформом соединение никеля с диметилдиоксिमом, связывая бериллий в комплекс лимонной кислотой, рэкстрагируют соединение никеля соляной кислотой и в водном растворе определяют никель диметилдиоксिमом в присутствии иода в щелочной среде В случае определения никеля в уране получают окрашенные растворы при действии диметилдиоксима в присутствии окислителей в щелочной среде [426, 745, 981, 1088] или экстрагируют диметилдиоксимат никеля хлороформом и измеряют оптическую плотность экстракта [985, 1206]

### [3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В РУДАХ И МИНЕРАЛАХ

Методы определения никеля в этих объектах описаны в ряде монографий по анализу минерального сырья, руд и продуктов металлургического производства [8, 39, 273, 327, 328, 391] Никель содержится в горных породах в небольших количествах, его определяют всегда из отдельной навески, после разложения породы серной и фтористоводородной кислотами [8] При осаждении полоторных окислов аммиаком никель переходит в фильтрат Если содержание никеля в породе (и особенно в руде) велико, полоторные окислы осаждают пиридином или бензоатом аммония [273]

Силикатные породы вскрывают серной и фтористоводородной кислотами (обычно силикаты, содержащие никель, легко растворимы в этих кислотах) Нерастворившийся в кислотах остаток сплавляют с карбонатом натрия или пиросульфатом калия При вскрытии сульфидных и арсенидных минералов и руд для удаления большей части мышьяка и серы сначала подвергают их обжигу Подготовленную таким образом руду растворяют при нагревании в  $\text{HNO}_3$  или смеси  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HCl}$  Хромиты лучше сплавлять с  $\text{Na}_2\text{O}_2$ ,  $\text{NaOH}$  или  $\text{NaNO}_3$  Аналогично вскрывают никелевые штейны, гивейзы, никелевые шлаки и никелевый скрап

Для отделения металлов группы сероводорода последние осаждают в виде сульфидов в кислой среде Никель чаще всего выделяют диметилдиоксимом, но если содержание его очень велико, то применяют электролитическое осаждение никеля От урана, ванадия, фосфора, хрома и цинка лучше всего отделять никель осаждением в виде гидроокиси действием  $\text{Na}_2\text{O}_2$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или  $\text{NaOH}$  и  $\text{H}_2\text{O}_2$  Если в руде или минерале много железа, то последнее удаляется экстракцией эфиром [39] Для отделения и одновременного концентрирования малых количеств никеля применяют экстракцию диметилдиоксимом [477], дитизином [1186], салициламином [7], осаждение рубеоноводородной кислотой [185], соосаждение с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$  [743], хроматографические [287, 899] и другие методы При высоком содержании никеля в минералах и рудах используют гравиметрические и титриметрические методы определения, метод электролитического осаждения (например при анализе про-

дуктов обогащения руд) Гравиметрический метод — осаждение диметилдиоксидом — наиболее удобен, поскольку является селективным Этот метод с успехом применяется и для микроопределения никеля [8] Из титриметрических методов распространены комплексонометрический, цианидный методы и метод с применением диметилдиоксида в его амперометрическом или обычном варианте [298] Малые количества никеля могут быть определены полярографически [175, 198, 199, 957], фотометрически диметилдиоксидом [185, 197, 778], а фурилдиоксидом [486, 743] и спектральным методом

### Гравиметрическое определение никеля диметилдиоксидом в железных рудах [273]

1 г руды помещают в стакан емкостью 100 мл, приливают 15—20 мл концентрированной HCl и умеренно нагревают на электрической плитке или песчаной бане Затем приливают несколько капель  $H_2O_2$  и нагревают еще некоторое время Когда растворение закончится раствор выпаривают досуха Сухой остаток смачивают 2—3 мл концентрированной HCl и снова выпаривают досуха Хромиты разлагаются HCl, в этом случае приливают несколько миллилитров  $H_2SO_4$  и выпаривают до появления паров  $H_2SO_4$

После охлаждения сухой остаток смачивают 3—5 мл HCl, нагревают для растворения солей и фильтруют через фильтр с красной лентой Нерастворимый остаток промывают горячей водой подкисленной HCl, и отбрасывают

Если нерастворимый остаток содержит нерастворяемые соляной кислотой силикаты, содержащие никель или хромшпинелиды, которые также могут содержать небольшие количества никеля, то его прокалывают и обрабатывают в платиновом тигле или чашке смесью  $H_2F_2$  и  $H_2SO_4$  до появления обильных паров  $SO_2$  Избыток серной кислоты удаляют осторожно на газовой горелке и остаток сплавляют с небольшим количеством пиросульфата калия Плав растворяют в 1%-ной HCl при нагревании и раствор присоединяют к ранее полученному фильтрату При небольшом нерастворимом остатке разложение навески руды можно производить непосредственно сплавлением с пиросульфатом калия

К раствору прибавляют немного бумажной массы, перемешивают и фильтруют, остаток на фильтре промывают горячей 1% ной HCl и отбрасывают

К полученному тем или иным путем серноокислему или сернокислому раствору прибавляют 150—200 мл прибавляют 5—7 г лимонной или винной кислоты и нейтрализуют  $NH_4OH$  до слабощелочной реакции по лакмусу Раствор при этом должен остаться прозрачным В случае помутнения или выпадения осадка полуторных окислов раствор подкисляют увеличивают количества оксикислот на 1—0,5 г и раствор вновь нейтрализуют Затем подкисляют 1—2 мл HCl, нагревают до 70—80° С прибавляют 10—25 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксида и нейтрализуют  $NH_4OH$  до слабого запаха при тщательном перемешивании раствора Через 3—4 часа осадок отфильтровывают и растворяют его на фильтре в HCl (1 г)

Из полученного раствора никель вновь осаждают в присутствии 0,5—0,3 г оксикислот Осадок отфильтровывают через взвешенный стеклянный тигель № 3 или 4 высушивают при 110—120° С и взвешивают

### Электровесовое определение никеля в файнштейнах [321]

Медь и кобальт осаждают электролизом на катоде Эти металлы определяют в отдельных навесках и вычитают их вес из веса выделенных металлов на катоде

Для определения никеля 1 г тонкоизмельченного файнштейна растворяют при нагревании в 40 мл концентрированной HCl. После растворения к сиропообразному остатку приливают 10 мл H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и нагревают до выделения SO<sub>2</sub>. Затем раствор охлаждают, приливают к нему 70 мл воды, нагревают вновь для растворения солей и фильтруют в стакан емкостью 300 мл.

К полученному серническому раствору приливают 70 мл NH<sub>4</sub>OH и выделяют никель (вместе с медью и кобальтом) на взвешенном платиновом сетчатом электроде током 3—3,5 а в течение 1 часа. Во время электролиза раствор перемешивают воздухом. По истечении 1 часа испытывают на полноту выделения никеля, для чего на бумажку, пропитанную диметилдиоксидом, наносят 2—3 капли раствора. Если на бумаге через 2—3 мин появляется красное пятно, то электролиз продолжают еще 15 мин.

После окончания электролиза убирают из под электрода стакан и обмывают электрод водой, этанолом и сушат в сушильном шкафу при 100—105° С в течение 15 мин, затем охлаждают и взвешивают.

### Титриметрическое определение никеля в рудах

Метод применяется для анализа продуктов никелевого производства, содержащих не менее 1% никеля [935].

0,5 г руды растворяют в HNO<sub>3</sub>, прибавляют 5 г хлората калия, выпаривают до суха и ту же операцию повторяют с HCl. Остаток извлекают HCl и водой, фильтруют, дважды осаждают NH<sub>4</sub>OH и бромной водой, оба фильтрата объединяют и подкисляют HCl. После этого прибавляют еще 10 мл HCl и осаждают сероводородом сульфиды.

Фильтрат кипятят, добавляют бромную воду и удаляют избыток брома кипячением, добавляют 15 мл 10% ной лимонной кислоты, нейтрализуют NH<sub>4</sub>OH, прибавляют избыток его 10 мл. К этому раствору приливают титрованный раствор KCN до исчезновения голубого окрашивания, и затем еще 5—10 мл. Добавляют несколько капель KI и титруют раствором AgNO<sub>3</sub> до появления желтого окрашивания.<sup>1</sup>

### Фотометрическое определение никеля в горных породах, бедных никелем [1186]

1—0,5 г породы, размельченной в ступке, обрабатывают 20 мл 40% ной H<sub>2</sub>F<sub>2</sub> и 3 мл 60% ной HClO<sub>4</sub>. Раствор выпаривают на водяной или песчаной бане, остаток слегка прокачивают для удаления HClO<sub>4</sub> и обрабатывают 3 мл HCl (1:1) и 10 мл воды. Содержимое тигля переводят в стаканчик из боросиликатного стекла, который помещают на водяную баню для растворения всех солей.

После охлаждения к раствору добавляют 20—25 мл цитратного буферного раствора, приготовленного следующим образом: 200 г трехзамещенного цитрата натрия и 10 г солянокислого гидроксидовина растворяют в 800 мл воды и нейтрализуют NH<sub>4</sub>OH до тимоловому, затем примеси металлов экстрагируют раствором дитизона в CCl<sub>4</sub> до тех пор, пока окраска дитизона не будет оставаться неизменной. Значение pH доводят NH<sub>4</sub>OH до 10—11,5 и разбавляют раствор до 1 л.

Полученный цитратный раствор породы переносят в делительную воронку емкостью 150 мл и экстрагируют следы металлов 0,015% ным раствором дитизона в CCl<sub>4</sub> дважды, контролируя перед второй экстракцией значение pH. Если оно ниже 8,9, то раствор следует подщелочить NH<sub>4</sub>OH.

<sup>1</sup> Конечная точка титрования может быть установлена и потенциметрически [32] после выделения меди тиосульфатом или лучше после выделения никеля диметилдиоксидом. В последнем случае гораздо удобнее определять никель комплексонометрически.

Объединенные экстракты переносят в стакан емкостью 100 мл, выпаривают раствор досуха, добавляют 2 мл концентрированной  $H_2SO_4$  и 1 мл 60% ной  $HClO_4$  для разрушения дитизонатов, затем нагревают на песчаной бане до полного обесцвечивания и выпаривают досуха. Сухой остаток при помощи 3 мл 0,6 N  $HCl$  переносят в мерную колбу емкостью 10 мл и разбавляют водой до метки.

Для определения никеля берут 2 мл этого раствора, помещают в пробирку из боросиликатного стекла, куда приливают 5 мл цитратного буферного раствора и 1 мл 0,3% ного раствора  $\alpha$  фуриллидоксима в смеси этанола и бензола (1 : 9). Пробирку закрывают притертой пробкой и встряхивают 2 мин.

Бензольный слой пипеткой переносят в другую пробирку, содержащую 5 мл цитратного буферного раствора. Экстрагируют 1 мин и сравнивают окраску экстракта с приготовленным стандартным рядом, содержащим 0, 0,25, 0,50, 1,00, 5,0 мкг никеля.

Оптическую плотность бензольных экстрактов можно измерять на фотометре при 435 мкм в кювете с толщиной слоя 1 см.

Описано определение никеля в породах с предварительным концентрированием его электролизом [611].

#### 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ВАННАХ

Методы определения никеля в электролитных ваннах известны более ста лет. Никель определяли титрованием по методу Мора [892]. Этот метод не применяется сейчас.

Определение никеля в электролитах для никелирования методом осаждения диметилдиоксिमом [40] описано наряду с другими более экспрессными методами в монографии [106]. Более быстрый метод электролитического осаждения применяется редко [319]. Чаще всего используются метод титрования диметилдиоксिमом [319] или комплексоном III [4, 384, 554, 662, 838, 926]. Первым методом определяют никель в присутствии других металлов. Второй метод может быть использован иногда без предварительного выделения никеля [384, 926], но чаще, например, как это рекомендуется при анализе ванн для покрытия цинко-никелевым сплавом, никель вначале отделяют в виде диметилдиоксимата и затем уже определяют комплексонометрически [5].

Быстрым является метод фотометрического определения никеля, основанный на измерении поглощения его серноокислого раствора [106, 859]. Кроме того, никель определяют полярографически на фоне хлорида аммония (если содержание никеля невелико) и методом амперометрического титрования ферроцианидом калия или диэтилдитиокарбаминатом [106].

В ваннах для электролитического выделения других металлов содержание никеля обычно невелико. Поэтому определять его рекомендуется фотометрически, чаще всего с использованием диметилдиоксима в присутствии брома [149, 864] или измерением оптической плотности хлороформного экстракта диметилдиоксимата [744].

## Гравиметрическое определение никеля диметилдиоксидом в электролитах для никелирования, меднения, покрытия сплавом никель—олово и др [106]

2 мл электролита переносят пипеткой или бюреткой в колбу емкостью 400—500 мл, разбавляют водой до объема 200—300 мл. Прибавляют 0,2—0,3 г винной кислоты и  $\text{NH}_4\text{OH}$  до щелочной реакции по бумаге конго, а затем 2—3 капли его избытка и 50—60 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксида. Раствор подогревают 10—15 мин до коагуляции осадка, отфильтровывают осадок через беззольный фильтр, тщательно промывают его горячей водой, помещают вместе с фильтром в фарфоровый тигель, подсушивают и осторожно прокалывают до  $\text{NiO}$ .

## Титриметрическое определение никеля комплексом III в никель-цинковых ваннах [5]

20—30 мл анализируемого раствора переносят в стакан, прибавляют 200 мл воды и 30 мл 40% ного раствора формальдегида (для разрушения цианидов). Через 15 мин приливают 15—20 мл  $\text{HCl}$  (1/1) до начала изменения цвета бумаги конго, затем добавляют еще 150 мл воды, нагревают раствор до 70—80° С и при pH 5 осаждают никель 1% ным аммиачным раствором диметилдиоксида. Скоагулированный осадок отфильтровывают и переосаждают никель из разбавленного горячего раствора, прибавляя  $\text{NH}_4\text{OH}$  до резкого запаха.

Отфильтрованный и промытый осадок растворяют в возможно меньшем количестве 10% ной  $\text{HCl}$ , собирая раствор в коническую колбу емкостью 250 мл, и выпаривают до 2—3 мл. После охлаждения раствор разбавляют водой до 100—125 мл, приливают к нему 15 мл 0,05 N раствора комплексона III, нейтрализуют 10% ным раствором  $\text{NaOH}$  по бумаге конго и еще добавляют несколько капель этого раствора. Приливают 2 мл аммиачного буферного раствора (pH 10—10,5) и титруют 0,05 N раствором  $\text{ZnSO}_4$  до перехода синей окраски в красно-фиолетовую (индикатор — хромогенчерный ET 00). Разность между объемами добавленного 0,05 N раствора  $\text{ZnSO}_4$  соответствует количеству никеля (1 мл 0,05 N раствора комплексона III соответствует 7,0217 мг  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).

## Фотометрическое определение никеля в ваннах для электролитического получения цинка

К 10 мл электролита, содержащего 5—0,5 мг/мл никеля, помещенного в делительную воронку, прибавляют 10 мл раствора цитрата натрия, приготовленного растворением 14 г лимонной кислоты в 100 мл 2N раствора  $\text{NaOH}$ , 16 мл раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  (уд. в. 0,934), 4 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксида и 2 капли 1% ного раствора солянокислого гидроксилamina. Через 10 мин прибавляют 10 мл хлороформа и встряхивают содержимое воронки 1 мин.

По разделении фаз слой хлороформа отделяют и повторяют экстрагирование никеля еще 2 раза. Экстракты объединяют и рекстрагируют никель 10 мл 0,5 N  $\text{HCl}$ , а затем еще дважды 5 мл 0,5 N  $\text{HCl}$ . К рекстрактам прибавляют 5 мл насыщенную бромную воду, 2 мл раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  (уд. в. 0,934), 2 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксида, разбавляют водой до 50 мл и через 10 мин измеряют оптическую плотность на фотометре с зеленым светофильтром.

## 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В ВЕЩЕСТВАХ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ, ПОЧВАХ И ВОДЕ

### Определение никеля в почвах и биологическом материале

Никель в почвах и в растительных объектах был обнаружен давно [673], но в связи с тем, что значение его в жизнедеятельности растений и животных выясняется лишь в последнее время, работ по анализу этих объектов немного

Анализируемый материал переводят в раствор, никель наряду с другими элементами концентрируют и затем определяют его содержание в концентрате

Почвы обрабатывают смесью фтористоводородной и хлорной кислот [612, 1191], азотной и соляной кислотами [448, 533, 612] или сплавляют с карбонатом натрия [200, 533], разлагая полученный плав соляной кислотой Иногда растворимые в кислотах соединения никеля и других микроэлементов извлекают растворами соляной кислоты [5, 1112] Растительные материалы предварительно сжигают при 350—500°C [416] Животные материалы окисляют смесью серной и азотной кислот [918] или применяют обычное озоление [343] Затем никель концентрируют осаждением в виде сульфида [769, 1112], рубинаатов вместе с рядом металлов [200, 343], экстракцией в виде дитизоната [1194], диэтилдитиокарбамината и в виде диметилдиоксимата [980, 1075] Рекомендуют также хроматографическое концентрирование никеля [4, 155, 1079]

Рис 28 Концентратор

1 — трубка 2 — резиновая пробка 3 — резиновая муфта 4 — пробирка 5 — сорбент



Определение чаще всего заканчивают фотометрическим методом с использованием диметилдиоксима в присутствии окислителя [293, 980, 1168], полярографическим методом [200], спектральным методом и методом хроматографии на бумаге [576]

### Определение никеля в растительных материалах с хроматографическим концентрированием [5]

5 г высушенного растительного материала нагревают в стакане с 50 мл 1*N* HCl 30 мин на песчаной бане Экстракт отделяют декантацией и остаток промывают 5 раз водой Промывные воды объединяют с экстрактом разбавляют до 1 л и переносят в концентратор, представляющий собой трубку емкостью 1 л (рис 28), верхний конец которой закрывается резиновой пробкой 2 К патрубку нижнего оттянутого конца в начале концентрирования при помощи резиновой муфты 3 присоединяют пробирку 4 с сорбентом КУ 2 (5) После присоединения к трубке пробирки с катионитом прибор доверху закрывают анализируемым раствором и закрывают пробкой не оставляя под ней пузырьков воздуха Затем прибор пере-

ворачивают пробкой вниз. После оседания сорбента вновь переворачивают концентратор. Когда весь сорбент соберется в пробирку, ее отсоединяют.

Ионит переносят из пробирки в стаканчик емкостью 50 мл и обрабатывают 4 раза по 15 мл 4 N HCl и 1 раз промывают водой.

Объединенные промывные жидкости объединяют, упаривают до 2—3 мл с добавлением 2—3 капель 20% ной  $H_2O_2$ . Жидкий концентрат переносят в делительную воронку, в которую добавляют 10—15 мл 10% ного раствора цитрата натрия, нейтрализуют концентрированным  $NH_4OH$  до слабого запаха и затем добавляют еще 1—2 капли его. После этого прибавляют 3 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксима и экстрагируют диметилдиоксимат никеля двумя порциями хлороформа по 3 мл в течение 1 мин. Для отделения меди хлороформный раствор промывают 5 мл  $NH_4OH$  (1 : 50). Затем никель реэкстрагируют 1 мин 3 мл 0,5 N HCl. Солянокислый раствор переносят в мерную пробирку емкостью 25 мл и определяют никель фотометрическим методом как указано на стр. 111.

### **Определение никеля в биологическом материале (концентрирование диметилдиоксимом) [293, 677]**

Анализируемое органическое вещество обрабатывают азотной и хлорной кислотами. Полученный раствор разбавляют до подходящего объема. Отбирают аликвотную часть раствора и помещают ее в делительную воронку, добавляя 2 мл 10% ного раствора солянокислого гидроксиламина, 5 мл 20% ного раствора цитрата натрия, 3 капли фенолфталеина и такое количество концентрированного  $NH_4OH$ , чтобы раствор стал красным и затем избыток аммиака 4 капли. Приливают 2 мл 10% ного этанольного раствора диметилдиоксима, доводят объем раствора примерно до 60 мл и встряхивают последовательно с тремя порциями по 5 мл хлороформа, каждый раз в течение 0,5 мин. Экстракты объединяют и медь из них удаляют встряхиванием с 5 мл  $NH_4OH$  (1 : 50) в течение 1 мин. Никель реэкстрагируют при встряхивании экстракта 1 мин с 10, а затем с 5 мл 0,33 N HCl. Реэкстракты собирают в черной колбе емкостью 50 мл. Добавляют 2 мл 20% ного раствора тартрата натрия, 10 мл 4% ного раствора персульфата калия, 0,5 мл 1% ного раствора диметилдиоксима в 0,25 N NaOH и 2,5 мл 5N NaOH. Оставляют на 30 мин, а затем измеряют светопоглощение при 465 мкм. Параллельно проводят холостой опыт.

### **Определение никеля в пиве и пивных дрожжах (концентрирование дитизоном) [831]**

В кварцевой чашке выпаривают 100 мл пива досуха (или берут 10 г пивных дрожжей). Затем выпаренный или твердый образец озолотят в муфеле при 500—550° С до тех пор, пока зола не станет белой. Остаток в чашке смачивают 2 мл HCl (1 : 1) и 2 мл воды, выпаривают досуха при 100° С и вновь обрабатывают остаток 1 мл HCl (1 : 9) и 2 мл  $H_2O$ .

Затем содержимое чашки разбавляют до 6 мл водой и экстрагируют 4 мл 0,05 % ного раствора дитизона в  $CCl_4$  до тех пор, пока окраска дитизона не будет оставаться неизменной. Для определения никеля отбирают аликвотную часть раствора концентрата, где после разрушения дитизоната никель определяют фотометрическим методом с использованием диметилдиоксима и бромной воды (см. стр. 111).

### **Определение никеля в почвах (концентрирование рубсановодородной кислотой) [200]**

2—3 г тонкоизмельченной и подкисленной серной кислотой почвы прокалывают в кварцевой чашке при 450° С в муфеле и затем длительную время обрабаты-

<sup>1</sup> Анализируемое вещество необходимо брать в таком количестве, чтобы в нем содержалось не менее 5 мкг никеля.

вают смесь  $\text{HCl}$  и  $\text{HNO}_3$  до полного обесцвечивания глинисто-песчаного остатка (если остаток будет окрашен, то его следует сплавить с карбонатом натрия и после растворения в  $\text{HCl}$  проверить на содержание металлов рubeановодородной кислотой)

Полученный раствор после отделения  $\text{SiO}_2$  и прибавления 1—2 г лимонной кислоты нейтрализуют избытком концентрированного  $\text{NH}_4\text{OH}$  и к раствору прибавляют 2—3 мл 0,5% ного этанольного раствора рubeановодородной кислоты. Через несколько часов осадок рubeанатов растворяют в горячей 20% ной  $\text{HNO}_3$ . Кобальт отделяют 1 нитрозо 2 нафтолом, а оставшийся раствор полярографируют, как указано на стр. 136

Описан метод определения никеля в биологических объектах и почвах с использованием метода осадочной хроматографии на бумаге [4]

### Определение никеля в нефти и продуктах ее переработки

Нефть озольют и прокалывают остаток при 450—500° С или окисляют смесью серной и азотной [792] или азотной и хлорной кислот [676]. При прокаливании обычно теряется часть никеля, поэтому лучше прокалывать нефть в присутствии элементарной серы [40]. Методы выделения никеля из золы сходны с методами, описанными для биологического материала

Определяют никель фотометрическим методом с использованием диметилдиоксида в присутствии окислителя [401],  $\alpha$  фурилдиоксином [676], солюхром красным ERS [792], или же, как и в почвах, полярографическим [626] или спектральным методом [791]

### Определение никеля в нефти солюхромкрасным ERS (хроматографическое отделение) [792]

В кварцевой чашке диаметром 9—12 см смешивают 1—5 г нефти с пятикратным количеством  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , покрывают часовым стеклом и нагревают на асбестовой сетке до кипения. Затем осторожно добавляют 2 мл концентрированной  $\text{HNO}_3$  из пипетки и нагревают до выделения паров  $\text{SO}_3$ . Эту операцию повторяют около 10 раз, пока в кварцевой чашке раствор не станет прозрачным (на 1 г нефти расходуется 40—60 мл  $\text{HNO}_3$ ). Затем остаток прокалывают досуха на открытом огне. По охлаждению к остатку добавляют 10 мл концентрированной  $\text{HCl}$  и выпаривают на водяной бане досуха, вновь добавляют 10 мл 6 N  $\text{HCl}$  и 90 мл метанола. Этот раствор пропускают со скоростью 0,5 мл/мин через специально подготовленную смолу дауэкс, промытую 1 N  $\text{HCl}$  до удаления железа и смеси 5 мл 6 N  $\text{HCl}$  и 45 мл метанола. Фильтрат, содержащий никель (от 2 до 30 мкг Ni), собирают в колбу емкостью 100 мл.

Для определения никеля к аликвотной части раствора в колбе емкостью 10 мл приливают 0,5 мл 2,5 M раствора ацетата натрия, 1 мл 0,035% ного раствора солюхромкрасного ERS и объем доводят до метки. Одновременно готовят стандартные растворы. Измеряют оптическую плотность при 510 мкм.

### Определение никеля в природных водах

В природных водах содержится (за исключением шахтных вод в никелевых рудниках) миллионные доли процента никеля. Первыми на присутствие никеля в водах обратили внимание Малагути

[1921] и Форхаммер [673] Впервые определил никель в природных водах Малюга [197]

Определение никеля в водах возможно после его концентрирования Наиболее старый метод — выпаривание больших объемов воды [201, 366, 1155] После упаривания дальнейшее концентрирование и отделение никеля производят с помощью рубеноводородной кислоты, соосаждения с  $Mg(OH)_2$  [366],  $FeS$  [366], 8 оксихинолином, тионалидом [1155], экстракцией диметилдиоксидом [366], диэтилдитиокарбаматом и 8 оксихинолином [102, 148, 183] или хроматографически [4]

Определение никеля заканчивают спектральным [1155], полярографическим [201] или спектрофотометрическим [366] методом

#### Спектрофотометрическое определение никеля в воде

(концентрирование соосаждением) [366]

2—3 л воды, содержащей не менее 1 мг экв магния, нагревают до кипения и добавляют 20 мл 10% ного раствора  $NaOH$  на каждый литр После отстаивания осадок декантацией отделяют от раствора и растворяют в  $HCl$  при добавлении нескольких кристаллов  $KBrO_3$  Избыток брома удаляют добавлением сернистого гидроксилamina Вновь переосаждают  $Mg(OH)_2$  и осадок растворяют в  $HCl$  К раствору добавляют по  $\sim 2$  мл раствора соли железа (III) на каждые 50 мл и при кипячении вводят по каплям  $(NH_4)_2S$  до прекращения выпадения черного осадка<sup>1</sup>

Отфильтрованный осадок растворяют в  $HCl$  с добавлением бромной воды, избыток брома удаляют прибавлением насыщенного раствора сернистого гидразина К охлажденному раствору добавляют тартрат натрия — калия или щелочной натрий (0,5 г), концентрированный  $NH_4OH$  до появления запаха и 3—4 капли 1% ного этанольного раствора диметилдиоксида Диоксид никеля экстрагируют тремя порциями хлороформа по 1 мл каждая Объединенные экстракты промывают раствором  $NH_4OH$  (1:50)

Экстракты выпаривают, разрушают диоксид несколькими каплями концентрированной  $HCl$  охлаждают, приливают небольшой избыток  $NH_4OH$ , 0,5—1,0 мл бромной воды и прибавляют 2—3 капли раствора диметилдиоксида Окраску раствора сравнивают со стандартами

#### Определение никеля в воде с использованием концентрирования методом хроматографии [4]

Силикагель размолотый до частиц размером 0,05—0,1 мм и отмытый от жезла 10% ной  $HCl$  и дистиллированной водой, высушивают при 380—390° С Затем обрабатывают не менее 10 раз 1% ным раствором  $NH_4OH$  и промывают водой до тех пор, пока величина рН фильтрата не станет равной  $\sim 8$

Концентрирование следов никеля и других ионов производится в концентраторе, описанном выше (см стр 154) Поглощенные элементы извлекают из сорбента или горячим раствором  $HCl$ , или 30%-ным раствором  $NH_4Cl$  тремя четырьмя порциями по 10 мл Солянокислую вытяжку упаривают до объема 5—10 мл и таким образом получают концентрат, в котором никель определяют спектрофотометрически, как описано на стр 111

Описаны методы определения никеля в жирах [120, 833, 1249], и в золе [415] и других объектах [332]

<sup>1</sup> Следует избегать избытка осадителя, так как часть осадка может перейти в коллоидное состояние

## 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В ВЕЩЕСТВАХ ОСОБОЙ ЧИСТОТЫ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛАХ

Наиболее распространенными методами определения никеля в таких веществах явились физико-химические методы, среди которых на первом месте стоят спектрохимический, затем спектрофотометрический и активационный методы

Анализ веществ высокой степени чистоты предъявляет особые требования к приемам анализа и применяемым реактивам [889]. Эти общие вопросы рассмотрены в ряде работ [241, 1039], поэтому нами будут отмечаться лишь особенности определения никеля в конкретных объектах

Бланк с сотр [44] предложил метод определения следов никеля в чистых галогенидах. Сущность метода заключается в концентрировании никеля экстракцией его диметилдиоксима хлороформом и определении после рекстракции диметилдиоксимом и бромом в водной среде в присутствии аммиака. Определяемый минимум  $1 \cdot 10^{-4}\%$  никеля (5 мкг из навески соли 5 г)

### Определение никеля в особо чистых солях щелочных металлов

2,5 г  $\text{LiF}$ ,  $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{CaF}_2$  помещают в платиновый тигель с крышкой, прибавляют 15 мл  $\text{HClO}_4$  (уд. в. 1,5) и нагревают тигель на электроплитке мощностью 800—1000 Вт закрытой заслонкой. Содержимое тигля периодически перемешивают, обхватывая его с внешней стороны тигельными щипцами. Нагревают 30—40 мин после начала выделения паров хлорной кислоты.

Содержимое оставшегося тигля растворяют в воде, переносят в делительную воронку, прибавляют каплю фенолового красного, 5 мл цитратного буферного раствора (20% ный водный раствор трехзначенного цитрата натрия), 1 мл  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1:5), 1 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксима и экстрагируют никель дважды порциями хлороформа по 5 мл каждая. Объединенный экстракт промывают 5 мл  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1:50). Аммиачный раствор встряхивают с 2 мл хлороформа, который присоединяют к хлороформному экстракту. Объединенный экстракт встряхивают с  $\text{HCl}$  (2 порции по 5 мл). К полученному солянокислому раствору, помещенному в мерную колбу емкостью 25 мл, прибавляют 0,2 мл бромной воды, 1 мл  $\text{NH}_4\text{OH}$  (уд. в. 0,91) и 0,5 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксима, разбавляют водой до метки и через 15 мин измеряют оптическую плотность на ФЭК Н с синим светофильтром в кювете с толщиной слоя 5 см.

Аналогичный способ применяется для определения никеля в каустической соде [184]. Подготовленный для анализа  $\text{NaOH}$  нейтрализуют  $\text{HCl}$  и далее поступают, как в предыдущем методе. Чувствительность определения  $1 \cdot 10^{-6}\%$  никеля (0,1 мкг из навески 10 г).

Следы никеля определяют в высокочистом металлическом серебре спектральным методом, без концентрирования [902]. Анализируемый образец растворяют в  $\text{HNO}_3$  (1:1), раствор выпаривают досуха, плавят  $\text{AgNO}_3$  и размельченный порошок нитрата серебра помещают в кратер угольного электрода.

В чистом металлическом золоте никель определяют спектрально [88, 1302] или полярографически [1043]. Спектрально никель определяют в соли обогащения с чувствительностью  $5 \cdot 10^{-4}\%$ . Чувствительность полярографического определения составляет

$\geq 10^{-5} \%$  Такая чувствительность достигается благодаря концентрированию. Основную массу золота после растворения его в смеси  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HCl}$  и удаления  $\text{HNO}_3$  отделяют из  $3\text{N HCl}$  экстракцией изопропиловым эфиром. Никель экстрагируют на аммиачном фоне. Исходная навеска золота равна  $0,5 \text{ г}$ .

Много работ посвящено определению никеля в металлическом бериллии и его окисле. Никель определяют в бериллии спектрально без концентрирования [136, 898, 982]. Чувствительность такого определения  $10^{-3} \%$ . Более высокая чувствительность получается при концентрировании следовых элементов. Для этого основной ацетат бериллия экстрагируют хлороформом, а оставшиеся примеси на небольшом количестве  $\text{BeO}$  переносятся на угольный электрод [136].

Фотометрические методы определения никеля в высокочистом бериллии основаны на реакциях с оксимами. Один из методов [756] заключается в концентрировании никеля путем соосаждения с  $\text{Cd}$  бензотриазолом, дальнейшем хроматографическом отделении от прочих элементов и окончательном определении диметилдиокси-мом и окислителем (персульфатом аммония). Чувствительность метода составляет  $3 \text{ мкг}$  никеля.

Более перспективен метод с  $\alpha$ -фурилдиоксидом [1048].

#### Определение никеля в бериллии $\alpha$ -фурилдиоксидом

$1 \text{ г}$  металла растворяют в  $\text{HCl}$  или  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $7 \text{ мл H}_2\text{SO}_4$  или  $21 \text{ мл HCl}$ ). Раствор упаривают до минимального объема, переносят в мерную колбу емкостью  $100 \text{ мл}$  и аликвотную часть ( $25 \text{ мл}$ ) раствора помещают в делительную воронку емкостью  $125 \text{ мл}$ , добавляют  $10 \text{ мл}$   $30\%$  ного раствора цитрата натрия, пять капель фенолфталеина и десять капель  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Затем добавляют  $20\%$  ный раствор  $\text{NaOH}$  до появления розовой окраски. После этого добавляют  $3 \text{ мл}$   $1\%$  ного водного раствора  $\alpha$ -фурилдиоксида и экстрагируют  $10 \text{ мл}$  хлороформа  $1 \text{ мин}$ . Экстракцию повторяют еще раз. Объединенные экстракты помещают в колбу емкостью  $25 \text{ мл}$ , доводят до метки этанолом и измеряют оптическую плотность на спектрофотометре при  $435 \text{ мкм}$  в кювете с толщиной слоя  $5 \text{ см}$ . Чувствительность метода  $1 \cdot 10^{-4} \%$ .

Никель определяют в бериллии также методом нейтронной активации. Метод Негинной и Замятиной [224] основан на использовании ядерной реакции  $\text{Ni}^{64}(n, \gamma)\text{Ni}^{65}$ . Из общей массы изотопов, полученных после облучения образца и эталона, никель выделяют сначала экстракцией диэтилдитиокарбамината хлороформом, затем — диметилдиоксида и определяют его количество по активности осадка диоксида на торцовом счетчике. Чувствительность метода  $5 \cdot 10^{-5} \%$ . Теоретическая чувствительность  $6 \cdot 10^{-7} \%$  не достигается вследствие больших потерь в операциях выделения радиохимически чистого никеля. Этот метод требует контроля радиохимической чистоты изотопа.

Другой метод [888] дает чувствительность  $5 \cdot 10^{-6} \%$  никеля при анализе  $1 \text{ г}$  образца. Он быстр, так как после облучения образец бериллия анализируется на  $\gamma$  спектрографе. Никель определяют по  $\text{Co}^{58}$ .

В магнии высокой чистоты никель определяют спектрально [90] (без концентрирования) с золотом в качестве внутреннего стандарта Чувствительность метода составляет  $10^{-3}\%$

В солях магния и кальция, в частности в хлоридах, никель определяют фотометрически Концентрирование и отделение проводят экстракцией диметилдиоксимата хлороформом, и после реэкстракции в водной фазе определяют никель диметилглиоксимом в присутствии иода как окислителя Чувствительность  $1 \cdot 10^{-5}\%$  [371]

В цинке высокой чистоты никель определяют спектральным методом с предварительной отгонкой цинка при  $500^\circ\text{C}$  Примеси никеля и ряда нелетучих элементов остаются и спектрографируются Чувствительность метода  $10^{-5} - 10^{-6}\%$  [373] Примесь никеля в сульфиде цинка (люминофор) определяют также спектрально [140]

Никель определяют в высокочистом кадмии и его соединениях спектрофотометрически с использованием диметилдиоксима и персульфата аммония [206] Концентрирование никеля проводят экстракцией диметилдиоксимата хлороформом Хлороформный раствор затем упаривают на водяной бане в пробирке под слоем соляной кислоты, остаток нейтрализуют аммиаком и проводят фотометрическую реакцию Измерение ведут по методу стандартной шкалы Чувствительность метода  $2 \cdot 10^{-6}\%$  (из навески 10 г)

Аналогично определяют никель в хлоридах кадмия и цинка [371] с той разницей, что в качестве окислителя применяют иод

Никель в сульфиде и селениде кадмия определяют при помощи PAN [241] Чувствительность метода  $4 \cdot 10^{-6}\%$  (из навески 5 г)

### Определение никеля в солях кадмия с использованием PAN

5 г CdS растворяют в кварцевом стакане емкостью 100 мл в 25 мл HCl (1 1) После полного растворения раствор выпаривают под инфракрасной лампой до суха и сухой остаток растворяют в 20—25 мл воды, подкисленной 2—3 каплями HCl Одновременно ведут аналогичные операции с холостой пробой Полученный раствор переносят в делительную воронку, прибавляют 10 мл 2*N* раствора ацетата натрия, 2 капли бромкрезолового синего и  $\text{NH}_4\text{OH}$  до голубой окраски раствора Вводят 1 мл 1% ного этанольного раствора диметилдиоксима и через 15 мин экстрагируют диоксимат никеля хлороформом двумя порциями по 5 мл Хлороформные растворы сливают в делительную воронку и дважды реэкстрагируют никель 5 мл 0,5 *N* HCl

К солянокислому раствору добавляют 5—10 мл ацетата натрия, 2 капли бромкрезолового синего,  $\text{NH}_4\text{OH}$  до голубой окраски раствора и 2 мл 0,005%-ного этанольного раствора PAN Через 10 мин соединение никеля экстрагируют 5 мл хлороформа Экстракт фильтруют через бумажный фильтр в кювету длиной 1 см и измеряют оптическую плотность на фотоколориметре ФЭК М со светофильтром № 5 относительно раствора холостой пробы

### Определение никеля в $\text{CdCO}_3$ по реакции с гелтоксимом<sup>1</sup>

После растворения 1 г пробы в 1,5 мл 23% ной HCl pH раствора доводят по универсальной индикаторной бумаге до 4 и раствор переносят в делительную во-

<sup>1</sup> Метод разработан авторами

ронку емкостью 50 мл куда добавляют 1 мл 0,03% ного водного раствора гепт-оксича. Смесь экстрагируют 5 мл хлороформа 15 мин. Хлороформный экстракт промывают 5—6 мл 1 N NaOH в течение 10 мин, затем помещают в тефлоновую кювету длиной 10 см. Оптическую плотность измеряют на спектрофотометре СФ 4 при 375 микс.

Аналогично проводят холостой опыт в отсутствие  $CdCO_3$ . Калибровочный график строят по чистой соли никеля в среде фосфатного буферного раствора (рН 5,9) [241], поступаая, как описано выше.

Описан спектральный метод определения никеля в кадмии и его соединениях [379], без концентрирования никеля. Чувствительность метода  $1 \cdot 10^{-4}\%$ .

В галлии и его соединениях никель определяют спектрографическим и спектрофотометрическим методами. Галлий усиливает интенсивность линий примесей, и потому чувствительность метода может составлять  $5 \cdot 10^{-6}\%$  [230]. Концентрируя примеси экстракцией галлия эфиром из 6N HCl, можно определить спектрально  $2 \cdot 10^{-6}\%$  никеля (из навески 1 г) [1016] в арсениде галлия.

В чистом индии никель определяют спектрально как непосредственно (чувствительность  $10^{-3}\%$  при анализе 1 г образца) [776], так и после концентрирования примесей путем отделения индия экстракцией эфиром из бромистоводородной кислоты. Чувствительность определения в этом случае  $3 \cdot 10^{-5}\%$  [525].

В катодном графите никель может быть определен спектрально с чувствительностью  $5 \cdot 10^{-4}\%$  [1259].

В полупроводниковом кремнии и ряде промежуточных продуктов его получения ( $SiO_2$ ,  $SiCl_4$ ) никель в большинстве случаев определяют спектральным методом как без концентрирования (чувствительность  $3 \cdot 10^{-2}\%$ ) [1241], так и после удаления кремния в виде летучих фтористых соединений [209]. Чувствительность метода в этих случаях  $10^{-2}\%$  никеля [114, 115],  $10^{-6}$ — $10^{-7}\%$  [212],  $10^{-6}$ — $10^{-7}\%$  [60].

Радиоактивационный метод определения  $10^{-6}\%$  никеля в кремнии предусматривает разделение изотопов примесей хроматографией на бумаге [1019]. Никель в кремнии определяют полярографически [1042] с чувствительностью  $10^{-6}\%$  на фоне аммиака. Большую часть кремния удаляют выпариванием с фтористоводородной кислотой.

### Определение никеля в $SiO_2$ и $SiHCl_3$ с $\alpha$ -фурилдиоксимом<sup>1</sup>

5 г  $SiO_2$  и 10 г  $SiHCl_3$  помещают в тефлоновые чашки и обрабатывают  $H_2F_2$  (до 25 мл) с несколькими каплями  $H_2SO_4$ . Затем раствор выпаривают до объема одной капли на воздушной бане при  $80^\circ C$ , после чего остаток растворяют в 10 мл  $20\%$  ной винной кислоты и раствор нейтрализуют в чашке 4N NaOH до рН 9,5 по индикаторной бумаге. Полученный раствор количественно переносят в делительную воронку емкостью 50 мл, споласкивая чашку 5—10 мл воды. Затем добавляют 5 мл 0,2% ного раствора  $\alpha$ -фурилдиоксима и оставляют стоять 5 мин. После этого экстрагируют соединение никеля хлороформом дважды порциями по 2,5 мл. Перед второй экстракцией добавляют еще 5 мл 0,2% ного раствора

<sup>1</sup> Метод разработан авторами.

а фурилдиоксима Хлороформные экстракты объединяют и промывают  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1 10)

Полученные таким образом растворы сливают в черные пробирки и доводят объем до 5 мл хлороформом Раствор сравнения содержит все реагенты

Калибровочный график строят по чистой соли никеля Чувствительность метода до  $1 \cdot 10^{-7}$  % никеля

В металлическом германии и двуокиси германия никель определяют спектрально после отгонки четыреххлористого германия [502] При использовании угольного порошка как основы чувствительность составляет  $1 \cdot 10^{-4}$  %, а в присутствии добавки  $\text{NaCl}$  —  $3 \cdot 10^{-50}$  % [61] При методе прямого анализа  $\text{GeO}$  в дуге без концентрирования чувствительность равна  $5 \cdot 10^{-3}$  %, с концентрированием  $4 \cdot 10^{-5}$  %, а при использовании искры (анализ раствора  $\text{Ge}$ ) она составляет  $5 \cdot 10^{-5}$  % [134]

Предложен метод осциллографической полярографии для определения в германии  $1 \cdot 10^{-5}$  % никеля наряду с другими переходными металлами [79]

1 г металла, промытого с поверхности  $\text{HNO}_3$  (1 15) растирают в агатовой ступке и растворяют в 30 мл смеси  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HCl}$  в кварцевой колбе, снабженной дефлегматором и ходовым цилиндром и капельной воронкой Для отгонки  $\text{GeCl}_4$  в колбу вносят 20—30 мл  $\text{HCl}$  Отгонку производят до объема 1—0,5 мл Остаток переносят в кварцевую чашку емкостью 30 мл, споласкивая колбу водой Затем раствор в чашке нейтрализуют до pH 6—7  $\text{NH}_4\text{OH}$  приготовленным насыщенным тридистиллята После нейтрализации раствор выпаривают 4—5 раз с водой до суха на водяной бане и остаток разбавляют 3 мл воды переносят во вторую градуированную на 0,5 мл чашечку, упаривают вновь до ~0,3 мл добавляют 0,1 г  $0,1 \text{ N KSCN}$  и количественно переносят раствор кварцевой пипеткой в кварцевый электролизер, точно градуированный на 0,5 мл, в котором находится перемешивающая ртуть Стенки чашечки споласкивают и доводят объем до 0,5 мл

После этого 3—5 мин через раствор пропускают водород и подвергают электролизу, увеличивая постепенно амплитудное значение пилообразного напряжения до 1,8 в Подбирая нужную частоту генератора развертки, производят фокусировку электронного луча для получения четких осциллографических пятен на экране Концентрацию никеля находят методом добавок

Спектрофотометрический метод определения примеси никеля в германии и его тетрахлориде был разработан авторами Метод заключается в отгонке германия в виде  $\text{GeCl}_4$ , растворении всех оставшихся примесей в винной кислоте и экстракции хлороформом а фурилдиоксимата никеля, как при анализе двуокиси кремния Чувствительность метода  $2 \cdot 10^{-7}$  % никеля

Примеси никеля в особочистом олове определяют спектрально [376, 377, 1156] Олово отгоняют в токе хлора Чувствительность метода  $5 \cdot 10^{-6}$  % [376]

Спектральный метод определения никеля и других элементов в свинце особой чистоты предложил Карабаш с сотр [133] При прямом спектральном определении никеля чувствительность метода равна  $1 \cdot 10^{-3}$  %, с использованием концентрирования —  $3 \cdot 10^{-5}$  % Концентрирование примеси достигается отделением свинца в виде сульфата Примеси, концентрированные на остатке сульфата свинца, подвергаются спектральному анализу

Авторами настоящей книги был разработан спектрофотометрический метод определения никеля в свинце после удаления большей его части в виде сульфата. Навеска свинца 0,5 г, чувствительность метода  $4 \cdot 10^{-3}\%$

Никель в титане и его двуокиси определяют спектральным методом. Прямой метод имеет чувствительность  $10^{-4}\%$  при анализе двуокиси титана [119],  $3 \cdot 10^{-4}$  — при анализе металла после перевода его в двуокись и с добавкой AgCl [135]. Концентрируя следы элементов (титан удаляют хлорированием), повышают чувствительность до  $2 \cdot 10^{-6}\%$  [135].

Спектрофотометрический метод определения никеля в титане, предусматривающий экстракцию никеля в виде диметилдиоксимата и последующее определение его диметилдиоксимом в присутствии бромной воды, предложили Назаренко и сотр. [221]. Чувствительность метода  $2 \cdot 10^{-5}\%$  (из навески 1 г).

Авторы разработали более простой вариант спектрофотометрического определения никеля в титане, основанный на непосредственном измерении оптической плотности хлороформного экстракта диметилдиоксимата никеля при 262 мкм. При навеске образца в 0,5 г чувствительность метода равна  $1 \cdot 10^{-5}\%$ .

В металлическом цирконии никель определяют прямым спектральным методом [59, 108]. Чувствительность невелика —  $10^{-2}\%$  [59]. Аналогично никель определяют и в гафнии [108, 109] с чувствительностью  $3 \cdot 10^{-3}\%$ . Предложен полярографический метод определения в цирконии никеля наряду с другими элементами после концентрирования диэтилдитиокарбаминатом [1215].

В двуокиси тория никель также определяют прямым спектральным методом [992]. В металлическом мышьяке никель может быть определен спектральным методом, после отгонки AsCl<sub>3</sub> [939].

В металлической сурьме никель определяют спектрально с чувствительностью  $6 \cdot 10^{-4}\%$  [368], методом нейтронной активации [178] — с чувствительностью  $10^{-6}\%$ .

При определении никеля в Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> по методу, разработанному авторами, отгоняют сурьму в виде SbBr<sub>3</sub>, получают соединение никеля с α-фуриaldiоксимом (чувствительность метода  $10^{-4}\%$ ) или заканчивают его определение кинетическим методом (чувствительность  $1 \cdot 10^{-5}\%$ ).

Спектральным методом определяют никель в металлическом висмуте [168, 676]. Метод прямого, без концентрирования, определения имеет чувствительность  $1 \cdot 10^{-3}\%$ . После концентрирования примесей осаждением висмута в виде иодида чувствительность определения увеличивается до  $5 \cdot 10^{-6}\%$  [166].

Предложен спектральный метод анализа чистого ванадия на никель и другие примеси [536]. В металлических тантале и ниобии никель определяют спектрофотометрически [1032]. После растворения 0,5 г образца H<sub>2</sub>F<sub>2</sub> и HNO<sub>3</sub> в растворе устанавливают pH 6,0 и никель экстрагируют в виде диметилдиоксимата хлороформом из

аммиачно тартратно-борной среды Никель определяют непосредственным измерением оптической плотности экстракта при 375 мкм Чувствительность метода  $5 \cdot 10^{-4}\%$

В сере особой чистоты никель определяют прямым спектральным методом с чувствительностью  $10^{-5}\%$  [286]

В элементарном селене никель определяют спектрально [75], спектрофотометрически после отделения экстракцией диэтилдитиокарбамата или хроматографически [303] (чувствительность  $10^{-3}\%$ ), либо активационным методом [1278] (чувствительность  $5 \cdot 10^{-6}\%$ )

В высокочистом хrome никель определяют спектрально после отгонки хлорокиси хрома (чувствительность метода равна  $5 \cdot 10^{-6}\%$  [747]) или же спектрофотометрически после экстракции из слабоаммиачного раствора диметилдиоксимата никеля путем измерения оптической плотности раствора соединения никеля с диметилдиоксимом в присутствии окислителей [324] Чувствительность после ледного метода равна  $10^{-3}\%$

В молибдене, вольфраме и их соединениях никель определяют главным образом спектральными методами [11, 87, 211, 330, 382] Спектральное определение никеля в молибдене проводится с чувствительностью  $5 \cdot 10^{-5}\%$  [11], в металлическом вольфраме без обогашения —  $3 \cdot 10^{-3}\%$ — $3 \cdot 10^{-4}\%$  [87, 211] Большую часть вольфрама удаляют хлорированием, тогда чувствительность повышается в 4 раза [211] Используя специальный метод испарения, можно достигнуть чувствительности  $5 \cdot 10^{-4}\%$  [330]

Спектрофотометрический метод определения никеля в молибдене и вольфраме [1031] аналогичен указанному выше для тантала и ниобия Чувствительность его  $5 \cdot 10^{-4}\%$  (из навески объекта 0,5 г)

Следы никеля и некоторых других элементов в уране определяют полярографически на фоне аммиачно тартратного буферного раствора [783] или пиридина [1099] В первом случае следы элементов концентрируют экстракцией урана из азотнокислого раствора трибутилфосфатом (чувствительность 0,1—0,01 мкг/мл) Во втором — экстрагируют дитизоном сами примеси, в том числе и никель

При спектрофотометрическом определении никеля в уране при меши переходных металлов отделяют экстракцией высокомолекулярными аминами [606] Поддерживая различную кислотность раствора, никель можно отделить избирательно Определение заканчивают использованием PAN

В ряде платиновых металлов никель определяют спектрально [87, 181] Чувствительность  $10^{-3}\%$  [181]

При определении следов никеля в высокочистой воде его концентрируют экстракцией в виде диэтилдитиокарбамината и определяют спектральным методом [30, 144] с чувствительностью  $2 \cdot 10^{-7}\%$  [30] Для определения никеля в перекиси водорода хорошие результаты дает прямой метод [275], достигающий чувствительности  $10^{-7}\%$

Спектральный метод анализа высококислотных кислот (фтористоводородной, соляной, азотной) позволяет определять никель с чувствительностью  $10^{-7}\%$  [60]

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В НИКЕЛЕ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯХ

Аналізу никеля на примеси посвящено большое количество работ и обзоров [331, 377, 411, 793, 895, 998 1212]

**Медь** в никеле и его солях определяют электролизом после предварительного выделения в виде сульфида [418 779] Для определения небольших количеств меди применяют фотометрические методы с использованием аммиака [301], смеси бромистоводородной и фосфорной кислот [419], дитизона [849, 1297], диэтилдитиокарбамината в присутствии комплексона III [566, 1044, 1133], кадмийдиэтилдитиокарбамата [1083], 2,2 дихинолинола [629], л анизидина [269] Известен кинетический метод определения меди в никеле [189]

**Цинк** в никеле определяют полярографически [1230] или дитизоном [329, 367]

**Кадмий** определяют обычными фотометрическими методами после хроматографического [240] или экстракционного отделения в виде диантипиридинметанродамида [168]

**Магний** определяют гравиметрическим методом [779] после отделения никеля в виде гексаминперхлората Применяются комплексонометрические методы в присутствии цианида [411, 827] и фотометрические с использованием магнезона [98] и тиазолового желтого [748]

**Алюминий** определяют после выделения мешающих элементов электролизом на ртутном катоде [418, 585, 779] и осаждеием титана купфером (или экстракцией его купфероната) Описаны гравиметрические [585, 779], фотоколориметрические методы с применением алюминона [418, 1136] или эриохромцианина [411]

**Углерод** как правило, определяют гравиметрически [418, 779], иногда титриметрически [411]

**Кремний** определяют гравиметрически [779] или фотометрически в виде кремнемолибденовой сини [328 416, 418, 698, 913, 963, 1054]

**Титан** после удаления мешающих металлов электролизом экстрагируют купфером [584 779] Определение можно закончить фотометрически 1,2 дигидроксибензол 3 5 дисульфатом [1053]

**Фосфор** определяют экстракционно фотометрическим методом в виде фосфорванадиймолибдата [191, 328, 630]

**Мышьяк** определяют фотометрически в виде мышьякмолибденовой сини [191, 328]

**Серу** определяют из больших навесок либо гравиметрически в виде сульфата [191, 418, 779], либо поглощая выделяющийся сероводород раствором соли цинка [779, 911—914] и кадмия [418]

**Вольфрам** в никеле определяют редко [411]

**Хром** отделяют осаждеием аммиаком в присутствии перхлората после экстракции мешающих элементов дитизоном, а затем определяют фотометрически дифенилкарбазидом [915]

**Марганец** после окисления висмутатом определяют титрованием солью Мора [418, 779], фотометрически [76, 514, 775, 1136] по окраске перманганат иона. Концентрируют марганец соосаждением с  $Fe_2O_3$  [1298], удалением никеля экстракцией цинкдистилдипиокарбаминатом [627].

Наибольшее количество работ посвящено определению кобальта в никеле и его соединениях. Наиболее старый метод Фишера [817] — осаждение в виде кобальтинитрита. Из гравиметрических следует упомянуть методы осаждения 1-нитрозо-2-нафтолом [418, 779] роданомеркурилатом аммония и в виде кобальтицианида серебра [274]. Предложен титриметрический метод определения феррицианидом [733], а также полярографический — [1257]. Для фотометрического определения кобальта в никеле используют нитрозо R соль [189, 284, 779], 2-нитрозо-1-нафта [564], 1-нитрозо-2-нафта [190], 3-метокси-5-нитрозофенол, л-нитрозо-фенилгидразон диэтилмонооксима [410] и комплексон III [1154]. Отделять кобальт рекомендуется хроматографически [828] или экстракцией трибутилфосфатом [428], роданидом диантипиридиметана [169, 170].

**Железо** рекомендуется определять титриметрически после его отделения аммиаком [418, 779] или фотометрически роданидом [195, 189, 419] и с разделением нитрозо R солью [410]. Отделять железо лучше всего экстракцией эфиром [410], этил ацетатом и хлороформом [168] или хроматографически [828].

**Золото и платину** определяют радиоактивационным методом [113].

Кроме химических, описаны спектральные методы анализа никеля [63, 70, 278, 369, 373, 374, 516, 793, 917, 967, 998, 1212].

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Абуладзе К Л Эристави Д И Тр Тбилиск хим интв АН Груз ССР, 5, 61 (1942)
- 1а Авгуль В Г Етович С Ю, Семеновская Т Д, Чмутов К В Ж физ химии, 35, 946 (1961)
- 2 Аглаидзе Р И, Гофман Н Т, Левина М И, Тананаев И В Зав лаб, 12, 243, 245 (1946)
- 3 Аксельруд Н В, Фналков Я А Укр хим ж, 16, 283 (1950)
- 4 Алесковский В Б, Миллер А Д, Сергеев Е А Труды комиссии по аналит химии, 8 (9), 217 (1958)
- 5 Алешеева А А Зав таб 28, 278 (1962)
- 6 Алимарин И П, Архангельская В Н Качественный полу микрoанализ М, Госхимиздат, 1952
- 7 Алимарин И П, Коренева В В Зав таб, 21, 907 (1955)
- 8 Алимарин И П, Фрид Б И Количественный микрохимический анализ минералов и руд М, Госхимиздат, 1961
- 9 Анализ минерального сырья Л, Госхимиздат, 1958
- 10 Андреев А С, Азретьян О П, Поспелова Е Е Ж аналит химии, 6, 375 (1951)
- 11 Анникеев И П Спектральный анализ в черной металлургии М, Металлургиздат, 1960, стр 179; РЖХим, 1Д162 (1961)
- 12 Аршанская В М Зав лаб, 28, 686 (1962)
- 13 Астахова Е К, Савостина В М, Пешкова В М Ж неорг химии 9, 817 (1964)
- 14 Астахова Е К, Савостина В М, Пешкова В М Вестник МГУ, Химия, № 3, 62 (1964)
- 14а Астахова Е К, Савостина В М, Пешкова В М Ж физ химии 38, 2299 (1964)
- 15 Бабко А К Ж аналит химии, 3, 284 (1948)
- 16 Бабко А К Наук зап Київськ ун т, 13, 241 (1956).
- 17 Бабко А К, Коротун М В Зав лаб, 11, 896 (1945).
- 18 Бабко А К, Михельсон П Б Ж аналит химии, 6, 267 (1951)
- 19 Бабко А К, Михельсон П Б Укр хим ж, 18, 265 (1952)
- 20 Бабко А К, Михельсон П Б Укр хим ж, 21, 388 (1955)
- 21 Бабко А К, Михельсон П Б Зав лаб, 19, 895 (1953)
- 22 Бабко А К, Пятницкий И В Количественный анализ М, Госхимиздат 1956
- 23 Бардин М Б, Ляликов Ю С Ж аналит химии, 12, 390 (1957)
- 24 Барковский В Ф, Вторыгина И Н Зав лаб, 28, 275 (1962)
- 25 Барковский В Ф, Вторыгина И Н Ж аналит химии, 17, 865 (1963)
- 26 Баусова Н В Тр Интв металлургии Уральск филиал АН СССР, № 3, 125 (1959)
- 27 Беленькая И М Научные зап Ужгородск гос ун та, 22, 35 (1957)

- 26 Беленькая И М, Шило М А Научные зап Ужгородск гос унта, 12 52 (1955)
- 29 Белоусов А М, Белоусова А Г Ж прикл химии 7, 837 (1934)
- 30 Беляев В П, Калининченко В Р, Кузьмин Н М Якименко Л М Зав лаб, 28, 685 (1962)
- 31 Бергер Р Применение в оксихинолида в аналитической химии М ОНТИ, 1937
- 32 Берл Лунге Химико технические методы исследования, т 1 вып 1 М—Л, ГОНТИ, 1938, стр 207
- 33 Берл Лунге Химико технические методы исследования, т 1, вып 1 М—Л, ГОНТИ, 1938 стр 435
- 34 Берл Лунге Химико технические методы исследования, т 2, часть 2, вып 1 М—Л, ГОНТИ, 1938, стр 88
- 35 Берл Лунге Химико технические методы исследования т 2, часть 2, вып 2 М—Л, ГОНТИ, 1938, стр 283
- 36 Берл Лунге Химико технические методы исследования, т 2, часть 2, вып 1 М—Л, ГОНТИ, 1938 стр 291
- 37 Берл Лунге Химико технические методы исследования т 2, часть 2, вып 1 М—Л, ГОНТИ, 1938, стр 86
- 38 Берл Лунге Химико технические методы исследования т 2 часть 2, вып 1 М—Л, ГОНТИ, 1938, стр 77
- 39 Берл Лунге Химико технические методы исследования, т 2, часть 2, вып 2 М—Л, ГОНТИ, 1938, стр 273
- 40 Берл Лунге Химико технические методы исследования, т 2 ч 2 вып 2 М—Л, ГОНТИ, 1938, стр 289
- 41 Бергер С И Яблоник Л М Зав лаб, 26, 576 (1960)
- 42 Бетгер Б Основы качественного анализа М—Л, Госхимиздат, 1932
- 43 Бланк А Б Ж аналит химии, 17, 1040 (1962)
- 44 Бланк А В, Булгакова А М Сизоненко Н Т Методы анализа веществ особой чистоты и монокристаллов Харьков, Госкомитет по химии, НИИ монокристаллов, 1962, стр 66
- 45 Бланк А В, Булгакова А М, Сизоненко И Т Ж аналит химии 16, 715 (1961)
- 46 Блок Н И Качественный химический анализ М Госхимиздат, 1952
- 47 Богатский В Д Дзюба Л Я Косая Р Зав лаб 9, 472 (1940)
- 48 Болдырева А И, Калининченко П П Сборник трудов Уральского политехнического института, № 122, 128 (1961), РЖХим, 11Г133 (1963)
- 49 Бочкова В М Кандидатская диссертация М, МГУ, 1958
- 50 Бочкова В М, Пешкова В М Научные доклады высшей школы Химия и хим технология, 1, 62 (1958)
- 51 Бочкова В М Пешкова В М Ж неорган химии 3 1131 (1958)
- 52 Брайнин Э И Зав лаб, 24, 1479 (1958)
- 52a Бриттон Х И С Водородные ионы Л, Химтеорет, 1936
- 53 Буданова Л М, Платонова О П Зав лаб 21 1291 (1955)
- 54 Бусев А И Ж аналит химии, 8, 299 (1953)
- 55 Буянов Н В, Полякова Р С Сборник трудов Центрального научно-исследовательского института черных металлов № 19 82 (1960), РЖХим, 9К75 (1960)
- 56 Бьеррум Я Образование амминов металлов в водных растворах М, ИЛ, 1961
- 57 Быков И Е Изв Сиб отд АН СССР, № 12, 72 (1961)
- 58 Быков П Н Материалы научно-методической и производственной лаборатории геологического управления Министерства геологии СССР, № 10, 23 (1951)
- 59 Вайнштейн Э Е, Ахманова М В, Куценко Ю И Труды Комиссии по аналит химии, 12, 142 (1960)

- 60 Василевская Л С, Кондрашина А И Труды постоян Межинститутск коллоквиума по твердым фазам переменного состава Физ хим инта им Л Я Карпова (1957—1958), 1959, стр 8
- 61 Василевская Л С, Ноткина М А, Садофьева С А, Кондрашина А И Зав лаб, 28, 678 (1962)
- 62 Васильев В П Автореферат кандидатской диссертации Иваново, ИХТИ, 1954
- 63 Витушкина И Н, Гинзбург В Л Зав лаб, 22, 438 (1956)
- 64 Вознесенский С А Внутриклеточные соединения и их значение для аналитической химии М — Л, ГОНТИ, 1938
- 65 Вознесенский С А Пазельский М, Цици И Тр Инта чистых реактивов, вып 16 98 (1939)
- 66 Волкова Л, Шмелевич Е Зав лаб, 5, 668 (1936)
- 67 Воробьев А Л Зав лаб, 4, 1105 (1935)
- 68 Гапон Т Б, Гапон Е Н Ж аналит химии, 4, 131 (1949)
- 69 Гапон Т Б, Гурвич А М, Рабинович М С, Струков В В, Усатова Л А Авт свидет СССР, 99924 (1954)
- 70 Гегечкори Н М, Шварц Д М Зав лаб, 19, 580 (1953)
- 71 Гельбанд И Зав лаб, 3, 129 (1934)
- 72 Герцева Н С Тр Научно техн об на черных металлов Укр республ правл, 4, 49 (1956), РЖМеталлургия, 11189 (1958)
- 73 Гиллебранд В, Лендель Г, Брайт Г, Гофман Д Практическое руководство по неорганическому анализу М, Госхимиздат, 1957
- 74 Гиндин Л М, Ковба Э Ф Зав лаб, 23, 19 (1957)
- 75 Гинзбург В Л, Глуховская Н П, Лернер Л А Зав лаб, 28 682 (1962)
- 76 Гинзбург Л Б, Лившиц Л Я Зав лаб, 16 918 (1950)
- 77 Головатый Р Н Укр хим ж, 24, 379 (1958)
- 78 Гохштейн Я П Ж общ химии, 7, 2486 (1937)
- 79 Гохштейн Я П, Волюнец М П, Юхтанова В Д Труды Комиссии по аналит химии 12, 5 (1960)
- 80 Гринберг А А Введение в химию комплексных соединений М, Госхимиздат, 1946
- 81 Гурвич А М Ж общ химии 27, 40, 316 578 (1957)
- 82 Гурвич А М Ж аналит химии, 14, 437 (1956)
- 83 Гурвич А М Изв АН СССР, сер физич, 21, 656 (1957)
- 84 Гурвич А М Материалы V совещ по люминесценции Тарту, 1957, стр 363
- 85 Гурвич А М Гапон Т Б Зав лаб 24, 1037 (1957)
- 86 Гурвич А М, Гапон Т Б Рабинович М С Хим промышл, № 1, 3 (1956)
- 87 Гутько А Д, Шурова Е И Сб «Некоторые вопросы эмиссионной и молекулярной спектроскопии» Красноярск 1960 стр 91
- 88 Дегтярева О Ф, Островская М Ф Зав лаб, 26, 564 (1960)
- 89 Дегтярева О Ф, Островская М Ф Ж аналит химии, 18, 245 (1963)
- 90 Дегтярева О Ф, Спичина А Г, Проскурякова А Ф Ж аналит химии, 17, 926 (1962)
- 91 Дегтярева О Ф, Федяева Н В, Островская М Ф, Астахина Н Г Зав лаб 27, 844 (1961)
- 92 Демьянчук А С Яковенко А Л Зав лаб, 28, 565 (1962)
- 93 Доброхотов Г Н Ж прикл химии 27, 1056 (1954)
- 94 Долманова И Ф Золотова Г А Пешкова В М Вестник МГУ, № 2 50 (1964)
- 95 Дыброва А Т, Мазур Л Ф Тр НИИ местной и топливной пром, № 14, 34 (1959)
- 96 Дымов А М Технический анализ руд и металлов М, Metallurgizdat, 1949

- 97 Дымов А М Володина О А Зав лаб. 12 534 (1946)
- 98 Дымов А М, Козель Л З Сб «Производство и обработка стали и сплавов» М, Гос научно технич изд во по черной и цветной металлургии, № 39, 1960, стр 450
- 99 Евко А В Зав лаб, 27, 857 (1961)
- 100 Елисеева Г Д Труды Комиссии по аналит химии, 6, 439 (1955)
- 101 Елисеева Г Д Изв Высших учебных заведений Химия и хим тех нология, 1958, 35
- 102 Еременко В Я Гидрохим матернаты, 29, 248 (1959)
- 103 Ерофеев В В, Печерская К А, Стаханова М С Ж общ химии, 11, 577 (1941)
- 104 Жаворонкина Г К Тр Морского Гидрофиз ин та АН СССР 19, 38 (1960)
- 105 Жданов А К, Цейтлин Р И Тр Среднеазнатск гос ун та им В И Ленина, Хим науки, 55, 65 (1954)
- 106 Жандарева О Г, Мухина З С Методы анализа гальванических ванн М, Оборониздат, 1963
- 107 Занько А М Тр Всесоюзн конференции по аналит химии АН СССР 1, 303 (1939)
- 108 Захария Н Ф, Туртутина О П Сб «Спектральный анализ в черной металлургии» М, Металлургиздат 1960, стр 176, РЖХим, ЗД145 (1961)
- 109 Захария Н Ф, Фуга Н А Труды Комиссии по аналит химии, 12, 161 (1960)
- 110 Захаров М С, Стромберг А Г, Степанова О С, Гур ская С Ф Методы анализа химических реактивов и препаратов, вып 5—6 М, Госхимиздат 1962, стр 95
- 111 Зацепина Э М, Туманов А К Зав лаб 28, 1333 (1962)
- 112 Звягинцев О Е Кулак А И Ж неорган химии, 2, 1687 (1957)
- 113 Звягинцев О Е, Шамаев В И Радиохимия 1 717 (1959)
- 114 Зильберштейн Х Л, Пирютко М М, Евтушенко Т П, Сахарнова И Л, Никитина О Н Зав лаб, 25, 1474 (1959)
- 115 Зильберштейн Х Л, Пирютко М М, Никитина О Н, Федоров Ю Ф Зав лаб, 28, 680 (1962)
- 116 Зотин М А Уч зап Пермского гос ун та, 19, № 1, 135 (1961), РЖМе таллургии 5К10 (1962)
- 117 Зотин М А Материалы III го Уральского совещания по спектроскопии Гос научно техни изд ва по черной и цветной металлургии Свердловс кие, 1960 Свердловск, 1962, стр 133
- 118 Иванов В И, Ленишина Н Я Труды Комиссии по аналит химии, 11, 418 (1960)
- 119 Иванов И П, Недлер В В, Андриканис Е Н Зав лаб, 27, 836 (1961)
- 120 Иванов С Л, Кардашев К П, Юшкевич С Ф Изв ЦНИИ пищевкусовой пром, № 3, 48 (1932)
- 121 Иванчев Г Дитазон и его применение М ИЛ, 1961
- 122 Избранные методы для арбитражных анализов Ленхимсектор, 1931 стр 169
- 123 Ильинский М А Chem Ztg, 19 1421 (1895)
- 124 Ильинский М А Ber, 17, 2592 (1884)
- 125 Ильинский М А, Кнорре Г Ber, 18, 699 (1885)
- 126 Ишатов И П, Токовой И А, Золотухин Г Е, Загар ских Т И, Конейкин Ю А Некоторые вопросы эмиссионной и молекулярной спектроскопии Красноярск 1960, стр 146, РЖФиз, 6Г138 (1962)
- 127 Ицксон М И Сб «Спектральный анализ в минералогии, геологии и при поисках полезных ископаемых» Тр ВСЕГЕИ, вып 2, 51 (1950)
- 128 Качач Б Сб «Хроматография на бумаге» М, 1962, стр 666
- 129 Калинин И И Зав лаб, 24, 266 (1958)

- 130 Калинин И И, Болдырева А И Тр Уральск полн техн интатч С М Кирова, 1960, стр 161
- 131 Калинин И И, Князева А А Изв Высших учебных заведений Химия и хим технология, 3, 418 (1960)
- 132 Каминский Н И Каминская П В Маслободно жировое дело 14 17 (1938)
- 133 Карабаш А Г, Бондаренко Л С, Морозова Г Г, Пейзулаев Ш И Ж аналит химии, 15, 625 (1960)
- 134 Карабаш А Г, Пейзулаев Ш И, Морозова Г Г, Смирнова И И Труды Комиссии по аналит химии, 12, 25 (1960)
- 135 Карабаш А Г, Пейзулаев Ш И, Сотникова Н П, Сазанова С К Труды Комиссии по аналит химии, 12, 108 (1960)
- 136 Карабаш А Г, Пейзулаев Ш И, Стюсарева Р Л, Ляпотова В М Труды Комиссии по аналит химии, 12, 331 (1960)
- 137 Каргин Ю М Теория и практика полиграфического анализа АН Молдавской ССР, Материалы 1 го Всесоюзного совещания, 1962, стр 243
- 138 Карякин Ю В, Ангелов И И Чистые химические реактивы М, Госхимиздат, 1955
- 138а Катченков С М Спектральный анализ горных пород Л Гостоптех издат, 1957
- 139 Кертман Л Качественный химический полумикроанализ М, Госхим издат, 1949
- 140 Кибисов Г И, Резвова М И, Винниченко Е Н Физический сборник Львовского Госуниверситета, 1958, стр 417, РЖХим 67731 (1959)
- 141 Киселева Н А Сб научных работ ВНИИ полиграфической промышленности, № 11, 1960, стр 115
- 142 Классен А Электроанализ М, Госхимиздат 1934
- 143 Климов И Т Гидрохим материалы, 31, 131 (1961)
- 144 Климов И Т, Еременко В Я Гидрохим материалы, 29, 254 (1959)
- 145 Климов И Т, Еременко В Я Гидрохим материалы, 31, 191 (1961)
- 146 Клягич А Е, Смирнова И Д, Никольская Н А Ж неорган химии 4, 2766 (1959)
- 147 Клячко А А, Шапиро С А Курс химического качественного анализа М Госхимиздат 1961
- 148 Коваленко П Н Сб «Физико химические методы анализа и контроля производства» Ростов на Дону, 1961, стр 51
- 149 Коваленко П Н Сб «Электрохимические и оптические методы анализа» Ростов на Дону, 1963, стр 160
- 150 Кольтоф И М, Сендел Е Б Количественный анализ М, Госхимиздат, 1948
- 151 Комарь Н П Основы качественного химического анализа Харьков, Изд во Харьковского унта, 1955
- 152 Комарь Н П, Толмачев В Н, Рудаков И А Тр хим фта и НИИ химии ХГУ, 12, 147 (1954)
- 153 Комплексометрия М, Госхимиздат, 1958
- 154 Кошкин В Д, Жихарева В И Сборник Трудов Укр НИИ Мс таллургии, № 8, 329 (1962), РЖМеталлургия, 12К34 (1962)
- 155 Концентрирование и отделение микроэлементов М, Госхимиздат, 1958, стр 36, 43
- 156 Коренман И М Ж аналит химии, 1, 64 (1946)
- 157 Коренман И М Ж аналит химии, 2, 153 (1947)
- 158 Коренман И М Ж аналит химии, 3, 52, 313 (1948)
- 159 Коренман И М Микрорентгенофлюорескопия М, Госхимиздат, 1947
- 160 Коренман И М, Дудник В В Ж прикл химии, 12, 1742 (1939)

- 161 Коренман И М, Женебойм А Л, Ляляшко С М Зав лаб, 5, 1051 (1936)
- 162 Коротун М В Комплексные соединения диметилглиоксима с некоторыми металлами Автореферат канд диссертации, Черновицы, УССР, 1955
- 163 Коротун М В Укр хим ж, 26, 377 (1960)
- 164 Коршунови А, Щенникова М К Ж аналит химии, 4, 5(1949).
- 165 Красильникова Л Н Сборник трудов ВНИИ цветных металлов № 1 165 (1956)
- 166 Крауз Л С, Карабаш А Г, Пейзулаев Ш И, Липатова В М, Молева В С Труды Комиссии по аналит химии, 12, 175 (1960)
- 167 Креймер С Е, Бутылкин Л П Зав лаб, 25, 662 (1959)
- 168 Креймер С Е, Стогова А В, Лопехов А С Зав лаб, 26, 1104 (1960)
- 169 Креймер С Е, Стогова А В, Лопехов А С Зав лаб, 27, 386 (1961)
- 170 Креймер С Е, Тужилина Н В, Головина В А, Тябина Р А Зав лаб, 24, 262 (1958)
- 171 Крешков А П Основы аналитической химии, т 1 М, Госхимиздат, 1961
- 172 Крешков А П Основы аналитической химии, т 2 М, Госхимиздат, 1961
- 173 Крешков А П, Саюшкица Е Н Ж аналит химии, 12, 559 (1957)
- 174 Крупенко Н. С Зав лаб, 6, 239 (1937)
- 175 Крюкова Г А, Синякова С И, Арефьева Т В Полярно графический анализ М, Гостехиздат, 1959
- 176 Куделя Е С Зав лаб, 26, 1128 (1960)
- 177 Кузнецов В И, Банковский Р А, Иевиньш А Ф Ж аналит химии, 13 267 (1958)
- 178 Кулак А И Ж, аналит химии, 12, 727 (1957)
- 179 Кульберг Л М Ж аналит химии, 3 45 (1948)
- 180 Кульберг Л М Органические реактивы в аналитической химии М, Госхимиздат, 1950
- 181 Куранов А А, Пономарева В Д, Черцова Н И Ж аналит химии, 15, 476 (1960)
- 182 Лендель Г, Гофман Д, Брайт Г Анализ черных металлов М, Госхимиздат, 1934
- 183 Либина Р И, Марголин Л С, Миллер А Д, Сергеев Е А Тр ВНИИ методики и техники разведки, № 3, 317 (1960), РЖХим, 16Д117 (1962)
- 183а Липчинский А П, Кулев И И Ж аналит химии, 19 357 (1964)
- 184 Лисецкая Г С, Рамазанович Н П, Олефиренко В П, Камяная К К Зав лаб, 29, 156 (1963)
- 185 Лодочкикова Н В Сборник ВНИИ информации, № 3, 116 (1956)
- 186 Лондих С В, Недлер В В, Райхбаум Я Д Спектральный анализ металлометрических проб М, Госгеолтехиздат 1959
- 187 Лосев Н Ф, Смачунова А Н, Стахеев Ю И Зав лаб, 30, 434 (1964)
- 188 Лошкарев А Г Тр Свердловского горного ин та, № 36, 21 (1960); РЖХим, 17Д100 (1961)
- 189 Лошкарева Г В Зав лаб, 24, 813 (1958)
- 190 Лошкарева Г В Тр Уральск политехн ин та им С М Кирова, 1960, 146
- 191 Лурье Ю Ю, Филиппова Н А Зав лаб, 15, 771 (1949)
- 191а Лурье Ю Ю Расчетные и справочные таблицы для химиков М, ГНТИ Хим лит, Госхимиздат, 1947

- 192 Ляликов Ю С, Сакулов В И, Ткаченко Н С Анализ железных и марганцевых руд М, Металлургиздат, 1954
- 193 Ляликов Ю С, Усатенко Ю И Зав лаб, 7, 2259 (1937)
- 194 Мазур Л Д, Дымброва А Т Тр НИИ местной и топливной пром, вып 14, 99 (1959)
- 195 Мальцев В Ф Бюлл научно техн инф Укр научно исслед трубного инта № 6—7, 186 (1959); РЖХим 5Д85 (1961)
- 196 Матюга Д П Ж аналит химии, 10, 107 (1955)
- 197 Матюга Д П Тр Биохим лаборатории АН СССР, 5, 91 (1939)
- 198 Матюга Д П Тр Биохим лаборатории АН СССР, 7 86 (1944)
- 199 Матюга Д П Ж общ химии, 13, 39 (1943)
- 200 Матюга Д П Докл АН СССР, 43, 216 (1944)
- 201 Матюга Д П Докл АН СССР, 48, 2, 119 (1945)
- 202 Маляров К Л Качественный микрохимический анализ М Изд МГУ, 1951
- 203 Мансурова А И Зав лаб, 15, 610 (1949)
- 204 Мартынов Ю М, Кориблат И И, Смирнова Н П, Джагацпанян Р В Зав лаб 27, 839 (1961)
- 205 Марченко З Минчевский Е Ж аналит химии, 17, 23 (1962)
- 206 Марченко П В, Вдовенко М Е, Набиванец Б И, Оботончик Н В, Спиваковская Н Е Зав лаб, 27, 638 (1961)
- 206а Маширева Л Г, Зимица К И Хим и технол топлив и масел, 5, 62 (1960)
- 207 Методы химического анализа минерального сырья вып 6 М, Госгеолтех издат, 1960, стр 12
- 208 Мигаль П К, Сычев А Я Ж неорган химии, 3, 314 (1958)
- 209 Михайлов П М, Величко О З Зав лаб, 22 1307 (1956)
- 210 Мищенко К Н Ж физ химии, 26, 1736 (1952) 27, 26 (1953)
- 211 Молева В С, Пейзулаев Ш И Зав лаб, 27, 309 (1961)
- 212 Морачевский Ю В, Зильберман Х И, Пирютком М Никитина О Н Ж аналит химии, 17, 614 (1962)
- 213 Моррисон Дж, Фрайзер Г Экстракция в аналитической химии М, ИЛ, 1960
- 214 Музыка И Д, Молодцова В А Укр хим ж, 26, 535 (1960)
- 215 Мустафин И С, Фрумнина Н С Ж неорган химии, 5, 571, (1960)
- 216 Мухина З С Суленко К Н Зав лаб, 4, 870 (1935)
- 217 Мухина З С Зав лаб, 14, 1194 (1948)
- 218 Мухина З С Зав лаб, 18 783 (1952)
- 219 Мухина З С Зав лаб 18, 1084 (1952)
- 219а Надеинский Б П Теоретические основания и расчеты в аналитической химии М издво «Советская наука», 1956
- 220 Надеждина Л С, Коваленко П Н Ж общ химии, 24, 1734 (1954)
- 221 Назаренко Н А, Шустова М Б, Шитарева Г Г, Ягнатынская Г Я, Равецкая Р В Зав лаб, 28, 645 (1962)
- 222 Назарова Л В Уч зап Кишиневского ун та, 35 56 (1960) РЖХим, 15Д90 (1961)
- 223 Негина В Р, Дегтярева О Ф, Федяева Н В, Астахина Л Г Крашениникова Е Г Зав лаб, 28, 444 (1962)
- 224 Негина В Р, Замятина В Н Ж аналит химии, 16, 2, 209 (1961)
- 225 Негина В Р, Замятина В Н, Пренякова М А, Чикишева Л А Радиохимия, 3, 473 (1961)
- 226 Ненадкевич К А Докл АН СССР, 49, 31 (1945)
- 227 Ненадкевич К А, Салтыкова В С Ж аналит химии, 1, 123 (1946)
- 228 Никитина О Н Зав лаб, 25, 146 (1959)
- 229 Нойес А А, Брей В Качественный анализ редких элементов М, ГОНТИ, 1936

- 230 Ноткина М Л, Солодовник С М, Баранова Л И, Лушина В К, Ромашцева Т И Зав лаб, 28, 176 (1962)
- 231 Оленович Н Л, Морозов А А, Сирицова Г Укр хим ж, 25 509 (1959)
- 232 Ольшанова К М, Морозова Н М Изв Высш учебнх заведений Химия и хим технология, 2, 498 (1959)
- 233 Орбет Л Введение в химию переходных металлов М Изд во «Мир», 1964
- 234 Остроумов Э А Зав лаб 4, 1317 (1935)
- 235 Остроумов Э А Зав лаб, 7, 20 (1938)
- 236 Остроумов Э А, Волков И И Ж аналит химии, 15, 719 (1960)
- 237 Остроумов Э А, Волков И И Ж аналит химии, 18, 52 (1963)
- 238 Ощановский В В Ж аналит химии, 11, 606 (1956)
- 239 Павлов П И, Павленко Г С Ж общ химии 7 2259 (1937).
- 240 Павлова В Н, Стрельникова Н П Зав лаб 26, 536 (1960)
- 241 Пантатер Р П Сб «Методы анализа веществ особой чистоты и монокристаллов» Харьков, Госкомитет по химии НИИ алюкристаллов, 1962, стр 87
- 242 Песис А С Ж аналит химии, 16, 253 (1961)
- 243 Пешкова В М Зав лаб, 8, 921 (1939)
- 244 Пешкова В М Уч записки МГУ, вып 72, 3 (1945)
- 245 Пешкова В М Вестник МГУ, Химия, 2, 49 (1952)
- 246 Пешкова В М Докторская диссертация М, МГУ, 1954
- 247 Пешкова В М Ж аналит химии, 10, 86 (1955)
- 248 Пешкова В М, Бочкова В М Ж неорган химии, 3, 1131 (1958)
- 249 Пешкова В М, Бочкова В М Научные доклады Высшей школы Химия и хим технология, 1, 62 (1958)
- 250 Пешкова В М, Бочкова В М Методы анализа редких и цветных металлов М, изд МГУ, 1956, стр 15
- 251 Пешкова В М, Бочкова В М, Астахова Е А Ж аналит химии, 16, 596 (1961)
- 252 Пешкова В М, Бочкова В М, Лазарева Т И Ж аналит химии 15, 610 (1960)
- 253 Пешкова В М, Ведерникова М И, Гончарова Н И Ж аналит химии, 3 368 (1948)
- 253а Пешкова В М, Гайлис Е Я Вестник МГУ Химия, 3, 61 (1948)
- 254 Пешкова В М, Галлай Э А Ж аналит химии 7, 152 (1952)
- 255 Пешкова В М, Гончарова Г А, Грибова Е А, Пуздренкова И В Ж аналит химии, 8, 114 (1953)
- 256 Пешкова В М, Грибова Е А, Назаренко И И, Пуздренкова И В Вестник МГУ, Химия, 2 49 (1952)
- 257 Пешкова В М, Громова М И Практическое руководство по спектрофотометрии М, 2 изд МГУ, 1965
- 258 Пешкова В М, Зозуля А П Труды комиссии по аналит химии, 11, 69 (1960)
- 259 Пешкова В М, Игнатьева Н Г Ж аналит химии, 17, 1086 (1962)
- 260 Пешкова В М, Мельчакова Н В Методы анализа редких и цветных металлов М, изд МГУ, 1956 стр 93
- 261 Пешкова В М, Назаренко И И Методы анализа редких и цветных металлов М, изд МГУ, 1956 стр 3
- 262 Пешкова В М, Овсянникова Л А Зав лаб 6 800 (1937)
- 263 Пешкова В М, Савостина В М, Астахова Е К Вестник МГУ, Химия, 2, 43 (1963)
- 264 Пешкова В М, Савостина В М, Астахова Е К Тезисы доклада на 9 м Всесоюзном совещании по химии комплексных соединений Гашкент, 1963

- 265 Пешкова В М, Шленская В И, Матюшина А В Вестник МГУ, Химия, 2, 109 (1949)
- 266 Пилипенко А Т Усп химии, 25, 1402 (1956)
- 267 Пилипенко А Т Наук зап Київ ун та Хімічний збірник, 7, 267 (1956)
- 267а Пиртя Т Ж аналит химии 20 (1965)
- 268 Плетенев С А, Арсфьева Т В Таль Э М, Дубовецкая Э И Зав лаб, 12, 38 (1946)
- 269 Подчайнова В И Тр Уральск Политехн ин та им С М Кирова, № 69, 119 (1957)
- 270 Поздняков А А, Лаврухина А К Труды Комиссии по аналит химии, 9, 16 (1958)
- 271 Поляк Л И Зав лаб, 21, 1300 (1955)
- 272 Полякова Р С Сборник Трудов Центрального научно исследовательского института черных металлов, № 24 112 (1962)
- 273 Пономарев А И Методы химического анализа минералов и горных пород М, Изд во АН СССР, 1955, стр 109
- 274 Пономарев В Д Ж общ химии, 15, 151 (1945)
- 275 Полков К К, Штифман Л М Ж аналит химии, 16, 113 (1961)
- 276 Преображенский Б К, Челябинский В П, Мельников В М Радиохимия, 2, 71 (1960)
- 277 Привалова К П, Аврутова Х З, Хлопин И Я Зав лаб, 21, 670 (1955)
- 278 Прокопьева А И, Тагатов К И Зав лаб, 15, 299 (1949)
- 279 Проценко Г П, Коваленко П И Зав лаб, 28, 23 (1962)
- 280 Пришибил Р Комплексоны в химическом анализе М ИЛ, 1960
- 281 Райнес М М Труды Комиссии по аналит химии, 7 (10), 295 (1956)
- 282 Райнес М М, Лярионов Ю А Труды Комиссии по аналит химии, 7 (10) 295 (1956)
- 283 Реакции и реактивы для качественного анализа неорганических соединений М — Л, ИЛ, 1950
- 284 Резник Б Е, Длугач Р Е, Рудская Р Т Зав лаб, 24, 1431 (1958)
- 285 Рудневский Н К, Калинин Ю С Труды по химии и хим технологии, 2, 582 (1959)
- 286 Рудневский Н К, Маткова О П Труды по химии и хим технологии, 3, 367 (1960)
- 287 Рябчиков Д И, Борисова Л В Ж аналит химии 13, 340 (1958)
- 288 Салтыкова В С Докл АН СССР, 49, 34 (1945)
- 289 Савостина В М, Астахова Е К, Пешкова В М Вестник МГУ, Химия, 2, 43 (1963)
- 290 Савостина В М, Астахова Е К, Пешкова В М Ж неорган химии, 9, 80 (1964)
- 291 Санир А Д Зав лаб 16, 494 (1950)
- 292 Селвуд П Магнетохимия М, ИЛ, 1949
- 293 Сендел Е Б Колориметрические методы определения следов металлов М, изд во «Мир», 1964
- 293а Сердюк Л С, Бараш Л У Научные зап Днепродзержинского ун та, 43, 99 (1953)
- 294 Синякова С И Автореферат докторской диссертации М, ГЕОЛН, 1962
- 295 Синякова С И Докл АН СССР, 48, 414, 648 (1945)
- 296 Ситтелс К Газы и металлы М, Металлургияиздат, 1940
- 297 Смирнов И В Уч зап Казанского ун та, 90, 1025 (1930)
- 298 Союгина О А Амперометрическое титрование в анализе минерального сырья М, Госгеолыздат 1957, стр 141
- 299 Справочник химика, т 1 М — Л, Госхимиздат, 1963 стр 22
- 300 Степин В В, Сидаева Е В, Плисс А М, Курбатов

- на В И, Крючкова Л М, Попосов В И Анализ черных металлов, сплавов и марганцевых руд М Гос научн техн изд во по черной и цветной металлургии, 1964
- 301 Стеляров К П Агрест Ф Б Ж анализ химии, 11 286 (1956)
- 302 Стрельникова Н П Лысцова Г Г Зав лаб, 26, 142 (1960)
- 303 Стрельникова Н П Лысцова Г Г, Долгорукова Г С Зав лаб, 28, 1319 (1962)
- 304 Стромберг А Г Ж физ химии 23 962 (1949)
- 305 Стромберг А Г, Захарова Э А Зав лаб, 20, 261 (1964)
- 306 Сырокомский В С, Губельбанк С М Ж анализ химии, 6, 207 (1951)
- 307 Такаси А Бузбеки кагаз, 10, 558 (1961), РЖХим, 9Д76 (1962)
- 308 Тапанаев И В, Дейчман Э Н Зав лаб, 12, 34 (1946)
- 309 Тапанаев И В, Левина М Е Ж анализ химии, 12, 236 (1946)
- 310 Тапанаев И В, Левина М Е Зав лаб, 12, 245 (1946)
- 311 Тапанаев И В, Сидетьников В Г Зав лаб, 12, 140 (1946)
- 312 Тапанайко М М Винокурова Г Н Укр хим ж, 28, 651 (1962)
- 313 Тарасенко М И Жерлева Н Т Сборник научных работ Московского фармацевтического инта 2 149 (1958—1959)
- 314 Терентьев А П, Рухадзе Е Г Ж анализ химии, 5 211 (1950)
- 315 Терентьев А П, Рухадзе Е Г Ж анализ химии, 6, 186, 209 (1951)
- 316 Терентьев А П, Рухадзе Е Г, Фадеева З А Ж анализ химии 7, 120 (1952)
- 317 Горолова В Ф Велькис Г Л Ж анализ химии 17, 282 (1962)
- 318 Туманов В И, Анисеева Н П Сборник трудов ВНИИ твердых сплавов, № 3, 64 (1960)
- 319 Туманов А А, Глазунова З И, Сорокина В М Труды по химии и хим технологии, вып 3, 569 (1959), РЖХим, 92092 (1959)
- 320 Файгль Ф Капельный анализ М ОНТИ, 1937
- 321 Файнберг С Ю, Филиппова Н А Анализ руд цветных металлов М, Металлургияиздат, 1963
- 322 Фатеева Г Я Зав лаб, 24, 461 (1958)
- 323 Федоров А А Определение никеля в высоконикелевых сталях Свердловск изд Дома техники Уральского индустриального инта им С М Кирова, 1942
- 324 Федоров А А, Озерская Ф Ф, Малнина Р Д, Соколова З М, Линкова Е В Сборник трудов ЦНИИ черной металлургии № 19, 7 (1960) РЖХим 21Д113 (1961)
- 325 Ферди Заде А А Тр Азербайдж Гос заочного пед инта, 4, 77 (1957)
- 326 Фишер А, Шлейхер А Электроанализ Л Ленхимсектор 1931
- 327 Филиппова Н А Фазовый анализ руд цветных металлов и продуктов их переработки М Научно техн изд во по черной и цветной металлургии, 1963
- 328 Филиппова Н А, Кузнецов А И Зав лаб, 16, 536 (1950)
- 329 Филиппова Н А, Лурье Ю Ю Зав лаб, 16, 912 (1950)
- 330 Филиппова Л И, Макулов Н А, Захарова З А Труды Комиссии по анализ химии, 12, 226 (1960)
- 331 Фистуль В И Труды Комиссии по анализ химии 10, 71 (1960)
- 332 Фихтенгольц В С, Золотарева Р В Физико химические методы анализа и исследования продуктов производства синтетического каучука Л Госхимиздат 1961 стр 88
- 332а Флэгг Д Ф, Лайн В Р Полуцифровой метод качественного анализа М, ИЛ, 1947
- 333 Фогельсон Е И Зав лаб, 4, 228 (1935)

- 334 Хаситани Х Журнал общества атомной энергии Японии, 4, 287 (1962), РЖХим, 7 Г 126 (1963)
- 335 Хлопин Н Я Зав лаб, 2, 28 (1933)
- 336 Хлопин Н Я Зав лаб, 4, 289 (1935)
- 337 Хлопин Н Я, Привалова К П Вопросы питания, 19, 74 (1960)
- 338 Цеханович В Н Тр Воронежского гос ун та, 57, 81 (1959)
- 339 Цурумацу Д, Гэнкити Н, Хироко В Бунзеки кагаку, 11, 654 (1962), РЖХим 12Г88 (1963)
- 340 Черников Ю А, Добкина Б М Зав лаб, 15, 1149 (1949)
- 341 Чивина Ч А Новое в практике гидрогенизации жиров Л, Сборник ВНИИ жиров, 1939, стр 121
- 342 Чирков С К Ж прикл химии, 18, 699 (1945)
- 343 Чистяков Н М, Благовещенская З И Сборник научных трудов Ивановского Гос мед ин та, № 22, 486 (1959)
- 344 Чичибабин Е А О продуктах действия галондных соединений на пиридин и хинолин М, 1902
- 345 Чичибабин А Е, Рязанцев М Д ЖРФХО, 47, 1582 (1915)
- 346 Чичибабин А Е, Рязанцев М Д ЖРФХО, 50, 513 (1918)
- 347 Човлык Н Г, Кузьмин Н Ж аналит химии, 4, 96 (1949)
- 348 Човнык Н Г, Кузьмин Н Н, Галкина А Н, Старик Б А Зав лаб, 15, 517 (1949)
- 349 Чугаев Л А Бер, 38, 2520 (1905)
- 350 Чугаев Л А Бер, 39, 3382 (1906), 41, 2219 (1908)
- 351 Чугаев Л А, Суреньянци Я С Бер, 40, 181 (1907)
- 352 Чугаев Л А Бер, 41, 1679, 2219 (1908)
- 353 Чугаев Л А J prakt Chem, 76, 88 (1907)
- 354 Чугаев Л А Z anorg allg Chem, 46, 144 (1905)
- 355 Чугаев Л А, Глебко А А Z anorg allg Chem, 89, 241 (1914)
- 356 Чугаев Л А J Chem Soc, 105, 2192 (1914)
- 357 Чугаев Л А., Лебединский В Z anorg allg Chem, 83, 1 (1913)
- 358 Чугаев Л А Исследование в области комплексных соединений М, 1906, стр 57
- 359 Чугаев Л А Избранные труды т 1 М, Изд во АН СССР, 1954, стр 76—77
- 360 Чугаев Л А ЖРФХО, 42, 1472 (1910)
- 361 Чугаев Л А, Орелкин Б Z anorg allg Chem, 89, 401 (1914)
- 362 Чугаев Л А, Хлопин В Г Избранные труды т 1 М, Изд во АН СССР, 1954, стр 440
- 363 Чугаев Л А Избранные труды, т 1 М, Изд во АН СССР, 1954, стр 56
- 364 Чугаев Л А Избранные труды, т 1 М Изд во АН СССР, 1954, стр 65
- 365 Чугаев Л А J Chem Soc, 88, 743 (1905)
- 366 Чуйко В Т, Лотарева В И Зав лаб, 17, 1037 (1951)
- 367 Чуйко В Т Зав лаб, 18 403 (1952)
- 368 Чуткина Р И Материалы 2 го Уральского совещания по спектроскопии Свердловск, 1958, стр 1 34
- 369 Чуткина Р И Материалы 3 го Уральского совещания по спектроскопии Свердловск, 1960 стр 88
- 370 Шапиро М Я Ж аналит химии 14 365 (1959)
- 371 Шафран И Г Материалы 5 го Совещания люминофоров (кристаллофоров) Тарту, Изд во АН ЭССР, 1956 стр 373
- 372 Шахтактинский Г В, Турчинский М Л Тр Азербайджанского индустриального института им М Азизбекова, № 11 64 (1955)
- 373 Шварц Д М Зав лаб 26, 966 (1960)
- 374 Шварц Д М Зав лаб, 28 684 (1962)
- 375 Шварц Д М, Конорский Л Н, Нилова И С Спектральный анализ в цветной металлургии М, Металлургиздат, 1960, стр 107
- 376 Шварц Д М, Портнова В В Спектральный анализ в цветной металлургии М, Металлургиздат, 1960, стр 125, РЖХим, 1 Д157 (1961)

- 377 Шварц Д М, Портнова В В Физический сборник Львовского гос унта, вып 4 (9), 493 (1958)
- 378 Шемьяк Ф М, Мицеловский Э С Ж аналит химии, 3, 349 (1948)
- 379 Шкловер Л П Зав лаб, 28, 686 (1962)
- 380 Шкотова С Н Зав лаб, 6, 1010 (1937)
- 381 Шистерман К А, Яковлева О А Зав лаб, 15, 782 (1949)
- 382 Шербаков В Г, Анисеева Н П Труды семинара по жаростой ким материалам АН УССР Киев, Ин-т металлокерамики и специальных сплавов, № 6, 114 (1960)
- 383 Щукарев С А, Андреев С Н, Буркав К А Докл АН СССР, 144, 371 (1962)
- 384 Юрист И М, Шахова П Г Зав лаб, 25, 1298 (1959)
- 385 Яковлев П Я, Малинина Р Д Сборник трудов ЦНИИ черной металлургии, № 247, 140 (1962)
- 386 Яковлев П Я, Разумова Г П Тиаоацетамид — заместитель сероводорода в анализе металлов М, Металлургиядат, 1963
- 387 Яковлев П Я, Яковлева Е Ф Технический анализ в металлургии М, Гос научно техн изд во по черной и цветной металлургии, 1963, стр 112
- 388 Яковлев Ю В Сб «Исследование в области геологии, химии и металлургии» М, Изд во АН СССР, 1955, стр 90
- 389 Яцимирский К Б Ж аналит химии, 7, 206 (1952)
- 390 Яцимирский К Б, Васильев В П Ж аналит химии, 11, 536 (1956)
- 391 Яцимирский К Б, Васильев В П Ж физ химии, 30, 901 (1956)
- 392 Яцимирский К Б, Васильев В П Константы нестойкости комплексных соединений М, Изд во АН СССР, 1959
- 393 Яцимирский К Б, Графова З М Ж общ химии, 23, 935 (1953)
- 394 Яшина М Н Зав лаб, 27, 131 (1951)
- 395 Abd El Racheem A A, Abdel Aziz M A Z anal Chem, 163, 340 (1958)
- 396 Abd El Racheem A A, Abdel Aziz M A Z anal Chem, 165, 416 (1959)
- 397 Abd El Racheem A A, Dokhана M M Z anal Chem, 168, 165 (1959)
- 398 Abd El Racheem A A, Dokhана M M Z anal Chem, 180, 339 (1961)
- 399 Abert A Biochem J, 54, 646 (1953)
- 400 Achenza F Ann chim (Roma) 49, 624 (1959)
- 401 Agazzi E, Buriner D, Crittenden D, Patterson D Analyt Chem, 35, 332 (1963)
- 402 Ahrland S, Rosengren K Acta chem scand, 10, 727 (1956)
- 403 Albert A, Gilson M, Rubba S Brit J. Exp Path, 34, 9 (1953)
- 404 Alexander O, Godard E, Linde N Ind Eng Chem, Anal Ed, 18, 206 (1946)
- 405 Allan J E Spectrochim acta, 18, 259 (1962)
- 406 Allan J E III Australian Spectroscopic Conference Sydney, August, 1961
- 407 Allan J E Nature, 187, 1110 (1960)
- 408 Almahdi A K, Wilson C L Mikrochem, 36/37, 218 (1951)
- 409 Anderegg G Helv chim acta, 42, 344 (1959)
- 410 Andrew T R Analyst, 82, 423 (1957)
- 411 Andrew T R, Gentry C Metallurgia, 60, No 357, 51, No 358, 77, No 359, 101 (1959)
- 412 Angelis De G, Ippoliti P, Pupella A Rass chim, 10, 13 (1958), C A, 53, 1979 (1959)

- 413 Antikainen P Y *Mikrochim acta*, **1959**, 558  
414 Arden T V, Burstall F H, Davies G K, Levisa I A, Linstead R P *Nature*, **162**, 691 (1948)  
415 Armit H W, Hardin A *Proc Royal Soc*, **77B**, 420 (1906)  
416 Artur D, Motzok J, Branion H *Canad J Forsch*, **6**, 13 (1954), PЖХИИ, 50233 (1954)  
417 Ashizawa T *Bunseki Kagaku* **10**, 558 (1961); C A., **56**, 19 (1962)  
418 A S T M *Standard Methods for Chemical Analysis of Nickel*, E 39—56  
419 A S T M *Tentative Methods for Chemical Analysis of Electronic Nickel*, E 107 56T  
420 Atack F W *Analyst* **38**, 318 (1913)  
421 Atack F W *Chem Ztg*, **37**, 773 (1913)  
422 Atack F W *J Chem Soc (London)*, **103**, 1317 (1913)  
423 Atack F W *Z anal Chem*, **53**, 620 (1914)  
424 Atanasini I A *Z anal Chem*, **85**, 120 (1931)  
425 Atanasini I A, Velculesku A I *Bull Chim romane chim*, **34**, 71 (1931), C A., **26**, 4556 (1932)  
426 Athavale V T, Thakoor R R, Mahajaw L M, Varde M S *Analyt chim acta*, **21**, 491 (1959)  
427 Athavale V T, Dhaheswar R G, Metha M M *Bull Soc chim France*, **12**, 76 (1960), C A., **55**, 1276 (1961).  
428 Athavale V T, Gilvane S V, Yiltu M *Analyt chim acta*, **23**, 487 (1960)  
429 Aubry J, Laplace G *Bull Soc chim France*, **18**, 204 (1951)  
430 Austin G J *Analyst*, **65**, 335 (1940)  
431 Ayres G H, Baird S S *Talanta*, **7**, 237 (1961)  
432 Ayres G H, Smith F *Ind Eng. Chem Anal Ed*, **11**, 365 (1939)  
433 Azzarello E, Accardo A, Abramo F *Aluminium Nonferrous Rev.*, **2**, 210 (1937), *Chem Zbl* **11**, 3783 (1937)  
434 Bailey D, Dowson W M *Mikrochim acta*, **1960**, 12  
435 Bailey R A, Yaffe L *Canad J Chem*, **38**, 1871 (1960)  
436 Balatre P, Pinkas M *Chim analyt*, **43**, 433 (1961)  
437 Balz G Z. *anorg allg Chem*, **231**, 15 (1937)  
438 Banks C V, Anderson S J *J Am Chem Soc*, **84**, 1486 (1962)  
439 Banks C V, Anderson S J *Inorg Chem*, **2**, 112 (1963)  
440 Banks C V, Barnum D V *J Am Chem Soc*, **80**, 4767 (1958)  
441 Banks C V, Barnum D V *J Am Chem Soc*, **80**, 3579 (1958)  
442 Banks C V, Carison A *Analyt chim acta*, **7**, 291 (1952)  
443 Banks C V, Hooker D T *Analyt Chem*, **28**, 79 (1956)  
444 Banks C V, Voter R C *Analyt Chem*, **21**, 1320 (1949)  
445 Banks C V, Laplante J *Analyt chim acta*, **27**, 80 (1962)  
446 Barker M *Chem News*, **130**, 99 (1925)  
447 Barnicoat C R *Analyst*, **60**, 655 (1935)  
448 Baron H Z *anal Chem*, **140**, 173 (1953)  
449 Barreto H S, Barreto R C, Pinto J P *J Chromatography*, **5**, 5 (1961)  
450 Bastian R *Analyt Chem*, **23**, 580 (1951)  
451 Bauer O, Deiss E *Chem Ztg*, **37**, 1374 (1913)  
452 Bayer W I *Ind Eng Chem Anal Ed*, **10**, 175 (1938)  
452a Belcher R, Nuttgen A *Quantitative inorganic analysis*, 2ed, London, 1960  
453 Belluocchie I, Corelli R *Z anorg allg Chem*, **86**, 88 (1914)  
454 Benarie M M *Science*, **128**, 1008 (1958)  
455 Berg E, McIntyre R *Analyt Chem*, **26**, 813 (1954), **27**, 195 (1955)  
456 Berg E, Strassen J *Analyt Chem*, **27**, 1131 (1955)  
457 Berg E, Strassen J *Analyt Chem*, **27**, 127 (1955)  
458 Berg R *Pharm Ztg*, **71**, 1542 (1926)  
459 Berg R *J prakt Chem* **115**, 178 (1927)

- 460 Berg R Z anal Chem, 76, 191 (1929)  
 461 Berg R Z anal Chem, 76, 195, 199 (1929)  
 462 Berger W Elvers H Z anal Chem, 171, 185 (1959)  
 463 Berlinc E, Longobusco R Metal Finishing 60, 54 (1962), C A, 57, 1970 (1962)  
 464 Berndt W, Sara J Talanta, 8, 653 (1961)  
 465 Betteridge D, Fernanda Q, Todd P K, Freiser H Analyt Chem, 35, 729 (1963)  
 466 Bhatki K Analyst, 82, 24 (1957)  
 467 Bhatnagar R, Poonia N Analyt Chem, 34, 1325 (1962)  
 468 Bhatnagar R, Shulka R Analyt Chem, 32, 777 (1960)  
 469 Biefeld L, Howe D Ind Eng Chem, Anal Ed 11, 251 (1939)  
 470 Biekerdike E, Willard H Analyt Chem 24, 1026 (1952)  
 471 Bighi C, Trabancili G, Pancaldi G Ann chim (Roma), 48, 1128 (1958)  
 472 Bjerrum J Metall ammine formation in aqueous solution Copenhagen, 1941, p 127  
 473 Blasius E, Negwer M Naturwis, 39, 257 (1952)  
 474 Bline R J Chem Soc, 1958, 4336  
 475 Block E, Gad G, Krüger B Metall u Erz, 37, 495 (1940)  
 476 Block E, Gad G, Krüger B Metall u Erz, 38, 325 (1941)  
 477 Bloom J Congr Geol Intern, 20<sup>th</sup> Session, Mexico City, Symposium on Geochim Exploration, 1956, 441 (1959), C A, 58, 6640 (1962)  
 478 Blundy P D, Simpson M R Analyst 83, 558 (1958)  
 479 Blundy P D, Simpson M R Atomic Energy Research Establ Gt Brit CE M 215, 1958 Corr no [478]  
 480 Bobtelcky M, Welwart Y Analyt chim acta, 9, 281-374 (1953)  
 481 Bode H Z anal Chem, 142, 414 (1954)  
 482 Bode H, Neumann F Z anal Chem, 143, 182 (1954), 144, 90, 165 (1955), 172, 1 (1960)  
 483 Bognar J, Jellinek O Acta chim Hungar, 29, 21, 131, 138, 251 (1960)  
 484 Bognar J, Sarosi A Acta chim Hungar, 19, 41 (1959)  
 485 Bogoluhoff P Stahl und Eisen, 30, 458 (1910)  
 486 Bohnholtzer W Z anal Chem, 87, 401 (1932)  
 487 Bordonic C Ann chim appl 33, 244 (1943), C A, 38, 5469 (1944)  
 488 Boyd G E Analyt Chem, 21, 335 (1949)  
 489 Boyle J Chem News 104, 168 (1911)  
 490 Bozsai J Grob L Acta chim Hungar, 28, 151 (1961)  
 491 Bradvarova Dimitrova M Mashinostroenie (Sofia), 9, 32 (1960); C A, 55, 7145 (1961)  
 492 Brady O, Dunn F J Chem Soc, 123, 783, 2499 (1923)  
 493 Brady O, Mehta R J Chem Soc, 125, 2297 (1924)  
 494 Brady O, Muers M J Chem Soc, 1930, 1599  
 495 Brake L D, McNabb W M, Fred J Analyt chim acta, 19, 39 (1958)  
 496 Brauer G Handbuch der präparativen anorganischen Chemie, Bd II Stuttgart, 1960  
 497 Braun P G M, Pruef E Proc Roy Soc, 232 A, 320 (1955)  
 498 Brdiccka R Coll Czech Chem Comm, 5, 112 (1933)  
 499 Brdiccka R Coll Czech Chem Comm 5, 148 (1933)  
 500 Brdiccka R Coll Czech Chem Comm 8, 366 (1936)  
 501 Britton H F S J Chem Soc, 127, 2110 (1925)  
 502 Britphy V B, Strock L W, Peters T Spectrochim acta, 6, 246 (1954)  
 503 Brown P I J Sci Instr, 37, 394 (1960), C A, 56, 10891 (1961)  
 504 Brunk O Ber 35, 1871 (1902)  
 505 Brunk O Z angew Chem 20, 1847 (1907)

- 506 Brunk O Chem Ztg, 31, 569 (1907)  
 507 Brunk O Z angew Chem, 20, 834, 1844 (1907)  
 508 Brunk O Stahl und Eisen, 28, 331 (1908)  
 509 Brunk O Chem Ztg, 36, 1233 (1912)  
 510 Brunk O Chem Ztg, 37, 1374 (1913)  
 511 Brunk O Z angew Chem, 27, 317 (1914)  
 512 Brunner L, Lawadzki J Z anorg allg Chem, 65, 136 (1910)  
 513 Brunner L, Lawadzki J Z anorg allg, Chem, 65, 454 (1910)  
 514 Brut M, Chim analyt, 29, 59 (1947)  
 515 Budesinsky B Chem Listy, 52, 247 (1958)  
 516 Bukowski W, Trawinski J Chem Anal, 5, 361 (1960)  
 517 Burger K Talanta, 8, 253-256 (1961)  
 518 Burger K, Ruffl Talanta 10, 329 (1963)  
 519 Burke K W Yoe J H Analyt Chem, 34 1378 (1962)  
 520 Burriel Marti F, Gallego Andren R, Perez Carre  
 tero P Analas Real Soc Espan Fis y Quim, 57B, 253 (1961), C A, 56,  
 2880 (1962)  
 521 Burstall F H Wellis R A Analyst, 76, 396 (1951)  
 522 Butts P G, Gahler A R, Mellon M G Sewage and Ind Wastes,  
 22 1543 (1950)  
 523 Byrne E, Robertson I H Analyt chim acta, 12, 34 (1955)  
 524 Callant H Henderson J Analyst, 54, 650 (1929)  
 525 Caldararu H Rev Chim 14 (1), 39 (1963); C A, 59, 4535 (1963)  
 526 Caloin M J Chem Phys 13, 507 (1945)  
 527 Calzolari C Furlani C Ann triest cura, univ Trieste sez, 2  
 22 89 (1953), C A, 47, 4220 (1953)  
 528 Cameron A J, Gibson N A Analyt chim acta, 25, 429 (1961)  
 529 Cameron A J, Gibson N A Analyt chim acta, 24, 360 (1961)  
 530 Campbell J J Am Chem Soc, 17, 126 (1895)  
 531 Campbell R T, Reilley C N Talanta, 9, 153 (1962)  
 532 Campbell T Shalgovsky H I Atomic Energy Research Establ,  
 R 3335, 6 (1960), C A, 55, 2350 (1961)  
 533 Camunas A, Mingarro E, Bru A Analas Real Soc Espan Fis  
 y Quim, A56, 121 (1960), PЖХИМ, 14D90 (1961)  
 534 Candea C, Saucine L J Bull Sci Ecole polytechn Timisoara, 5,  
 108 (1934), Chem Zbl, 2, 2554 (1935)  
 535 Carleson G Acta chem scand, 8, 1673 (1954)  
 536 Carpenter L Hazen K U S Bur Mines Rept Invest, No 6182,  
 16 (1963), C A, 59, 13111 (1963)  
 537 Casey J B Chemist Analyst, 18, 8 (1929)  
 538 Cattelain E J pharm chim (8) 2 455 525 (1925), C A, 20, 1365  
 (1926)  
 539 Cavell H, Sugden S J Chem Soc, 1935, 621  
 540 Cavicchi G Ann chim, 40 158 (1950)  
 541 Celse Costa A Chemist Analyst, 47 39 (1958)  
 542 Cerrai F, Testa C J Chromatography, 6, 443 (1961)  
 543 Chang P, Jeung I A Geol Surv Korea, Techn Paper, N 3, 227 (1961);  
 C A, 57, 15797 (1962)  
 544 Chapman C J Chem Soc, 111, 203 (1917)  
 545 Charles M Chim analyt, 44, 436 (1962), PЖХИМ 22Г8 (1963)  
 546 Charles R Freiser H Analyt chim acta, 11, 101 (1954)  
 547 Charlot G Bull Soc chim France, 3(5), 324 (1936)  
 548 Charlot G Bull Soc chim France, 4(5), 1235 1247 (1937)  
 549 Chaberek S, Courtney R, Martella J Am Chem Soc, 74,  
 5057 (1952)  
 550 Chaberek S, Martella J Am Chem Soc 74, 6228 (1952)  
 551 Chaberek S, Martella J Am Chem Soc, 75, 2888 (1953)  
 552 Chaberek S, Martella J Am Chem Soc, 76, 215 (1954)  
 553 Cheng K L, Bray R H Analyt Chem, 27, 782 (1955)

- 554 Cheng K I., Goydich B *Chemist-Analyst*, 51, 45 (1962)  
 555 Chilton J *Analyt Chem*, 25, 1274 (1953)  
 556 Chilton J *Analyt Chem*, 26, 940 (1953)  
 557 Christopherson P *Hamme H Appl Spectroscopy*, 13, 7 (1959)  
 558 Christopherson H, Sandell E *Analyt chim acta*, 10, 1 (1954)  
 559 Chowdhury A N, Sarma D *Analyt Chem*, 32, 820 (1960)  
 560 Clark R E D *Analyst*, 83, 431 (1958)  
 561 Classen A *Z Elektrochem*, 14, 34 (1960)  
 562 Classen A, Bastings L *Recueil trav. Chim*, 73, 783 (1954)  
 563 Classen A, Bastings L *Z anal Chem* 165, 354 (1958) *Z Metallkunde*, 50, 234 (1959)  
 564 Classen A, Daamen A *Analyt chim acta*, 12, 547 (1955)  
 565 Cluett M L, Yoe J H *Analyt Chem*, 29, 1265 (1957)  
 566 Cluley H *Analyst*, 79, 561 (1954)  
 567 Coleman R F *Analyst*, 86, 39 (1961)  
 568 Collahan C, Fernelius W Block B *Analyt chim acta*, 16, 101 (1957)  
 569 Collins P, Diehl H *Analyt chim acta*, 18, 384 (1958)  
 570 Constantinescu C *Ind uşoară (Bucharets)*, 7, 30 (1960), C A, 55, 14852 (1961)  
 571 Cooper M D *Analyt Chem*, 23, 875 (1951)  
 572 Cooper M D *Analyt Chem*, 23, 880 (1951)  
 573 Cooper S, Sullivan M *Analyt Chem*, 23, 613 (1951)  
 574 Cordovi M *Steel*, 123, 88 (1948)  
 575 Corsini A, Jihl, Fernando Q *Analyt Chem*, 34, 1090 (1962)  
 576 Coulson C, Davies R Luna C *Analyst*, 85, 203 (1960)  
 577 Courtney R, Chaberek S, Martella J *Am Chem Soc*, 75, 4814 (1953)  
 578 Cox E, Pinkard F, Waldlaw W, Werster K J *Chem Soc*, 1935, 459  
 579 Craft A, Schumpelt K *Plating*, 48, 277 (1961)  
 579a Christopherson H, Sandell E *Analyt chim acta*, 10, 1 (1954)  
 580 Csokan P *Z anal Chem*, 119, 418 (1940)  
 581 Cuta F, Ksandr Z, Hejtmanek M *Chem Listy*, 50, 1064 (1956)  
 582 Cutzeit G *Helv chim acta*, 12, 713 (1929)  
 583 Davei S, Patel A R *J Sci a Ind Res (India)*, 20B, 81 (1961), C A, 55 10207 (1961)  
 584 Davies C W, Dwyer F P *Trans Faraday Soc*, 49, 180 (1953)  
 585 Davies J, Holton L *Metal Ind*, 67, 178 (1945)  
 586 Dedrut J, Hauss L *Bull Soc chim France*, [5], 4, 1136 (1937)  
 587 Dehm R L, Dunn W G, Loder E R *Analyt Chem*, 33, 607 (1961)  
 588 Delahav P J *Phys Coll Chem*, 54, 630 (1950)  
 589 De Mars K D *Analyt Chem*, 33, 342 (1961)  
 590 Denham H G *J Chem Soc*, 93, 41 (1908)  
 591 Deniges G *Compt rend*, 194, 895 (1932)  
 592 Denk G *Z anal Chem*, 140, 103 (1953)  
 593 Derr P F, Vosburgh V C *J Am Chem Soc*, 65, 2408 (1943)  
 594 Dervoort van G, Fletcher B S, Perry M H, Arsen K B *Z anal Chem*, 128, 517, (1948)  
 595 Deshmukh G S, Rao A L J, Rangaswamy R *Indian J Chem*, 1, 46 (1963)  
 596 Develaux G *Compt rend*, 92, 299 (1881)  
 597 Devald A *Acad rep populare Romine, Baza cercetari stiint Timisoara, Studii cercetari stiint*, ser stiinte chim, 5, 125 (1958), C A, 55, 237h (1961)  
 598 Dewijs H J *Rec trav chim*, 44, 663, (1925)  
 599 Dick J *Z anal Chem* 77, 352 (1929)

- 600 Diel H The applications of the dioximes to analytical chemistry, Iowa State Coll, Iowa, 1940
- 601 Dietrich K, Schmidt K Z anal Chem, 109, 25 (1937)
- 602 Dobbins J T, Sanders J P Ind Eng Chem, Anal Ed, 6, 459 (1934)
- 603 Dolezal J, Simon V, Luka J Chem Listy, 51, 880 (1957)
- 604 Dönges F Z anorg allg Chem, 253, 345 (1947)
- 605 Dono T, Nakagawa G, Wada H Nippon Kagaku Zassi, 82, 590 (1961)
- 606 Dono T, Nakagawa G, Wada H Bunseki Kagaku, 11, 654 (1962)
- 607 Dubsky J, Brychta F Coll Czech Chem Comm, 1, 137 (1929)
- 608 Dubsky J V, Hauer E. Mikrochemie, 12, 321 (1933)
- 609 Dubsky J, Okac A, Okac B, Trifilek J Z anal Chem, 98, 184 (1934)
- 610 Dubsky J Mikrochem, 23, 24, (1937)
- 611 Duca A, Bednar Grigoren V Studia Univ Bales Bolyai Chem, 3, 133 (1958)
- 612 Duca A, Stancu D Studii si cercetari chim Acad P P R Fil Cluj 8, 75, (1957), PЖХИМ, 46434 (1958)
- 613 Dueret L Bull Soc chim France, 12, 880 (1945)
- 614 Duffield W D Analyst, 84, 455 (1959)
- 615 Dufflos A, Fischer N W Lieb Ann, 72, 477 (1847)
- 616 Duke J F Ultrapurification of Semicond Materials, Proc Conf 1961 Boston, Mass 1962, p 256, C A, 57, 6595 (1962)
- 617 Duke R F Ind Eng Chem, Anal Ed, 16, 750 (1944)
- 618 Duncan I F, Thomas F G Proc Australian At Energy Symposium, 1958, 637, C A, 53, 16798 (1959)
- 619 Durham E J, Ryskiewich D P J Am Chem Soc, 80, 4212 (1958)
- 620 Dwiggins C W U S Bur Mines, Rept Invest, № 6039, 22 (1962); C A, 57 14050 (1962)
- 621 Dyrssen D, Hennichs M Acta chem scand, 15, 47 (1961)
- 622 Dyrssen D, Hennichs M Stability constants and solubilities of the metal dioximes Transaction of the Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden Pure and Appl Chem, 26, № 220 (1964)
- 623 Dyrssen D, Johanson E Acta chem scand, 9 763 (1955)
- 624 Dyrssen D, Krasovec F, Silien L G Acta chem scand, 13, 50 (1959)
- 625 Dyrssen D, Silien L G Acta chem scand, 7, 663 (1953)
- 626 Eckart H, Keil G, Rast A Freiburger Forschungsh, A215, 153 (1962), C A, 58 2304 (1963)
- 627 Eckert G Z anal Chem, 148, 14 (1955)
- 628 Ellenburg J Y Analyst Chem, 34, 230 (1962)
- 629 Elwell W Analyst, 80, 508 (1955)
- 630 Elwell W, Wilson H Analyst, 81, 136, (1956)
- 631 Emmert B, Diel R Ber, 62, 1738 (1929)
- 632 Erlenmeyer H, Dahn H Helv chim acta, 22, 1369 (1939)
- 633 Erlenmeyer H, Schmidlin I Helv chim acta, 24 878, 1213 (1941)
- 634 Euler von H Ber, 37, 2768 (1904)
- 635 Evans B S J Electrodepositors Techn Soc, 14, 8 (1938)
- 636 Evans B S Analyst, 71, 455 (1946)
- 637 Evans B S Analyst 72, 110, (1947)
- 638 Eve D J, Strasheim A J South African Chem Inst, 9, 5 (1956), C A, 50 13566 (1956)
- 639 Farady L, Janosi A Mag Kém Fol, 63, 19 (1957), C A, 52, 14425 (1958)
- 640 Farsang G, Pungor E Mag Kém Fol, 67, 344 (1961), C A, 56, 6640 (1962)

- 641 Feigl F Ber, 57, 758 (1924)
- 642 Feigl F Chemistry of specific selective and sensitive reaction N Y, 1949
- 643 Feigl F Ind Eng Chem, Anal Ed, 8 410 (1936)
- 644 Feigl F Qualitative Analyse mit Hilfe von Tüpfelreaktionen Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1931
- 645 Feigl F, Kapulitzas H Z anal Chem, 82, 417 (1930)
- 646 Feigl F, Kapulitzas H Mikrochem 8, 239 (1930)
- 646a Feinstein U, Freinstein H Analyt Chem, 22 723 (1950)
- 647 Feirhall, J Ind Hygiene, 8, 528 (1926)
- 648 Feitweiss F Stahl und Eisen 45, 1109 (1925)
- 649 Ferguson R, Banks C Analyt Chem 23, 1486, (1951)
- 650 Ferguson R, Banks C Analyt Chem, 23 148 (1951)
- 651 Ferguson R, Banks C Mikrochem, 38 11 (1951)
- 652 Fernando Q, Freiser H J Am Chem Soc 80, 4928 (1958)
- 653 Fernando Q, Phillips J P Analyt Chem 25 819 (1953)
- 654 Fischer E Ber, 22 1930 (1889)
- 655 Fisher H Wiss Veröffentlich Siemens Konzern, 4, 158 (1925)
- 656 Fisher H Z angew Chem, 46, 442 (1933)
- 657 Fischer H Z angew Chem, 47, 685 (1934), 50 919 (1937)
- 658 Fischer H, Leopoldi G Z anal Chem, 107, 241 (1936)
- 659 Fischer J Gayard M Z anal Chem 122 254 (1941)
- 660 Fischer K Pogg Ann, 71, 545 (1847)
- 661 Fischer R, Yates M, Batts M Analyt chim acta, 20, 501 (1959)
- 662 Flaschka H Mikrochim acta, B39, 38 (1952)
- 663 Flaschka H Chemist Analyst 42 84 (1953)
- 664 Flaschka H Abdine H Chemist Analyst 44, 30 (1955)
- 665 Flaschka H Abdine H Chemist Analyst, 47, 2 (1958)
- 666 Flaschka H, Püschel R Z anal Chem, 147, 354 (1955)
- 667 Flaschka H, Sadek F Mikrochim acta, 1957, 1
- 668 Fleck H Ward A Analyst, 58 388 (1933)
- 669 Fleischer D Thesis Univ Pittsburg Univ Microfilms 59—2996, 1953
- 670 Fleischer D, Freiser H Phys Chem 66 389 (1962)
- 671 Flood H Tidsskr Kjemie Bergves 17 (1937), 20, 111 (1940), 3 9 (1943) Uur no [414]
- 672 Flood H, Loras V Tidsskr Kjemie Bergves 4, 35 (1944), 5, 83 (1945) Uur no [414]
- 673 Forhammer J Pogg Ann, 95, 90 (1855)
- 674 Formanek Ber 22, 2555 (1889)
- 675 Forrest J, Finston H L Appl Spectroscopy, 14 127 (1960), C A, 55, 6256 (1961)
- 676 Forrester J, Jones J Analyt Chem, 32, 1443 (1960)
- 677 Forster W Analyst 78, 562, 930 (1953)
- 678 Forsythe J, Magu R Wilson C Talanta, 1, 249 (1958)
- 678a Foulke G Monthly Rev Am Electroplaters Soc 32, 7 (1945) C A 1367 (1945)
- 679 Franke F Z phys Chem, 16, 463 (1895)
- 680 Frasson E Panattoni C Acta cryst, 12, 1027 (1959)
- 681 Frasson E Panattoni C Acta cryst, 13 893 (1960)
- 682 Freiser H Analyst, 74, 830 (1952)
- 683 Fresenius H, Bergmann F Z anal Chem 19, 314, 322 (1880)
- 684 Fresenius R, Jander G Handbuch der analytischen Chemie Bd 8bd, 1956
- 685 Frierson W, Marable K Analyt Chem, 34, 210 (1962)
- 686 Fritz J, Lane W Ristroff A Analyt Chem, 29, 821 (1957)
- 687 Fritz J, Karraker S Analyt Chem, 31, 921 (1959)

- 688 Fritz J, Abbink J, Payne M *Analyt Chem*, **33**, 1381 (1961)  
689 Fritz J, Garralda B *Talanta*, **10**, 91 (1963)  
690 Froctor J, Farwell D *Analyt Chem*, **33**, 1286 (1961)  
691 Fronaus S *Acta chem scand*, **7**, 21 (1953)  
691a Frugerde M, Allen M *Analyst* **85**, 731 (1960)  
692 Fujimoto M *Bull Chem Soc Japan*, **30**, 93, 274, (1958)  
693 Fukasawa T, Takeushi T, Ishiryu A *Bunseki Kagaku*, **10**, 1070 (1961); *C A*, **56**, 12303 (1962)  
694 Funk H, Ditt M *Z anal Chem*, **93**, 241 (1933)  
695 Furmann N, McDufflic B Atomic Energy Commission, Classification Report, AECM-4234  
696 Furman N, Flagg J *Ind Eng Chem, Anal Ed*, **12**, 738 (1940)  
697 Gahler A, Mitchell A, Mellon M *Analyt Chem*, **23**, 500 (1951)  
698 Gann W *Z anal Chem*, **156**, 254 (1956)  
699 Gatehouse B, Willis J *Spectrochim acta*, **17**, 710 (1961)  
700 Gayer K, Garret A *J Am Chem Soc*, **71**, 2973 (1949)  
701 Gayer K, Woonlner L *J Am Chem Soc* **74**, 1436 (1952)  
702 Geszy G *Mag Kém Fol*, **56** 361 (1950)  
703 Gerdes W, Rieinan W *Analyt chim acta*, **27**, 113 (1962)  
704 Germuth F *Chemist Analyst*, **17**, 7 (1928)  
705 Germuth F *Chemist Analyst* **19**, 4 (1930)  
706 Gillis J, Hoste J, Moffaert Y *Chim analyt*, **36**, 43 (1954)  
707 Glasstone S, Speakman J *Analyst*, **55**, 93 (1930)  
708 Glen K, Schwab R *Z angew Chem* **62**, 320 (1950)  
709 Goddu R *Analyt Chem* **30**, 1707 (1958)  
710 Gomiscec S *Rudarsko Met Zbornik*, **1961**, 403 *C A* **57**, 11842 (1962)  
711 Gordon L, Cally E *Analyt Chem*, **20**, 560 (1948)  
712 Goto H *J Chem Soc Japan* **54** 725 (1933); *C A*, **27**, 5674, (1933)  
713 Gregorowicz Z, Grochowski S, Kubala J *Chem analyt*, **2** 322 (1957)  
714 Gregorowicz Z *Z anal Chem*, **168**, 241 (1959)  
715 Griffing M, Devries T, Mellon M *Analyt Chem*, **19**, 654 (1947)  
716 Gross R, Gruder I *J Am Chem Soc* **77**, 3695 (1955)  
717 Grossman H, Manheim I *J Chem Soc*, **112**, (2), 391 (1917)  
718 Grossman H, Manheim I *Z anal Chem* **30**, 159 (1917)  
719 Grossman H, Manheim I *Ber*, **50** 708 (1917)  
720 Grossman H, Schneck B *Chem Ztg* **31**, 535 911 (1907)  
721 Grossman O *Chem Ztg*, **54**, 402 (1930)  
722 Gruverman I, Henninger W *Analyt Chem*, **34**, 1680 (1962)  
723 Guha B, Gyani B *Indian J Appl Chem*, **21**, 121 (1958); *C A*, **43**, 15853c (1949)  
724 Haarter K, Bazen J *Analyt Chim acta*, **14** 409 (1956)  
725 Haarter K, Westerfeld W *Rec trav Chim*, **67**, 71 (1948)  
726 Haar W, Voter R, Banks C *J org Chem*, **14**, 836 (1949)  
727 Hahn F *Z anal Chem*, **39**, 1198 (1926)  
728 Hahn R, Sanders C, Gutnikov G *J Chem Educ*, **37**, 412 (1960)  
729 Hains G, Tarrant B *Ind Eng Chem, Anal Ed*, **18**, 11 (1946)  
730 Hains R, Ryan D, Cheney G *J Am Chem Soc* **40**, 1149 (1962)  
731 Hale C, Kung W *Analyt Chem*, **33**, 74 (1961)  
732 Hall A, Young R *Analyst*, **71**, 479 (1946)  
733 Hall A, Young R *Chem and Ind*, **1946**, 394  
734 Hall J, Gibson J, Phillips H, Wilkinson P *Analyt Chem*, **27**, 1504 (1955)  
735 Hamlin A, Roberts B *Nature*, **185**, 527 (1960)

- 736 *Handbuch der analytischen Chemie*, VIII ba Berlin — Goettingen — Heidelberg, Springer verlag, 1956, s 201
- 737 Hanns J Sebor *J Chem Listy*, **35**, 150 (1941)
- 738 Hara S *Bunseki Kagaku*, **10**, 629 (1961), *C A*, **56**, 6 (1962)
- 739 Harris W, Sweet T *Analyt Chem*, **24**, 1062 (1952)
- 740 Harris W, Sweet T *Analyt Chem*, **26**, 1649 (1954)
- 741 Hartkamp H *Z anal Chem* **178**, 19 (1960)
- 742 Hartkamp H, Specker H *Naturwis*, **42**, 534 (1955)
- 743 Harwood H, Theobald L *Analyst*, **58**, 673 (1933)
- 744 Hasek Z *Hutnicke Listy*, **16**, 281 (1961), *C A*, **56**, 926 (1962)
- 745 Haslam J, Russel F, Wilkinson N *Analyst*, **77**, 464 (1952)
- 746 Heczo T *Z anal Chem*, **78**, 325 (1929)
- 747 Heffelfinger R, Blosser R, Perkins O, Henry W *Analyt Chem*, **34**, 621 (1962)
- 748 Hegedus A, Bali M *Mikrochim acta*, 1961, 721
- 749 Hein F *Chemische Koordinationlehre* Leipzig, Hirzel, 1954, S 263
- 750 Heredia P, Bianchi F *Arch farm bioquim Tucuman*, **5**, 237 (1950)
- 751 Herlihy J, Deffenbaugh G *Appl Spectroskopy* **16** 117 (1962), *C A*, **58** 1899 (1963)
- 752 Hevesy G, Levi H B *Danske Videnskab selskab Mattys Medd*, **14**, 5 (1936), **15**, 15 (1938), *Chem Zbl*, **1938I**, 4578
- 753 Hieber W, Leutert F *Ber*, **60**, 2296, 2310 (1927)
- 754 Hieber W, Leutert F *Ber*, **62**, 1839 (1929)
- 755 High I *Analyst*, **70**, 258 (1945)
- 756 Hilbits J *Talanta*, **10**, 181 (1963)
- 757 Hiltner W, Grundmann W *Arch Eisenhütten*, **7**, 401 (1934)
- 758 Hintz E *Z anal Chem* **23**, 62 (1984)
- 759 Hirano S, Kamao H, Sato H *Bunseki kagaku*, **9**, 168 (1960), *C A*, **55**, 17353 (1961)
- 760 Hirokawa K, Goto H *Z anal Chem*, **185**, 124 (1962)
- 761 Hisky C *Analyt Chem*, **21**, 1440 (1949), **22**, 1464 (1950), **23**, 1196 (1951), **24**, 342 (1952)
- 762 Hnilickova M, Sommer I. *Coll Czech Chem Comm*, **30**, 243 (1958)
- 763 Hoffman K, Ehrhard U *Ber*, **45**, 1437 (1913)
- 764 Holland E, Ritchie W J *Assoc Offic Arg Chemist*, **22**, 333 (1939), *C A*, **33**, 4969 (1939)
- 765 Holland Bertiaux *Bull Soc chim France*, **31**, 102 (1904), *Chem Zbl*, **1904 I**, 121
- 766 Hollard A *Bull Soc chim France*, [3], **29**, 116 (1903)
- 767 Hooker D, Banks C U S A F C report, Isc 597 (1955) Yowa state College I S C, 597 (1955), *C A*, **50**, 11878 (1956)
- 768 Hooreman M *Analyt chim acta*, **3**, 635 (1949)
- 769 Hosking J *Australian Chem Inst J and Proc*, **3**, 172 (1936)
- 770 Hovorka V, Sykora V *Coll Czech Chem Comm*, **10**, 83 (1938), *C A*, **32**, 4460 (1938)
- 771 Hughes V, Martell A J *Phys Chem*, **56**, 993 (1952)
- 772 Hulanicki A *Acta Chim Acad Sci Hung*, **27**, 41 (1961)
- 773 Hume D, Kolthoff I J *Am Chem Soc*, **72**, 4423 (1950)
- 774 Human G *Steel*, **25**, 97 (1944)
- 775 Hybbinette A *Svensk Kem tidskr*, **57**, 6 (1945)
- 776 Hyman H *Appl Spectroscopy*, **14**, 125 (1960) *C A*, **55**, 5232 (1961)
- 777 Ibbatson F *Chem News*, **104**, 224 (1911)
- 778 Iensen K A *Z anorg allg Chem*, **252**, 227 (1944)
- 779 International Nickel Co Inc, *Technical Bulletin T 36*, Sept, 1954
- 780 Irving H, Rossotti H J *Chem Soc*, 1954, 2910
- 781 Ishibashi M, Fujinaga T, Kawamura K *Bull Soc Chem Japan*, **26**, 513 (1953)

- 782 Ishibashi M, Tetsumoto A *J Chem Soc Japan*, **56**, 1221, 1228 (1935), *C A*, **30**, 2517 (1936)
- 783 Ishij D, Takeuchi T *Bunseki Kagaku*, **10**, 272 (1961), *C A*, **57**, 26 (1962)
- 784 Ishikawa K *Nippon Kagaku Zasshi*, **81**, 460 (1960), *C A*, **56**, 437 (1962)
- 785 Ishimaru S *J Chem Soc Japan*, **54**, 364 (1933), *C A*, **27**, 5025 (1933)
- 786 Ishimaru S *J Chem Soc Japan*, **56**, 19 (1935), *C A*, **29**, 2880, (1935)
- 787 Itsuki K, Suzuki F, Sato F *Bunseki Kagaku*, **8**, 239 (1959), *C A*, **55**, 26836 (1961)
- 788 Jacobs W, Joe J *Analyt chim acta*, **20**, 332 (1959)
- 789 Jacobs W, Joe J *Analyt chim acta*, **20**, 435 (1959)
- 790 Jamada S, Tsuchida K *J Am Chem Soc*, **75**, 6351 (1953)
- 791 Janauer G, Korkisch J *Z anal Chem*, **177**, 407 (1960)
- 792 Janauer G, Korkisch J *Z anal Chem*, **179**, 241 (1961)
- 793 JaxaBykowsky W *Acta chim Hungar*, **30**, 329, 335 (1962), *C A*, **57**, 10517 (1962)
- 794 Jean M *Bull Soc chim France*, **12**, 437 (1945)
- 795 Jena P, Prasad B *J Ind Chem Soc*, **33**, 122 (1956)
- 796 Jensen K Z *anorg allg Chem*, **252**, 227 (1944)
- 797 Jijima S, Hashimoto J *J Chem Soc Japan*, **74**, 558 (1953), *РЖХим*, 55284 (1955)
- 798 Jilek A, Vrestal J *Chem Listy*, **28**, 113 (1934)
- 799 Job P *Ann Chem*, **6**, 97, (1936)
- 800 Johnson E, Newman E *Analyst*, **71**, 554 (1946)
- 801 Johnson E, Newman E *Analyst*, **81**, 318 (1956)
- 802 Johnson R *Chemist Analyst*, **18**, 14 (1929)
- 803 Johnson W D, Freiser H *Analyt chim acta*, **10**, 1 (1954)
- 804 Johnson W, Freiser H *J Am Chem Soc*, **74**, 5239 (1952)
- 805 Johnson W, Simmons M *Analyst*, **71**, 554 (1946)
- 806 Johri K *J Sci Ind Res*, **18B**, 430 (1959)
- 807 Jonassen H, Chamblin V, Wagner V, Henry R *Analyt Chem*, **30**, 1660 (1958)
- 808 Jonassen H, Huri G, LeBlanc R *J Phys Chem*, **56**, 16 (1952)
- 809 Jones B *Analyst*, **54**, 582 (1929)
- 810 Jones H *Chemist Analyst*, **18**, 7 (1929)
- 811 Jones H, Monk C, Davies C *J Chem Soc*, **1949**, 2693
- 812 Jones H O, Tasker HD *J Chem Soc*, **95**, 1904 (1909)
- 813 Jørgensen C *Acta chem scand*, **8**, 175 (1954)
- 814 Joshi M *Naturwis*, **43**, 516 (1956)
- 815 Joung R, Strickland E, Leibowitz A *Analyst*, **71**, 474 (1946)
- 816 Juza R, Langheim R *Z angew Chem*, **50**, 255 (1937)
- 817 Kallman S *Analyt Chem*, **22**, 1519 (1950)
- 818 Karaoglanov Z *Z anal Chem*, **103**, 113 (1936)
- 819 Kato H *J Chem Soc Japan*, **55**, 293 (1934), *C A*, **28**, 4332 (1934)
- 820 Kato H *J Chem Soc Japan*, **55**, 1152 (1934), *C A*, **29**, 1029 (1935)
- 821 Katsura T *Bunseki Kagaku*, **10**, 370 (1961); *C A*, **55**, 23175 (1961)
- 822 Katsura T *Bunseki Kagaku*, **10**, 1207 (1961), *C A*, **58**, 6170 (1963)
- 823 Katzin L, Gebert E *Nature*, **175**, 425 (1955)
- 824 Kawagaki K *J Chem Soc Japan, Pure Chem Sect*, **73**, 640 (1952)
- 825 Kelley G, Conant J *Ind Eng Chem, Anal Ed*, **8**, 803 (1916)
- 826 Kember N, Farmer A *J Chromatography*, **10**, 106 (1963)
- 827 Kemula W, Brachaczec W, Halanicki A *Chem Anal*, **9**, 43 (1964), *C A*, **60**, 15127 (1964)
- 828 Kemula W, Breiter K, Cieslik S, Fipinska K, Kostrowska H *Chem Anal*, **5**, 229, (1960), *C A*, **55**, 2391 (1961)
- 829 Kemula W, Galus Z *Bull Acad Polon*, **7**, 729 (1959), *C A*, **53**, 6836 (1959)

- 830 Kemula W, Rubel S *Acta Chim Hungar*, **27**, 133 (1961)  
 831 Kenigsberg M, Stork J *Analyt Chem*, **27**, 1339 (1955)  
 832 Kentlämaa J *Suomen Kem*, **29B**, 59 (1956)  
 833 Kerr R J *Ind Eng Chem*, **6**, 207 (1914)  
 834 Kethelyi J *Chem Anal*, **7**, 135 (1962)  
 835 Khalifa H, Bishara S *Z anal Chem*, **183**, 241 (1961)  
 836 Khopkar S, De A *Analyt chim. acta*, **22**, 153 (1960)  
 837 Kieselbach L *Polarographische Arbeitsmethoden* Berlin, Gruyter, 1950  
 838 Kinnunen J, Merkanto B *Chemist Analyst*, **43**, 13, 4367 (1954)  
 839 Kinnunen J, Wennerstrand B *Chemist Analyst*, **46**, 92 (1957)  
 840 Kinson K, Belcher C *Analyt chim acta*, **30**, 64 (1964)  
 841 Kirichik H *Analyt Chem*, **19**, 95 (1947)  
 842 Kitagawa H, Shibata N *Japan Analyst*, **7** 284 (1958), C A, **53**, 3075 (1960)  
 843 Kitagawa H, Shibata N *Bunseki Kagaku*, **11**, 358 (1962), C A, **46** 14919 (1962)  
 844 Kitajima I *J Chem Soc Japan*, **55**, 884 (1934), C A, **28**, 3941 (1934)  
 845 Kivalo P, Luoto R *Suomen Kem*, **30B**, 163 (1957)  
 846 Kleber G, Lab Prax, **13**, 187 (1961), PЖХИМ, 11Д145 (1962)  
 847 Klemm W, Brandt W, Hoppe R *Z anorg allg Chem*, **308**, 179 (1961)  
 848 Klinger P, Koch W, Blaschezyk G *Z angew Chem*, **53**, 537 (1940)  
 849 Knapp B *Proc Am Electroplaters Soc*, **1949** 109  
 850 Kobayashi M *J Chem Soc Japan Pure Chem Sec*, **76**, 796, (1955), C A, **50**, 13649 (1956)  
 851 Kodama M, Shimizu A, Terakado H *Nippon Kagaku Zasshi*, **81**, 1545 (1960), C A, **56**, 6647 (1962)  
 852 Kohane E *Ann chim*, **17**, 175 (1935)  
 853 Kohlschuetter H, Getrost H, Hoffmann G, Stamm H *Z anal Chem*, **166**, 262 (1959)  
 854 Kollrepp W *Chem Ztg*, **52**, 183 (1928), Ch Zbl, **1928** 1, 1983  
 855 Kolthoff I *Chem Weekbl*, **24**, 606 (1927)  
 856 Kolthoff I, Furmann N *Volumetric Analysis*, vol 2 N Y, 1929, p. 239  
 857 Kolthoff I, Stenger V, Mostowitz B *J Am Chem Soc*, **56**, 812 (1934)  
 858 König P *Chem Ztg*, **37**, 1106, 1224 (1913)  
 859 Koczyk G *Galvanotechnik*, **53**, 25 (1962)  
 860 Koppel J *Naturwis*, **5**, 730 (1917)  
 861 Körbl J *Chem a Ind*, **1957**, 1624  
 862 Korolev F *Merentutkimuslaitoksen Jolkaisu Havstorsk Skrift Helsinki* **145** 7 (1950) Цит no [121]  
 863 Kortuem G *Z angew Chem*, **50**, 193 (1937)  
 864 Kowalczyk M, Ogiolda K *Rydy i metale niezle*, **6**, 118 (1961); PЖХИМ **24** 186 (1961)  
 865 Kozu T *J Chem Soc Japan*, **56** 22 (1935), C A, **29**, 2879 (1935)  
 866 Kraus K, Moore G *J Am Chem Soc*, **75**, 1460 (1953)  
 867 Krause H *Z anal Chem*, **129**, 43 (1949)  
 868 Kraut K *Z anal Chem*, **19**, 1793 (1906)  
 869 Krijn G *Chem Weekblad*, **54**, 499 (1958), C A, **53**, 3997 (1959)  
 870 Krohnke F *Ber*, **60B**, 527 (1927)  
 871 Krüger A. *Z anal Chem*, **93**, 422 (1933)  
 872 Krüger A *Z anal Chem*, **114**, 241 (1938)  
 873 Ksandr Z, Hejtmánek M *Shornik I Celostátni Pracovní Konf Anal Chemiku* **1952**, 42 (publ 1953), C A **50**, 3150 (1956)

- 874 Kublik Z *Wiadom Chem* 8, 499 (1961), C A, 55 22668f (1961)  
 875 Kucharzewski B *Chem Anal*, 7 349 (1962)  
 876 Kullgren C Z *phys Chem* 85, 466 (1913)  
 877 Kunz J *Helv Chim acta*, 15 854 (1932)  
 878 Kuras M *Mikrochem.* 32, 192 (1944)  
 879 Kuras M *Coll Czech Chem Comm.* 12, 198 (1947)  
 880 Kuras M, Mollin J *Chem Listy*, 52, 344 (1958)  
 881 Kuras M, Ruzicka E *Chem Listy*, 45 100 (1951)  
 882 Lacourt A, Gillard J, van der Waale M *Mikrochem*, 35 262 (1960)  
 883 Lacourt A, Sommerlyns Gh, Degeyndt F, Jacqu et O *Microchem* 36/37, 117 (1951)  
 884 Laffolie de H *Arch Eisenhuettenw*, 33, 101 (1962)  
 885 Lakanen E *Maatalouden Tutkimuskeskus Gulkaisuja*, 1961 26, C A, 56, 11939, (1962)  
 886 Landry A, Redonado S *Analyt Chem* 26 732 (1954)  
 887 Laskowski D, McCrowe W *Analyt Chem*, 23, 1579 (1951)  
 888 Latimer W *Oxidation Potentials*, Zeever N Y, 1952, p 200  
 889 Laug E P *Ind Eng Chem, Anal Ed*, 6, 111 (1934)  
 890 Laverbochere J, May S, *Bull Soc Chim France*, 1963, 457  
 891 Lear J, Mellon M *Analyt Chem*, 25, 1411 (1953)  
 892 Lecouvreur Berg u *Huettemu Ztg*, 1895, 122  
 893 Lederer M J *Chromatography*, 2, 209, (1959)  
 894 Lehrman L, Kabat E, Weisberg H J *Am Chem Soc*, 56, 1836 (1934)  
 895 Leighton A *Australian Dept of Defence Munition Supply Board*, May, 1926, p 6; C A, 23, 55 (1929)  
 896 Lewis J, Griffiths J *Analyst*, 76, 388 (1951)  
 897 Lewis L, Straub W, *Analyt Chem*, 32, 96 (1960)  
 898 Lewis R, Earl C, Potter I, Fehler R U S *Bur Mines Rept Invest*, No 6108, 15 (1962)  
 899 Lieberman A *Analyst*, 80, 595 (1955)  
 900 Liebig J *Ann Chem Pharm*, 41, 29f (1842), 65, 244 (1848), 87, 128 (1853).  
 901 Liebig J, Woehler F *Annal Phys Chem*, 4, 167 (1832)  
 902 Lincoln A, Kohler J, Engelhart *Inds Inc Techn Bull*, 1, 103 (1960), C A, 55, 13167 (1961)  
 903 Lingane J, Kerlinger H *Ind Eng Chem, Anal Ed*, 13, 77 (1941)  
 904 Lingane J, Page J *Analyt chem acta*, 13, 281 (1955)  
 905 Liska J *Chem Listy*, 23 402 (1929)  
 905a Lloyd M, Wycherleu V, Monk C J *Chem Soc* (1951) 1786  
 906 Lofman N Z *anorg Chem*, 107, 241 (1919)  
 907 Long B, Merkey P, Wheatley R *Acta Crist*, 7, 140 (1954), C A, 45, 1923 (1951)  
 908 Luce C *Analyt Chem*, 28, 1276 (1956)  
 909 Luce C *Analyt Chem*, 33, 96 (1961)  
 910 Luck W Z *Electrochemie*, 65, 4,355 (1961)  
 911 Luke C *Ing End Chem, Anal Ed*, 15, 602 (1943)  
 912 Luke C *Analyt Chem* 21, 1369 (1949)  
 913 Luke C *Analyt Chem*, 25, 148 (1953)  
 914 Luke C *Analyt Chem*, 29 1227 (1957)  
 915 Luke C *Analyt Chem*, 30, 359 (1958)  
 916 McDowell B, Meyer A, Feathers R, White J *Analyt Chem*, 31, 931 (1959)  
 917 Mc Kovenev I P, Vassilaros G Z *Anal Chem* 34, 384 (1962)  
 918 McNaught *Analyst*, 62, 467 (1937), 64, 23 (1939)  
 919 Majumdar A, Singh B *Analyt chim acta* 19, 520 (1958)

- 920 Makepeace G, Craft C *Ind Eng Chem, Anal Ed*, 16, 375 (1944)
- 921 Malaguti D, Sereom E, *Ann Chim. Phys* (3), 28, 129 (1850)
- 922 Malat M, Suk W, Jenickova A *Coll Czech Chem Comm*, 19, 1156 (1954)
- 923 Malat M, Suk W, Jenickowa A *Coll Czech Chem Comm*, 20, 105 (1955)
- 924 Malat M, Suk W, Tenorowa M *Chem Listy*, 52, 2405 (1958)
- 925 Malat M, Tenorowa M *Chem Listy*, 51, 2135 (1957)
- 926 Malat M, Holecck K *Chemist Analyst*, 50, 115, (1961)
- 927 Maley L, Mellor D *Austrian J Sci Res*, 2A, 92 (1949), C A, 44, 10567 (1950)
- 928 Malvano R, Fasolo G. *Analit chim acta*, 30, 223 (1964)
- 929 Mann C, Swanson C *Analit Chem*, 33, 459 (1961)
- 930 Marczenko Z *Odczykniki organiczne w analizie nieorganicznej* Warszawa, 1959
- 931 Marczenko Z, Kasiura K *Chem Anal*, 6, 353 (1961)
- 932 Martella, Piomb R *J Phys Chem*, 56, 993 (1952)
- 933 Marti W *Spectrochim acta*, 18, 1499 (1962)
- 934 Martin E J *Chromatography*, 7, 120 (1962)
- 935 Marriage E C D *Z anal Chem*, 65, 72 (1924)
- 936 Masaki K *Bull Chem Soc Japan*, 6, 233 (1931)
- 937 Masaki K *Z phys Chem*, 159A, 223 (1932)
- 938 Mashima M *Bunseki Kagaku*, 9, 262, 272 (1960), C A, 55, 20781 (1961)
- 939 Mask D *Analyst*, 88, 481 (1963)
- 940 Mathur N, Narang C *Talanta*, 11, 647 (1964)
- 941 Maurel P, Ruppli C *Bull Soc France, Mineral Crist* 84, 363 (1961)
- 942 Mauzy H, Jellin H *Metall Progress*, 45, 689, (1944)
- 943 Mays R *Chemist Analyst*, 35, 62 (1946)
- 944 Mehlig J *Ind Eng Chem, Anal Ed*, 14, 289 (1942)
- 945 Mehlig J, Kitson R, *Ind Eng Chem, Anal Ed*, 15, 606 (1943)
- 946 Mehlig J, Newly B *Chemist Analyst*, 41, 28 (1952)
- 947 Meinke W *Science*, 121, 177 (1955)
- 948 Meisenheimer J, Lamparter W *Ber*, 57, 276, 282 289 (1924)
- 949 Meisenheimer J, Theibacker W *Lieb Ann*, 469, 133 (1929)
- 950 Mei Shen Chang *Hau Hsueh shih chieh*, 13, 21 (1948), C A, 55, 17351 (1961)
- 951 Mellor J *Inorganic and Theoretical Chemistry*, vol XV N Y, 1922
- 952 Meyer V *Ber*, 11, 332 (1878)
- 952a Michaelis C, Tartano N, Clune J, Volles R *Analyt Chem*, 34, 4425 (1962)
- 953 Michaelis R, Alvarez R, Kilday B *J Research Nat Bur Standards*, 65c, 71 (1961), C A, 55, 17351 (1961)
- 954 Middleton A, Miller H *J Am Chem Soc* 38, 765 (1916)
- 955 Mills R, Vernon M *Anal chim acta*, 23, 388 (1960)
- 956 Milner G *Analyst*, 70, 468 (1945)
- 957 Milton R, Waters W *Methods of Quantitative Microanalysis*, 2 ed, London, 1955, p 487, 495
- 958 Minczewski J, Chwastowska J, Marczenko Z *Chem Anal* 6, 509 (1961), C A, 56, 7975 (1962)
- 959 Minczewski J, Foldzinska A *Chem Anal*, 3, 659 (1958), C A, 54, 4237 (1960)
- 960 Minczewski J, Foldzinska A *Chem Anal*, 5, 575 (1960)
- 961 Minczewski J, Foldzinska A *US At Energy Comm*, NP 9641, 8 (1960), C A, 59, 8111 (1963)

- 962 Minczewski J, Karczewska B, Marczenko Z Chem Anal, 6, 501 (1961), C A, 56 2874 (1962).
- 963 Minster J Analyst, 71, 424, 428 (1946)
- 964 Minutulli F Ruggiere P Rassegna Chim, 14, 97 (1962), РЖХИМ, 7Г97 (1963)
- 965 Mironoff J Bull Soc chim Belg, 45, 1 (1936).
- 966 Mitchell A, Mellon M Ind Eng Chem, Anal Ed, 17, 380 (1945)
- 967 Mitchell G, Orme G Metallurgia, 61, 185 (1960)
- 968 Mizuike A, Jida J, Hirano S J Chem Soc Japan, Industr Chem Sect, 61, 1459 (1958), C A, 54, 16276 (1960)
- 969 Mohr E Chem Techn, 12, 280 (1960), C A, 55 19591 (1961)
- 970 Moldenhauer W Z angew Chem, 39, 640 (1926)
- 971 Moldenhauer W, Ewald K, Roth O Z angew Chem, 42, 331 (1929)
- 972 Momoki K Bunseki Kagaku, 10, 40 (1961), C A, 58, 6165 (1963)
- 973 Momoki K, Hirano S, Koizumi T, Sawai F Tetsu to Hagane, 46, 988 (1960), C A, 55, 19593 (1961)
- 974 Monacelli R, Tanaka H, Yoe J Clin chim acta, 1, 577 (1956), C A, 51 6751 (1957)
- 975 Money K, Davies C Trans Faraday Soc, 28, 609 (1932)
- 976 Monk R Analyst chim acta, 28, 217 (1963)
- 977 Monnier D, Haerdi W Analyst chim acta, 20, 444 (1959)
- 978 Moor Th Chem News, 72, 92 (1895)
- 979 Moore G, Krausk A J Am Chem Soc, 74, 843 (1952)
- 980 Morgan I Brit J Ind Med, 17, 209 (1960)
- 981 Morimoto Y, Ashizana T, Araya S Bunseki Kagaku, 10, 13 87 (1961), C A, 57, 2840 (1962)
- 982 Morris W US At Energy Comm, UCRL 6639, 16 (1961), C A, 57, 5289 (1962)
- 983 Morrison D Furst A J organ Chem, 21, 470 (1956)
- 984 Moser L, Behr M Z anorg allg Chem, 134, 49 (1924)
- 985 Motojima K, Hashitani H, Katsuyama K Nippon Genshiryoku Gakkaishi, 3, 89 (1961), C A, 56, 12308 (1962)
- 986 Moyer H, Remington W Ind Eng Chem, Anal Ed, 10, 212 (1938)
- 987 Moxnes N Z phys Chem, 152A, 380 (1931)
- 988 Mukerjee H Z anal Chem, 167, 182 (1959), 184, 170 (1961)
- 989 Murrey W, Ashley S Ind Eng Chem, Anal Ed, 10, 1 (1938)
- 990 Nagai H, Muto M, Nippon Kagaku Zasshi, 82, 694 (1961), C A, 57, 10514 (1962)
- 991 Nakagawa G Nippon Kagaku Zasshi, 81, 444 (1960), C A, 55, 15221 (1961)
- 992 Nakazima T Fukushima H Bunseki Kagaku, 9 830 (1960), C A 55, 19601 (1961)
- 993 Näsänen R Ann Acad Sci Fennicae, 59A, No 2, (1942)
- 994 Näsänen R, Tammin C A Suomen Chem, 23B, 28 (1950)
- 995 Nascutin T Acad RPR, Studii Cercetari Chim, 9, 719 (1961), C A, 57, 11 (1962)
- 996 Neeb R Z anal Chem, 161, 161 (1958)
- 997 Neeb R Z angew Chem, 74, 103 (1962)
- 998 Nielsch W Metall, 7, 513 (1953)
- 999 Nielsch W Z anal Chem, 140, 267 (1953)
- 1000 Nielsch W Z anal Chem, 143, 273 (1954)
- 1001 Nielsch W Z anal Chem, 150, 114 (1956)
- 1002 Nielsch W Z Metallkunde, 50, 234 (1959)
- 1003 Nielsch W Boltz G Analyt. chim acta, 11, 367 (1954)
- 1004 Nielsch W Giefer L Mikrochim acta, 1956, 552
- 1005 Nuka P Z anal Chem, 91, 29 (1932—1933)

- 1006 Numajiri G, Kodama M, Shimizu A Nippon Kagaku Zasshi, 81 454 (1960), C A, 55, 15222 (1961)
- 1007 Ochotin V, Suichov A Z anal Chem, 90, 109 (1932)
- 1008 Oettel F Z Elektrochemie, 1 194, (1894)
- 1009 Oka Y J Chem Soc Japan, 59 971 (1938); C A, 33, 2061 (1939)
- 1010 Okac A Z anal Chem, 88, 189 (1932)
- 1011 Okac A, Simek M Chem Listy, 43, 4 (1949)
- 1012 Okac A, Simek M Coll Czech Chem Comm, 15, 978 (1950)
- 1013 Okac A, Simek M Chem Listy, 52, 2285 (1958)
- 1014 Okac A, Simek M Coll Czech Chem, Comm, 24, 2709 (1959)
- 1015 Okac A, Bartusek M Z anal Chem 178, 198 (1960)
- 1016 Oldfield J, Mack D Analyst, 87, 778 (1962)
- 1017 Olschlanger W Z anal Chem, 146, 339 (1955)
- 1018 Oncescu T Acad R P R, Studii cercetari Chim, 7, 297 (1959) C A, 54, 6385 (1960)
- 1019 Ordogh M, Upor Juvancz V Acta Chim Hungar, 26, 253 (1961)
- 1020 Orylski Z, Basinska H Chem Anal, 7, 611 (1962), PЖХИМ, 3Г 92 (1963)
- 1021 Owens E Appl Spectroscopy, 16, 86 (1962)
- 1022 Pan L Metal Cleaning and Finishing, 3, 703 (1931), C A, 26, 34 (1932)
- 1023 Paneth F, Thilo F Z anorg allg Chem, 147, 196 (1925)
- 1024 Papparogli M Gazz chim ital 9, 509 (1879)
- 1025 Parr S, Lingren I Trans Am Brass Founders Assoc, 5, 120 (191) Цър no W W Satt Standart Methods of Chem Analys, 1 622 (1918)
- 1026 Pavlik M Coll Czech Chem Comm, 3 223, 302 (1931)
- 1027 Paweck H, Stricks W Z anal Chem, 79, 115 (1930)
- 1028 Pearse G, Haum R Analyst Chem, 32 213 (1960)
- 1029 Pearse G, Pflaum R Analyst Chem, 32, 151 (1960)
- 1030 Pease B F, Williams M Analyst Chem, 31, 1044 (1959)
- 1031, Peg V, Parellada L Clin y lab, 63, 263 (1957), C A, 55, 6255 (1961)
- 1032 Pennier E Inman W Talanta, 10, 997 (1963)
- 1033 Peters F Chemist Analyst, 26, 76 (1937)
- 1034 Pfeiffer P, Richard J Ber 61, 103 (1928)
- 1035 Pfeiffer P Ber, 63, 1811 (1930)
- 1036 Phillips S, Morgan E Analyst Chem, 31, 146 (1959)
- 1037 Pinkas M Bull Soc Pharm Lille, 1960, 93, C A, 56, 9401 (1962)
- 1038 Pirtea T Rev de Chimie (Bucuresti) 12, 91 (1961)
- 1039 Pittwell L R Appl Spectroscopy, 12, 54 (1958)
- 1040 Plumb R, Lewis I Nucleonics, 13, 42 (1955)
- 1041 Poddar S Z anal Chem, 155, 327 (1957)
- 1042 Pohl F, Bonsels W Mikrochim acta, 1960, 641
- 1043 Pohl F, Bonsels W Mikrochim acta, 1960, 314
- 1044 Pohl H Analyst chim acta, 12, 54 (1955)
- 1045 Pollard R Chim Anal, 34, 239 (1951)
- 1046 Pollard F McOmic W, Elbein I J Chem Soc, 1951, 470
- 1047 Pollard F, McOmic W, Stevens H J Chem Soc, 1951, 771
- 1048 Pollock E, Lopatti L Analyst chim acta, 28, 68 (1963)
- 1049 Pontet M Chim Analyst, 37, 338 (1955); PЖХИМ, 361709 (1956)
- 1050 Ponzio G Gazz chim ital, 52, 1, 285 (1922)
- 1051 Ponzio G Ber, 61, 1316 (1928)
- 1052 Porter J, Uilman W, Sanderson W Purdue Univ Eng, Bull Ext Ser, 1959, 587 (1960 publ), C A, 56, 8486 (1962)
- 1053 Potter G, Armstrong C Analyst Chem, 20, 1208 (1948)
- 1054 Potter G Analyst Chem, 22, 1510 (1950)
- 1055 Prettner Chem Ztg, 33, 396 (1909)

- 1056 Pribil R, Kondeba L, Matuska B Coll Czech Chem Comm, **16** 80 (1951)
- 1057 Pribil R, Matuska B Coll Czech Chem Comm, **16** 139 (1951)
- 1058 Pribil R, Vesely V Chemist Analyst, **50**, 73 (1961)
- 1059 Pribil R, Vesely V Chemist Analyst, **50**, 100 (1961)
- 1060 Pribil R, Vesely V Chemist Analyst, **52**, 5 (1963)
- 1061 Product group U.S. Atomic Energy Autor 5 29(5) 1959, PЖXHM. 80811 (1960)
- 1062 Protiva K Chem Listv, **48** 778 (1954)
- 1063 Prue J, Schwarzenbach G Helv chim acta, **33** 985 (1950)
- 1064 Randle R, Banks C J phys Chem, **67**, 508 (1963)
- 1065 Rao V Chemist Analyst, **49**, 40 (1960)
- 1066 Rao V J Sci Ind Res, **19B**, 320 (1960)
- 1067 Rao V Z anal Chem, **180**, 271 (1961)
- 1068 Rauch E, Smith G, Banks C, Diehl H J Org Chem, **10**, 199 (1945)
- 1069 Raut E, Smith G, Banks C J Org Chem, **10**, 199 (1945)
- 1070 Ray A, Ray P J Indian Chem Soc, **37**, 133 (1960), C A, **55**, 17348 (1961)
- 1071 Ray P J Indian Chem Soc, **3**, 118 (1926)
- 1072 Ray P Z anal Chem, **79**, 94(1929)
- 1073 Ray P, Chattopadhyaya A Z anorg allg Chem, **169**, 99 (1928)
- 1074 Raymond E Compt rend, **200**, 1850 (1935)
- 1075 Recommended Methods for the Analysis of Trade Effluents Analyst, **81**, 176 (1956)
- 1076 Reeds S, Banks C, Diehl R J Org Chem, **12**, 792 (1947)
- 1077 Reeds S, Banks C Proc Iowa Acad Sci, **55**, 207 (1948)
- 1078 Reeves W, Crumpler T Analyst Chem, **23**, 1576 (1951)
- 1079 Reichen L Analyst Chem, **23**, 727 (1951)
- 1080 Remy H Lehrbuch der anorganischen Chemie, Bd II Akademische Verlagsgesellschaft Geest Leipzig, 1960
- 1081 Repas P Acta chim Hungar, **28**, 243 (1961)
- 1082 Rhodes F, Hosking H Ind Eng Chem, Anal Ed **2** 164 (1930)
- 1083 Riedel K Z anal Chem, **159**, 25 (1957)
- 1084 Riley H J. Chem Soc, **1933**, 895
- 1085 Ringbom A Solubilities of sulfides Report to Analytical section I U P A C, July, 1953
- 1086 Ripan Tilici R Z anal Chem, **118**, 308 (1939)
- 1087 Rishawikar S, Rishawikar D Current Sci (India) **23**, 99 (1954)
- 1088 Roellig H, Trommer E, Minenko A Acta chim Hungar, **32**, 159 (1962)
- 1089 Rollet A Compt rend, **183**, 212 (1926)
- 1090 Rosenheim A., Huldshinsky E. Ber, **34**, 2050 (1901)
- 1091 Rossini F, Nagman D, Evans Wm H Nat Bur Stand Circular, No 500, 1266 (1952), C A., **46**, 5417f(1952)
- 1092 Rothe I Stahl und Eisen, **12**, 1052 (1892)
- 1093 Rotschild Chem Ztg, **32**, 563 (1908)
- 1094 Rotschild Chem Ztg, **41**, 29 (1917)
- 1095 Rowe W, Yofers R Analyst Chem, **35**, 368 (1963)
- 1096 Rundle R J Chem Phys, **20**, 1487 (1952)
- 1097 Rundle R Acta Crystallochimica, **6**, 487 (1953)
- 1098 Rydberg J Svensk Kém Tidskr, **65**, 37 (1953), C A, **47**, 10968 (1953)
- 1099 Saito K, Takeuchi T Bunseki Kagaku, **10**, 1129 (1961), C A, **56**, 12297 (1962)
- 1100 Sajo I Magyar Kém Folyóirat, **62**, 37 (1956), C A, **52**, 359 (1958)
- 1101 Sakais, Yoshino K Bunko Kenkyu, **10**, 23 (1961) C A, **57**, 15787 (1962)

- 1102 Salesin E, Abramson S, Gordon L *Talanta*, 5, 81 (1960)  
 1103 Salesin E, Abramson S, Gordon L *Talanta*, 9, 699 (1962).  
 1104 Salesin E, Gordon L *Talanta*, 2, 1392 (1959)  
 1105 Sanchez J *Bull Soc Chim France*, 5, [4], 641 (1909)  
 1106 Sandelle E, Perlich R *Ind Eng Chem, Anal Ed*, 11, 309 (1939).  
 1107 Sandelle E *Colorimetric Determination of Traces of Metals* N Y, 1959.  
 1108 Sano S, Matsui H *Bunko Kenkyu*, 8, 82 (1960), C A, 57, 17 (1962)  
 1109 Sartori G, *Gazetta*, 66, 688 (1936)  
 1109a Sauchez J A *Bull Soc Chim France*, 5, [4], 641 (1909)  
 1110 Scharpe A, Wakefield D J *Chem Soc*, 1957, 281  
 1111 Scharrer K, Judel G *Z anal Chem*, 156, 340 (1957)  
 1112 Schieckenthal G *Z pflanzenernahr, Dungung u Bodenk*, 10A, 104 (1927), C A, 22, 2228 (1928)  
 1113 Schikore W, Mueller E *Z anorg allg Chem*, 255, 327 (1948)  
 1114 Schleicher A *Z anal Chem*, 126, 412 (1944)  
 1115 Schoeller W *Analyst*, 69, 9 (1944)  
 1116 Schuster G *Ann des Falsification*, 23, 485 (1930) *Chem Zbl*, 1931, 1, 320  
 1117 Schuster G *J pharm chim*, 11, [8], 97 (1930)  
 1118 Schwab G, Ghosh A *Z angew Chem*, 53, 39 (1940).  
 1119 Schwab G, Polydoropoulos K *Z anorg allg Chem*, 274, 234 (1953)  
 1120 Schwarzenbach G *Helv chim acta*, 31, 331 (1948)  
 1121 Schwarzenbach G, Ackerman H *Helv chim acta*, 31, 1029 (1948)  
 1122 Schwarzenbach G, Anderegg C, Schnieder W, Senn H *Helv chim acta*, 38, 1147 (1955).  
 1123 Schwarzenbach G, Biedeman W *Helv chim acta*, 31, 456 (1948)  
 1124 Schwarzenbach G, Gouriney R, Mariella J *Am Chem Soc*, 74, 5057 (1952)  
 1125 Schwarzenbach G, Freitag E *Helv chim acta*, 34, 1503 (1951)  
 1126 Schwarzenbach G, Freitag E *Helv chim acta*, 34, 1492 (1951)  
 1127 Schwarzenbach G, Gut R, Anderegg G *Helv chim acta*, 37, 937 (1954)  
 1128 Schwarzenbach G, Zobrist A *Helv chem acta*, 35, 1291 (1952)  
 1129 Sood D, Zai M, Furst A *Analyt Chem*, 30, 365 (1958)  
 1130 Seaman H *Ind Eng Chem Anal Ed*, 16, 354 (1944)  
 1131 Seaman H, Schmidt G, Stavanow F *Z Naturforsch*, 16A, 25 (1961)  
 1132 Sedivec V, Vasak V *Coll Czech Chem Comm*, 15, 52 (1950)  
 1133 Sedivec V, Vasak V *Coll Czech Chem Comm*, 15, 260 (1950)  
 1134 Segall I, Ariel M, Shorr L *Analyst* 88, 314 (1959)  
 1135 Selbin J, Junkin J J *Am Chem Soc*, 82, 1057 (1960)  
 1136 Serfass E, Levine W *Monthly Review Am Electroplaters Soc*, 34, 320 (1947)  
 1137 Shalgosky H *U S At Energy Authority Prod Group*, PG Rept 171, 128 (1960)  
 1138 Shatterjee R *Science and Culture* 3, 443 (1938), *Chem Zbl* 1938, 11, 2310  
 1139 Sherma J, Evans G, Frame H, Strain H *Analyt Chem*, 35, 224 (1963)  
 1140 Sherwood R, Chapman F *Analyt Chem*, 27, 88 (1955)  
 1141 Shibata S *Anal chim acta* 23, 367 (1960), 28, 388 (1960)  
 1142 Shibata S *Anal chim acta*, 25, 348 (1961)

- 1143 Shigematu T, Yamamoto Y, Tabushi M, Kitagawa T Bull Inst Chem Research Kyoto Univ, 38, 307 (1960); C A, 55, 18443 (1961)
- 1144 Shimura S, Takasu M J Iron and Steel Inst (Japan), 16, 961 (1930), C A 25, 4198 (1931)
- 1145 Shinagawa M, Kiso Y Nippon Kagaku Zasshi, 82, 1019, 1024 (1961), C A, 58 6168 (1963)
- 1146 Shiobara Y, Bunseki Kagaku, 11, 664 (1962), C A, 57, 65293 (1962)
- 1147 Shott J, Thomas Y, Garland J, Clark R Analyt Chem, 33, 506 (1961)
- 1148 Siddhanta S, Banarjee S J. Indian Chem Soc, 35, 547 (1958)
- 1149 Siddhanta S, Banarjee S Science and Culture, 19, 573 (1954)
- 1150 Siddhanta S, Kundu R. Science and Culture, 19, 506 (1954)
- 1151 Sillem L Acta chem scand, 8, 299 (1954)
- 1152 Silverman L, Houk W U S Atomic Energy Comm, NAA — SK — 1788, 12 (1957), C A., 51, 12743 (1957)
- 1153 Silverstone N Metallurgia, 65, 99 (1962)
- 1154 Silverstone N Bach B Metallurgia, 63, 205 (1961)
- 1155 Silvey D, Brennan R Analyt Chem, 34, 784 (1962)
- 1156 Simoni O Anales Direc Nacl Quim, 13, 24 (1960), C A, 57, 6595 (1962)
- 1157 Singh A Res Bull Panjab Univ, 47, 59 (1954), C A, 48, 10478 (1954)
- 1158 Singh B, Singh A, Kapur S Res Bull Panjab Univ, 41, 205 (1953); C A, 47, 2628 (1953)
- 1159 Singh D, Varma A Z anal Chem, 188, 6 (1962)
- 1160 Singh E, Dey A J Chromatography, 2, 95 (1959)
- 1161 Singh E, Dey A Z anal Chem, 178, 356 (1961)
- 1162 Singh E, Dey A J. Sci, Ind Research, 20B, 388 (1961)
- 1163 Singleton W Ind Chem a Chem Man, 3, 406 (1927)
- 1164 Siroki M Kem Ind, 10, 473, (1961), C A, 57, 2844 (1962)
- 1165 Skulmowski J, Wiercinski J Ann Univ Mariae Curie Sklodowska, Lublin, Polonia, 14DD, 267 (1959), C A, 56, 13312 (1962)
- 1166 Smales A Atomics, 4, 55 (1953)
- 1167 Smales A, Mapper D, Wood A Analyst, 82, 75 (1957)
- 1168 Snell F D, Snell C T Colorimetric Methods of Analysis, vol 2 Van Nostrand Company Inc Toronto, New York and London, 3rd Ed., 1949
- 1169 Sogani N C, Bhattacharjya S C Analyt Chem, 28, 1616 (1956)
- 1170 Solaja B Arhiv Hem Farm, 2, 136 (1928), C A, 23, 1837 (1929)
- 1171 Soudny M, Malinek M Hutnicke Listy, 16, 438 (1961)
- 1172 Soos P, Virf L, Blazsek A. Acad R P R, Studii cercetări Chim, 8, 231 (1957), C A, 53, 8927 (1959)
- 1173 Soule A J Am Chem Soc, 47, 981 (1925)
- 1174 Soule A Chemist Analyst, 18, 7 (1929)
- 1175 Spaccamela Marchetti E Atti accad sci Torino classe sci fis mat e nat, 88, 326 (1953), C A, 48, 7485 (1954)
- 1176 Spacu G Bull Soc Stiinte, Cluj, 1, 284 (1922), C A, 17, 3848 (1923)
- 1177 Spacu G, Armeanu V Bul Soc Stiinte, Cluj, 8, 206 (1935), C A 30 1685 (1936)
- 1178 Spacu G, Dick I Z anal Chem, 71 442 (1927)
- 1179 Spacu G, Vasilescu C Analele univ C I Parhon Bucuresti, ser stiint nat, No 10, 55 (1956), C A, 52, 16122 (1956)
- 1180 Spain J Analyt Chem, 32, 1622 (1960)
- 1181 Specker H, Hartkamp H Z anal Chem, 145, 260 (1955)
- 1182 Spinola Costa A Anais assoc brasil quim, 19, 21 (1960); C A, 55, 13164 (1961)
- 1183 Stability konstants, London The Chemical society, Burlington House, 1957
- 1184 Stackelberg V M, Klinger P Koch W, Krath E J Soc Chem Ind., 62, 42 (1943)

1185 Stanton R, Coop J Bull Inst Min Met Trans, 68, 9 (1958)  
1186 Stanton R, McDonald A, Carmichael I Analyst 87  
134 (1962)  
1187 Stary I Analyt chim acta, 28, 132 (1963)  
1188 Stebinger R Chem Ztg, 42, 242 (1918)  
1189 Stebinger R J Chem Soc, 114, (2), 243 (1918)  
1190 Stenstrom W, Goldsmith N J Phys Chem, 30, 1683 (1926)  
1191 Stieller A, Exler H Naturwis, 42, 45 (1955)  
1192 Stone G Metal Finishing, 49, 44 (1951), C A., 45, 3286 (1951)  
1193 Stone I Ind Eng Chem, Anal Ed, 3, 325 (1931)  
1194 Stone I Gray P Am Soc Brewing Chemists, Prociding, 1955, 145  
1195 Stout P, Levv J Coll Czech Chem Comm, 10, 136 (1938)  
1196 Strafford N, Wyatt P, Kershaw F Analyst, 70, 232 (1945)  
1197 Strelow F Analyt Chem, 33, 994 (1961)  
1198 Strelow F Analyt Chem, 33, 542 (1961)  
1199 Strominger D, Hollender I, Seaborg G Rev Modern  
Phys, 30, 585 (1958), C A, 52, 16047 (1958)  
1200 Strudlar K, Janousen I Chemist Analyst, 50, 36 (1961)  
1201 Struszynski M Przem. Chem, 19, 48 (1935), Chem Zbl, 1935, 2306  
1202 Subrahmayam J, Sastri M Z anal Chem, 189, 175 (1962)  
1203 Sugden S J Chem Soc, 1932, 246  
1204 Suk W, Malat M, Ienickowa A Chem Listy, 49, 1798 (1955)  
1205 Suk W, Malat M, Ienickowa A Coll Czech Chem Comm,  
21, 1257 (1956)  
1206 Suzuki M, Takenchi T Bunseki Kagaku 9, 708 (1960), C A,  
57, 4025 (1962)  
1207 Svoboda V Talanta, 4, 201 (1960)  
1208 Sweetser P, Bricker C Analyt Chem, 25, 253 (1953)  
1209 Swift E, Backus H J Am Chem Soc, 54, 61 (1932)  
1210 Swift E, Barton R J Am Chem Soc, 54, 2219 (1932)  
1211 Swift E, Barton R J Am Chem Soc 54, 4155 (1932)  
1212 Szakacs O Ann Univ Sci Budapest, Rolando Eotvos nominatae,  
Sect Chim, 2, 373 (1960), C A, 55, 26834 (1961)  
1213 Szurman I Roczniki Nauk Polniczych, 73A, 429 (1956) C A, 55, 873  
(1961)  
1214 Takahashi I Robinson R Analyt Chem, 32, 1350 (1960)  
1215 Takeuchi T., Suzuki M, Ito H Nishimura T Kogyo  
Kagaku Zasshi, 65, 1339 (1962), C A, 56, 912 (1962)  
1216 Tamizawa S, Kawahara M Bunseki Kagaku, 11, 826 (1962),  
C A 57, 9539 (1962)  
1217 Tanaka M Bunseki Kagaku, 8, 508 (1959), C A 55 13165 (1961)  
1218 Tanaka N Bull Chem Soc Japan, 23, 253 (1950), C A, 44 9825 (1950)  
1219 Taurins A Z anal Chem, 97, 27 (1934)  
1220 Taylor C, Analyst, 81, 369 (1956)  
1221 Terrell A Compt rend, 62, 139 (1866), Z anal Chem, 5, 113 (1866)  
1222 Testa C J Chromatography, 5, 236 (1961)  
1223 Thiel A, Gessner H Z anorg allg Chem, 86, 1 (1914)  
1224 Thilio E, Friedrich K Ber, 62, 2998 (1929)  
1225 Tillu M J Indian Chem Soc, 20, 139 (1943)  
1226 Thilo F, Heilborn H Ber, 64, 1441 (1931)  
1227 Tife J Analyst, 61, 681 (1936)  
1228 Tolg G Z anal Chem, 190, 161 (1962)  
1229 Tougarinoff A Ann soc sci Bruxelles, 54B 314 (1934), C A 29,  
1748 (1935)  
1230 Towndrow E, Hutchinson R, Webb H Analyst 85, 769  
(1960)  
1231 Tradwell W Electroanalytische Methoden Berlin, 1915, S. 195  
1232 Tripathi K, Banerjaa D Z anal Chem, 176, 91 (1960)  
1233 Truebsbach G J phys Chem, 16, 708 (1895)

- 1234 Turner A Chem Eng Mining Rev, 20, 361 (1948), C A, 43, 8615 (1949)
- 1235 Turner J, Philip R, Day R Analyt chim acta, 26, 94 (1962)
- 1236 Uhlig Z, Freiser H Analyt Chem, 23, 1014 (1951)
- 1237 Uno T, Akihama S Bunseki Kagaku, 10, 822, 828 (1961), C A, 56, 7986 (1962)
- 1238 Uzumasa J, Kayama I J Chem Soc Japan, 60, 839 (1939), C A, 34, 343 (1940)
- 1239 Uzumasa J, Washizuko S Bull Chem Soc, Japan, 29, 403 (1956); C A, 50, 12741 (1956)
- 1240 Van Uitert L, Fernelius W J Am Chem Soc, 76, 375 (1954)
- 1241 Vecsernyes L Z anal Chem, 182, 429 (1961)
- 1242 Verderber R Norelco Repr, 10, 30 (1963), C A, 58, 6521 (1963)
- 1243 Verma M, Gupta P Current Sci, 30, 10 (1961)
- 1244 Voinovitch I, Liodec N, Vilnat J, Lowrier J Trans Intern Ceram Congr 7<sup>th</sup> (London 1960) 1961, p 443 C A, 56, 9394 (1962)
- 1245 Vorisec J. Chem Listy, 29, 288 (1935)
- 1246 Voters R Analyt Chem, 23, 12, 1730 (1951)
- 1247 Voters R, Banks C, Diehl H Analyt Chem, 20, 458 (1948)
- 1248 Voters R, Banks C Analyt Chem, 21, 1320 (1949)
- 1249 Wagenaar M Pharm Weekblad, 63, 570 (1926)
- 1250 Wagenmann K Z anal Chem, 55, 348 (1916)
- 1251 Wagner H Metallwaren — Ind Galvana Techn, 27, 231 (1929)
- 1252 Walkden J Rept Atomic Energy Res Establ, AM22 3 (1959) PЖХИИ 8, 1 2 (1960)
- 1253 Wallach O Ann Chem, 437, 148 (1924)
- 1254 Walsh A Spectrochim acta, 7, 108 (1955)
- 1255 Washizuka S Bunseki Kagaku, 12, 20 (1963), C A, 58, 10707 (1963)
- 1256 Watters J, Dewitt R J Am Chem Soc, 82, 1339 (1960)
- 1257 Watters J, Kolthoff I Analyt Chem, 21, 1466 (1949)
- 1258 Wdowiszewski H Stahl und Eisen, 28, 960 (1908), C A, 2, 3207 (1908)
- 1259 Webb M, Cotterill J, Jones T Analyt chim acta, 26, 548 (1962)
- 1260 Weber H Z anal Chem, 47, 155 (1908)
- 1261 Wedepohl K Z anal Chem, 180, 246 (1961)
- 1262 Wecldenburg I Rec trav chim, 43, 465 (1924)
- 1263 Wehber P Z anal Chem, 166, 186 (1959)
- 1264 Weidmann G Can J Chem, 37, 830 (1959)
- 1265 Weidmann G Can J Chem, 38, 459 (1960)
- 1266 Wehrlich R Arch Eisenhuettenwesen, 14, 55 (1940), C A, 35, 5058 (1941)
- 1267 Welcher F Organic Analytical reagents, vol 3 Toronto, New York, London, van Nostrand company Inc, 1947
- 1268 Wenger P, Duckel R Helv chim acta, 24, 889 (1941)
- 1269 Wenger P, Monnier D, Bachman Chapnis W Analyt chim acta, 15, 473 (1956)
- 1270 Wenger P, Monnier D, Kapetanidis I Helv chim acta, 41, 1548 (1958)
- 1271 Wenger P, Monnier D, Ruscon I Analyt chim acta, 1, 190 (1947)
- 1272 Werner O Metall, 16, 1062 (1962)
- 1273 Whealy R, Colgate S Analyt Chem, 28, 1897 (1956)
- 1274 Wheat J Appl Spectroscopy, 16, 108 (1962), C A, 57, 10516 (1962)
- 1275 Wiedmann H Z Metallkunde, 49, 545 (1958)
- 1276 Wilkins D Analyt chim acta, 23, 309 (1960)
- 1277 Wilkins D, Smith G Talanta, 8, 138 (1961)
- 1278 Williams A Analyst, 86, 172 (1961)
- 1279 Willis I Analyt Chem, 34, 614 (1962)
- 1280 Woehler F Poggend Annal Phys Chem, 3, 177 (1825)
- 1281 Woehler F Lieb Ann 70, 256 (1849)

- 1282 Woelbling H, Steiger B. *Mikrochemie*, **15**, 295 (1934)
- 1283 Woellner R J *pract Chem*, (2) **29**, 129 (1884)
- 1284 Worthington R, Dibber H, Mason H, Seytaug A, Swallow D U K At Energy Authority, Ind Group Hdq. SCS-R-75, 1959, p 35, C A., **54**, 11851 (1960)
- 1285 Wunschendorf H, Valier P *Bull Soc Chim France*, **1** [5], 85 (1934)
- 1286 Wyatt P *Analyst*, **78**, 656 (1953)
- 1287 Xavier J, Ray P J *Indian Chem Soc*, **35**, 432 (1958)
- 1288 Xavier J, Ray P J. *Indian Chem Soc*, **35**, 633 (1958)
- 1289 Xavier J, Ray P *Science and Culture*, **20**, 455 (1955)
- 1290 Xavier J, Ray P *Science and Culture*, **21**, 170 (1956)
- 1291 Xavier J, Ray P *Science and Culture*, **21**, 694 (1956)
- 1292 Yamasaki K, Matsumoto C *Nippon Kagaku Zasshi*, **77**, 111 (1956), C A., **50**, 11156 (1956)
- 1293 Yamasaki K, Matsumoto C *Nippon Kagaku Zasshi*, **78**, 833 (1957), C A., **52**, 2636 (1958)
- 1294 Yamasaki K, Matsumoto C *Scirepts Osaka Univ*, **2**, 25 (1953), C A., **53**, 13861 (1959)
- 1295 Yamasaki K, Noda J, Ito R J *Chem Soc Japan, Pure Chem Sec*, **77**, 651 (1956), C A., **51**, 17579 (1957)
- 1296 Yoe J, Wirsing F J *Am Chem Soc*, **54**, 1866 (1932)
- 1297 Yokosuka S *Japan Analyst*, **4**, 103 (1955)
- 1298 Yokosuka S *Japan Analyst*, **5**, 282 (1956)
- 1299 Yokota S, Shimada J *Nippon Kagaku Zasshi*, **79**, 1144 (1958), C A., **53**, 8927 (1959)
- 1300 Yoshida H, Yamamoto M, Hikime S *Bunseki Kagaku*, **11**, 197 (1962); C A., **56**, 14913 (1962)
- 1301 Young R, Strickland E, Leibowitz A *Analyst*, **71**, 474 (1946)
- 1302 Zelle A, Fijalkowaki J *Chem Anal*, **7**, 317 (1962), C A., **57**, 11842 (1962)
- 1303 Zurumazu D, Genkiti N, Hiroko W J *Chem Soc Japan, Pure Chem Sec*, **82**, 590, 1961; *РЖХим*, **11Д108** (1962)

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аммиакаты никеля** 13  
**Атомно абсорбционная спектроскопия** 139  
**Атомный вес** 5  
**Внешний вид металла** 6  
**Гептоксим** 19 сл  
**Гидролиз гидратированного иона никеля** 7  
**Гидроокиси никеля двухвалентного** 7  
**трехвалентного** 8  
**Гравиметрические методы определения никеля** 70 сл  
**Двуокись никеля** 7  
**Диоксим 1,2 циклогександиона см Ниоксим**  
**Диоксим 1,2 циклогептандиона см Гептоксим**  
**Изотопы** 5  
**Инфракрасная спектроскопия** 131  
**Каталитические методы определения** 141  
**Качественные реакции** 46 сл  
**Комплексные соединения с аммиаком** 13  
**аминокислотными кистотами (комплексами)** 10, 83 сл  
**антрахиноновой кислотой** 80  
**галогенидами** 11  
**гидразином** 14  
**диметилдиоксимом** 17  
**в присутствии оксидантов** 31  
 **$\alpha$  диоксимами** 15 сл  
**дитизоном** 39  
**диэтилдитиокарбаминатом натрия** 39  
**монооксимами** 33  
**нитрозоафталями** 33  
**8 оксихинолином** 36  
**профосфатами** 11  
**роданидами** 12  
**рубеновонодородной кислотой** 38  
**фосфатами** 11  
**цианидами** 12  
**Константы кислотной диссоциации  $\alpha$  диоксимов** 20  
**Металлохромные индикаторы азоксин** 89  
**ализарин** 87  
**глицинафтола фиолетовый** 85  
**ксиленоловый оранжевый** 86  
**мурексид** 88  
**ниридилазонафтол** 88  
**пиридилазорезорцин** 89  
**пирогалловый красный** 86  
**пирокатехиновый фиолетовый** 85  
**хромазура** 87  
**эриохром черный Т** 84  
**Методы определения никеля** 70 сл  
**Методы отделения никеля без экстракции  $\alpha$  диоксимами** 55  
**образованием гексанитрокобальтата калия** 55  
**применением ряда окислителей** 55  
**сульфидами** 54  
**цианидами** 53  
**электролизом** 56  
**различными осадителями**  
**ацетатом натрия** 55  
**бензоатом натрия** 55  
**гидразинкарбонатом** 55  
**карбонатом аммония и бария** 55  
**регулированием pH** 55  
**уротропином** 55  
**с использованием**  
**ионообменной хроматографии** 63  
**осадочной и адсорбционной хроматографии** 63  
**хроматографии на бумаге** 65  
**экстрагированием  $\alpha$  диоксимами** 57

в присутствии оксикислот 59  
днйзона 61  
днйзиднйнокрбоннйтом нат  
рнй 62

#### Обнаружение никеля

амнйаком 46  
α беннйлднйокснмом 50  
гндрокрбоннйтом 47  
1,2 днйамнйотетрнйантрнхннн 3-  
сульфокнслотой 51  
днйзоннйтрозоацетоннм 51  
днймнйлднйокснмом 48  
днйнднйднймнйднйсульфатнм 51  
моннокснмом днйацетнла 51  
ннокснмом 50  
оксалднйурамнйдокснмом 51  
оксамнйднйокснмом 51  
тнйокрбоннйтом калнй 47  
ферроцнннйном калнй 47  
цнннйном калнй 47

Окнслнтельный потенциал 6

#### Окнслы никеля

двухвалентного 7  
трехвалентного 7

#### Определение никеля в

бернлнн 159  
бнйологнческнх матернйалах 154  
ванаднн 164  
ванннх днй электролнтнческнм по-  
лученнй цннкн 153  
ванннх ннкель цннкнх 153  
веществнх особнй чнстоты 158  
внсут, 164  
воде 157  
гальваннческнх ванннх 152  
гафннн 163  
гермнннн нй его тетрахлорнде 162  
горных породох 151  
двухокнсн кремннй 161  
двухокнсн торнй 163  
железных руднх 150  
кадмнй солйях 160  
медн н слнвах на основе медн н  
алюмнннй 148  
мотнбдене, вольфрамн н нх соедн-  
неннйх 164  
нфтн н продуктах ее перероботкн  
156  
олове 162  
почве 155  
растнтельных матернйалах 154  
свннце 162  
сере 161  
сталйх чугунах методнми  
гравнметрнческнми 142 сл  
тнйтрнметрнческнми 145 сл  
фотометрнческнми 146 сл

сурьме нй ее трехокнсн 163  
тнтанн нй его двухокнсн 163  
трнхлорснланн 161  
уране 164  
фнйнштнйных 150  
шелочных металлах, особн чнстых  
152

#### Полярнграфнческне методы 132

Порядковнй номер 5

Потенцнл полуволнн 132

Прнзведенне растворнмостн соедн-  
неннй ннкеля  
гндрокнсн 8  
днйокснматов 23  
роданнда 12  
сульфнда 9  
цнннда 12

Радиоактнвнцонные методы опре-  
деленнй 140

Раднус нонн 6

#### Растворнмость

днймнйлднйокснмн в воде н дрнх  
среднх 21  
α днйокснматов ннкеля  
в воде 22  
в органнческнх растворнтелях 25  
α днйокснмов  
в воде 21  
в  $\text{CHCl}_3$  22  
днйзона в органнческнх растворн-  
тельнх 39

Рентгеноспектральный флуоресцент-  
ный метод 138

#### Соли никеля

галогеннды 11  
ннтраты 11  
роданнды н цнннды 12  
сульфаты 10  
сульфнды 9  
фосфаты н пнрофосфаты 11  
Сплнвы 6

Тнйтрнметрнческне методы определе-  
ннй 83 сл

#### Устойчнвость комплексных соедине- ннй ннкеля с

амнннми 44  
амнннком 13  
галогеннднми 11  
гндрнзнном 14  
гндрокснл нонном 8

**x-диоксимами**

- pH титрование 27
- метод распределения 26
- метод растворимости 26
- комплексоны 40
- нитрозофталами 36
- органические кислоты 42
- пирофосфатами 12
- сульфат ионом 10
- фосфатами 11

**Фотометрические методы определения**

- 100 сл
- азосоединениями 127
- $\alpha$  бензильдиоксимом 104
- гептоксимом 108
- диметилдиоксимом 100 сл

- в присутствии окислителей 110
- диоксимами другими 111
- дитизоном 121
- диэтилдитиокарбаминатом натрия 113
- S замещенными тиомочевины 123
- меркаптокарбонowymi кислотами 120
- неорганическими реагентами 130
- ниоксимом и его производными 106
- рубеноводородной кислотой 116
- $\alpha$  фурилдиоксимом 104

**Электролитические методы определения никеля 81**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

От редколлегии	3
Предисловие	4
<i>Глава I</i> Химико аналитическая характеристика никеля	5
<i>Глава II</i> Обнаружение никеля	46
1 Химические методы обнаружения никеля	46
2 Обнаружение никеля в присутствии других элементов	52
<i>Глава III</i> Методы отделения никеля от сопутствующих элементов	53
1 Отделение никеля осаждением	53
2 Отделение никеля электролизом	56
3 Отделение никеля экстракцией	57
4 Хроматографические методы отделения никеля	63
<i>Глава IV</i> Гравиметрические методы определения никеля	70
1 Органические реагенты для гравиметрического определения никеля	70
2 Электровесовое определение никеля	81
<i>Глава V</i> Титриметрические методы определения никеля	83
1 Методы, основанные на реакциях комплексообразования	83
2 Титриметрические методы определения никеля с использованием диметилдиоксима	93
3 Другие титриметрические методы	97
<i>Глава VI</i> Фотометрические методы определения никеля	100
1 Определение никеля с использованием оксимов	101
2 Определение никеля серусодержащими органическими реагентами	113
3 Определение никеля в виде пиридинроданида	126
4 Определение никеля с использованием азосоединений и других реагентов	127
5 Определение никеля методом инфракрасной спектроскопии	134
<i>Глава VII</i> Полярографическое определение никеля	132
<i>Глава VIII</i> Спектральные методы определения никеля	137
1 Спектральные и химико спектральные методы	137
2 Рентгеноспектральный флуоресцентный метод	138
3 Определение никеля атомно абсорбционной спектроскопией	139

<i>Глава IX</i>	Другие методы определения никеля	140
1	Определение никеля радиоактивационным методом	140
2	Каталитические методы определения никеля	141
<i>Глава X</i>	Определение никеля в природных и промышленных объектах	142
1	Определение никеля в сталях, сплавах на основе железа и в ферритах	142
2	Определение никеля в легких и цветных металлах и сплавах	148
3	Определение никеля в рудах и минералах	149
4	Определение никеля в гальванических ваннах	152
5	Определение никеля в веществах органического происхождения почвах и воде	154
6	Определение никеля в веществах особой чистоты и полупроводниковых материалах	158
Приложение		165
Литература		167
Предметный указатель		190

---

*Валентина Моисеевна Пешикоза, Валентина Михайловна Савоскина*

**Аналитическая химия никеля**

*Утверждено к печати*

*Институтом химии и аналитической химии им В И Вернадского  
Академии наук СССР*

*Редактор М П Волинец*

*Технические редакторы Г Н Шевченко, И Н Дорохина*

Сдано в набор 9/VIII-1966 г Подп к печати 2/XI 1966 г Формат 63X90<sup>1/16</sup>  
Печ. л 12,75 Уч-изд л 13,3 Г 14252 Тираж 370 экз Изд № 1179 Тип зак № 1207

*Цена 1 р*

Издательство «Наука»

Москва, К-62, Подсосенский пер, 21

---

2 я типография издательства «Наука»

Москва, Г-90, Шубинский пер, 10

## ИСПРАВЛЕНИЯ И ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
28	22 стр	pH ~ 4 41	pH ~ 2 46
50	6 стр	кобальта	никеля
77	21 стр	диметилдиоксिमом	$\alpha$ бензилдиоксिमом
78	21 стр	20 мг	20 мг
105	12 стр	$\alpha$ фурилдиоксिमом	$\alpha$ бензилдиоксिमом
122	табл 47	950	550
122	19 стр	нейтрализует	нейтрализуют

Аналитическая химия никеля