

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ



УДК 669.054.8

© И.А.Августинчик, 2006

ОСВОЕНИЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ МЕТАЛЛОВ: МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ, РОЛЬ И МЕСТО РОССИИ

И.А.Августинчик, (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Отсутствие новых месторождений, снижение качества перерабатываемых руд и повышающийся спрос на металлы приводят к росту их производства из вторичного сырья. Простота технологии сбора и переработки, низкокзатратный характер передела скрапа черных, цветных и благородных металлов способствуют экономии первичного сырья, энергии, рабочей силы, снижению производственных издержек, уменьшению экологической нагрузки на окружающую среду при переработке значительных объемов производственных и бытовых отходов, а также отходов горного производства. В России эти процессы не упорядочены, недостаточно обеспечены правовой базой, ведут к масштабному вывозу скрапа и металлов из страны и требуют пристального внимания.

В конце XX – начале XXI вв. мировая цивилизация вступила в позднеиндустриальную фазу развития с характерными для нее методами оптимального управления сложными техническими и другими системами (кибернетика), в том числе развивающимися (биологическими, социальными и др.), высокими технологиями в производстве, процессами миниатюризации с одновременным усложнением конструктивных разработок и тенденциями комплексного подхода к решению задач различного профиля, информационным взрывом и т.д. Областью успешного прикладного использования таких технологий является ВПК [14]. Но самой характерной чертой современного развития человеческого общества был и остается ускоренный рост потребления всех видов возобновляемых и невозобновляемых ресурсов и конечной продукции из них [30], в том числе металлов: черных, цветных, легирующих, редких, благородных и др. Эти закономерности тесно связаны с ростом численности населения мира — фундаментальным фактором, лежащим в основе большинства социально-экономических процессов [5, 6], в том числе и в сырьевой области [44], и требующим расширенного воспроизводства сырьевой базы и ускоренного производства металлов (рис. 1). Динамика роста численности населения мира, ее модель со снижением темпа роста и прогноз на дли-

тельный период (1750–2050 гг.), вековые мировые тренды производства металлов (см. рис. 1) отражают эти процессы и характеризуют мировую цивилизацию как сложную развивающуюся социально-экономическую систему со всеми вытекающими следствиями и важнейшим из них — снижением темпа роста по достижении высшей фазы развития. Одним из следствий снижения темпа роста является использование средств, поддерживающих состояние системы с наименьшими затратами энергии и материалов.

Интенсификация потребления металлов в ходе развития цивилизации в XX–XXI вв. приводит к необходимости решения все более сложных задач обеспечения спроса путем освоения новых сырьевых объектов и системы других мер. Как полагают, этот процесс будет сопровождаться все более интенсивным вторжением в глубины земных недр, морей и океанов и освоением их минеральных ресурсов [16]. Однако ретроспективный анализ выявляет и позволяет количественно оценить масштаб диспропорций между использованием и воспроизводством МСБ целого ряда полезных ископаемых [10]. Открытия новых месторождений становятся все более редкими из-за исчерпания фонда легкооткрываемых минеральных ресурсов (рис. 2), их прогнозирование и поиски, как и освоение, — все

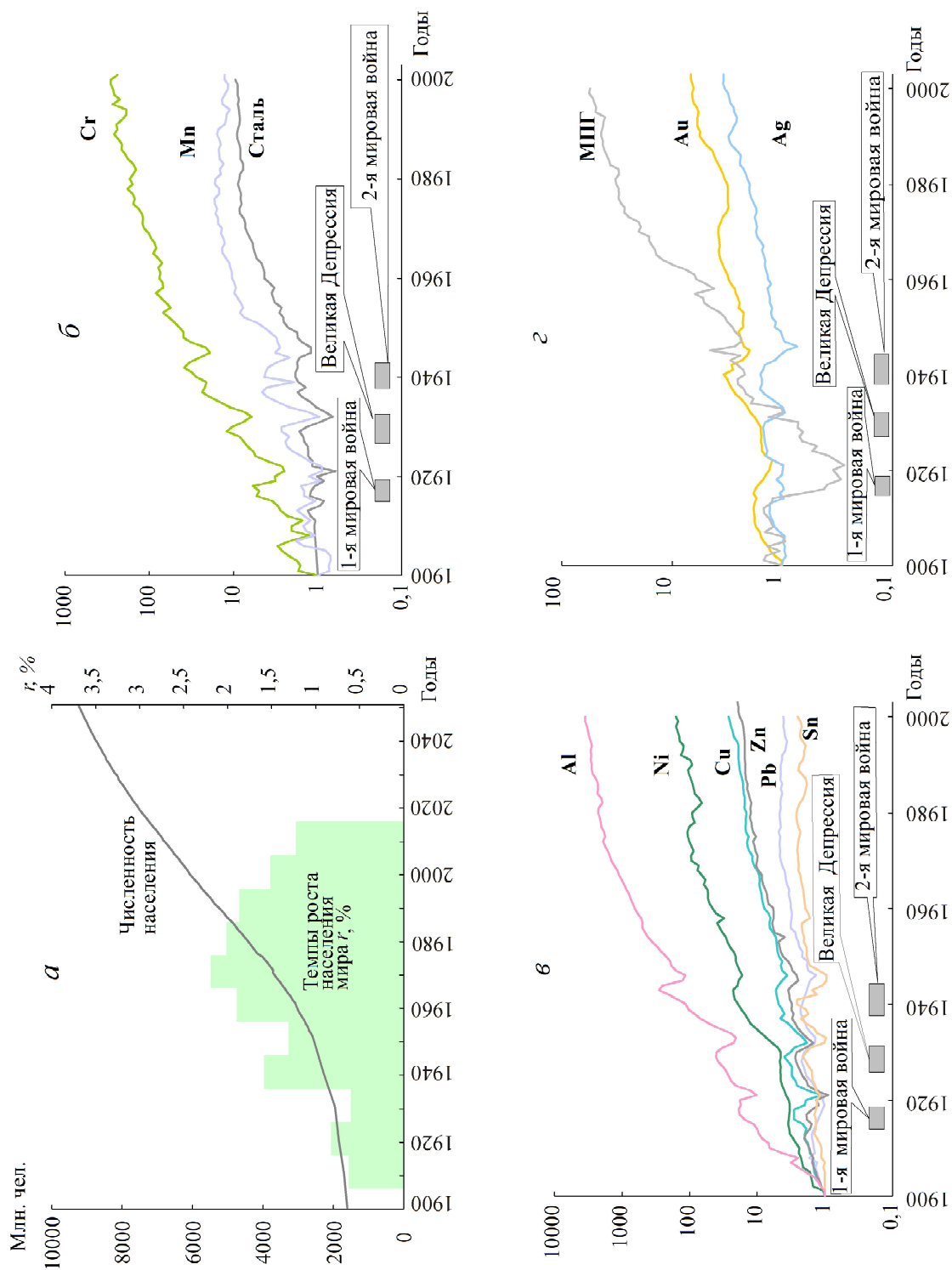


Рис. 1. Сопоставление темпов роста численности населения мира (а) и динамики мирового производства черных (б), цветных (в) и благородных (г) металлов в XX – начале XXI вв. (1900 г.=1), по [5, 6, 25, 26, 28, 35 и др.]

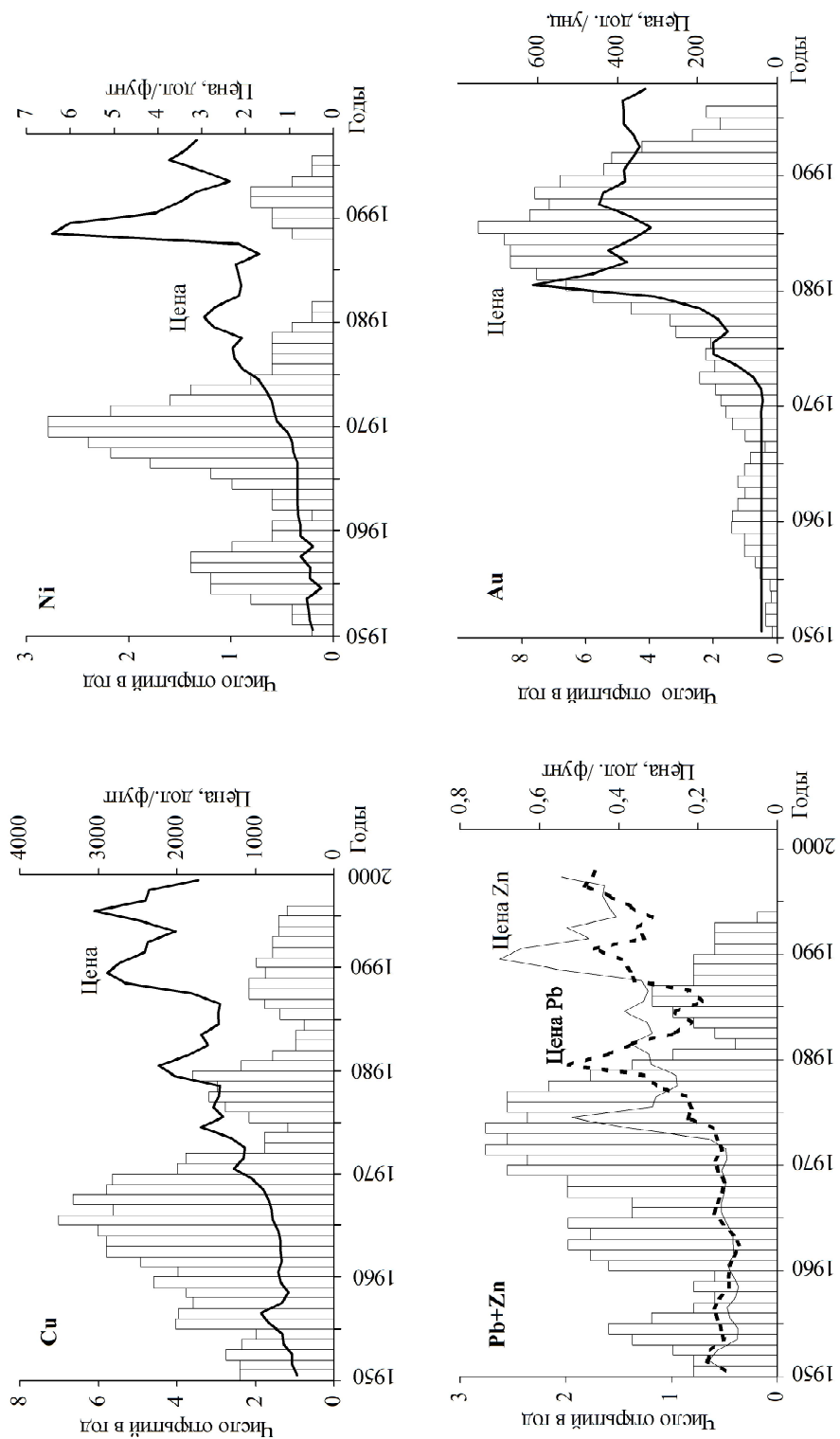


Рис. 2. Сопоставление числа открытий крупных медных (>1,5-5 млн. т Cu), никелевых (>0,1 млн. т Ni), свинцово-цинковых (>1,5-5 млн. т Pb+Zn) и золоторудных (>100 т Au) месторождений (сглажено методом скользящего окна) и номинальных мировых цен на эти металлы в 1950–1997 гг., по [22] с дополнениями

более рискованными, трудоемкими и капиталозатратными [37] в связи с усложнением и удорожанием методов и инструментария, ужесточением требований к сырью, повышением рисков освоения, удорожанием регламентных работ и т.д. Удорожанием усложняются технологические приемы извлечения полезных компонентов руд из-за снижения уровня концентраций металлов в рудах всех типов открываемых и осваиваемых месторождений [22], роста цен на энергетическое сырье, проблем трудовых ресурсов и др., т.е. усложнения экономической доступности сырья в целом [17]. Существуют даже представления о «революции», связанной с почти десятикратным повышением мировых цен на золото в конце 90-х годов и переходом к освоению месторождений с низкими концентрациями металла в рудах [8].

Необходимость ликвидации отставания прироста запасов от роста мирового потребления металлов привела к развитию разнообразных технологий ресурсосбережения и методов пополнения невосполняемых ресурсов. Одним из важных направлений в этой области является все более широкое использование вторичного сырья (скрапа) — наиболее дешевого и технологичного источника металлов, извлекаемых при повторной переработке (рециклинге) превращенных в утиль изделий. Основные показатели процессов утилизации скрапа металлов и приемы их расчета приведены в таблице. По данным Международного совета по металлам и окружающей среде список металлов с высоким уровнем мирового производства из вторичного сырья достаточно широк (таблица) и будет расширяться, как и объемы их производства [19, 27].

Сопоставления показывают, что производство металлов из вторичного сырья активизируется при отсутствии открытий новых месторождений, периодически возникающем дефиците на мировом рынке и росте в них потребностей промышленной сферы. Для большинства металлов активизация совпадает с началом снижения темпов роста населения мира (80-е годы) (см. рис. 1) и имеет, по-видимому, системный характер [6], хотя и происходит в разное время. Начало производства железа и стали из вторичного сырья восходит еще ко времени активной индустриализации, а широкое вовлечение в промышленное производство МПГ из вторичного сырья только начинается. Пик его, как полагают [36], впереди и связан с интенсивным развитием автомобилестроения в Азии, широким использованием автомобильных катализаторов и начавшимися процессами коммерциализации топливных элементов (fuel cells) в автомобилестроении и в сфере производства мощных автономных источников элект-

роэнергии (оборонная промышленность). Все перечисленное потребует задействовать как первичные, так и вторичные источники сырья МПГ [35].

В процессы переработки вторичного сырья металлов вовлечен широкий круг мировых компаний, преимущественно в странах с развитой рыночной экономикой. Экономическую основу этих процессов характеризует ряд показателей: разнообразие «петель рециклирования» по набору источников поступления вторичного сырья, доля металла из скрапа в кажущемся потреблении, эффективность рециклинга, стоимостные показатели рециклированного металла и др. (см. таблицу). Сравнение среднемировых данных по переработке вторичного сырья металлов с соответствующими показателями в США — одной из ведущих стран мира по многим и разнообразным экономическим показателям, в том числе в горнодобывающей и металлургической промышленности (см. таблицу), позволяет сделать вывод, что активное вовлечение вторичного сырья металлов во внутренний хозяйственный оборот стран характерно для развитой сырьевой экономики. И наоборот, отсутствие производства металлов из вторичного сырья в сырьевых странах, масштабный вывоз скрапа (как и других видов сырья) — показатель экономической слабости инфраструктуры сырьевого сектора.

Экономика производства металлов из вторичного сырья по уровню производственных издержек выгодно отличается от производства металлов из первичного сырья. В ее структуре отсутствуют капиталозатратные и рискованные фазы поисков, разведки и оценки минеральных ресурсов и подготовки объектов МСБ к эксплуатации [21, 43, 46]. Например, простая и дешевая схема переработки вторичного сырья свинца используется швейцарской компанией Metaleurop S.A. (рис. 3). Крупные добывающие компании, наряду с извлечением металлов из первичного сырья, для повышения объема их выпуска и снижения производственных издержек в краткосрочной перспективе нередко дополнительно извлекают металлы из скрапа. В мировой цветной металлургии существует ряд компаний без сырьевых активов, успешно работающих только на вторичном (швейцарская Metaleurop, свинец, цинк) или комбинированном (с участием вторичного) покупном сырье (никелевые компании Японии и других стран Азии (рис. 4).

Вторичное сырье черных металлов — давний и традиционный объект их производства в связи с потребностями промышленности, особенно в периоды войн, экономических спадов и кризисов. Эффективность их рециклинга высока (52–87%), доля металла из скрапа достигает 40% и более (см. таб-

Мировые данные по рециклингу черных, цветных, легированных, редких, благородных и других металлов и показатели рециклинга некоторых металлов, играющих важную роль в экономике США

| Средние мировые данные по рециклингу металлов [19, 27] | Статистические показатели экономики рециклинга металлов из вторичного сырья в США [24, 39, 45 и др.] | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|------------------------|-----------------------------------|--|--|----------------------------------|--|---|--|---|---|---|
| | Мировое производство, тыс. т/год (1996 г.) | Доля рециклированного металла в мировом потреблении, % | Генерированный, тыс. т | Потребленный, тыс. т ² | Стоимость потребленного scrap, млн. дол. | Эффективность рециклинга, % ³ | Предложение, тыс. т ⁴ | Scrap с неказуемыми металлами, тыс. т ⁵ | Потребление нового scrap, тыс. т ⁶ | Отношение новый scrap / старый scrap, % ⁷ | Доля рециклированного металла в кажущемся потреблении, % ⁸ | Чистый экспорт scrap, тыс. т ⁹ | Стоимость нетто-экспорта scrap, млн. дол. |
| Hg (2000 г.) | 3,0 | 62 | 0,250 | 0,155 | 0,67 | 62 | 0,250 | 0,095 | 0,005 | 3:97 | 80 | Н.д. | Н.д. |
| Fe и сталь | Н.д. | 56 | 75 000 | 35 000 | 3790 | 52 | 78 000 | 38 000 | 18 000 | 34:66 | 55 | 2510 | 272 |
| Pb | 7816,0 | 53 | 1220 | 1060 | 263 | 95 | 1230 | 63 | 55 | 5:95 | 63 | 103 | 26,8 |
| Ni | 814,7 | 44 | Н.д. | 93,4 | Н.д. | Н.д. | Н.д. | Н.д. | Н.д. | 45:55 | 34 | 23,4 | 221,5 |
| Ti | 110,0 | 40 | » | Н.д. | » | » | » | » | » | Н.д. | 50 | 1,26 | Н.д. |
| Cu (2003 г.) | 9200,0 | 38 | 2888,6 | 1422 | 5030,9 | 37,4 | 546 | » | 953 | 67:33 | 32,5 | 118,8 | 206,9 |
| Ag (2003 г.), т | 13,8 | 35 | 1760 | 1680 | 420 | 97 | 1820 | 54 | 530 | 24:76 | 32 | 26 | 4,2 |
| Zn | 8676,0 | 28 | 672 | 82 | 71 | 19 | 702 | 505,0 | 344,0 | 81:19 | 27 | 5 | 12 |
| Cr | 284,0 | 26 | 132 | 75,3 | 66,4 | 87 | 144 | 18,0 | 28,6 | 28:72 | 20 | 41,0 | 1,54 |
| Mg | 309,0 | 26 | 108 | 31,8 | 72,1 | 39 | 112 | 68,2 | 44,6 | 58:42 | 31 | 7,5 | 22,2 |
| Al | 19 600,0 | 20 | 4000 | 1370 | 1900 | 42,0 | 4625 | 2660 | 2080 | 60:40 | 36 | -50 | 96 |
| W (2005 г.) | 42,1 | 20 | 7,3 | 6,2 | 35 | 66 | 9,7 | 3,3 | 1,6 | 20:80 | 46 | -2,94 | 15,0 |
| Au, т | 2,3 | 16 | 166 | 130 | 1234 | 96 | 178 | 8 | 45 | 25:75 | 29 | 28 | 272 |
| Ta | 0,34 | 14 | 300 | 90 | 8 | 35 | 370 | 240 | 120 | 57:43 | 21 | 30 | 2,7 |
| Nb | Н.д. | Н.д. | 2,9 | 1,0 | 20 | 50 | 3,0 | 1,5 | 0,8 | 44:56 | 22 | 0,4 | 6 |
| Mo | 78,9 | 11 | 26,7 | 8,0 | 70 | 30 | 26,8 | 18,7 | 4,0 | 33:67 | 33 | 0,19 | 1,8 |
| Cd | 18,6 | 10 | 1,76 | 1,68 | 270 | 97 | 1,82 | 0,054 | 0,53 | 24:76 | 32 | 0,026 | 4,2 |
| МПГ (Pt), т | 0,33 | 10 | 42,7 | 7,69 | 117 | 76 | 8,1 | 8,5 | 5,6 | 42:58 | 16 | 14,31 | 200 |
| Sn | 225,0 | 10 | 13 | 8 | 65 | 75 | 13 | 3 | 8 | 50:50 | 22 | 5 | Н.д. |
| Co | 22,9 | 9 | 3,5 | 1,7 | 40 | 68 | 3,83 | 1,23 | 1,70 | 50:50 | 32 | 1,20 | 40 |
| Mn | 7100,0 | Незначительная | 463 | 218 | 120 | 53 | 481 | 227 | 108 | 33:67 | 37 | 18 | 10 |

Примечание. 1 — количество металла в продукции, теоретически устаревшей с 1998 г.; потребление с безвозвратной потерей исключено; 2 — количество металла во вторичном сырье, рециклированном в 1998 г.; 3 — сумма потребленного и экспортированного старого scrap, деленная на сумму генерированного, импортированного scrap и абсолютного объема снижения коммерческих запасов старого scrap; 4 — генерированный плюс импортируемый старый scrap; 5 — поставки минус потребление, минус экспорт, минус рост коммерческих запасов старого scrap; 6 — включая предложение промышленного scrap, исключая бытовой scrap; 7 — отношения потребленных количеств, %; 8 — доля металла в кажущемся потреблении — частное от деления суммы потребления старого и нового scrap на кажущееся потребление (первичное плюс вторичное производство, плюс импорт, минус экспорт, плюс изменения государственных и промышленных коммерческих запасов) в единицах массы, выраженное в %; 9 — торговля преимущественно старым scrapом, нетто экспорт равен экспорту минус импорт старого scrap. Н.д. — нет данных.

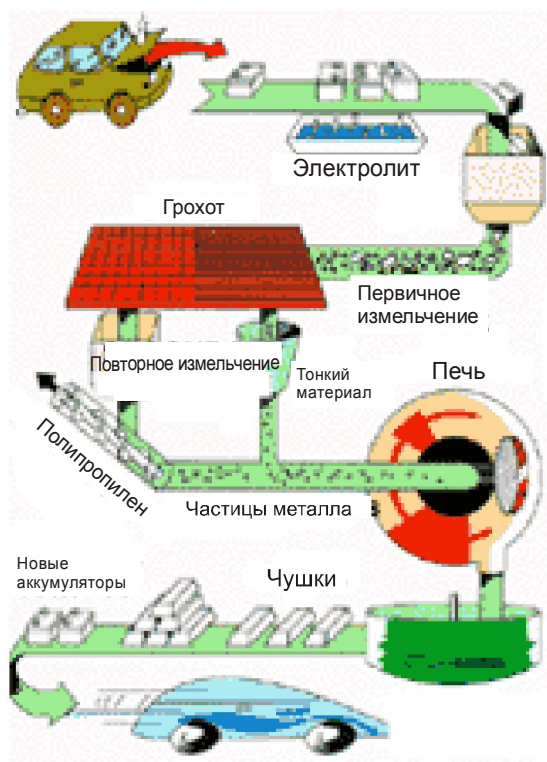


Рис. 3. Схема процесса рециклинга автомобильных аккумуляторных батарей компании *Metaleurop S.A.* (Швейцария) с сопутствующим производством вторичного полипропилена, по [33]

лицу). В структуре материальных затрат черные металлы по масштабам и универсальности их применения занимают особое место. Железо и сталь, несмотря на смещение приоритетов к энергетическим видам сырья (нефть, газ и т.д.) как ключевым в дальнейшем развитии индустрии, остаются более точными критериями в оценке состояния и перспектив общественного производства по показателю сталеемкости ВВП страны, групп стран с разными типами экономики и т.д. [1]. Кроме того, даже при росте производства и широком применении пластмасс, цветных металлов и др. сталь остается важнейшим конструкционным материалом. Структура источников энергетического сырья в различных странах может существенно различаться (в Бразилии для производства автомобильных топлив используют в больших масштабах сахарный тростник, в Швеции и Норвегии преобладают гидроэлектроэнергетические источники), а альтернативы сталеемкости промышленности нет.

По данным Международного института железа и стали (IISI) в ближайшие пять лет заметно выра-

стет потребление железа и стали в большинстве регионов мира (наиболее высокий спрос в автомобильном, строительном и потребительском сегментах промышленности), что приведет к сохранению и усилению роста производства стальной продукции из вторичного сырья [24]. В настоящее время объем мирового производства железа и стали из скрапа составляет 35–50 млн. т (около 56% потребления США). Извлечение 1 т стали из скрапа сохраняет, по некоторым оценкам, около 1030 кг железной руды, 580 кг угля и 50 кг известняка [24]. Отсутствие собственной МСБ заставляет некоторые страны искать источники вторичного сырья железа и стали за рубежом. Такова деятельность компаний Японии по сбору и вывозу из портовых городов Дальнего Востока и Северо-Востока России пресованной стальной бочкотары. Рециклинг других черных металлов (марганца, хрома) также связан с производством сталей. Марганец из стального скрапа производят в незначительных объемах. Рециклинг хрома связан с производством нержавеющей сталей из вторичного сырья, их скрап является одним из главных источников вторичного металла (до 26% в мировом потреблении). В США на производство нержавеющей сталей приходится более половины потребления хрома, часть его при этом не извлекается, входя в состав новой продукции — сплавов, углеродистых, нержавеющей и инструментальных сталей [24]. Мировой рост производства таких сталей, в том числе из аналогичного скрапа, указывает на прогрессивный рост объемов производства хрома из вторичного сырья.

Переработка скрапа цветных металлов также тесно связана с нуждами ведущих отраслей промышленности, доля их рециклированных составляющих в мировом потреблении меняется от 9% (Co) до 53% (Pb), эффективность рециклинга свинца (США) достигает 95% (см. таблицу).

Рециклинг алюминия начался сразу после первой мировой войны. В настоящее время мировое производство алюминия из вторичного сырья составляет более 20 млн. т (около 20% мирового потребления 2000 года). Источники вторичного сырья (и «петли рециклирования») многообразны. Рост производства алюминия из скрапа обусловлен многофункциональностью металла и нуждами практически всех отраслей экономики от аэрокосмической до пищевой, в особенности — авиационной (стандартный Boeing 747 содержит около 75 т алюминия). В 2000 г. производство металла из скрапа в США составило 3,5 млн. т, в том числе из старого скрапа — около 40%. За 1950–2000 гг. в результате улучшений технологии извлечение металла из скрапа возросло в 15 раз [24].

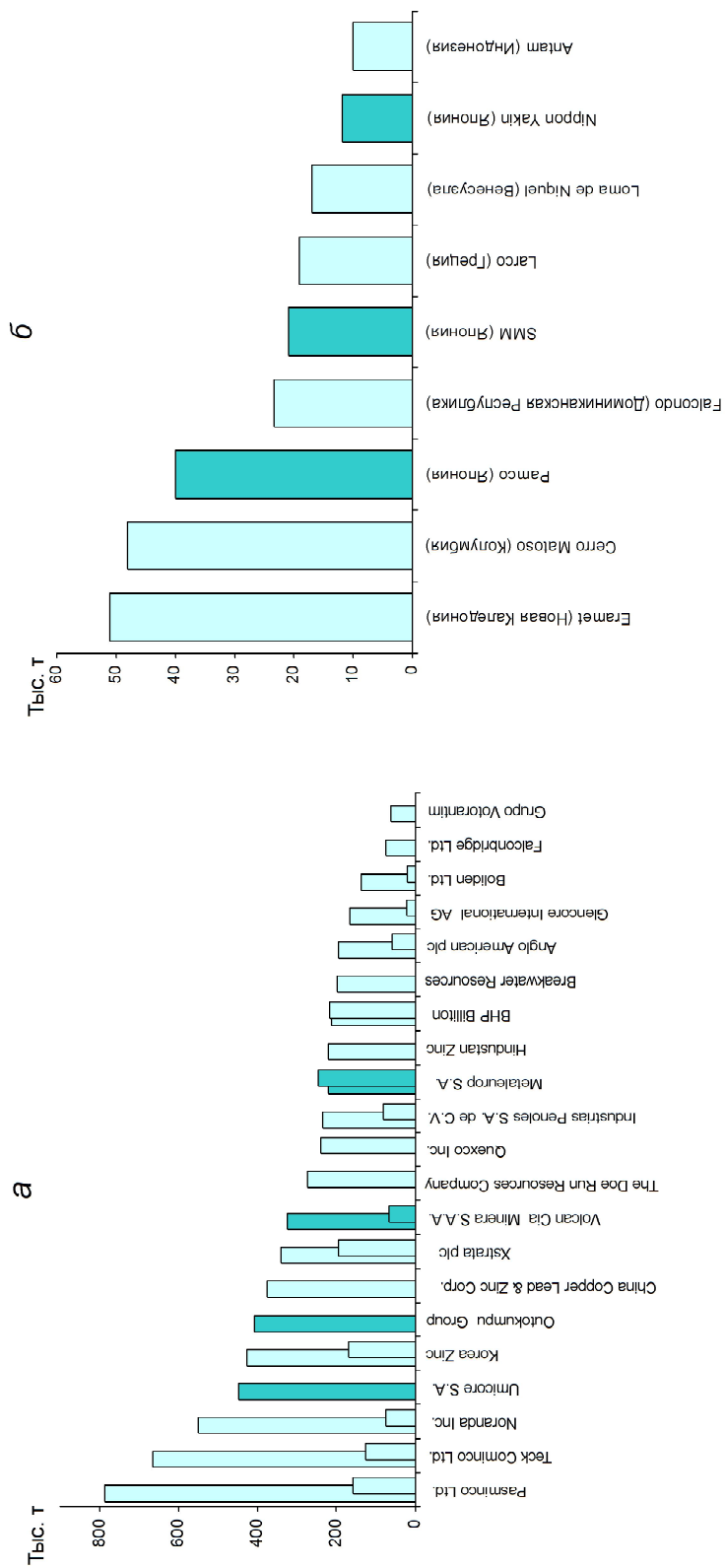


Рис. 4. Объемы производства ведущих мировых компаний — производителей свинца (левый столбик), цинка (правый столбик) и ферроникеля, по [41] (б), в 2003 г.: более густая заливка — компании без сырьевых активов, работающие на импортном вторичном или комбинированном сырье с широким участием вторичного

Мировое производство вторичной рафинированной меди, по данным International Copper Study Group (ICSG), за 2000–2003 гг. снизилось с 2,13 до 1,75 млн. т и составило лишь около 11,5% общемирового производства рафинированного металла (рис. 5). У большинства продуцентов вторичной меди отмечается еще более низкий выпуск металла, за исключением Китая. В Китае производство меди из вторичного сырья резко возросло (на 20%, или на 56 тыс. т) в основном за счет импортных поставок. В США — крупнейшем продуcente меди из вторичного сырья — ее вторичное производство сохранило снижающийся тренд (спад в 2003 г. на 17 тыс. т, или 24%) в результате его свертывания [45]. Эти процессы связаны с высокой эффективностью комбинированных технологий кучного выщелачивания и экстракции из растворов и электроосаждения металла (SX-EW) при переработке крупных объемов низкосортных медных руд.

Расширение производства свинца и цинка из вторичных материалов связано с бурным развитием автомобилестроения, строительной индустрии и новых направлений в них с интенсификацией производства аккумуляторных батарей (см. рис. 4), оцинкованных автомобильных кузовов и аналогичных строительных конструкций для защиты от коррозии.

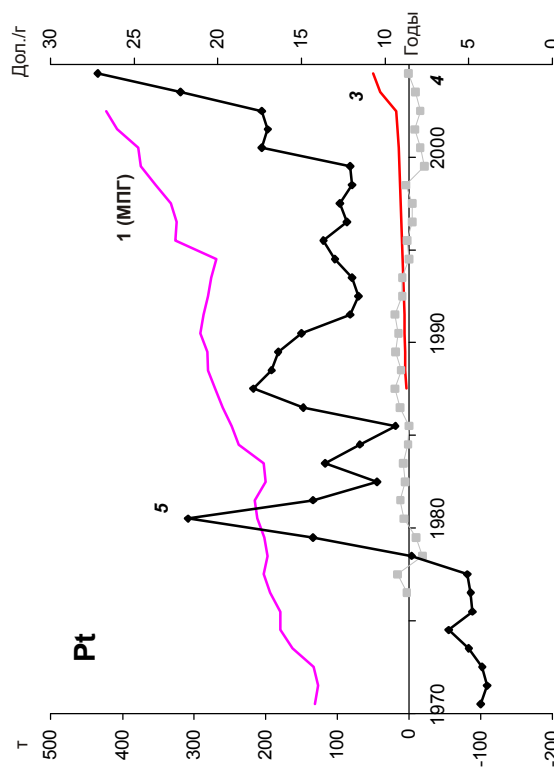
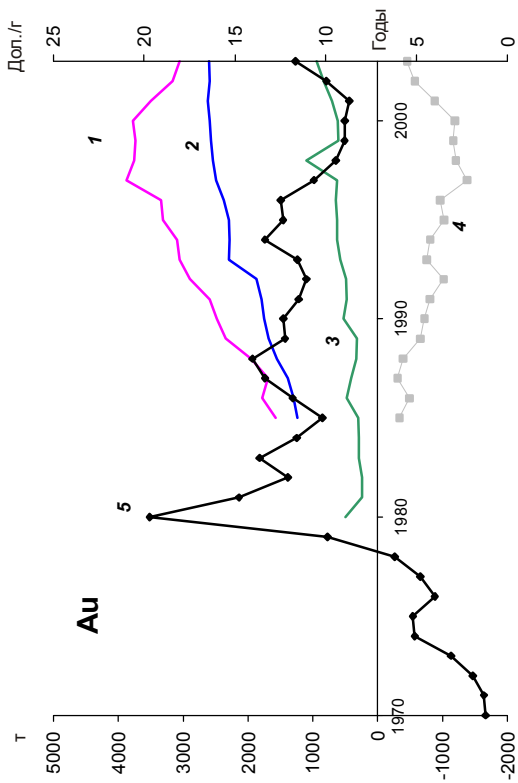
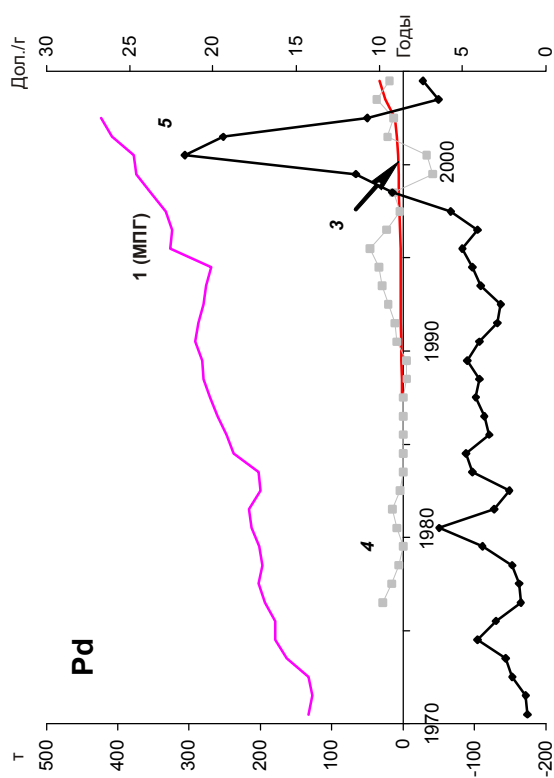
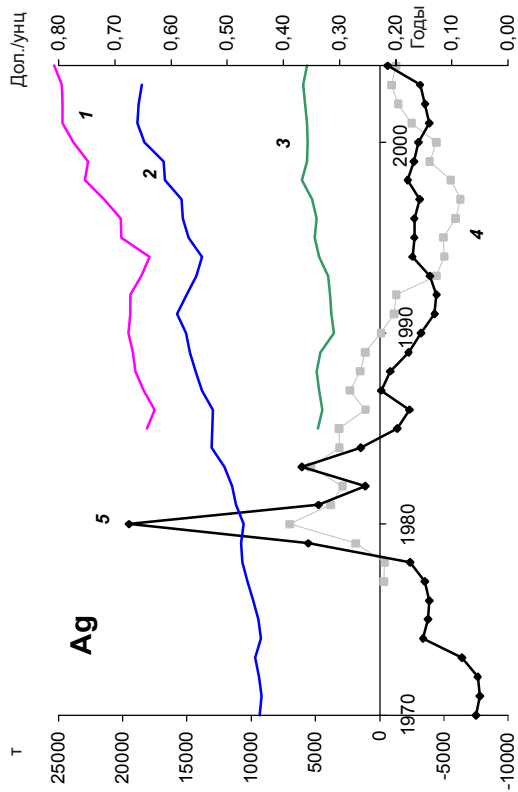
Свинец — один из наиболее рециклируемых цветных металлов в мире. Его мировое производство из вторичного сырья росло постепенно и впервые превысило выпуск первичного свинца в 1989 г. (см. рис. 5). Это отражает благоприятные экономические условия для извлечения свинца из скрапа и тот факт, что свинец при переработке скрапа сохраняет свои физические и химические свойства. Доступ к вторичному свинцу из скрапа как обновляемого ресурса для изготовления автомобильных и других аккумуляторных батарей имеют и страны, не обладающие первичными источниками сырья [31]. Объем мирового производства свинца из вторичного сырья в 2003 г. составил 3126 тыс. т, 45,8% мирового потребления или более 100,5% мирового рудничного производства в западном мире (данные International Lead and Zinc Study Group — ILZSG), превысив объем производства из первичного сырья на фоне продолжающегося повышения рыночных цен.

Нарушения баланса спроса-предложения свинца не оказывают значительного воздействия на уровень использования вторичного сырья в связи с высоким и растущим спросом на металл (см. рис. 5).

Извлечение цинка из вторичного сырья также активизируется в последние годы. С ростом использования сталей с цинковым покрытием в авто-

мобильной и строительной индустрии существенным источником вторичного цинка становятся пылевые отходы электродуговых печей. Данные ILZSG показывают, что общее извлечение цинка из вторичных материалов в западном мире в 1994 г. составило 1,88 млн. т. Вторичный цинк включает высокочистый рафинированный металл, переплавленный цинк чистотой менее 98,5% Zn и цинк скрапа, используемого в производстве цинковых сплавов. Западный мир ежегодно потребляет более 6,5 млн. т чушек оксидов, порошков и пылей, 2 млн. т из них (30,8%) составляет рециклированный цинк. По оценке USBM, в результате совершенствования технологий переработки вторичного сырья в 2003 г. количество цинка из скрапа составило 30% общемирового потребления (см. рис. 5). В США в общем объеме потребления цинка около 1400 тыс. т в год около 25% составил металл из скрапа [39]. Извлечение цинка из скрапа, как и для свинца, приводит к снижению объемов безвозвратных потерь металла, сохранению энергии в результате уменьшения необходимости добычи и плавления, снижению воздействия на окружающую среду, сбережению МСБ. Цинк в отличие от многих других материалов можно многократно рециклировать без изменения его механических и химических свойств. Положительный тренд роста производства цинка из вторичного сырья не подвержен существенным колебаниям (см. рис. 5) и не зависит ни от каких других факторов, кроме устойчиво растущего спроса автомобильной промышленности и стройиндустрии.

Никель — интенсивно рециклируемый металл. Процессами переработки его вторичного сырья (в основном нержавеющей стали) в западном мире управляют не государственные учреждения, а исключительно коммерческие компании. Важнейшим конкурентом крупнейшего рынка первичного никеля является производство нержавеющей стали из никеля в скрапе. По оценке Inco Ltd., около 48% никеля, необходимого для производства аустенитных (никельсодержащих, в отличие от ферритных — хромсодержащих) нержавеющей стали, мировая промышленность получает в форме скрапа нержавеющей стали. Они содержат также хром и железо, необходимые для производства аустенитных сталей (75% мирового объема производства нержавеющей стали). Продукция из металлического никеля и его сплавов, в первую очередь нержавеющей стали различных марок (200, 300 и 400), имеет длительный период эксплуатации и, накапливаясь, создает у стран-пользователей значительные запасы вторичного сырья для будущих поколений [38]. Срок массовой переработки его еще не наступил.



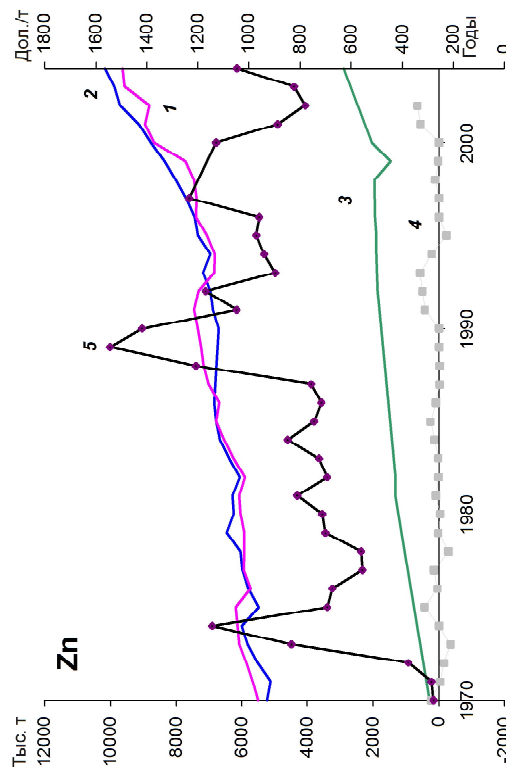
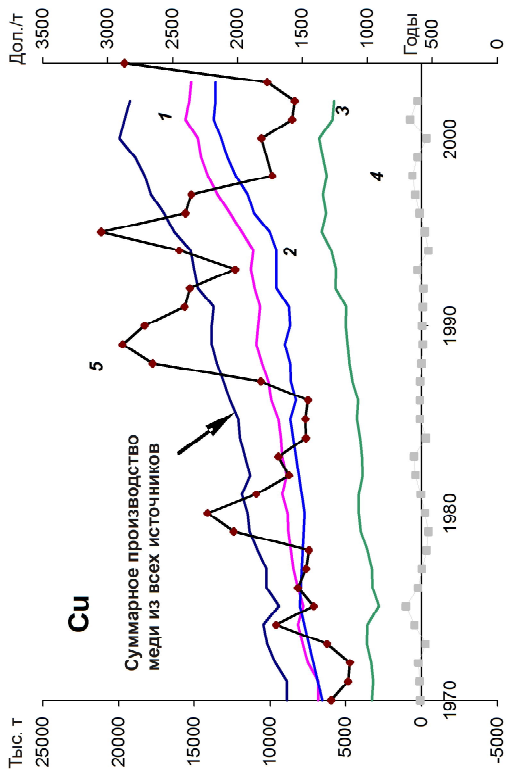
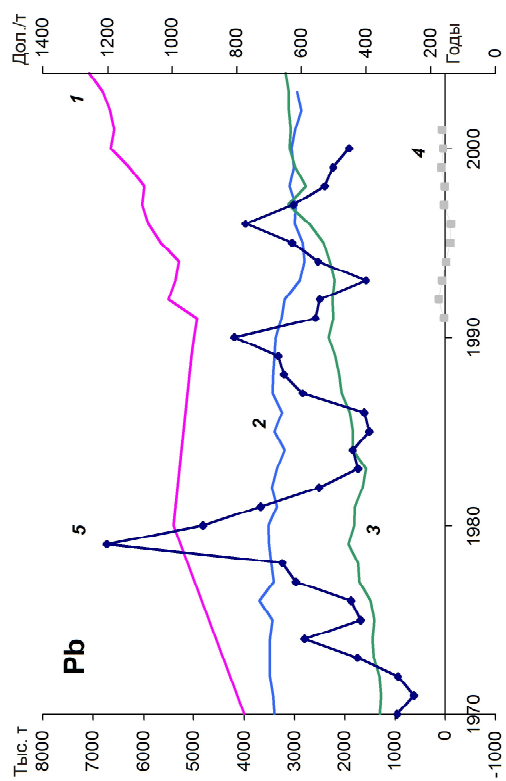
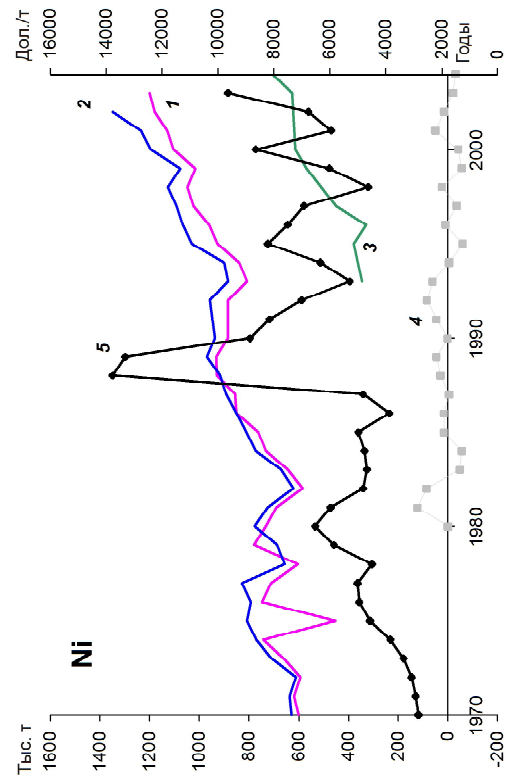


Рис. 5. Соотношения между производством рафинированных металлов (1), их рудничным производством (2), производством из скрапа (3), балансом спроса-предложения (4) и мировыми ценами на металлы (5) в 1970–2004 гг., по [25, 26, 28, 35, 47 и др.]

В 1980 г. – начале 2000 г. неоднократно возраставший спрос при дефиците предложения приводил к ценовым скачкам на рынке никеля. Особенно резкий рост цен наблюдался в течение 2004 г. Эти колебания, связанные с неустойчивостью поставок никеля на рынок (в основном из России) и растущим спросом со стороны Китая, проявляются в неизбежном выбросе скрапа на рынок и росте производства никеля из вторичного сырья. Растущий мировой объем производства никеля из вторичного сырья — реакция мирового рынка на такие колебания, способствующая стабилизации положения (см. рис. 5). Неустойчивое производство металла из вторичного сырья связано с колебаниями ожиданий рынка при растущем спросе и повышающейся мировой цене.

Источники вторичного сырья благородных металлов включают старый и новый скрап, образующийся в промышленности и у потребителей. Отработавшие компьютеры, количество которых в последние годы резко возрастает, и другое электронное оборудование — один из основных источников скрапа. В США количество извлеченных из них рециклированных благородных металлов только за 1997–1998 гг. составляло 3,1–3,6 т ежегодно [18].

Производство золота из вторичного сырья обусловлено ростом спроса на него в промышленности и непромышленной сфере. Несмотря на провозглашение золота обычным рыночным товаром, оно сохраняет за собой функции сокровища и важного финансового инструмента в силу своей высокой ликвидности. В 2003 г. вклад скрапа в общемировой объем предложения вырос на 13% и достиг максимума (943 т) за последние пять лет. Это вызвано главным образом подъемом на порядок цены на металл в 90-е годы и отсутствием последующего адекватного спада ее и факторами, связанными с особенностями местных рынков [4]. Баланс спроса-предложения в статистических сводках по золоту (и другим благородным металлам) всегда сведен к нулю, однако сальдо между добычей (mining) и общим потреблением золота (total fabrication) в мире в течение последних десятилетий всегда отрицательное. Поэтому в связи с ростом потребления металла можно ожидать постоянное возрастание количества золота, полученного из скрапа. Общемировой объем золота из вторичного сырья за рассмотренный период вырос почти в два раза. Диаграмма динамики добычи, общего потребления и производства металла из скрапа показывает рост последнего при отсутствии его резких колебаний (см. рис. 5).

Потребление серебра с 1951 г. превысило его извлечение из руд. С этого года берет отсчет произ-

водство серебра из вторичного сырья. Производство вторичного серебра включает его извлечение из нового и старого скрапа, генерируемого из серебряносодержащих отходов промышленности и потребителей. По оценке, в конце 80-х годов мировое извлечение серебра только из отходов фотоиндустрии многочисленными компаниями во всем мире составило около 67% от общего объема его потребления [42, 47] (см. рис. 5). В отличие от золота для серебра характерен широкий спектр промышленного применения, поэтому производство его из вторичного сырья определяет в основном спрос со стороны промышленности.

К источникам скрапа серебра относятся продукция, находящаяся в обороте (монеты и награды), перерабатываемые отходы и безвозвратно потерянный металл. Наиболее важен скрап фотоиндустрии, электротехнической и электронной промышленности, ювелирный, отработанные катализаторы. С 1993 по 2003 гг. общий объем металла из вторичного сырья вырос в 1,17 раза и составил 5,64 тыс. т. Баланс спроса-предложения серебра на рынке не обнаруживает резких изменений, как и для цветных металлов, поскольку регулируется поступлениями металла из резервного фонда государств и компаний (как и для золота), но стимулирующее действие на производство металла из скрапа, безусловно, оказывает (см. рис. 5).

Особая ситуация складывается на мировом рынке металлов платиновой группы. В настоящее время, кроме традиционного ювелирного, активизировался и в ближайшие годы будет расширяться сегмент промышленного использования МПГ в производстве автомобильных конвертеров и катализаторов для силовых электроустановок на основе топливных элементов [35]. Это потребует значительного роста производства платины и других МПГ из первичных источников и из скрапа [35, 36]. В Европе уже более 25 лет успешно работают компании по рециклингу благородных металлов, в том числе МПГ. Одна из ведущих по переработке платиновых автомобильных конвертеров и другого скрапа благородных металлов — немецкая компания Demet Deutsche Edelmetall Recycling AG (завод по рециклингу автомобильных конвертеров в Альценау). На Американском континенте одна из крупных компаний по переработке исключительно автомобильного скрапа каталитических конвертеров в США и Канаде — Kaye Refining Corp. [23].

Анализ и прогноз экономической доступности МПГ для промышленного использования, проведенный американским агентством TIAH LLC по запросу правительства США, показывает, что развитие автомобильного сектора промышленности и

коммерциализация топливных элементов в силовом сегменте электротехнической отрасли промышленности приведут к росту промышленной составляющей скрапа МПГ (отработанные автомобильные катализаторы и катализаторы топливных элементов), сопоставимой по объему с нынешним производством МПГ из первичных руд [36]. Динамика мирового производства МПГ из вторичного сырья свидетельствует о необычайном его ускорении в самые последние годы, что тесно сопряжено как с ситуациями рыночного дефицита-избытка, так и с колебаниями мировых цен (см. рис. 5).

Мировое производство цветных и благородных металлов из вторичного сырья в 1990–2000 гг. (см. рис. 5) характеризуется устойчивым ростом на фоне изменчивых ситуаций спроса-предложения, особенно интенсивным в условиях дефицита металлов на мировом рынке и сопряженного роста цен на них. Только за 90-е годы доля металлов, полученных из вторичного сырья, приходящихся на 1 т металлов из первичных руд, выросла для цветных металлов в 1,2–1,36 раза, для благородных — в 1,5–1,72 раза, несколько снизившись для серебра и платины.

Отмечаются резкие изменения объема производства цветных металлов из вторичного сырья на фоне общего его роста. Это связано с инерционностью процессов адаптации производства к возникшим условиям спроса-предложения на рынке. Возможность быстрого покрытия дефицита в балансе мирового спроса-предложения благородных металлов за счет их высокой ликвидности путем выброса на рынок (продажи центробанков, дехеджевые операции компаний-производителей, процедуры дезинвестирования и детезаврации и др.) не приводит к сильным скачкам объемов производства из вторичного сырья. Однако в целом стимулирует его в связи с низкокзатратными особенностями производства металла из вторичного сырья и возможностями оперативно маневрировать им. При этом отсутствуют резкие изменения в балансе спроса-предложения, постепенно нарастает дефицит или избыток и происходит согласованное изменение объемов производства из скрапа и цен на металлы. Исключением являются массивованные продажи металла на мировом рынке крупными игроками — государствами и компаниями (биржевые игры), существенно нарушающие равновесие и подавляющие производство металла из вторичного сырья. Постоянными условиями стабильного роста производства металлов из вторичного сырья остаются мера их промышленного использования и низкие капитальные затраты на производство. Чем эта мера выше, а затраты ниже, тем устойчивей рост. Осо-

бенно это характерно для серебра, потерявшего свое валютное значение, зато имеющего расширяющийся спектр областей современного промышленного потребления (электроника, очистка воды и др.).

Периодически возникающий дефицит в балансе спроса-предложения металлов на мировом рынке служит одним из важных рыночных стимулов активизации использования вторичного сырья, кроме собственно сырьевого. Он вызывается различными причинами. Для металлов с широким спектром промышленного спроса (черные, цветные, редкие и др.) дефицит может быть вызван недостатками, истощением или отсутствием МСБ — объектов их рудничного производства, для благородных металлов — сырьевыми, общеэкономическими, политическими причинами, краткосрочными биржевыми спекуляциями компаний и даже государств с их высоколиквидными резервами драгметаллов и камней (например, продажи драгметаллов из госрезервов центробанков). В любом случае в обозримом будущем в связи с общими тенденциями роста спроса на металлы можно ожидать интенсификации использования скрапа черных, цветных и благородных металлов. Некоторые примеры роста производства металлов разных групп из вторичного сырья и механизмов, управляющих этим ростом, приведены на рис. 5.

Особняком по отношению к собственно вторичному сырью благородных металлов стоят горные отходы на некоторых зарубежных объектах первичного производства (хвостоотвалы, шлаки и др.). Таковы хвостоотвалы с благородными металлами оловянно-серебряных рудников San Bartolome (Боливия), Hellier (Австралия, Тасмания) и др., относимые к возможным источникам дополнительных объемов металлов и успешно осваиваемые [37].

Еще в 1987 г. в докладе «Наше общее будущее» Комиссия ООН по сбалансированному развитию под руководством Г.Брундтланд [20] сформулировала тезис о «сбалансированном» использовании невозобновляемых природных ресурсов с целью их сохранения и уменьшения ущерба для будущих поколений. Рассмотрение мировых тенденций производства и потребления металлов из вторичного сырья показывает, что он не утратил своей актуальности и реализуется, хотя и трансформирован позже в принцип «устойчивого» развития (Рио-де-Жанейро, 1992 г.).

Горнодобывающая промышленность современной России, к сожалению, не является ни сбалансированной, ни устойчивой. В большинстве сегментов отрасли она низкорентабельна (часто нерента-

бельна) из-за слабой конкурентоспособности МСБ, низкой эффективности работы металлургических предприятий на устаревшем оборудовании и др. Необходим ряд нетривиальных мер по обеспечению ее сырьем. Месторождения алмазов, драгоценных металлов, никеля и меди нашей страны не уступают по масштабам и качеству руд объектам МСБ основных стран-производителей мира. Однако МСБ свинца и цинка представлена нерентабельными для отработки объектами, экономически слабодоступными. Выборочные данные о состоянии обеспеченности минерально-сырьевыми ресурсами черных, цветных и благородных металлов перерабатывающих мощностей России [7] показывают следующее.

Крупные запасы железных руд в европейской части страны и в Восточной Сибири не позволяют обеспечить металлургические комбинаты Урала и Западной Сибири собственной сырьевой базой, а близлежащие крупные месторождения расположены на территории Казахстана (Соколовско-Сарбайское, Качкарское).

По выпуску алюминия Россия занимает второе место в мире после США. Но обеспеченность страны собственным глиноземным сырьем (бокситы и нефелиновые руды) составляет лишь треть от потребностей. Сырье для перерабатывающих мощностей в Сибири поставляется из Северного Казахстана (тургайские месторождения бокситов, Павлодарский глиноземный завод). В итоге алюминиевые комбинаты столкнулись с проблемами нехватки высококачественного первичного сырья. Россия, располагая крупными предприятиями по переработке алюминиевых руд и энергетическими мощностями для обеспечения их проектной производительности, вынуждена использовать чужое сырье на толлинговой основе. Информация об упорядоченном сборе и переработке полноценного вторичного сырья отсутствует. Известны лишь многочисленные факты кражи кабелей высоковольтных ЛЭП и сдачи их в виде алюминиевого лома на пункты сбора металлов.

Основные мощности по добыче и выплавке меди в России сосредоточены в Норильском районе и на Урале. Предприятия Норильского района обеспечены собственным сырьем, но себестоимость этой меди высока. Уральский регион сырьем не обеспечен из-за отработанности месторождений и устаревшего оборудования медеплавильных заводов, нарушающих также экологическое состояние среды (остановка Карабашского завода). Крупные неосвоенные месторождения Сибири (Удоканское) требуют значительных инвестиций.

Минерально-сырьевая база свинца и цинка в России значительна, но либо масштабы объектов

небольшие (Забайкалье, Приморский край), либо на крупных объектах качество руд невысокое, либо объекты отличаются сложными горногеологическими условиями (Горевское, Озерное, Холоднинское), что не позволяет вести их рентабельную отработку. Роль производства свинца из вторичных материалов в стране довольно велика. В 1990–2000 гг. оно составляло 6–20 тыс. т или 17,6–99% всего объема рафинированного металла, однако возможности роста его в связи с малым объемом исходных материалов ограничены [11].

Данные по производству цинка из вторичного сырья отсутствуют. По сравнению с 1970 г. (СССР) производство цинка в России снизилось в 3,5 раза, и необходимы дополнительные источники сырья [11].

Производители никеля — четыре компании: ГМК «Норильский никель», комбинаты «Уфалейникель», «Южуралникель» и «Режникель». Россия, располагая крупнейшими в мире по запасам медно-никелевыми месторождениями Норильского района с рудами высокого качества (Норильск I, Октябрьское, Талнахское) и Кольского полуострова (Ждановское месторождение), казалось бы, далека от проблем зарубежной никелевой промышленности, отработывающей месторождения преимущественно вкрапленных руд. Но запасы богатых массивных руд ГМК «Норильский никель» не вечны, а комбинаты «Уфалейникель», «Южуралникель» и «Режникель», работая на силикатных рудах, испытывают трудности с поставками сырья. При годовом производстве 20 тыс. т Ni компании «Уфалейникель», «Южуралникель» не занимаются проблемами вторичного сырья никеля. Переработка скрапа им невыгодна, так как требует дополнительных затрат. В то же время Россия экспортирует никель на мировой рынок, наращивая экспорт в условиях низкого спроса со стороны отечественной промышленности (рис. 6) и высокого мирового спроса на нержавеющие стали (Китай).

Данные по использованию вторичного сырья золота, платиновых металлов и серебра в России отсутствуют.

Все перечисленное требует критического анализа и рассмотрения различных сценариев развития МСБ и возможных других источников металлов с учетом опыта работы зарубежных компаний. Важную роль могут играть вторичные источники сырья, скрап и отходы горнопромышленного производства (отвалы некондиционных руд, хвосты обогащательных фабрик, шлаки, кеки и проч.), не требующие капитальных затрат на ГРП, оценку и извлечение из недр. Производство металлов из вторичного сырья в стране не имеет официального статуса и криминализовано. Последнее особенно

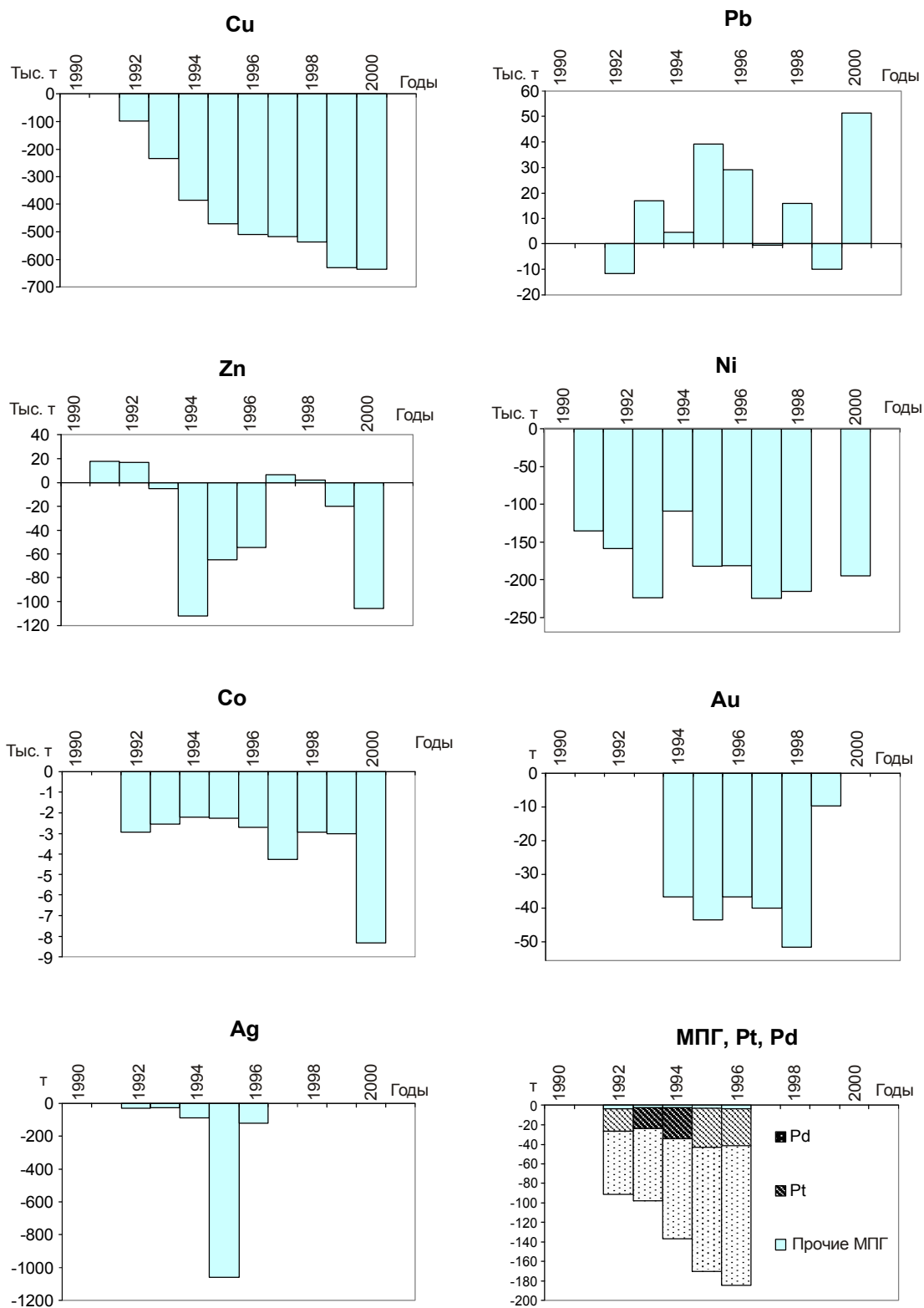


Рис. 6. Сальдо экспорта-импорта Россией руд, концентратов, скрапа и необработанных цветных (тыс. т) и благородных (т) металлов в 1990–2001 гг. в пересчете на металл, по [13] и др.

характерно для нелегального оборота благородных металлов из их лома и отходов горного производства [15]. Возможным решением проблемы являются горнопромышленные отходы. По некоторым оценкам, за 300 лет развития горнодобывающей отрасли в различных экономических регионах России накоплено не менее 100 млрд. т отходов. По данным [3], только в отходах предприятий цветной металлургии содержится (тыс. т): Zn 9000, Cu 7790, Ni 2480, Pb 980, Sn 540, и ряд других полезных компонентов в промышленных количествах. В отвальных комплексах золотоносных приисков содержится около 5 тыс. т россыпного золота [2]. Разработку россыпей золота проводили с полной потерей связанного золота, количество которого может достигать 95% от общих запасов. Извлечение свободного золота во многих случаях составляло лишь около 30% от его количества [9]. Неизвлеченное золото частично сохранилось в отработанных россыпях и в гале-эфельных отвалах. Использование современных технологий позволило бы их рентабельно эксплуатировать [12]. Кроме того, в отвалах дражной отработки россыпей много не только мелкого золота, но и самородков, которые пропускались устаревшим оборудованием. Эти самородки народные умельцы успешно ищут с помощью современных металлоискателей [15]. Однако промышленная значимость металлосодержащих горнопромышленных отходов изучена слабо, а опыт их разведки, оценки и утилизации невелик. Тем не менее помех для квалификации их как источников вторичного сырья нет, и отходы горнодобывающих и сопутствующих перерабатывающих предприятий в отсутствие инвестиций на ГРП можно рассматривать как один из резервов обеспеченности России минеральным сырьем. Заслуживает самого пристального внимания и поощрения опыт ГМК «Норильский никель» по освоению техногенного сырья платиноносных хвостохранилищ в Норильском районе. Кроме того, следует отметить, что даже частичная переработка отходов горного производства могла бы снизить экологическую нагрузку на окружающую среду за счет ликвидации значительных загрязнений, вызванных горнорудным и металлургическим производством, и реабилитации территорий.

Российские продуценты металлов продолжают оставаться перед лицом возрастающих энергетических, транспортных и топливных затрат. Отсутствие инвестиционного капитала препятствует также процессам совершенствования в технологической области, в обслуживании оборудования и в сфере охраны окружающей среды. Исключениями являются Челябинский цинковый плавильный завод и

предприятия ГМК «Норильский никель». Первый провел модернизацию в результате займа у ЕБРР с завершением ее в 1998 г. и ростом годовой производительности с 70 до 200 тыс. т рафинированного цинка; второй осуществляет модернизацию своих предприятий с помощью финской компании Outokumpu. Но вторичное сырье и горнопромышленные отходы они не перерабатывают.

Еще один из возможных путей выявления сырьевых ресурсов в России (вне недр) — налаживание силовыми органами страны надлежащего контроля за потоками неучтенного сырья (а для благородных металлов — собственно металла и скрапа) на так называемом «сером рынке». ЦНИГРИ участвовал и продолжает принимать участие в подобной работе.

К сожалению, любой анализ неучтенных или возможных дополнительных ресурсов вторичного сырья или горнопромышленных отходов становится бессмысленным при изучении данных по нетто-экспорту Россией руд, концентратов, скрапа и рафинированных черных, цветных, благородных и других металлов на мировой рынок [13]. Масштабы его в 90-х — начале 2000 г. оказались такими, что заставили международные торговые организации (ЛБМ и др.) принимать по отношению к России антидемпинговые меры (по никелю, кобальту, стали) в связи с существенным воздействием массивированных российских поставок на мировые цены. Практически для всех металлов характерно положительное сальдо российского экспорта-импорта, свидетельствующее о массивированном вывозе металлов из страны на протяжении длительного периода — с начала «перестройки» до настоящего времени (см. рис. 6). Ярким примером может служить состояние дел с балансом экспорта-импорта золота. Данных по экспорту золота из России мало. Однако общая тенденция изменения этого показателя хорошо просматривается при сопоставлении данных по золотой составляющей золотовалютного резерва (обязательная ежемесячная информация для МВФ) [29, 34] и ежегодной добычи золота в стране [4]. О масштабах вывоза металлов (в том числе их скрапа), кроме официальных данных, свидетельствует информация на многочисленных сайтах интернет-магазинов по мелкооптовой торговле металлами. Эти сайты канализируют сотни предложений для российских дилеров на вывоз металла в основном в виде скрапа за рубеж при единичных запросах на ввоз (например, известный сайт RUSSIA: Exsport-Import [40], итальянский сайт по цветным металлам каталога Logini [32] и др.). Эти неутешительные данные свидетельствуют о широкой практике решения сиюминутных задач частных компаний за счет невозполнимых ресурсов вторичного

сырья России на протяжении всего постперестроенного периода.

Изложенное позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Мировое сообщество в условиях роста потребления металлов во всех секторах и сегментах хозяйственной деятельности успешно развивает производство металлов из вторичного сырья. Этот процесс наиболее заметен с момента начала снижения темпов роста численности мирового населения. Кроме черных металлов, наиболее эффективно производство вторичных алюминия, меди, свинца, цинка, никеля и др. На очереди — рост производства благородных металлов (серебра и МПГ) с широким спектром промышленного использования. В целом реализуется основная идея доклада Комиссии ООН (1978 г.) по сбалансированному развитию.

2. Периодические подъемы производства металлов из вторичного сырья характерны для периодов отрицательного баланса спроса-предложения, вызванных различными причинами, от недостатков в развитии МСБ до политических и банковских спекуляций. Эти подъемы стимулируются низкозатратной экономикой сбора и переработки вторичного сырья и высокой ликвидностью скрапа благородных и отчасти цветных металлов (скрап нержавеющей стали). Положительным результатом использования вторичного сырья металлов и отходов горнорудного производства является частичное снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

3. Налаживание в России систематического производства черных, цветных, благородных и других металлов из вторичного сырья для внутреннего потребления в настоящее время невозможно, так как большая часть их будет продана за рубеж еще в виде скрапа. Видимо, решение этих проблем в России, с учетом накопленного зарубежного опыта, еще предстоит. Оно может лежать в области эффективного правового регулирования управления наличными (накопленными) наземными минеральными и другими ресурсами металлов во всех их формах и осуществимо при условии приостановки широкомасштабного вывоза их из страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адно Ю.* Сталь как мера всех вещей // *Металлы Евразии.* 1996. № 6.
2. *Беневольский Б.И., Шевцов Т.П.* О потенциале техногенных россыпей Российской Федерации // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление.* 2000. № 1. С. 14–19.
3. *Боков В.Г., Лазарев В.Н.* Проблемы освоения техногенных минерально-сырьевых ресурсов России // *Минерально-сырьевые ресурсы России. Экономика и управление.* 2000. № 5–6. С. 31–39.
4. *Золото 2001–2004.* Русский выпуск. GFMS Limited, НБЛЗолото, Октябрь, 2001–2004.
5. *Капица С.П.* Общая теория роста населения Земли. — М.: Наука, 1999.
6. *Капица С.П.* Глобальная демографическая революция и будущее человечества // *Новая и новейшая история.* 2004. № 4.
7. *Козловский Е.А., Даукеев С.Ж.* Минерально-сырьевые ресурсы России и Казахстана — основа взаимовыгодного сотрудничества // *Маркшейдерия и недропользование.* 2003. № 2. С. 29–35.
8. *Константинов М.М.* Революция в геологии золота // *Природа.* 1998. № 3.
9. *Константинов В.М., Пельмский Г.А.* Тонкое золото россыпей // *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология.* 2004. № 4. С. 21–25.
10. *Кривцов А.И.* Минерально-сырьевая база на рубеже веков — ретроспектива и прогнозы. Изд. 2-е, доп. — М: ЗАО «Геоинформмарк», 1999.
11. *Минеральные ресурсы мира.* — М.: ИАЦ «Минерал», 1995–2004.
12. *Риндзюнская Н.М., Матвеева Е.В.* Экзогенные месторождения с мелким и тонким золотом — перспективы XXI века // *Отечественная геология.* 1998. № 3. С. 20–25.
13. *Россия.* Экспорт минерального сырья и продуктов его переработки за 1995–2001 гг. // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление.* 1995. № 4; 1996. № 4; 1998. № 4; 1999. № 4; 2000. № 4; 2001. № 4; 2002. № 5.
14. *Спицнадель В.Н.* Основы системного анализа: Учебное пособие. — СПб: Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000.
15. *Ходорыч А., Сенаторов Ю., Киселева Е.* Нелегалы от металла // *Коммерсантъ. Деньги.* 2001. № 10. С. 19–25.
16. *Яковлев В.Л., Гальянов А.В.* Методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов. — Екатеринбург: УрО РАН, 2001.
17. *Bleiwas D.I.* Availability of primary nickel in Market-Economy Countries. A Mineral Availability Appraisal // *US Bureau of Mines Information Circular 9276/1991,* 1991.
18. *Bleiwas D., Kelly T.* Obsolete computers, «Gold Mine», or Hi-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling // *USGS, Eastern Publications Group Web Team,* 28.09.2001. Fact Sheet 060-01 (<http://pubs.usgs.gov/factsheet/fs060-01>).
19. *Borghi A.* Sustainable development issues // *Ecometal.* 2004.
20. *Brundtland G.H.* Our Common Future. Report of the World Commission for Environment and Development. — Oxford, Oxford University Press, 1987.
21. *Cranstone D.A., Lemieux A., Valle M.* Generalized Model of the Process of Mineral Resource Development and Mining // *Lemieux A. Canadian Reserves of Selected Major Metals, Recent Production Decisions, and Deposits Promising for Future Production — Canadian Mineral Yearbook 1995.* 1996.
22. *Dummet H.T.* Minerals resource development — our new Challenges // *Mining Engineering,* July 2000. Vol. 52. № 7. P. 37–42.

23. *Electronic Precious Metals LLC to Develop Precious Metals Trading Site* // Electronic Precious Metals LLC. Press Release. 17 July 2001 (<http://www.epmex.com>).
24. *Flow Studies for Recycling Metal Commodities in the United States*. U.S.Geological Survey, Reston, Virginia. Circular 1196-A-M. 2004.
25. *Gold 1992–1998*. GFMS Ltd., 1992–1998.
26. *Gold Survey 1999–2000*. GFMS Ltd., 1999–2000.
27. *Henstock M.E.* The Recycling on Non-Ferrous Metals // International Council on Metals and the Environment. Ottawa, Canada, 1996.
28. *Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States*. USGS Open-File Report 01-006 / T.Kelly, D.Buckingham, C.DiFrancesco et al. (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/of01-006>).
29. *International Financial Statistics*. – International Monetary Fund, Jan. 2005. P. 35–37.
30. *Kesler S.E.* Mineral Economics. Value of Growth of World Mineral and Other Raw Material Production // SEG Newsletter. 1994. № 17. P. 14–15.
31. *Lead*. Canadian Minerals Yearbook. 1994, 1995, 2003.
32. *Lorini*. Export-Import Italia-Russia. Listini Prezzi. Metalli non ferrosi 2005 (<http://www.lorini.biz/>).
33. *Metaleurop*. Nos Produits et services. Le plomb (http://www.metaleurop.fr/index.php?g_rub=produit&g_ssr=plomb).
34. *Monthly Bulletin of Statistics*. UN, 2003, December, Issue № 990. Vol. LVII. №. 12. P. 236–241.
35. *Platinum 2004, 2005*. Johnson Matthey, 2004, 2005.
36. *Platinum Availability and Economics for PEMFC Commercialization*. TIAX LLC, 2004 (D0034.2004-01-06 PGM Final Report.ppt).
37. *Project Survey, 1993–2004* // Engineering & Mining Journal. 1993–2004.
38. *Recycling and Sustainable Development*. Nickel Institute, 2004 (http://nickelinstitute.org/index.cfm/ci_id/11/la_id/1/htm).
39. *Recycling – Metals – 2003*. Minerals Yearbook. U.S.Geological Survey. 2003. P. 61.1–61.17.
40. RUSSIA:Export-Import. 2005 (<http://www.users.globalnet.co.uk/~chegeo/zk3.htm>).
41. *Sauvage F.-G.* Ferro-nicel, a product especially designed for the stainless steel industry // Metal Bulletin & SMR's 4 International Nickel, Stainless and Special Steel Forum 12–15 Sept. 2005, Sheraton Bilbao Hotel, Bilbao, Spain, 2005.
42. *Silver Recycling, 2003*. USGS, 2003.
43. *Societe quebecoise d'exploration Miniere (SOQUEM)* Annual Report, 1976–1977.
44. *Sustainable Development Indicators in the Mineral Industries (SDIMI 2003)*. International Conference. Book of Proceedings. Milos Conference Center – George Eliopoulos, 2003.
45. *The U.S. Copper-base Scrap Industry and Its By-products. An Overview*. Copper Development Association, 2003.
46. *Vallee, 1992*. Guide to the Evaluation of Gold Deposits. CIM, 1992, Special Vol. 45.
47. *World Silver Survey, 1995–2004*. The Silver Institute, 1995–2004.