Стратегическое, дефицитное и критическое минеральное сырьё

Pd

Магистрант 1 года Бескова Елизавета Александровна
Преподаватель: Ерёмин Н. И.

Геологический факультет
Геология, геохимия и экономики полезных ископаемых
2020 г.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	1	H 1 1,01 ВОДОРОД						(H)			2 He 4,00 ГЕЛИЙ
2	2	Li 3 6,94 ЛИТИЙ	Be 4 9,01 БЕРИЛЛИЙ	5 B 10,81 БОР	6 C 12,01 УГЛЕРОД	7 N 14,01 АЗОТ	8 O 16,00 КИСЛОРОД	9 F 19,00 ФТОР			10 Ne 20,18 НЕОН
3	3	Na 11 22,99 НАТРИЙ	Mg 12 24,31 МАГНИЙ	13 Al 26,98 АЛЮМИНИЙ	14 Si 28,09 КРЕМНИЙ	15 P 30,97 ФОСФОР	16 S 32,06 СЕРА	17 Cl 35,45 ХЛОР			18 Ar 39,95 АРГОН
4	4	K 19 39,10 КАЛИЙ	Ca 20 40,08 КАЛЬЦИЙ	Sc 21 44,96 СКАНДИЙ	Ti 22 47,90 ТИТАН	V 23 50,94 ВАНАДИЙ	Cr 24 52,00 ХРОМ	Mn 25 54,94 МАРГАНЕЦ	Fe 26 55,85 ЖЕЛЕЗО	Co 27 58,93 КОБАЛЬТ	Ni 28 58,70 НИКЕЛЬ
	5	29 Cu 63,55 МЕДЬ	30 Zn 65,38 ЦИНК	31 Ga 69,72 ГАЛЛИЙ	32 Ge 72,59 ГЕРМАНИЙ	33 As 74,92 МЫШЬЯК	34 Se 78,96 СЕЛЕН	35 Br 79,90 БРОМ			36 Kr 83,80 КРИПТОН
5	6	Rb 37 85,47 РУБИДИЙ	Sr 38 87,62 СТРОНЦИЙ	Y 39 88,91 ИТТРИЙ	Zr 40 91,22 ЦИРКОНИЙ	Nb 41 92,91 НИОБИЙ	Mo 42 95,94 МОЛИБДЕН	Tc 43 98,91 ТЕХНЕЦИЙ	Ru 44 101,07 РУТЕНИЙ	Rh 45 102,91 РОДИЙ	Pd 46 106,42 ПАЛЛАДИЙ
	7	47 Ag 107,87 СЕРЕБРО	48 Cd 112,41 КАДМИЙ	49 In 114,82 ИНДИЙ	50 Sn 118,69 ОЛОВО	51 Sb 121,75 СУРЬМА	52 Te 127,60 ТЕЛЛУР	53 I 126,90 ИОД			54 Xe 131,30 КСЕНОН
6	8	Cs 55 132,91 ЦЕЗИЙ	Ba 56 137,33 БАРИЙ	La 57 138,91 ЛАНТАН	Hf 72 178,49 ГАФНИЙ	Ta 73 180,95 ТАНТАЛ	W 74 183,85 ВОЛЬФРАМ	Re 75 186,21 РЕНИЙ	Os 76 190,20 ОСМИЙ	Ir 77 192,22 ИРИДИЙ	Pt 78 195,09 ПЛАТИНА
	9	79 Au 196,97 ЗОЛОТО	80 Hg 200,59 РТУТЬ	81 Tl 204,37 ТАЛЛИЙ	82 Pb 207,20 СВИНЕЦ	83 Bi 208,98 ВИСМУТ	84 Po [209] ПОЛОНИЙ	85 At [210] АСТАТ			86 Rn [222] РАДОН
7	10	Fr 87 [223] ФРАНЦИЙ	Ra 88 226,03 РАДИЙ	Ac 89 [227] АКТИНИЙ	Rf 104 [261] РЕЗЕРФОРДИЙ	Db 105 [261] ДУБНИЙ	Sg 106 [263] СИБОРГИЙ	Bh 107 [262] БОРИЙ	Hs 108 [265] ХАССИЙ	Mt 109 [266] МЕЙТНЕРИЙ	Ds 110 [271] ДАРМШТАДТИЙ

атомный номер — обозначение элемента — 6 C 12,01 УГЛЕРОД — относительная атомная масса

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

* ЛАНТАНОИДЫ													
58 Ce 140,12 ЦЕРИЙ	59 Pr 140,91 ПРАЗЕОДИМ	60 Nd 144,24 НЕОДИМ	61 Pm [145] ПРОМЕТИЙ	62 Sm 150,40 САМАРИЙ	63 Eu 151,96 ЕВРОПИЙ	64 Gd 157,25 ГАДОЛИНИЙ	65 Tb 158,93 ТЕРБИЙ	66 Dy 162,50 ДИСПРОЗИЙ	67 Ho 164,93 ГОЛЬМИЙ	68 Er 167,26 ЭРБИЙ	69 Tm 168,93 ТУЛИЙ	70 Yb 173,04 ИТТЕРБИЙ	71 Lu 174,97 ЛЮТЕЦИЙ
** АКТИНОИДЫ													
90 Th 232,04 ТОРИЙ	91 Pa 231,04 ПРОТОАКТИНИЙ	92 U 238,03 УРАН	93 Np 237,05 НЕПТУНИЙ	94 Pu [244] ПЛУТОНИЙ	95 Am [243] АМЕРИЦИЙ	96 Cm [247] КЮРИЙ	97 Bk [247] БЕРКЛИЙ	98 Cf [251] КАЛИФОРНИЙ	99 Es [254] ЭЙНШТЕЙНИЙ	100 Fm [257] ФЕРМИЙ	101 Md [258] МЕНДЕЛЕВИЙ	102 (No) [255] НОБЕЛИЙ	103 (Lr) [256] ЛОУРЕНСИЙ

Электронная конфигурация

[https://k-tree.ru/tools/chemistry/periodic.php?element=Pd]

- **Pd:** $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d^{10}\ 4p^6\ 4d^{10}$
- 2 электрона на 1s-подуровне
- 2 электрона на 2s-подуровне
- 6 электронов на 2p-подуровне
- 2 электрона на 3s-подуровне
- 6 электронов на 3p-подуровне
- 2 электрона на 4s-подуровне
- 10 электронов на 3d-подуровне
- 6 электронов на 4p-подуровне
- 10 электронов на 4d-подуровне

Pd-палладий

- **дий** — химический элемент с атомным номером 46. Принадлежит к 10-й группе периодической таблицы химических элементов, находится в пятом периоде таблицы. Атомная масса элемента 106,42(1) а. е. м..
- Элемент относится к переходным металлам и к благородным металлам платиновой группы (лёгкие платиноиды). Простое вещество палладий при нормальных условиях — пластичный металл серебристо-белого цвета.
- В 1804 году секретарь Королевского общества химик Уильям Волластон доложил Королевскому обществу, что в платиновой руде из Южной Америки он обнаружил новые ранее неизвестные металлы — палладий и родий. Назван по имени астероида Паллада.
- Один из наиболее редких элементов в земной коре; его кларковое число составляет $1 \cdot 10^{-6}$ %.
  [Палладий // Химическая энциклопедия : 1992.]

Свойства

- В чистом виде палладий обладает красивым серебристо-белым цветом. [https://k-tree.ru/tools/chemistry/periodic.php?element=Pd]
- В воде нерастворим;
- Плотность — 12,02 (20 C, г/см³);
- Из всех металлов платиновой группы палладии является самым легкоплавким.
- Температура плавления — 1554 C (в некоторых источниках 1552 C); температура кипения около 2940 C.
- Парамагнетик, то есть, намагничивается во внешнем магнитном поле в направлении этого поля.
- Природный палладий состоит из шести стабильных изотопов: ^{102}Pd (1,00 %), ^{104}Pd (11,14 %), ^{105}Pd (22,33 %), ^{106}Pd (27,33 %), ^{108}Pd (26,46 %) и ^{110}Pd (11,72 %).
- Наиболее долгоживущий искусственный радиоактивный изотоп ^{107}Pd ($T_{1/2}$ $7 \cdot 10^6$ лет). [Палладий // Химическая энциклопедия : 1992.]
- Палладий в чистом виде довольно мягкий металл. Его твердость составляет 4,5-5 по шкале Мооса..
- Типичные примеси Pt, Ir, Pd, Sn, Bi, Sb, Hg. [https://wiki.web.ru/wiki/Палладий]

Минералы палладия

- Известно около 30 минералов палладия. Сопровождает другие платиновые металлы, его содержание в смеси платиноидов в различных месторождениях колеблется от 25 до 60 %.
- Встречается в самородном
  - Аллопалладий,
- В виде различных соединений:
  - палладистая платина
  - станнопалладинит Pd_3Sn_2)
  - палладит PdO,
  - брэггит (Pd, Pt, Ni)S [Палладий // Химическая энциклопедия : 1992.]
  - паоловит (Pd_2Sn);
  - высоцкит (Pd,Ni)S;
  - плюмбоиды типа плюмбопалладинита (Pd_3Pb_2);
  - висмутиды типа соболевскита (PdBi). [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]
- В палладистой платине содержится 19-40% палладия, в палладистой станноплатине -17-21%, в поликсене - до 6%, в ферроплатине - до 13%, в иридистой платине - до 4%. Может находиться также в виде примеси к самородному золоту (в Бразилии, например, найдена редкая разновидность самородного золота (*порпецит*), с содержанием 8-11% палладия). [https://wiki.web.ru/wiki/Палладий]

Применение палладия

- Каталитические нейтрализаторы для снижения вредных выбросов от автомобилей.
- В катализаторах для объемно-химического производства и нефтепереработки;
- Стоматологические и медицинские устройства;
- В электронике и электронных приспособлениях (такие как компьютерные жесткие диски);
- Производство стекла ;
- Ювелирные изделия;
- Лабораторное оборудование. [Mineral Commodity Summaries-2020. USGS.]
- Из палладия иногда чеканятся памятные монеты ограниченным тиражом. [https://k-tree.ru/tools/chemistry/periodic.php?element=Pd]

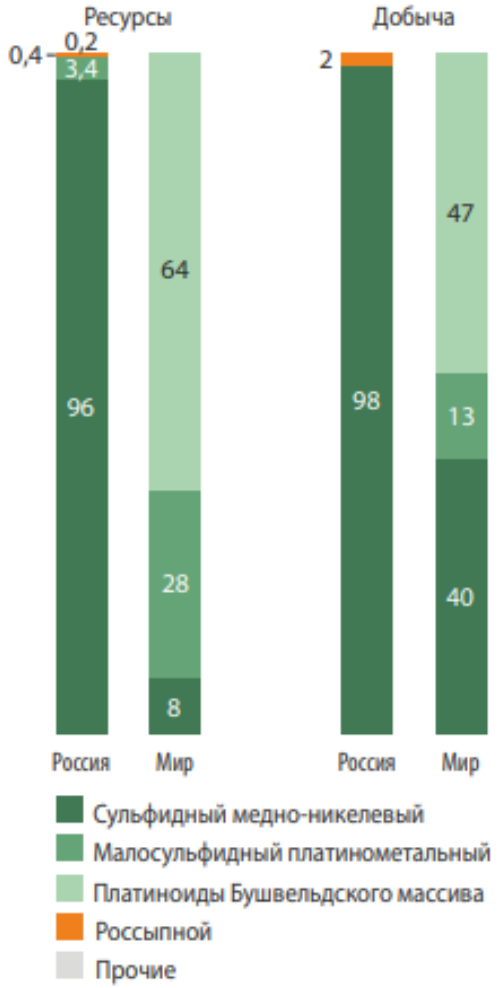
Месторождения палладия по величине разведанных запасов подразделяются на:

- Промышленные коренные руды с содержанием платиноидов от 3 — 5 (бедные) до 10—15 г/т (богатые) и с запасами 1 т и выше;
- Средние месторождения с запасами 10 —50 т;
- Крупные — 100 —500 т. [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]

Типы промышленных месторождений палладия (МПГ):

- Магматические месторождения
  - платиноносные
    - раннемагматические типа рифа Меренского в Бушвельдском массиве, ЮАР (платина-хромит-медно-никелевая формация)
    - позднемагматические типа Нижне-Тагильского месторождения, Средний Урал (хромит-платиновая формация).
  - платиносодержащие.
    - Медь-никель-платиновая формация Норильский рудный район, Северная Сибирь.
- Россыпные месторождения
  - Россыпи Инаглинского месторождения (Восточная Сибирь, Алдан).

[Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]

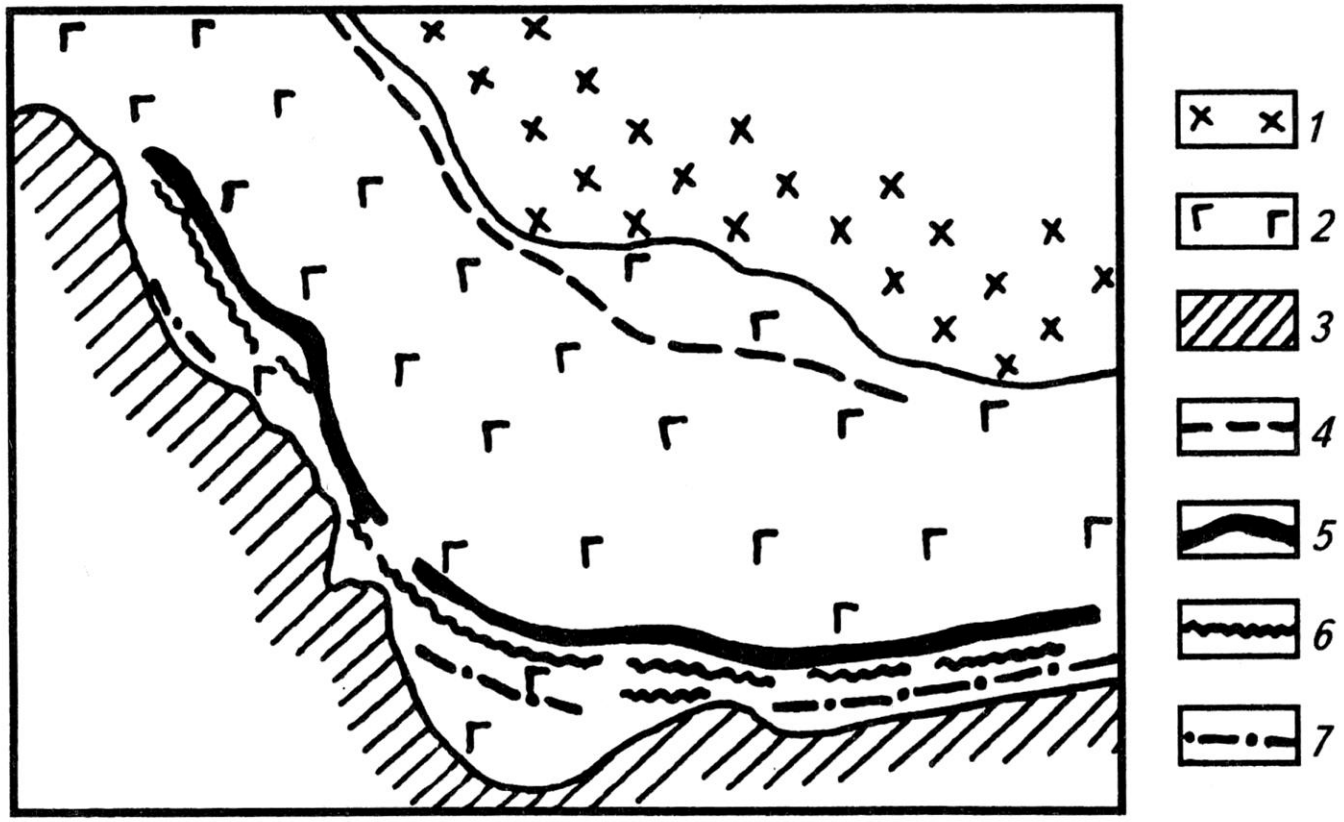


Распределение ресурсов и добычи МПГ в России и мире по промышленным типам руд, %

[О состоянии и использовании … 2019]

Магматические месторождения

- Месторождения платиноидов приурочены к ритмически и циклически расслоенным плутонам основного — ультраосновного состава или к массивам центрального типа, содержащим карбонаты. В первом случае рудные тела имеют пластовую форму, обусловленную процессами расслоения. В массивах центрального типа наблюдается более сложная морфология оруденения.
- Месторождения платиноидов разделяются на собственно платиноносные и платиносодержащие.
- Месторождения, содержащие платиноиды в качестве попутных компонентов относятся к следующим группам: ликвационные медно-никелевые и сульфидные никелевые норильского типа (медь-никель-платиновая формация); хромитовые с платиноидами кордильерского типа; комплексные медно-и молибден-меднопорфировые.
- Наиболее крупный район месторождений платиноидов находится в ЮАР (Бушвельдский комплекс). Известны месторождения Канады (Садбери, Гудньюс-Бэй), Колумбии, Эфиопии, США (Бингем, Сан-Мануэль). В России промышленные месторождения известны в Норильском районе, в «платиновом поясе» Урала, на Алдане. [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]



Хромитовые и платиновые месторождения площади Рустендург массива Бушвельд (по Д.Куну) 1 — граниты; 2 — нориты; 3 — осадочные породы; 4 — тела титаномагнетита; 5 — Риф Меренского; 6 — тела хромитов; 7 — разрывные нарушения

- **Платина-хромит-медно-никелевая формация. Риф Меренского (ЮАР, Трансваальский бассейн).**
- Находится в юго-западной части площади, сложенной силлами Бушвельдского комплекса.
- Платиноносной является, так называемая, Критическая зона расслоенной серии Бушвельда, расположенная по разрезу между Главной и Базальной зонами.
- Риф Меренского сложен порфировыми и пегматоидными пироксенитами с гнездами и прожилками хромитов. Вверху залегают анортозиты и нориты. По простиранию Риф Меренского прослежен на 230 км при средней мощности 0,8 м. Он полого (10 — 25) падает к центру массива.
- Минералы платиновой группы представлены ферроплатиной, браггитом, куперитом, сперрилитом, лауритом, теллуридами платины и палладия.
- Содержание платиноидов составляет 5 — 15 г/т (при фоновом содержании до 50 мг/т). Доля палладия в рудах составляет— 25%. [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]

- **Хромит-платиновая формация. Нижне-Тагильское месторождение (Средний Урал).**
- Расположено в пределах массива форстеритовых дунитов, внедрившегося в толщу карбонатно-сланцевых пород девонского возраста. Массив дифференцирован. В центральной части залегают платиноносные дуниты, местами серпентинизированные. К периферии они сменяются зонами пироксенитов и габбро.
- Локализация платиноносных тел обусловлена контракционной прототрещиноватостью дунитов. Внутри этих тел минералы платиноидов занимают межзерновые промежутки среди хромшпинелидов, играя роль цементирующего материала. По данным А. Г. Бетехтина, платиновая минерализация имеет позднемагматическое происхождение.
- Минеральный состав руд — хромшпинелиды, поликсен, иридистая платина, осмистый иридий, платинистый иридий, лаурит, стибиопалладинит, пентландит, кубанит. [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]

Схематическая геологическая карта Нижне-Тагильского платшюпосного массива (по Н. Высоцкому) I — россыпи платины и золота; 2 — четвертичные отложения; 3 — апогаббровые и аподиоритовые амфиболиты; 4 — габбро-диориты; 5 — уралитизированные габбро; 6 — аподунитовые и аподиоритовые амфиболиты; 7 — аподунитовые серпентиниты; 8 — дуниты; 9 — известняки; 10 — сланцы.

Медь-никель-платиновая формация. Норильский рудный район (Северная Сибирь)

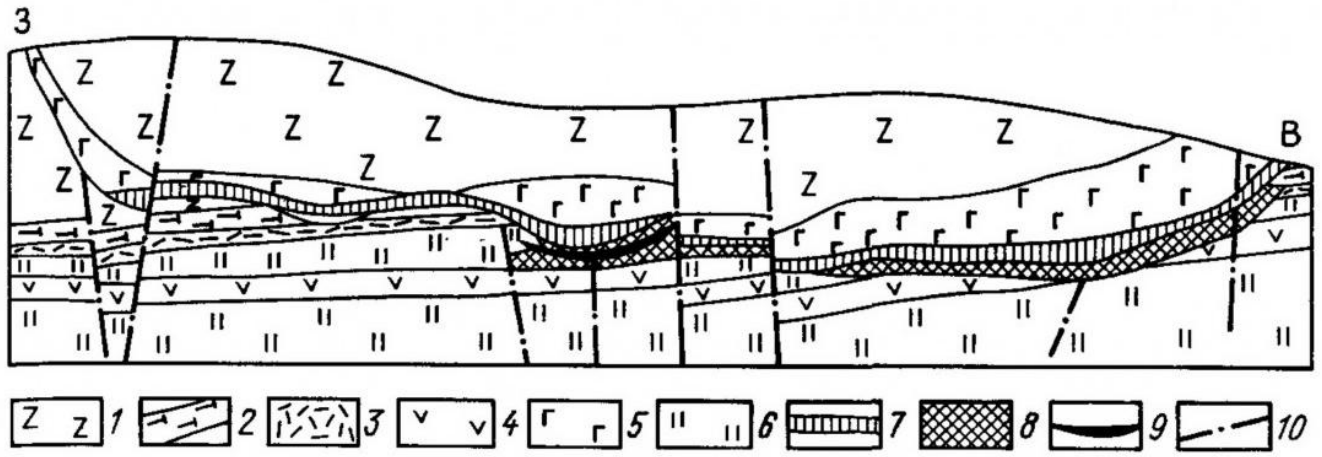


Рис. 24. Геологический разрез ликвационно-магматического медно-никелевого месторождения Норильск-I. *По А.В. Тарасову*:
1 – эффузивные породы; *2* – лабрадоровые базальты; *3* – титанавгитовые базальты; *4* – силлы долеритов; *5* – габбродолериты; *6* – осадочные породы тунгусской серии; *7–9* – руды: *7* – вкрапленные в интрузии, *8* – вкрапленные в породах экзоконтакта, *9* – жильные; *10* – разрывные нарушения

- Медно-никелевые месторождения Талнах-Октябрьской группы.
- Рудные тела (донные залежи, жилы) находятся в пределах стратифицированных интрузивов, принадлежащих к трапповой вулкано-плутонической ассоциации Сибирской платформы.
- Наибольшие концентрации платины и палладия установлены в залежах, линзах и жилах сплошных руд внутри интрузивов. [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]

Состав руд отличается большим количеством минералов (более 50) и разнообразием минеральных форм платиноидов. На Октябрьском месторождении установлено 39 минералов платины и палладия. Главными являются паоловит Pd_2Sn и соболевскит PdBi. На Норильском месторождении преобладает тетраф рустенбургит $(Pt, Pd)_3 Sn$. Встречаются атокит $(Pd, Pt)_3 Sn$, плюмбопалладинит Pd_3Pb_2, и др. [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]

Россыпные месторождения

- Россыпные месторождения платиноидов формируются при разрушении сравнительно бедных, но значительных по площади и запасам платиноносных интрузивных массивов габбро-пироксенит-дунитового состава. Образуются элювиальные, делювиальные и аллювиальные россыпи, которые тесно связаны с коренными источниками платиновых минералов.
- Минеральный состав шлиховых комплексов — хромшпинелиды, оливин, пироксены, титаномагнетиты в сростках с минералами платиноидов. Последние представлены поликсеном, самородной платиной, ферроплатиной, купроплатиной, иридистой платиной, встречается иридистое и платинистое золото. Содержание платиноидов в аллювиальных россыпях изменяется от нескольких миллиграммов до сотен граммов на 1 м3.
- Россыпные месторождения платиноидов известны в России (Урал, Сибирь), США, Колумбии, Зимбабве, Заире, Эфиопии и других странах. [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]

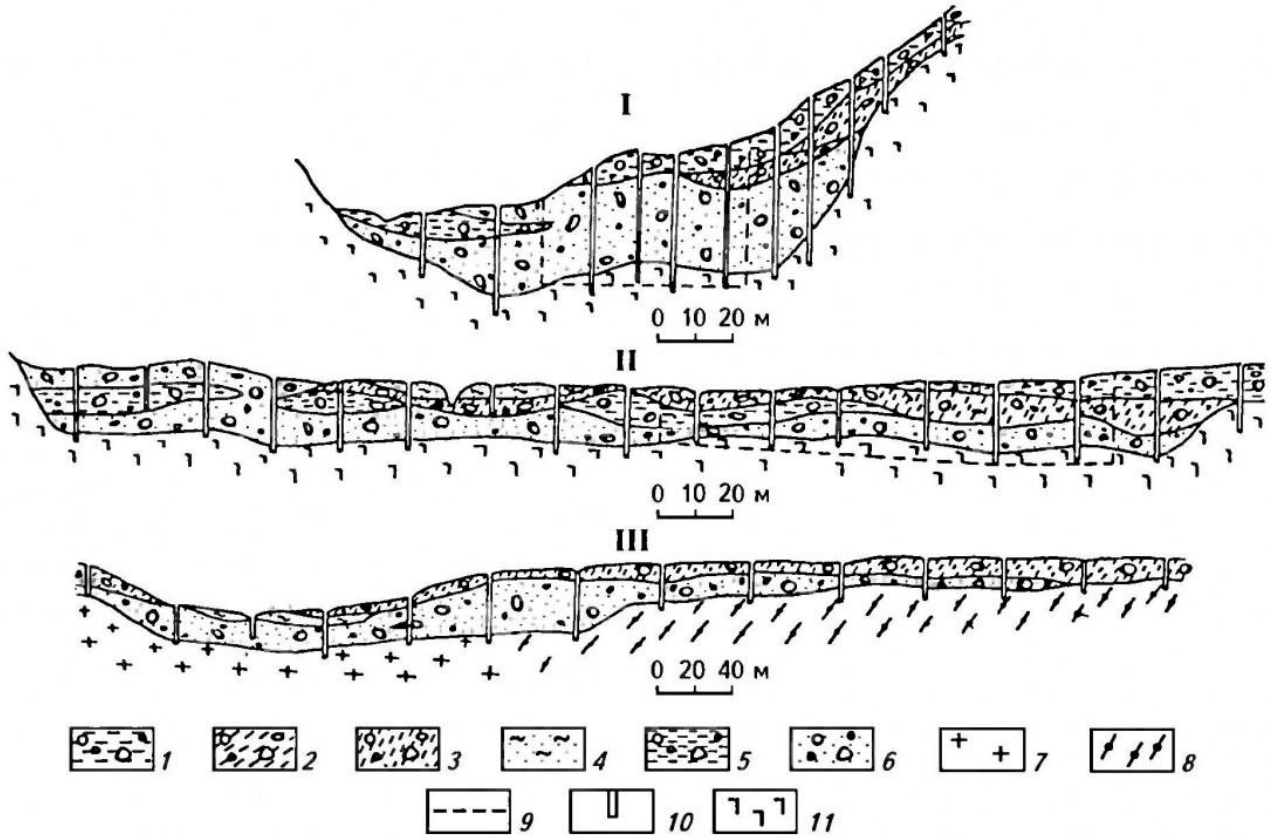
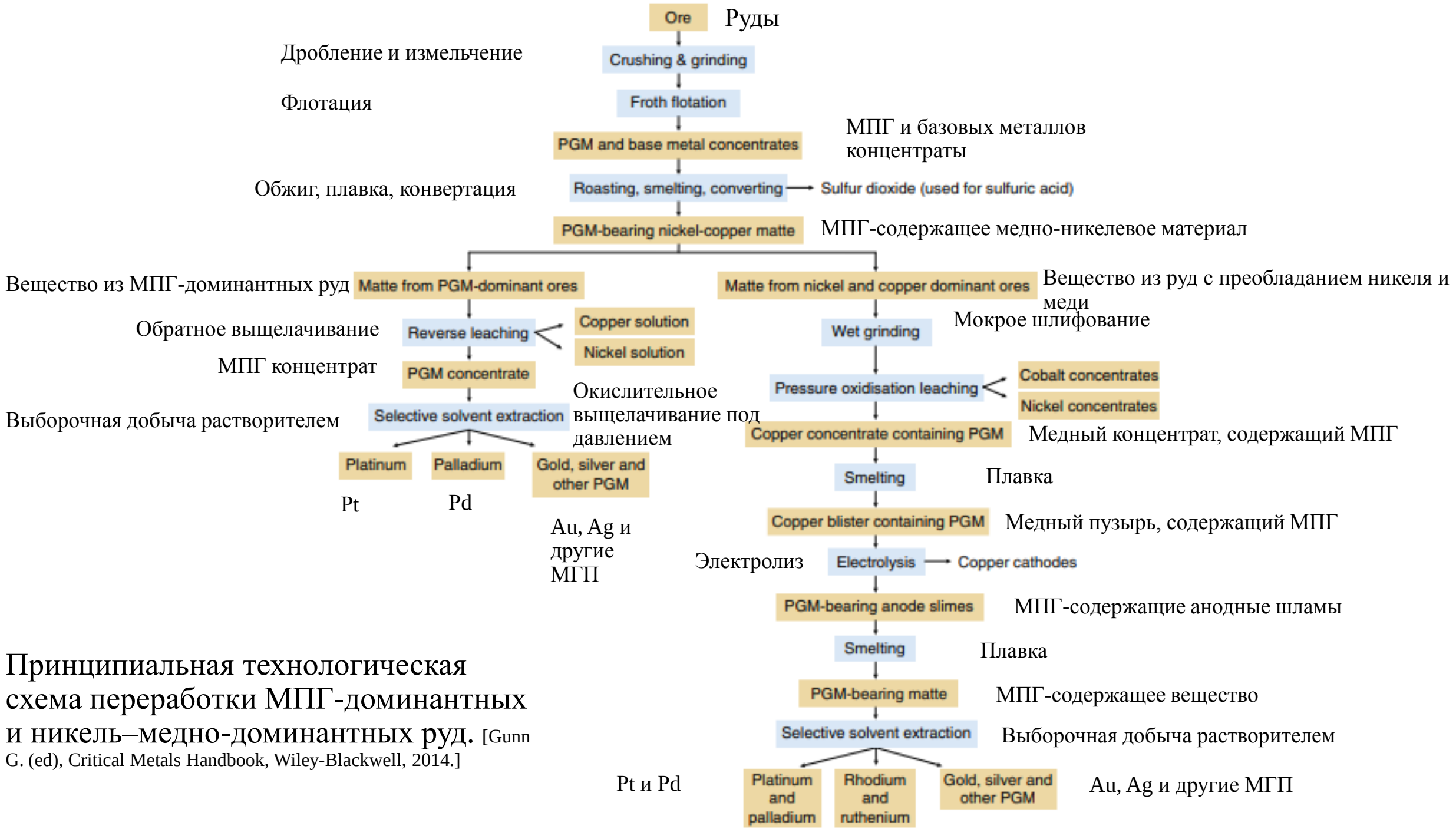


Рис. 5.70. **Разрезы платиноносного аллювия бассейна р.Инагли** (*по [232]*)

I – по ключу Сосновому; II – по р.Инагли в средней части массива; III – по р.Инагли после ее выхода из ультраосновного массива. *1* – глина с щебнем и глыбами; *2* – суглинок с щебнем и глыбами; *3* – валунные галечники с суглинком; *4* – илистый песок; *5* – глина с валунами и галькой; *6* – валунные галечники, сцементированные песком; *7* – граниты; *8* – кристаллические сланцы; *9* – контур россыпи платины; *10* – шурфы; *11* – дуниты

Россыпи Инаглинского месторождения (Восточная Сибирь, Алдан)

- Возникли при эрозии щелочных интрузивов (сиенитов, сиенит-порфиров, форстеритовых дунитов). Содержание платиновых металлов в таких массивах колеблется от 1 — 2 до 35 — 40 г/т. [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]
- Россыпь имеет элювиально-аллювиальное происхождение. Разрез начинается с дресвы дунитов с платиноносными шлирами. В вышележащем аллювии имеется продуктивный пласт красно-бурых мелкозернистых песков. [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]



Принципиальная технологическая схема переработки МПГ-доминантных и никель–медно-доминантных руд. [Gunn G. (ed), Critical Metals Handbook, Wiley-Blackwell, 2014.]

Основные месторождения металлов платиновой группы и распределение запасов и прогнозных ресурсов категории P1 по субъектам Российской Федерации, тонн.

[О состоянии и использовании … 2019]

Из Государственного доклада о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году

Запасы МПГ и объемы их производства в ведущих странах. [О состоянии и использовании … 2019]

Страна	Запасы, категория	Запасы[1], тыс. т			Доля в мировых запасах МПГ, %	Производство МПГ в рудах и концентратах в 2018 г., тонн			Доля в мировом производстве, %		
		Pt	Pd	ΣМПГ		Pt	Pd	ΣМПГ	Pt	Pd	ΣМПГ
ЮАР	Proved+ Probable Reserves	6,1	4,4	11,3	63	138,9[4]	79,1[4]	259,2[4]	73	38	57
Россия	Запасы категорий A+B+C_1[2]	2,4[3]	7,7[3]	10,4[3]	21	21,2[1]	83,4[1]	108,6[1]	11	40	24
	Proved+ Probable Reserves	0,8	2,9	3,9							
Зимбабве	Proved+ Probable Reserves	0,4	0,4	0,9	5	14,7[4]	12,2[4]	30,2[4]	8	6	7
Канада	Proved+ Probable Reserves	0,2	0,3	0,6	3	8,2[4]	15,1[4]	28,6[3]	4	7	6
США	Proved+ Probable Reserves	0,3	0,9	1,3	7	4,1[4]	14[4]	18,1[4]	2	7	4
Прочие	Reserves	0,02	0,03	0,1	1	4,8[4]	4[4]	9,3[4]	2	2	2
Мир	Запасы	7,8	8,9	18,1	100	191,9	207,8	454	100	100	100

Сырьевая база МПГ является достаточно мощной, но в долгосрочной перспективе возможно формирование дефицита запасов металлов — прогнозные ресурсы наиболее изученных категорий P1 и P2 весьма малы, их реализация сможет обеспечить простое воспроизводство сырьевой базы платиноидов лишь на три года. [О состоянии и использовании … 2019]

Соотношение запасов МПГ с прогнозными ресурсами, тонн. [О состоянии и использовании … 2019]

По данным Геологической службы США (USGS, Mineral Commodity Summaries-2020)

Мировая добыча и запасы палладия:

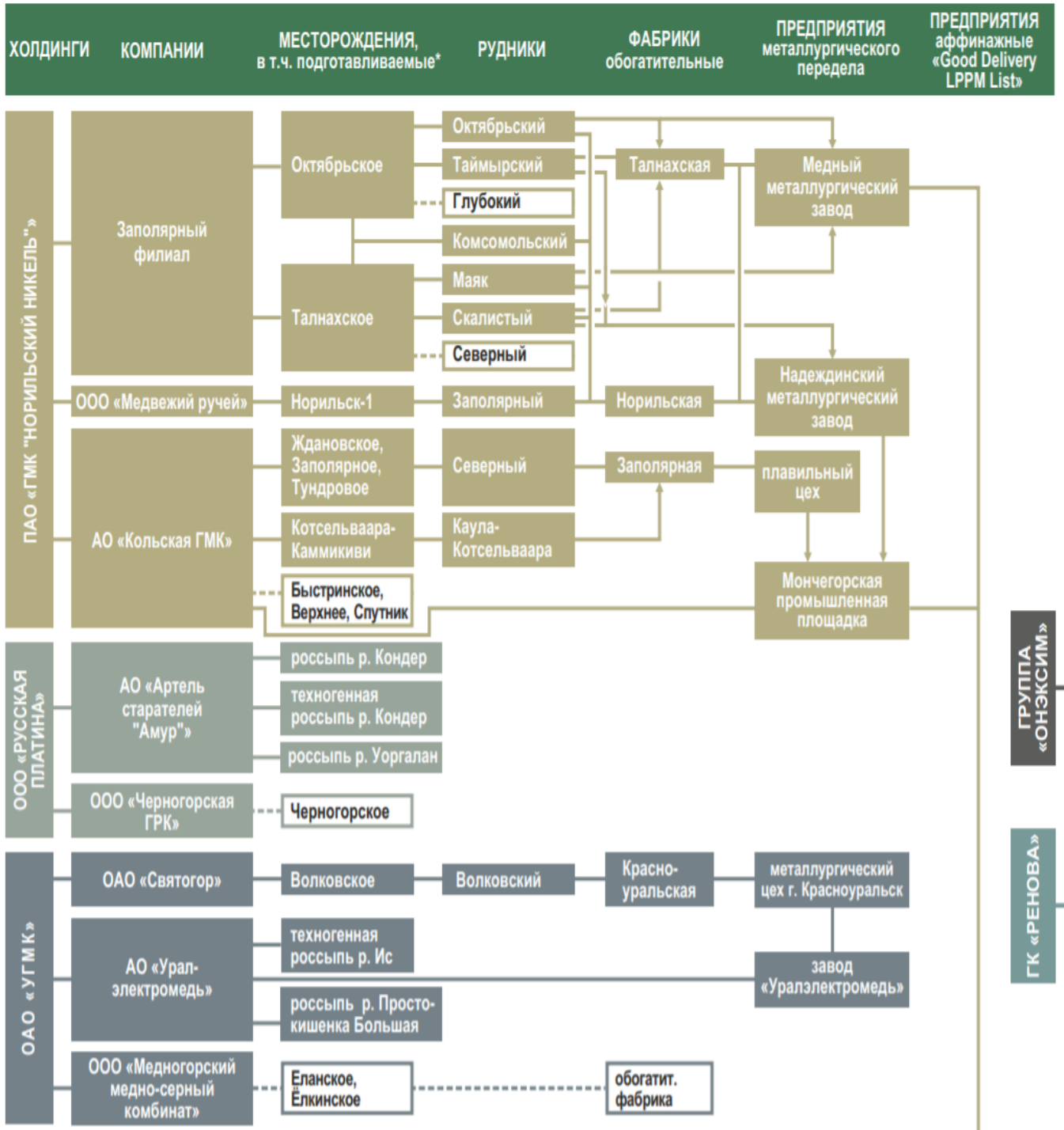
	2018	2019
США	14,300	12,000
Канада	20,000	20,000
Россия	90,000	86,000
Южная Африка	80,600	80,000
Зимбабве	12,000	12,000
Другие страны	2,920	3,000
Всего мира (округленно)	220,000	210,000

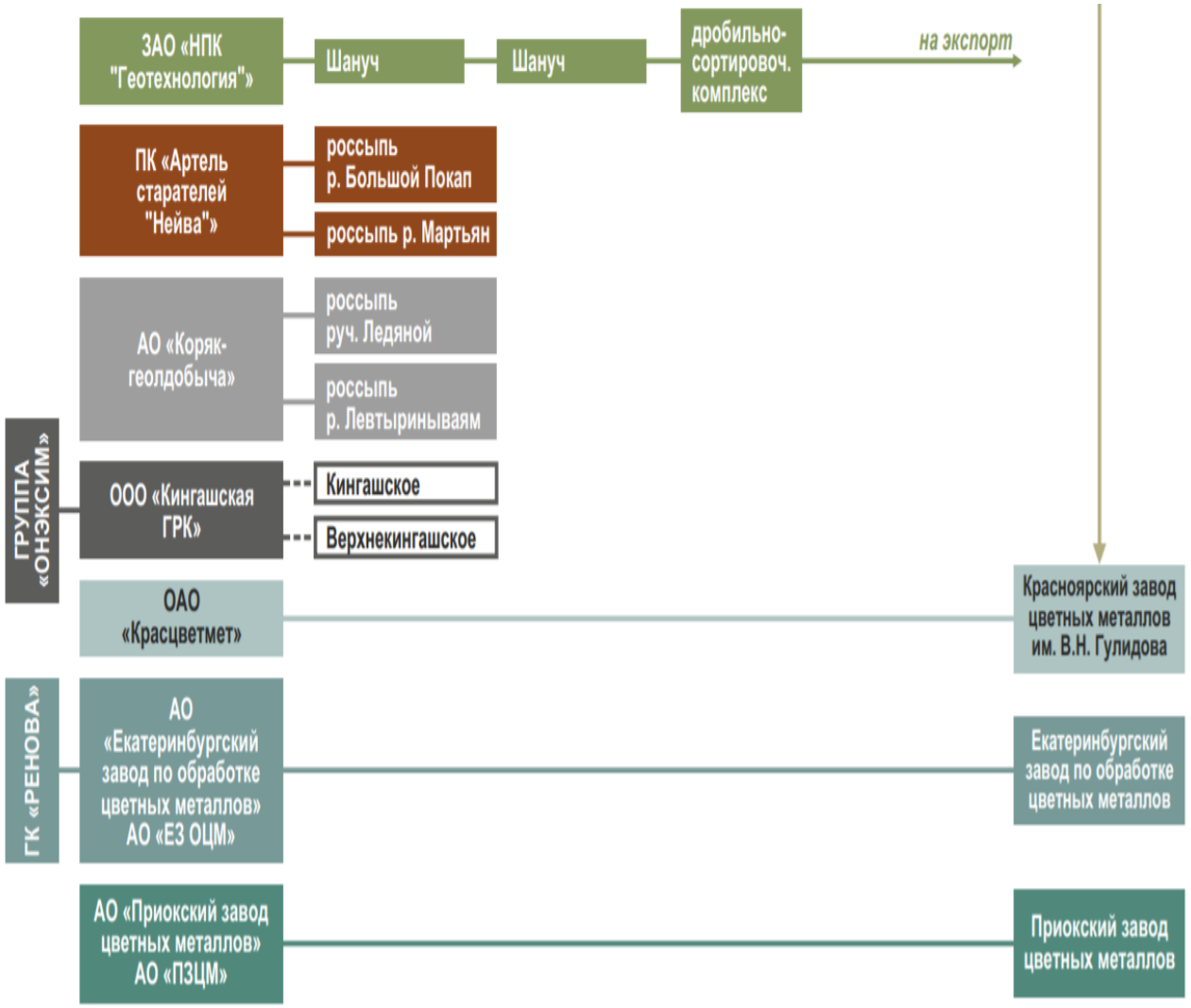
Мировые ресурсы: мировые ресурсы МПГ оцениваются в общей сложности более чем в 100 миллионов килограммов. Самые большие запасы находятся в комплексе Бушвельд в Южной Африке. [Mineral Commodity Summaries-2020. USGS.]

Переработка: около 116 тонн палладия и платины было извлечено во всем мире из нового и старого лома в 2018 году, включая около 49 тонн, извлеченных из автомобильных каталитических нейтрализаторов в Соединенных Штатах. [Mineral Commodity Summaries-2020. USGS.]

Структура платиноидной промышленности Российской Федерации

[О состоянии и использовании … 2019]





Цена

Динамика среднегодовых биржевых цен на МПГ по данным Лондонской ассоциации рынка драгоценных металлов (LBMA) в 2009–2018 гг., долл./тр. Унция. [О состоянии и использовании … 2019]

- Мировое потребление платиноидов в последние годы показывало тенденцию к росту доли палладия на фоне снижения доли платины, что нашло отражение и в среднегодовых мировых ценах на оба металла.
- Рынок палладия, наоборот, находится в устойчивом состоянии дефицита, начиная с 2010 г., преимущественно благодаря непрерывно растущему спросу на металл со стороны отраслей, использующих катализаторные сетки. Динамика среднегодовых цен на палладий в целом имела тренд на увеличение, за прошедшее десятилетие продемонстрировав почти четырехкратный рост. В 2018 г. средняя за год стоимость тонны палладия впервые превысила стоимость платины. [О состоянии и использовании … 2019]

Заключение

- В России палладий относится к стратегическому, но не дефицитному сырью [Стратегия развития минерально-сырьевой базы … от 22.12.2018 г]
- Месторождения относятся к магматическому и россыпному типу. [Авдонин В.В., ..Месторождения металлических полезных ископаемых, 2005]
- Подавляющая часть запасов РФ (93%) находится на территории Красноярского края.
- Руды с промышленным содержанием палладия на территории РФ делятся на 2 типа: собственно МГП руды и медно-никелевые руды.
- Россия является ведущим поставщиком палладия.
- За последние 10 лет цена на палладий возросла в 3,5 раза в связи с его большой востребованностью в мире. [О состоянии и использовании … 2019]

Список литературы

1) Авдонин В.В., Бойцов В.Е., Григорьев В.М., Семинский Ж.В., Солодов Н.А., Старостин В.И., Месторождения металлических полезных ископаемых, Трикста, Москва, 2005.
2) О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018. Государственный доклад. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Москва 2019.
3) Палладий // Химическая энциклопедия : в 5 т. / Гл. ред. И. Л. Кнунянц. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1992. — Т. 3: Меди—Полимерные. — С. 440—441. — 639 с
4) 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.
5) Gunn G. (ed), Critical Metals Handbook, Wiley-Blackwell, 2014.
6) Mineral Commodity Summaries-2020. USGS.
7) Интернет ресурс: https://k-tree.ru/tools/chemistry/periodic.php?element=Pd
8) Интернет ресурс: https://wiki.web.ru/wiki/Палладий