«Стратегическое, дефицитное и критическое минеральное сырье» (благородные металлы)

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

Благородные металлы

- К благородным металлам относятся золото, серебро, платина и тесно связанные с нею, объединяемые по своим свойствам в «металлы платиновой группы», платиноиды – осмий, иридий, палладий, рутений и родий.
- Благородные металлы обладают химической стойкостью, тугоплавкостью (кроме золота и серебра), красивым внешним видом в изделиях (отсюда название)
- Благородные металлы входят в две группы периодической системы Д.И.Менделеева. Две триады платиновых металлов: лёгкие (рутений, родий, палладий) и тяжелые (осмий, иридий, платина) – входят в восьмую группу системы вместе с железом, кобальтом и никелем. Золото, вместе с серебром и медью, принадлежит ко второй подгруппе первой группы.

Благородные металлы (свойства*)

металл	ат. номер Z	ат. масса A	уд. вес D	ат. объем A/D	$t_{пл}$,°C	твердость Бриннель/ Моос	крист. решетка, Å
Ru	44	101,07	12,20	8,28	2450	220/6,5	2,6987
Rh	45	102,906	12,41	8,29	1966	139/-	3,7957
Pd	46	106,4	12,16	8,75	1553	49/4,8	3,8824
Ag	47	107,868	10,49	10,28	960,5	50/2,7	4,077
Os	76	190,2	22,48	8,46	2700	-/7,0	2,7304
Ir	77	192,22	22,42	8,57	2454	172/6,5	3,8312
Pt	78	195,09	21,40	9,12	1773	47/4,3	3,9158
Au	79	196,967	19,26	10,23	1063	45/2,5	4,070

***Цвет: Ru** – серебристо-белый; **Rh** – сходен с Al, слегка голубоватый; **Pd** – серебристо-белый; **Ag** – белый; **Os** – оловянно-белый с серо-голубым оттенком; **Ir** – средний между серебром и оловом, слегка сероватый; **Pt** – серебристо-белый; **Au** – желтый.

Схема строения электронных оболочек благородных металлов*

Оболочка (энерг. уровень)	^{44}Ru	^{45}Rh	^{46}Pd	^{47}Ag	^{76}Os	^{77}Ir	^{78}Pt	^{79}Au
P					2	2	1	1
O	1	1	0	1	14	15	17	18
N	15	16	18	18	32	32	32	32
M	18	18	18	18	18	18	18	18
L	8	8	8	8	8	8	8	8
K	2	2	2	2	2	2	2	2

*d-элементы

Золото (Au)

Наряду с серебром, платиной, а также палладием, родием, осмием и рутением принадлежит к группе благородных металлов; области использования: обеспечение и валюта при международных платежах и расчетах, ювелирное дело и чеканка монет, электронная и др. промышленность, использующие его сплавы с медью (лигатуры), серебром, платиной и др. металлами, медицина (стоматология и др.).

Минералогия золота

Главный промышленный минерал - ***самородное золото***: тонкодисперсное (до 10 мкм), мелкое (до 0,1 мм), среднее (до 1 мм), крупное (до 5 мм) и самородки (более 5 мм или более 10 г по массе); его качество определяется содержанием Au в 1000 ед. по массе как высокопробное (более 900), средней пробности (900-700) и низкопробное (менее 700); известны также ***интерметаллические соединения***: *элетрум* - Au,Ag, *кюстелит* - Ag,Au, *аурикуприд* - AuCu3, *ауростибит* - AuSb2, *родит* – Au(Rh,Ir,Pd); ***теллуриды:*** *калаверит* - AuTe2, *сильванит* – (Au,Ag)Te4, *креннерит* - (Au,Ag)Te2, *петцит* Ag3AuTe2 и др.; ***антимониды –*** *ауростибит* – AuSb2; ***селениды*** – *фишессерит* Ag3AuSe2 и др.

Содержания «рудного» и «россыпного» золота:

в коренных ***золоторудных*** месторождениях в зависимости от масштаба и типа оруденения – 1-5 г/т и более; в ***золотосодержащих*** (Au – попутный компонент) оно может быть ниже: в ***россыпях*** минимальное содержание около 0,1 г/м3.

Группировка месторождений по разведанным запасам:

1. ***весьма крупные*** (запасы Au – 100 т и более; для россыпей – 50 т и более);
2. ***крупные*** (запасы Au – 50-100 т; для россыпей – 25-50 т);
3. ***средние*** (запасы Au – 10-50 т; для россыпей – 1-25 т);
4. ***мелкие*** (запасы Au – до 10 т; для россыпей – до1 т).

Извлечение золота:

Наряду с дроблением, дезинтеграцией, грохочением, измельчением, промывкой, применяются ***амальгамирование*** (избирательное смачивание ртутью частиц золота с образованием амальгам), ***цианирование*** (избирательное растворениезолота в цианидах щелочных металлов) и др. методы; внедряются технологии ***бактериального*** и ***кучного выщелачивания*** золота из руд и концентратов.

Генетические типы месторождений золота:

1. скарновый – *Ольховское, Никел Плейт, Холдон и др.*
2. **плутоногенный гидротермальный**: Au-Q – *Мурунтау*;
   Au-Q-сульфидные – *Дарасун*, *Березовское, Колар*; а так же
   – Au-содержащие Cu-порфировые месторождения;
3. **вулканогенный гидротермальный**: Au-Q-халц.-сульфидные – *Сильвертон, Балей*; Au-Ag-Q-адуляровые – *Карамкен*; Au-сульфидные (Au-полимет. и Au-колч.) – *Ново-Широкинское, Майское* и многие др. м-ния Урала, Рудного Алтая и др. регионов;
4. **флюидно-метаморфогенный**: Au-малосульф. чернос. – *Сухой Лог, Юрское*; Au-сульф. зеленокам. – *Зуя-Холбинское*;
5. **осадочно-метаморфогенный**: Au-конгл. - *Витватерсранд, Жакобина, Тарква*;
6. выветривания – в зонах окисления сульфидных Au-содержащих месторождений;
7. **россыпи**- в первую очередь – аллювиальные долинные и террасовые – *р. Бодайбо*; прибрежно-морские – *Ном*.

Мировая МСБ золота

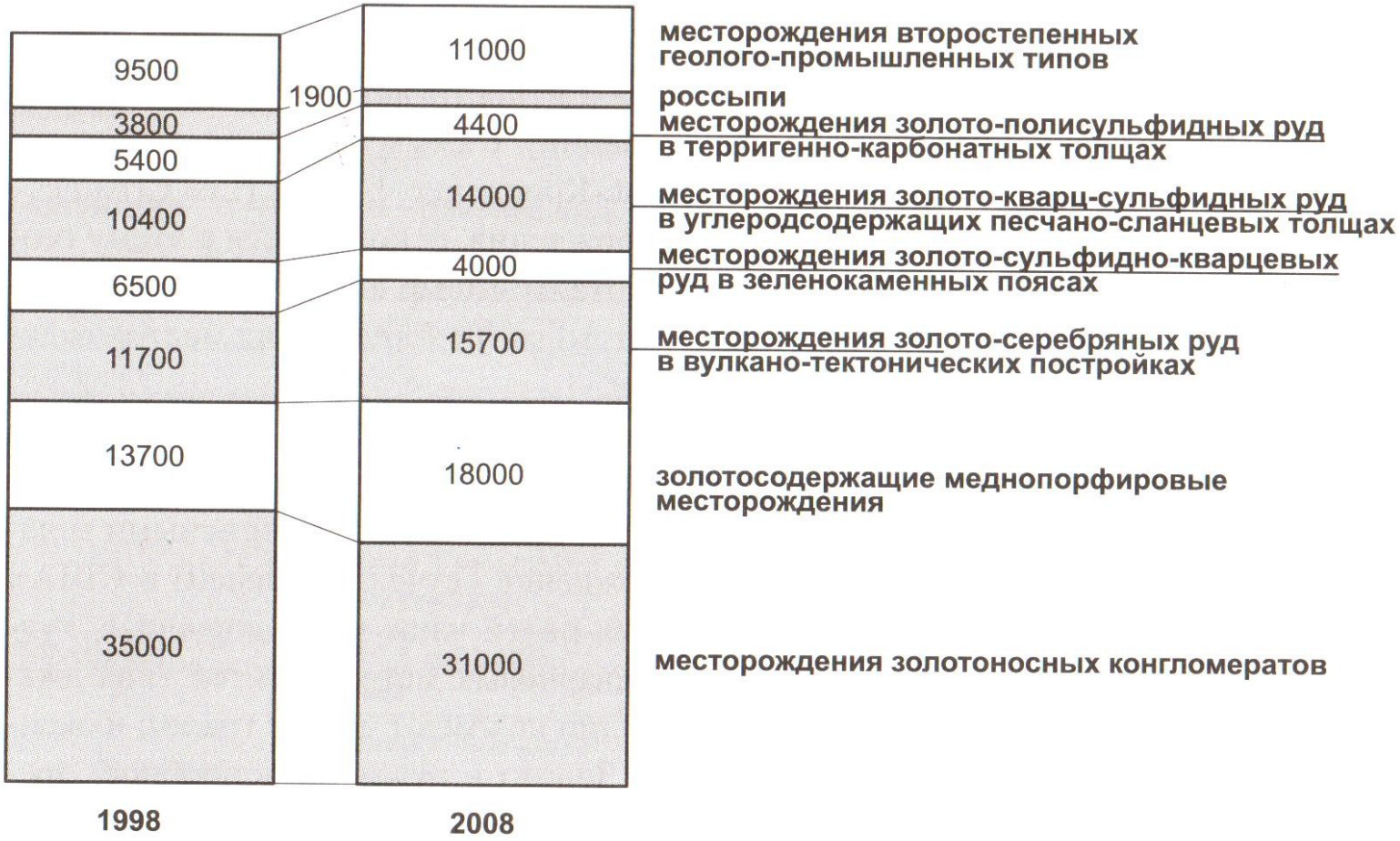


Рис. 1. Изменение структуры мировых запасов золота за период 1998–2008 гг., тонн (оценка)

Мировая МСБ золота

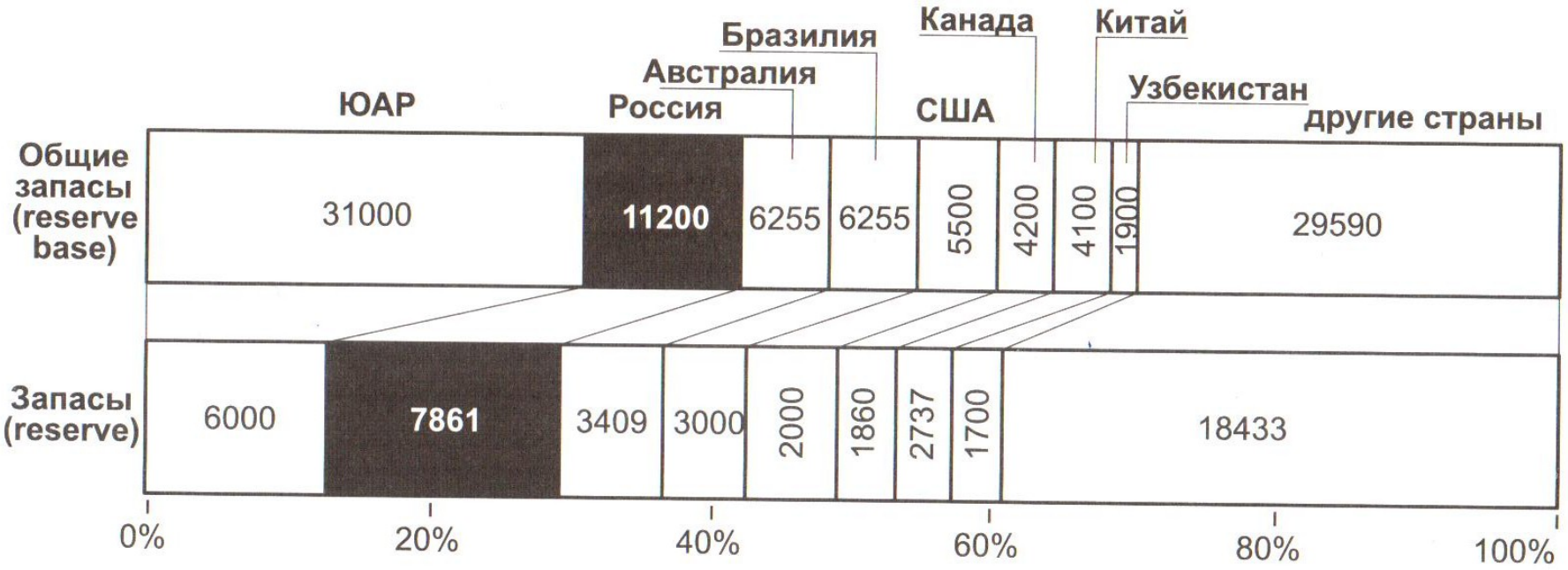


Рис. 2. Географическое распределение общих запасов (reserve base) и запасов (reserves) золота в 2008 г., тонн [29, *с.305–308*]

Мировая МСБ золота

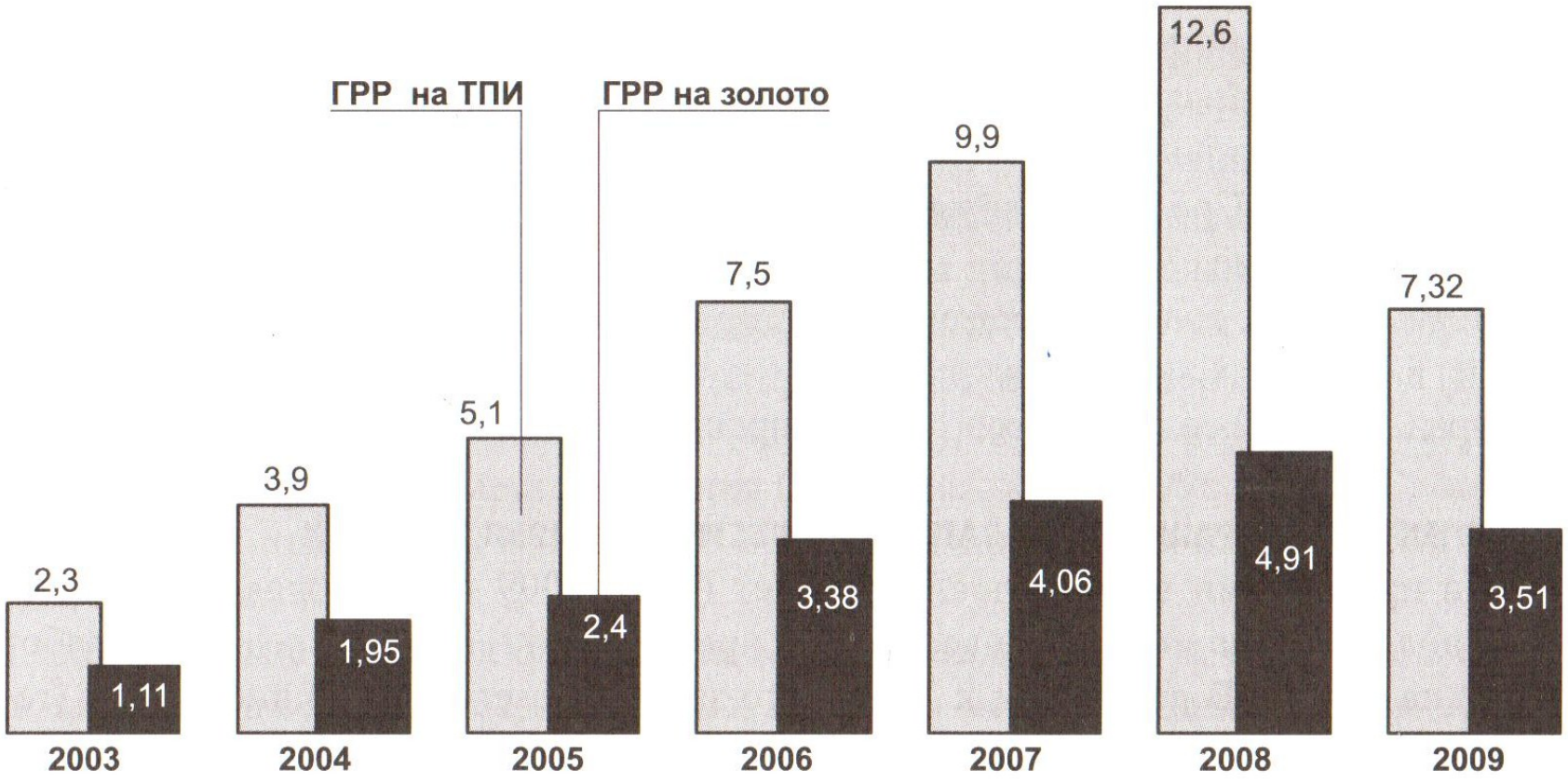


Рис. 3. Динамика мировых затрат на геологоразведочные работы на золото и на твердые полезные ископаемые (ТПИ), включая золото, в 2003–2009 гг., млн долл.

Мировая добыча золота

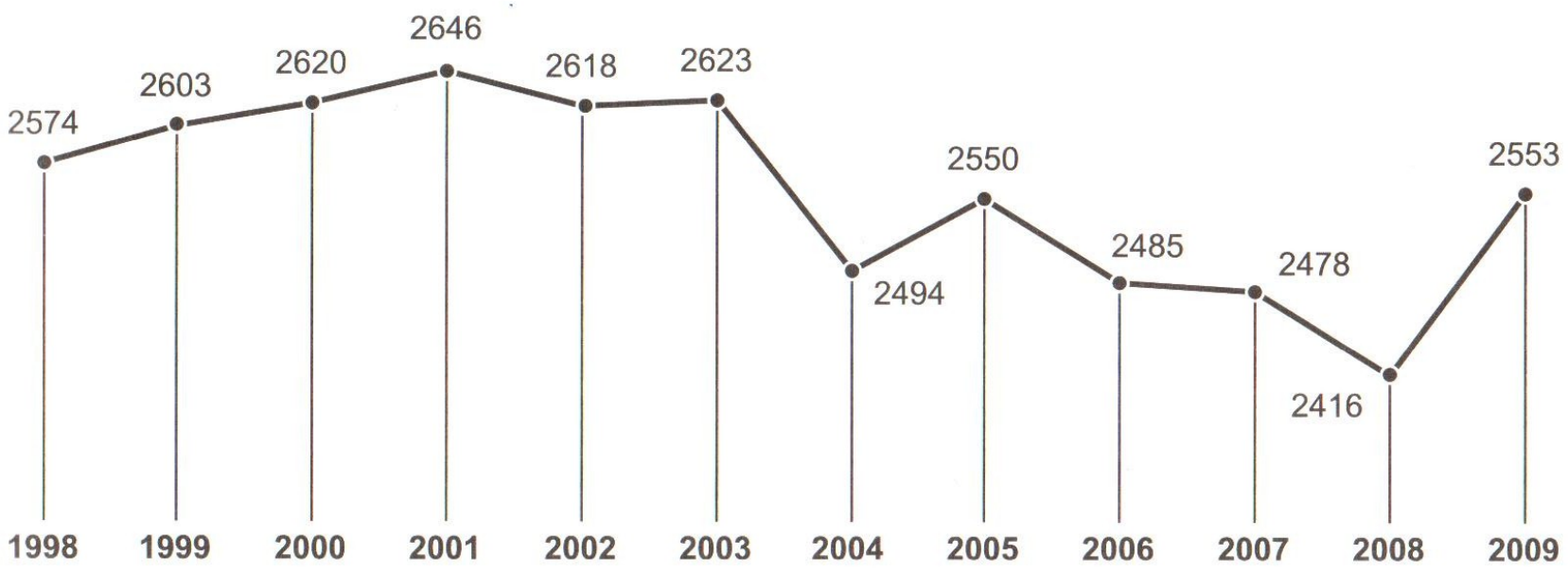


Рис. 4. Динамика мировой добычи золота в 1998–2009 гг., тонн [11; 118, *с.7*]

Мировая добыча золота

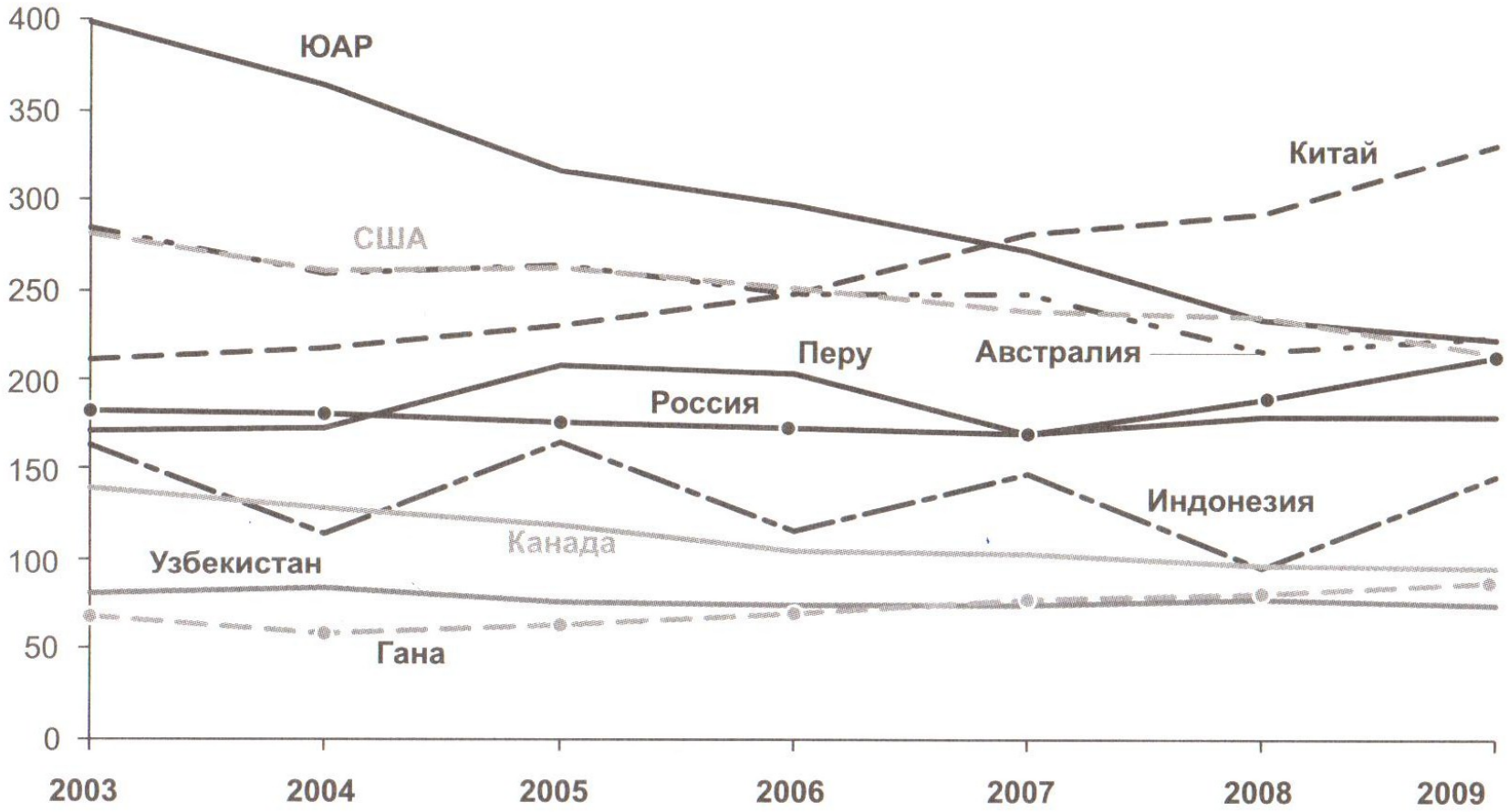


Рис. 5. Динамика добычи золота в главных странах-продуцентах в 2003–2009 гг., тонн [49, *с.19*; 118, *с.40–41*]

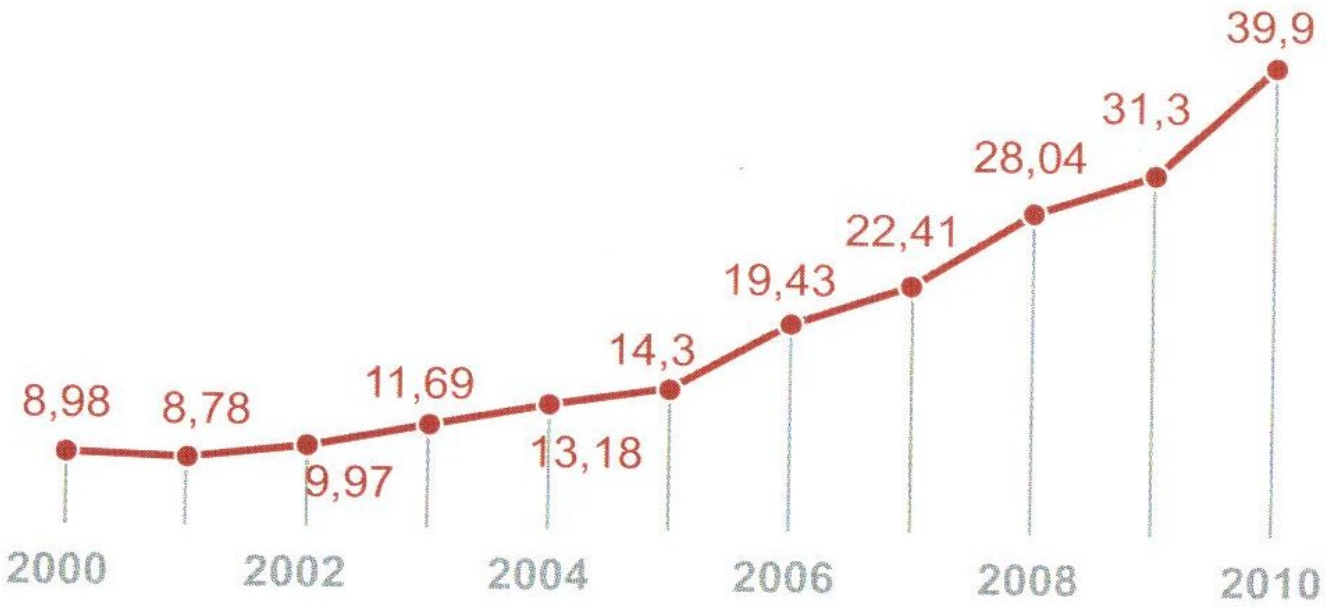
Мировое потребление золота в промышленности

Рис. 10. Динамика мирового потребления золота в промышленности (тонн) и среднегодовых цен золота (долл./г) в 1998–2008 гг. [118]

Мировое потребление золота ювелирной промышленностью

Рис. 11. Региональная структура мирового потребления золота ювелирной промышленностью в 2008 г., % [12]

Рынок: среднегодовые цены на золото



Среднегодовые цены на золото на Лондонском рынке драгоценных металлов в 2000-2010 гг., дол./г

МСБ золота РФ

Состояние МСБ золота Российской Федерации на 1.01.2010 г., тонн

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
количество*	4841,7	7415	10128,8
изменение по отношению к ресурсам на 1.01.2009 г.	1409,6	538,5	1219,3

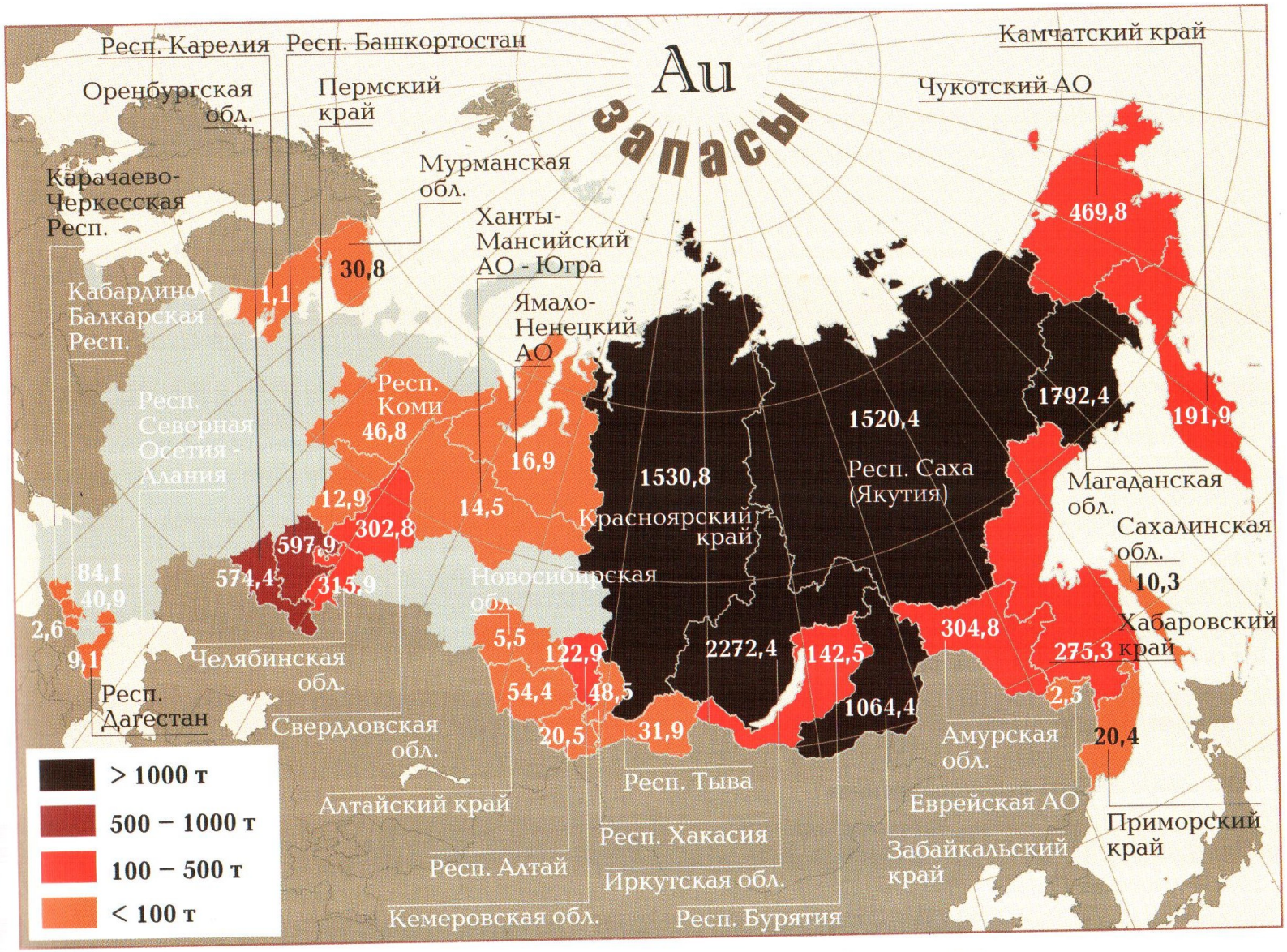
Запасы	разведанные ($A+B+C_1$)	предварительно оцененные (C_2)
количество	7958,2	3974
изменение по отношению к запасам на 1.01.2009 г.	97,5	634,9
доля распределенного фонда, %	70	71

*только в собственно золоторудных коренных месторождениях

Использование МСБ золота Российской Федерации в 2009 г.

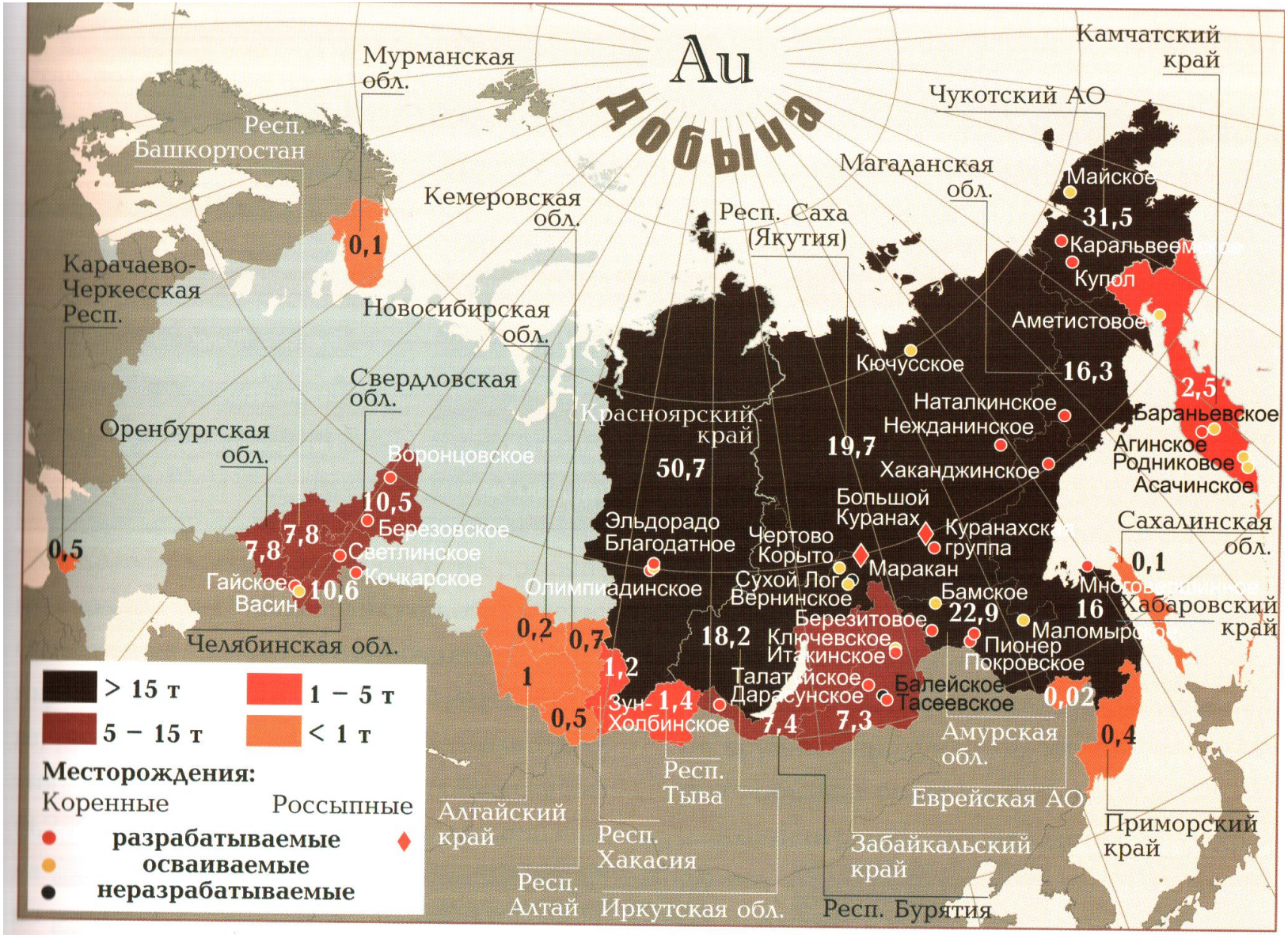
Число действующих эксплуатационных лицензий	1399
Число действующих лицензий на условиях предпринимательского риска	726
Добыча из недр, т	235,1
Производство на аффинажных заводах, т	192,8
Экспорт, т (оценка)	27
Потребление ювелирной промышленностью, т (данные Российской государственной пробирной палаты)	68,2
Потребление в технических целях, т (оценка)	12,3
Средняя за 2010 г. цена золота на Лондонском рынке драгоценных металлов, дол./г	39,9
Ставка налога на добычу	6%

МСБ золота РФ



Распределение балансовых запасов золота по субъектам РФ, тонн

Добыча золота в РФ



Основные месторождения и добыча золота в субъектах РФ в 2009 г., тонн

По данным Геологической Службы США

(USGS, Mineral Commodity Summaries-2020)

- Главнейшие потребители Au в США: исключая золотые слитки, в стране 50% металла – в ювелирной промышленности, 37% - в электрике и электронике, 8% - в изготовлении монет, 5% - прочее.
- Рециклинг Au. В 2019 г около 130 т металла (почти 87% его годового потребления США) получено в стране переработкой скрапа; доля рециклинга возросла на 11% по сравнению с 2018 г.
- Рудничное производство Au в мире в 2019 году составило (как и годом ранее) 3,3 тыс. т, почти половина которого приходится на Китай – 420 т (12,7%), Австралию – 330 (10), РФ – 310 (9,4), США – 200 (6,1), Канаду – 180 (5,4) и Индонезию – 160 (4,8).
- Мировые запасы (reserves) Au составляют 50 тыс.т, иэ которых в Австралии – 10 тыс.т (20,0%), РФ – 5,3 (10,6), ЮАР – 3,2 (6,4), США – 3,0 (6,0), Индонезии – 2,6 (5,2), Бразилия – 2,4 (4.8); доля этих стран – более половины от мировых.
- Мировые ресурсы (resources) Au оцениваются в 33 тыс.т, из которых – 15 тыс.т установленных (identified) и 18 тыс.т неустановленных (undiscovered).

Серебро (Ag)

Наряду с золотом, платиной, а также палладием, родием, осмием и рутением принадлежит к группе благородных металлов; области использования: ювелирное дело, чеканка монет и медалей, изготовление художественных изделий и посуды, электронная и др. технические отрасли промышленности (в том числе нанотехнологии и солнечная энергетика), производство фотоматериалов, инвестиции и др..

Минералогия серебра

Известно около 60 минералов Ag – сульфидов, сульфосолей, теллуридов, селенидов и галоидов. Важнейшее промышленное значение имеют самородное серебро – Ag (80-100% металла; примеси Au, Cu, а также Fe, Sb, Bi, Hg; известны самородки массой до 20 т), аргентит – Ag_2S, пираргирит – Ag_3SbS_3, прустит - Ag_3AsS_3, полибазит – $(Ag,Cu)_{16}Sb_2S_{11}$, стефанит – Ag_5SbS_4, фрейбергит – $(Ag,Cu,Fe)_{12}(Sb,As)_4S_{13}$ и др.

Содержание серебра в рудах

Содержание серебра в рудах месторождений цветных металлов варьирует в пределах 10-100 г/т, в золотосеребряных месторождениях – 200-1000 г/т, в собственно серебряных – 900 -1000 г/т и более. Нижний предел содержания серебра в промышленных рудах составляет от 45-50 до 200 г/т.

Извлечение серебра

Руда, содержащая Ag, дробится, измельчается и подвергается обогащению с получением шлама. Обычно проводят предварительное гравитационное отделение крупных частиц Ag, чтобы не допустить их переизмельчение.

При извлечении Ag из серебряных и золотых руд применяют метод цианирования (растворение Ag в щелочном растворе NaCN).

Из медных руд Ag выплавляют вместе с черновой Cu и затем выделяют его из анодного шлама, образующегося при электролитической очистке Cu.

При переработке свинцово-цинковых руд Ag концентрируется в черновом Pb, из которого его извлекают добавлением металлического Zn, образующего с Ag нерастворимое в Pb тугоплавкое соединение. Далее для отделения Ag от Zn последний отгоняют при 1250°C.

Извлеченное из медных или свинцово-цинковых руд Ag сплавляют и подвергают электролитической очистке.

Геолого-промышленные типы месторождений серебра

Среди собственно серебряных месторождений выделяют:

плутоногенные гидротермальные (Ag-As и Ag-Pb рудных формаций) и ***вулканогенные гидротермальные*** (Ag-Au и Ag-Sn рудных формаций).

Среди серебросодержащих месторождений выделяют:

колчеданно-полиметаллический в вулканогенно-осадочных и карбонатно-терригенных формациях фанерооя (*Брансуик* в Канаде, *Ред-Дог* в США, *Хелмер* в Австралии и др.); ***колчеданно-полиметаллический*** в метаморфических и вулканогенно-терригенно-карбонатных толщах докембрия (*Маунт-Айза, Брокен-Хилл* в Австралии, *Кидд-Крик, Салливан* в Канаде); ***медно-порфировый*** (*Чукикамата,Эль-Тениенте* в Чили, *Бингем* в США, *Торомоча* в Перу, *Серро-Колорадо* в Панаме); ***золотоносные конгломераты*** (*Витватерсранд* в ЮАР); ***скарновый*** (*Серро-де-Паско* в Перу, *Трепча* в Сербии); ***медистых песчаников и сланцев*** (*Люблин, Глогув* в Польше, *Зангерхаузен, Ширенберг* в Германии)

Мировая МСБ серебра

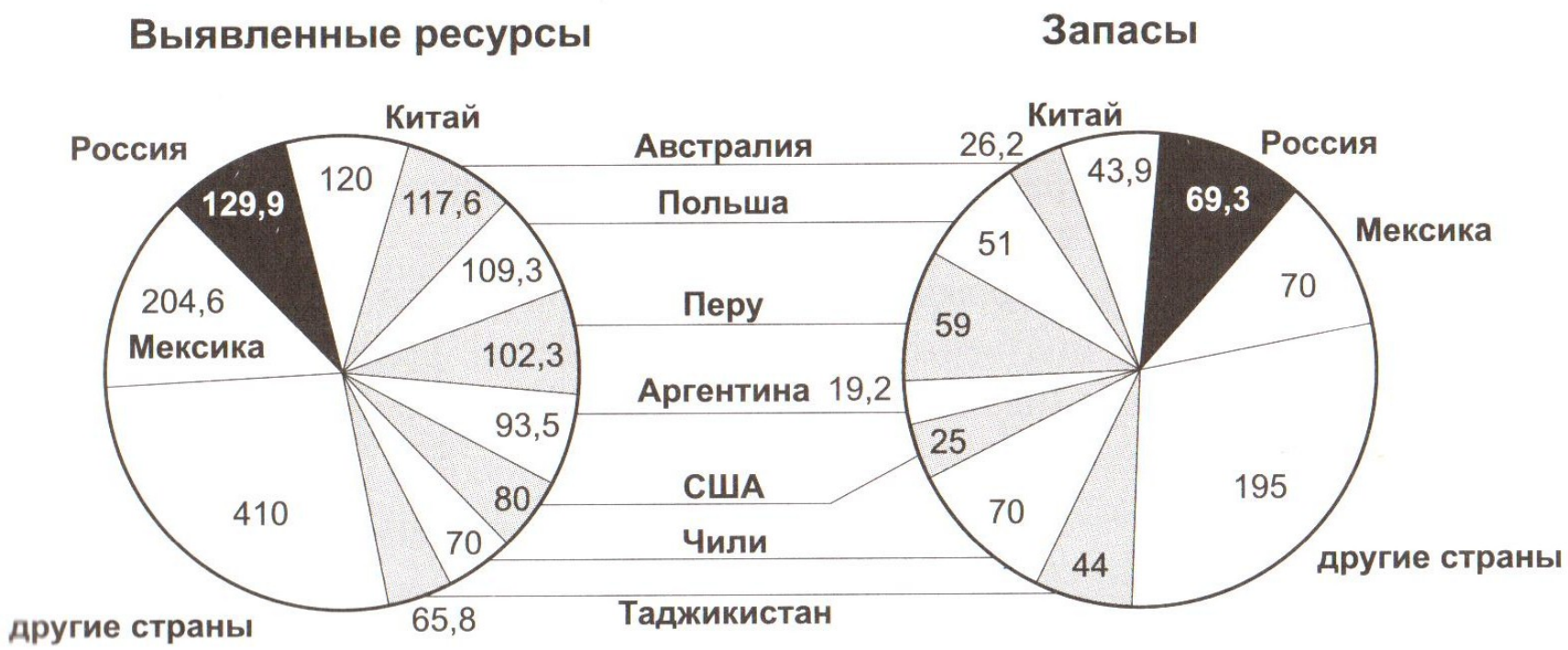


Рис. 2. Распределение мировых выявленных ресурсов и запасов серебра на 01.01.2009 г., тыс.т

Мировая добыча серебра

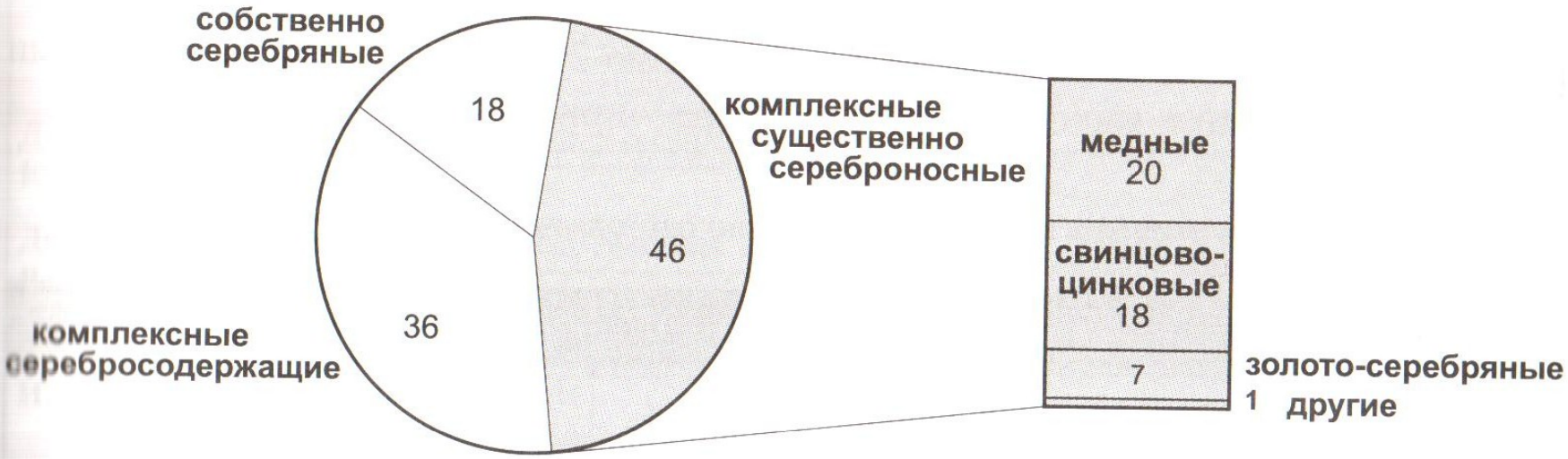


Рис. 1. Доля месторождений разных геолого-промышленных типов в добыче серебра, % [246]

Мировая добыча серебра

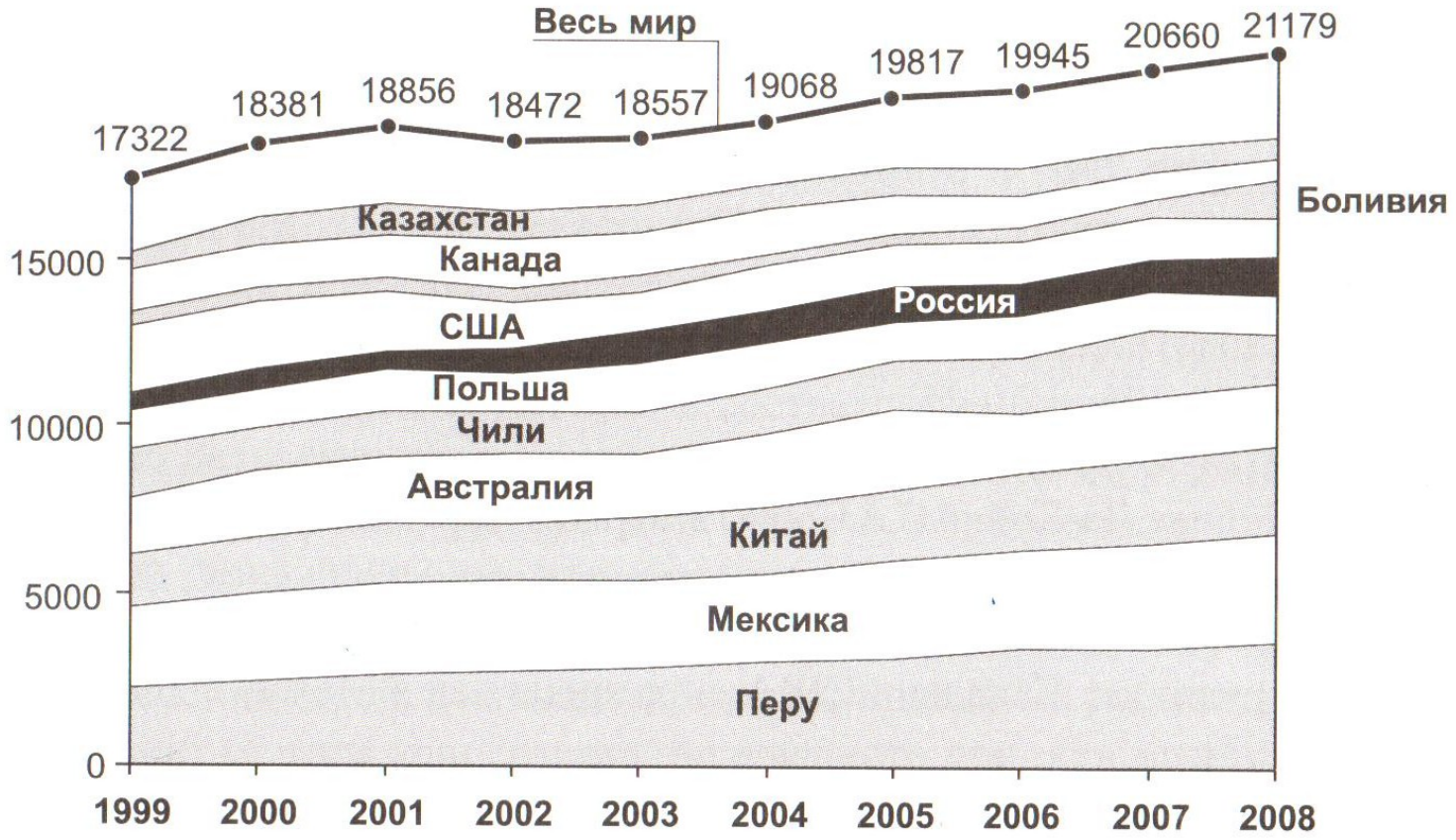


Рис. 3. Динамика мировой добычи серебра в 1999–2008 гг., тонн [306, *с.26–27*]

Мировое производство серебра из вторичного сырья

Рис. 5. Географическая структура производства серебра из вторичного сырья в 2008 г., % [306, *с.41–42*]

Мировое потребление серебра

Рис. 6. Структура мирового потребления серебра в 2009 гг., % [282]

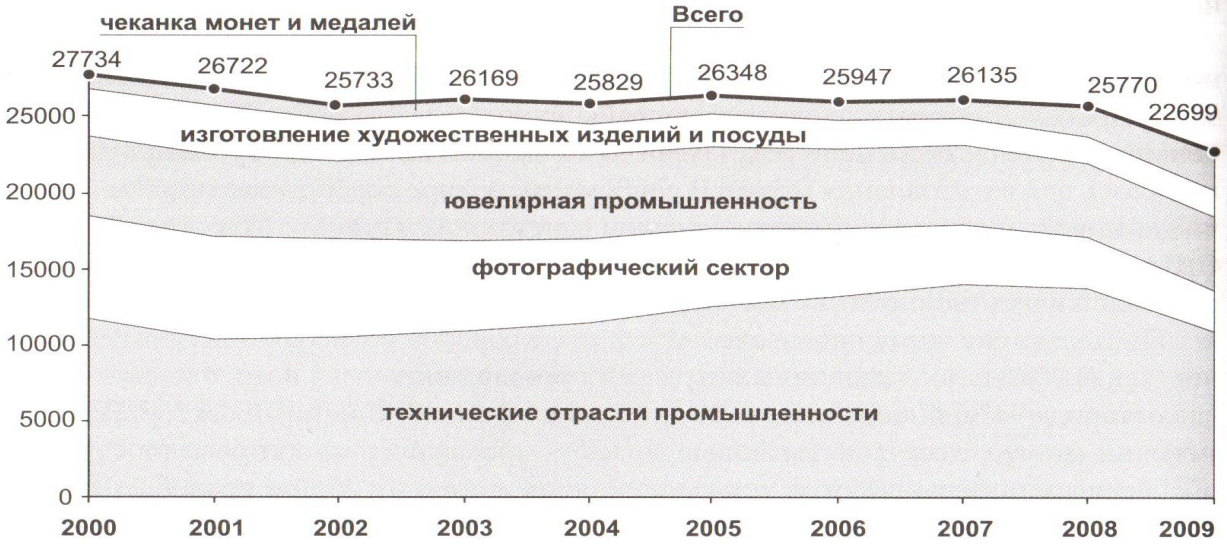


Рис. 7. Динамика спроса на серебро в сфере производства в 2000–2009 гг., тонн [282; 306, *с.79*]

Мировое потребление серебра в сфере производства

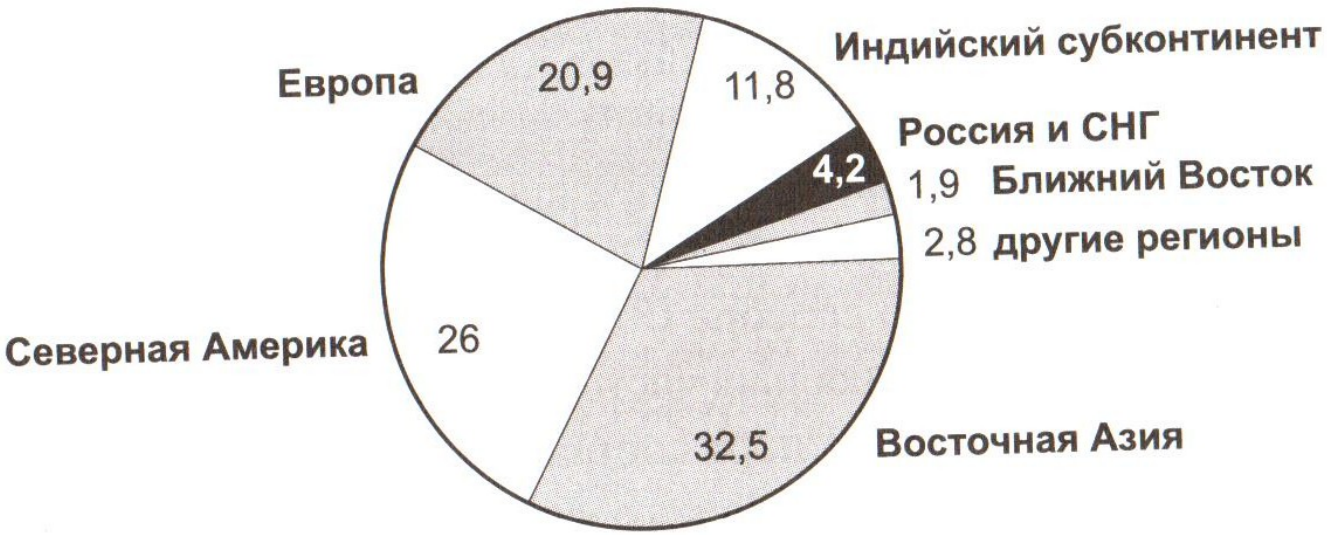
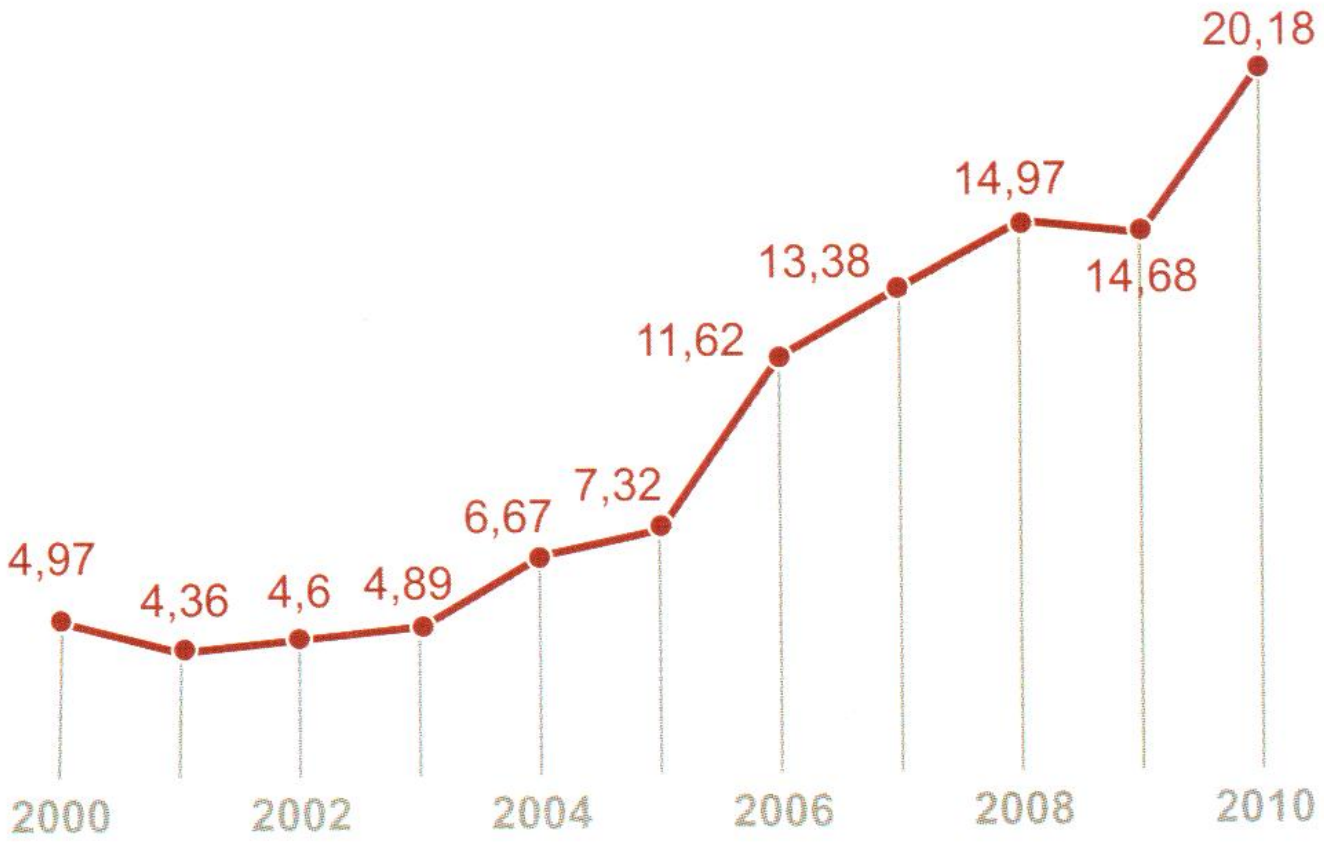


Рис. 8. Региональная структура потребления серебра в сфере производства в 2008 г., %

[306, с.84–85]

Рынок: среднегодовые цены на серебро



Среднегодовые цены на серебро в 2000-2010 гг. на бирже «Comex», дол./тр.унц.

Мировое производство, потребление и цена серебра

Рис. 11. Динамика мирового производства и потребления серебра и среднегодовой цены серебра на Лондонском рынке драгоценных металлов в 2001–2008 гг. [280; 305, с. 79; 306, с. 79]

МСБ серебра РФ

Состояние МСБ серебра Российской Федерации на 1.01.2010 г., тыс.т

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
количество	27,7	79,3	47,7
изменение по отношению к ресурсам на 1.01.2009 г.	2,1	0,48	0

Запасы	разведанные ($A+B+C_1$)	предварительно оцененные (C_2)
количество*	68,1	51,2
изменение по отношению к запасам на 1.01.2009 г.	-0,1	1,3
доля распределенного фонда, %	94,4	65,8

* без запасов в отвалах и хвостохранилищах

Использование МСБ серебра Российской Федерации в 2009 г.

Число действующих эксплуатационных лицензий	170
Число действующих лицензий на условиях предпринимательского риска	51
Добыча из недр, т	1952,9
Производство аффинированного металла*, т	1590
Экспорт серебра*, т	1300
Среднегодовая цена на бирже «Comex» в 2010 г., дол. за тройскую унцию	20,18
Ставка налога на добычу	6,5%

* оценка

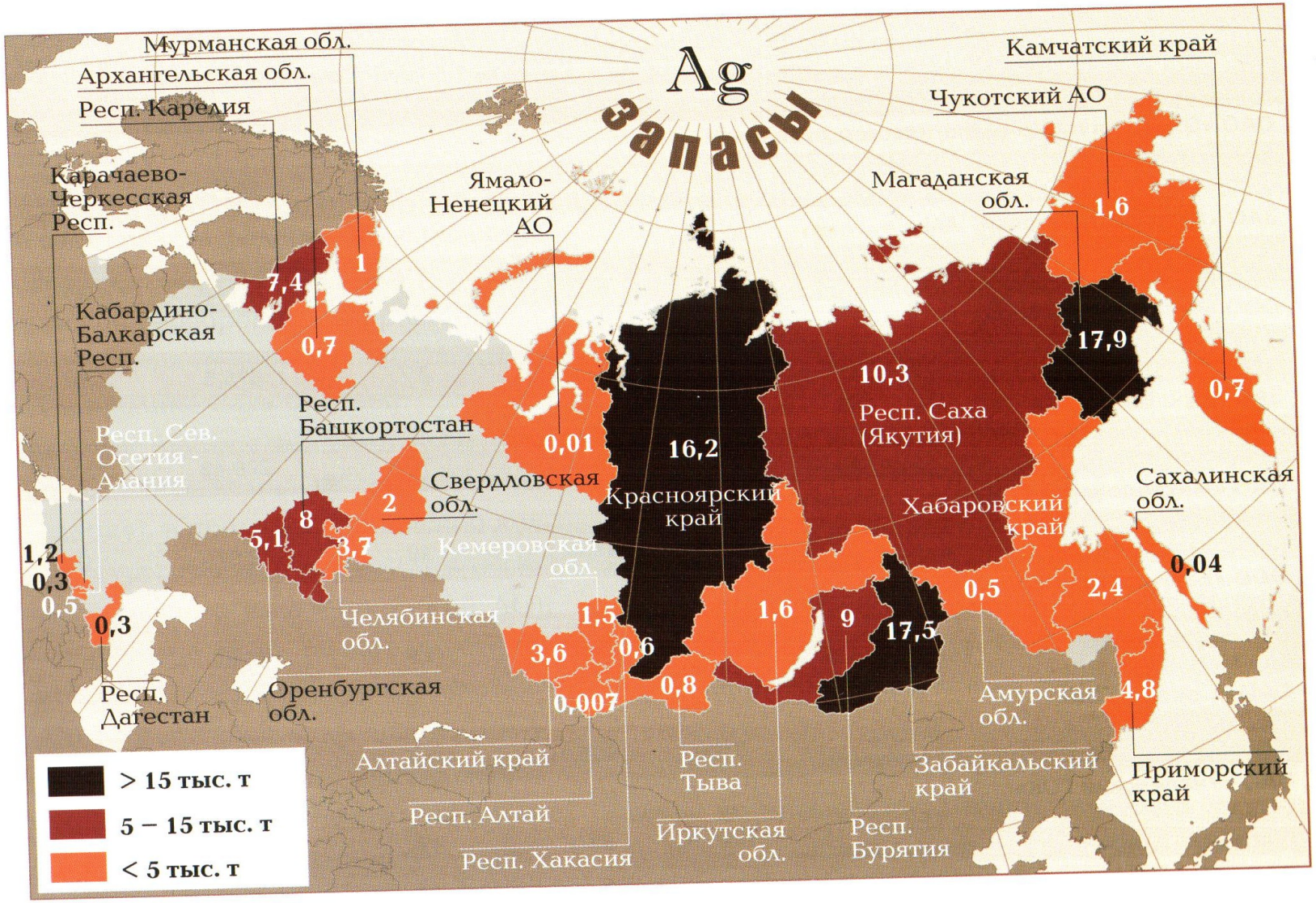
МСБ серебра в России

Таблица 2. Подтвержденные запасы серебра в сереброносных рудах месторождений России

МЕСТОРОЖДЕНИЕ	РУДЫ	ЗАПАСЫ $A+B+C_1$, ТОНН	СРЕДНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЕБРА, г/т	ДОЛЯ В ЗАПАСАХ РОССИИ, %
Дукатское (Магаданская область)	Золото-серебряные	9511	640,3	13,7
Удоканское (Забайкальский край)	Медистые песчаники и сланцы	7345	10,0	10,6
Октябрьское (Красноярский край)	Медно-никелевые	4586	5,1	6,6
Горевское (Красноярский край)	Свинцово-цинковые колчеданные	4522	55,9	6,5
Озерное (Республика Бурятия)	Свинцово-цинковые колчеданные	4384	35,0	6,3
Гайское (Оренбургская область)	Медно-колчеданные	3833	10,5	5,5
Холоднинское (Республика Бурятия)	Свинцово-цинковые колчеданные	2776	9,8	4,0
Талнахское (Красноярский край)	Медно-никелевые	2607	3,7	3,8
Подольское (Республика Башкортостан)	Медно-колчеданные	2226	27,6	3,2
Узельгинское (Челябинская область)	Медно-колчеданные	1955	30,6	2,8
Хаканджинское (Хабаровский край)	Серебряно-золотые	1624	344,2	2,3
Лунное (Магаданская область)	Серебряно-золотые	759	403,6	1,1
Всего		**46132**		**66,6**

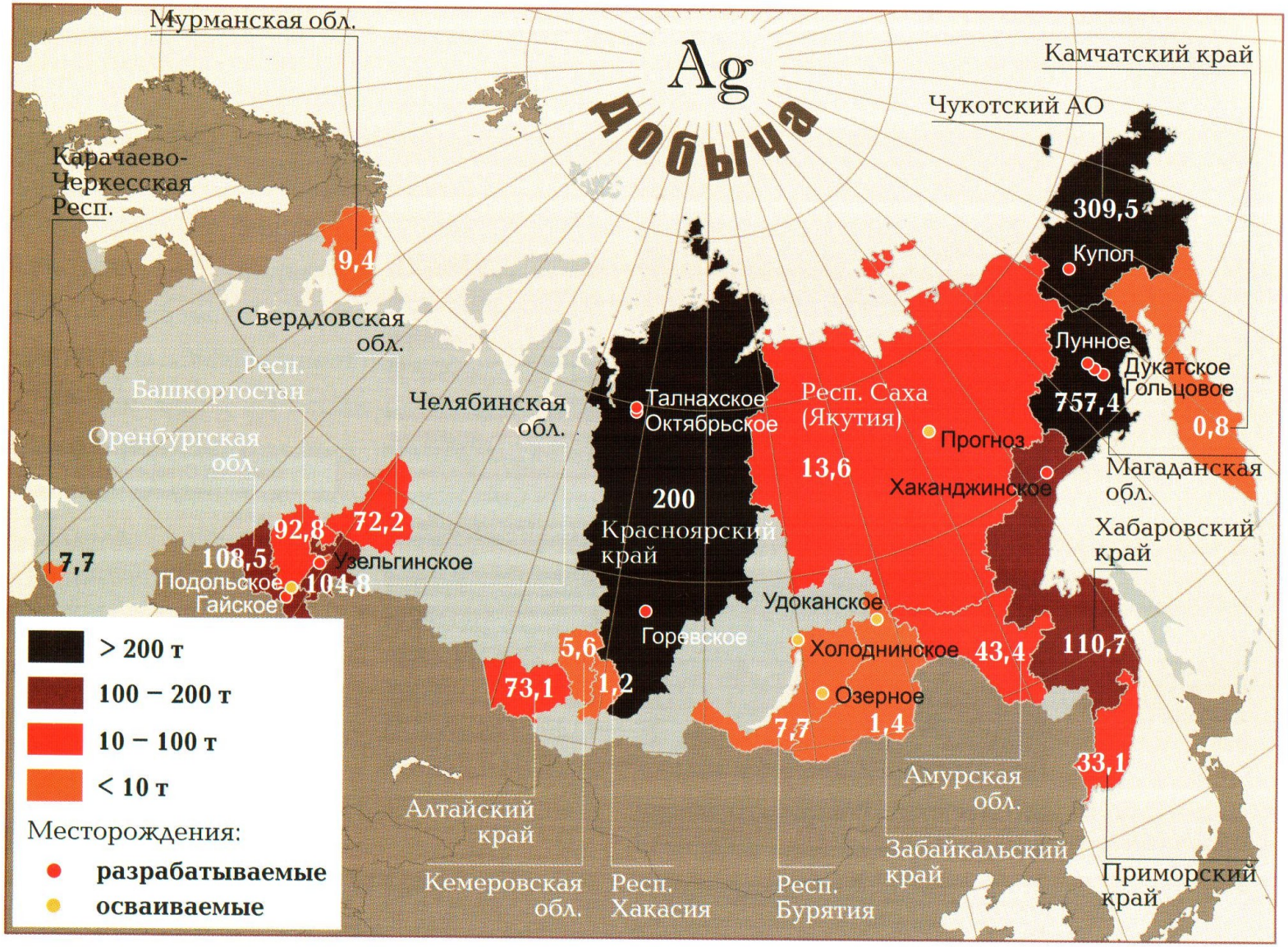
Источники: [8; 64; 139; 240, *с.9*].

МСБ серебра РФ



Распределение балансовых запасов серебра по субъектам РФ, тыс.т

Добыча серебра в РФ



Основные месторождения серебра и распределение его добычи по субъектам РФ в 2009 г., тонн

По данным Геологической Службы США

(USGS, Mineral Commodity Summaries-2020)

- Главнейшие потребители Ag в США (2019): электроэнергетика и электроника – 30%, драгоценности и поделки – 26%, монеты и медали – 12%, фотография – 3%, прочее (противомикробный бандаж, одежда, фармацевтика, электрические батарейки, очистка воды, автокатализаторы, зеркала, и др.) - 29%.
- Рециклинг Ag. В 2019 году около 1100 т Ag было получено в США из старого и нового скрапа, что составило около 17% годового потребления металла в стране (6,5 тыс.т – Consumption in 2019).
- Рудничное производство Ag в мире в 2019 году составило 27 тыс. т, которое приходится на Мексику – 6,3 тыс.т (23,3%), Перу – 3,8 (14,1), Китай – 3,6 (13,3), РФ – 2,1 (7,8), Польшу – 1,7 (6,3), Австралию – 1,4 (5,2), Чили – 1,3 (4,8), Аргентина и Боливия– по 1,2 (по 4,4) и США – 1,0 (3,7) и др.
- Мировые запасы (reserves) Ag составляют 560 тыс.т, свыше 90% которых находятся в Перу – 120 тыс.т (21,4%), Польше – 100 (17,8), Австралии – 90 (16,1), РФ – 45 (8,0), Китае – 41(7,3), Мексике – 37 (6,6), Чили – 26 (4,6), США – 25 (4,5) и Боливии – 22 (3,9).
- Мировые ресурсы (resources) Ag связаны преимущественно с Pb-Zn-, Cu-, и Au-рудами, в которых металл является примесью (byproduct); собственно Ag-руды (месторождения) менее значимы.

Металлы платиновой группы (МПГ, PGE)
Pt, Pd, Ir, Rh, Os, Ru

Благодаря сочетанию уникальных физико-химических свойств (тугоплавкости, химической стойкости, каталитической активности, электропроводности, пластичности, свариваемости и др.), МПГ используются как катализаторы (50%), в электротехнической, нефтехимической, автомобильной, медицинской отраслях промышленности (25%), при производстве химической аппаратуры и антикоррозионных покрытий (15%), в ювелирном деле (10%).

Минералогия МПГ

Известно свыше 90 минералов платиноидов. Среди них:

самородные МПГ и их природные сплавы (твердые растворы) – самородная платина (поликсен) Pt, изоферроплатина Pt_3Fe, осмирид IrOs и иридосмин (невьянскит) OsIr, рутениридосмин RuOsIr;

интерметаллические соединения МПГ с Sn, Pb, Bi, As, Sb и Te – рустенбургит Pt_3Sn, паоловит Pt_2Sn, плюмбопалладинит Pd_3Pb_2, соболевскит PdBi, мончеит $PbTe_2$;

сульфиды, арсениды и сульфоарсениды МПГ – куперит (Pt,Pd,Ni)S, брэггит (Pt,Pd,Ni)S, высоцкит (Pd,Ni)S, лаурит RuS_2, сперрилит $PtAs_2$. холингвортит RhAsS, паларстанид $Pd_8(Sn,As)_3$, купроиридоит $CuIr_2S_4$.

Руды МПГ

Промышленными считаются коренные руды с содержанием платиноидов от 3-5 г/т и более. Руды с содержаниями платиноидов 10-15 г/т являются богатыми. Содержание платиноидов в аллювиальных россыпях изменяется от единиц миллиграмов до сотен граммов на 1 м3

Месторождения МПГ по величине разведанных запасов

Крупные м-ния – разведанные запасы платиноидов более 100 т;

Средние м-ния - разведанные запасы платиноидов от 10 до 100 т;

Мелкие м-ния - разведанные запасы платиноидов от 1 до 10 т.

Типы промышленных месторождений МПГ

Раннемагматический (Риф Меренского в Бушвелдском комплексе, Pt-Cr-Cu-Ni формация).

Позднемагматический (Нижнетагильское месторождение, м-ния Кемпирсайского массива, Cr-Pt формация).

Ликвационный (месторождения Норильского района, Cu-Ni-Pt формация).

Россыпи элювиальные, делювиальные, аллювиальные, тесно связанные с коренными источниками платиноидов (сравнительно бедные, но значительные по площади и запасам массивы габбро-пироксенит-дунитового состава, щелочные интрузивы сиенитов; Инаглинское м-ние).

Мировая МСБ МПГ (PGE)

Рис. 1. Распределение подтвержденных запасов МПГ по странам мира (на 1.01.2009 г.), %

Мировое производство МПГ из руд и концентратов

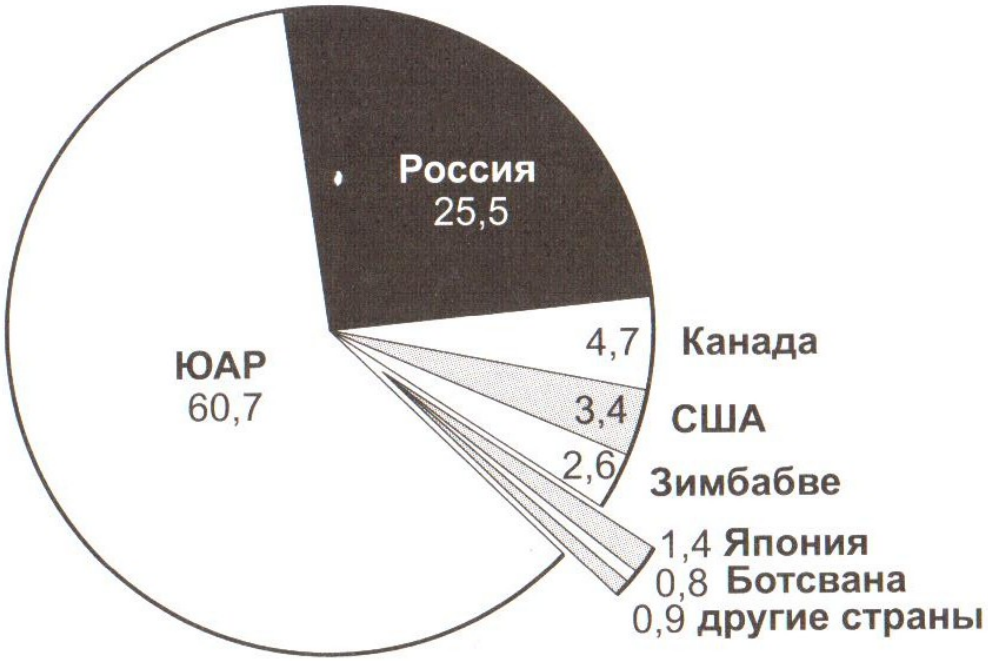


Рис. 3. Структура мирового производства МПГ из руд и концентратов в 2008 г., %

Мировое потребление МПГ (без учета России), %

Рис. 5. Отраслевая структура мирового потребления МПГ (без учета России) в 2009 г., %

Мировое потребление Pt и Pd (без учета России), т

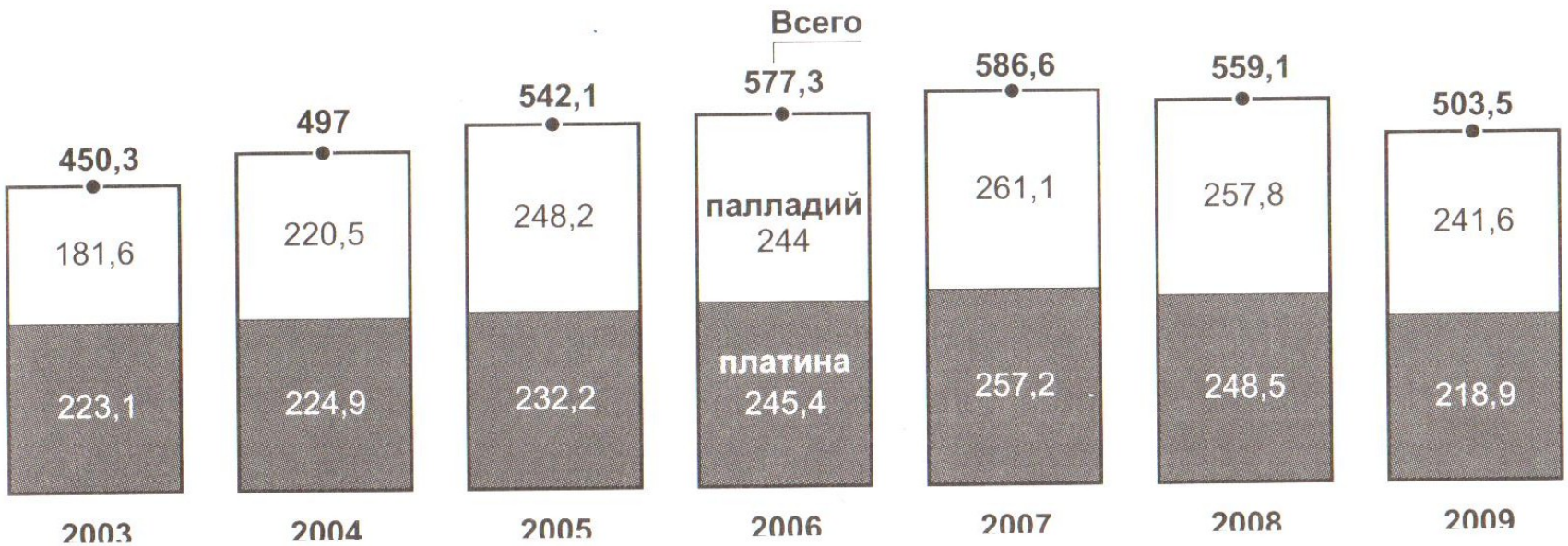


Рис. 6. Динамика мирового потребления МПГ (без учета России), тонн [115, *с.38; 39; 48; 50; 52;* 121,

Мировой спрос на МПГ (без учета России), %

Рис. 8. Распределение спроса на МПГ по регионам мира (без учета России) в 2009 г., % [121]

Среднегодовые цены Pt и Pd на ЛБМ, долл./г

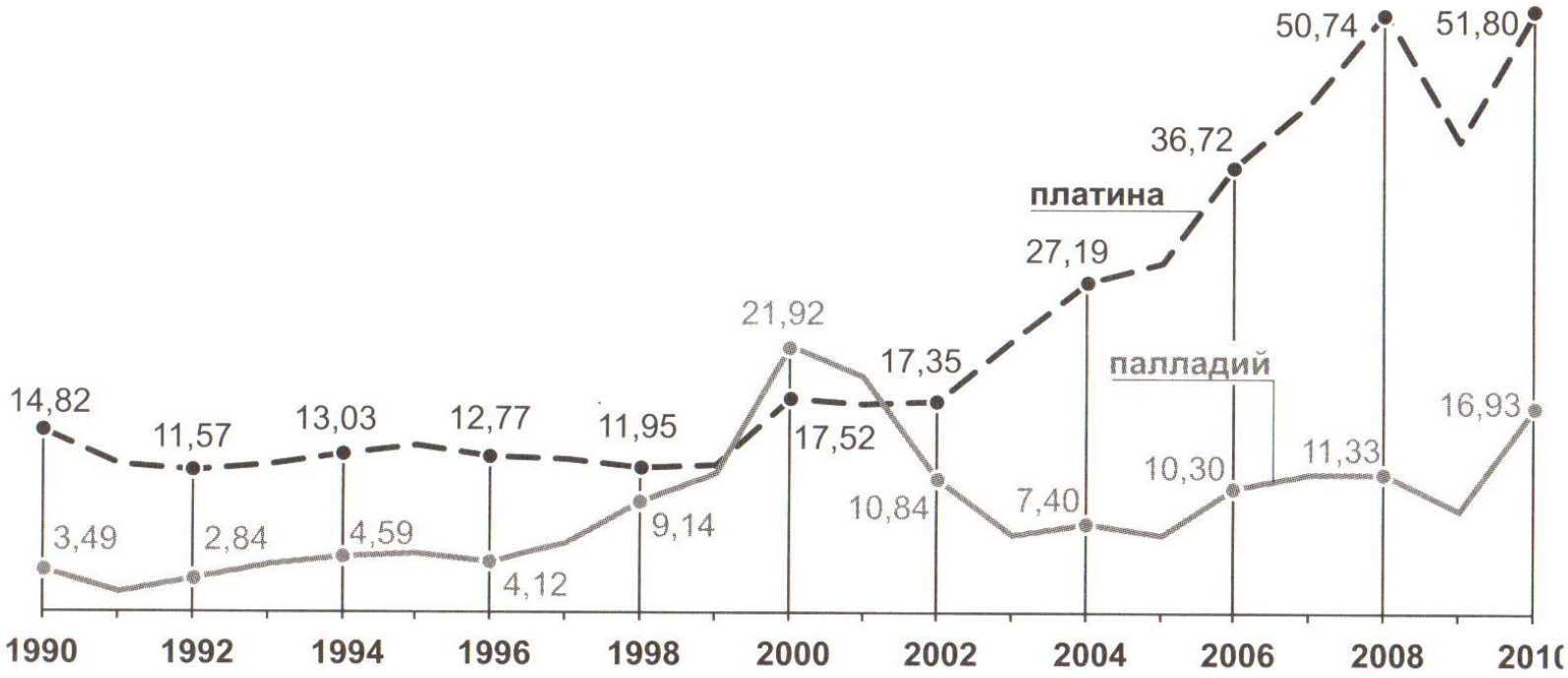
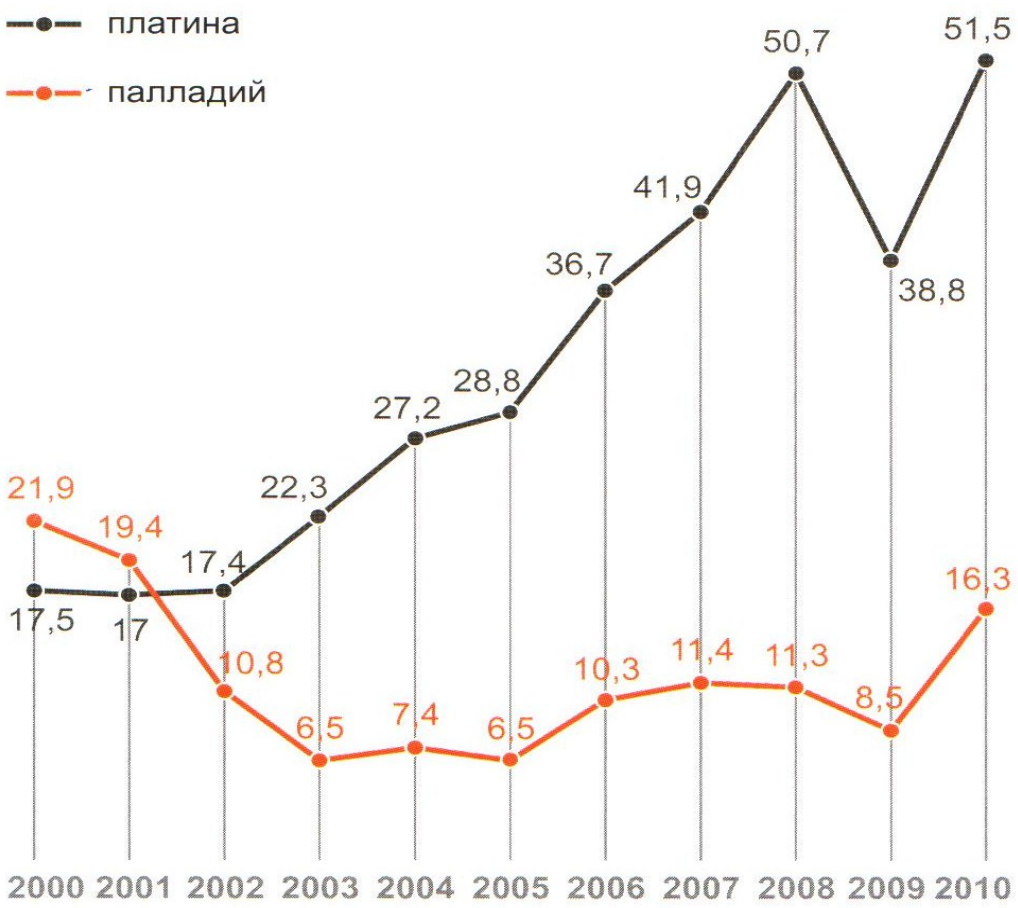


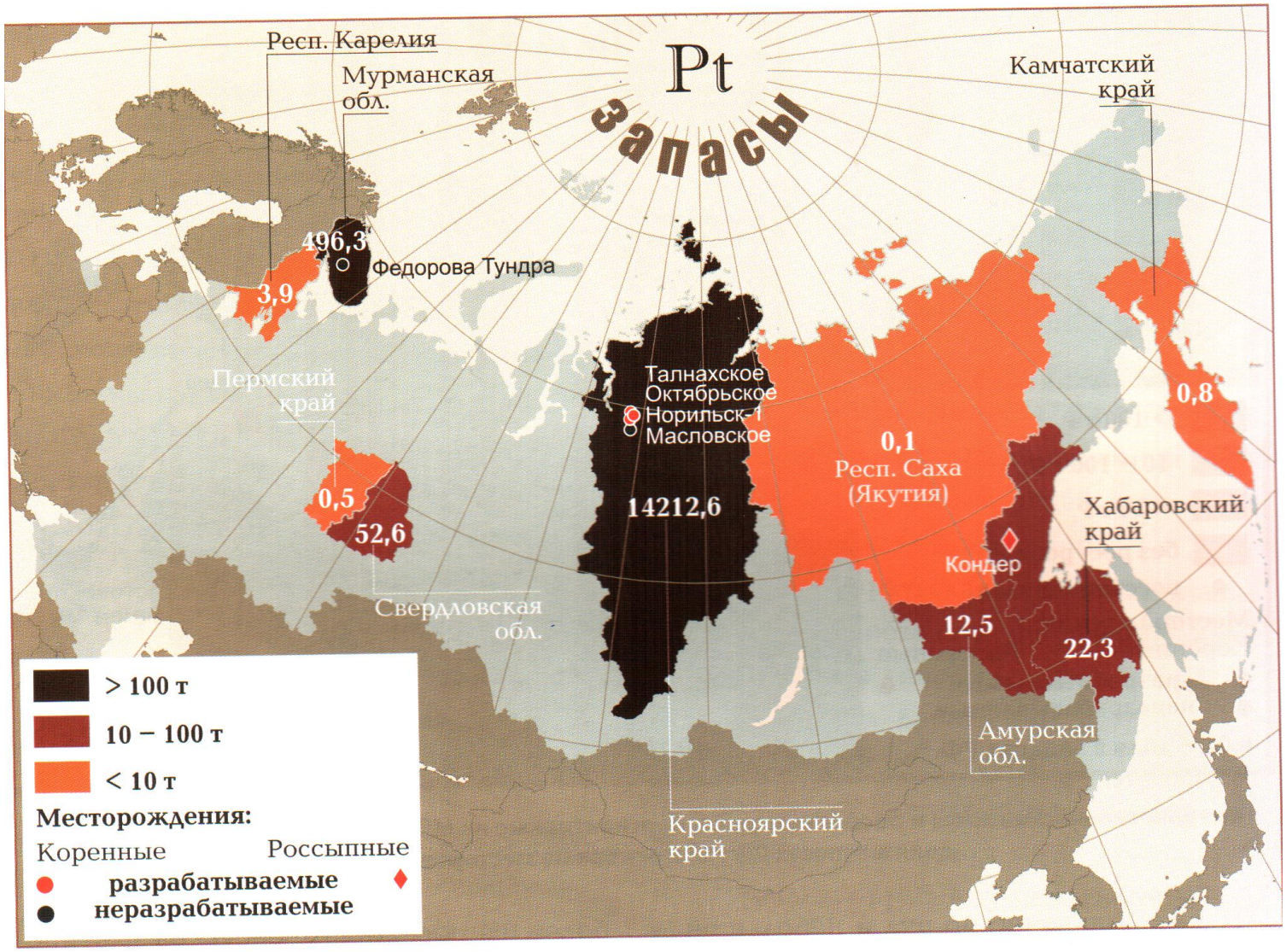
Рис. 12. Динамика среднегодовых цен на платиноиды на Лондонском рынке платины и палладия в 1990–2010 гг., долл./г (по данным The London Platinum & Palladium Market)

Среднегодовые цены Pt и Pd на ЛБМ, долл./г



Среднегодовые цены на МПГ в 2000-2009 гг. и средняя цена за 11 месяцев 2010 г. на Лондонском рынке платины и палладия, дол./г

МСБ платиноидов в РФ



Основные месторождения платиноидов и распределение балансовых запасов МПГ по субъектам РФ, тонн

МСБ платиноидов в РФ

Состояние МСБ металлов платиновой группы Российской Федерации на 1.01.2010 г., тонн

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
количество	808,1	2412,8	529,5

Запасы	разведанные ($A+B+C_1$)	предварительно оцененные (C_2)
количество	9779,5	5022
изменение по отношению к запасам на 1.01.2009 г.	826,5	498
доля распределенного фонда, %	94,6	76,9

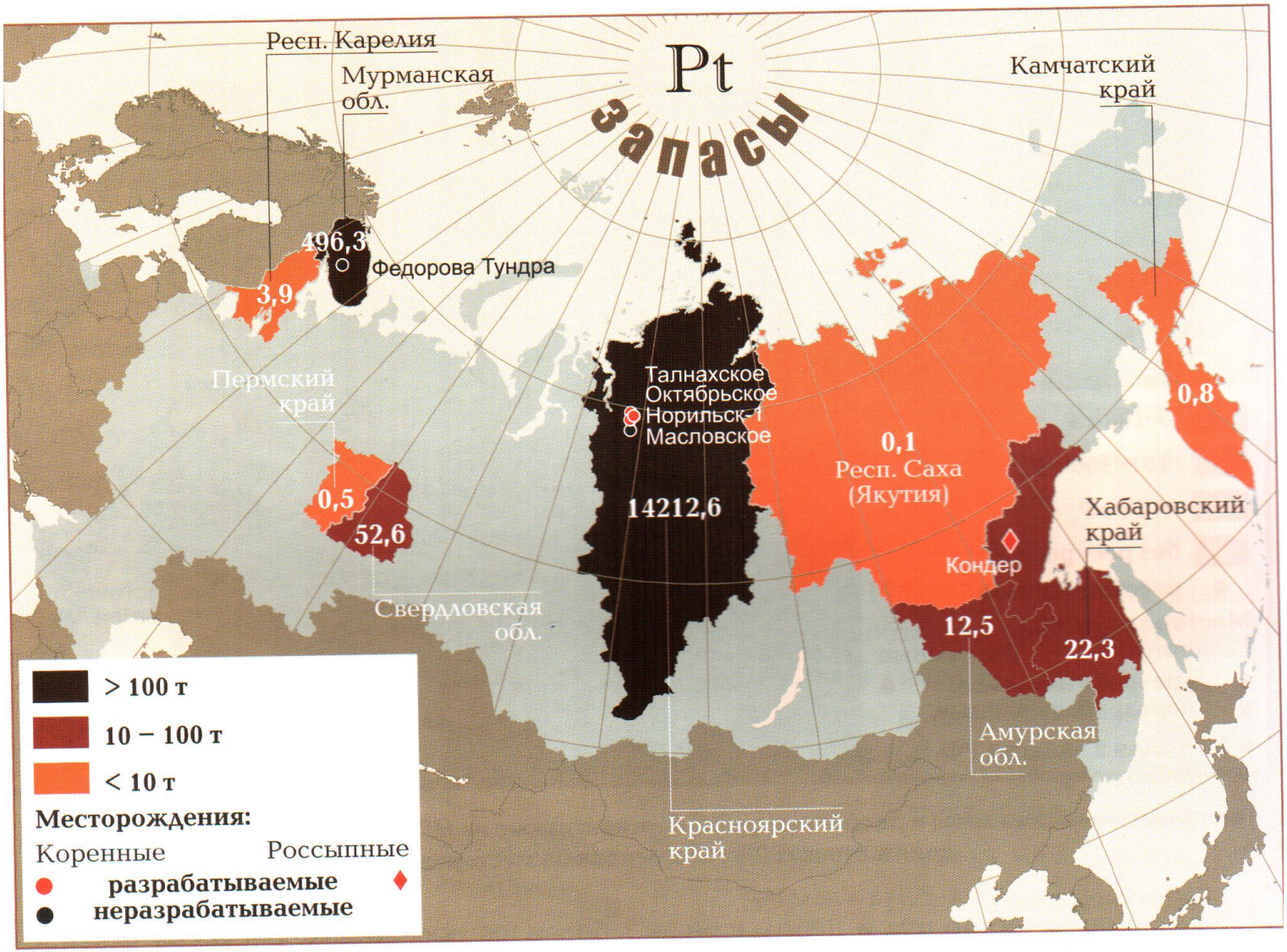
Использование МСБ металлов платиновой группы Российской Федерации в 2009 г.

Число действующих эксплуатационных лицензий	32
Число действующих лицензий на условиях предпринимательского риска	18
Добыча из недр, т	153,7
Экспорт, т (оценка)	140
Средняя за 11 месяцев 2010 г. цена на Лондонском рынке платины и палладия, дол./г	платина – 51,51 палладий – 16,26
Ставка налога на добычу	6,5%

МСБ платиноидов в РФ

Металлогенические зоны и россыпные узлы, перспективные на МПГ, их ресурсный потенциал (т), доля в запасах РФ (%) и основные месторождения

МСБ платиноидов в РФ



Основные месторождения платиноидов и распределение балансовых запасов МПГ по субъектам РФ, тонн

МСБ платиноидов в РФ

Основные месторождения

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содер-жание МПГ в рудах	Добыча в 2009 г., т
		$A+B+C_1$	C_2			
ОАО «ГМК "Норильский никель"»						
Октябрьское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	4175	1707	39,7	4,7 г/т	99,3
Талнахское (Красноярский край)		3313,9	1240	30,8	4,7 г/т	28,1
Норильск-1 (Красноярский край)		1126	1140,1	15,3	6,7 г/т	19,3
Масловское (Красноярский край)		881,4	510	9,4	6,6 г/т	0
ЗАО «Федорово Рисорсес»						
Федорова Тундра (Мурманская обл.)	Малосуль-фидный платиноидный	238	109,9	2,4	1,4 г/т	0
ОАО «Артель старателей "Амур"»						
Кондер (Хабаровский край)	Россыпной	14,1	0	0,1	1 г/куб.м	4,8

По данным Геологической Службы США

(USGS, Mineral Commodity Summaries-2020)

- Главнейшие потребители PGE в США: производство (для очистки воздуха) автомобильных каталитических преобразователей и каталитической очистки нефти, а также зубоврачебных и др. медицинских и различных электронных приборов, лабораторного оборудования в производстве стекла, ювелирном деле, инвестициях.
- Рециклинг PGE. Около 116 т Pd и Pt в 2018 г было получено в мире из старого и нового скрапа, включая около 49 т в США за счет переработки автомобильных каталитических преобразователей.
- Рудничное производство Pt в мире в 2019 году составило 180 т, которое приходится на ЮАР – 130,0 т (72,2%), РФ – 22,0 (12,2), Зимбабве – 15,0 (8,3), Канаду – 7,4 (4,1), США – 3,6 (2,0) и др.
- Рудничное производство Pd в мире в 2019 году составило 210 т, которое приходится на РФ – 86,0 т (40,9%), ЮАР – 80,0 (38,1), Канаду – 20,0 (9,5), Зимбабве и США – по 12,0 (по 5,7) и др.
- Мировые запасы (reserves) PGE составляют 69 тыс.т, иэ которых в ЮАР – 63 тыс.т (91,0%), РФ – 3,9 (5,6), Зимбабве – 1,2 (1,6), США – 0,9 (1,3), Канаде – 0,31 (0,5).
- Мировые ресурсы (resources) PGE оцениваются в 100 тыс. т, из которых подавляющая доля приходится на ЮАР (крупнейшие запасы – в Бушвелдском комплексе).

Заключение

- Все благородные металлы (Au, Ag, PGE) в нашей стране постановлением правительства РФ отнесены к стратегическому минеральному сырью.
- РФ располагает весьма значительной МСБ благородных металлов, занимая по сумме общих и разведанных запасов лидирующее положение в мире: по Au и PGE вторые места (после ЮАР), а по Ag – третье (после Мексики и Чили).
- Золото остается одним из ведущих финансовых инструментов в мире; периоды экономических кризисов неизбежно сопровождаются ростом цен на золото, что предопределяет интенсификацию геолого-разведочных работ на него и освоение его новых месторождений во многих странах мира.
- В странах-лидерах научно-технического прогресса (США, ЕС) металлы платиновой группы (МПГ, PGE) являются критическим минеральным сырьем.
- Незаменимость серебра в ряде технических областей предопределяют устойчивый рост его потребления промышленностью. В настоящее время серебро - лидер среди материалов, используемых в нанотехнологиях

Литература

1. Минеральное сырье: от недр до рынка. В 3-х томах. – Том 1: **Благородные металлы и алмазы.** *Золото, серебро, платиноиды, алмазы /* Коллектив авторов; отв. ред. А.П.Ставский. – М., Научный мир, 2011. – 400 с. //Том 2: Цветные металлы.- М., Научный мир, 2011. – 496. Том 3: Черные, легирующие металлы и некоторые неметаллы.- М., Научный мир, 2011. – 624 с.

2. Министерство природных ресурсов РФ, и экологии Российской Федерации. **Государственный доклад. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсоCommodityв Российской Федерации в 2019 году.** Москва, 2020.

3. Critical Metals Handbook. Edited byGus Gunn. BGS 2014. **12.Platinum-group metals/** P.p. 285- 311.

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

Critical Metals Handbook

Edited by
Gus Gunn
British Geological Survey
Keyworth
Nottingham Keyworth
Nottingham
UK

12.Platinum-group metals

Gus Gunn

British Geological Survey, Keyworth, Nottinham, UK

Некоторые свойства шести металлов группы платины (PGM) по сравнению с золотом (Au)

Table 12.1 Selected properties of the six platinum-group metals (PGM) compared with gold (Au).

Property	Value							Units
Name	Platinum	Palladium	Rhodium	Iridium	Ruthenium	Osmium	Gold	
Symbol	Pt	Pd	Rh	Ir	Ru	Os	Au	
Atomic number	78	46	45	77	44	76	79	
Atomic weight	195.08	106.42	102.91	192.22	101.07	190.23	196.97	
Density at 25 °C	21450	11995	12420	22550	12360	22580	19281	kg/m^3
Melting point	1769	1554	1960	2443	2310	3050	1064	°C
Electrical resistivity at 25 °C	106	105	45	51	71	92	22	nΩ m
Hardness (Mohs scale)	4–4.5	4.75	5.5	6.5	6.5	7	2.5–3	

Выборка наиболее распространенных минералов группы платины

Table 12.2 A selection of the more common platinum-group minerals.

Group	Name	Formula	Group	Name	Formula
Alloys	Isoferroplatinum	Pt_3Fe	Arsenides	Sperrylite	$PtAs_2$
	Osmiridium	Oslr		Stillwaterite	Pd_8As_3
	Rustenburgite	$(Pt,Pd)_3Sn$	Antimonides	Genkinite	$(Pt,Pd,Rh)_4Sb_3$
	Tulameenite	Pt_2FeCu		Isomertieite	$Pd_{11}As_2Sb_2$
Sulfides	Braggite	$(Pt,Pd)S$		Stibiopalladinite	Pd_5Sb_2
	Cooperite	PtS		Geversite	$Pt(Sb,Bi)_2$
	Hollingworthite	$RhAsS$	Tellurides	Kotulskite	$PdTe$
	Laurite	$(Ru,Os)S_2$		Merenskyite	$(Pd,Pt)(Te,Bi)_2$
Bismuthides	Froodite	$PdBL_2$		Moncheite	$(Pt,Pd)(Te,Bi)_2$

Распределение главных рудных районов, рудников и месторождений с минералами группы платины.
Также показаны отдельные проявления других типов (опущены некоторые никелевые рудники
с попутными металлами группы платины)

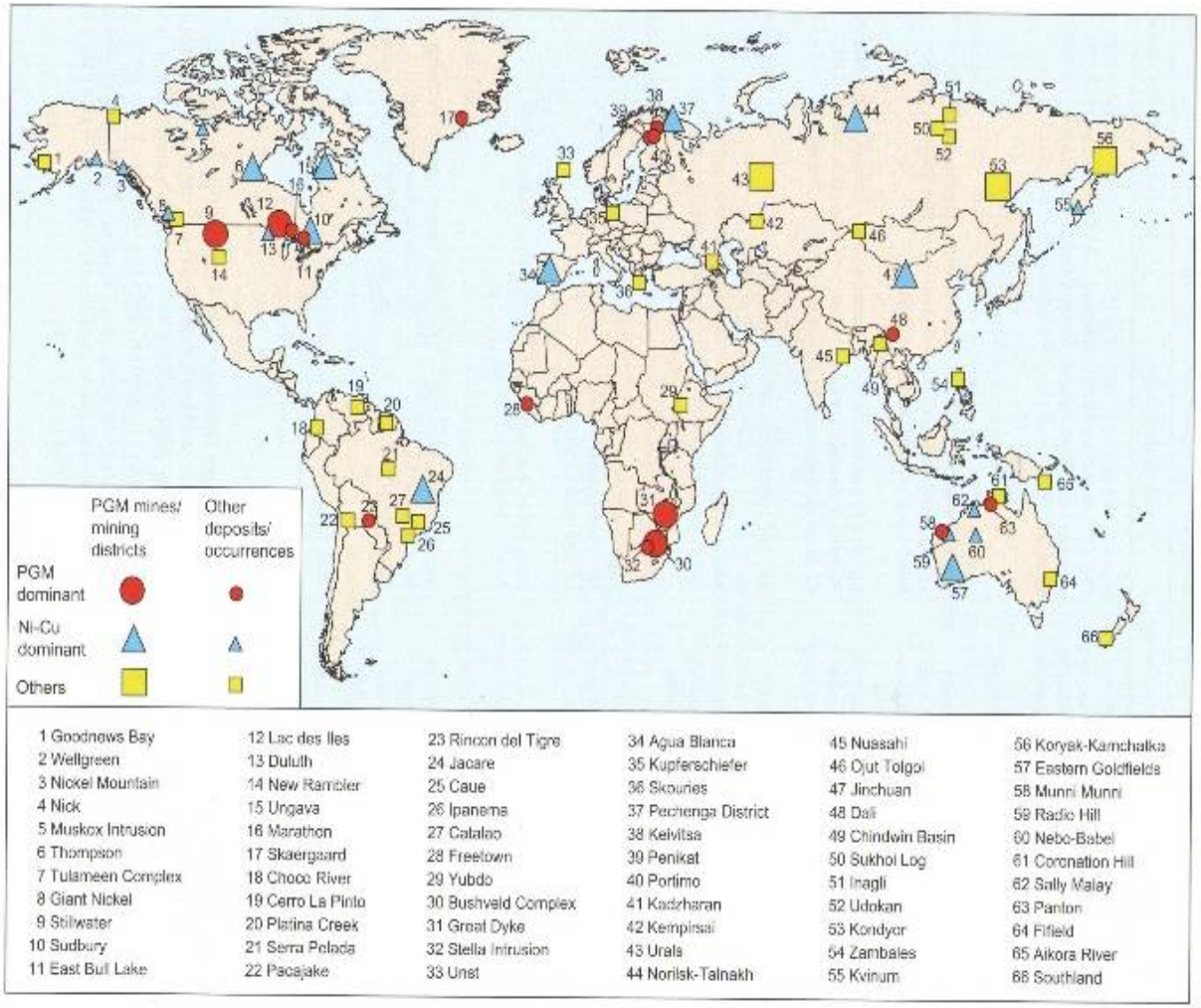


Figure 12.1 The distribution of the main platinum-group minerals mining districts, mines and deposits. Selected occurrences of other types are also shown [some nickel mines which produce by-product platinum-group minerals are omitted].

Ключевые характеристики и примеры главных типов месторождений минералов группы платины

Table 12.3 Key characteristics and examples of the major platinum-group minerals deposit types.

Deposit type	Description	Typical grades	Major examples
PGM-dominant			
Merensky type	Extensive, laterally continuous, thin layers, or 'reefs', of ultramafic rocks in large layered mafic-ultramafic intrusions; with minor disseminated nickel and copper sulfides.	5–7 g/t Pt+Pd; Pt/Pd=3 in Merensky Reef. Major source of Pt, Pd and Rh.	Merensky Reef, Bushveld Complex, South Africa; Great Dyke, Zimbabwe; J-M Reef, Stillwater Complex, USA.
Chromitite type	Similar morphology to Merensky type but comprising thin layers of massive chromite with sparse base metal sulfide minerals.	4–8 g/t Pt+Pd; Rh 0.3–0.6 g/t in UG2. Pt/Pd=2.5 in UG2. Major source of Pt, Pd and Rh.	UG2, Bushveld Complex, South Africa; Lower Chromitites, Stillwater Complex, USA.
Contact type	Extensive (km) discontinuous PGM mineralisation with low-grade nickel and copper in basal contact zones of layered intrusions. Commonly heterogeneous, brecciated, xenolithic.	1-4 g/t Pt+Pd in Platreef, with Pt/Pd ca. 1; by-product Ni and Cu. Major PGM resources.	Platreef, Bushveld Complex, South Africa; Duluth Complex, USA; East Bull Lake, Canada; Portimo, Finland.
Dunite pipes	High grade platinum mineralisation in discordant pipe-like bodies of dunite, up to 1 km in diameter.	3-2000 g/t. Largely worked out and no longer mined.	Onverwacht, Driekop and Mooihoek, Bushveld Complex, South Africa.
Nickel-copper-dominant (with by-product PGM)			
Associated with meteorite impact	Nickel-copper sulfide deposits in impact melt rocks and underlying radial and concentric fracture and breccia zones.	1-10 g/t Pt+Pd, Pt/Pd<1. Numerous deposits worked for Ni, with lesser Cu and PGM.	Sudbury, Canada.
Related to rift- and continental-flood basalts	Nickel-copper sulfide deposits in sub-volcanic sills which feed flood basalts associated with intracontinental rifting.	2-100 g/t PGM. Average 7.31 g/t Pd and 1.84 g/t Pt in Noril'sk.	Norilsk, Russia; Jinchuan, China.
Komatiite related	Nickel sulfide deposits related to komatiitic (magnesium-rich) volcanic and intrusive rocks of Archaean and Palaeoproterozoic age.	Commonly a few hundred ppb, locally greater than 1 g/t. Pt/Pd generally <1.	Kambalda, Western Australia; Pechenga district, Russia; Thompson Belt, Canada; Ungava Belt, Quebec, Canada.

Cu, copper; Ni, nickel; Pd, palladium; Pt, platinum; Rh, rhodium.

Ключевые характеристики и примеры других типов месторождений минералов группы платины

Table 12.4 Key characteristics and examples of other platinum-group minerals deposit types.

Deposit type	Description	Typical grades	Examples
Alaskan or Alaskan-Ural type	PGM enrichment in small zoned ultramafic complexes.	Generally low grade, locally very high.	Nizhny Tagil, Urals; Tulameen Complex, Canada.
Placer	An accumulation of dense platinum-group minerals, normally in sand and gravel deposits in a river system.	Generally low grades with sporadic rich pockets.	Urals, Russia; Choco River, Colombia; Goodnews Bay, Alaska; Southland, New Zealand.
Ophiolites	PGM enrichment chiefly with podiform chromite deposits in lower sections of ophiolite complexes. Hydrothermal processes may enrich PGM.	Values in g/t range reported from Unst.	Unst, UK; Zambales, Phillippines; Veria, Greece; Kempirsai, Russia; Al Ays, Saudi Arabia.
Laterites	Residual enrichment of PGM caused by intense tropical weathering of ultramafic rocks.	ca 0.5 g/t Pt.	Yubdo, Ethiopia.
Hydrothermal	Polymetallic veins and breccias and/or hydrothermal remobilisation of nickel, copper and PGM in mafic-ultramafic rocks.	Up to tens of g/t Pt+Pd. Hundreds of g/t at Waterberg.	New Rambler, USA; Waterberg, South Africa; Rathbun Lake, Canada; Goodsprings, Nevada.
Unconformity-related	Hydrothermal PGM enrichment with gold ± uranium in metasedimentary rocks at, or close to, an unconformity with younger, oxidised sedimentary rocks. Commonly focused along faults.	0.19 g/t Pt, 0.65 g/t Pd, 4.31 g/t Au at Coronation Hill. Tens/hundreds g/t Pt and Pd at Serra Pelada.	Coronation Hill, Australia; Serra Pelada, Brazil.
Porphyry deposits	Local PGM enrichment with gold in porphyry style copper deposits hosted by igneous intrusions.	Generally less than 1 g/t PGM.	Elatsite, Bulgaria; Skouries, Greece; Santo Tomas II, Phillippines.
Shales and other sedimentary rocks	PGM enrichments in metalliferous black shales. Generally thin but may be laterally extensive.	Generally less than 1 g/t, but local very high values in the Kupferschiefer.	Kupferschiefer, Poland; Yukon, Canada; Sukhoi Log, Siberia.
Carbonatite and alkaline complexes	PGM enrichment in small carbonatite-phoscorite igneous complexes. Disseminated copper-palladium-rich sulfide mineralisation in gabbro at Coldwell.	Few hundred ppb in Palabora; few g/t in Brazilian examples. 0.76 g/t Pd, 0.23 g/t Pt and 0.27% Cu in Marathon deposit.	Palabora, South Africa; Catalão and Ipanema, Brazil; Kovdor, Russia. Coldwell Complex, Canada; Marathon, Canada.

Au, gold; Cu, copper; Pd, palladium; Pt, platinum.

Геология Бушвелдского комплекса с указанием локализации платиновых рудников и подготовленных проектов

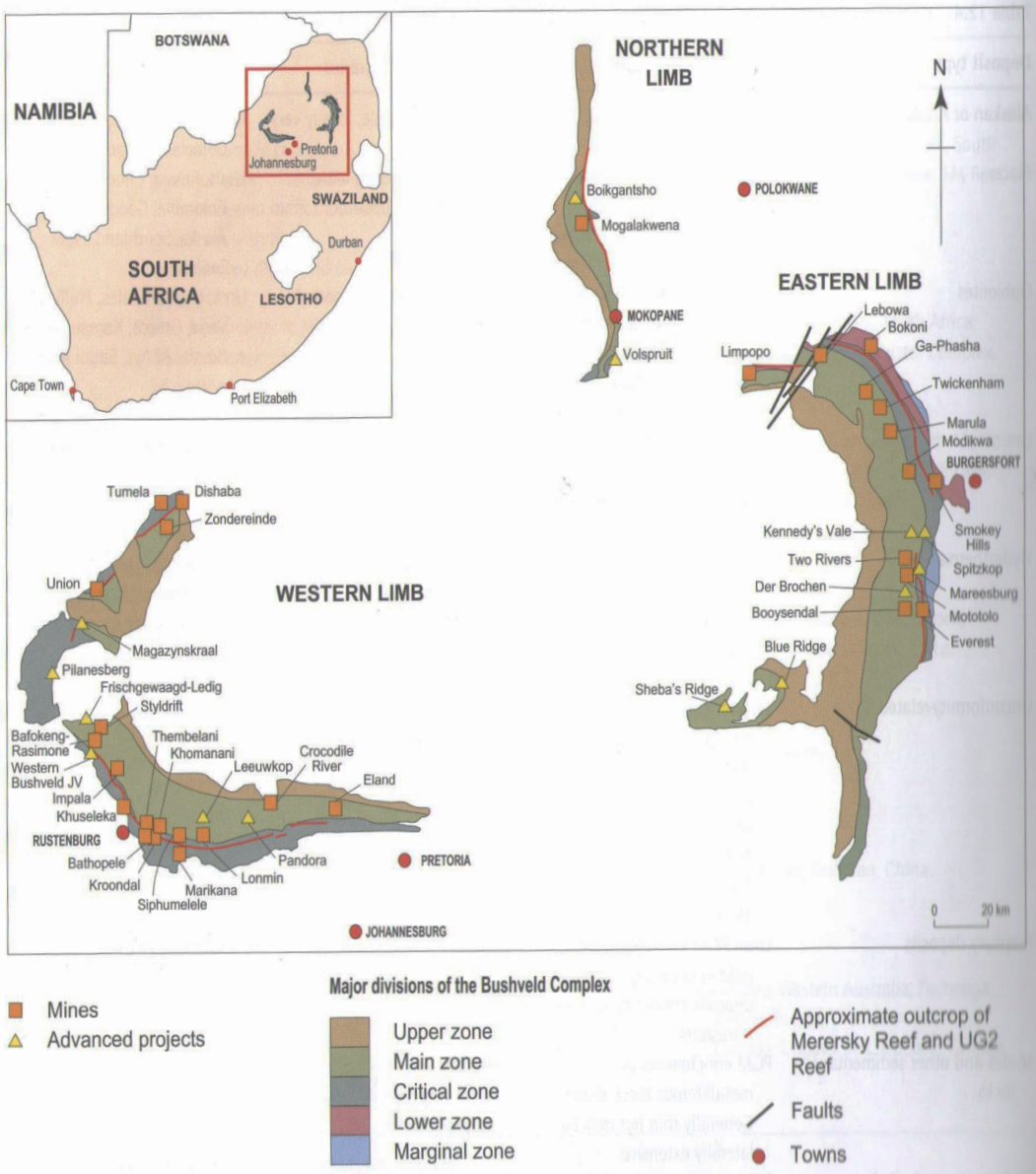


Figure 12.2 The geology of the Bushveld Complex showing the location of platinum mines and advanced projects.

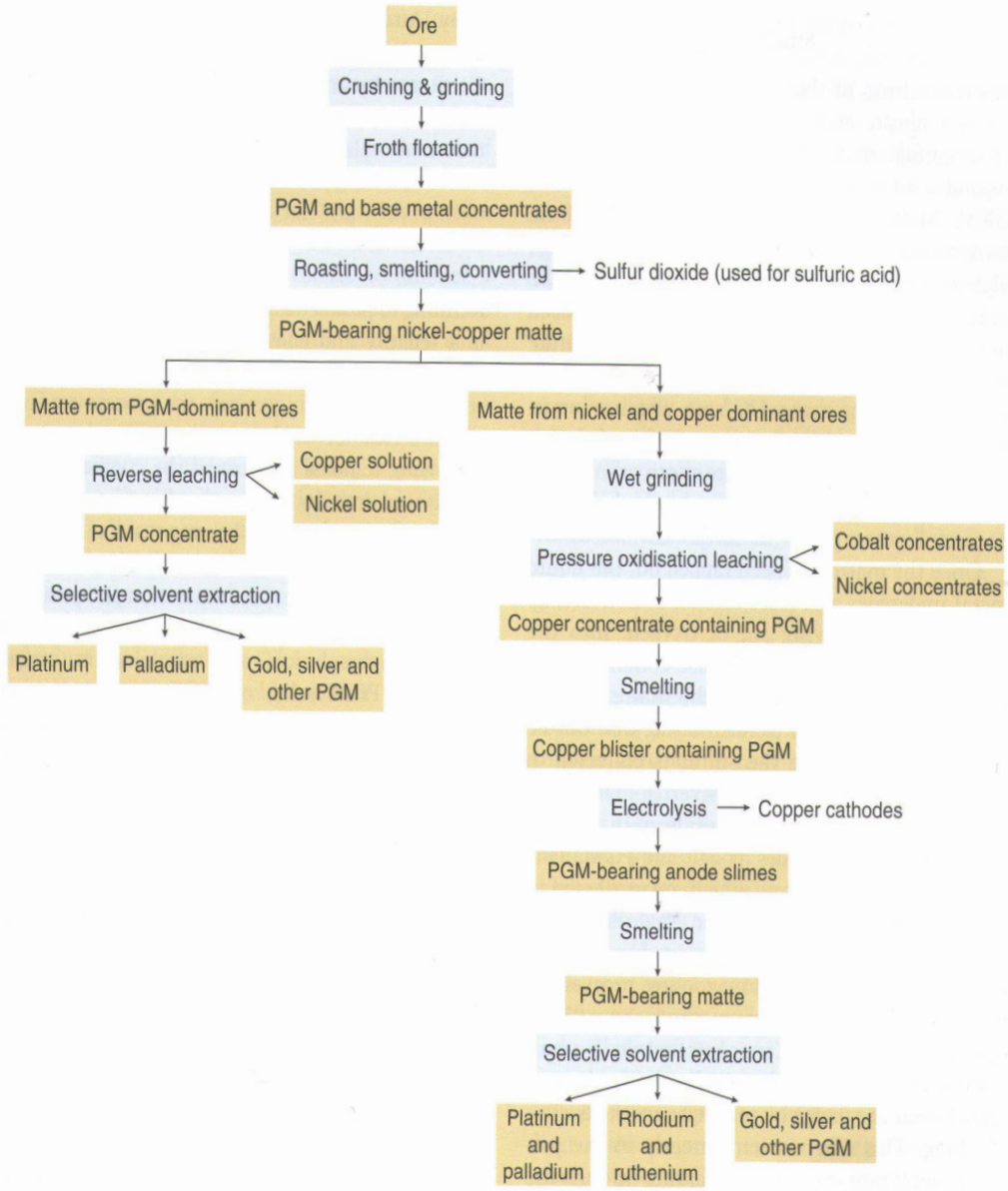


Figure 12.3 Schematic flowsheet for the processing of PGM-dominant and nickel–copper-dominant ores.

Схематическая диаграмма переработки существенно МПГ и существенно медно-никелевых руд

Table 12.5 The main uses of platinum and palladium, and global consumption by sector in 2011. (Data from Johnson Matthey, 2012.)

	Platinum		Palladium	
Sector	Main uses	Consumption (thousand troy ounces)	Main uses	Consumption (thousand troy ounces)
Autocatalyst	Catalysts for vehicle exhaust emission control.	3105	Catalysts for vehicle exhaust emission control.	6030
Investment	Exchange traded funds, ingots, bars, coins.	460	Exchange traded funds, coins.	(565)*
Jewellery	Fabrication of of platinum jewellery.	2480	Fabrication of palladium jewellery, white gold.	505
Chemical	Catalysts for production of nitric acid and other bulk and speciality chemicals.	470	Catalysts for production of nitric acid and other bulk and speciality chemicals.	445
Electrical	Hard disk coatings, thermocouples.	230	Multi-layer ceramic chip capacitors, hybrid integrated circuits, plating.	1380
Petroleum	Catalysts for petroleum refining and production of petrochemicals.	210	–	–
Glass	Vessels for glass manufacture, bushings for fibre glass production.	555	–	–
Dental, medical and biomedical	Anti-cancer drugs, implants such as heart pace-makers.	230	Alloying agent, mainly with minor platinum, gold, silver.	550
Other	Spark plug tips, oxygen sensors for engine management, fuel cells.	355	Emission control catalysts in stationary applications.	105
	Total global consumption	8095	Total global consumption	8450

1000 troy ounces is approximately 31.1 kilograms.

*in 2011 palladium investment was negative and 565,000 ounces were supplied back to the market.

Главные области использования платины и палладия и величины их глобального потребления

Главные области использования платины и палладия в 2011 г.

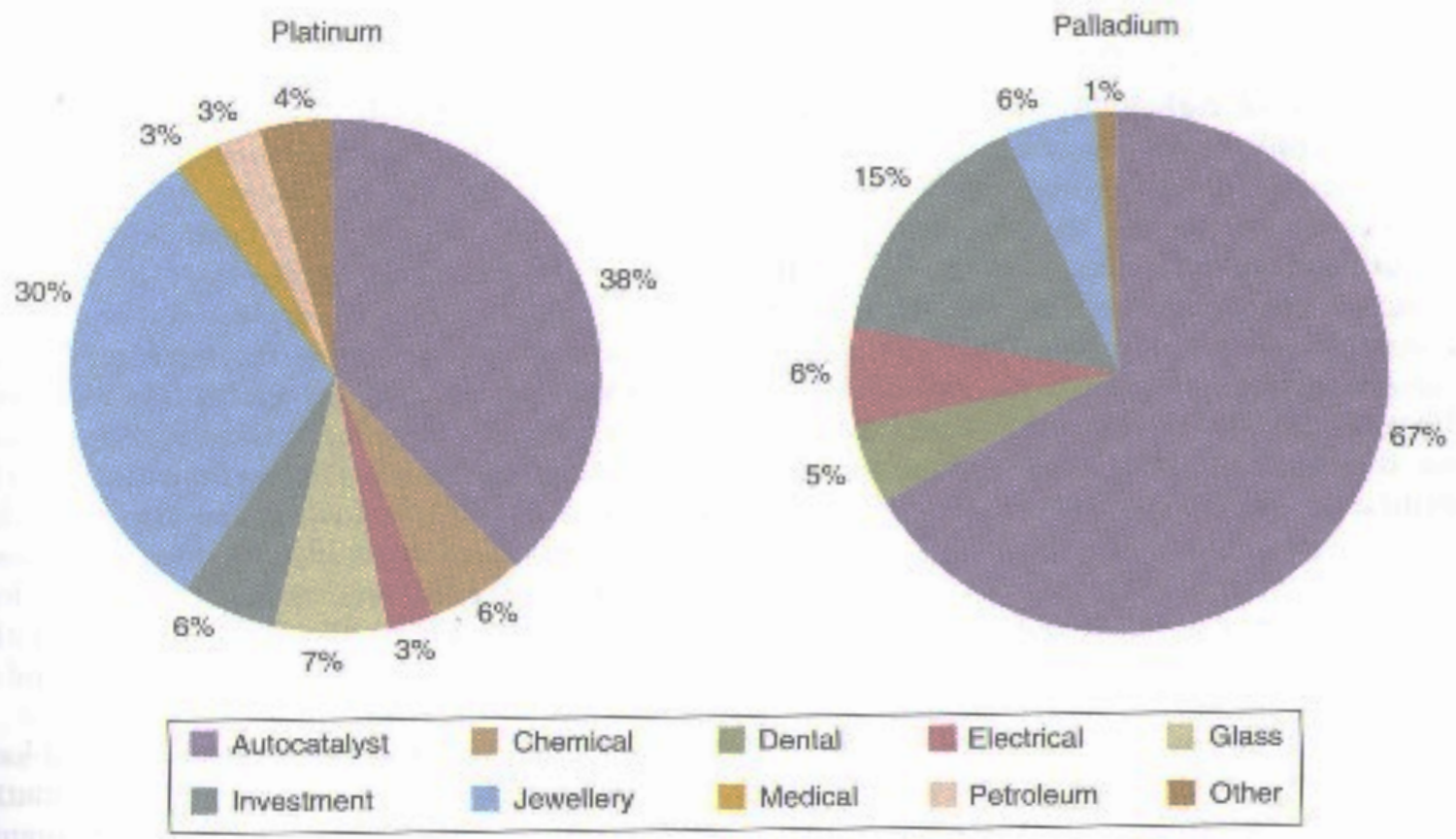
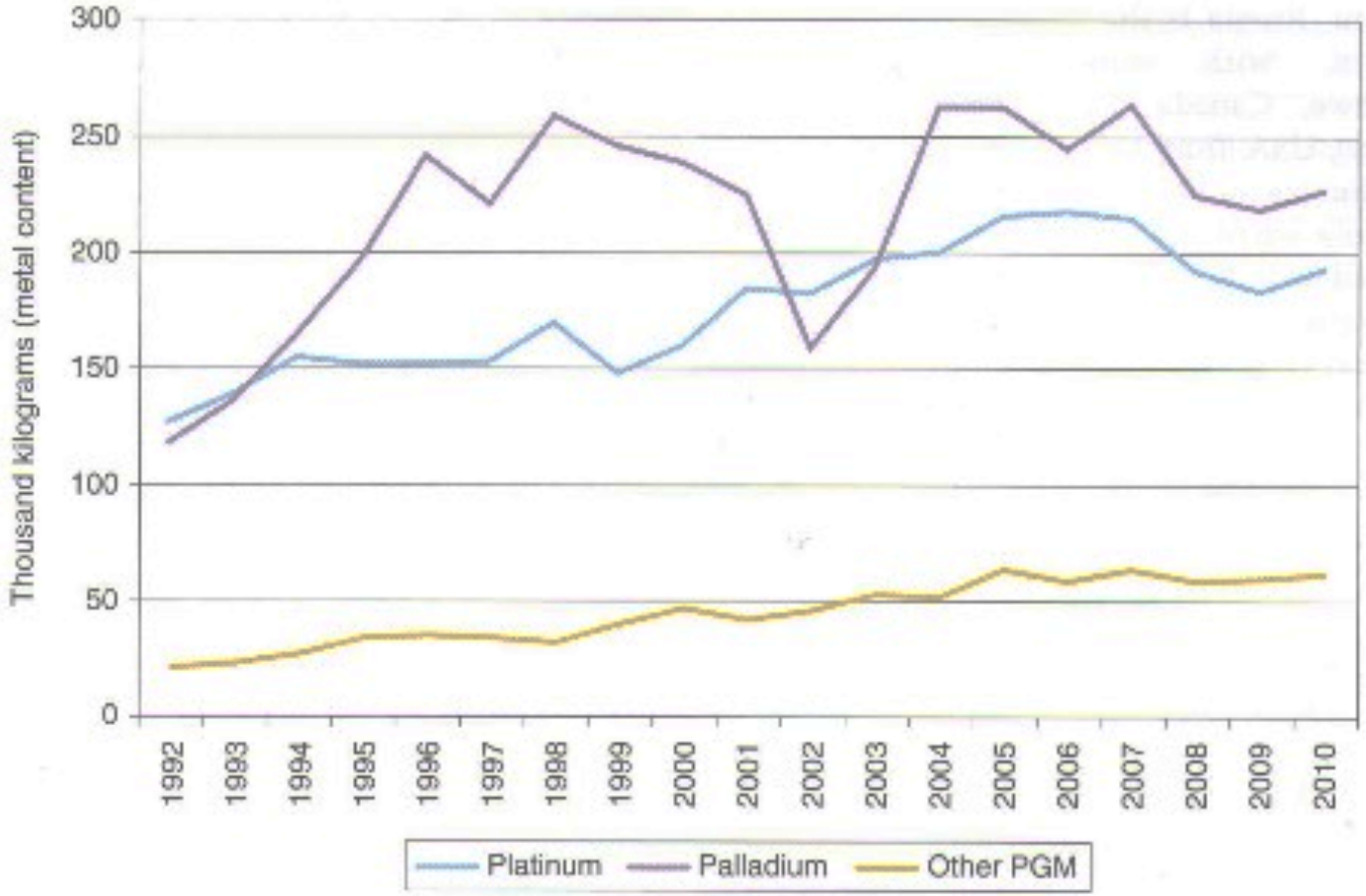


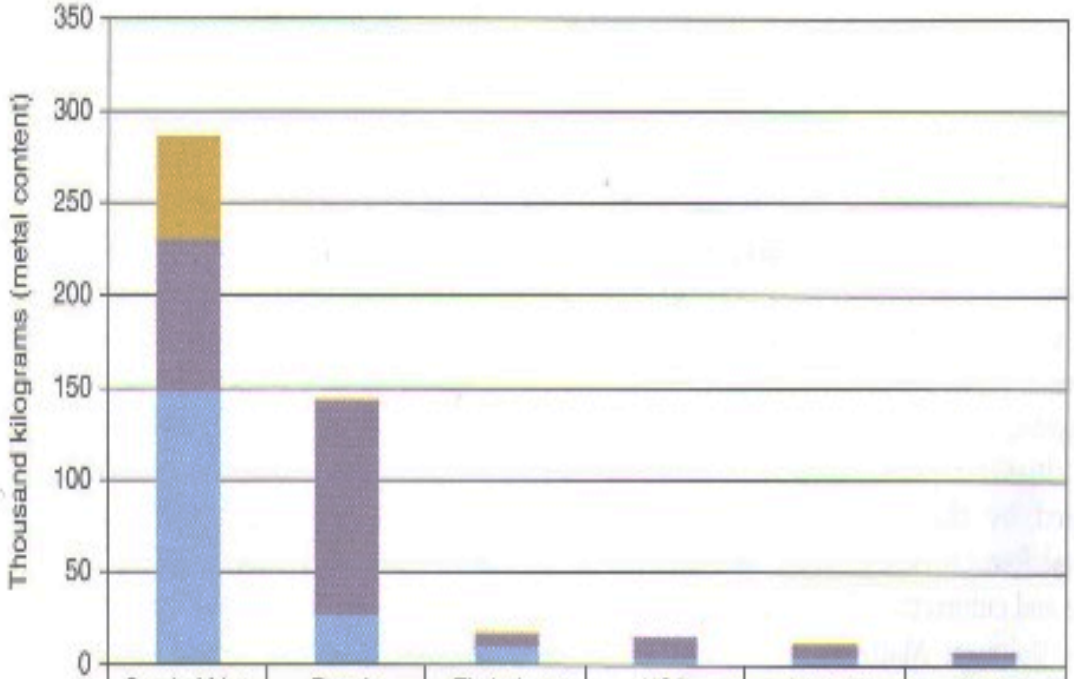
Figure 12.4 The main applications of platinum and palladium in 2011. (Data from Johnson Matthey, 2012.)

Мировое рудничное производство платины, палладия и др. МПГ, 1992 – 2010.



2.5 World mine production of platinum, palladium and other PGM, 1992–2010. (Data from British ical Survey World Mineral Statistics database.) (1 kilogram equals 32.151 troy ounces.)

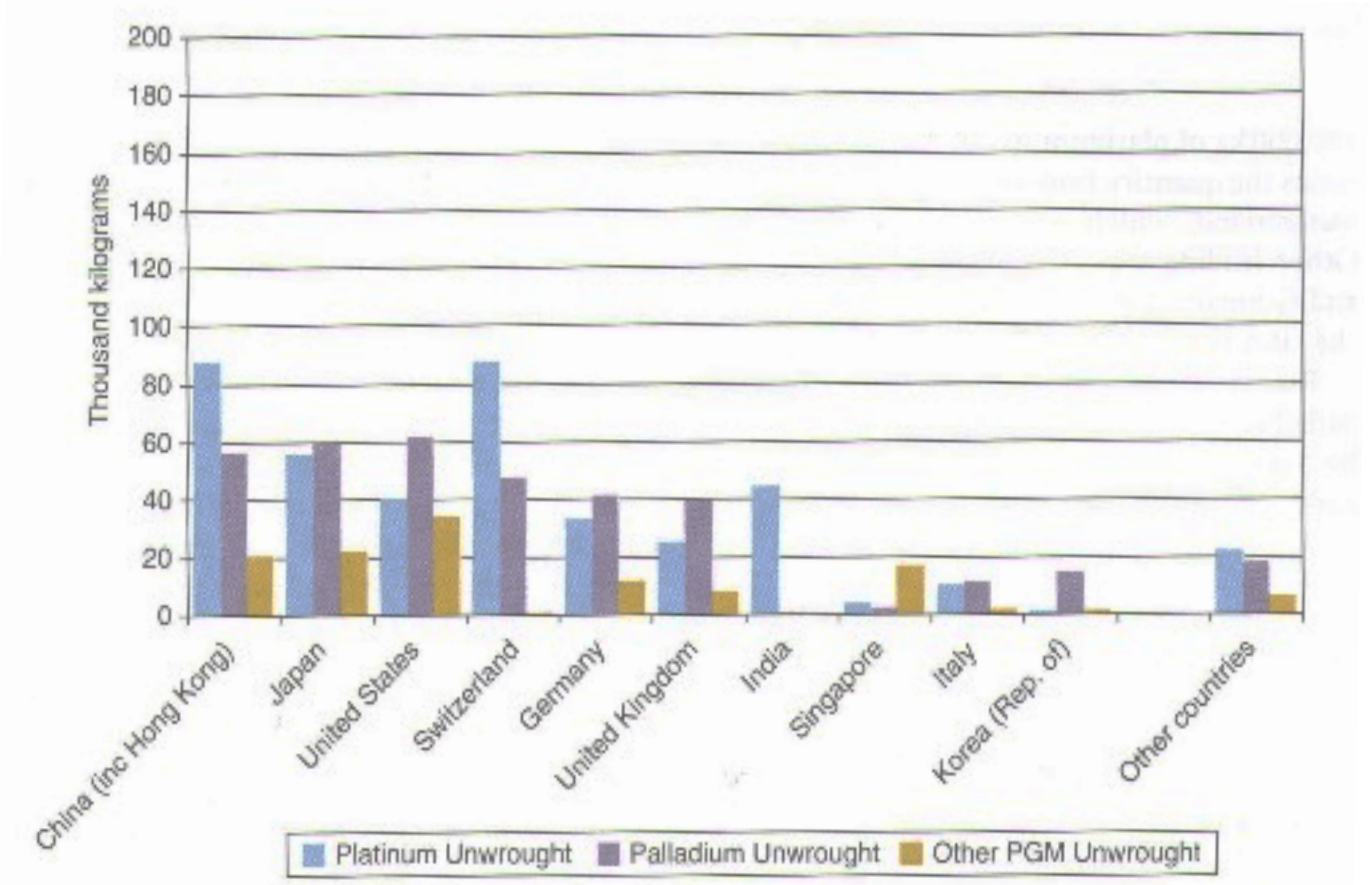
Мировое рудничное производство платины, палладия и др. МПГ по странам в 2010 г.



	South Africa	Russia	Zimbabwe	USA	Canada	Other
Other PGM	57,292	2200	1550	0	400	0
Palladium	82,222	115,700	6968	11,600	6200	4205
Platinum	147,790	26,500	8703	3450	3600	3076

Figure 12.6 World mine production of platinum, palladium and other PGM in 2010 by country. (Data from British Geological Survey, 2012.) (1 kilogram equals 32.151 troy ounces.)

Главные страны-импортеры металлической платины, ее концентратов и промежуточных продуктов, 2009.



ure 12.7 Major importers of platinum metal, concentrates and intermediate products, 2009. (Data from British ological Survey World Mineral Statistics database and UN Comtrade, 2013.) (1 kilogram equals 32.151 troy ounces.)

Главные страны-экспортеры металлической платины, ее концентратов и промежуточных продуктов, 2009.

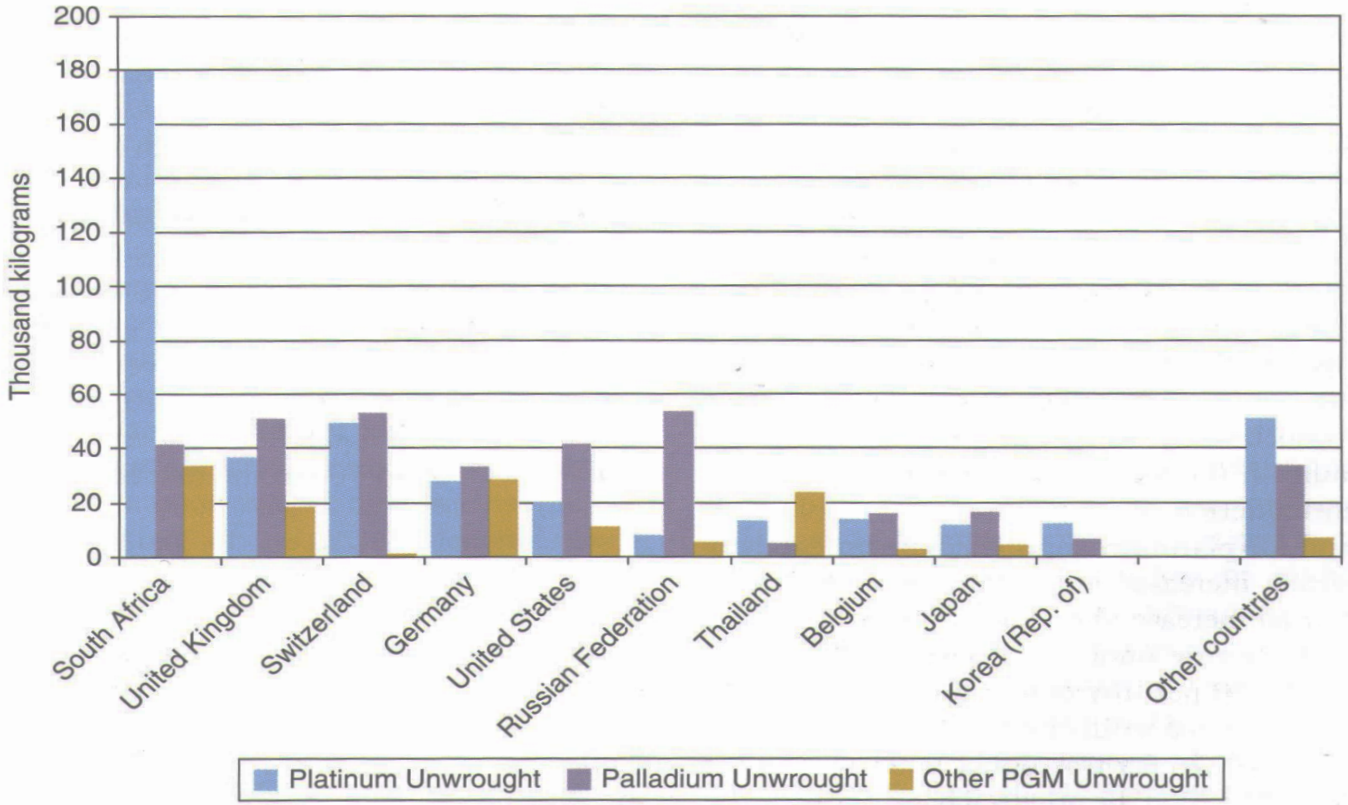


Figure 12.8 Major exporters of platinum metal, concentrates and intermediate products, 2009. (Data from British Geological Survey World Mineral Statistics database and UN Comtrade, 2013.) (1 kilogram equals 32.151 troy ounces.)

Цены на платину и палладий с 2000 г до конца июня 2012 г.

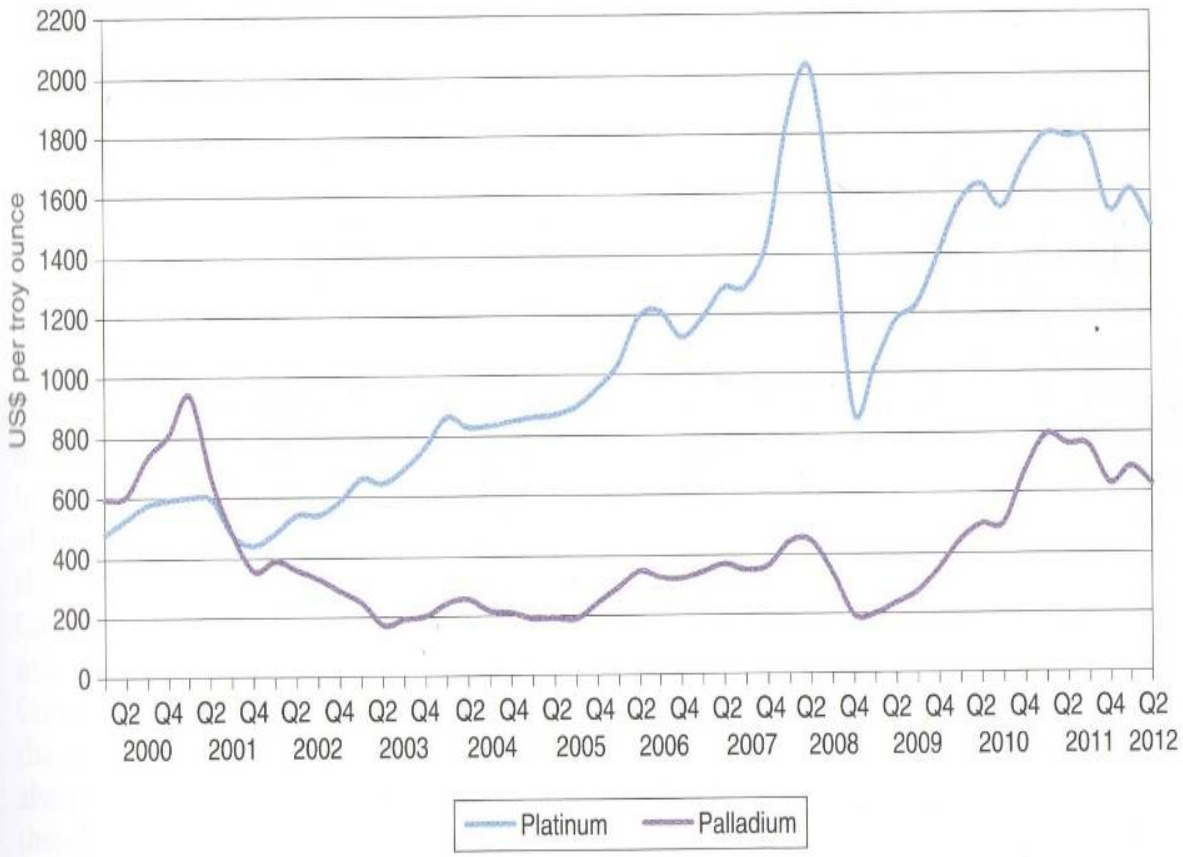


Figure 12.9 The prices of platinum and palladium between 2000 and end June 2012. (Johnson Matthey base price (unfabricated) US$ per troy ounce, quarterly average prices from Metal Bulletin.)

Потребление платины и палладия в Китае

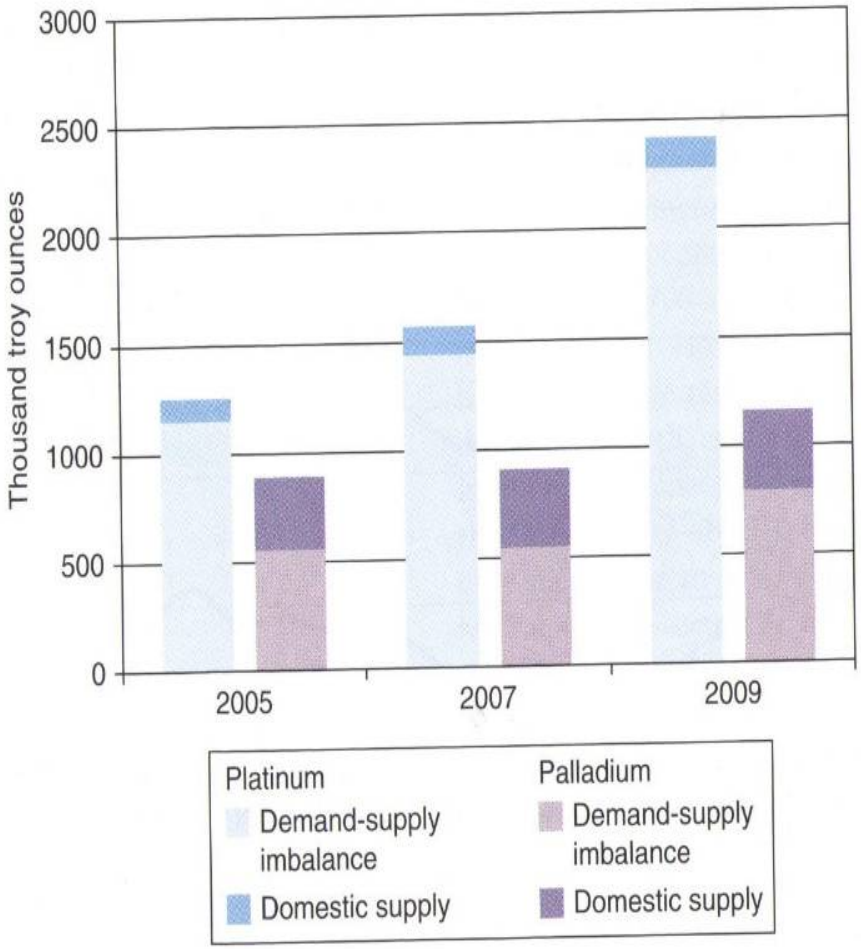


Figure 12.10 The consumption of platinum and palladium in China. (Data from CPM Group, 2011.)

Спасибо за внимание !