«Стратегическое, дефицитное и критическое минеральное сырье» (цветные металлы: кобальт)

Ерёмин Николай Иосифович
Геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

Периоды	Ряды	I а	I б	II а	II б	III а	III б	IV а	IV б	V а	V б	VI а	VI б	VII а	VII б	VIII б	VIII а	Энергетические уровни
1	1	H 1 водород 1,008															He 2 гелий 4,003	K
2	2	Li 3 литий 6,941		Be 4 бериллий 9,0122		B 5 бор 10,811		C 6 углерод 12,011		N 7 азот 14,007		O 8 кислород 15,999		F 9 фтор 18,998			Ne 10 неон 20,179	L K
3	3	Na 11 натрий 22,99		Mg 12 магний 24,312		Al 13 алюминий 26,092		Si 14 кремний 28,086		P 15 фосфор 30,974		S 16 сера 32,064		Cl 17 хлор 35,453			Ar 18 аргон 39,948	M L K
4	4	K 19 калий 39,102		Ca 20 кальций 40,08		21 Sc скандий 44,956		22 Ti титан 47,956		23 V ванадий 50,941		24 Cr хром 51,996		25 Mn марганец 54,938	26 Fe железо 55,849 / 27 Co кобальт 58,933 / 28 Ni никель 58,7			N M L K
	5	29 Cu медь 63,546		30 Zn цинк 65,37		Ga 31 галлий 69,72		Ge 32 германий 72,59		As 33 мышьяк 74,922		Se 34 селен 78,96		Br 35 бром 79,904			Kr 36 криптон 83,8	N M L K
5	6	Rb 37 рубидий 85,468		Sr 38 стронций 87,62		39 Y иттрий 88,906		40 Zr цирконий 91,22		41 Nb ниобий 92,906		42 Mo молибден 95,94		43 Tc технеций [99]	44 Ru рутений 101,07 / 45 Rh родий 102,906 / 46 Pd палладий 106,4			O N M L K
	7	47 Ag серебро 107,868		48 Cd кадмий 112,41		In 49 индий 114,82		Sn 50 олово 118,69		Sb 51 сурьма 121,75		Te 52 теллур 127,6		I 53 иод 126,905			Xe 54 ксенон 131,3	O N M L K
6	8	Cs 55 цезий 132,905		Ba 56 барий 137,34		57–71 лантаноиды		72 Hf гафний 178,49		73 Ta тантал 180,948		74 W вольфрам 183,85		75 Re рений 186,207	76 Os осмий 190,2 / 77 Ir иридий 192,22 / 78 Pt платина 195,09			P O N M L K
	9	79 Au золото 196,967		80 Hg ртуть 200,59		Tl 81 таллий 204,37		Pb 82 свинец 207,19		Bi 83 висмут 208,98		Po 84 полоний [210]		At 85 астат [210]			Rn 86 радон [222]	P O N M L K
7	10	Fr 87 франций [223]		Ra 88 радий [226]		89–103 актиноиды		104 Rf резерфордий [261]		105 Db дубний [262]		106 Sg сиборгий [263]		107 Bh борий [262]	108 Hn ханий [265] / 109 Mt мейтнерий / 110			Q P O N M L K
Высшие оксиды		R_2O		RO		R_2O_3		RO_2		R_2O_5		RO_3		R_2O_7		RO_4		
Летучие водородные соединения								RH_4		RH_3		H_2R		HR				

Л А Н Т А Н О И Д Ы

57 La лантан 138,906	58 Ce церий 140,12	59 Pr празеодим 140,908	60 Nd неодим 144,24	61 Pm прометий [145]	62 Sm самарий 150,4	63 Eu европий 151,96	64 Gd гадолиний 157,25	65 Tb тербий 158,926	66 Dy диспрозий 162,5	67 Ho гольмий 164,93	68 Er эрбий 167,26	69 Tm тулий 168,934	70 Yb иттербий 173,04	71 Lu лютеций 174,97	P O N M L K

А К Т И Н О И Д Ы

89 Ac актиний [227]	90 Th торий 232,038	91 Pa протактиний [231]	92 U уран 238,29	93 Np нептуний [237]	94 Pu плутоний [244]	95 Am америций [243]	96 Cm кюрий [247]	97 Bk берклий [247]	98 Cf калифорний [251]	99 Es эйнштейний [254]	100 Fm фермий [257]	101 Md менделевий [258]	102 No нобелий [259]	103 Lr лоуренсий [260]	Q P O N M L K

Д.И. Менделеев
1834–1907

s-элементы
p-элементы
d-элементы
f-элементы

poiskN1.RU

Электронный уровень (электронная орбита)	$2n^2$ (макс.число электронов на орбите) n-главное кв.число	26 Fe 55,849		27 Co 58,933		28 Ni 58,7	
N	32	s^2	2	s^2	2	s^2	2
M	18	$s^2p^6d^6$	14	$S^2p^6d^7$	15	$s^2p^6d^8$	16
L	8	s^2p^6	8	s^2p^6	8	s^2p^6	8
K	2	s^2	2	s^2	2	s^2	2

s- электрон (sharp- резкий), l=0
p- электрон (principal-главный), l=1
d- электрон (diffuse-диффузный), l=2
f- электрон (fundamental-фундаментальный, l=3

n- главное квантовое число соответствует номеру электронного уровня (орбиты)
l – орбитальное квантовое число характеризует угловой момент (форму) орбиты электрона
m – магнитное квантовое число характеризует ориентацию углового момента орбиты
s – спинивое квантовое число харатеризует вращение электрона вокруг собственной оси

Co – кобальт (cobalt)

- **Кобальт** (cobalt) - химический элемент VIII группы периодической системы Менделеева порядковый номер **27,** атомный вес - **58,9332.** Является членом триады элементов **26Fe-27Co-28Ni.** Получен в 1735 году шведским химиком Г.Брандтом. Название ему дано по имени горного гнома Коболюс.
- Состоит из двух стабильных изотопов: ^{59}**Co** (99,83%) и ^{57}**Co** (0,17%). Важнейший из искусственных радиоактивных изотопов ^{60}**Co** с периодом полураспада **5,24** года.
- Температура плавления **1494 oC**. Ферромагнитен, точка Кюри **1121 oC**. Конфигурация внешней электронной оболочки атома $3d^7 4s^2$.

- Образует непрерывные ряды твердых растворов с Fe, Ir, Mn, Ni, Pd, Pt, Rh; ограниченные твердые растворы - с Au, Cr, Os, Re; интерметаллические соединения - со многими металлами.

- В соединениях, подобно железу, кобальт двух- и трехвалентный.

- Кларк кобальта в земной коре - 0,0018%, а в ультраосновных породах – 0,02%. В осадочной оболочке земной коры: в глинах и глинистых сланцах – 0,002%, в песчаниках – 0,00003%, в известняках – 0,00001.

- Геохимически Co наиболее сходен с Fe и Ni, он - типичный элемент ультраосновных, отчасти основных горных пород, связанных с глубинными источниками, в которых ассоциируются Fe, Ni, Cu, Ag, U, а также некоторых осадочно-метаморфических образований (в ассоциации с Fe, Mn, Ni и др.).
- Крупномасштабные концентрации кобальта на дне Мирового океана в кобальтоносных корках (КМК) и железомарганцевых конкрециях (ЖМК) - как новый (потенциально важнейший) тип месторождений металла; среднее содержание Co: в ЖМК – 0,27%, в КМК - 0,9%. (КМК – комплексная руда на **Co, Mn, Ni, Pt**)
- В микроколичествах кобальт обнаруживается в морской воде, в минеральных источниках, в почве, в растительных и живых организмах.

Минералы кобальта

Известно около 50 его собственных минералов, в том числе:

- ***кобальтистый пентландит*** $(Fe,Ni,Co)_9S_8$ (до 3% Co),
- ***кобальтпентландит*** Co_9S_8 (до 67% Co),
- ***карролит*** $CuCo_2S_4$ (до 38% Co),
- ***линнеит*** Co_3S_4 (43-54% Co),
- ***кобальтин*** CoAsS (до 35% Co),
- ***глаукодот*** (Co,Fe)AsS (до 18% Co),
- ***саффлорит*** $(Co,Fe)As_2$ (16-20% Co),
- ***скуттерудит*** $CoAs_3$ (до 20%),
- ***шмальтин*** $(Co,Ni)As_{3-2}$ (2-12% Co),
- ***эритрин*** $Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$ (11-29% Co),
- ***асболан*** $Co_2O_3 \cdot CoO \cdot pMnO_2 \cdot qFe_2O_3 \cdot nH_2O$ (до 19% Co).

Кобальт как примесь содержится в пирите, пирротине, пентландите, халькопирите, арсенопирите.

Применение кобальта

- В производстве жаропрочных, магнитных, сверхтвердых, коррозионно-стойких и др. сплавов и покрытий.
- Как основа при изготовлении катализаторов для органического синтеза, обессеривания нефти, окисления аммиака, сушки лаков и масляных красок.
- В производстве аккумуляторов.
- Радиоактивный изотоп металла - ^{60}**Co** - как источник γ-излучений в технике и медицине («кобальтовая пушка»).
- Соединения Co при получении стойких эмалей и красок, керамики и стекла, в производстве химикалий.
- В сельском хозяйстве кобальт как микроудобрение, а также для подкормки животных.
- Co входит в состав витамина B12.

Кобальтовые руды по содержанию металла (%) подразделяются на:

богатые (более 0,5),

рядовые (0,5-0,1),

бедные (до 0,1, отрабатываются только как комплексные)

Месторождения кобальта по величине разведанных запасов (тыс.т металла) подразделяются на:

уникальные (более 50),

крупные (50-25),

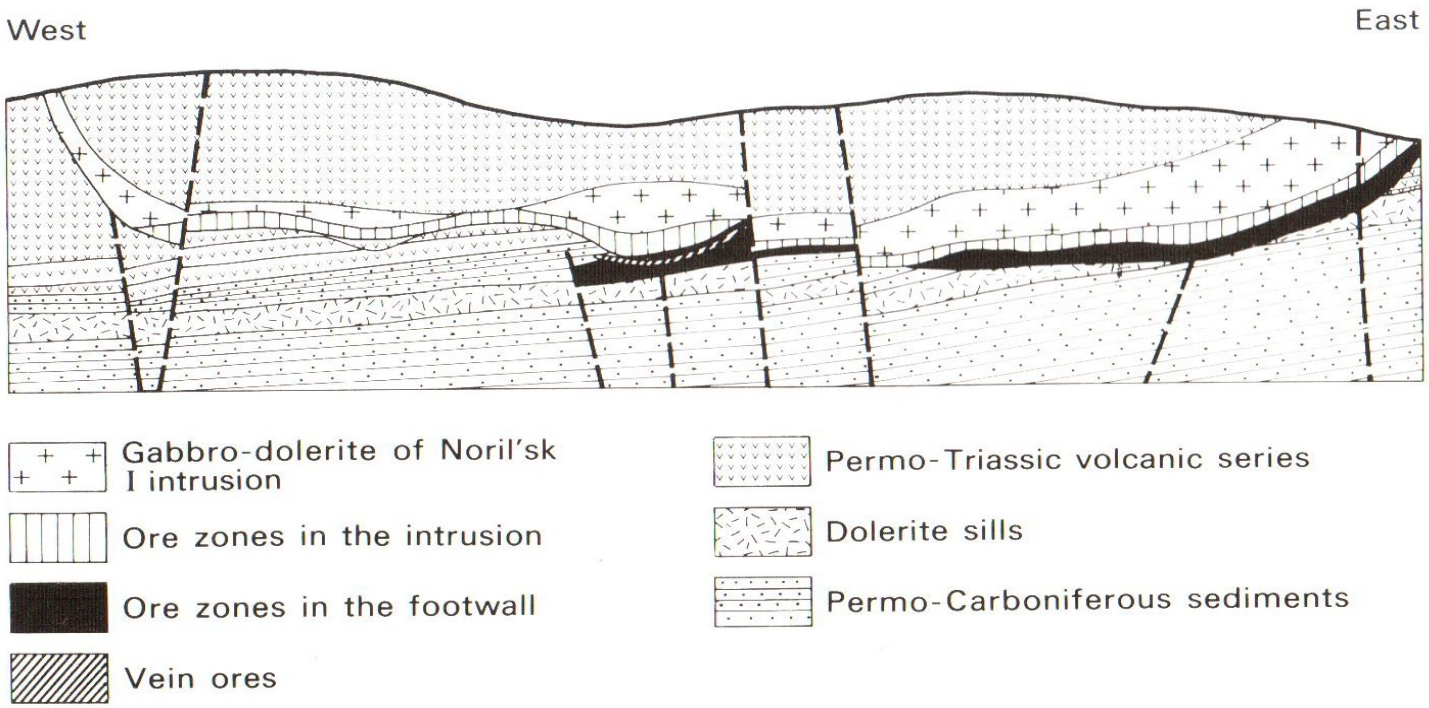
рядовые (25-10),

мелкие (до 10)

Главнейшие геолого-промышленные и генетические типы месторождений кобальта

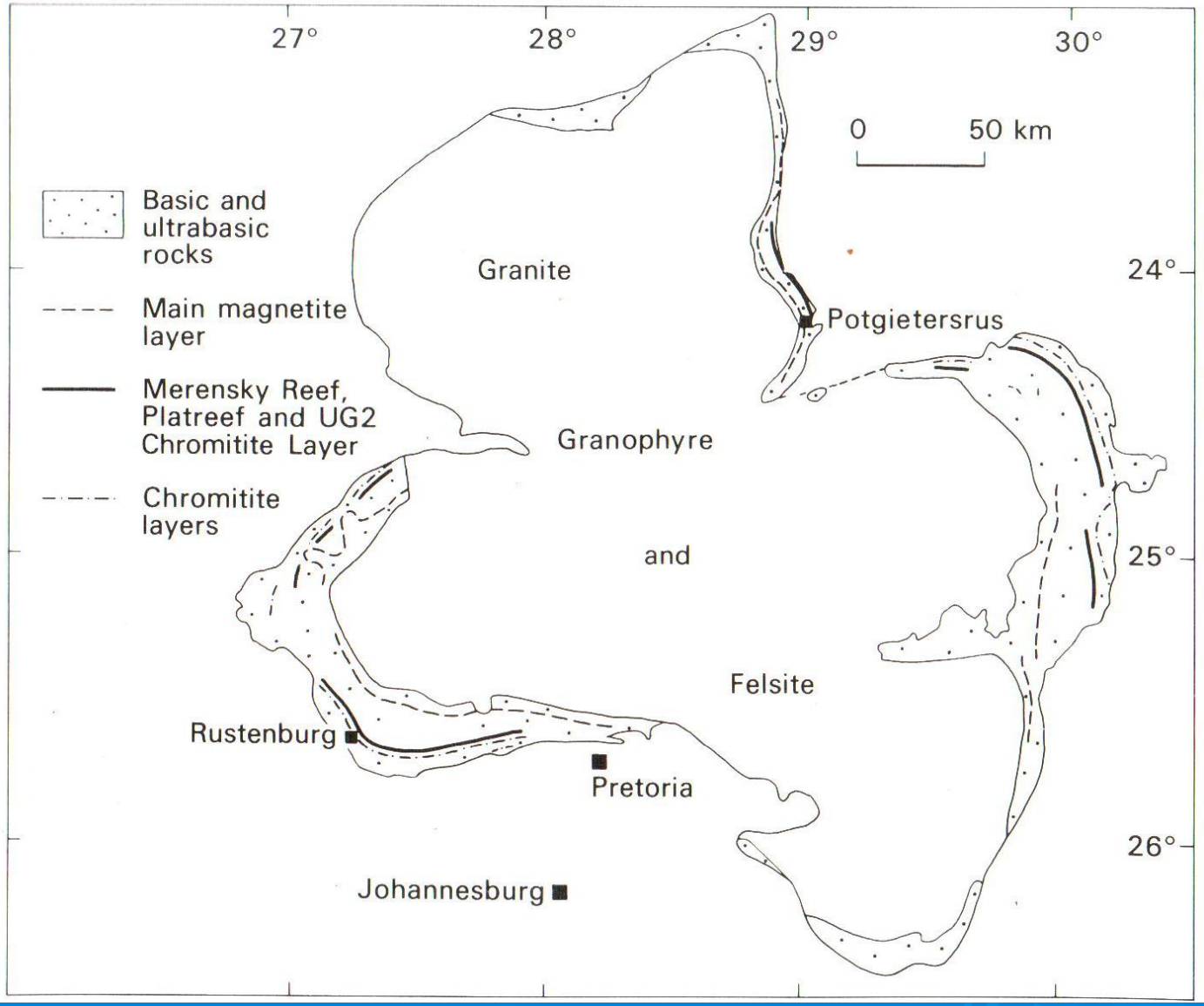
Месторождения (типы)	Мировые запасы общие, %	Мировая добыча, %	Сод. Co в рудах, %	Месторождения (примеры)
Магматический сульфидный Cu-Ni	7,2	31,6	0,06-0,11	Норильск-1,-2, Талнах, Печенга, Мончегорск, Риф Меренского (ЮАР), Камбалда (Австралия) и др.
Латеритный силикатный Co-Ni	48,5	34,8	0,05-0,1	Н.Каледония, Индонезия, Папуа-Новая Гвинея, Филиппины, Австралия, Куба, Ю.Урал
Стратиформный Cu-Co	43,1	31,3	0,3	Д.Р.Конго, Замбия, Уганда (Нчанга, Чамбаши, Нкана и др.).
Плутоногенный гидротерм., арсенидный Ni- Co	0,1	2,3	1,2-2,5	Марокко (Бу-Азер), Канада (район Кобальт), Россия (Хову-Аксы), Германия и Чехия (Рудные горы).

- **Магматические месторождения** Co-содержащих сульфидных Cu-Ni руд связаны с ультраосновными и основными образованиями; значительная часть Co в виде изоморфной примеси и тонких срастаний с другими минералами. Основные кобальтсодержащие минералы : пентландит, кобальтпентландит, кобальтистый пирит.Содержание Co в рудах 0,06-0,11%

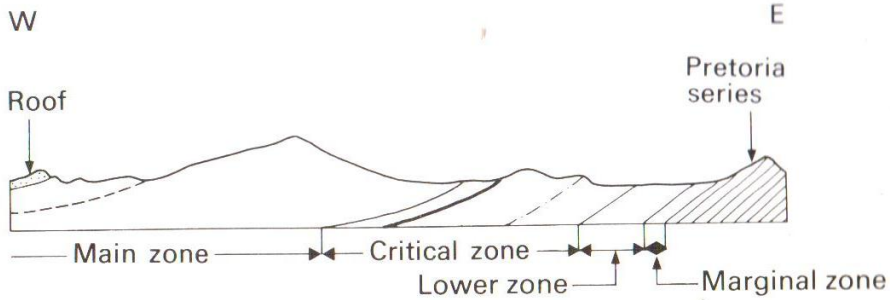


Медно-никелевое месторождение Норильск-I (вертикальный разрез запад-восток)

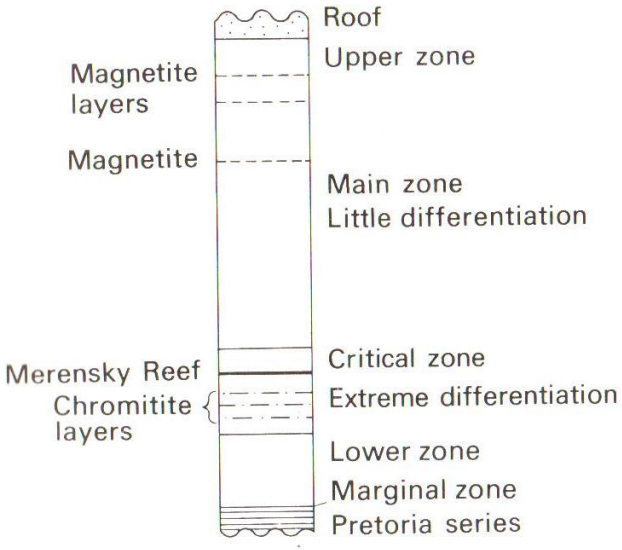
Силл габбро-долеритов и долеритовые силлы в окружении пород пермо-триасовой вулканической серии. Зона вкрапленных руд в составе габбро-долеритового силла, зона сплошных и брекчиевых руд в его подошве. Главные рудные минералы: пентландит, халькопирит, пирротин и (магнетит).

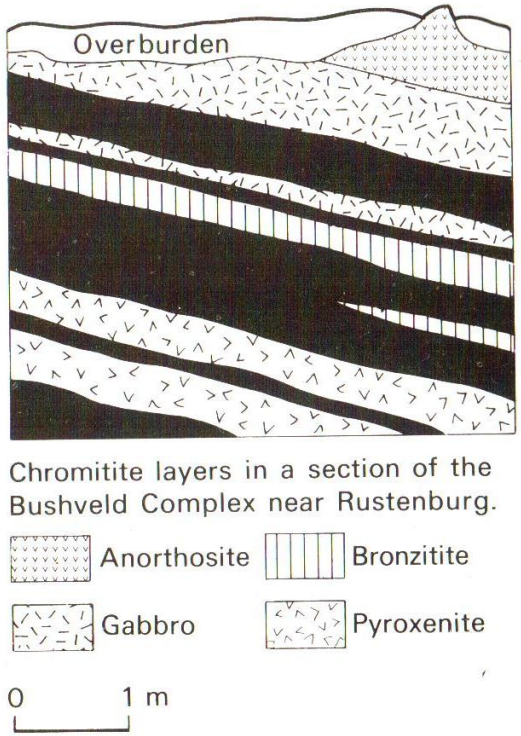


Бушвелдский магматический комплекс в ЮАР (схематический план)
(After van Gruenwaldt, 1977)



Section showing major zones in the Bushveld Complex, north of Steelport. Length of section, 30·5 km. (After Hall, 1932)





Chromitite layers in a section of the Bushveld Complex near Rustenburg.

Бушвелдский магматический комплекс в ЮАР(разрезы)
(After van Gruenwaldt, 1977)

Главнейшие геолого-промышленные и генетические типы месторождений кобальта

Месторождения (типы)	Мировые запасы общие, %	Мировая добыча, %	Сод. Co в рудах, %	Месторождения (примеры)
Магматический сульфидный Cu-Ni	7,2	31,6	0,06-0,11	Норильск-1,-2, Талнах, Печенга, Мончегорск, Риф Меренского (ЮАР), Камбалда (Австралия) и др.
Латеритный силикатный Co-Ni	48,5	34,8	0,05-0,1	Н.Каледония, Индонезия, Папуа-Новая Гвинея, Филиппины, Австралия, Куба, Ю.Урал
Стратиформный Cu-Co	43,1	31,3	0,3	Д.Р.Конго, Замбия, Уганда (Нчанга, Чамбаши, Нкана и др.).
Плутоногенный гидротерм., арсенидный Ni- Co	0,1	2,3	1,2-2,5	Марокко (Бу-Азер), Канада (район Кобальт), Россия (Хову-Аксы), Германия и Чехия (Рудные горы).

- **В латеритных Co-Ni месторождениях** коры выветривания ультраосновных пород кобальт в основном связан с гидроокислами марганца (асболаны и псиломелан-вады), содержащими переменные количества этого металла: до 14% в первых и до 2% во вторых. Содержание металла в рудах не менее 0,1%.

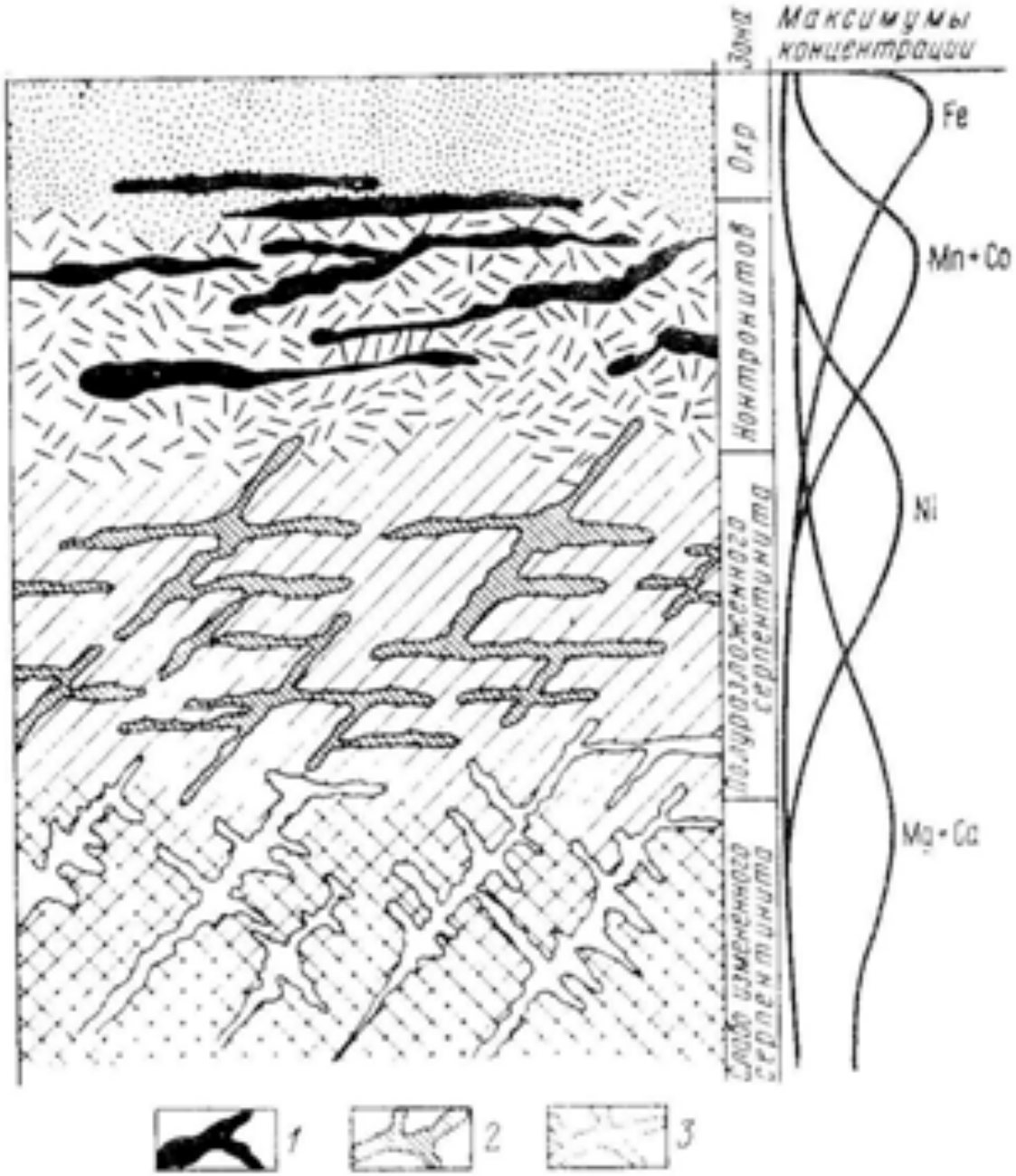


Схема зонального строения остаточного месторождения силикатных никелевых руд в коре выветривания серпентинитов площадного типа.

(по В.И.Смирнову, 1989)

1 – гидрооксиды **Mn** с сорбированным **Co**;
2 – гидросиликаты **Ni**;
3 – карбонаты **Mg** и **Ca**

Новая Каледония

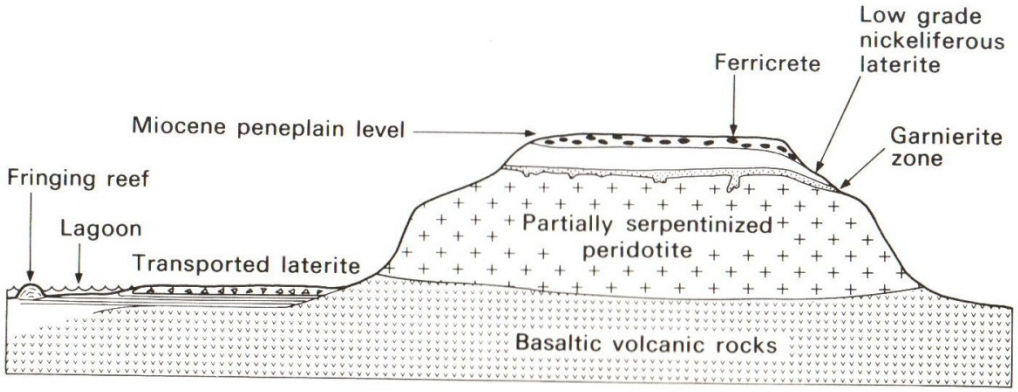


Fig. 20.1. Diagrammatic profile of a peridotite occurrence in New Caledonia showing the development of a residual nickel deposit. (After Dixon 1979).

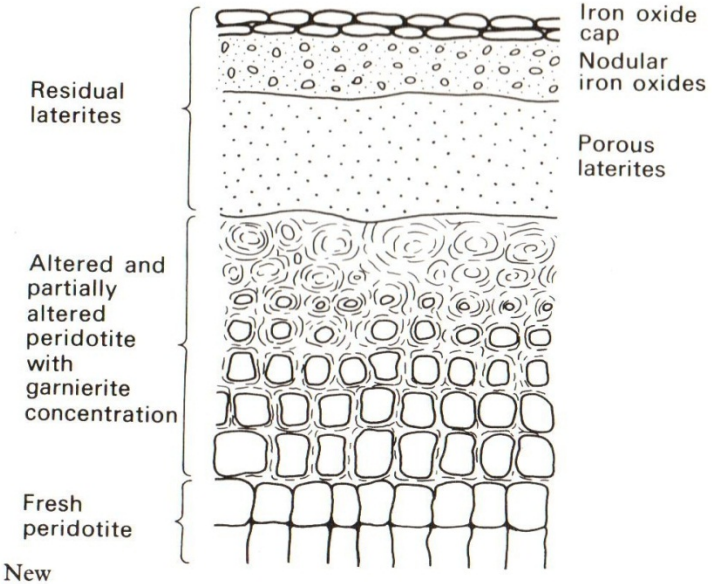


Fig. 20.2. Section through nickeliferous laterite deposits, New Caledonia. (After Chételat 1947).

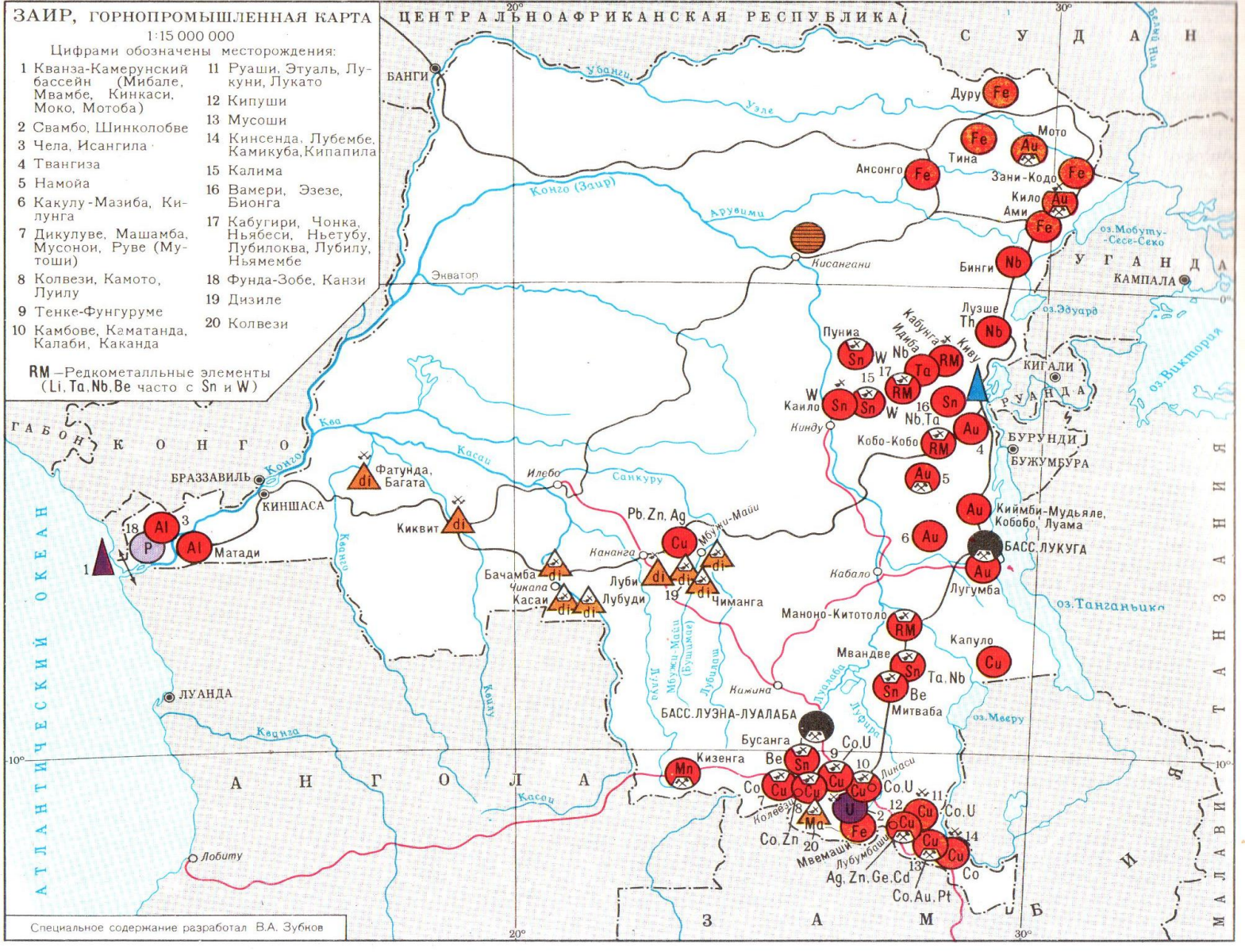
Вверху:
Схематический профиль формирования латеритной коры выветривания и связанной с ней силикатной Ni минерадизации.

Внизу:
схематический разрез силикатных Co-Ni месторождений Новой Каледонии

Главнейшие геолого-промышленные и генетические типы месторождений кобальта

Месторождения (типы)	Мировые запасы общие, %	Мировая добыча, %	Сод. Co в рудах, %	Месторождения (примеры)
Магматический сульфидный Cu-Ni	7,2	31,6	0,06-0,11	Норильск-1,-2, Талнах, Печенга, Мончегорск, Риф Меренского (ЮАР), Камбалда (Австралия) и др.
Латеритный силикатный Co-Ni	48,5	34,8	0,05-0,1	Н.Каледония, Индонезия, Папуа-Новая Гвинея, Филиппины, Австралия, Куба, Ю.Урал
Стратиформный Cu-Co	43,1	31,3	0,3	Д.Р.Конго, Замбия, Уганда (Нчанга, Чамбаши, Нкана и др.).
Плутоногенный гидротерм., арсенидный Ni- Co	0,1	2,3	1,2-2,5	Марокко (Бу-Азер), Канада (район Кобальт), Россия (Хову-Аксы), Германия и Чехия (Рудные горы).

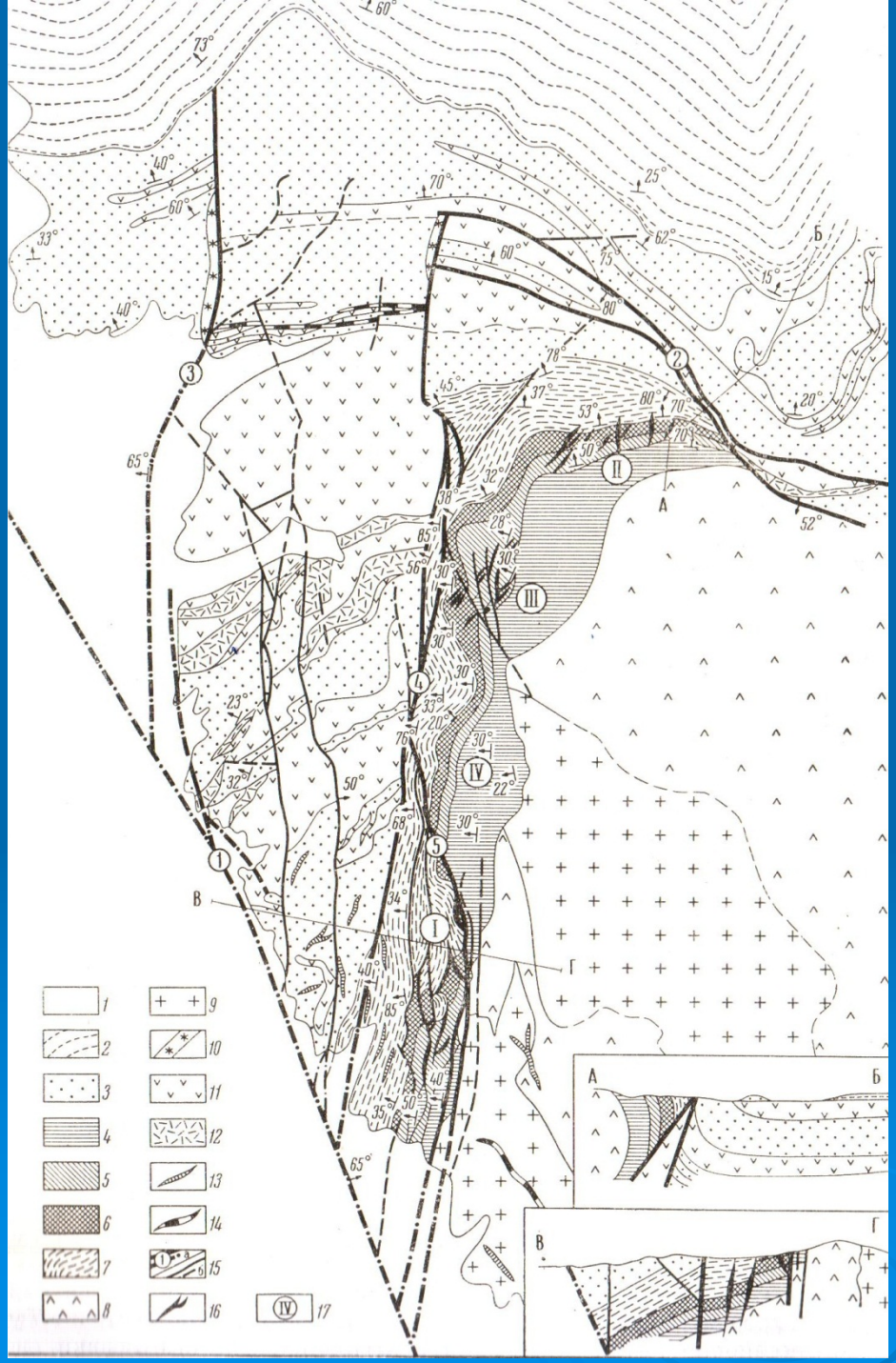
- **В стратиформных Cu-Co месторождениях** основным кобальтсодержащим минералом является пирит, в небольшом количестве - линнеит и карролит, а также кобальтовые и никелевые сульфиды серий каттьерит-ваэсит и линнеит- карролит-зигенит. Руды характеризуются высоким содержанием Co – 0,3%


ЗАИР, ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ КАРТА
1:15 000 000
Цифрами обозначены месторождения:
1 Кванза-Камерунский бассейн (Мибале, Мвамбе, Кинкаси, Моко, Мотоба)
2 Свамбо, Шинколобве
3 Чела, Исангила
4 Твангиза
5 Намойа
6 Какулу-Мазиба, Килунга
7 Дикулуве, Машамба, Мусонои, Руве (Мутоши)
8 Колвези, Камото, Луилу
9 Тенке-Фунгуруме
10 Камбове, Каматанда, Калаби, Каканда
11 Руаши, Этуаль, Лукуни, Лукато
12 Кипуши
13 Мусоши
14 Кинсенда, Лубембе, Камикуба, Кипапила
15 Калима
16 Вамери, Эзезе, Бионга
17 Кабугири, Чонка, Ньябеси, Ньетубу, Лубилоква, Лубилу, Ньямембе
18 Фунда-Зобе, Канзи
19 Дизиле
20 Колвези
RM — Редкометалльные элементы (Li, Ta, Nb, Be часто с Sn и W)
ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
С У Д А Н
У Г А Н Д А
Р У А Н Д А
БУРУНДИ
ЗАМБИЯ
МАЛАВИ
АНГОЛА
ГАБОН
КОНГО
АТЛАНТИЧЕСКИЙ ОКЕАН
БАНГИ
КАМПАЛА
КИГАЛИ
БУЖУМБУРА
БРАЗЗАВИЛЬ
КИНШАСА
ЛУАНДА
Лобиту
Экватор
Конго (Заир)
Убанги
Уэле
Арувими
Кисангани
Ква
Касаи
Конго
Санкуру
Илебо
Кванго
Кванза
Квилу
Луалаба
Луфира
Линаси
Лубилаш
Мбужи-Майи
Кананга
Чикапа
Оз. Мобуту-Сесе-Секо
Оз. Эдуард
Оз. Виктория
Оз. Танганьика
Оз. Маэру
Дуру
Мото
Тина
Ансонго
Зани-Кодо
Кило
Ами
Бинги
Лузше
Пуниа
Идиба
Кабунга
Киву
Каило
Кинду
Кобо-Кобо
Киймби-Мудьяле, Кобобо, Луама
БАСС. ЛУКУГА
Лугумба
Кабало
Маноно-Китотоло
Мвандве
Капуло
Митваба
Камина
БАСС. ЛУЭНА-ЛУАЛАБА
Бусанга
Кизенга
Фатунда, Багата
Киквит
Матади
Бачамба
Луби
Лубуди
Чиманга
Pb, Zn, Ag
Co, U
Co, Zn
Ag, Zn, Ge, Cd
Co, Au, Pt
Специальное содержание разработал В.А. Зубков

Главнейшие геолого-промышленные и генетические типы месторождений кобальта

Месторождения (типы)	Мировые запасы общие, %	Мировая добыча, %	Сод. Co в рудах, %	Месторождения (примеры)
Магматический сульфидный Cu-Ni	7,2	31,6	0,06-0,11	Норильск-1,-2, Талнах, Печенга, Мончегорск, Риф Меренского (ЮАР), Камбалда (Австралия) и др.
Латеритный силикатный Co-Ni	48,5	34,8	0,05-0,1	Н.Каледония, Индонезия, Папуа-Новая Гвинея, Филиппины, Австралия, Куба, Ю.Урал
Стратиформный Cu-Co	43,1	31,3	0,3	Д.Р.Конго, Замбия, Уганда (Нчанга, Чамбаши, Нкана и др.).
Плутоногенный гидротерм., арсенидный Ni- Co	0,1	2,3	1,2-2,5	Марокко (Бу-Азер), Канада (район Кобальт), Россия (Хову-Аксы), Германия и Чехия (Рудные горы).

- **В плутоногенных гидротермальных, арсенидных Ni- Co жильных месторождениях** тесная связь кобальта с мышьяком; три стадии рудообразования: кварц-карбонатно-настурановая (часто с гематитом), арсенидная никель-кобальтовая и сульфидная (пятиметалльная формация: Ag-Co-Ni-Bi-U); вторая стадия представлена сульфоарсенидами (серия кобальтина, аллоклазита-глаукодота-арсенопирита) и арсенидами серий шмальтина-скуттерудита, саффлорита-леллингита, раммельсбергита, никелина, иногда брейтгауптита. Жильные минералы: карбонаты, хлорит, кварц; среди ультраосновных пород – тальк, хризотил-асбест, серпофит.



Ховуаксинское рудное поле (Тува)

Арсенидное Ni-Co оруденение наложено на все более ранние метасоматиты и прорывающие их диабазовые дайки. Рудные тела – трещинные жилы (16), связаные с разрывными нарушениями различных порядков. В восточном блоке рудного поля, сложенном силурийскими отложениями, выделяются 4 участка: Южный (I), Северный (II), Средний (III) и Промежуточный (IV). Минеральный состав жил: арсениды Co, Ni, Fe в ассоциации с кальцитом, доломитом, анкеритом. Типы руд: саффлорит-шмальтиновый (Южный участок) и шмальтин-раммельсбергит-никелиновый (Северный участок).

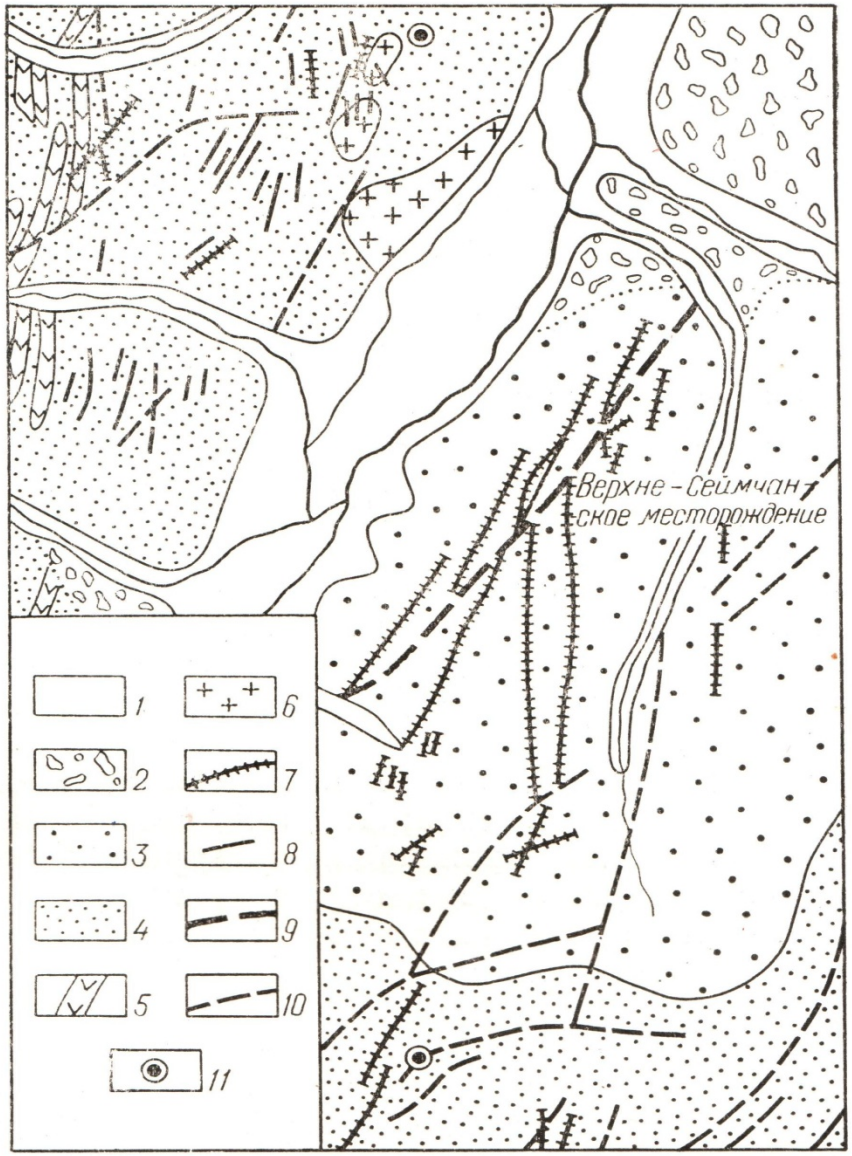


Рис. 33. Геологическая схема участка Верхне-Сеймчанского месторождения. По *О. Грачевой и Л. Крыловой* (1959).

1 — аллювий; *2* — аллювиальные и ледниковые отложения; *3* — средняя юра; *4* — верхний триас (норийский ярус); *5* — диорит-порфириты; *6* — гранодиориты; *7* — кварц-хлоритовые жилы; *8* — кварцевые жилы; *9* — Главная зона разлома Верхне-Сеймчанского месторождения; *10* — разрывные нарушения разных порядков; *11* — рудопроявления кобальта

Верхне-Сеймчанское Co- месторождение в Сеймчанском районе Магаданской области к ЮВ от Колымского массива.

Рудные тела – кварц-хлоритовые жилы и зоны дробления, оперяющие главный разлом. В них: жильные минералы - 98%, кобальтин и глаукодот – 0,6%, эритрин, пирит, пирротин, арсенопирит и др.

- **Скарновые, преимущественно магнетитовые месторождения** (значительно реже медные и золоторудные) содержат примеси кобальта главным образом в форме кобальтсодержащего пирита (до 1-3% Co), иногда в виде сульфоарсенидов и арсенидов кобальта.

- **Колчеданные месторождения** содержат кобальт преимущественно в составе пирита (от долей до 2,5-3%); редко присутствуют небольшие количества кобальтовых и никелевых минералов – линнеита, зигенита, миллерита, пентландита и др.Примеры: Ишкинское, Ивановское, Дергамышское месторождения (Южный Урал), Пышминско-Ключевское (Средний Урал), Керетти и Вуонос (Оутокумпу, Финляндия).

Переработка Co-содержащего сырья

- Обогащение Co-Cu руд: коллективная флотация минералов Cu и Co, селективная последовательная флотация минералов Cu и Co. Минералы Co активируют медным купоросом, серной кислотой.

- Получение Co из руд, содержащих As: руду плавят с флюсом для получения сырого слитка, штейна или сплава Co-As-Fe. Дополнительным обжигом удаляют As и Fe. Оставшиеся металлы, в том числе значительное количество Cu, переводят в хлориды с помощью NaCl. …Действием H_2S осаждают сульфиды Cu, Pb, Bi … От Ni Co отделяют его осаждением из раствора; черный осадок $Co(OH)_3$ прокаливают до получения Co_3O_4 … последний восстанавливают водородом или углеродом. Металлический Co, содержащий до 2-3% примесей, очищают электролизом.

Из Российской геологической энциклопедии, изд. ВСЕГЕИ, 2011 (т.2, с.86):

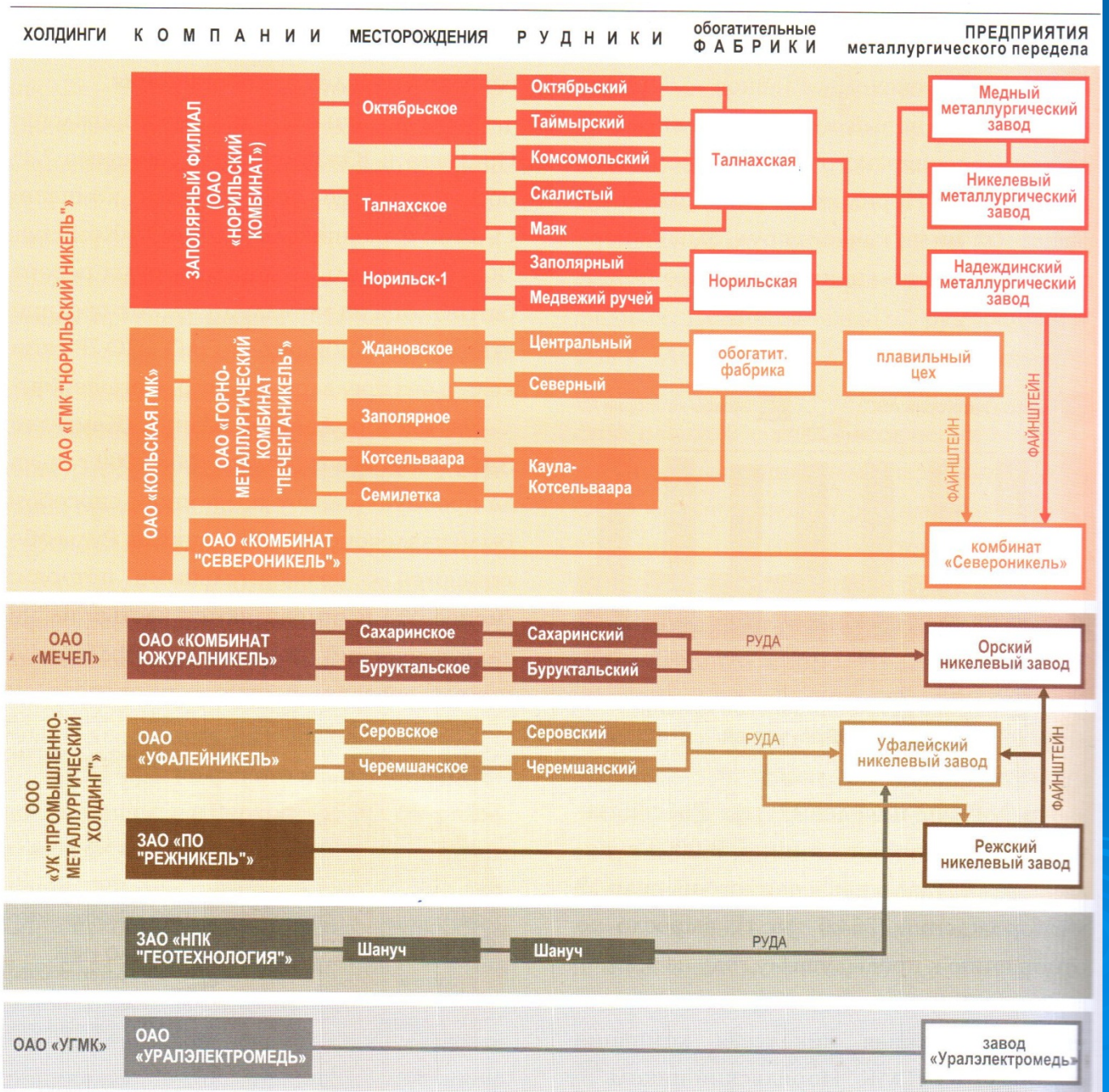
- Общие **запасы Co** в 30 странах мира (без России) превышают 9,7 млн т, подтвержденные – более 5 млн т. Наиболее крупными запасами обладают Конго (39,2% подтвержденных), Австралия (11,3%), Куба (10,8%), Новая Каледония, Индонезия, Замбия, Канада.
- **Производство Co** в последние годы держится на уровне 30-36 тыс. т в год; к 2010 г.
- Прогнозируется увеличение **потребления Co** до 40,6 тыс.т.

По данным Геологической службы США

(USGS, Mineral Commodity Summaries-2020)

- Мировые запасы (reserves) кобальта на начало 2019 года составляют 6,9 млн. тонн. Три четверти этих запасов приходятся на Конго (Киншаса) – (49,3%), Австралию (14,5%), Кубу (7,2%) и Филиппины (4,0%).
- Континентальные ресурсы (resources) кобальта оцениваются около 25 млн. тонн; более 120 млн. тонн кобальта заключены в Fe-Mn конкрециях и корках на дне Атлантического, Индийского и Тихого океанов.
- Мировое рудничное п**роизводство кобальта в 2018** году составило 140 тыс. тонн, увеличившись за 1 год на 20 тыс. тонн; при этом в Конго (Киншаса) было добыто 90 тыс. тонн (более 75% от мирового), увеличившись за 1 год на 17 тыс. тонн.

Структура никелевой промышленности Российской Федерации в 2009 г.



Заключение

- Co наряду с другими цветными металлами в РФ относится к числу **стратегических** видов сырья ввиду его особой значимости в металлургии и в других отраслях экономики страны.

- Сведения о балансовых запасах в недрах, добыче, об объемах производства в натуральном выражении по кобальту в РФ составляют государственную тайну.

- МСБ Co в РФ неразрывно связана с месторождениями Cu-Ni и силикатных Ni-руд, в которых он является попутным промышленным компонентом; подчиненное значение в этой МСБ имеют Cu-колчеданные и гидротермальные арсенидные Ni-Co руды.

- Качественное укрепление МСБ РФ по Co – снижение значительных потерь металла при обогащении руд и металлургическом переделе путем обновления оборудования и внедрением новейших технологий.

- Для экономик США и ЕС Co является **критическим** сырьем, потребности в котором на 80% и 100% соответственно удовлетворяются за счет импорта.

Литература

1.. ***О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах.*** Государственный доклад. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Москва 2018.

2. ***Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года.*** Утверждена распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 г No 2914-р Председатель правительства Д.Медведев.

3. ***Стратегия национальной безопасности Российской Федерации.*** Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 31.12.2015 года No 683.

4. ***Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года.*** Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 13.05.2017 года. No 208.

5. ***О стимулировании добычи редких металлов.*** Законопроект Подписан Президентом Российской Федерации В.Путиным в августе 2019 года, его основные положения вступят в силу 01.01.2020 года. Рассмотрен в первом чтении государственной думой.

6. ***Mineral Commodity Summaries-2020.*** USGS.

Critical Metals Handbook

Edited by
Gus Gunn
British Geological Survey
Keyworth
Nottingham
UK

6. Cobalt

Stephen Robers [1] and Gus Gunn[2]

[1] School of Ocean and Earth Science, National Oceanography Centre, University of Southampton, UK

[2] British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK

Скуттерудит – арсенид кобальта и никеля; месторождение Бу-Азер, Марокко

Figure 6.1 Skutterudite, a cobalt–nickel arsenide, from Bou Azer mine, Morocco. Maximum dimension of specimen is 7 cm. (BGS © NERC.)

Некоторые свойства кобальта

Table 6.1 Selected properties of cobalt.

Property	Value	Units
Symbol	Co	
Atomic number	27	
Atomic weight	58.93	
Density at 25°C	8800	kg/m^3
Melting point	1493	°C
Boiling point	3100	°C
Electrical resistivity at 25°C	5.81	μΩ m
Specific heat capacity at 25°C	0.42	J/(g °C)
Latent heat of vaporisation	6490	J/g
Latent heat of fusion	263	J/g
Hardness (Mohs scale)	5.0	
Thermal conductivity	100	W/(m °C)

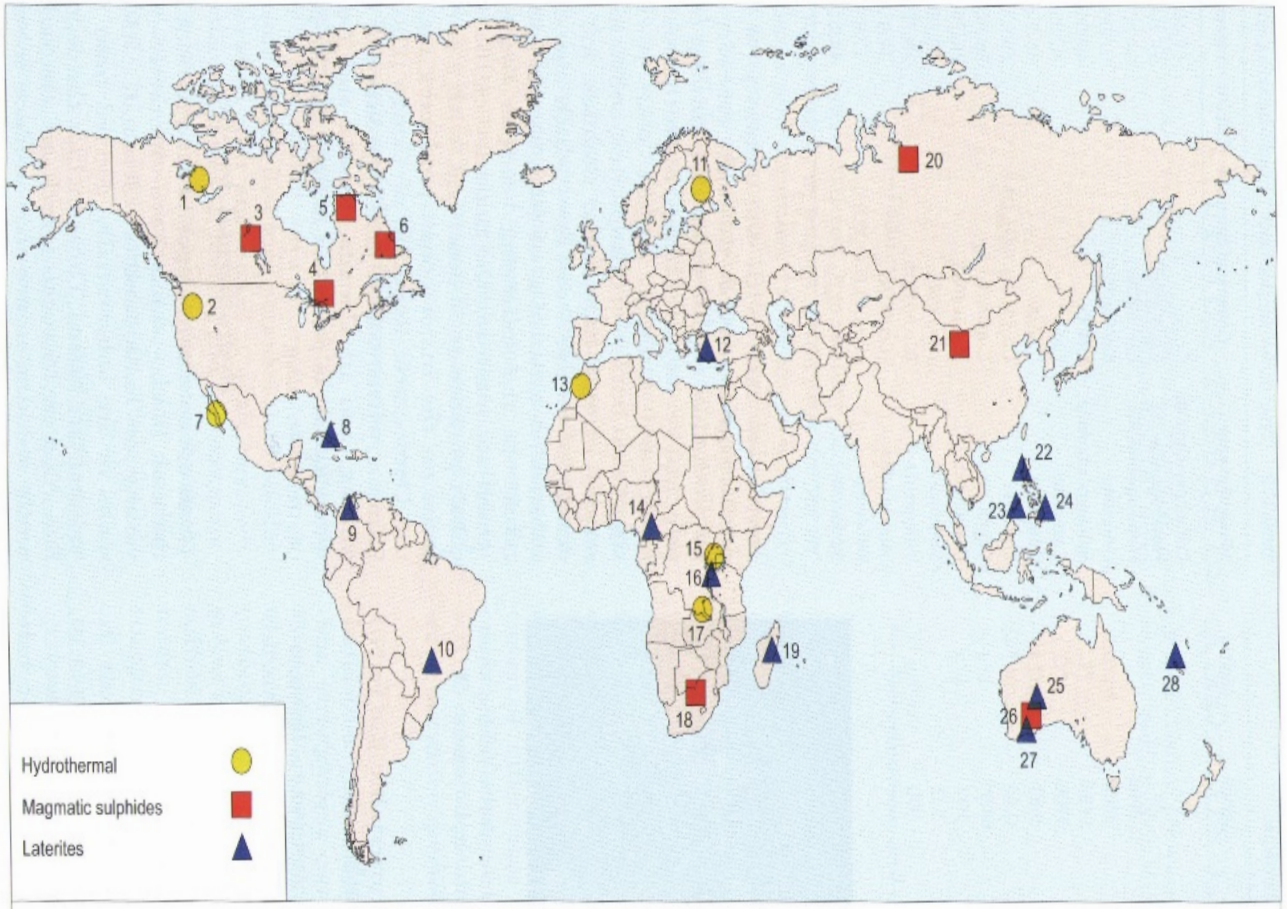
Важнейшие кобальтсодержащие минералы

Table 6.2 The most important cobalt-bearing minerals.

Mineral name	Chemical formula	Cobalt content (wt %)
Cobaltpentlandite	Co_9S_8	67.40
Heterogenite-2H	$Co^{3+}O(OH)$	64.10
Heterogenite-3R	$Co^{3+}O(OH)$	64.10
Linnaeite	$Co^{2+}Co^{3+}{}_2S_4$	57.95
Sphaerocobaltite	$CoCO_3$	49.55
Cattierite	CoS_2	47.89
Cobaltite	CoAsS	35.52
Erythrite	$Co_3(AsO_4)_2.8(H_2O)$	29.53
Carrollite	$Cu(Co,Ni)_2S_4$	28.56
Glaucodot	(Co,Fe)AsS	26.76
Safforite	$(Co,Fe)As_2$	21.25
Willyamite	(Co,Ni)SbS	20.78
Skutterudite	$(Co,Ni)As_{3-x}$	17.95
Kolwezite	$(Cu,Co)_2(CO_3)(OH)_2$	17.84
Siegenite	$(Ni,Co)_3S_4$	14.51

Важнейшие рудники и районы по добыче кобальта

(Считается, что большая часть продукции приходится на латеритные месторождения)



1 NICO
2 Idaho Cobalt Belt
3 Thompson
4 Sudbury
5 Raglan
6 Voisey's Bay
7 Boleo
8 Punta Gorda
9 Cerro Matoso
10 Barro Alto
11 Talvivaara
12 Çaldag
13 Bou Azer
14 Nkamouna
15 Kasese
16 Musongati
17 Central African Copperbelt
18 Bushveld
19 Ambatovy
20 Norilsk
21 Jinchuan
22 Acoje
23 Coral Bay
24 Taganito
25 Murrin Murrin
26 Kambalda
27 Ravensthorpe
28 New Caledonia

Figure 6.2 Major cobalt-producing mines and districts. The majority of new production is anticipated to be from laterite deposits.

Центрально-африканский медный пояс в ДР Конго и Замбии: геология (упрощено) и локализация отдельных кобальт-медных и медных рудников и месторождений

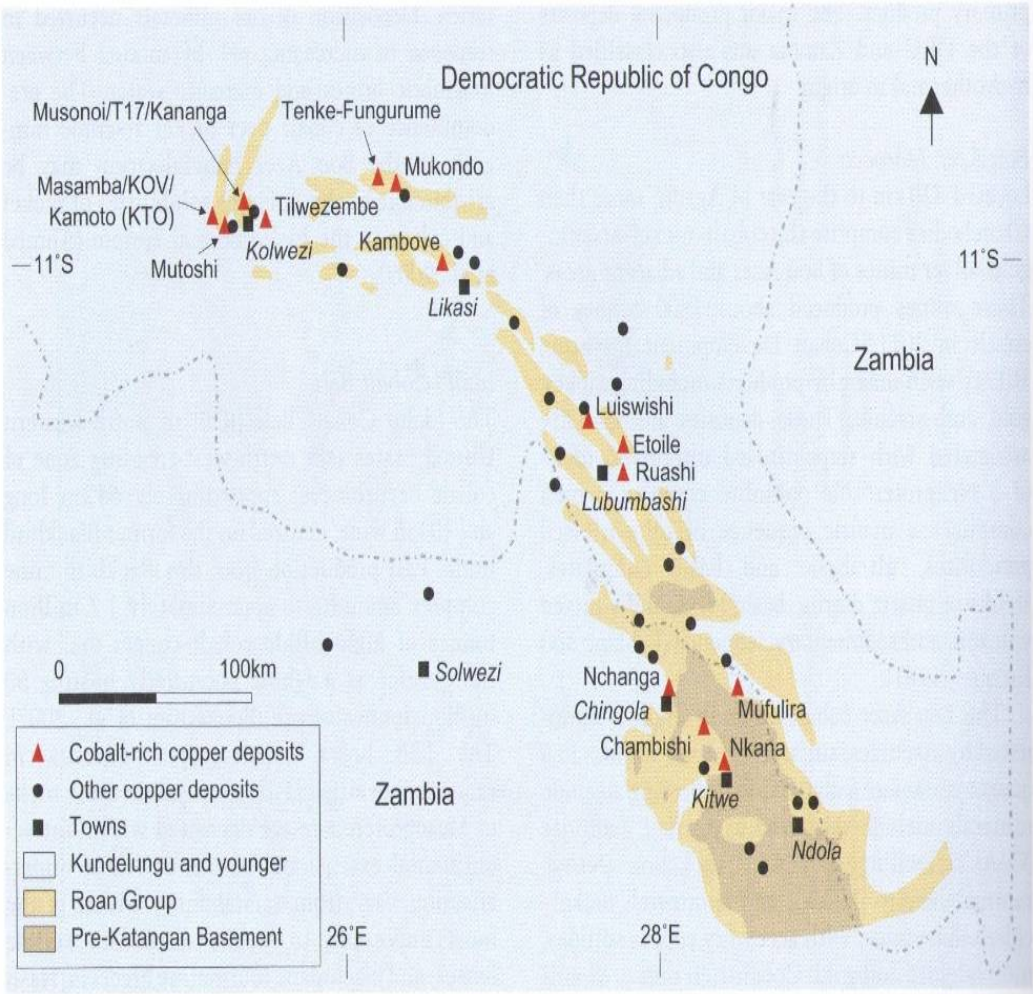


Figure 6.3 Simplified geology of the Central African Copperbelt in the Democratic Republic of Congo (DRC) and Zambia showing the location of selected cobalt–copper and copper mines and deposits. (Adapted from Trans Continent Exploration and Mining Company, 2011.)

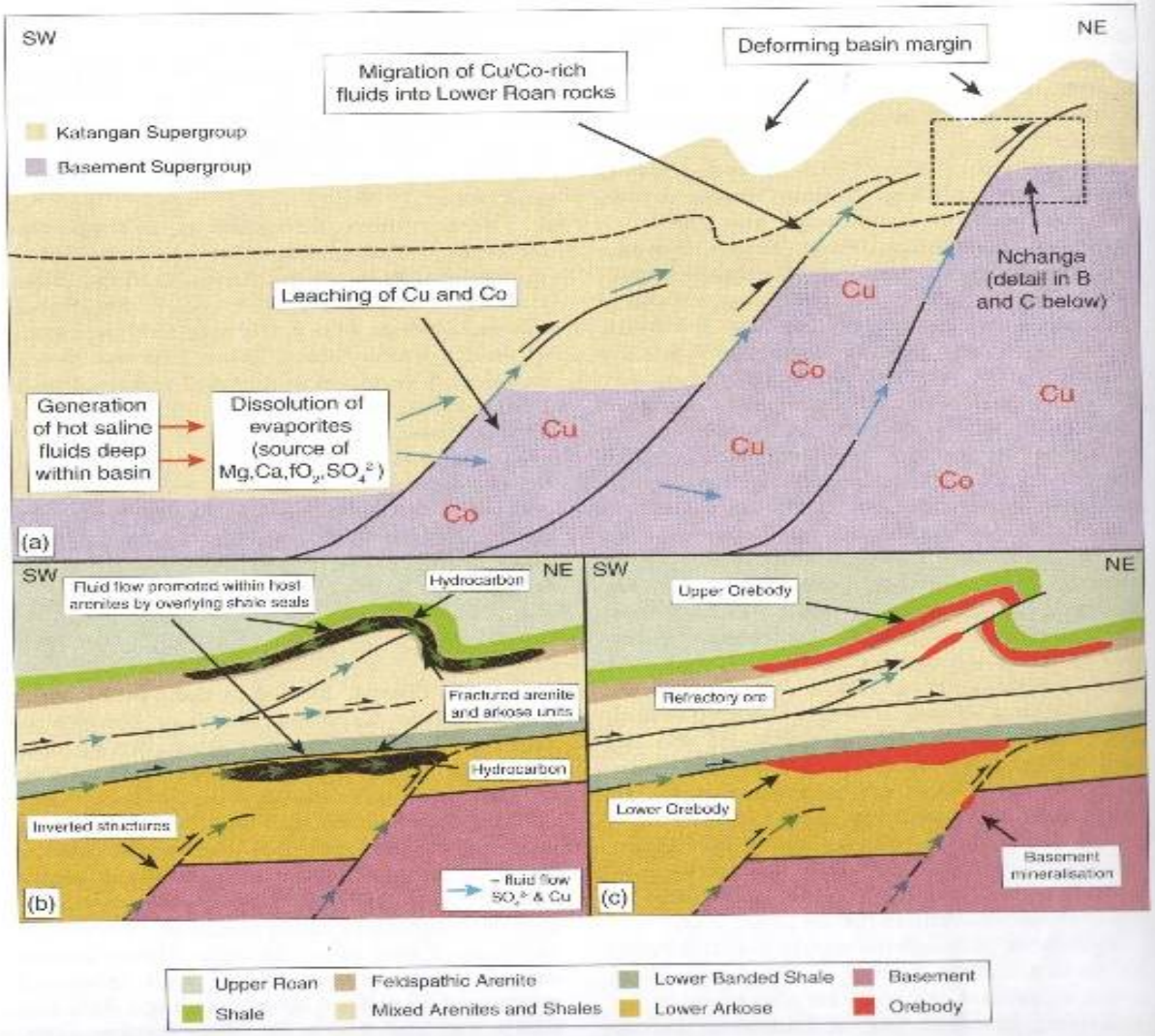


Figure 6.4 Schematic diagrams illustrating the development of the copper-cobalt deposit at Nchanga, Zambia. (a) Shows basinal brines migrating up reactivated faults at the margins of the Zambian Basin; (b) Shows migration of brines into gas-filled hydrocarbon traps, with overlying shales acting as seals; (c) Shows final distribution of orebodies at Nchanga. (Cu, copper; Co, cobalt; Mg, magnesium; Ca, calcium; SO_4^{2-}, sulfate; fO_2, oxygen fugacity.) (After McGowan et al., 2006.)

Схематические диаграммы (a, b, c), иллюстрирующие образование медно-кобальтового месторождения Нчанга в Замбии

Геохимические профили кобальт-содержащих никеленосных латеритов

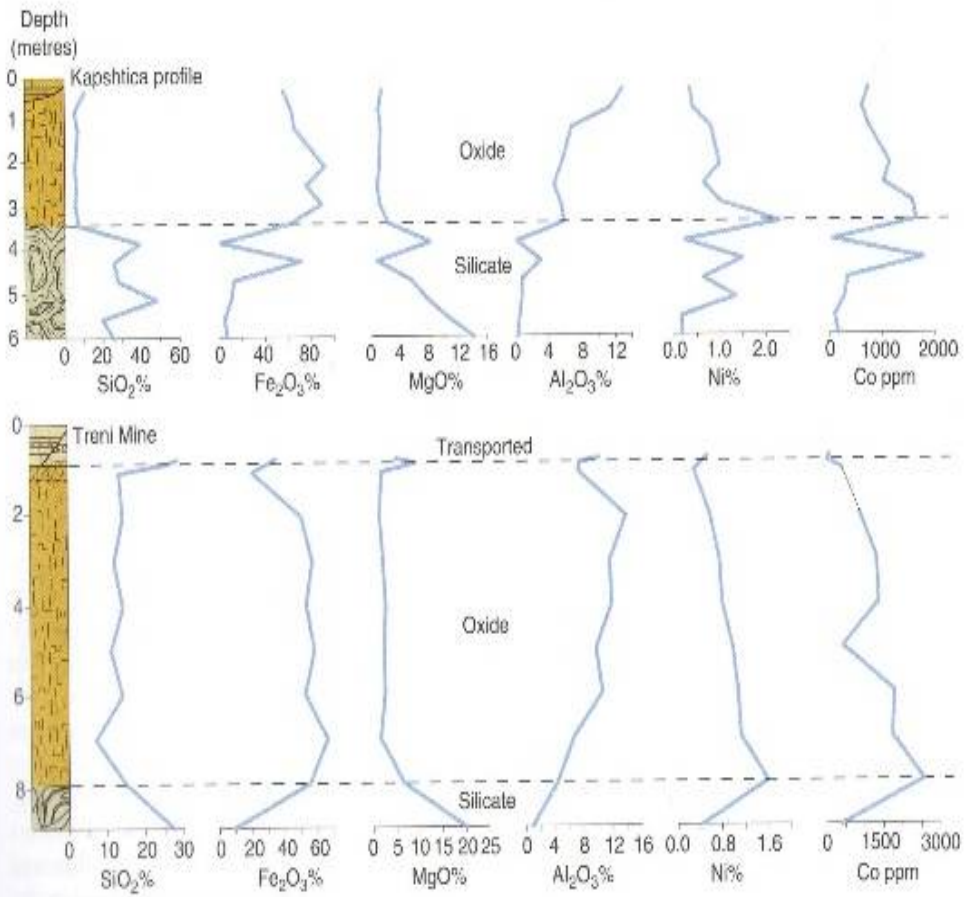


Figure 6.5 Geochemistry of a cobalt-bearing nickel laterite profiles. The profiles show the significant loss of SiO_2 and MgO at the silicate/oxide boundary and concomitant increases in Ni and Co. The profiles also indicate that the highest concentrations of Ni and Co within the profiles occur in close proximity to the silicate/oxide boundary. [SiO_2, silica; Fe_2O_3, iron oxide; MgO, magnesium oxide; Al_2O_3, aluminium oxide; Ni, nickel; Co, cobalt.] (After Thorne et al., 2012a.)

Микроразрез железо-марганцевой корки, демонстрирующий минеральную и геохимическую неоднородность образца

Sample 35D193	Layers	Thickness (mm)	Mineralogy	Element concentration (%)					
				Mn	Fe	Ni	Cu	Co	P_2O_5
	III	0–20	Fe-vernadite, Mn-ferroxyhyte, quartz, buserite, goethite, haematite, feldspars	20.0	18.9	0.33	0.10	0.57	1.4
	II	20–50	Fe-vernadite, Mn-ferroxyhyte, goethite, clayey materials, feldspars, apatite, quartz, calcite, haematite	16.9	16.2	0.38	0.18	0.38	2.0
	1-2	50–65	Fe-vernadite, Mn-ferroxyhyte, apatite	16.8	13.3	0.31	0.17	0.30	9.3
	1-1	65–105	Fe-vernadite, Mn-ferroxyhyte, goethite, apatite, asbolane, calcite, quartz, feldspar	14.6	11.9	0.33	0.09	0.25	8.2
	R	105–165	Asbolane, vernadite, todorokite, ferrihydrite, apatite, calcite, quartz	8.9	5.8	0.47	0.11	0.13	14.0

Figure 6.6 Thin section through a ferromanganese crust showing the mineralogical and geochemical variations within the sample. (Mn, manganese; Fe, iron; Ni, nickel; Cu, copper; Co, cobalt; P_2O_5, phosphorus pentoxide.) (After Glasby et al., 2007.)

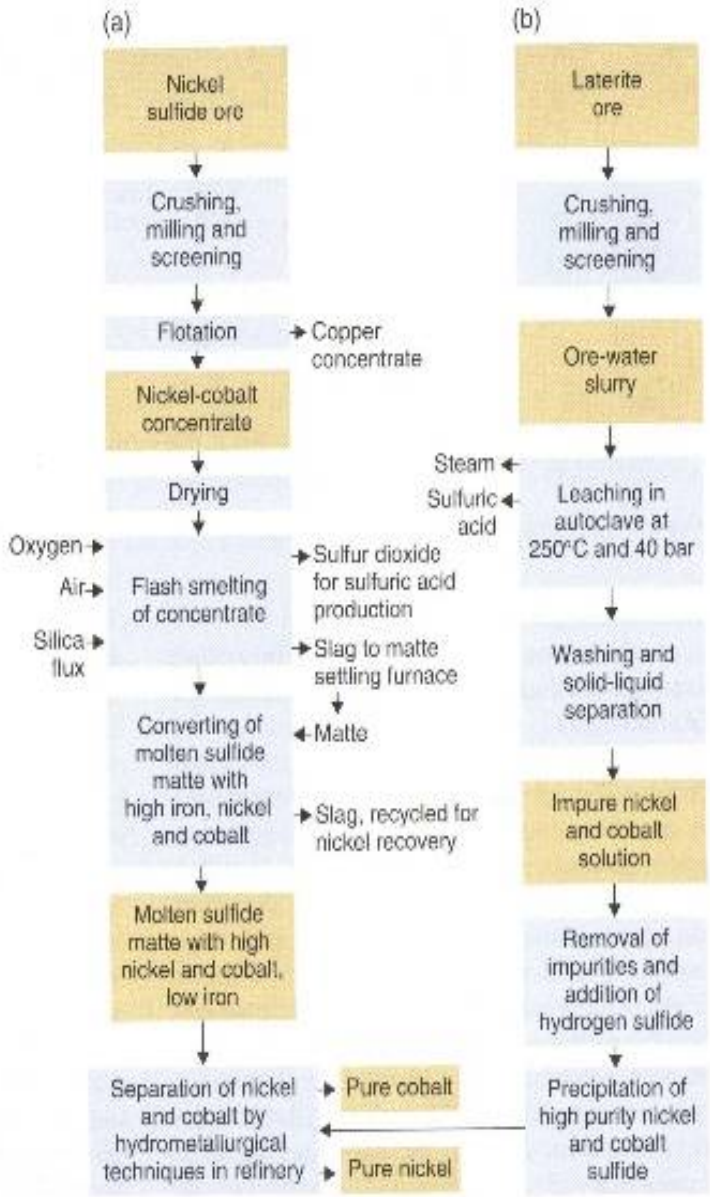


Figure 6.7 Generic flowsheet for the production of cobalt by (a) flash smelting and converting of nickel sulfide ore; and (b) high-pressure acid leaching of laterite ore.

Генерализованные схемы производства кобальта: (a) плавлением и переработкой сульфидной никелевой руды; (b) кислотным выщелачиванием латеритной руды.

Схематическая диаграмма экстракции кобальта из медно-кобальтовой сульфидной руды

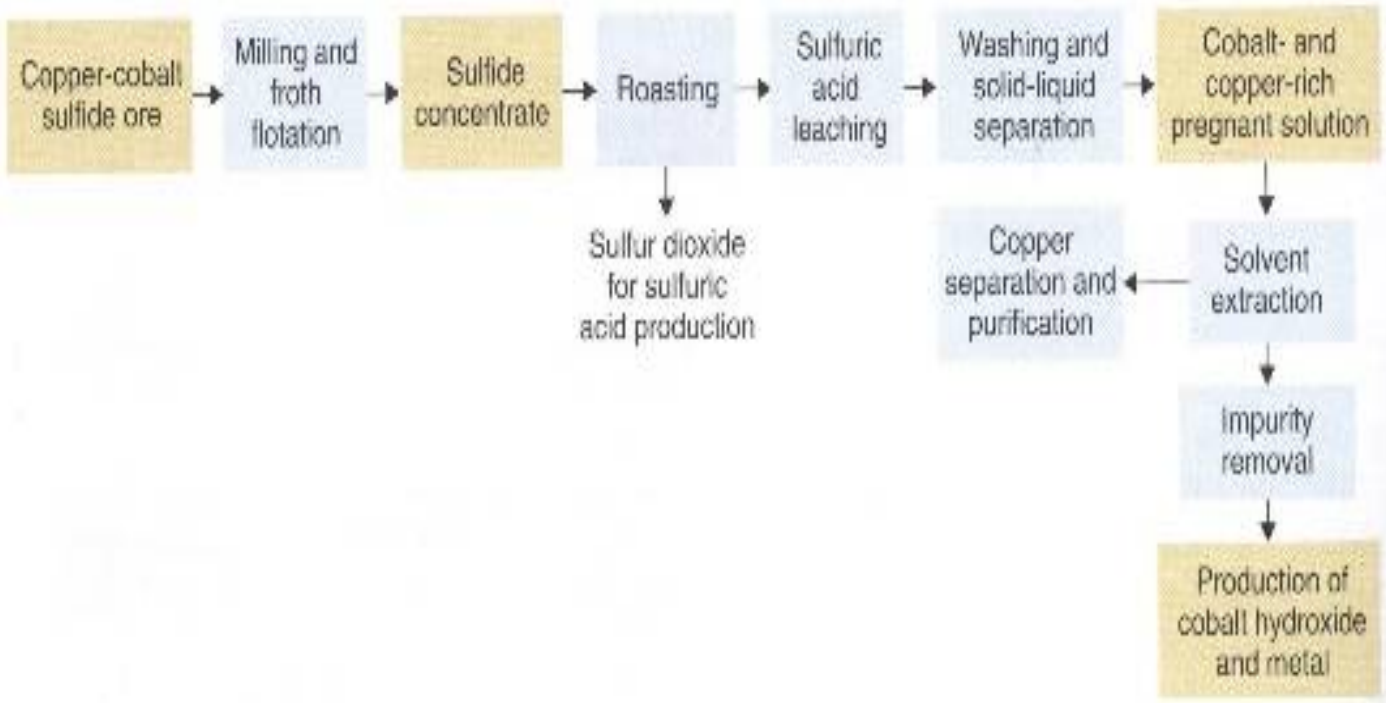


Figure 6.8 Schematic flowsheet for the extraction of cobalt from copper-cobalt sulfide ores.

Схематическая диаграмма получения кобальта сплошным выщелачиванием выветрелой медно-кобальтовой руды

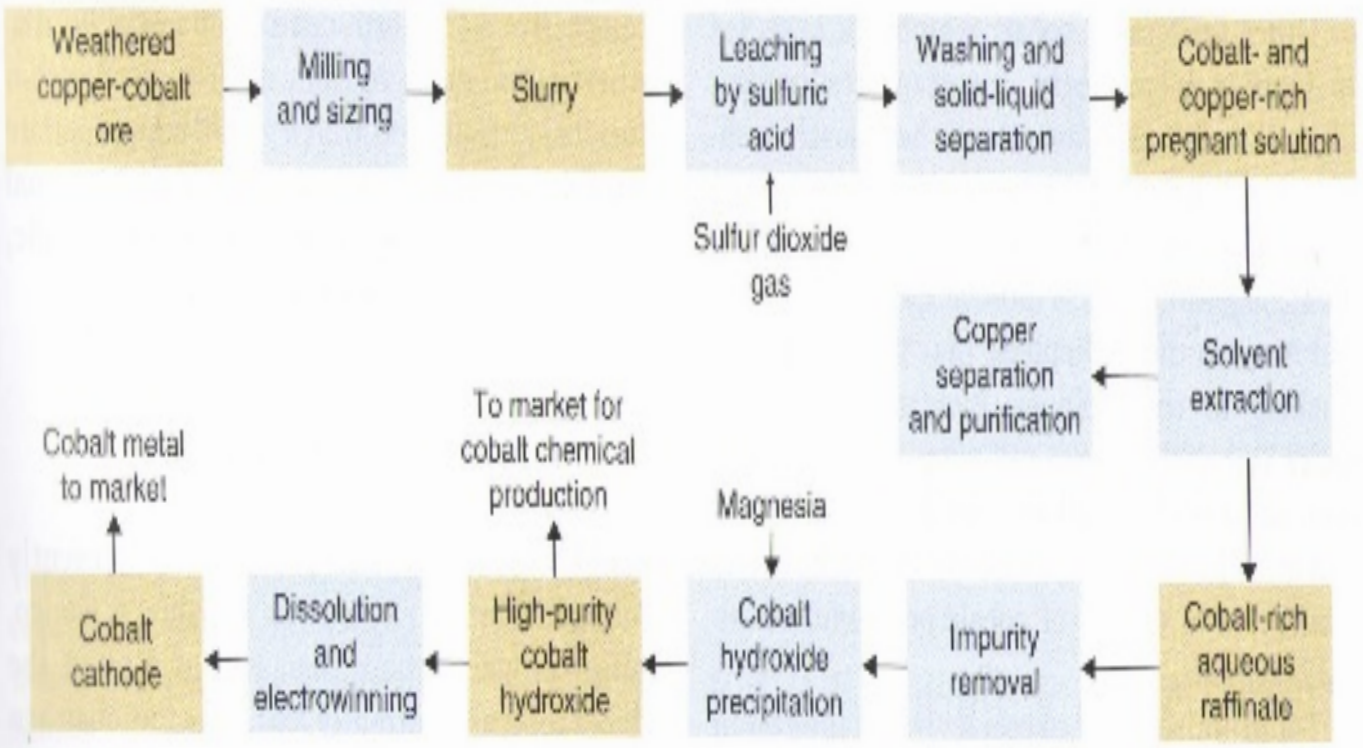


Figure 6.9 Schematic flowsheet for the extraction of cobalt from weathered copper–cobalt ore using whole ore leach (WOL).

Распределение глобального производства рудничного кобальта по странам в 2010 г.

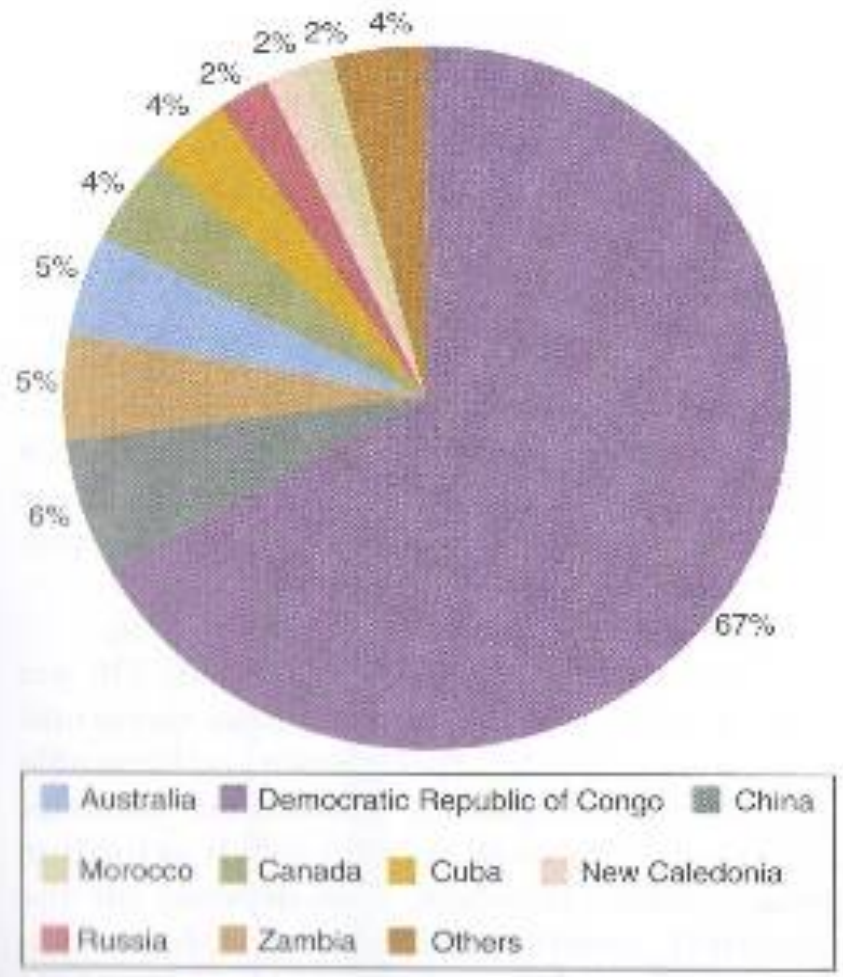


Figure 6.11 The distribution of global mine production of cobalt in 2010 by country. [Data from British Geological Survey, 2012.]

Мировое производство металлического кобальта с 1992 по 2010 гг.

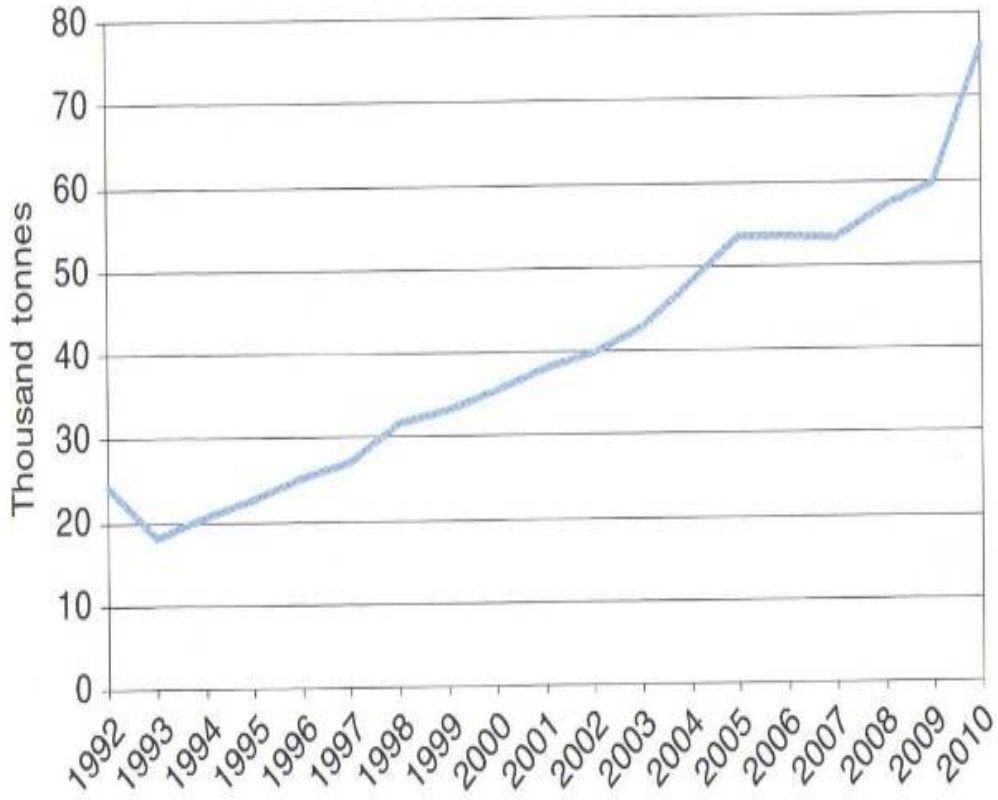


Figure 6.12 Global production of cobalt metal from 1992 to 2010. (Data from British Geological Survey World Mineral Statistics database.)

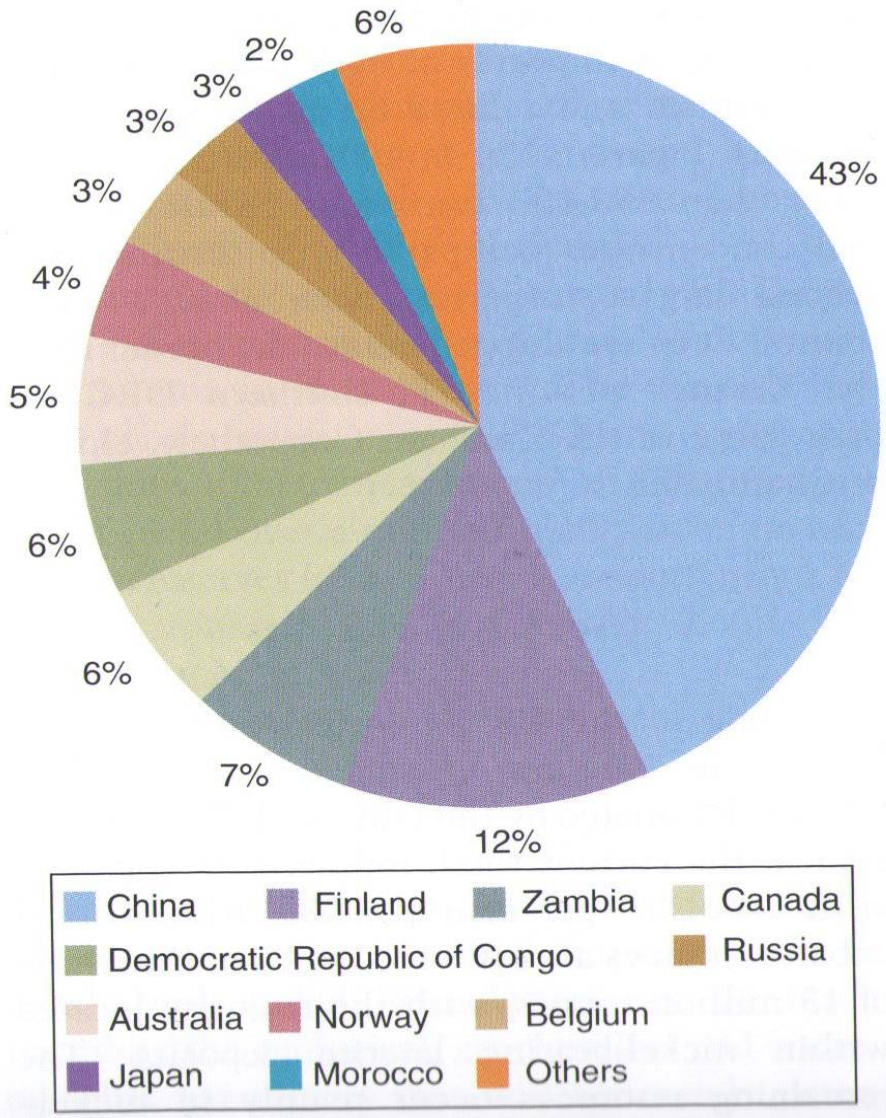


Figure 6.13 The distribution of global production of cobalt metal in 2010 by country. (Data from British Geological Survey, 2012.)

Распределение мирового производства металлического кобальта по странам в 2010 г.

Главные страны-экспортеры кобальтовых руд и концентратов, рафинированного металла в 2010 г.

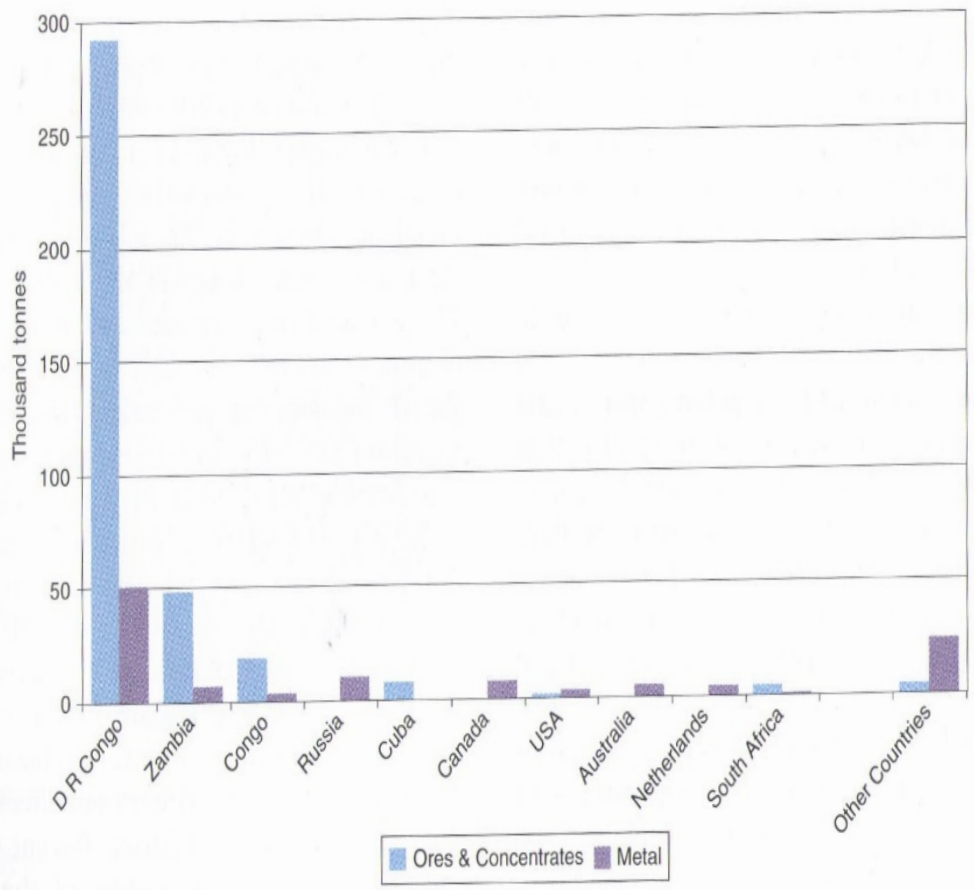


Figure 6.14 The main exporting countries of cobalt ores and concentrates and refined metal in 2010. (Data from British Geological Survey World Mineral Statistics database and UN Comtrade, 2013.)

Главные страны-импортеры кобальтовых руд и концентратов, рафинированного металла в 2010 г.

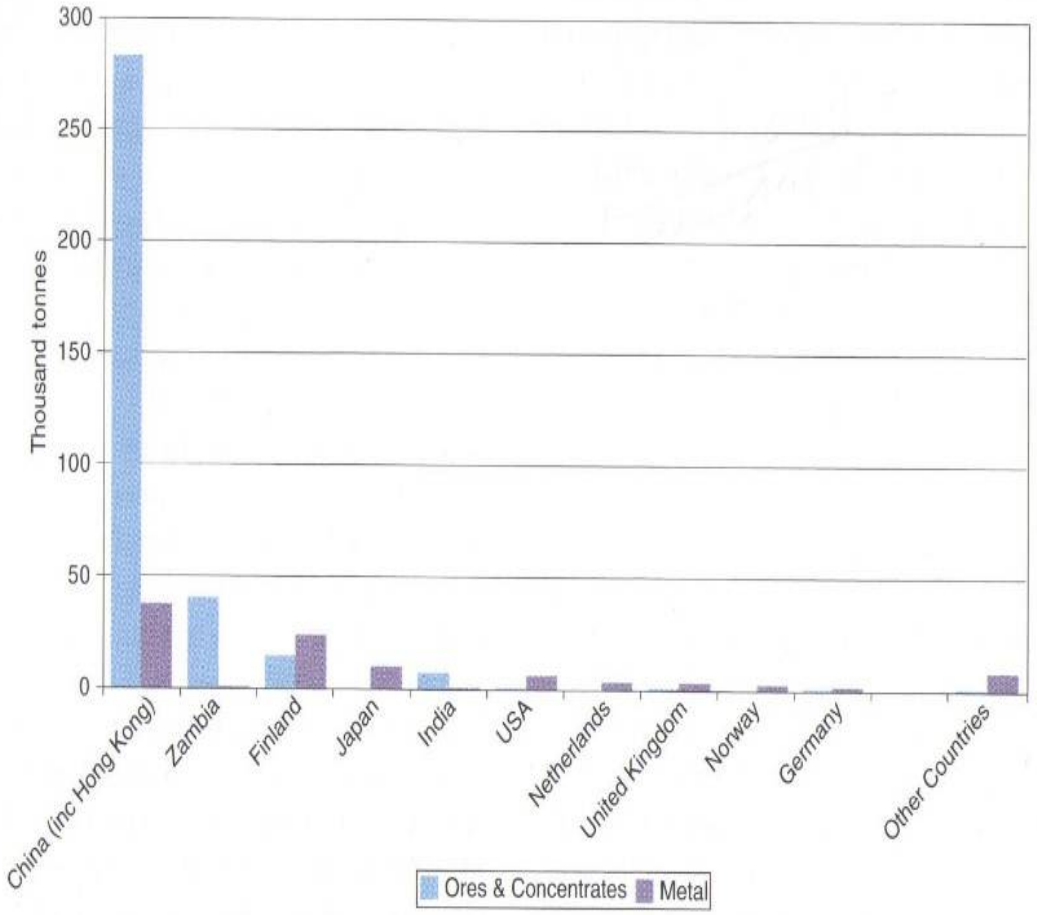


Figure 6.15 The main importing countries of cobalt ores and concentrates and refined metal in 2010. (Data from British Geological Survey World Mineral Statistics database and UN Comtrade, 2013.)

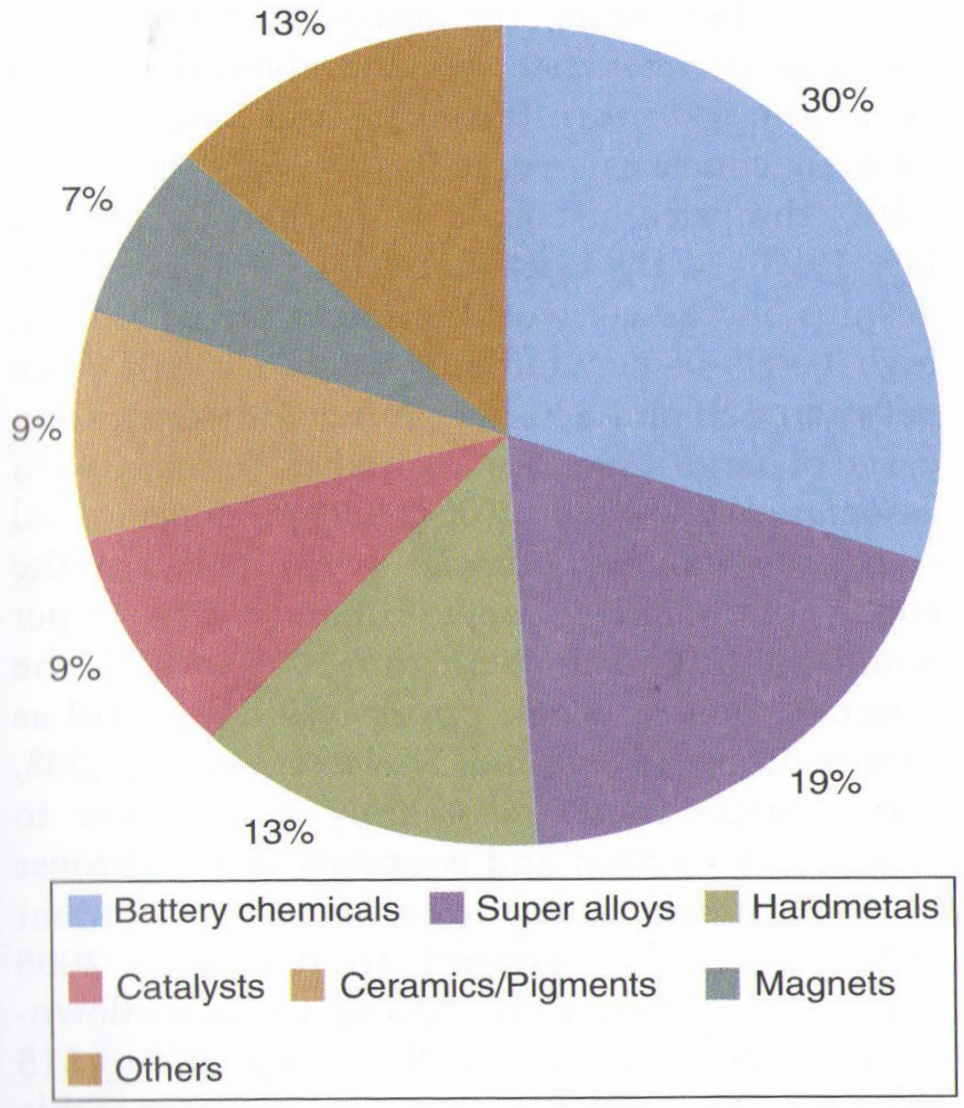


Figure 6.16 Estimated cobalt demand by end-use in 2011. (Data from Cobalt Development Institute, 2012a.)

Оценка потребностей в кобальте конечным потребителем в 2011 г.

Ежеквартальные цены на кобальт, 1992 -2011

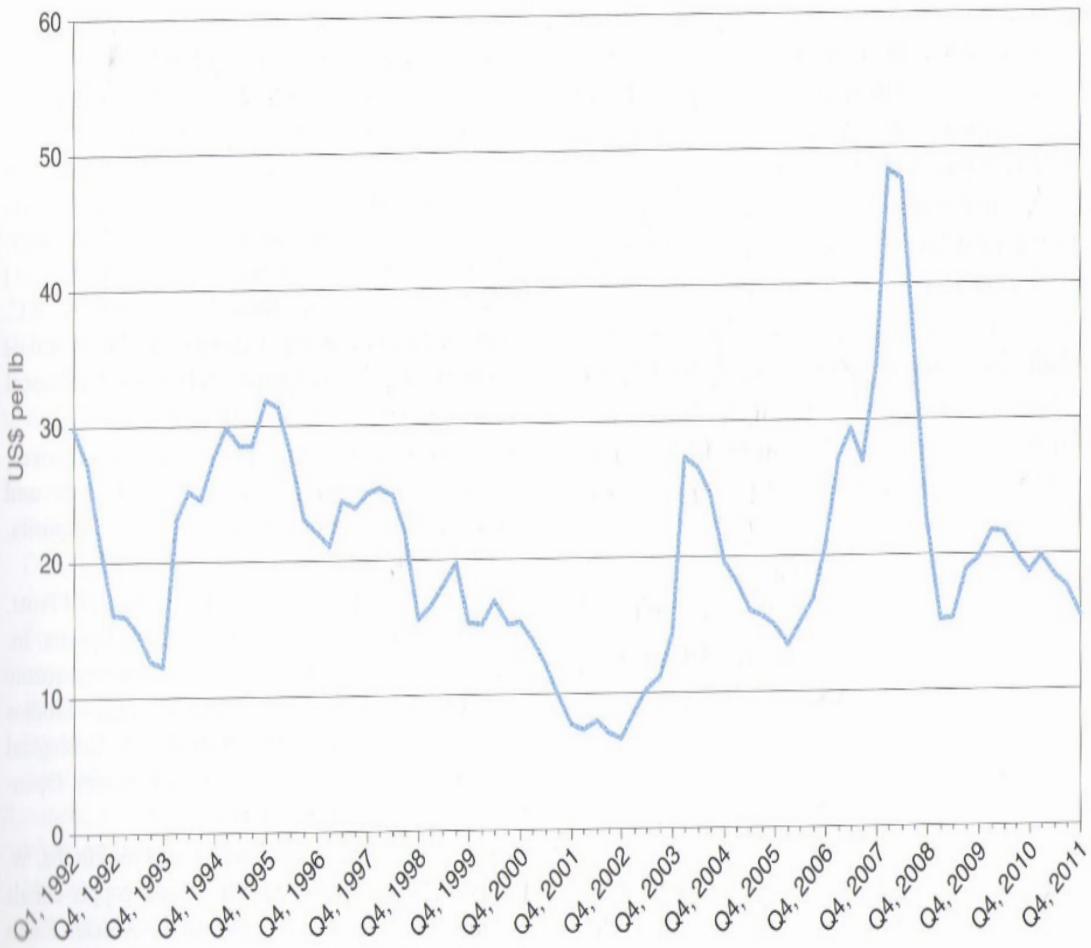


Figure 6.17 The quarterly average price of cobalt, 1992–2011. (High Grade Metal Bulletin free market US$ per lb in warehouse.)

Спасибо за внимание!