

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



1/2008

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

ОСНОВАН В 1992 ГОДУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор И.Ф.МИГАЧЕВ

Б.И.БЕНЕВОЛЬСКИЙ
Э.К.БУРЕНКОВ
В.И.ВАГАНОВ
С.С.ВАРТАНЯН
П.А.ИГНАТОВ
М.А.КОМАРОВ
М.М.КОНСТАНТИНОВ
А.И.КРИВЦОВ, зам. главного редактора
В.В.КУЗНЕЦОВ
Н.К.КУРБАНОВ
Е.В.МАТВЕЕВА
Г.А.МАШКОВЦЕВ
Н.И.НАЗАРОВА, зам. главного редактора
Г.В.РУЧКИН
Ю.Г.САФОНОВ
Г.В.СЕДЕЛЬНИКОВА
В.И.СТАРОСТИН



УЧРЕДИТЕЛЬ

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
Роснедра
МПР России**

Издается при участии
Международной академии минеральных ресурсов,
Фонда им. академика В.И.Смирнова

Москва ЦНИГРИ 2008

Редакция: Н.И.Назарова, Г.В.Вавилова
Компьютерный набор: Н.И.Назарова
Верстка и оригинал-макет: Т.В.Лукина

Сдано в набор 21.01.08 г.
Подписано в печать 28.01.08 г.
Тираж 400 экз.

Формат 30×42 1/2
Бумага листовая
Печать офсетная

Адрес редакции: 117545, Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1, ЦНИГРИ
Телефон: 315-28-47
Факс: 313-18-18
E-mail: tsnigri@tsnigri.ru
Типография ЦНИГРИ: Варшавское шоссе, 129, корп. 1

© «Руды и металлы», 2008

Информационное письмо	4	Announcement on forthcoming conference
Прикладная металлогения		Applied metallogeny
<i>Беневольский Б.И., Мызенкова Л.Ф., Августинчик И.А., Карпекина Н.Ф.</i> Минерально-сырьевая база меди и никеля — ретроспектива и прогноз	6	<i>Benevolsky B.I., Myzenkova L.F., Avgustinszyk I.A., and Karpekina N.F.</i> Mineral base of copper and nickel: A retrospective and perspective
Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений		Exploration techniques and methods
<i>Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Громцев К.В.</i> Дистанционная оценка золотоносного потенциала Северной Бурятии	45	<i>Serokurov Yu.N., Kalmykov V.D., Gromtsev K.V.</i> The gold potential of North Buryatia as estimated using remote sensing data
<i>Варгунина Н.П.</i> Региональные геохимические факторы золотоносности Енисейского кряжа	51	<i>Vargunina N.P.</i> Regional geochemical constraints on the Yenisei Ridge gold potential
Краткие сообщения		Brief communications
<i>Швецов А.Д., Приходько В.П., Крылов А.О., Чанцев В.Е.</i> Перспективы Тамбовской области на поиски месторождений ультраатонного золота	67	<i>Shvetsov A.D., Prikhodko V.P., Krylov A.O., and Chantsev V.E.</i> Possibilities for the flour gold deposits in Tambov oblast, Russia
Дискуссии		Discussions
<i>Константинов М.М.</i> Углеродный феномен Якутии	71	<i>Konstantinov M.M.</i> The carbon phenomenon of Yakutia
Поздравляем с юбилеем		Our congratulations
Г.Д.Карамышеву, В.И.Зеленова	78	G.D.Karamysheva, V.I.Zelenov

Информационное письмо

Уважаемые коллеги!

В соответствии с приказом Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) от 15.11.07 г. № 1624 Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ) и Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых (ЦНИИГеолне-руд) при поддержке Федерального агентства по недропользованию (Роснедра), Российского геологического общества (РосГео), Российской академии естественных наук (РАЕН) и Международной академии минеральных ресурсов (МАМР) проводят 20–21 мая 2008 г. в Москве научно-практическую конференцию **«Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений — достижения и перспективы»**.

Цель конференции — повышение эффективности реализации мероприятий по воспроизводству и использованию отечественной МСБ, предусмотренных «Долгосрочной государственной программой изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья (2005–2010 гг. и до 2020 г.)».

Задачи конференции:

обобщение передового опыта проведения ГРП по воспроизводству и использованию минерально-сырьевой базы России и приросту запасов;

оптимизация и координация работ по научно-методическому обеспечению и сопровождению федеральных ГРП;

разработка научно-методических основ создания альтернативных минерально-сырьевых баз и развития новых горнорудных проектов России;

использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки;

разработка и реализация инновационных технологий ГРП.

Место проведения конференции: ЦНИГРИ, Москва, 117545, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1.

Оргкомитет: e-mail: market@tsnigri.ru, uchsek@tsnigri.ru;

тел.: 315–43–47;

факс: 315–43–47, 313–18–18.

Для участия в конференции приглашаются представители геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, научно-исследовательских и образовательных институтов.

Регистрация докладчиков производится на основе представленных тезисов и прилагаемой регистрационной формы до 1 апреля 2008 г., участников без докладов — до 15 мая 2008 г.

Требования к оформлению тезисов: текст с заголовком должен быть набран на одном листе формата А4 в редакторе Microsoft Word. Шрифт Times New Roman, 12 кегль, одинарный интервал. Поля со всех сторон 2 см.

Тезисы, присланные в Оргкомитет не позднее 1 апреля 2008 г., будут включены в сборник, издание которого предусматривается к началу конференции.

Программа конференции будет сформирована до 1 мая 2008 г. и в электронном виде разослана докладчикам и участникам.

Планируются устные и стендовые доклады. Время устного сообщения до 20 минут. К услугам докладчиков будут представлены мультимедиа-проекторы.

Заполненная регистрационная форма и тезисы докладов направляются по электронной почте в виде attach-file (в формате MS Word) в адрес Оргкомитета с пометкой: Регистрационная форма докладчика (участника) Ф.И.О.

Регистрационная форма докладчика (участника)

Ф.И.О.			
Ученая степень, ученое звание:		Должность:	
Название организации (полное и сокращенное):			
Адрес организации:	Почтовый индекс:		Город:
	Улица:		Дом:
Контакты:	E-mail:	Телефон: ()	Факс: ()
<i>Название доклада:</i>			
<i>Авторы доклада:</i>			
<i>Форма представления доклада (устный, стендовый)</i>			
Тезисы доклада прилагаются (в отдельном файле, вложенном в почтовое сообщение)			



МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА МЕДИ И НИКЕЛЯ — РЕТРОСПЕКТИВА И ПРОГНОЗ*

**Б.И.Беневольский, Л.Ф.Мызенкова, И.А.Августинчик, Н.Ф.Карпекина
(ЦНИГРИ Роснедра МПР России)**

Медь. Основные типы месторождений. Основу минерально-сырьевой базы (МСБ) меди составляют следующие главные геолого-промышленные типы (ГПТ) месторождений:

медно-порфировый — в структурах базальтоидных островных дуг; нередко месторождения этого типа характеризуются повышенной золотоносностью;

молибден-медно-порфировый в андезитоидных вулканоплутонических поясах;

медноколчеданный в базальтоидных формациях структур типа окраинно-континентальных рифтовых зон;

медно-цинковоколчеданный в риолит-базальтовых формациях островных дуг;

медистых песчаников и сланцев в красноцветных осадочных формациях орогенных и платформенных депрессионных структур;

сульфидные медно-никелевые месторождения, связанные с формациями мафит-ультрамафитового ряда, локализованными в пределах зеленокаменных поясов или в поясах трапповой вулканоплутонической ассоциации; крупные медно-никелевые месторождения также связаны с расслоенными массивами зон активизации платформ.

В качестве второстепенных по промышленному значению, роли МСБ и распространенности выделяются типы:

железо-медный, ванадий-титансодержащий в зональных и расслоенных плутонах мафит-ультрамафитов;

медно-железородный скарновый в интрузивах габбро-плагиогранитной формации, прорывающих терригенно-карбонатные образования;

самородной меди в субплатформенных вулканогенно-осадочных толщах, представленных чередующимися базальтами, песчаниками и конгломератами;

карбонатитовый в зональных массивах ультраосновных щелочных пород центрального типа.

Помимо месторождений упомянутых выше типов промышленной концентрации меди, известны относительно новые малораспространенные типы: золото-медно-урановые в обломочных толщах (Олимпик-Дэм, Австралия);

меднородные (типа мантос) в вулканогенных и осадочных толщах андезитоидных вулканоплутонических поясов (Аугустина, Эль-Хордин, Чили);

медно-мышьяковые в вулканогенно-осадочных толщах андезитоидных ВПП (Лахоце, Венгрия).

В мировой МСБ по запасам доминируют медно-порфировые и молибден-медно-порфировые месторождения (62% запасов Cu), на месторождения медистых песчаников и сланцев приходится около 23% всех запасов Cu. Доля месторождений колчеданного семейства в мировых запасах составляет 8%, медно-никелевых — около 2%. Остальные 5% запасов приходятся на месторождения второстепенных типов. Перечисленные геолого-промышленные типы месторождений определяют структуру добычи меди в мире (рис. 1, а; 2, а) [7].

*В № 3/2007 опубликован обзор-анализ по минерально-сырьевой базе благородных металлов. В данном номере публикуются материалы по меди и никелю.

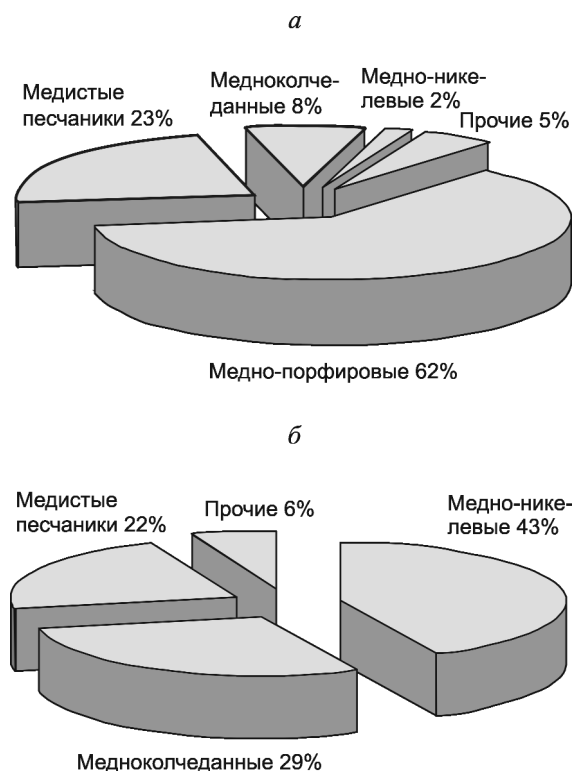


Рис. 1. Распределение доказанных запасов меди по типам месторождений в мире (а) и России (б)

В минерально-сырьевой базе России главное значение в запасах меди имеют месторождения следующих типов: медно-никелевые (43%), медноколчеданные (29%), медистых песчаников и сланцев (22%), прочие (6%). В добыче меди существенно преобладают медно-никелевые месторождения (68%), а также медноколчеданные (29%) и прочие (3%) (см. рис. 1, б; 2, б). Среди второстепенных в России известны и эксплуатируются месторождения железо-медного, ванадий-титаносодержащего и медно-железорудного скарнового типов [4, 7].

По данным Д. Сингера [29], в меднорудных месторождениях различных типов заключено около 1,5 млрд. т. Cu, при этом распределение запасов характеризуется следующими особенностями:

44% запасов заключены в месторождениях, в которых содержания Cu превышают среднее для всей выборки объектов;

месторождения с низкими содержаниями Cu обладают меньшими запасами, чем месторождения с высокими содержаниями;

10% крупнейших месторождений меди в сумме содержат 84% мировых запасов Cu, а уникальные месторождения (около 1%) несут в сумме более 25% запасов.

По запасам месторождения подразделяются на четыре категории (млн. т Cu): весьма крупные >10, крупные 3–10, средние 0,5–3, мелкие <0,5.

Запасы. На 01.01.07 г. доказанные запасы Cu в мире составили 654 млн. т, из них на 15 стран, указанных в табл. 1, пришлось 90% мировых запасов. В сравнении с предыдущим годом мировые доказанные запасы увеличились лишь на 2%. С 1985 по 2006 гг. в состоянии доказанных запасов (далее запасы) наблюдалась разнонаправленная динамика (рис. 3). Так, по сравнению с 1985 г. в 1990 г. запасы меди снизились (см. табл. 1) на 8% в связи с ухудшением конъюнктуры мировой медной отрасли. Основной прирост запасов наблюдался в 1996–1997 гг. и связан с увеличением их в Чили на 24,5% и Индонезии. Период с 1997 по 2006 гг. характерен дефицитом спроса, реструктуризацией отрасли и снижением запасов на 14% (на 80 млн. т) [5–7].

В Чили, США, России, Австралии и Перу сосредоточено более половины всех мировых запасов (см. табл. 1). Чили — богатейшая в мире страна по запасам меди, они составляют 23% мирового объема и более чем в два раза превышают запасы США. Пять крупнейших медедобывающих рудников Чили вмещают более 50% запасов страны (табл. 2). Наибольший рост состояния запасов по сравнению

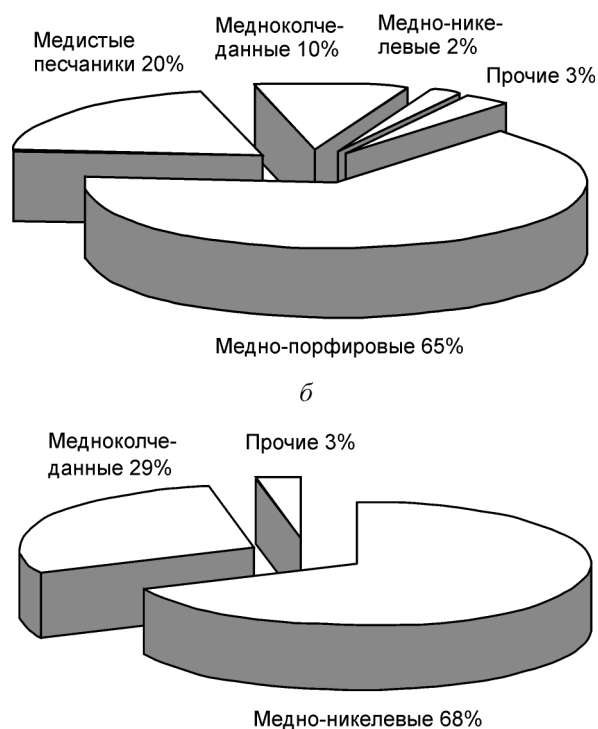


Рис. 2. Распределение добычи меди по типам месторождений в мире (а) и России (б)

1. Состояние доказанных запасов меди в ведущих странах мира в 1970–2006 гг., млн. т [3–7]

Страна	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Чили	42,0	61,2	88,7	126,7	117,0	119,6	158,4	158,4	158,4	165,5	165,6	165,6
США	45,0	81,7	92	83,5	79,6	76,2	77,5	77,5	75,7	76,2	75,7	75,7
Россия	43,8	59,2	64,5	67,1	68,9	67,9	67,4	66,9	66,3	65,8	65,2	64,6
Австралия	5,3	6,2	5,6	17,9	16,7	17,6	15,9	15,9	21,4	21,5	21,8	24,1
Перу	12,0	25,5	25,5	24,6	24,6	31,9	37,4	37,4	37,0	37,0	37,0	37,0
Индонезия	0,8	0,8	0,8	2,0	5,5	15,4	21,9	23,1	32,8	32,8	33,9	33,4
Польша	Н.д.	Н.д.	Н.д.	26,5	40,0	22,2	22,2	22,2	21,8	21,8	21,8	15,9
Китай	«	«	«	50	40,0	38,0	38,0	38,0	37,8	37,8	37,8	37,8
Мексика	1,0	11,0	12,0	21,7	13,3	14,4	17,2	17,2	16,9	16,9	16,9	16,9
Конго	19,0	19,1	22,0	29,4	19,8	19,4	23,7	23,7	23,7	23,7	22,9	25,8
Казахстан	27,1	26,9	31,7	37,3	37,6	37,0	36,7	36,5	36,6	36,6	36,6	36,6
Замбия	24,8	27,2	34,7	33,4	18,6	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	20,5	20,5
Бразилия	0,3	0,3	1,3	8,5	9,0	16,7	16,7	16,7	16,6	16,6	11,9	11,9
Аргентина	5,5	6,0	7,9	7,0	7,2	7,8	8,3	16,2	13,9	13,9	3,1	12,3
Узбекистан	5,6	7,9	10,8	14,3	16,4	16	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	12
Итого	232,2	333,0	397,5	549,9	514,2	518,1	575,5	583,9	593,1	600,3	586,8	590,1
Мир	Н.д.	Н.д.	Н.д.	668,3	615,3	670,5	735,7	735,2	685,2	707,8	664,3	696,9

* Отношение 2006/1985.

с 1970 г. характерен для Индонезии (43 раза), Бразилии (60 раз), Аргентины и Мексики (27 раз). Более чем в три раза возросли запасы в Чили, Перу, Австралии. Уменьшились запасы в Китае и Замбии.

Россия занимает третье место в мире (после Чили и США) по доказанным запасам меди. Основу сырьевой базы отрасли составляют медно-никелевые месторождения Норильского района и Коль-

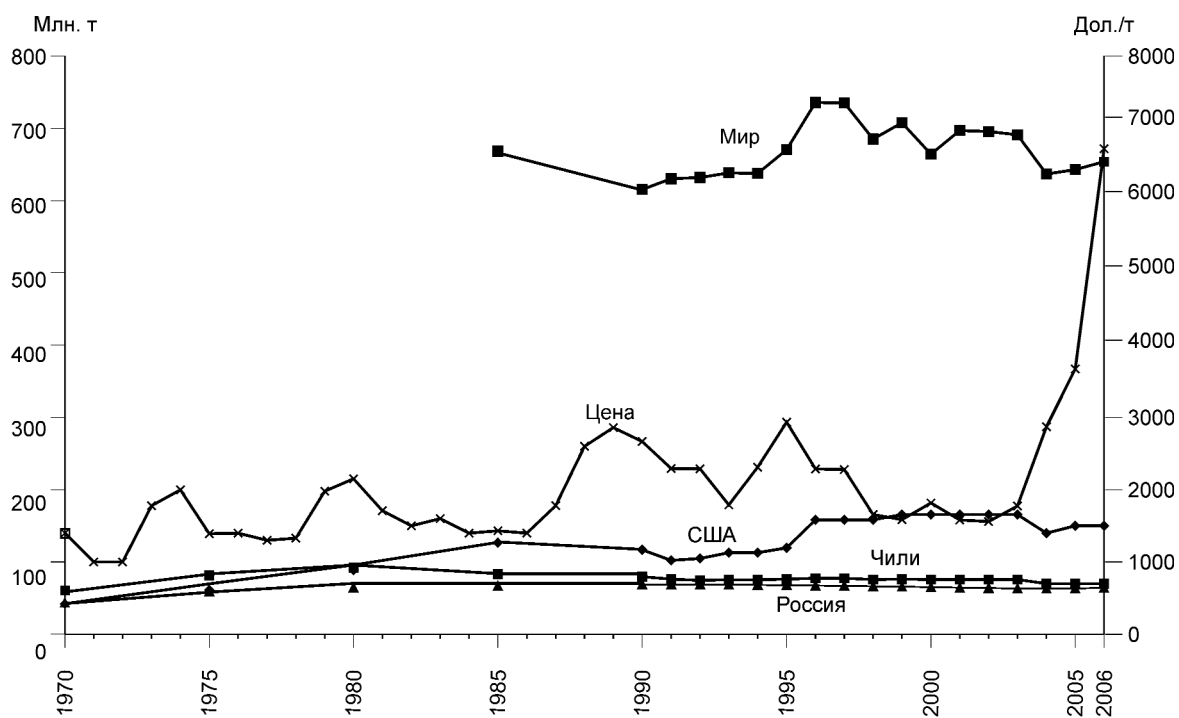


Рис. 3. Состояние доказанных запасов меди в мире и ведущих странах в 1970–2006 гг. в сопоставлении с ценой

2002	2003	2004	2005	2006	% от мира	2006/1970
165,6	165,6	140,0	150,0	150,0	22,90	3,57
75,7	75,7	70,0	70,0	70,0	10,70	1,55
64,0	63,5	63,1	63,3	64,2	9,80	1,46
24,1	40,1	41,4	41,4	42,1	6,40	7,94
37,0	37,0	30,0	30,0	36,0	5,50	3,00
33,4	33,4	35,0	35,0	35,0	5,30	43,70
15,9	15,0	30,0	30,0	30,0	4,60	1,1*
37,8	26,0	26,0	26,0	28,0	4,30	0,6*
16,9	16,9	27,0	30,0	27,0	4,10	27
25,8	25,8	25,8	25,8	26,0	4,00	1,4
36,6	36,6	14	14	20	3,00	0,74
20,5	20,5	19,0	19,0	20,0	3,00	0,81
11,9	17,4	17,4	15,3	18,0	2,70	60,0
12,3	12,3	12,3	11,7	13,5	2,10	27,0
12	12	12	12,0	12,0	1,80	2,14
589,2	597,8	563,0	573,5	591,8	90,5	2,55
695,6	691,1	636,9	642,9	654,0	100	0,98*

ского полуострова (более 40% всех запасов России), 54 колчеданных медно-цинковых и полиметаллических месторождений Урала и Западной Сибири (28,6% запасов страны) и Удоканское месторождение медистых песчаников (23%), пока не разрабатываемое. Остальные запасы (>5%) заключены в месторождениях, где медь является попутным компонентом.

Интенсивное использование меди обусловлено не только ее уникальными технологическими и физическими характеристиками, но и массовостью распространения в земной коре практически на всех континентах, а также в воде. Более половины всех запасов приходится на Американские континенты, в Азии сосредоточено более 25%, Африке более 8%.

Медно-порфиновые месторождения (более 60% мировых запасов) распространены преимущественно в странах Америки, Океании и Юго-

Восточной Азии, стратиформные (около 20%) — в основном в странах Африки (Замбия, Конго), а также в Польше, Австралии и Афганистане, медноколчеданные и колчеданно-полиметаллические с общей долей 10% расположены в Канаде, Японии, Казахстане, Австралии, Афганистане и России [2, 4, 7].

Рудничное производство (добыча). Мировое рудничное производство меди в 2006 г. составило 15 млн. т. Около 93% добычи приходится на 15 стран (табл. 3), из них более половины — на Чили, США и Перу (рис. 4). В целом с 1970 по 2006 гг. в мировом рудничном производстве наблюдается положительная динамика (рост в 2,3 раза), среднегодовые темпы прироста составили 3,6%, основной вклад в увеличение мировой добычи вносят ведущие страны-производители меди — Чили, Перу, Индонезия. По сравнению с 2005 г. рудничное производство осталось на том же уровне (проблемы добычи в Чили, Индонезии, Мексике). Наибольший рост производства в период 1970–2006 гг. наблюдался в Индонезии (80 раз), Чили (7,8 раза), Мексике, Перу и Австралии (5–6 раз). По сравнению с 1970 г. спад производства произошел в США (на 60% с середины 90-х годов), Канаде и Замбии. Рудничное производство по технологии Solvent Extraction Electrowinning (SX-EW) постоянно растет (в 4 раза за последние 15 лет) [4, 6, 7, 12, 21].

Технология SX-EW предусматривает получение катодной меди с применением в технологическом цикле гидрометаллургических способов переработки медного сырья: выщелачивания, жидкостной экстракции меди из растворов от выщелачивания и процесса электроосаждения. Привлекательность этой технологии обусловлена низкими эксплуатационными затратами (на получение 1 т Cu около 650 дол. США) и экологической чистотой [6]. Развитие экстракционных методов за рубежом идет по пути разработки новых, более эффективных экстрагентов, модернизации аппаратов и оптимизации параметров процесса. Методы извлечения меди из руды путем выщелачивания и электроосаждения включают различные экологические схемы, однако в зарубежной литературе, как правило, не

2. Запасы крупнейших медедобывающих рудников мира

Рудник	Страна	Компания	Руда, млрд. т	Содержание Cu, %	Запасы Cu, млн. т
Grasberg	Индонезия	Freeport/RTZ	2,77	1,09	30,2
Escondida	Чили	BHP/RTZ/Mitsubishi	2,52	1,14	28,7
Chuquibambilla	То же	Codelco	2,35	0,76	17,9
Andina	«	То же	2,06	0,86	17,7
Collahuasi	«	Falconbridge/Anglo/Mitsui	1,85	0,91	16,8
El Teniente	«	Codelco	1,13	1,02	11,5

3. Рудничное производство меди в ведущих странах и мире в 1970–2006 гг., тыс. т [5–7, 9, 12, 21]

Страна	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Чили	692	828	1068	1356	1588	2489	3116	3392	3687	4391	4602
США	1560	1282	1181	1147	1587	1850	1918	1940	1860	1660	1440
Перу	212	181	328	391	364	405	484	503	483	536	554
Австралия	158	219	244	260	327	379	548	558	607	739	830
Индонезия	10	64	63	89	169	460	526	548	781	765	1012
Россия	522	907	705	820	812	553	551	560	580	609	685
Китай	Н.д.	170	177	220	360	445	439	496	476	520	590
Канада	610	734	716	739	794	726	688	660	705	614	634
Замбия	684	677	596	520	496	342	340	331	320	270	240
Польша	Н.д.	280	343	435	330	431	473	415	415	463	456
Казахстан	405	439	428	417	421	233	238	316	337	374	430
Мексика	61	78	175	179	291	334	341	390	385	375	365
Аргентина	-	-	-	-	-	-	-	30	170	210	145
ПНГ	100	173	165	175	170	213	187	116	187	188	201
Иран	Н.д.	7	20	50	70	102	108	117	135	145	145
Итого	5014	6039	6209	6798	7779	8962	9956	10371	11128	11859	12329
Мир	6537	8057	7715	8680	8688	10240	11221	11560	12279	12370	12758

* Отношение 2006/1975.

** Отношение 2006/1997.

приводятся данные об их специфике на каждом конкретном объекте. Поэтому в тексте употребляется общий термин — «технология SX-EW» без детализации. В 2006 г. производство по этой техноло-

гии составляло 2771 тыс. т Cu (660 тыс. т в 1990 г.). Более половины всего мирового производства по технологии SX-EW приходится на Чили, Перу и США [22].

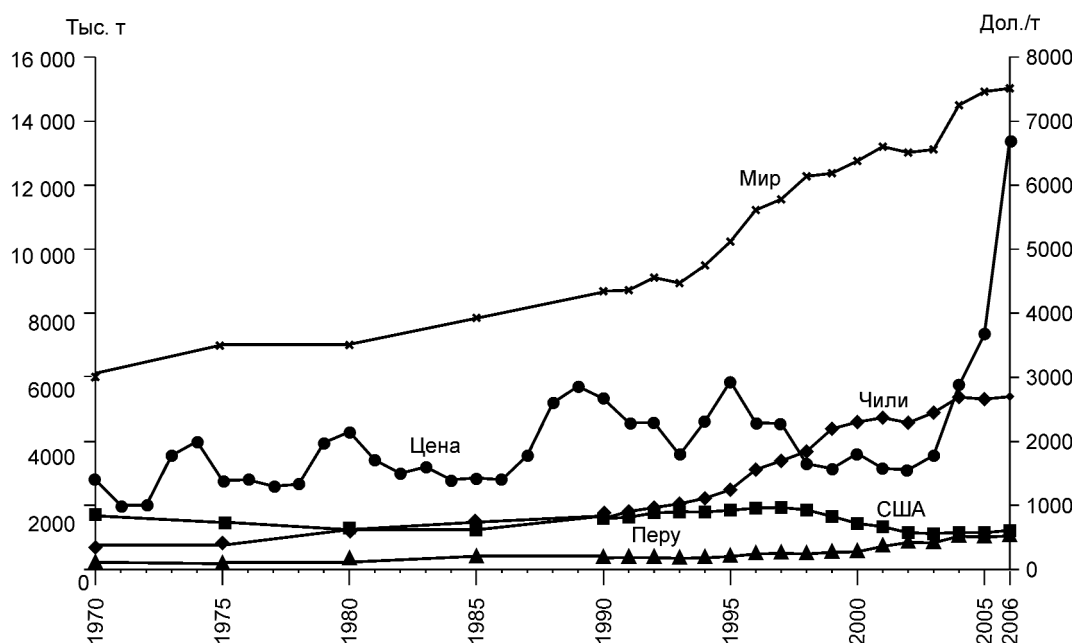


Рис. 4. Рудничное производство меди в мире, Чили, США и Перу в 1970–2006 гг. в сопоставлении с ценой

2001	2002	2003	2004	2005	2006	% от мира	2006/ 1970
4739	4581	4900	5380	5320	5400	35,90	7,8
1340	1150	1120	1160	1150	1220	8,10	0,8
722	843	831	1035	1010	1048	7,00	4,9
896	883	829	854	915	925	6,10	5,8
1047	1160	979	860	1000	800	5,30	80
600	729	752	675	770	767	5,10	1,50
565	556	610	620	700	760	5,00	4,5*
633	603	557	560	580	600	4,00	1
312	320	344	400	436	490	3,30	0,7
474	503	503	500	535	535	3,60	1,9*
470	473	485	485	425	430	2,90	1,1
367	330	361	406	429	380	2,50	6,2
192	204	198,5	194	188	220	1,50	7,3**
204	211	196	191	193	200	1,30	2,00
146	141	146	209	111	120	0,80	17,1
12707	12687	12812	13529	13762	13895	92,5	2,8
13203	13019	13116	14500	14922	15026	100	2,3

Крупнейшим мировым продуцентом остается Чили, где действует более 30 медедобывающих предприятий. После небольшого сокращения производства в 2002 г. из-за неустойчивого состояния мирового рынка в 2004 г. объемы добычи меди в Чили выросли на 18% по сравнению с 2002 г. Доля Чили в мировом рудничном производстве в 2006 г. составляла 36% (см. табл. 3).

Второй крупнейший продуцент меди в мире — США, где добывают около 8% мирового объема металла. С ухудшением мировой конъюнктуры в 2002 г. США также сократили производство медной руды. Если за 10 лет (1997–2006 гг.) объем добычи в Чили увеличился в 2,2 раза, то в США — снизился на 60%. В 2006 г. рудничное производство меди в США составило 1220 тыс. т, что на 6% больше предшествующего года.

В 2004 г. Перу, отеснив Индонезию и Австралию, вышла на третье место после Чили и США; на долю этого крупнейшего продуцента меди в 2006 г. приходится около 7% мирового производства. В течение ряда лет это место в рудничном производстве прочно удерживала Индонезия, где рост добычи меди был обеспечен мощностями рудника Грасберг. Однако с 2003 г. рудничное производство падает в связи с авариями на этом карьере и снижением качества руды.

Обеспеченность мировой медной отрасли запасами к 2006 г. составляет 45 лет, при этом для Чили и Индонезии данный показатель — 30–40 лет, для США — 50 лет (за счет уменьшения объемов производства с 1998 г.). Бурный рост мирового производства меди, опережающий темпы роста запасов, привел к сокращению обеспеченности за последние 15 лет в 1,5 раза (1992 г. — 70 лет).

По оценкам International Copper Study Group (ICSG), в 2007–2008 гг. ожидается рост рудничного производства на 6–7%.

Потребление. Масштаб и структура потребления меди отражают в какой-то степени уровень развития и состояние промышленности в целом. Основными потребителями меди являются высокоразвитые страны. Широкое использование меди объясняется ее высокими электро- и теплопроводностью, коррозионной устойчивостью, конструкционной и пластичностью.

По данным ассоциации медной промышленности (Copper Development Ass.), 16% меди используется в производстве строительных материалов, 15% — в энергетике, 12% — в автомобилестроении, по 8% — в производстве электротехнического оборудования и систем кондиционирования, 6% — в изготовлении производственного оборудования, 5% — в электронике, 3% — в производстве транспортного оборудования, 16% — в других областях. Быстрый рост в последнее десятилетие производства оборудования для информационных и коммуникационных технологий (компьютеры, мобильные телефоны) сформировал новый, постоянно растущий сектор потребления (9%) [4, 12].

Мировое потребление меди в 2006 г. достигло 17 млн. т, что на 17% превышает уровень 2001 г., и в 3 раза — уровень 1970 г. (табл. 4). До 2000 г. мировое потребление меди удовлетворялось растущими объемами добычи и производства и непрерывно росло — до 14 млн. т в 1999 г. В 2000 г. рост потребления составил более 8% и рынок испытал серьезный дефицит металла (около 500 тыс. т). Увеличение потребления было связано с ростом спроса на медь в странах Центральной и Южной Америки (+10%), Западной Европы (+7,3%), Африки (+12%) и, в первую очередь, в странах Азии (+36%). Так, в Китае в 2000 г. потребление выросло на 26%. Наряду с Китаем, в 1999–2000 гг. выросло потребление других азиатских стран с развитой экономикой (Япония, Корея). Эта тенденция была нарушена в 2001 г., когда сокращение потребления меди в крупных странах ЕС, а также спад в американской экономике привели к затовариванию рынка. Последующий рост мирового потребления в 2002–

4. Потребление рафинированной меди в мире и ведущих странах в 1970–2006 гг., тыс. т [9, 12, 21, 24]

Страна	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Китай	Н.д.	340	346	450	512	1143	1193	1270	1402	1484	1882,5
США	1842	1397	1866	1917,8	2150,4	2534	2621	2790	2883	2987,6	2979
Япония	832	827	1330	1230,8	1576,5	1415	1480	1441	1255	1294	1350,9
Германия	689	635	794	754	1027,8	1066	960	1039	1138	1138	1310
Южная Корея	Н.д.	60	90	207	324	540	598	621	560	784	862
Италия	274	290	388	362	475	498	504	521	590	635	674
Тайвань	Н.д.	48	84	92	265	563	544	588	584	655	628
Россия	«	Н.д.	Н.д.	Н.д.	793	187	165	176	172	175	183
Франция	331	364	433	398	478	539	518	558	553	550	576
Индия	Н.д.	Н.д.	71	114	135	116	140	160	200	230	245
Мексика	60	71	123	118	127	172	192	252	341	395	524
Бразилия	Н.д.	155	246	196	129	198	235	258	298	285	335
Бельгия	110	177	304	310	390	362	332	329	324	353	347
Испания	90	119	133	116	146	175	191	203	235	255	289
Канада	229	196	209	223	181	190	218	225	246	267	271
Итого	4457	4679	6417	6486,8	8708	9698	9891	10430	10781	11488	12457
Мир	6130	6950	7090	7187,6	9780,2	12140	12555	13045	13330	14066	15226,4

* Отношение 2006/1975.

** Отношение 2006/1990.

*** Отношение 2006/1980.

2006 г. связан в основном с бурным ростом экономики и потребления меди в Китае (развитие строительства и энергетики).

Китай с 2002 г. стал крупнейшим потребителем меди, отгнав с первого места США. Потребление Китаем меди постоянно возрастает и в 2006 г. составило 3,7 млн. т (21% от мирового). На ближайшие годы прогнозируется рост потребления 5–10%.

Второе место по уровню потребления меди занимает США (13,2%), спад потребления в 2000-е годы в этой стране составил 25% (2258 т в 2006 г.). Доля потребления меди тремя ведущими странами (Китай, США и Япония) в 2006 г. составила 41% от мирового (рис. 5) [6, 7, 9, 12].

В период 1970–2006 гг. в мире последовательно увеличивались потребление и добыча меди вне очевидной зависимости от среднегодовых колебаний цен на мировом рынке. Со второй половины 80-х годов потребление меди стало превышать рудничное производство (рис. 6), при этом разность между этими показателями в первом приближении отвечает объему производства рафинированной меди из вторичного сырья. Производство рафинированной меди из вторичного сырья в 1970–1997 гг. возросло в 1,7 раза (до 2 млн. т) и составило 16–18%, в 2001–2006 гг. эта доля уменьшилась до 12–13% (рис. 7). Производство рафинированного металла стабильно возрастает в соответствии с ростом рыночного спроса (17 млн. т в

2006 г.). После трех лет (2003–2005 гг.) дефицита металла 2006 г. завершился его избытком на рынке предложения, который прогнозируется и в будущем. Мировое потребление рафинированной меди, по оценкам ICSG, возрастет в 2007 и 2008 гг. соответственно на 4,7 и 3,6%.

Цены. В динамике среднегодовых цен на медь на Лондонской бирже металлов прослеживается цикличность их колебаний. С 1970 по 2005 гг. цена изменялась в пределах 1000–3672 дол./т с многократными циклами снижения и возрастания. В 2006 г. тенденция роста цены укрепилась и в мае достигала рекордного уровня 8620 дол./т. Такие колебания связаны с соотношением спроса и предложения на рынке металлов при стабильно растущем потреблении, наличием товарных запасов и неспособностью продуцентов (в связи с инерционностью производства) быстро реагировать на сигналы рынка об изменении его конъюнктуры. Так, рост товарных запасов на биржах LME и COMEX наблюдается при снижении цен на медь, а уменьшение их объема способствует, наряду с другими факторами, росту цены на мировом рынке (рис. 8).

Наибольшие положительные «пики» цен при последовательном увеличении абсолютных значений приходятся на 1974 г. (2000 дол./т), 1980 г. (2200), 1989 г. (2860), 1995 г. (2930), 2005 г. (3672 дол./т), 2006 г. (6718 дол./т, рост на 83%). Минимальные абсолютные значения цен в промежутках между

2001	2002	2003	2004	2005	2006	% от мира	2006/1970
2210,5	2684,4	3083,7	3343	3390	3670	21,60	10,8*
2620	2370	2290	2410	2270	2258	13,20	1,22
1144,7	1163,9	1202,3	1230	1190	1220	7,20	1,50
1103,1	1036	1036	1153	1020	1055	6,20	1,50
848,5	936	900	988	875	915	5,40	15,2*
676	670	665	659	695	695	4,10	2,50
540	656	619	620	650	660	3,90	13,7*
224	210	422	456	630	650	3,80	0,8**
538	561	551	659	540	545	3,20	1,60
257	278	291	297	395	425	2,50	6***
445	382,8	412	412	385	395	2,30	6,60
338	239	301	300	340	350	2,00	2,2*
315	285	290	293	320	320	1,90	2,90
299	327	312	303	295	310	1,80	3,40
265	274	257	250	250	260	1,50	1,10
11824	12073	12632,4	13373	13245	13728	80,80	3,10
14528,5	14831	15433,4	16529	16664	16994	100	2,80

их повышением были зафиксированы в 1971 г. (1000 дол./т), 1975 г. (1220), 1984 г. (1400), 1993 г. (1913) и 1999 г. (1573), также в основном через 6–9 лет (см. рис. 6) [7, 24].

Период 2000–2002 гг. характеризуется уменьшением цены на медь на 14%. Небольшое оживление рынка меди в 2000 г. по сравнению с 1999–2001 гг., в первую очередь, связано с восстановлением спроса со стороны азиатских стран, а также его увеличением со стороны американских и европейских производителей автомобилей и электроники. Повышенный спрос на металл вызвал дефицит предложения на рынке меди и повлек за собой увеличение цены в течение 2000 г., когда ее среднегодовое значение составило 1813 дол./т. Рост цены сопровождался снижением мировых складских запасов, достигших к январю 2001 г. минимального значения (340 тыс. т) (см. рис. 8).

В 2001 г. во избежание дефицита металла на мировом рынке производители меди увеличили объемы выпуска, что вызвало падение цены до среднегодового значения 1580 дол./т.

В 2002 г. оживление мировой экономики привело к росту спроса на медь, в первую очередь, в Китае, Южной Корее и Индии. Однако на увеличение спроса цены отреагировали не сразу, а среднегодовой их уровень даже оказался несколько ниже 2001 г. (1557 дол./т). При этом накопленные большие складские запасы (2048 тыс. т) вынудили производителей снизить производство для предотвращения тенденции падения цен.

В 2003 г. спрос на медь продолжал расти, и ее мировое потребление увеличилось на 3,2%. Это

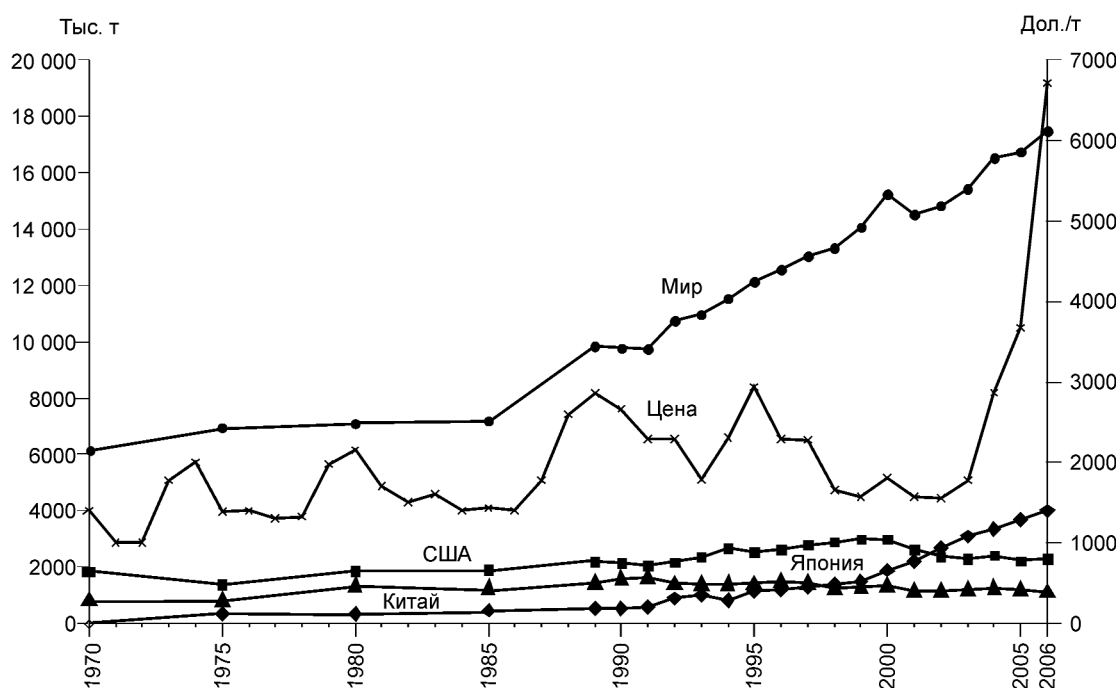


Рис. 5. Потребление рафинированной меди в мире, Китае, США и Японии в 1970–2006 гг. в сопоставлении с ценой

снова привело к возникновению рыночного дефицита металла в начале года, увеличению среднегодового значения цены до 1779 дол./т. К концу 2003 г. мировые складские запасы уменьшились почти на 15% по сравнению с 2002 г.

Для периода 2003–2005 гг. наблюдается непрерывный рост цен и небывало высокая конъюнктура. Дефицит меди на мировом рынке по итогам 2003 г. составил 312 тыс. т.

В 2004 г. среднегодовая цена на медь составила 2872 дол./т при самой высокой за месяц в декабре — 3138 дол./т. По итогам 2004 г. дефицит меди на мировом рынке достиг 750 тыс. т. Важными факторами повышения цен на медь являются увеличение спроса в ряде западных стран и сохранившийся высокий спрос в Китае, а также череда технических происшествий, вплоть до аварий (например, обрушение в октябре и декабре 2003 г. стенок карьера на крупнейшем медедобывающем руднике Грасберг).

Среднегодовая цена меди в 2005 г. по сравнению с 2004 г. увеличилась на 28% и составила 3672 дол./т при положительной динамике медного рынка. Продолжал расти спрос на медь со стороны Китая, США и Японии. Производители меди в связи с благоприятной конъюнктурой стали заявлять о восстановлении старых и вводе новых мощностей, но спрос все еще превышал предложение при сохранении небольшого дефицита складских запасов. Это привело к росту цены на медь в первой половине 2006 г., в мае был установлен новый исторический

максимум — 8620 дол./т. При этом фьючерсные цены на медь достигали 8800 дол./т. Рост производства металла несоизмерим с прогнозируемым незначительным увеличением потребления, и уже во второй половине 2006 г. становится очевидным переход от дефицита к перенасыщенности рынка. Цена на медь снизилась к декабрю 2006 г. до 6738 дол./т (среднемесячная). Среднегодовая цена 2006 г. составила 6718 дол./т. Представляется, что удовлетворение спроса в ближайшем будущем стабилизирует цены, а наращивание складских запасов вследствие роста рудничного производства и скрапа воздействует на их динамику. Средняя цена 2007 г., по результатам первых девяти месяцев, составила 7072 дол./т.

Зарубежные горнорудные проекты и прогноз добычи до 2025 г. В табл. 5 представлены геолого-экономические показатели 15 зарубежных горнорудных проектов с вводом в эксплуатацию после 2000 г. с доказанными запасами более 350 млн. т руды и капиталовложениями в пределах 500–1800 млн. дол. В таблицу не вошли расширяющиеся и отложенные проекты. Сводные показатели по проектам отражены в табл. 6.

Большинство новых проектов приходится на Южную Америку (Перу, Чили и Аргентина). Средний срок эксплуатации предприятий — 22 года. В целом проекты медедобывающих предприятий охватывают месторождения с подтвержденными запасами Cu 81 млн. т и со средним ее содержанием в руде

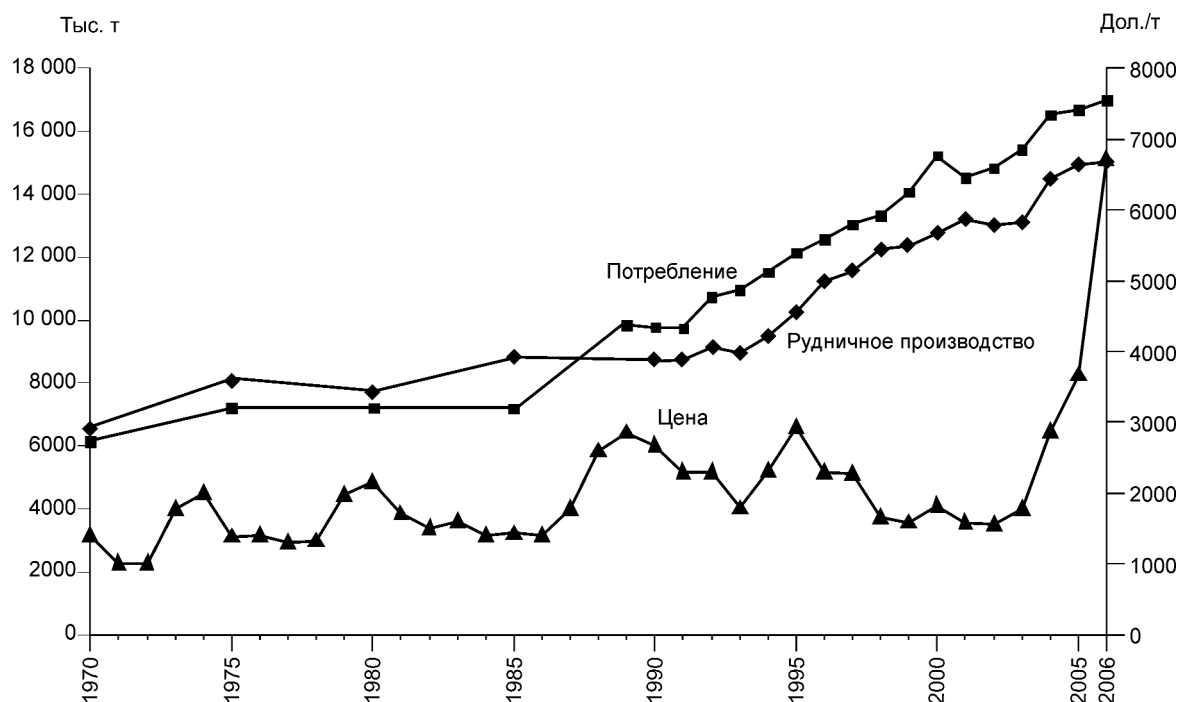


Рис. 6. Мировое потребление, рудничное производство меди в сопоставлении с ценой в 1970–2006 гг.

5. Основные новые проекты разработки месторождений меди с вводом в эксплуатацию после 2000 г. [6, 20, 23, 24]

Проект, страна	Компания	Доказанные запасы				Годовое производство			Прогнозируемые издержки, долл./т	Объект проектирования	Капиталовложения, млн. долл.	Удельные капиталовложения, долл./т	Год ввода (срок эксплуатации)	Стадия развития проекта
		Год	Руда, млн. т	Содержание Св, %	Св, тыс. т	Руда, млн. т	Св, тыс. т	в кон-центрациях SX-EW						
Salobo, Бразилия	CVRD 100%	2002	600	1,14	6840	25	200	-	880	1750	70	2007 (10)	2002 г. — базовое проектирование, 2004 г. — окончательное ТЭО	
Тапракан, Филиппины	Ustrata pls. 62,5%	2005	900 ресурсы	0,75	6750	20	200	-		1500	75	2011	2004 г. — предварительное ТЭО	
Las Bambas, Перу	Ustrata pls.	2004	41	2,03	825	12	200	-		1500	125	2010	2002 г. — ГРР, 2003 г. — ТЭО	
La Granja, Перу	BHP Billiton 100%	2005	600	0,73	4380	14	250	300		1250	89	2006 (40)	2004 г. — базовое проектирование, ТЭО	
Petaquilla, Панама	Petaquilla Minerals Ltd. 52%	2005	1115	0,5	5575	60	260	-	Н. д.	1124	19	(23)	2003 г. — предварительное ТЭО, 2005 г. — банковское ТЭО	
Spence, Чили	BHP Billiton 100%	2004	310	1,14	3534	22	-	200		1100	50	2006 (19)	2002 г. — проект, 2003 г. — ГРР, 2004 г. — ТЭО, 2005 г. — строительство рудника	
Agua Rica, Аргентина	Northern Orion 100%	2002	750 ресурсы	0,66	4950	42	220	-	507	1100	26	2009 (25-30)	2002 г. — предварительное ТЭО	
Pebble, США	Northern Dynasty Minerals 80%	2004	569	0,46	2617	70	211	-	420	1000	14	2009 (30)	2003 г. — предварительное ТЭО, 2005 г. — банковское ТЭО	
El Pachon, Аргентина	Noranda 100%	2005	742	0,65	4823	38	200	-	1300	950	25	(20)	2003 г. — концептуальная стадия, 2005 г. — предварительное ТЭО	
Mansa, Чили	Codelco 100%	2003	882 ресурсы	1,02	8996	39	200	-	Н. д.	900	23	2007 (10)	2004 г. — предварительное ТЭО	
Quellaveco, Перу	Anglo American 80%	2004	906 ресурсы	0,66	5980	36	200	-	850	840	23	(25)	2004 г. — ТЭО	
La Fortuna, Чили	Noranda 70%	2005	465	0,61	2836	47	200	-	Н. д.	800	17	(25)	2001 г. — утверждение проекта, 2002 г. — ГРР	
Toromocho, Перу	Peru Copper Synd 100%	2004	364	0,7	2548	55	258	14	1102	735	13	(21)	2004 г. — ГРР, 2005 г. — предварительное ТЭО	
Northmet, США	Polymet Mining Corp. 100%	2004	409	0,29	1186	16	-	33		648	40	(24)	2003 г. — предварительное ТЭО	
Tenke Fungurume, Конго	Phelps Dodge 57,7%	2005	547 ресурсы	3,5	19 145	15	-	350	Н. д.	475	32	2008 (15)	2005 г. — оптимизация ТЭО проекта	

0,88%. Суммарная проектная годовая производительность составляет 511 млн. т по руде и 3,5 млн. т по металлу. Общая сумма капиталовложений — 15,7 млрд. дол. (1 млрд. дол. на один проект). Средние удельные капиталовложения на годовую производительность составляют 30,7 дол. США на 1 т руды и 4477,7 дол. США на 1 т меди соответственно (см. табл. 6).

Новые проекты предусматривают только открытый способ разработки. По сравнению с проектами с вводом в эксплуатацию до 2000 г., рассмотренными авторами в работе 2003 г. [7], показатели проектируемых медедобывающих предприятий несколько изменились. Так, на 15% уменьшилось среднее количество руды в одном проекте при сохранении уровня запасов меди и, соответственно, на 11% выросло содержание металла в руде. На 46% выросли средние расчетные капитальные вложения при увеличении годовой производительности на 62%, но удельные капитальные вложения на 1 т годовой производительности по руде уменьшились на 10%.

Приведенные сравнительные параметры проектов с вводом в эксплуатацию до и после 2000 г. показательны в отношении поиска путей повышения эффективности производственных и капитальных издержек. Об этом свидетельствует, во-первых, преимущество карьерной добычи с большей годовой производительностью и более низкими удельными капитальными затратами, а во-вторых, расчет на эксплуатацию объектов с более высоким содержанием меди. Такой подход адекватен нестабильности ценовой ситуации, ожиданиям возможного снижения цен в обозримом будущем, неустойчивости экологической ситуации в связи с геополитическими проблемами.

По геолого-промышленным типам более половины новых проектов — медно-порфиновые, за ними следуют колчеданно-полиметаллические (табл. 7). Представлены технологические методы обогащения руды (флотация и SX-EW) для всех геолого-промышленных типов месторождений, планируемых к вводу в эксплуатацию после 2000 г.

Количественное преобладание в выборке проектов, связанных с предприятиями на базе медно-порфиновых месторождений, отражает общую тенденцию развития мировой МСБ меди за последние 30 лет. Она направлена на преимущественное освоение этих объектов как наиболее низкзатратных по производственным издержкам за счет продолжительного срока эксплуатации (при высокой годовой производительности) и комплексного характера добываемых руд (при доминировании золота). На долю медно-порфиновых месторождений в вы-

борке приходится 70,7% запасов меди, 78,6% общих капиталовложений и 80,8% суммарной годовой производительности по руде при удельных капиталовложениях на годовое производство 29,8 дол./т.

Прогнозные оценки производства меди в мире выполнены с использованием трендов и тенденций различной ретроспективной глубины, экстраполируемых на перспективу с учетом социально-экономических, экономических и сырьевых показателей [3, 7]. Ключевым показателем прогнозных расчетов служат темпы роста добычи топливно-энергетического сырья (ТЭС), которые прямо или косвенно задают темпы производства других полезных ископаемых.

Сопоставление достигнутых в 1996–2004 гг. уровней добычи ТЭС в мире с прогнозируемыми на этот период демонстрирует их достаточное совпадение. Фактические уровни добычи меди в мире несколько превышают прогнозируемые, при этом наиболее значительное отклонение отмечено для

6. Основные показатели проектов медедобывающих предприятий с вводом в эксплуатацию после 2000 г.

Показатели	Открытый способ добычи
Число предприятий, всего	15
Средний срок эксплуатации, лет	22
Подтвержденные запасы, млн. т:	
руда	9200
Cu	81
Среднее содержание Cu в руде, %	0,88
Капиталовложения:	
всего, млн. дол.	15 672
на один проект, млн. дол.	1045
на 1 т запасов руды, дол.	1,7
на 1 т запасов Cu, дол.	193,5
Проектная годовая производительность, млн. т:	
по руде всего	511
средняя на один проект	34
по Cu всего	3,5
средняя на один проект	0,2
Средние удельные капиталовложения, дол.:	
на 1 т руды	30,7
на 1 т Cu	4477,7

7. Основные показатели медедобывающих предприятий с вводом в эксплуатацию после 2000 г. применительно к геолого-промышленным типам месторождений меди

Показатели	МП		СМП SX-EW	МСК Флотация	КПМ		Всего по проектам
	Флотация	SX-EW			Флотация	SX-EW	
Число предприятий	9	2	1	1	1	1	2
Средний срок эксплуатации, лет	21	29,5	15	Н.д.	21	24	22,5
Доказанные запасы, млн. т. руда всего	6929	910	547	41	364	409	773
	770	455	547	41	364	409	386,5
Среднее на один проект	49,4	7,9	19	0,8	2,5	1,2	3,7
Среднее на один проект	5,5	4	19	0,8	2,5	1,2	1,85
Среднее содержание Cu в руде, %	0,71	0,87	3,5	2,03	0,7	0,3	0,48
Капиталовложения всего, млн. дол. на один проект, млн. дол. на 1 т запасов руды, дол.	9964	2350	475	1500	735	648	1383
Проектная производительность, млн. т. всего по руде на один проект	1107	1175	475	1500	735	648	691
	1,44	2,58	0,87	36,6	2,02	1,58	0,89
Проектная производительность, млн. т. всего по руде на один проект	377	36	15	12	55	16	71
	41,9	18	15	12	55	16	35,5

Примечание: МП — медно-порфировые, СМП — стратиформные медистых песчаников, МСК — медно-скарновые, КПМ — колчеданнополиметаллические.

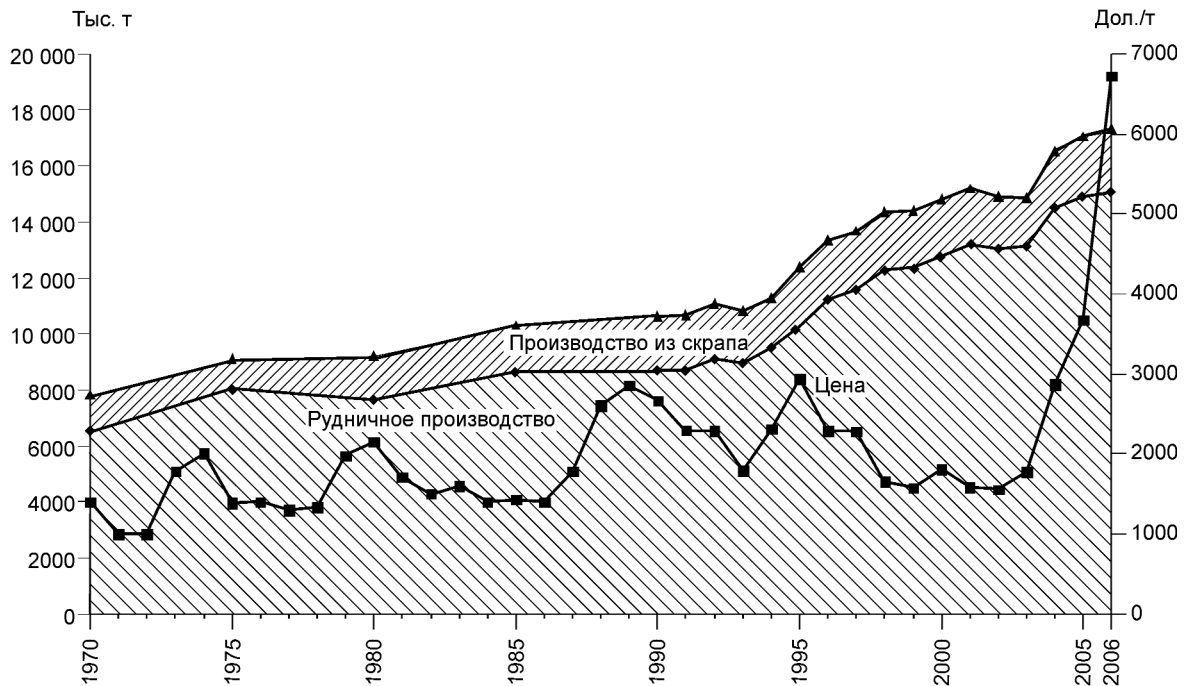


Рис. 7. Производство меди из первичного и вторичного сырья в мире в 1970–2006 гг. в сопоставлении с ценой

2005 и 2006 гг., когда годовой рост рудничного производства по сравнению с 2003 г. составил более 14% (рис. 9).

По прогнозам энергетической стратегии России на период до 2020 г., развитие этого сектора предполагает два варианта — благоприятный и

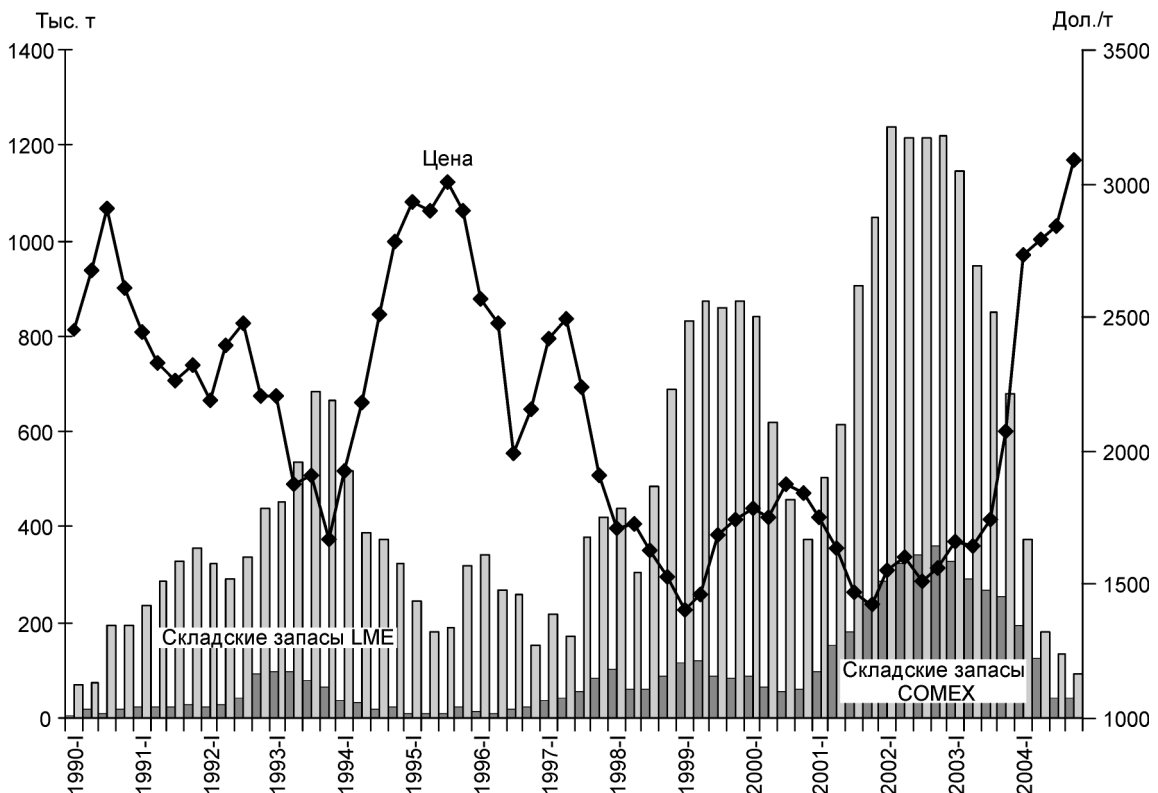


Рис. 8. Соотношения складских запасов меди на биржах LME и COMEX и мировых цен в 1990–2004 гг.

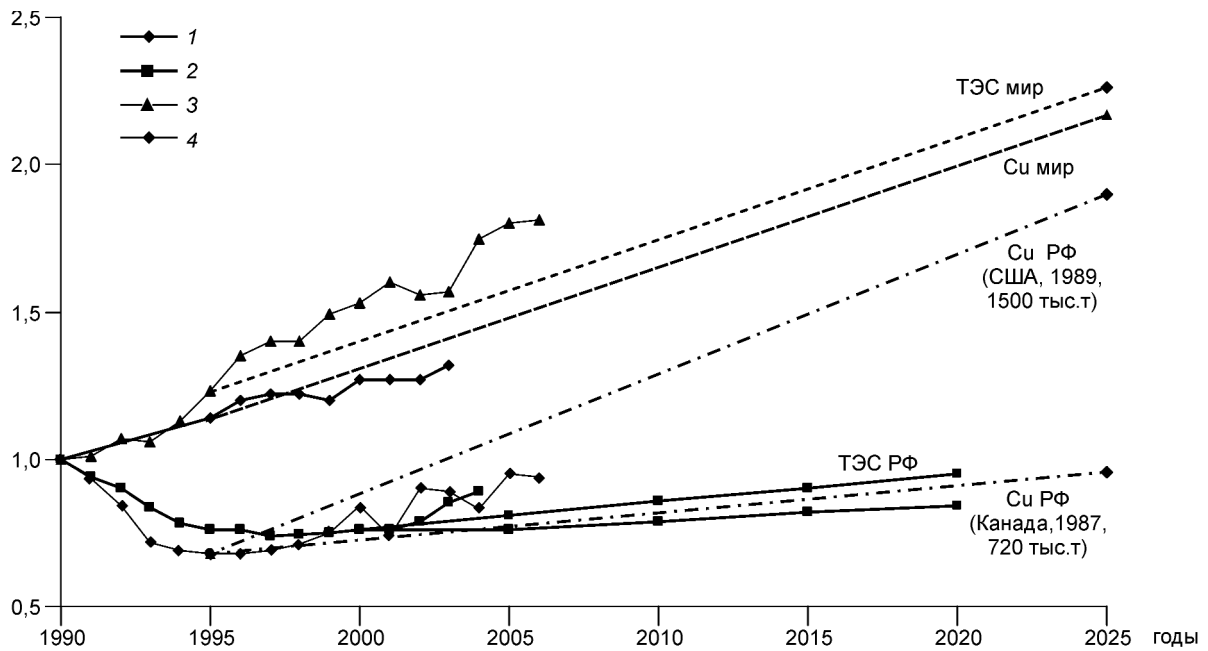


Рис. 9. Сопоставление достигнутых (1990–2006 гг.) и прогнозируемых до 2025 г. уровней добычи (1990 г.=1) меди и топливно-энергетического сырья в мире и России:

1 — ТЭС, мир факт и прогноз; 2 — ТЭС, РФ факт 1990–1995 гг. и прогноз; 3 — Cu, мир факт и прогноз; 4 — Cu, РФ факт и прогноз для двух вариантов развития

пониженный со среднегодовыми темпами роста 1,2 и 0,5% соответственно [7]. После спада в начале 90-х годов добычи ТЭС в России отмечена ее

стабилизация в 1995–2006 гг.; в последующие годы ее развитие идет с превышением от благоприятного варианта.

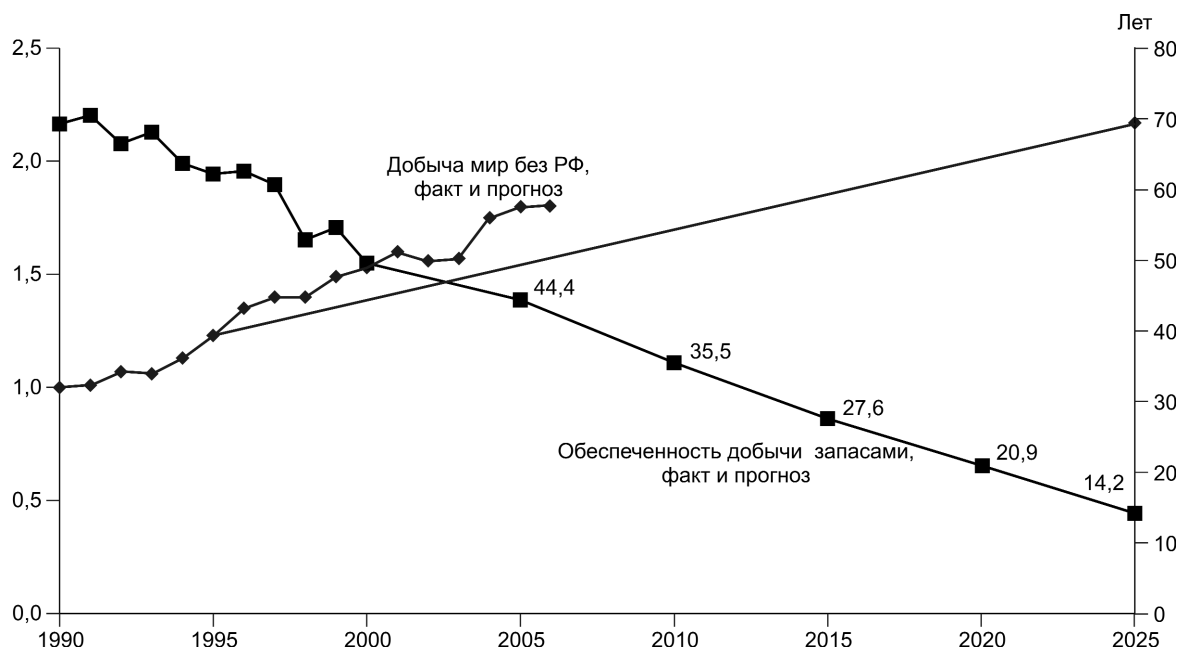


Рис. 10. Обеспеченность мировой добычи меди подтвержденными запасами по состоянию на январь 2000 г. в сопоставлении с прогнозом добычи до 2025 г. (1990 г.=1)

8. Состояние доказанных запасов никеля в мире без РФ и ведущих странах за 1970–2006 гг., тыс. т
[5–7, 23]

Страна	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2001	2002
Австралия	3000	5200	2615	2580	1700	2360	11375	8260	7350
Куба	6500*	6500*	6500*	6500	6400	18010	5700	5600	5600
Новая Каледония (Франция)	9550	22100	12700	12430	11200	11700	5260	5260	5150
Канада	7800	9000	8110	7945	8130	7250	5730	5330	4975
ЮАР	30	60*	2000	2485	2540	6565	2500	2500	3700
Бразилия	335	2300	2000	2020	2125	620	850	2215	2150
Индонезия	2500	3000	3320	3770	3200	2960	3200	3200	2860
Филиппины	3000	6400	4990	4870	4900	370	2100	2100	2050
Китай	1000*	1000*	1000*	1080	1100	1010	3700	3700	3600
Югославия**	1400*	1400*	1400*	1410	1400	1400	795	795	785
Сербия и Черногория	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Колумбия	600	800	595	670	560	450	920	905	835
Казахстан	1229	1049	1011	929	895	826	770	770	770
Доминиканская Республика	960	900	1045	535	430	525	755	690	735
Папуа-Новая Гвинея	1230	1230	1230	1230	1230	1230	690	690	690
Итого без РФ	39134	60939	48516	48454	45810	55276	44345	42015	41250
Мир без РФ	44982*	69869*	56414*	57683*	55962	64876	49483	47654	47396

* Оценка.

** После распада Югославии ее запасы никеля учитываются в Сербии и Черногории и Македонии. Последняя в число 15 ведущих стран не входит.

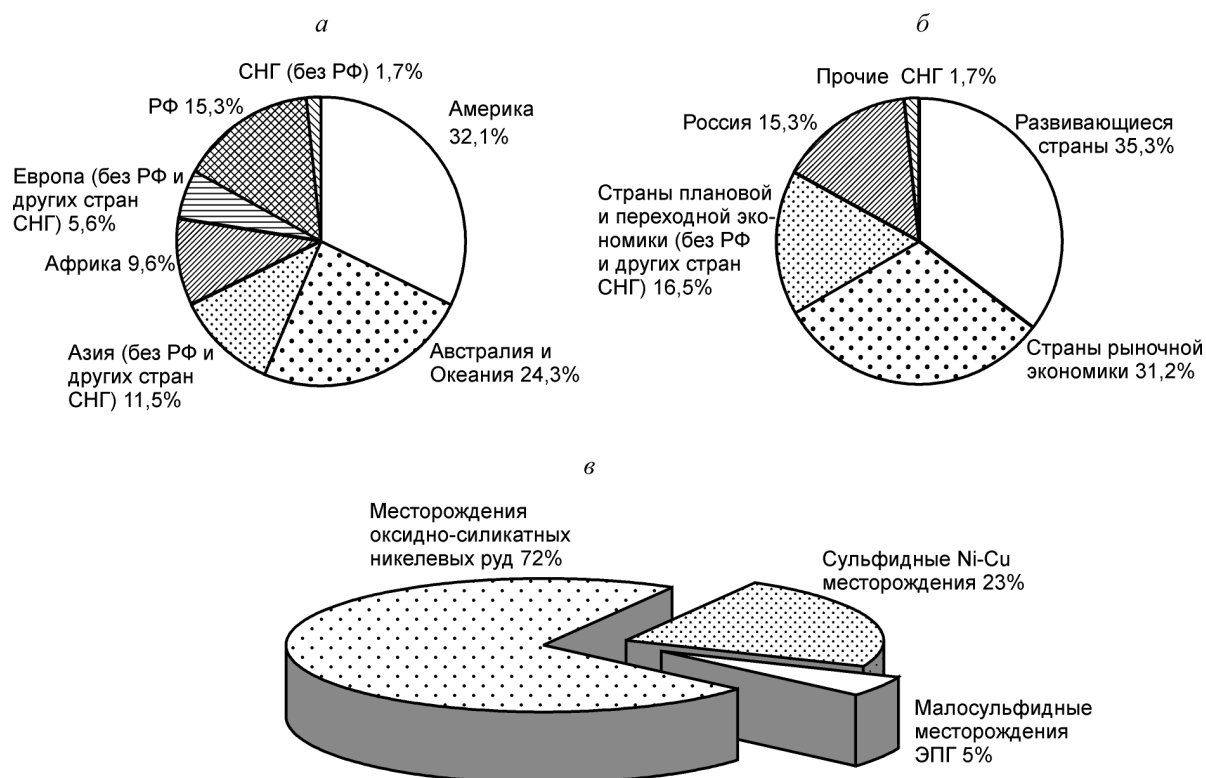


Рис. 11. Распределение доказанных запасов никеля по состоянию на 01.01.07 г. по континентам мира (а), группам стран с разными типами экономики (б) и ведущим геолого-промышленным типам месторождений — источникам никеля (в) (без учета Fe-Mn корок и конкреций) [7, 16]

2003	2004	2005	2006	% от мира	2006/1970
7510	6605	6478	6234	14,31	3,67
5600	5600	5600	5600	12,86	0,88
5150	5010	4915	4776	10,96	0,43
4845	4510	4158	3904	8,96	0,48
3700	3700	3700	3700	8,49	1,46
3610	2950	3280	3280	7,53	1,54
3210	3080	3079	3076	7,06	0,96
2030	2335	2378	2405	5,52	0,49
1100	1050	1050	1050	2,41	0,95
-	-	-	-	-	-
785	785	785	785	1,80	0,97
915	800	800	777	1,78	1,39
770	770	770	770	1,77	0,86
720	695	695	695	1,60	1,62
690	690	690	690	1,58	0,56
40635	38580	40383	37742	86,64	0,82
46615	43311	43560	43560	100,00	0,78

Для России проанализированы два возможных варианта добычи меди к 2025 г. Фактический рост добычи меди в РФ в 1996–2006 гг. близок к минимальному варианту прогнозных оценок при некотором его превышении в 2000-е годы.

Стабильное состояние запасов меди в мире позволит обеспечить достижение прогнозных уровней добычи к 2025 г. без использования МСБ России (рис. 10).

Никель. Основные типы месторождений.

Минерально-сырьевую базу никелевой промышленности мира составляют месторождения шести геолого-промышленных типов: магматического сульфидного платино- и кобальтсодержащего медно-никелевого, гипергенного силикатного железо-кобальт-никелевого, гидротермального жильного арсенидного (сульфоарсенидного) никелево-кобальтового («пятиэлементной формации»), никеленосных ильменит-магнетитового (ильменит-гематитового) и колчеданного, осадочного никель-кобальтового и железо-никелевого. Важнейшие среди них — сульфидный медно-никелевый и никелевый силикатный ГПТ.

Месторождения никеля разных геолого-промышленных типов связаны со следующими формациями и комплексами:

сульфидные медно-никелевые — с рядами мафит-ультрамафитовых формаций архейских зелено-

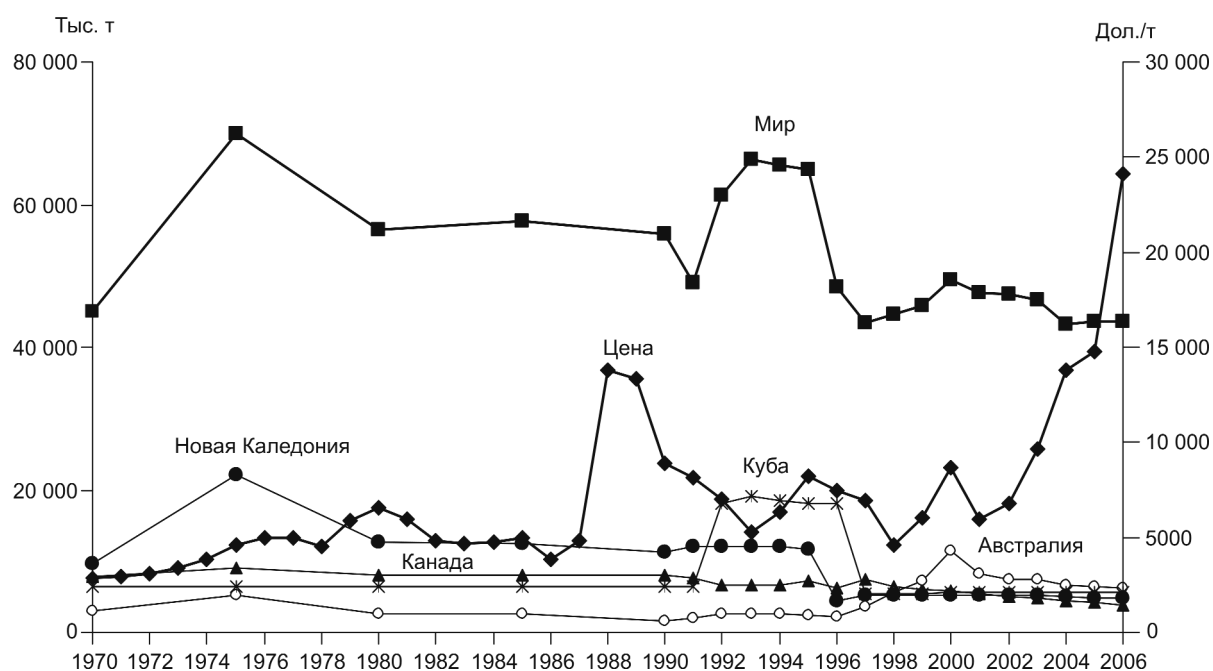


Рис. 12. Динамика доказанных запасов никеля в мире, России, Австралии, на Кубе, в Новой Каледонии и Канаде за 1970–2006 гг. в сопоставлении с ценой

9. Рудничное производство никеля в мире и ведущих странах-производителях в 1970–2006 гг., тыс. т [5–7, 23]

Страна	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Россия	153,3	274,8	276,7	339,2	348,4	257,3	252,9	275,1	291,5	311,5	313,4	319,2	330,9
Канада	277,4	242,2	188,5	170,0	196,2	181,8	192,6	190,5	208,2	186,2	190,7	194,1	188,1
Австралия	29,8	75,8	74,3	85,8	67,0	104,0	113,1	123,4	143,5	119,2	166,4	205,1	208,0
Индонезия	10,8	14,6	40,6	48,2	68,6	86,6	87,9	71,1	74,1	89,1	98,2	102,1	121,6
Новая Каледония	138,5	133,5	86,6	72,4	85,0	120,7	124,8	137,1	125,3	110,1	127,5	117,6	99,9
Колумбия	Н.д.	Н.д.	Н.д.	14,0	18,4	24,2	22,9	31,2	29,4	39,3	58,9	53,0	58,5
Куба	35,2	36,1	37,0	33,6	40,8	42,7	53,6	61,5	67,8	67,0	71,4	76,5	75,2
Китай	Н.д.	Н.д.	10,0	19,0	26,0	42,2	43,8	46,7	47,7	50,1	51,0	51,5	54,6
ЮАР	11,6	20,8	25,7	29,0	30,0	29,8	33,6	34,8	36,4	36,2	36,6	36,4	39,2
Бразилия	2,9	3,2	2,5	13,2	13,2	19,2	16,4	20,5	32,5	32,5	35,6	34,2	37,7
Доминиканская Республика	0,1	26,9	15,5	25,4	28,7	30,3	29,8	32,5	25,2	24,5	27,8	22,3	23,5
Ботсвана	0,0	5,4	15,4	19,6	19,0	16,7	22,9	22,9	24,8	25,8	24,4	23,9	26,7
Греция	8,6	14,8	13,9	15,9	18,5	19,9	17,8	18,4	17,0	16,1	19,5	20,8	22,7
Филиппины	0,1	9,5	38,3	28,2	15,8	14,7	14,7	18,1	20,7	12,4	20,2	23,1	24,1
Венесуэла	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	11,4	15,5
Итого	668,3	857,6	825,0	913,5	975,6	990,1	1026,8	1083,8	1144,1	1120,0	1244,1	1291,2	1326,2
Мир	674,7	873,0	836,0	915,0	1034,8	1030,8	1054,9	1112,8	1173,4	1134,7	1251,7	1308,6	1343,7

* Отношения 2006/1975.

** Отношения 2006/1980.

*** Отношения 2006/1985.

**** Отношения 2006/2000.

каменных поясов, различных стадий развития геосинклиналей, орогенно-складчатых поясов, собственно рифтовой и платобазальтовой фазами активизации разновозрастных платформ;

силикатные кобальт-никелевые — с корами выветривания по мафит-ультрамафитовым интрузивным комплексам офиолитов и рифтогенных структур орогенно-складчатых поясов;

гидротермальные жильные арсенидно-никель-кобальтовые — с умеренно кислыми производными магматизма срединных массивов орогенно-складчатых поясов, складчато-блоковых консолидированных областей краевых частей платформ и их щитов.

Крупные ильменит-магнетитовые и колчеданные никельсодержащие единичные объекты (Панчжихуа, Китай; Оутокумпу, Финляндия) в общеми-

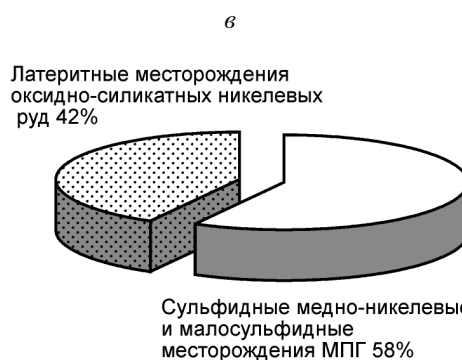
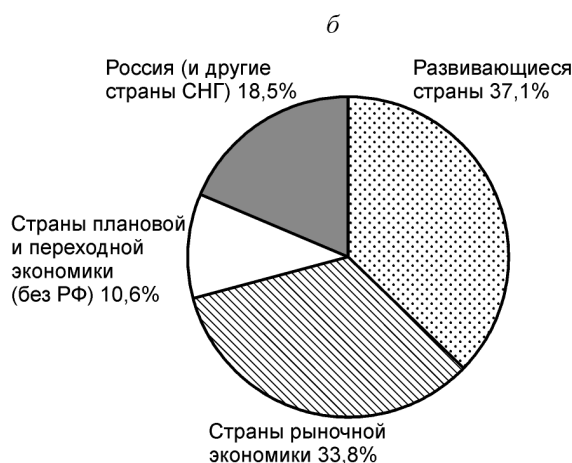
ровых запасах и добыче практической роли не играют.

Кроме перечисленных, попутное извлечение никеля производится из платинометаллических руд различных ГПТ.

В 80–90-е годы выявлен нетрадиционный тип осадочных сульфидных никель-молибден-благороднометаллических (с фосфоритами и редкоземельной минерализацией) месторождений в черносланцевых толщах обстановок морского мелководья краевых морей (Зуны и др., Китай; месторождения бассейна Селвин, Северо-Западная Канада и др.) [13, 19]. Их промышленное освоение еще не начато.

В российской никелевой отрасли наиболее конкурентоспособное сырье сосредоточено в сульфидных медно-никелевых рудах Норильских месторождений и объектов Кольского полуострова.

2003	2004	2005	2006	% от мира	2006/1970
333,0	341,2	349,2	358,0	24,82	2,34
162,8	186,5	195,0	210,0	14,56	0,76
179,4	188,6	190,0	186,0	12,90	6,24
143,9	142,7	143,0	148,0	10,26	13,70
111,9	118,2	112,1	112,1	7,77	0,81
70,8	75,0	80,0	85,0	5,89	6,07***
78,0	71,0	75,0	78,0	5,41	2,22
60,6	63,0	54,8	53,0	3,67	5,30**
42,1	41,4	43,4	44,0	3,05	3,79
37,8	36,0	36,0	37,0	2,57	12,76
27,2	29,5	28,7	29,0	2,01	290,00
31,0	25,2	27,0	28,0	1,94	5,18*
21,4	21,7	23,0	24,0	1,66	2,79
22,0	17,0	20,0	18,8	1,30	188,00
17,0	18,0	17,0	17,0	1,18	6,80****
1338,9	1375,0	1394,2	1427,9	99,01	2,14
1353,5	1379,0	1415,2	1442,2	100,00	2,14



Запасы. Доказанные запасы никеля в мире на 01.01.07 г. составили 63 337 тыс. т и снизились по сравнению с оценками на 01.01.01 г. на 1,9%. Распределение их по континентам, странам с разными типами экономики и геолого-промышленным типам месторождений показано на рис. 11. Наиболее крупные запасы сосредоточены на Американских континентах (32,1% от мировых), в Австралии и Океании (24,3%) (см. рис. 11, а). Среди стран с различными типами экономики наиболее значительными запасами никеля обладают развивающиеся страны (35,3%) и страны рыночной экономики (31,2%) (см. рис. 11, б).

В структуре мировых доказанных запасов наибольшее промышленное значение имеют месторождения двух ГПТ: оксидно-силикатного (латеритного) кобальт-никелевого (72% запасов) и сульфидно-

Рис. 13. Распределение рудничного производства никеля в 2003–2004 гг. по континентам (а), странам с различными типами экономики (б) и ведущим геолого-промышленным типам месторождений — источникам никеля (в) [7, 16]

го медно-никелевого (23%) (с подчиненным подтипом — малосульфидным платинометальным), на них приходится около 28% Ni (см. рис. 11, в).

В рудах месторождений иных геолого-промышленных типов, где никель является попутным компонентом, его запасы невелики. Например, в

платинометалльных малосульфидных месторождениях — не более 5–7% мировых доказанных запасов (месторождения Бушвельдского комплекса в ЮАР и Стиллиуотерское в Канаде).

За период 1990–2006 гг. произошло наиболее значительное снижение мировых запасов — на 22,2%, хотя они достигли некоторого максимума в начале 90-х годов (88 828 тыс. т в 1993 г.) (табл. 8, рис. 12). Их спад в последующие годы и минимум в 1997 г. (49 973 тыс. т) связаны с отсутствием открытий новых месторождений и активным погашением запасов старых. Среднегодовой темп убыли запасов за весь период составил 1,75%. Коэффициент компенсации добычи приростом запасов для мира за весь период составил 0,95, что свидетельствует о снижении воспроизводства мировых (без РФ) запасов, хотя для развитых и развивающихся стран в 70-е годы он составил 11,3 и в 1999 г. — 2,3 [7].

Темп восполнения мировой МСБ никеля за счет новых месторождений за последние десятилетия снизился [14], несмотря на ряд открытий (Войсиз Бей, Виктор-Дип, Канада; Каратунхе, Китай; Бан Фук, Вьетнам; Кингашское, Россия и др.).

Доказанные запасы никеля ведущих 15 стран-держателей составили на 01.01.07 г. около 37 742 тыс. т, что соответствует более чем 86% мировых запасов (см. табл. 8). С 1990 г. доля ведущих стран незначительно и неравномерно, но неуклонно возростала, что говорит об их более высоких инвестиционных возможностях для наращивания МСБ. Среди них Россия, Австралия, Куба, Новая Каледония, Канада и ЮАР обладают 56% мировых запасов. За весь период 1970–2006 гг. Австралия нарастила объем запасов в 3,7 раза. У остальных стран-лидеров они увеличились в 1,4–1,6 или снизились в 1,03–2,3 раза (см. рис. 12).

Мировые (без РФ) показатели по запасам никеля на душу населения в середине 1970-х годов достигли максимума 17,7 кг/чел., но в дальнейшем снижались (8,4 кг/чел. в 2000 г.). В начале XXI в. эта тенденция существенно не изменилась, и в 2006 г. запасы никеля на душу населения (без РФ) составили 6,8 кг/чел. В целом эта тенденция отражает отсутствие крупных открытий месторождений при прогрессирующем росте народонаселения.

Россия занимает первое место среди ведущих стран-держателей запасов никеля (см. табл. 8, рис. 12). Основу ее МСБ составляют сульфидные медно-никелевые месторождения Норильской группы (более 80% запасов РФ), Кольского полуострова (12%) и силикатные кобальт-никелевые месторождения Урала (8%).

Рудничное производство. Мировое рудничное производство никеля в 2006 г. достигло 1442,2 тыс.

т и за период 1970–2006 гг. возросло в 2,14 раза. Среднегодовой темп роста за весь период составил 3,16%. Наблюдались спады мирового рудничного производства в 1980 и наиболее серьезный — в 1994 гг., что было связано с сокращением производства никеля в СССР и общемировой рецессией после окончания холодной войны [7].

Распределение мирового рудничного производства никеля по континентам (рис. 13, а), как и запасы, определяется пространственным размещением месторождений в составе глобальных металлогенических структур, преимущественно докембрийских гранитно-зеленокаменных поясов и структур, связанных с рифтогенезом и платобазальтовыми провинциями на платформах и их щитах и пассивных континентальных окраинах. В структуре рудничного производства никеля по странам с различными типами экономики преобладают развивающиеся страны (37,1%) и страны рыночной экономики (33,8%), в которых сосредоточены основные запасы сульфидных и силикатных никелевых руд. Особое место занимает Россия со значительными запасами и рудничным производством мирового уровня (24,8%) (см. рис. 13, б). Другие страны СНГ практически не добывают никель.

Мировое рудничное производство никеля (как и запасы) сосредоточено на месторождениях сульфидного медно-никелевого и никелевого силикатного геолого-промышленных типов. Первый из них обеспечивает около 58%, второй — 42% текущего рудничного производства никеля (см. рис. 13, в).

Несмотря на прогнозы 10–15-летней давности о возрастании роли силикатных руд (и океанических никельсодержащих Fe-Mn корок и конкреций) в мировом производстве никеля, реальные тренды показывают при существенно более высокой и сохраняющейся роли в доказанных запасах месторождений силикатного ГПТ (почти 72%) предпочтительную добычу (около 58%) металла из сульфидных месторождений. Лишь в 2001–2005 гг. в связи с отсутствием открытий крупных скоплений сульфидных медно-никелевых руд начинает повышаться доля силикатного ГПТ в рудничном производстве (см. горно-рудные проекты). Попутная добыча никеля ведется также на титаномагнетитовых месторождениях (Панчжихуа, Китай), никеленосных колчеданных (Оутокумпу, Финляндия), на одном из медных месторождений в карбонатитах (Палабора, ЮАР).

Ведущие 15 стран-производителей обеспечивают более 99% мирового рудничного производства никеля. Производство как в мире в целом, так и в ведущих 15 странах за 1970–2006 гг. выросло более чем в 2 раза (табл. 9). Пятерка ведущих стран-про-

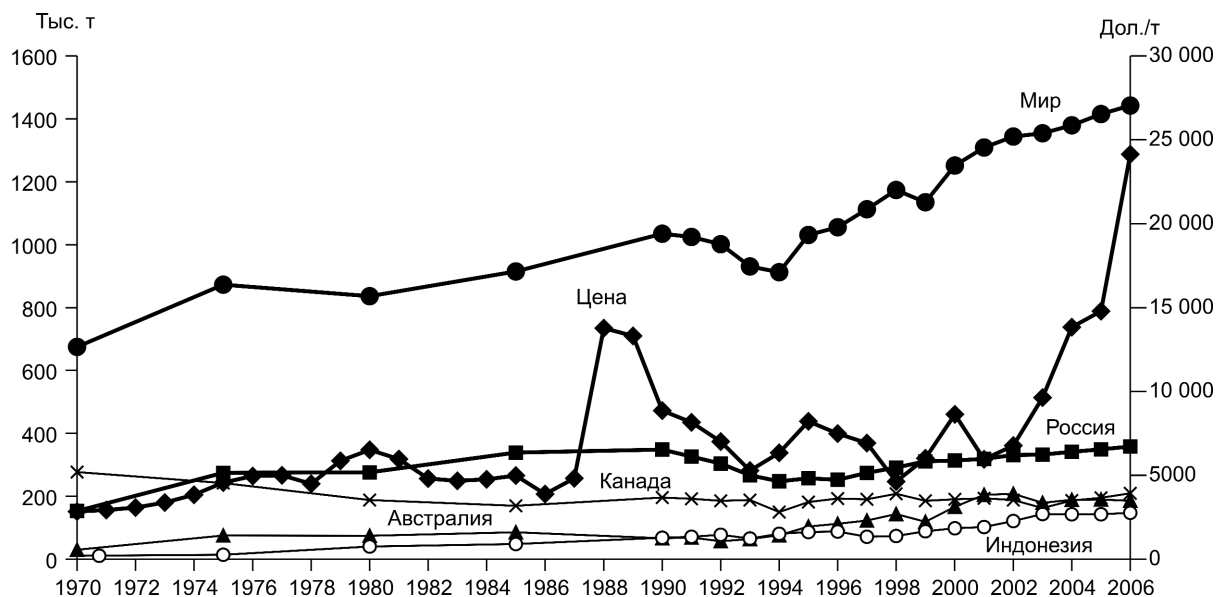


Рис. 14. Динамика рудничного производства никеля в мире, России, Канаде, Австралии и Индонезии в 1970–2006 гг. в сопоставлении с ценой

дучентов — Россия, Австралия, Канада, Индонезия и Новая Каледония — обеспечивает (2006 г.) 70,3% мирового рудничного производства никеля. Все они, кроме Канады и Новой Каледонии, за рассматриваемый период наращивали производство. Наиболее высокий уровень роста достигнут в Индонезии (более чем в 13 раз) и Австралии (более чем в 6 раз).

Динамика рудничного производства в мире и ряде ведущих стран-производителей за 1970–2006 гг. (рис. 14; см. табл. 9) свидетельствует о сохраняю-

щихся повышательных тенденциях как на протяжении всего периода, так и в 2001–2006 гг. Особенно заметны они в ряде развивающихся стран (Венесуэла, Индонезия, Колумбия).

Среднегодовой темп роста мирового рудничного производства за период 1970–2000 гг. составлял в среднем 1,7% [7]. В 2001–2006 гг. он увеличился до 2,5% (см. табл. 9, рис. 14).

Среднегодовые мировые показатели добычи никеля на душу населения за 2000–2006 гг. в отличие от предшествующих лет [3] незначительно уве-

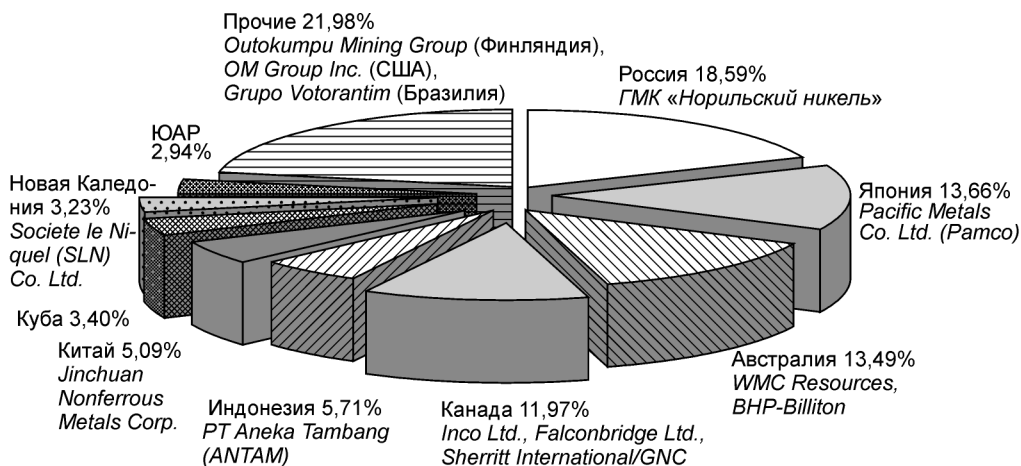


Рис. 15. Производство никеля (рафинированного, в штейне и ферроникеле) ведущими странами-производителями (% от мирового) и распределение по странам ведущих мировых компаний-производителей в 2003 г.

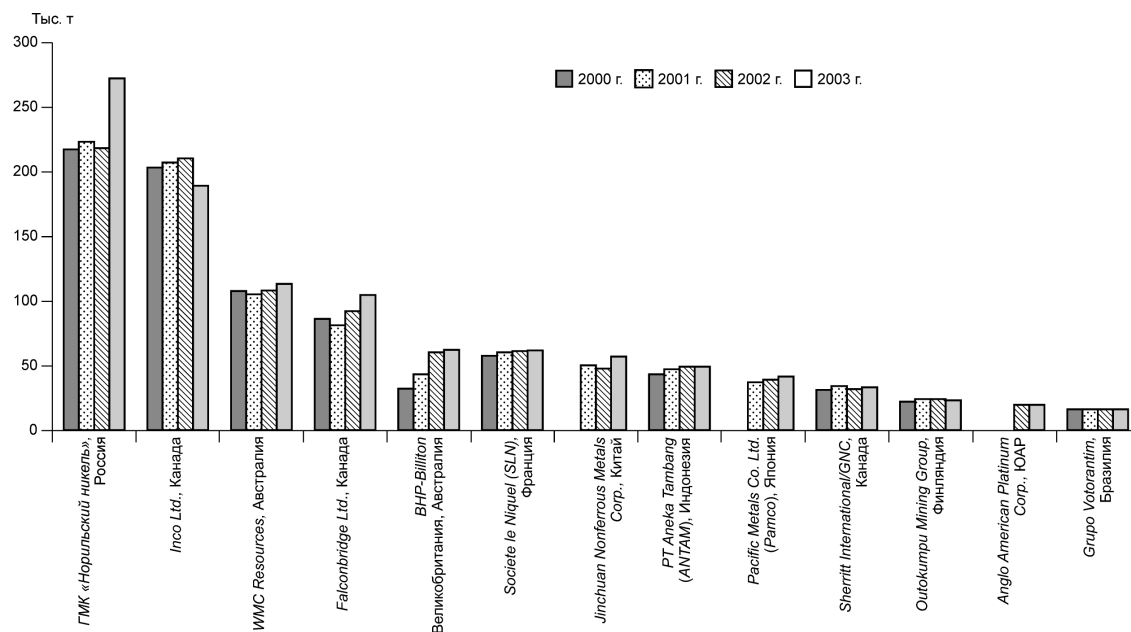


Рис. 16. Рудничное производство никеля ведущих мировых компаний-производителей в 2000–2003 гг.

личились, в 2006 г. они составили 0,216 кг/чел. (в 2000 г. — 0,206 кг/чел.).

Однако высокие темпы роста рудничного производства никеля не всегда позволяют обеспечивать экономику соответствующих стран. Так, его рудничное производство и запасы в Китае удовлетворяют лишь 40% внутреннего спроса, в связи с чем страна вынуждена искать источники сырья за рубежом [16].

Предприятия основного российского производителя ГМК «Норильский никель» в 2002 г. увеличили производство и произвели 218 тыс. т Ni, 454 тыс. т Cu и 4,2 тыс. т Co. Другой российский производитель — ГМК «Уфалейникель» — произвел 6,5 тыс. т Ni и около 2,1 тыс. т Co. Экспорт никеля в 2002 г. вырос по сравнению с 2001 г. на 14% и составил 208 тыс. т.

Большинство обрабатываемых залежей норильских месторождений представлено богатыми рудами со средними содержаниями никеля порядка 2,6–2,9%, в отличие от сульфидных руд Австралии (<2,05%) и Канады (<1,31%). Существенным фактором высочайшей конкурентоспособности норильских руд является их комплексный состав (Cu, Co, Au, Ag, МПГ и др.), что выражается в самых низких в мире производственных издержках, несмотря на сложные географо-экономические условия Заполярья и значительные глубины отработки залежей.

В то же время на предприятиях ГМК «Норильский никель» вместе с ростом глубины добычи сни-

жается общее качество руд при интенсивной отработке их богатых разновидностей. ГМК «Норильский никель», располагая крупнейшими в мире по запасам и качеству руд медно-никелевыми место-

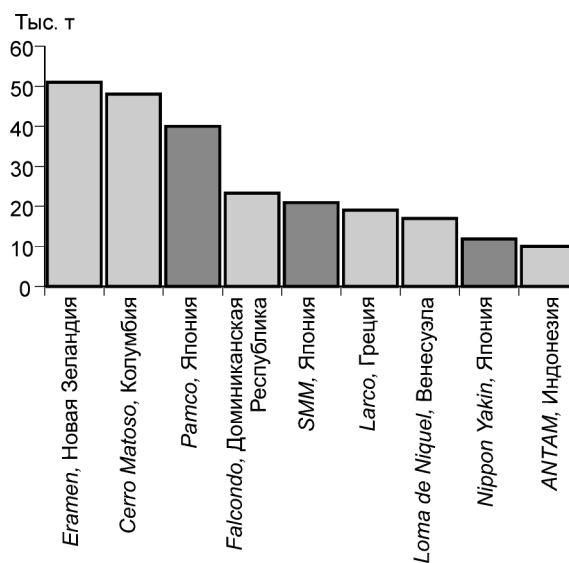


Рис. 17. Рейтинг и объемы производства ведущих мировых компаний-производителей ферроникеля в 2003 г. [1]: густая заливка — компании без сырьевых активов, работающие на импортном вторичном или комбинированном сырье с широким участием вторичного

10. Характеристика деятельности ведущих мировых компаний по рудничному производству никеля в 2004 г.

Компания	Страна	Район и характер добычной деятельности предприятий	Доказанные запасы на 01.01.04 г., тыс. т Ni	Рудничное производство Ni в 2004 г., тыс. т	Капитализация на начало 2005 г., млрд. дол.
ГМК «Норильский Никель»	Россия	Отработка сульфидных Ni-Cu месторождений Норильского и Печенгского районов	6019,0	240	12,57
Inco Ltd.	Канада	Отработка сульфидных месторождений района Садбери и месторождений силикатных руд Индо-незии	6877,4	220	7,07
Western Mining Resources (WMC)	Австралия	Разработка сульфидных Ni-Cu месторождений зеленокаменных поясов, окисленных и силикатных руд (Западная Австралия)	328 млн. т руды (2003)	88	7,05
Falconbridge Ltd.	Канада	Освоение сульфидных Ni-Cu месторождений района Садбери, зеленокаменных поясов Канады, силикатных руд в Доминиканской Республике	98 млн. т руды (2003 г.)	80,8	5,04
Eramet-Societe le Nickel (SLN)	Франция	Добывающие предприятия на месторождениях силикатного никеля о. Новая Каледония	Н.д.	62	2,55
BHP Billiton	Австралия	Разработка месторождений силикатного никеля в Колумбии и Австралии	43 млн. т руды (2003 г.)	52	50,56
Jinchuan Nonferrous Metals Corp.	Китай	Освоение сульфидных Ni-Cu платиносодержащих руд месторождения Дзиньчуань (Байцзяцзуйцзы)	Н.д.	50	Н.д.
PT Aneka Tambang (ANTAM)	Индонезия	Отработка силикатных месторождений кобальта и никеля		49	0,40
Pacific Metals Co. Ltd.	Япония	Переработка импортных силикатных руд никеля	-	41,5	Н.д.
Sherritt International Corp.	Канада	Переработка импортных силикатных руд кубинских месторождений	-	33	10,35

рождениями Норильского района (Норильск-I, Октябрьское, Талнахское) и месторождениями Кольского полуострова (Ждановское и др.), казалось бы, далека от проблем зарубежной никелевой промышленности, которая обрабатывает месторождения преимущественно вкрапленных руд. Но запасы богатых массивных руд ГМК «Норильский никель» не вечны, и рано или поздно потребуются адаптация перерабатывающих мощностей к вкрапленным рудам более низкого качества. Это одна из причин, приведшая к постановке задачи создания «альтернативных» минерально-сырьевых баз, включая нетрадиционные для России геолого-промышленные типы месторождений, с целью упреждения возможных национальных угроз по никелю и платине при наступающем спаде производства данных металлов в Норильском районе.

Возрастание доли бедных руд в отработке вместе с выбыванием предприятий на Печенгском рудном поле угрожает спадом отечественного производства никеля, если не будут приняты меры по технологической реконструкции перерабатывающих предприятий в г. Норильске и вводу новых рудников на Печенгском рудном поле.

Силикатные никелевые руды МСБ никеля РФ развиты на Урале. Их отработывают комбинаты «Уфалейникель», «Южуралникель» и «Режникель». Однако качество силикатных руд значительно ниже, чем у аналогичных руд зарубежных стран. Эти комбинаты перерабатывают руды со средним содержанием никеля 0,9%, в то время как в других странах — от 1,2% (Греция) до 2,1% (Новая Каледония), и испытывают трудности с поставками сырья. При годовом производстве около 20 тыс. т Ni («Уфалейникель», «Южуралникель») ни одна из этих компаний не обеспечена полностью сырьем (ранее они перерабатывали силикатные руды кубинских месторождений). Отсутствие собственной МСБ, попутных компонентов (кроме кобальта), низкое качество руд привели к низкой конкурентоспособности уральских предприятий и сокращению их производственных мощностей за последние несколько лет более чем в 2,5 раза.

Угрозой сохранению роли и места России на мировом рынке никеля является в последние годы внедрение зарубежными компаниями-производителями высокоэффективных методов и технологий переработки силикатных (HPAL) и бедных вкраплен-

11. Динамика потребления никеля в ведущих странах-потребителях мира за 1970–2006 гг., тыс. т [5–7, 23]

Страна	1970	1975	1980	1985	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Китай	Н.д.	Н.д.	18,0	18,5	27,5	40,2	42,0	43,0	42,0	46,5	62,0	83,0	91,6
Япония	98,7	90,0	122,0	136,1	159,3	205,1	190,2	202,4	169,2	182,7	200,1	161,5	191,2
США	142,2	132,9	148,2	147,8	124,6	155,2	153,1	155,6	149,0	140,0	147,0	129,0	121,0
Германия (с октября 1990 г.)	40,9	42,8	68,0	75,0	93,3	93,1	74,9	89,0	97,4	101,2	103,5	110,2	106,6
Корея Южная	0,4	1,2	3,1	7,3	14,0	44,0	50,0	66,0	67,8	80,7	78,0	75,4	83,2
Тайвань	0,6	1,0	1,7	4,9	13,4	48,0	50,0	68,0	70,0	89,0	90,0	81,0	91,0
Италия	17,0	17,0	27,1	29,0	27,3	49,0	44,0	49,5	53,3	55,0	52,6	57,0	67,4
Финляндия	0,4	0,5	9,0	14,7	19,0	31,9	30,1	36,0	37,1	40,8	43,3	38,6	40,6
ЮАР	4,0	6,0	6,0	8,8	8,0	20,0	24,0	30,0	30,0	32,0	31,0	30,0	34,7
Испания	3,1	8,9	9,0	8,2	20,6	27,2	28,5	30,0	31,0	37,8	37,8	43,8	47,0
Франция	36,1	31,9	38,4	31,9	44,8	48,5	45,9	49,8	55,0	52,3	49,8	51,0	53,0
Швеция	18,0	22,0	20,0	17,0	19,4	28,3	24,5	29,8	33,9	34,6	36,8	36,6	38,0
Бельгия	3,3	3,2	4,0	6,6	21,3	28,0	25,4	28,0	30,0	28,0	28,5	28,2	32,5
Россия	Н.д.	Н.д.	132,0	150,0	175,0	26,2	27,3	35,0	33,6	38,9	46,8	74,9	29,0
Великобритания	34,7	20,8	22,8	24,8	32,6	40,9	38,7	33,0	31,5	29,2	32,4	37,5	34,4
Итого	Н.д.	Н.д.	629,3	680,6	800,1	885,6	848,6	945,1	930,8	988,7	1039,6	1037,7	1061,2
Мир	609,26*	565,4**	709,5	782,7	914,4	978,2	933,4	1035,2	1029,1	1096,3	1148,7	1154,3	1175,5

* Оценка.

** Отношения 2006/1980.

ных сульфидных руд (BioHeap) [10, 15, 17, 26]. В то же время, несмотря на значительные возможности иметь дополнительные источники сырья, Россия не занимается переработкой скрапа — самого дешевого никелевого сырья, так как это требует дополнительных затрат. Вместо этого наращивается экспорт скрапа на мировой рынок в условиях низкого спроса на никель со стороны отечественной промышленности и высокого мирового спроса на нержавеющие стали (Китай) [1].

Распределение ведущих и крупных компаний по странам — главным мировым продуцентам никеля — не выявляет корреляции между уровнем производства в стране и деятельностью в ней ведущих и крупных компаний (рис. 15). По данным аналитических групп и агентств-составителей обзоров по мировой никеледобывающей отрасли (AmBendi, AME, Investcom, Roskill и др.), к категории наиболее крупных мировых продуцентов-лидеров относятся лишь 5–6 компаний и среди них (2004 г.) ГМК «Норильский никель» (Россия), Inco Ltd. (Канада), WMC Resources (Австралия), Falconbridge Ltd. (Канада) с годовым производством Ni каждой из них более 100 тыс. т. Суммарное рудничное производство Ni этих компаний в 2003 г. объемом 645,4 тыс. т составило около половины его мирового рудничного производства (47,9%) (см. рис. 15).

Рассмотрение рудничного производства более широкого перечня компаний выявляет также значительную группу крупных компаний с годовым производством 20–100 тыс. т и группу прочих компаний с производством менее 20 тыс. т. Все они ранжированы по уровню рудничного производства в 2000–2003 гг. (рис. 16). Динамика производства показывает, что среди лидеров выделяются, по крайней мере, две группы: для одной из них (ГМК «Норильский никель», WMC Resources, Falconbridge Ltd., BHP Billiton, Jinchuan Nonferrous Mining Comp.) характерен быстрый поступательный (не всегда устойчивый) рост, для другой — темп этого роста невысокий. У канадской компании Inco Ltd. наблюдается даже спад рудничного производства. Среди ведущих производителей ферроникеля выделяется ряд крупных компаний, которые не имеют сырьевых активов, но успешно работают на импортном вторичном или комбинированном сырье с широким участием вторичного (японские Pamco, SMM, Nippon Yakin) (рис. 17). В 2004 г. успехи мировой никеледобывающей отрасли обеспечивались деятельностью десяти ведущих мировых компаний (табл. 10). К числу крупнейших по производству никеля относятся также Outokumpu Oyu (Финляндия), Grupo Votorantim (Бразилия), OM Group Inc. (США) и др.

2003	2004	2005	2006	% от мира	2006/ 1970
128,0	140,0	202,7	253,6	18,10	14,09**
193,0	195,0	172,3	177,8	12,69	1,80
120,0	125,0	137,0	147,0	10,49	1,03
99,7	100,0	123,0	133,1	9,50	3,25
100,0	105,0	118,9	125,7	8,97	314,25
97,0	86,0	90,0	95,0	6,78	155,74
65,0	62,0	63,0	64,6	4,61	3,80
54,8	60,0	57,0	58,5	4,18	146,25
44,0	44,0	47,3	49,3	3,52	12,33
47,0	45,0	46,0	45,0	3,21	14,52
41,9	41,9	41,9	41,9	2,99	1,16
40,0	40,0	40,0	40,0	2,86	2,22
38,0	38,0	38,0	38,0	2,71	11,52
30,0	30,0	28,7	29,0	2,07	0,22*
28,6	28,6	28,6	28,6	2,04	0,82
1126,9	1140,4	1234,4	1327,1	94,72	2,11*
1235,0	1240,0	1321,0	1401,0	100,00	2,30

В последние годы широко проявляются процессы слияния и поглощения компаний — консолидации. Их цель — консолидация активов, снижение издержек производства за счет реструктуризации, повышение капитализации с улучшением рейтинга в мировой таблице о рангах, набор «критической массы» активов для повышения котировок акций и т.д. Так, ранее малоизвестная швейцарская компания *Xstrata*, обладающая, по-видимому, значительными возможностями приобретения сырьевых активов, поглотила канадскую компанию *Falconbridge Ltd.* Компания *Xstrata* уже выходила на мировые рынки угля и меди с поглощением активов, а также приобрела свинцово-цинковые сырьевые активы известной австралийской компании *MIM Holdings*. Основу стратегии компании составляет диверсификация со скупкой действующих добывающих предприятий различного профиля по всему миру.

Общие тенденции к консолидации активов — отражение мировых процессов глобализации и диверсификации производства как средства страхования от экономических перепадов. Об этом свидетельствуют слияния в недавнем прошлом таких крупных компаний, как *BHP* и *Billiton*, *Teck* и *Cominco*, последние поглощения австралийской *MIM Holdings Ltd.* и канадской *Falconbridge* швейцарской *Xstrata*. Важнейшим событием в этой сфере в

2006 г. стал контроль бразильского стального гиганта — компании *CVRD* над крупнейшей канадской никеледобывающей компанией *Inco Ltd.* В то же время, в связи с необходимостью улучшения финансовой деятельности компаний, имеют место и процессы деконсолидации, определяемые в основном продажами и уступками некорневых активов, не обеспечивающих снижение издержек производства, направленные на оздоровление деятельности компаний в целом (австралийская никеледобывающая *WMC Resources*, продавшая алюминиевые активы при сохранении никелевых). Прогнозы в этой области (по данным *Goldman Sachs*) таковы, что на очередной волне объединений и приобретений лидерами в горнорудном секторе могут стать компании-«хищники» *Anglo American* и *Xstrata*.

Во всем мире добычу и переработку никелевых руд за рассматриваемый период производили около 70 частных и государственных горнорудных предприятий различных стран и компаний. Наиболее крупные эксплуатируемые объекты принадлежат, как правило, ведущим мировым компаниям.

К крупнейшим мировым действующим никелевым рудникам ведущих добывающих компаний относятся Октябрьский, Таймырский и Комсомольский (Талнахское месторождение) — *ГМК «Норильский никель»*); рудники районов Садбери и Томпсон, никелевый силикатный рудник Сороако в Индонезии (*Inco Ltd.*); Камбалда, Маунт Кейт в Австралии (*WMC Resources*); Крейг, Фрезер, Линдсли и Локерби Объединенных никелевых предприятий — *Integrated Nickel Operations*, *INO*, района Садбери и Фалкондо в Доминиканской Республике (*Falconbridge Ltd.*); Куауа и др. в четырех центрах добычи в различных частях о. Новая Каледония (*Societe le Nickel (SLN)* — *Eramet*, Франция); Дзиньчуань (*Jinchuan Nonferrous Nickel Corp.*, Китай); Гебе, Ги-Хальмахепа (*PT Aneca Tambang*, Индонезия) и др.

За рассматриваемый период в мировой никелевой отрасли существенно снизились производственные издержки в расчете на основной металл (рис. 18), что обусловлено активным освоением сульфидных медно-никелевых месторождений с попутными благородными (МПГ, Au, Ag) и редкими металлами в рудах. Производственные издержки ведущих компаний-производителей никеля изменяются в широком интервале значений — от отрицательных до 8000 дол./т. Такой размах, кроме масштаба сырьевых объектов, объемов капитальных затрат на их освоение, мировой рыночной конъюнктуры, определяется также качеством запасов, в частности, ценностной структурой руд, определяемой количествами главных и попутных полезных компонентов. С этой точки зрения пози-

ция ГМК «Норильский никель» на диаграмме производственных издержек является уникальной [25]. Только у нее издержки на никель отрицательные (!) по сравнению со всеми другими лидирующими компаниями (рис. 19). Это означает только одно — затраты на производство никеля полностью перекрываются поступлениями от реализации попутных благородных и редких металлов собственного производства.

Наиболее активно реструктуризацию для снижения издержек проводили крупнейшие никеледобывающие компании, работающие на сульфидных рудах — ГМК «Норильский никель», *Inco Ltd.*, *Falconbridge Ltd.*, *WMC Resources* и др. Эта деятельность была ответом на возникшую угрозу давления со стороны продуцентов металлов из силикатных никелевых руд латеритных месторождений, инициатором которого выступила австралийская компания *Anaconda*, внедряющая экономичную технологию автоклавного передела силикатных и оксидных железо-никелевых руд (HPAL – High Pressure Acid Leaching) [17, 20]. Производство никеля по этой технологии началось в 1999 г., но так и не вышло на заявленный уровень издержек (менее 2200 дол./т Ni). Первоначальные успехи освоения компаниями Австралии силикатных никелевых месторождений Murrin Murrin, Sawse и Vulong на основе технологии HPAL натолкнулись на ряд препятствий (в первую очередь удорожание энергетических видов сырья), и проектные объемы годового производства на этих объектах достигнуты не были. Завод Murrin Murrin компании *Anaconda*, построенный под эту технологию, по прошествии пяти лет не достиг проектной мощности, что обусловлено, прежде всего, изменениями сортности руд и повышением цен на электроэнергию и природный газ, а также недостаточным учетом возможностей попутного извлечения металлов. Кроме того, проекты по силикатным месторождениям требуют инновационного технического оснащения, капиталозатратны, нуждаются в развитой инфраструктуре, требуют повышенного внимания в обслуживании, чувствительны к объемам и качеству руд, а минимальный период их ввода в эксплуатацию достаточно продолжителен и составляет 5–8 лет [17].

В последней трети XX в. существенный рост потребления металлов способствовал интенсивному их производству из всех видов первичного и вторичного сырья. Это в полной мере относится к никелю. С 1993 по 2004 г. его мировое производство из вторичного сырья возросло в 2 раза и в 2004 г. достигло 704 тыс. т (56,8% мирового потребления никеля), динамика его роста была устойчиво положительной.

Потребление. Структура мирового потребления никеля показывает, что значительная часть его приходится на Азиатский и Европейский континенты (81%), где расположено большинство развитых и развивающихся стран. Основной объем никеля потребляют страны с рыночной экономикой. Структура потребления по областям конечного использования показывает решающую роль в нем (67%) нержавеющей стали (рис. 20).

Объем мирового потребления никеля за 1970–2006 гг. в целом возростал и в 2006 г. достиг 1401 тыс. т, превысив уровень 1970 г. в 2,3 раза (табл. 11, рис. 21). Среднегодовой темп роста мирового потребления составил 3,61%. Частичный спад потребления произошел в 1991–1992 гг., что связывают с окончанием холодной войны, но в дальнейшем рост возобновился с более высоким среднегодовым темпом (5,85%), сохраняющимся в настоящее время.

Потребление никеля определяется высоким и возрастающим спросом промышленности на антикоррозионные материалы в транспортном машиностроении, телекоммуникациях, производстве строительных конструкций, оборудования для химической и пищевой промышленности, суперсплавов (космическая промышленность, самолетостроение), Ni-Cd аккумуляторов (автомобилестроение). Основными потребителями никеля являются промышленно развитые страны, среди лидеров — Япония, США, Южная Корея, страны ЕС, в 2005–2006 гг. на первое место выдвинулся Китай. До 60% первичного никеля в этих странах идет на производство аустенитных (содержащих никель) нержавеющей сталей, до 5% — легированных сталей. В целом доля 15 ведущих стран по потреблению никеля составляет около 95% от его суммарного мирового потребления (см. табл. 11). Россия находится на одном из последних мест в этом рейтинговом списке и, в отличие от большинства других стран, резко снизила объем потребления в 1992–2006 гг. (на 80,7%). К сожалению, и в 2001–2006 гг. это положение сохраняется.

Среднедушевое потребление никеля в мире в 2006 г. составило 0,21 кг/чел. Наиболее высокое среднедушевое потребление и тенденции к его повышению характерны для промышленно развитых стран (кг/чел.) — Финляндии (11,0 против 8,8 в 2000 г.), Швеции (4,37 против 3,35) и развивающихся стран Восточной Азии — Тайвань (4,14 против 4,14). В России самое низкое среди ведущих 15 стран душевое потребление никеля — 0,20 кг/чел., близкое к среднемировому.

В начале XXI в. произошел резкий скачок потребления никеля в Китае, где спрос на нержавеющую сталь за 1990–2000 гг. вырос более чем в 21

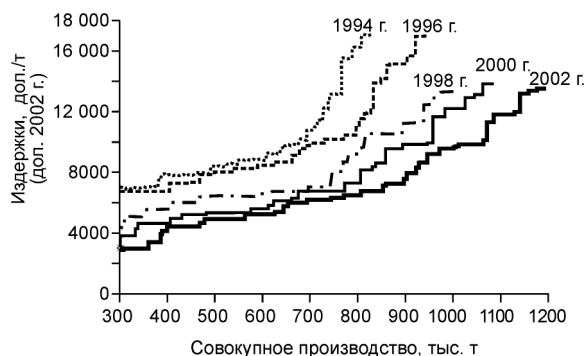


Рис. 18. Издержки производства и совокупное мировое производство никеля компаний-производителей в 1994–2002 гг.

раз [17]. В 90-е годы возросло потребление никеля на Тайване, который вплотную приблизился к пятерке ведущих мировых потребителей (см. табл. 11, рис. 21).

Одновременно в структуре потребления никеля устойчиво растет роль металла, изготовленного из вторичного сырья. В США, где никель является стратегическим и дефицитным (critical) металлом, в 2000 г. его производство из скрапа нержавеющей стали заместило около 43% первичного никеля [23]. Высокий уровень годового потребления вторичного никеля характерен также для ЕС (более 110 тыс. т) и Японии (более 80 тыс. т). Растет импорт скрапа в Корею. В настоящее время широкое вовлечение в производство вторичного никелевого сырья продолжается. Ряд компаний, не обладающих сырьевыми активами (*Pacific Metal Company*, Япония, *OM Group*, США) или не имеющих крупных сырьевых объектов (*Outokumpu* и др.), стремятся к развитию новых перерабатывающих технологий, вовлекая в передел вторичное сырье (см. рис. 17).

Продолжающийся рост производства и потребления нержавеющей стали приведет к тому, что через некоторое время, когда будет заканчиваться срок эксплуатации изделий из них (он длителен и в настоящее время еще не завершен), потребуются простые и дешевые технологические решения по массовой переработке скрапа, как это происходит при переработке кислотных свинцовых аккумуляторов, и скрапа оцинкованной стальной продукции. Активизации процессов переработки никелевого скрапа способствует международная торговля металлом. Именно в этой сфере обращаются наиболее крупные объемы вторичного никелевого сырья [1]. Другим фактором, способствующим увеличению объемов вторичного сырья в структуре промышленного спроса, являются относительная простота

и дешевизна переработки скрапа (низкие производственные издержки передела) по сравнению с первичными сульфидными или силикатными рудами никеля. Наиболее крупные мировые поставщики в этом сегменте — Россия (продажа скрапа), Япония, в самое последнее время — Китай (покупка скрапа). По данным ежегодного круглого стола института Scrap Recycling Industries Inc. (ISRI), растущий спрос на никель Китая, США и Японии должен удерживать никелевые цены на высоком уровне и сохранить повышенный спрос на скрап нержавеющей стали. За 2000–2004 гг. мировое производство нержавеющей стали выросло на 26% и составило в 2004 г. около 24,6 млн. т.

Соотношения мирового рудничного производства никеля, его потребления, производства из вторичного сырья и мировых цен показывают, что в условиях очень высокого мирового спроса на никель и периодического превышения спроса над предложением произошел беспрецедентный рост цен (среднегодовые мировые цены на никель в декабре 2006 г. достигли 34 620 дол./т при средней цене за год 24 132,1 дол./т и в 2007 г. продолжают повышаться — 40 024 дол./т по девяти месяцам 2007 г.) (рис. 22). Баланс спроса-предложения сводится за счет количественно сопоставимого совместного предложения металла из первичных и вторичных источников.

Цены. Среднегодовые мировые цены на никель за 1970–2006 гг. выросли в 2,9 раза, испытав несколько подъемов и спадов и пройдя через максимум 1988 г. (рис. 23). Подобная динамика мировых цен тесно связана с долгосрочными тенденциями промышленного развития и растущим спросом на нержавеющую сталь. Рост мировых цен 70–80-х годов определяли тенденции устойчивого экономического роста и высокие уровни импорта никеля. В 90-е годы свою роль сыграл высокий спрос, сохраняющийся до настоящего времени, на нержавеющую сталь в развитых и бурно развивающихся странах Восточной Азии (Япония, Китай, Тайвань, Южная

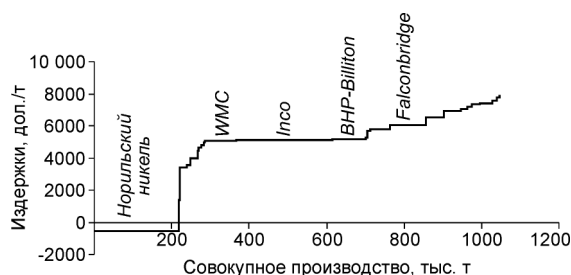


Рис. 19. Издержки производства и совокупное мировое производство никеля ведущих компаний-производителей в 2002 г. [25]

Корея). Эти тенденции, в свою очередь, привели к росту производства металла из вторичного сырья и способствовали снижению издержек производства.

Повышательное влияние на мировые цены на никель, как и другие цветные металлы, оказали растущие мировые цены на энергетическое сырье, в первую очередь, на нефть. При этом повышение цен на никель происходило с некоторым лагом (отставанием) от максимумов мировых цен на нефть (см. рис. 23, а).

Баланс спроса-предложения на никель после 1990 г. изменялся незначительно, хотя и был подвержен колебаниям (см. рис. 23, б). Мировые цены неустойчиво возрастали в условиях дефицита предложения металла. В отличие от благородных металлов (например, платины), когда дисбаланс спроса-предложения может оказывать существенное и быстрое влияние на мировые цены, соотношение спроса-предложения на рынке никеля отражает инерционную природу механизма их формирования, не оказывающую немедленного влияния на мировые цены. Так, дисбаланс спроса-предложения на никель в течение 90-х годов вызвал разнонаправленные колебания цен и не привел к их быстрому повышению.

В секторе предложения на мировом рынке никеля ведущую роль играет рудничное производство, менее значимую — производство металла из вторичного сырья; в секторе спроса — потребление никеля в различных отраслях промышленности (главным образом, нержавеющей стали) и бытовой сфере. Рост биржевых запасов никеля оказывает немедленное понижательное воздействие на мировые цены, в условиях же общего снижения уровня коммерческих запасов металла на ЛБМ за последние 10–12 лет — общее повышательное воздействие (см. рис. 23, в). Хотя продуценты никеля реализуют ряд новых добычных проектов, современные тенденции превышения спроса над предложением вызвали новые проблемы в никелевой промышленности, отражением которых стал устойчивый высокий рост мировых цен.

Зарубежные горнорудные проекты и прогноз добычи до 2025 г. Ведущие горнорудные компании, кроме эксплуатации известных месторождений, широко проводят подготовительные работы для ввода в эксплуатацию выявленных, разведанных и прошедших оценку никелевых месторождений или их участков, новых проектов и ранее приостановленных в связи с неблагоприятными условиями рынка. Реализуются также многочисленные проекты расширения действующих добывающих предприятий, но они в данном обзоре не рассматриваются.

Подготовка к освоению новых месторождений (мировые горнорудные проекты) — одна из важных



Рис. 20. Структура потребления никеля в 2003–2004 гг. по континентам мира (а), странам с различными типами экономики (б) и областям конечного использования (в), % [5, 6, 23]

фаз в общей схеме процессов освоения минерального сырья. Она включает стадии оценки (DA-1–DA-4), принятия решения об эксплуатации и развитии добычного комплекса (MCD), ввода в действие выявленных рудных объектов и начала рудничного производства (MP) с подготовкой соответствующих ТЭО и проектов добычи, что снижает ошибки определения запасов полезного ископаемого от 60 до 10%. Современные данные о проектных характеристиках запасов никелевых месторождений разных компаний, рудничного производства и удельного годового рудничного производства проектных рудников на их основе приведены в табл. 12.

Процессы подготовки мировых горнорудных проектов к эксплуатации весьма прихотливы, и реализация проектов зависит от многих факторов: мировой конъюнктуры (спроса-предложения, цен), вида, ГПТ и качества минерального сырья, масштабов объектов и объемов финансирования проектов, в интегральном виде — от экономической доступности сырья в целом. Под доступностью минеральных ресурсов понимается свойство системы общество — минеральные ресурсы, характеризующее возможность их эффективного и безопасного использования в зависимости от состояния ресурсов, потребности в них и достигнутого технологического уровня. Количественная мера доступности — отношение фактической цены товарного продукта ($C_{\text{факт}}$) к его расчетной цене ($C_{\text{расч}}$), обеспечивающей безубыточное извлечение и переработку сырья [8]. Решение об использовании ресурсов принимается при значениях показателя доступности >1 . Различные варианты этого соотношения могут форсировать, тормозить или вообще приостанавливать процедуры освоения объектов МСБ, приводя к изменению их статуса: замораживанию или оживлению развития горнорудных проектов.

Собраны и проанализированы с геолого-экономической точки зрения важнейшие новые горнорудные проекты освоения месторождений никеля и МПГ с попутным производством никеля и меди [5–7, 10, 15, 17, 18, 20 и др.] общим количеством 43 объекта (см. табл. 12). Опубликованные данные по важнейшим горнорудным проектам показывают разнообразие существующих тенденций в этой сфере, различные ГПТ, масштабы вовлекаемых в сферу освоения запасов сырья, разные условия подготовки и схемы освоения проектов, закономерности их размещения по странам и регионам. Их виды, структура и масштабы существенно различаются в зависимости от геолого-тектонической позиции месторождений, экономических условий региона, задач освоения конкретных объектов МСБ и масштабов финансирования. По этим признакам проекты можно объединить в несколько групп.

Первую группу составляют проекты освоения новых месторождений. Структура проектов различна. Ряд проектов находится в начальной стадии планирования, на некоторых начато строительство и развитие инфраструктуры, ряд проектов находится в предпусковой стадии.

Вторая группа — повторный запуск предприятий, проекты по которым уже находились на различных стадиях реализации, но были законсервированы из-за неблагоприятных условий рынка и нерентабельности производства. Масштабы финансирования таких проектов значительно ниже в связи с

существованием на них развитой или частично развитой производственной инфраструктуры.

Третья группа — проекты капиталовложений в существующее производство в целях его расширения в связи с благоприятными условиями рынка. Это обычно проекты по вводу в эксплуатацию новых рудных залежей или отдельных участков месторождений, строительству новых добывающих, обогатительных мощностей или реконструкции и увеличению производительности уже существующих. При этом преобладает строительство новых карьера, шахты, обогатительной фабрики, реже плавильного завода.

Наконец, имеется ряд отложенных проектов, о подготовке к эксплуатации которых было объявлено ранее (один из крупнейших — Горо, Новая Каледония). По последним данным, этот проект компания *Inco Ltd.* возвращает к прежнему режиму подготовительных работ по вводу в эксплуатацию.

К категории весьма крупных (запасы 1–5 млн. т Ni) относятся 19 проектов с суммарными запасами 48 534,6 тыс. т Ni (84,2% проектных запасов), к категории крупных — 15 проектов с запасами 8701,5 тыс. т (15,1% запасов), остальные проекты представлены средними по запасам месторождениями.

Графическое отображение данных по горнорудным проектам в координатах запасы руды – среднее содержание металла в рудах с разбивкой месторождений никеля по ГПТ позволяет наглядно представить существующие предпочтения по реальным масштабам объектов, их запасам и качеству руд для различных осваиваемых месторождений (рис. 24). Как следует из рисунка, большинство проектов (67,4%) относятся к никелевому силикатному ГПТ. Этот ГПТ преобладает и среди наиболее крупных по запасам месторождений (>1 млн. т Ni). В числе проектных объектов имеются также крупнотоннажные месторождения низкокачественных вкрапленных сульфидных руд (Норсмет и Месаба), освоение которых становится возможным в результате технологических достижений гидрометаллургического пердела руд (см. табл. 12).

Характерными особенностями горнорудных проектов по никелю являются следующие.

Наиболее крупный по масштабам запасов — проект Войсиз Бей, п-ов Лабрадор, провинция Ньюфаундленд, Канада. Месторождение открыто в 1993 г. поисковой компанией *Diamond Fields Resources* (DFR) в ходе геологоразведочных работ на алмазы. Важная особенность руд месторождения — ничтожное количество попутных благороднометаллических компонентов, что сближает его с другими Ni-Cu месторождениями подвижных поясов и орогенов (Печенга, месторождения архейских зелено-

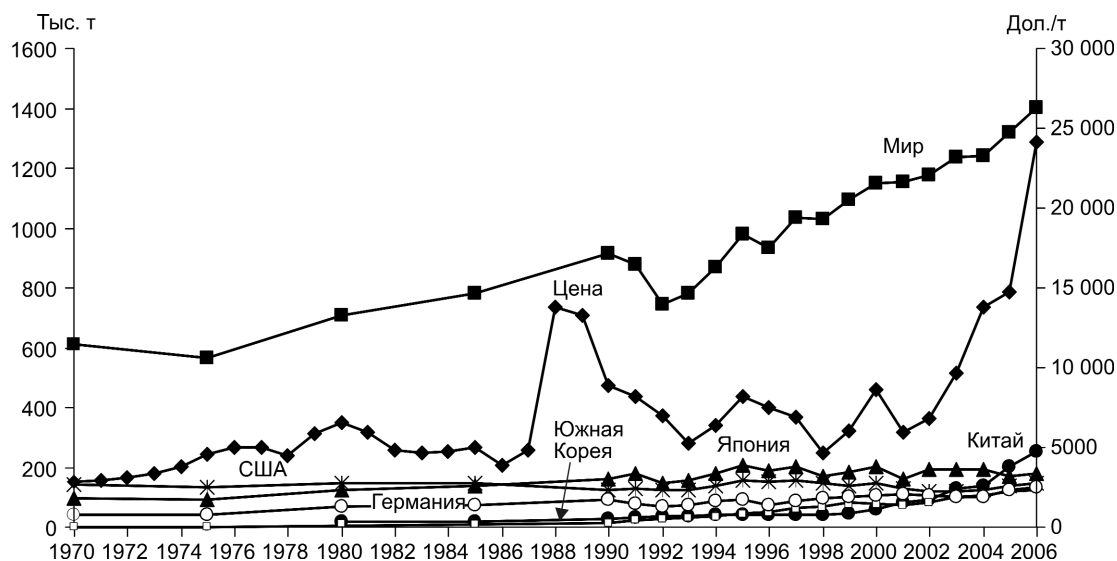


Рис. 21. Потребление никеля в мире, Японии, Китае, США, Германии и Южной Корее за 1970–2006 гг. в сопоставлении с ценой

каменных поясов Австралии, Канады, Родезийского кратона и др.) и не позволяет существенно снизить проектные издержки на получение никеля. Руды месторождения содержат только 1% их ценности в форме ЭПГ [27].

Специфическими являются крупные проекты освоения низкосортных вкрапленных руд месторождений комплекса Дулут (штат Миннесота) — Норсмет (ранее Данка-Роуд) и Месаба (Бэббит).

Эти месторождения открыты в конце 60-х годов, но не осваивались из-за низкого качества концентратов, полученных при металлургических испытаниях руд. В 1999 г. компания *Polymet Mining Corp.* (ранее *Fleck Resources Ltd.*) продолжила разведку месторождения Норсмет, а в 2004 г. оно помещено в листинг мировых горнорудных проектов по меди [20]. Внимание к объекту связано с успешной разработкой *Polymet* технологии извлечения практиче-

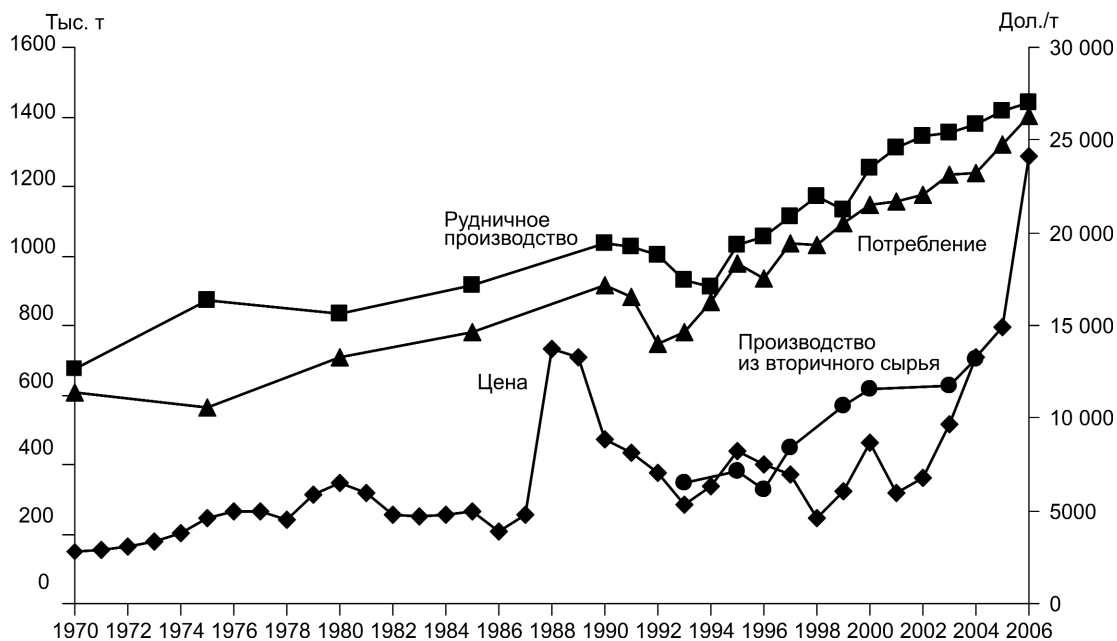


Рис. 22. Мировое рудничное производство, потребление и производство никеля из вторичного сырья в 1970–2006 гг. в сопоставлении с ценой [5–7, 23]

ски всех полезных компонентов руд месторождения с использованием нескольких вариантов окисления под давлением (pressure oxidation) (с участием компании *Dynatec Corp.*) и биовыщелачивания (bioleaching) (в партнерстве с *BacTech Pty Ltd.*, Австралия и *Mintek*, ЮАР). Проведенные компанией *Bateman* испытания и технико-экономические обоснования процесса передела вкрапленных руд месторождения показали его жизнеспособную экономику и возможность значительного снижения капитальных и текущих издержек переработки бедных никелевых сульфидных руд, не выдерживающих конкуренции при традиционных схемах металлургического передела [15].

В составе Дулутского комплекса известен также ряд похожих сульфидных никелевых платиносодержащих месторождений, спрогнозированы и недавно обнаружены новые объекты подобного типа [10]. Среди новых проектов готовится еще один в составе комплекса Дулут – Месаба компании *Teck Cominco American* (см. табл. 12) со значительными объемами извлекаемых ресурсов, низкими концентрациями металлов в рудах (Ni 0,12%, Cu 0,46%), наличием в них ЭПГ, достаточно высокими капиталовложениями (530 млн. дол.).

Существенная черта современного этапа освоения новых никеленосных объектов — преобладание среди них никелевых силикатных месторождений в ущерб сульфидным медно-никелевым (см. рис. 24) из-за редкости открытий сульфидных месторождений. Доля силикатных никелевых месторождений в запасах, предназначенных к освоению горнорудными проектами, составляет около 39%. Наиболее крупные из них Горо, Нейкети-Богота, Кониамбо, Прони и др. в Новой Каледонии, Веда Бей и Гаг Айленд в Индонезии, Нонок, Миндоро и др. на Филиппинах, Рэйвенсторп в Австралии и др. (см. табл. 12).

Крупнейшая бразильская железорудная добывающая компания *Cia Vale do Rio Doce (CVRD)* инвестирует 1,2 млрд. дол. в строительство ее первого никелевого проекта Вермелью в районе Караджас, штат Пара. Компания стала новым участником освоения никелевых месторождений с применением кислотного выщелачивания под давлением (HPAL). Начало работ планировалось на последний квартал 2005 г., а полное годовое производство составит 46 тыс. т Ni и 2,8 тыс. т Co со сроком эксплуатации рудника 40 лет (см. табл. 12). Компания *CVRD* заявила, что это направление деятельности укрепит ее позиции как поставщика сырьевых материалов для мировой сталелитейной индустрии. Недавнее приобретение контроля над крупнейшей канадской никеледобывающей компанией *Inco Ltd.*

подтверждает намерения *CVRD* стать ведущим мировым продуцентом никеля.

Интересен и важен с инновационной точки зрения проект Калдаг в Западной Турции компании *European Nickel plc.* Масштабы объекта и капиталовложения на его освоение невелики (см. табл. 12). Но данным проектом предусмотрена нетрадиционная схема передела никелевых силикатных руд по технологии простого кучного выщелачивания в поверхностных условиях. Проектные годовые приведенные капиталовложения на 1 т руды по объекту (191,1 дол./т в год) достаточно низки даже по сравнению с никелевыми латеритными гигантами (см. табл. 12). Капиталоемкость этой технологии применительно к проекту (12 566 дол./т произведенного никеля в год) значительно ниже, чем у сопостави-

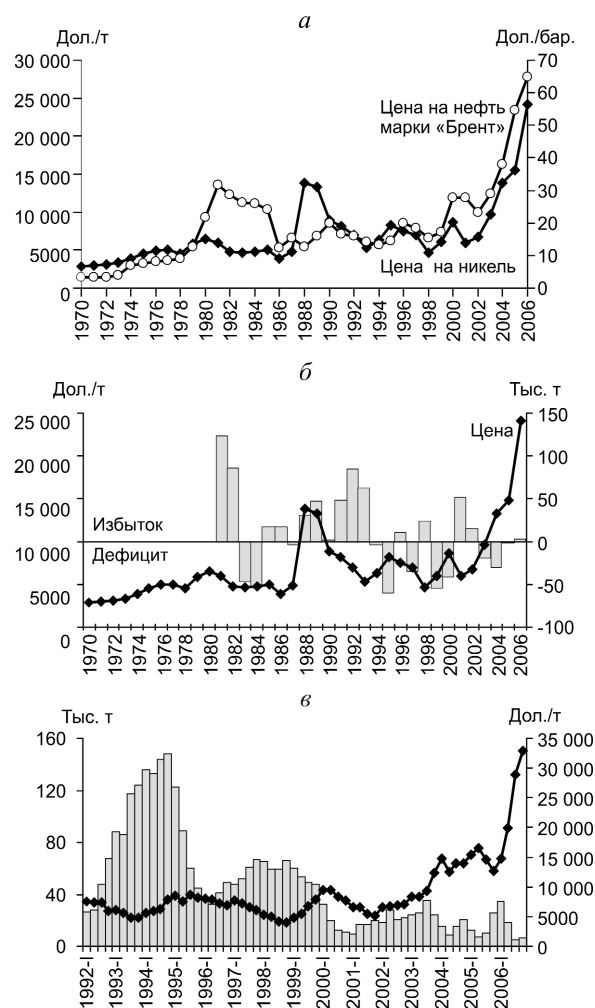


Рис. 23. Мировые цены на никель в 1970–2006 гг. в сопоставлении со среднегодовыми мировыми ценами на нефть (а), балансом спроса-предложения на металл (б) и складскими запасами никеля на ЛБМ (1992–2006 гг.) (в)

12. Мировые горнорудные проекты по никелевым месторождениям с планами освоения после 2000 г. [5-7, 10, 15, 17, 18, 20 и др.]

Месторождение, страна	Компани-владельцы	ГПП	Стадия развития	Объект проектирования	Руда, млн. т	Содержание в руде, %	Запасы металла, тыс. т	Годовая производительность		Капиталовложения, млн. дол.	Производственные издержки, дол./т	Удельные капиталовложения на годовую производительность, дол./т руды	Ввод в эксплуатацию, год	Срок эксплуатации, лет
								Руда, млн. т	Ni, тыс. т					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Маньбелогх, Австралия	Preston Resources Ltd., Австралия	НС	2005		72,4	Ni 0,82 Co 0,06	Ni 593,7	2,696	Ni 50 Co 2	2500	Ni 1763,7	927,3	2012	50
Копламбо FeNi, Новая Каледония	Falconbridge Ltd., Societe Miniere du Sud Pacifique S.A. (SMSP), KoNiambo, Minmetals, Китай	НС	ТЭО	Плавильный завод, FeNi	150	Ni 2,58 Co	Ni 3870	2,56	Ni 60	2200		781,25	2009-2010	58
Мораманга (Амбатону), Мадагаскар	Phelps Dodge Dynatec + Implants (37,5%)	НОС	ТЭО		125	Ni 1,04 Co 0,1	Ni 1300	6	Ni 40	2000		333,33	2010	
Соро, Новая Каледония	Consortium: Inco Ltd., Sumitomo, BRGM	НОС	Строительство, ТЭО	КР, ФРА	38	Ni 1,53 Co 0,17	Ni 581,4	3,83	Ni 55	1878	Ni 2425-2535	490,86	2006	10
Сондгарте Ni, Австралия	Hevon Resources Ltd., Австралия	НС	Предварительное ТЭО	КР	903	Ni 0,74 Co 0,05	Ni 6682	7,507	Ni 50	1400		186,49		120
Сан-Фелре, Куба	Приватное общество Кубы (51%), Chinese Banks (49%)	НОС	Строительство рудника	КР, ФРА	250	1,3	Ni 3250	3,81	Ni 50	1300		341,2	2010	65
Wowo Gap, Папуа-Новая Гвинея	Resource Mining Corp., Ltd.	НС	Предварительное ТЭО	КР	67	Ni 1,165	Ni 780,7	4,247	Ni 45	1200		282,55	2015	16
Gag Island, Индонезия	BHP Billiton, Aneka Tambang (Antam)	НОС	ТЭО	КР, ФРА	240	Ni 1,35	Ni 3240	2,44	Ni 30	1160		475,41	2009	98
Оуса-Рипа, Бразилия	Inco Ltd., Camiso Resource Corp.	НС	2005 строительство	КР ПЛЗ	77,7	Ni 1,80	Ni 1398,6	2,28	25 (FeNi, 75%/25%)	1114	3395,1-3527,4	488,6	2008	34
Монт Маргарет, Австралия	Anasconda Nickel Ltd., Австралия	НС	ТЭО	КР	170	Ni 0,78	Ni 1326	6,35	Ni 45	1086		171	2011	

Продолжение табл. 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Celestial, Филиппины	<i>Mighty Beaut Minerals</i>	НС	Предварительное ТЭО 2004	КР	77,2	Ni 1,25 Co 0,1	Ni 965	20	Ni 200,5	840		42	2004	
Halmahera Isl. (Weda), Индонезия	<i>Weda Bay Minerals Inc., PT. Aneka Tambang</i>	НС	ТЭО	КР	220	Ni 1,35	Ni 2970	3,91	Ni 48,5	840	2138,5	214,83		20
Nakety-Vegota, Новая Каледония	<i>Argosy Minerals, Inc., Societe des Mines de la Tontoua, ГМК «Норильский никель» (ТЭО)</i>	НС	ТЭО	КР	228	Ni 1,48	Ni 3394	3,84	Ni 52	800	1080,3	208,33	2010	
Voisey's Bay Дээр, Канада	<i>Inco Ltd., Канада</i>	СМН	ТЭО	КР	128	Ni 1,68	Ni 2144	3,684	Ni 50	776		210,64	2006	34
Валто Алто, Бразилия	<i>Anglo American plc</i>	НС	ТЭО 2006 г.	КР, FeNi плавиль- ный завод	30,2	Ni 1,84	Ni 555,7	2,415	Ni 40	750		310,6	2015	
Ghost Rocks, Соподгарте, Калрпн, Австралия	<i>Heron Resources Ltd., Австралия</i>	НС	Предварительное ТЭО	КР	110	Ni 1,24	Ni 1364	4	Ni 45	700		175	2014	27,5
Уетмелло (Red Project), Бразилия	<i>CIIRD, Бразилия</i>	НС	Предварительное ТЭО	КР, НРАЛ	220	Ni 1,23	Ni 2706	4,12	Ni 46	700		169,9	2005	40
Ravenshoepe, Австралия	<i>BHP Billiton plc</i>	НС	ТЭО	КР	150	Ni 0,8	Ni 1200	6,25	Ni 45	677		108,32	2006	24
Sablavan (Mindoro Island), Филиппины	<i>Crew Gold (Crew Development Corp.)</i>	НС	ТЭО	КР	72	Ni 0,94	Ni 676,8	4,68	Ni 40	665		142,09		15
Kamu River, Папуа-Новая Гвинея	<i>Highland Pacific Ltd., Проклястьство Папуа Новая Гвинея</i>	НС	ТЭО	КР	143	Ni 0,96	Ni 1368	3,79	Ni 33	650		171,5	2013	38
Northmet (бывшее Dunka Road), Комплексе Дулут, США	<i>Robymet, США</i>	СМН	ТЭО	КР, металлур- гический завод	808 ресур- сы, при- годные для отпра- ботки	Ni 0,109 Cu 0,432 Pt Pd Ag 1,5 Au	Ni 880,7 Cu 3490,6 Ag 1212	5,5	Ni 7,8	648		117,81	2005	20

Продолжение табл. 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Sverston, Австралия	Black Range Minerals Ltd.	НС	2006		96,00	Ni 0,65	Ni 624	2	Ni 20 Co 5	640		320	2003	30
Maskwa, Канада, Манитоба	Camline Resources Corp.	СМН	2001	КР	2,9	Ni 1,27	Ni 36,83	0,369	Ni 3,8	640		1734,4	2011	7,8
Mesaiba, США, Миннесота, Комплексе Дурут	Teck Cominco American, Inc.	СМН	2000 г.	КР+ПР	700	Ni 0,12 Cu 0,46	Ni 840	20,58	Ni 20 (попутный оксид)	530		25,75	2008	20
Nickel Rim South (Садберн), Канада	Falconbridge Ltd.	СМН			6,3	Ni 1,7	Ni 107,1	0,726	Ni 10	514		707,99	2008	8,7
Pinares de Mayari West, Куба	Правительство Кубы	НО	Предва- рительное ТЭО	КР, НРАЛ	200	Ni 1,07	Ni 2140	4	Ni 40	500		125	2009	
Ambatoyu, Мадагаскар	Dynates Corp., Rhelps Dodge Corp.	НС	ТЭО	КР	210	Ni 1,1	Ni 2310	5,0	Ni 50	500	1477,1	100	2007	42
Biankouma, Touba, Sifriou, Кот д'Ивуар	Falconbridge Ltd. (Ivorian), Правительство Ком о'Ивуар, Trillion	НС, НОС	Предва- рительное ТЭО, ТЭО	КР, НРАЛ (FeNi плавиль- ный завод)	260	Ni 1,48	Ni 3848	3,34	Ni 45	500		149,7		78
Shevchenko, Казахстан	Oriel Resources plc, Великобритания	НС	2004 г. ТЭО	КР	66	Ni 0,72 Cu 0,02 Co 0,05	Ni 475,2	4,6	Ni 30	350	< 2204,6	76,1	2007	15
Нонос (Филиппины)	Compline Resources Ltd., Inprala Platinum, ЮАР (25%)	НС		КР	144	Ni 1,1 Co 0,11	Ni 1584,0	4,14	Ni 41	300		72,46		35
Saldag, Турция	European Nickel plc	НС		КР, купное выплавле- ние	44	Ni 1,4	Ni 616	1,57	Ni 20 Co 1,2	300		191,1	2004	28
Rio Tuba, Филиппины, Палаван	Coral Bay Nickel Corp., Sumitomo Consortium	НС		КР	16,00	Ni 1,26	Ni 201,6	0,873	Ni 10,0 Co 0,75	180		206,2	2005	18
Kabanga, Танзания	Warwick Gold Corp.	СМН		ПР	26,4	Ni 2,6 Co 0,16	Ni 700	0,963	Ni 17	135		140,2	2009	22

Продолжение табл. 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Shakespeare (Садбери), Канада	URSA Major Minerals Inc., North American Palladium Ltd.	СМН	2004 г.	КР	11,226	Ni 0,33 Cu 0,35		1,58	Ni 29,6	118,5		75		
Агуабианса, Испания	Rio Nargesa Gold Mines Ltd., Испания (100%)	СМН	Строительство рудника	КР, ОФ	15,7	Ni 0,66 Cu 0,46	Ni 103,6	1,5	Ni 8,16	99		66	2004	10,5
Montcalm, Канада	Falconbridge Ltd.	СМН	2006 г.		4,5	Ni 1,46 Cu 0,68 Co 0,06	Ni 65,7	0,82	Ni 9,6	71,4		87,07		5,5
Forrestania-New Morning Diggers South, Австралия	Western Areas NL, Австралия	СМН	Банковское ТЭО		3	Ni 1,63	Ni 48,9	0,5	Ni 12	70		140	2005	6
Sally Malay, Австралия	Sally Malay Mining Ltd., Австралия	СМН	Банковское ТЭО	2002 г.	4	Ni 1,74 Cu 0,72 Co 0,09	Ni 69,6	0,647	Ni 9,12	52		80,37	2004	6
Fenix, Гватемала	Comrapa Guatemala de Niquel (CGN), Sky Resources Inc.		ТЭО	2005 г.	14,3 49 57,4 120,7 24,6 145,3	Ni 1,91 Ni 1,82 Ni 1,66 Ni 1,75 Ni 1,31 Ni 1,68 Co -0,1	Ni 273,13 Ni 891,8 Ni 952,84 Ni 2117,77 Ni 322,26 Ni 2440,03	1,4	Ni 20 Co 0,9	35,4		25,28		
Van Phuc, Вьетнам	Asian Mineral Resources (33,6%)	СМН	ТЭО	2005 г.	1,01	Ni 2,39 Cu 1	Ni 24,14	0,2	Ni 21,2	33,6		168	2007	5
Sag Boyd Rocks, Австралия	Titan Resources NL, Австралия	СМН		КР, BioHeap	0,92	Ni 1,85 Cu 0,52	Ni 10,2	0,2	Ni 6	25		125		4
Cosmos Deeps, Австралия	Jubilee Mines NL, Австралия	СМН			0,63	Ni 7,2 Cu 3,9	Ni 41,73	0,186	Ni 10	22,5		120,96	2003	3,3
Adlay-Sagilapao-Tandava, Филиппины, Мндано	BHP Billiton plc, Case Mining and Development Corp., Surigao Integrated Resources Co.	НС	2005	КР	6,00	Ni 1,61	Ni 96,6	0,342	Ni 5,0	19		55,56	2005	14
Всего по 43 проектам		НС+СМН			6296,8		57678,60	159,28	1493,7	29468,0		159,28		

Примечание. Геолого-промышленные типы: НС — никелевый силикатный, НОС — никелевый оксидно-силикатный подтип, СМН — сульфидный медно-никелевый, НО — никелевый оксидный подтип, Сарто — сапропелитовые руды, Лимо — лимонитовые руды.

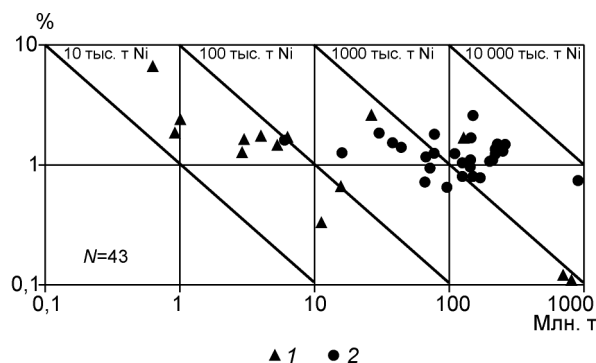


Рис. 24. Отображение никелевых горнорудных проектов (освоение после 2000 г.) в координатах запасы руды (млн. т) – содержания Ni в рудах (%):

геолого-промышленные типы: 1 — сульфидный Ni-Cu, 2 — никелевый силикатный

мых по масштабам объектов аналогичного типа, и при общих проектных производственных издержках 4210,8 дол./т никеля отражает простоту и мало-затратный характер процесса.

Особую группу составляют проекты освоения малосульфидных платинометаллических месторождений с попутной добычей никеля. Они немногочисленны и реализуются в Африке по объектам Бафокенг-Расимоне Платинум Майн и Юнион Секшн (ЮАР), Молопо и Текване (Ботсвана) и др.

Как следует из суммированных данных по проектам (табл. 13), ближайшие перспективы поддержания уровня рудничного производства или его расширения обеспечиваются крупными горнорудными проектами освоения уже известных месторождений никеля и составят по никелю в концентрате 1493,68 тыс. т в год. При среднем сроке эксплуатации проекта 31 год суммарный объем производства по ним при существующем уровне годового рудничного производства (2006 г.) 1442,2 тыс. т обеспечит промышленность, по крайней мере, на 40 лет.

Открытия новых никелевых месторождений в последние десятилетия происходят редко. Исключение — месторождения Виктор (Садбери), 1991 г., Никел Рим Саус, 1992 г., Войсиз Бей, 1993 г. и ряд более мелких. Резерв рентабельных (экономически

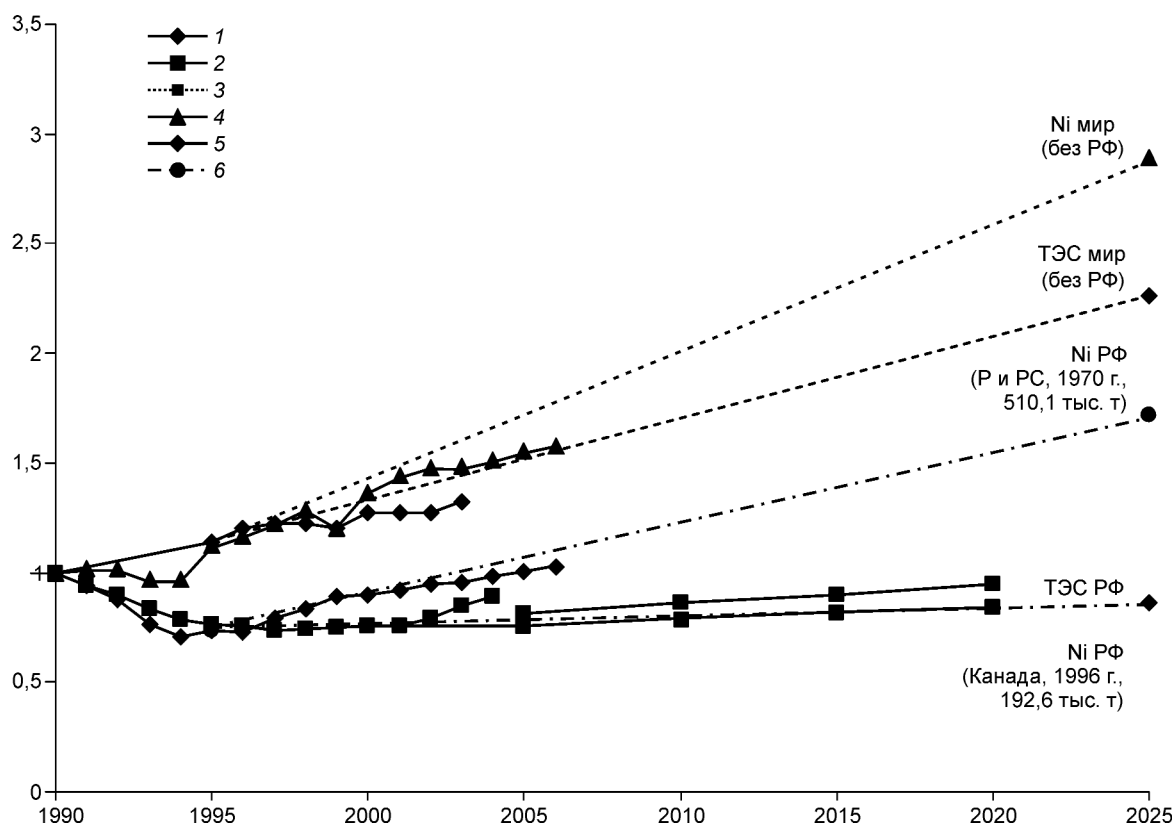


Рис. 25. Достигнутые (1990–2006 гг.) и прогнозируемые до 2025 г. уровни добычи (1990 г.=1) никеля и топливно-энергетического сырья в мире без РФ и России:

1 — ТЭС мир без РФ, факт и прогноз; 2 — ТЭС РФ, факт; 3 — ТЭС РФ, прогноз для двух вариантов развития; 4 — Ni факт и прогноз (мир без РФ); 5 — Ni РФ факт; 6 — Ni РФ, прогноз для двух вариантов развития

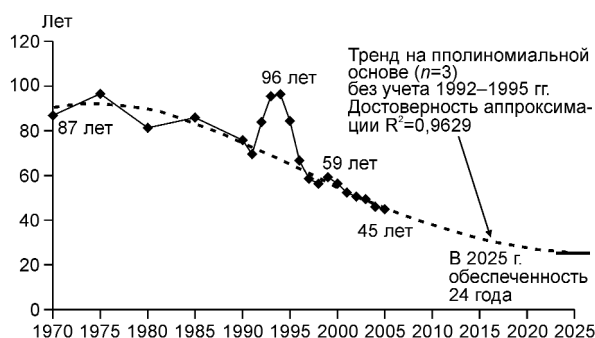


Рис. 26. Обеспеченность мировой добычи запасами никеля, ретроспектива за 1970–2006 гг. и прогноз на полиномиальной основе до 2025 г.

доступных) запасов никелевых месторождений минимален, поэтому в планы будущего рудничного производства вовлекаются преимущественно сырьевые объекты силикатного никелевого ГПТ (см. табл. 12). Они наиболее низкозатратны (экономически доступны) в расчете на 1 т общего количества осваиваемых запасов основного металла. Однако подготовка большинства крупнейших мировых проектов по силикатному никелю — Рейвенсторп, Веда Бей, Гаг Айленд, Раму и Нейкети в настоящее время задерживается. Положение с ними ухудшается в связи с повышением цен на электроэнергию, несмотря на высокие и растущие мировые цены на никель. Так, в 2002 г. компания *Inco Ltd.* объявляла о консервации проекта Горо для его полной переоценки, которая показала рост объема капиталовложений на 35–49%. Такое же положение и с другими проектами.

Сопоставление обобщенных данных по никелевым проектам с планами освоения после 2000 г. и аналогичных данных за период 1995–2000 гг. [7] позволяет оценить происходящие изменения в освоении мировой МСБ никеля. Суммарный объем осваиваемых запасов металла возрос в 2,6 раза, качество руд снизилось (содержания в рудах изменились от 1,26 до 0,92% Ni). Суммарный объем капиталовложений увеличился в 2,3 раза, в том числе на один проект — в 2 раза. Проектная производительность по металлу возросла в 1,7 раза, на один проект — в 1,5 раза. Выросли и удельные капиталовложения на 1 т произведенного никеля — от 14,7 до 19,7 тыс. дол. Все это указывает на интенсификацию проектного производства металла при росте капиталовложений на освоение новых рудных объектов и значимое повышение затрат на рудничное производство никеля.

При прогнозировании тенденций развития МСБ цветных и благородных металлов используются показатели темпов роста народонаселения и

его потребности в топливно-энергетическом сырье, с динамикой которых прямо или косвенно связаны темпы роста добычи других полезных ископаемых [5, 6]. По прогнозам добычи ТЭС и никеля в развитых и развивающихся странах на этой основе с учетом положений энергетической стратегии России на период до 2020 г. объем добычи никеля в 2025 г. должен достигнуть (от уровня 1990 г.) 2,89% или 1696,7 тыс. т.

Между динамикой добычи никеля и ТЭС в мире (без РФ) наблюдается некоторая неустойчивая аналогия, которая отражает общие понижающие тенденции в добыче этих видов сырья по сравнению с прогнозом (рис. 25).

Прогнозный уровень добычи никеля в РФ на 2025 г., по оценке ЦНИГРИ [7], мог бы составить при оптимистическом варианте 362 тыс. т, при минимальном (пессимистическом) со спадом производства, начиная с 1995 г. — 180,6 тыс. т. (см. рис. 25). Реальные уровни и темп добычи никеля в РФ в конце 90-х годов соответствовали оптимистической прогнозной оценке, рассчитанной для РФ при среднегодовом темпе роста добычи никеля за период 1990–2000 гг. 10,6% и максимальном прогнозном уровне 2,73%. Фактические объемы добычи ТЭС и никеля для РФ до 2002 г. наращивались параллельно, в последующие годы произошло их заметное расхождение. С 2001 г. реальные уровни добычи никеля по сравнению с оптимистическими вариантами их прогноза снизились, а уровни добычи ТЭС — повысились (см. рис. 25). Несоответствие прогнозным темпам роста производства ТЭС в РФ по оптимистическому варианту энергетической стратегии России (см. рис. 25) происходит из-за более сложных зависимостей между объемами производства цветных металлов и общим состоянием экономики страны, промышленности, принципами сырьевой политики

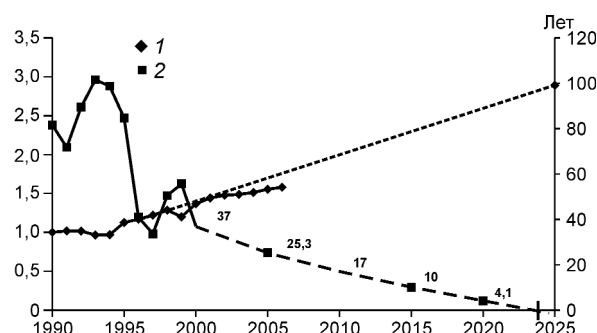


Рис. 27. Обеспеченность мировой добычи никеля подтвержденными запасами по состоянию на 1 января 2000 г. в сопоставлении с прогнозом добычи до 2025 г. (уровень добычи 1990 г.=1):

1 — добыча, мир без РФ, факт и прогноз; 2 — обеспеченность добычи запасами, факт и прогноз

13. Основные показатели ведущих мировых горнорудных проектов по добыче никеля с планами освоения после 2000 г. по геолого-промышленным типам месторождений и способам отработки [5–7, 10, 15, 17, 18, 20] с пересчетами авторов

Показатели	Геолого-промышленные типы				никелевый силикатный	По всем проектам
	сульфидный медно-никелевый			Все проекты		
Тип отработки	КР	ПР	КР+ПР	Все проекты	КР	
Количество предприятий	7	5	2	14	29	43
Средний срок эксплуатации, лет	12,8	9,4	13	11,6	40,0	30,8
Доказанные запасы: руда, всего, млн. т	970,746	39,64	703	1713,386	4583,4	6296,786
на один проект, млн. т	<u>0,92–808</u> 138,68	<u>1,01–26,4</u> 7,93	<u>3–700</u> 351,5	<u>0,63–808</u> 122,38	<u>6–903</u> 158,05	<u>0,63–903</u> 146,44
Ni, всего, тыс. т	3282,075	950,37	888,9	5121,345	52557,23	57678,575
на один проект, тыс. т	<u>10,2–2144</u> 468,87	<u>24,14–700</u> 190,07	<u>48,9–840</u> 444,45	<u>10,2–2144</u> 365,81	<u>96,6–6682</u> 1812,32	<u>10,2–6682</u> 1341,36
Средневзвешенное содержание, %:						
Ni в руде, всего	0,339	2,36	0,126	0,298	1,156	0,923
на один проект	<u>0,109–1,85</u> 0,339	<u>1,46–6,62</u> 2,36	<u>0,12–1,63</u> 0,126	<u>0,109–6,62</u> 0,298	<u>0,65–2,58</u> 1,156	<u>0,109–6,62</u> 0,923
Капиталовложения: всего, млн. дол.	2358,473	725,1	600	3683,573	25784,4	29467,973
на один проект, млн. дол.	<u>25–776</u> 336,92	<u>20–514</u> 145,02	<u>70–530</u> 300	<u>20–776</u> 263,11	<u>19–2500</u> 889,12	<u>19–2500</u> 685,30
на 1 т запасов руды, дол.	2,43	18,29	0,85	2,15	5,62	4,68
на 1 т запасов Ni, дол.	718,59	762,97	674,99	719,26	490,60	510,90
Проектная годовая производи- тельность:						
по руде, всего, млн. т	13,48	2,735	21,076	37,291	121,99	159,281
на один проект, млн. т	<u>0,2–5,5</u> 1,92	<u>0,186–0,963</u> 0,547	<u>0,5–20,58</u> 10,54	<u>0,2–20,58</u> 2,66	<u>0,342–20</u> 4,21	<u>0,2–20,58</u> 3,70
по Ni в концентрате, всего, тыс. т	114,48	66,2	32	212,68	1281	1493,68
на один проект, тыс. т	<u>3,8–50</u> 16,35	<u>8–21,2</u> 13,24	<u>12–20</u> 16	<u>3,8–50</u> 15,19	<u>5–200,5</u> 44,17	<u>3,8–200,5</u> 34,74
Удельные капиталовложения на годовую производительность:						
на 1 т руды, дол.	174,96	265,12	28,47	98,78	211,36	185,00
на 1 т Ni в концентрате, тыс. дол.	20,60	10,95	18,75	17,320	20,13	19,73

Примечание. Способы добычи: КР — открытая, ПР — подземная. Значения показателей на один проект: в числителе — минимальное и максимальное, в знаменателе — среднее.

государства, в частности объемами опережающих инвестиций в ГРР, и т.д.

Уровень добычи никеля в РФ в начале 90-х годов падал, с 1995 г. начал повышаться (среднегодовой темп роста добычи 10,6%) и в 2005 г. поднялся до уровня 1990 г. В настоящее время рост добычи никеля продолжается, но его темп ниже оптимистического прогноза и по отношению к последнему продолжает снижаться.

Фактические и прогнозные данные для РФ показывают, что на динамику добычи никеля суще-

ственно влияют не столько факторы развития топливно-экономического комплекса страны, сколько более сложные сочетания ресурсных, экономических и правовых факторов.

Обеспеченность добычи доказанными запасами. Проблема обеспеченности добычи запасами минерального сырья тесно связана, с одной стороны, с состоянием МСБ, с другой — с закономерностями изменения потребления металла и возможностями его удовлетворения за счет рудничного производства и производства из вторичного сырья, а также разви-

тия или снижения мощностей горнорудных производств. Соотношение мировой добычи и потребления никеля за период 1970–2006 гг. мало изменилось по сравнению с показателями до 2000 г. включительно [7] (см. рис. 22). Мировая обеспеченность добычи доказанными запасами никеля за 1970–2003 гг. была изменчивой с подъемами в середине 70-х и начале 90-х годов вслед за максимумами открытий месторождений (рис. 26). Резкий спад ее произошел в середине 90-х годов, и снижение продолжается. При существующих тенденциях изменения обеспеченности мировой добычи доказанными запасами никеля за последнее десятилетие ее уровень, рассчитанный на основе полиномиальной экстраполяции, к 2025 г. снизится примерно до 24 лет.

Полученные ретроспективные данные по обеспеченности мировой добычи запасами никеля за 1970–2004 гг. имеют циклический вид, прошли через два максимума и два спада (см. рис. 26). Как упоминалось, максимумы с некоторым отставанием повторяют максимумы открытий новых месторождений. Кроме открытий новых месторождений, эти колебания связаны с технологическими достижениями в области извлечения металлов (внедрение технологий плавки руд в кипящем слое и др.), вовлечения вторичного сырья в промышленное производство и другими факторами. Все эти процессы приводят к периодическому изменению отношения массы запасов к объему рудничного производства и колебаниям обеспеченности. Как показывают тренды рудничного производства и потребления (см. рис. 22), обеспеченность снижается в течение последнего десятилетия.

Ранее было показано [7], что при прогнозируемых темпах добычи с достижением в 2025 г. 1,60 объема добычи 1990 г. отрицательная динамика обеспеченности добычи подтвержденными запасами (для мира без РФ) при отсутствии простого воспроизводства запасов (годового прироста, компенсирующего годовую добычу) приводит к практически полному исчерпанию мировых запасов никеля к 2025 г. (рис. 27).

Согласно прогнозам, рудничное производство никеля в условиях сохраняющегося высокого спроса на него и возрастающих мировых цен будет продолжать расти еще, по крайней мере, в течение нескольких ближайших лет, что вызовет увеличение инвестиций. Но в дальнейшем некоторые аналитики предполагают спад спроса и цен, несмотря на сохранение существенных факторов роста промышленной экономики Китая и Индии.

Никелевые горнорудные проекты с вводом в эксплуатацию после 2000 г. с общим объемом доказанных запасов металла 57 678,6 тыс. т и годовым про-

изводством 1442,2 тыс. т никеля позволяют повысить обеспеченность добычи при существующем ее годовом уровне дополнительно на 40 лет.

Для новых объектов МСБ никеля, подготавливаемых к эксплуатации, характерны следующие общие особенности: возрастание капиталовложений на освоение новых месторождений при росте цены на энергию, отсутствие новых проектов на сульфидных месторождениях и преобладание проектов на никелевых силикатных, рост проектной производительности по металлу и удельных капиталовложений на 1 т произведенного никеля.

Разработки новых гидromеталлургических технологий (биовыщелачивание) с высоким уровнем извлечения никеля и попутных благородных и легирующих металлов из бедных вкрапленных сульфидных никелевых руд, наряду со значительными объемами таких руд (месторождения Дулутского комплекса), повышение эффективности автоклавного выщелачивания силикатных руд никеля (HPAL) — наиболее реалистичские пути повышения обеспеченности мировой промышленности никелем. Это представляется важным в условиях снижения перспектив открытия новых крупных месторождений сульфидного никеля.

В течение второй половины XX в. для никеледобывающего сегмента промышленности была характерна ведущая роль в сырьевых активах преимущественно сульфидного медно-никелевого геолого-промышленного типа (в отличие от латеритного силикатного никелевого). При всей сложности, многоступенчатости и дороговизне процессов металлургического передела сульфидных медно-никелевых руд и привлекательности процессов кислотного выщелачивания металлов из силикатных руд сульфидные руды обладают решающим достоинством — содержат дорогостоящие попутные благороднометалльные компоненты — МПГ, Au, Ag, присутствие которых существенно снижает производственные издержки по основному металлу. Благодаря этому сульфидные месторождения выдерживают конкурентную борьбу с месторождениями кор выветривания.

Примеры разработки технологических схем гидromеталлургического передела низкокачественных вкрапленных сульфидных руд (комплексные месторождения Дулутского комплекса) показывают, что в ближайшем будущем привлекательными и доступными для освоения могут стать уже известные рудные объекты, находившиеся в резерве.

Мировой спрос на нержавеющие стали не снижается (особенно в странах Азиатско-Тихоокеанского региона). Наиболее простые и дешевые технологии их производства могут быть реализованы при

переделе оксидно-силикатных руд (с получением ферроникеля), что благоприятствует вовлечению в эксплуатацию месторождений силикатного никеля и вторичного сырья. Свидетельством тому — существенная доля руд силикатного геолого-промышленного типа в числе крупных мировых горнорудных проектов (около 40% по запасам) и растущее производство никеля из вторичного сырья.

Проекты по силикатному никелю относятся к объектам первой очереди освоения, так как они известны, разведаны и не требуют строительства дорогостоящих рудников подземной добычи и развития сложной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Августинчик И.А.* Освоение вторичного сырья металлов: мировые тенденции, роль и место России // Руды и металлы. 2006. № 1. С. 58–74.
2. *Звездов В.А.* Крупные и сверхкрупные месторождения медно-порфирового семейства в ранговых рядах запасов и содержаний // Отечественная геология. 2005. № 2. С. 46–56.
3. *Кривцов А.И.* Минерально-сырьевая база на рубеже веков - ретроспектива и прогнозы. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999.
4. *Лаверов Н.П., Козицын А.А., Митин А.Н.* Зачем России Удокан. — Екатеринбург: ИД «Пирогов», 2004.
5. *Минеральные ресурсы зарубежных стран.* — М.: ВНИИ «Зарубежгеология», 1970–1995.
6. *Минеральные ресурсы мира.* — М.: ИАЦ «Минерал», 1997–2005.
7. *Мировая минерально-сырьевая база благородных и цветных металлов: 1970–2000–2025 гг. (обзор-анализ)* / А.И.Кривцов, И.Ф.Мигачев, Б.И.Беневольский и др. — М.: ЦНИГРИ, 2003.
8. *Пешков А.А., Мацко Н.А.* Доступность минерально-сырьевых ресурсов. — М.: Наука, 2004.
9. *Base Metal Market Briefing* — GFMS metals consulting, Jan. 2006 (<http://www.gfms-metalconsulting.com>).
10. *Bateman wins Polymet feasibility study.* — MM, Nov. 2004. P. 22.
11. *Bleivas D.I.* Availability of primary nickel in Market-Economy Countries. A Mineral Availability Appraisal. US Bureau of Mines Information Circular 9276/1991, 1991.
12. *Copper Bulletin.* International Copper Study Group, 2000–2006.
13. *Coveney R.M. Jr., Chen Nancheng* Ni-Mo-PGE-Au-rich ores in Chinese black shales and speculation on possible analogues in the United States // Mineral Deposits. 1991. Vol. 24. № 2. P. 83–88.
14. *Dummet H.T.* Minerals resource development — our new Challenges // Mining Engineering, July 2000. Vol. 52. № 7. P. 37–42.
15. *Feasibility Study Confirms Economics of BioHeap™ Nickel Process.* — Titan Resources NL, 28 May, 2002.
16. *Hand S.* New Raw Material Supply Opportunities. June 8, 2004 UBS, London.
17. *Johnston P.* Minara and Reflections on the Nickel Market. — Minara Resources, Oct. 2005.
18. *Kettle P.* Lead, zinc, nickel and tin. CRU analysis. — LME Metals Seminar 2005 «The Non-Ferrous Metals Markets: A Changing Landscape», 31 October 2005.
19. *Lott D.A., Coveney R.M., Jr., Murowchick J.B., Grauch R.I.* Sedimentary Exhalative Nickel-Molybdenum Ores in South China// Econ. Geol. 1999. Vol. 94. № 8. P. 1051–1066.
20. *Mine Project Survey* // Engineering and Mining Journal, January 2001-January 2005.
21. *Mineral Commodity Summaries,* USGS, 1992–2006.
22. *Minerals Yearbook.* 1996–2005. USGS, 1996–2005.
23. *Mining Annual Review 1999–2004* // The Mining Journal, Ltd., 1999–2004.
24. *Mining Journal,* 2001–2007.
25. *ML, Global Metals,* Mining and Steel Conference, 2004.
26. *O’Kane P.T., Brierley C.L., Dreisinger D.B., Gentry D.W.* Hydrometallurgical Process De-velopment at PolyMet Mining Corporation’s NorthMet Project, 2000.
27. *Platinum Group Metal Information* (<http://www.brightstar-ventures.com/april72000.htm>).
28. *Polymet Mining Corp. Project* // Mining Magazine, Nov. 2004.
29. *Singer D.A.* World-class base and precious metal deposits — quantitative analysis // Econ. Geol. 1995. Vol. 90. P. 88–104.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.411.068.5 (571.54)

© Ю.Н.Серокуров, В.Д.Калмыков, К.В.Громцев, 2008

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ЗОЛОТОНОСНОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕВЕРНОЙ БУРЯТИИ

Ю.Н.Серокуров, В.Д.Калмыков, К.В.Громцев (Институт дистанционных исследований окружающей среды)

Материалы дистанционного зондирования играют значительную роль при прогнозных и поисковых работах на различные виды полезных ископаемых. В них прямо или косвенно отражается ряд известных факторов контроля рудоносных таксонов на разных иерархических уровнях, а также выявляются новые, ранее не известные, что и позволяет выделять перспективные площади для локализации различных руд. В современных условиях, когда, с одной стороны, практически свернуты региональные прогнозные и поисковые работы, ранее финансирувавшиеся государством, а с другой — растут вложения частных компаний в относительно локальные участки недр в целях организации на них добычи руд, эти материалы становятся наиболее доступным средством для оценки их позиции и потенциала.

Рассматриваются результаты оценки перспектив золотоносности одного из северных районов Бурятии, который слабо освоен вследствие своей труднодоступности. Рельеф района среднегорный эрозионно-тектонический с плоскими водоразделами и крутыми склонами, абсолютные отметки колеблются от 1100 до 1900 м. На большей части территории растительность горно-таежная с преобладанием лиственницы и густым подлеском из багульника. Выше отметок 1700 м распространен кедровый стланик.

Площадь находится в центральной части каледонского Баргузино-Витимского массива, который подвергся в составе Селенгино-Олекминской области палеозойско-раннемезозойской плутоногенной активизации. Это обусловило наличие многочисленных палеозойских интрузивных массивов, а также разновозрастных (от докембрия до мезозоя) метаморфических, осадочных и эффузивных пород. К наиболее значимым тектоническим нарушениям относятся Джидино-Витимский и Туркино-Бамбуйский глубинные разломы северо-восточного простирания, контролирующие процессы осадконакопления, метаморфизма, магматизма и рудогенеза на протяжении всей истории развития региона.

При металлогенических работах выделены Витимский урановорудный район (Пельменев, Шува-

лов, 1982 г.) и Турка-Вамбуйская золото-редкометалльная зона (Арсеньев, Хренов, 1966 г.). Ультракислые лейкократовые разности гранитов витимканского комплекса характеризуются высокими (2–3 кларка и более) содержаниями W, Mo, Rb, Li, U, Nb, Pb, Bi, Ag, Au, Be, Sn. С ними связаны многочисленные редкометалльные объекты (Балтийское, Солнечное, Нырокское, Амандахское, Верхне-Талойское и др.), месторождения вольфрам-молибденовой формации и бериллия (Ауниксов), рудопроявления урана гидротермального генезиса (Листопадное, Радуга, Зверевское, Гольцовое). Поздние дериваты гранитов этого комплекса контролируют рудопроявления и проявления золотой и серебро-полиметаллической минерализации.

Породы щелочного и ультращелочного состава Сайжинского комплекса отличаются аномальными концентрациями алюминия и редких земель (до 10 кларков и более).

Большая часть выявленных к настоящему времени месторождений урана имеет гидрогенный генезис и локализована во впадинах, выполненных мезозойскими осадочными образованиями (Имское, Угольное и Сайженское), а также в эрозионно-тектонических палеорулах, заполненных слабо литифицированными осадками неогена (Хиагдинское, Тетрекское, Вершинное, Намару, Коретконде).

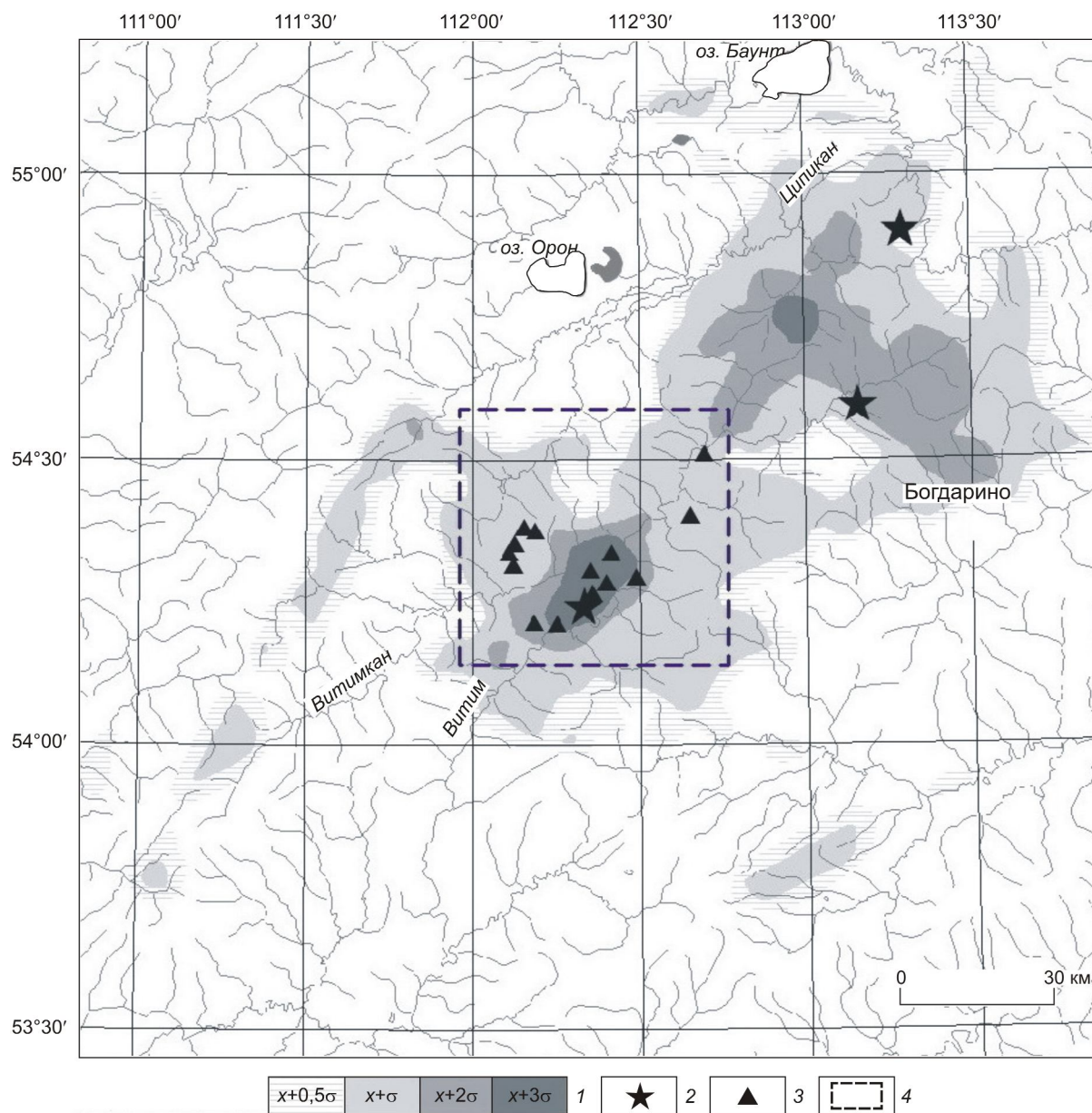


Рис. 1. Схема перспективных участков для локализации «золоторудных районов» по результатам анализа дистанционных материалов малого разрешения:

1 — перспективные участки с различной вероятностью присутствия благоприятных признаков; 2 — известные месторождения золота; 3 — известные рудопроявления золота; 4 — контур работ с более детальными дистанционными материалами

Золото добывается главным образом из россыпей, а известные коренные месторождения (Карафитское, Холинское, Рудные Горки и др.) считаются мелкими с некондиционными содержаниями. Золотое оруденение относится к золото-кварцевой формации с некоторым смещением в сторону золото-полисульфидно-кварцевой. Определения абсолютного возраста по свинцам, серицитам и вну-

трирудным дайковым телам указывают на многоэтапность и многостадийность рудного процесса.

По данным М.М.Константинова и др. [2], рудные районы этого типа обычно приурочены к блокам синклиналиев, сложенных терригенными породами мощностью до 8–10 км и ограниченных разломами, а также к мегантиклинориям со сравнительно мощной (до 40 км) земной корой. Для всех

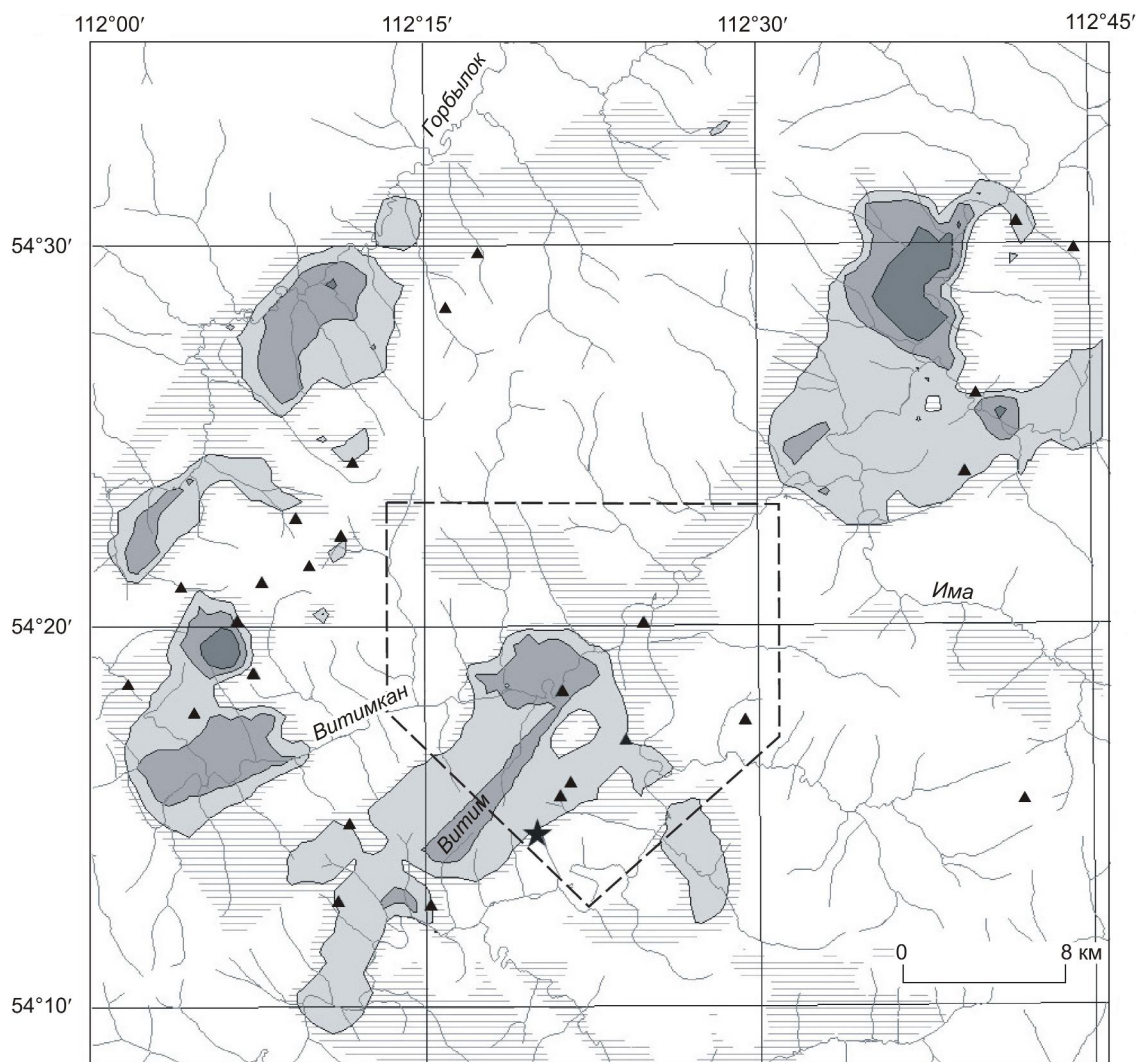


Рис. 2. Схема перспективных участков для локализации «золоторудных узлов» по результатам анализа дистанционных материалов среднего разрешения:

усл. обозн. см. рис. 1

районов характерны широкое развитие гранитоидного магматизма (формации гранодиоритовых батолитов, реже габбро-диорит-гранодиоритовая) и, как следствие, интенсивное ороговикование вмещающих пород. Минерализация развита в ороговикованных породах над нескрытыми интрузиями гранитоидов, существование которых предполагается по геофизическим данным. Прямых связей золотого оруденения с магматизмом, как правило, не отмечается, что приводит к различной трактовке генезиса месторождений. Допускается наличие внемагматических источников золота, возможность экстракции его из осадочных пород в процессе их метаморфизма и гранитизации.

Границами рудных районов предложено считать продольные по отношению к общему прости-

ранию структур глубинные разломы и скрытые поперечные разломы фундамента, фиксируемые в верхнем структурном этапе отдельными разрывами, зонами повышенной трещиноватости, свитами даек. Рудные поля внутри рудных районов обычно приурочены к зонам напряженной линейной складчатости, реже к штамповым антиклиналям, формирование которых связывают со становлением интрузий. В большинстве случаев они расположены в изгибах осей и шарниров складок, узлах пересечения их поперечными зонами разломов.

Геолого-промышленные типы месторождений могут быть представлены жилами и штокверками золото-сульфидно-кварцевых (умеренно-сульфидных) руд в интрузивах и осадочно-вулканогенных комплексах, залежами и линзами сульфидных золо-

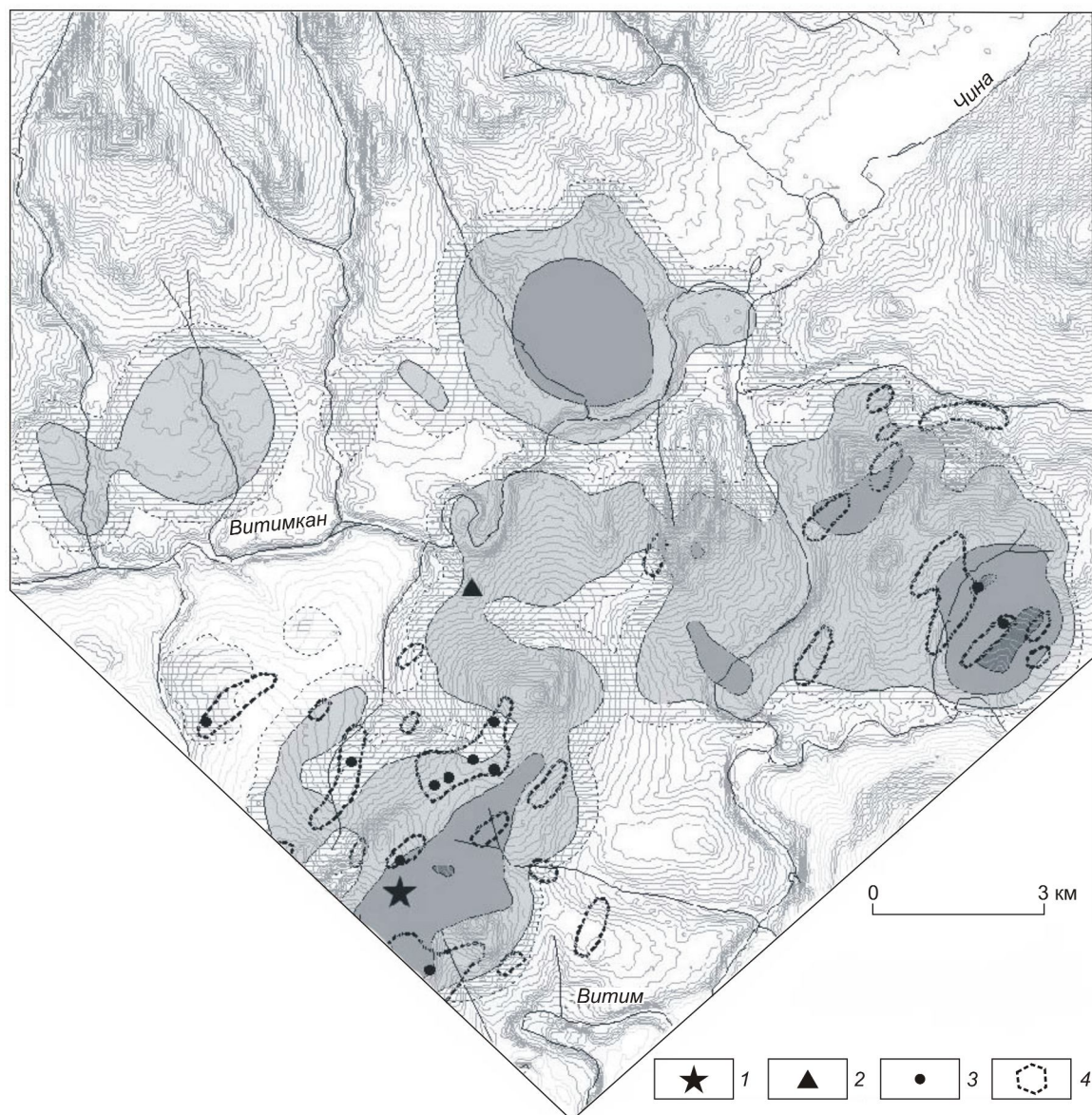


Рис. 3. Схема перспективных участков для локализации «золоторудных полей» по результатам анализа дистанционных материалов высокого разрешения:

1 — месторождения; 2 — рудопроявления; 3 — проявления; 4 — минерало-геохимические ореолы золота

то-скарновых руд в карбонатных и вулканогенных комплексах, зонами прожилково-вкрапленных золото-порфировых руд в гранитоидах.

Известно, что рудоносные массивы адамеллит-плагиигранитной формации имеют куполовидное строение, умеренно-кислый состав, повышенное содержание золота в магнетитах и биотитах. Сопровождающие их дайковые серии содержат контрастные по составу и генезису группы пород от гранитоидных порфиров до лампрофиров. Типичны сложное чередование во времени даек разного

состава и обилие их возрастных групп. Рудные поля пространственно связаны с отдельными интрузивными штоками, порфировыми дайками, локализованными на склонах плутонов, роями базитовых даек. На месторождениях минерализация локализуется в жилах, выполняющих каркасы сложно сопряженных разрывов, сколовых трещинах, трещинах оперения крупных разрывов. Содержания золота в рудах неравномерные.

Анализ имеющихся материалов показывает, что к главнейшим факторам контроля таксонов рассма-

триваемого вида золотого оруденения можно отнести: региональные структуры глубокого заложения и их сопряжения; глубинные энергетические очаги (возможно, мантийные диапиры, внутрикоровые магматические камеры), обеспечивающие вертикальную миграцию магм и флюидов в земной коре; отсутствие «жесткой» связи рудной минерализации с конкретными близповерхностными магматическими ассоциациями. Очевидно, что ключевым фактором для формирования золотых руд этого типа является второй, указывающий на необходимость функционирования энергетических очагов на разных уровнях глубинности. Формирование глубоких очагов магмообразования на границе кора – мантия связывают с развитием глубинных разломов в консолидированных блоках [2]. Предполагают, что коромантийное взаимодействие в зонах глубинных тепловых потоков приводит к миграции золота из пород основного и ультраосновного составов верхней мантии в гранитный слой земной коры и его концентрации в магматических камерах. Структурообразующая роль глубинных потоков проявляется также в образовании куполов и депрессий, часто замаскированных более поздними складчатыми деформациями.

В качестве прогнозно-поисковых критериев и признаков золото-полисульфидно-кварцевых месторождений Северной Бурятии традиционно предлагалось рассматривать:

участки интенсивного глубинного возмущения гравитационного поля, проявленные резкой вертикальной и латеральной его дифференциацией, обособленностью положительных и отрицательных локальных аномалий;

контуры купольно-блоковых структур древнего заложения и ранней стабилизации с унаследованным режимом развития;

участки со сложной историей дорудного магматизма и длительным проявлением процессов эволюции рудно-магматических систем;

присутствие выделений золота различных форм и его участие в разных парагенезисах;

значительный вертикальный интервал проявления оруденения.

Очевидно, что для дистанционной прогнозной оценки из этого списка применим лишь структурный критерий, так как остальные выявляются только при анализе поля силы тяжести и достаточно детальном изучении геологии региона и руд в процессе разведки уже найденных месторождений.

Применяемая нами технологическая схема с использованием дистанционной информации оценки перспектив рудоносности территорий основана на [4]:

всестороннем изучении форм проявленности признаков разноранговых рудных таксонов на эталонных площадях в материалах дистанционного зондирования разного масштаба и вида;

создании иерархического ряда прогнозно-поисковых моделей рудных таксонов, включающих только устойчиво встречающиеся в пределах нескольких эталонных площадей (сквозные) признаки; экспертной оценке новых территорий путем последовательной локализации перспективных участков лишь в области действия комплекса благоприятных факторов предшествующего ранга.

Основной базой для исследований служат материалы дистанционного зондирования Земли — цифровые космические снимки, цифровой рельеф и рисунок речной сети, а также доступные геологические, геофизические и металлогенические материалы.

Идеология прогноза, которой придерживаются авторы, обосновывается представлениями о решающей роли при формировании эндогенных рудных районов, узлов, полей и месторождений очагов тектономагматической активизации, расположенных на разных глубинах и проявленных на современной поверхности радиально-концентрическими образованиями разного размера. Теория механизма становления очаговых концентрических структур развивается в работах многих российских геологов.

Работы проведены в три этапа с использованием материалов все повышающейся детальности на более локальных участках. Для этого созданы пространственно ориентированные электронные базы дистанционных первичных и традиционных данных. Затем проведено визуальное и компьютерное дешифрирование всего комплекса дистанционных материалов. Осуществлена качественная и количественная обработка материалов первичного дешифрирования для выделения искомым благоприятных признаков. По результатам анализа построены специализированные космоструктурные схемы участков соответствующего масштаба и сформированы прогнозные модели, с помощью которых выделены перспективные участки для локализации золотого оруденения соответствующего ранга.

Первый этап работ проведен на площади 40 000 км², охватывающей практически всю Северо-Восточную Бурятию, с использованием низкоразрешающих космических материалов. В итоге выделены региональные структурные признаки, позволяющие судить о степени проницаемости земной коры и присутствию в подкоровом и нижнекоровом пространстве энергетических очагов, оказывающих влияние на процессы рудообразования в течение

длительного времени. Использованная дистанционная прогнозно-поисковая модель позволила оконтурить участки, благоприятные для формирования таксонов в ранге «золоторудных районов». На площади обособились две достаточно крупные и контрастные аномалии, которые можно рассматривать в качестве признаков двух самостоятельных золоторудных районов. Всего они заняли пятую часть от первоначально вовлеченной в анализ площади (рис. 1).

Второй этап работ проведен на площади 2500 км², которая полностью включает одну из выделенных аномалий. Использовались дистанционные материалы более высокого разрешения. На их основе построена детальная космоструктурная схема, раскрывающая позиции крупных тектонических нарушений и внутрикоровых очагов активизации. С помощью этой схемы, а также геологической карты создана прогнозно-поисковая модель, позволившая выделить участки, благоприятные для формирования таксонов ранга «рудный узел». Единая и достаточно обширная аномалия, полученная при работах предшествующего этапа, распалась на итоговой схеме на ряд более мелких по размеру, каждая из которых может соответствовать рангу «узел» (рис. 2).

Третий этап работ выполнен на площади 300 км², где расположена наиболее интенсивная перспективная аномалия по результатам работ второго этапа. Материалы дистанционного зондирования изучены с максимально возможным (около 1:50 000) разрешением. Выделены структурные элементы, позволившие еще более детализировать перспективные площади для поисков эндогенного оруднения ранга «поле» (рис. 3).

На все прогнозные схемы дополнительно вынесены сведения о размещении ранее найденных в процессе наземных работ рудных объектов, что позволяет оценить их точность.

В заключение можно сделать следующие выводы.

1. Рудное золото северо-востока Бурятии локализовано в кварц-сульфидных жилах и прожилках и зонах сульфидизации, которые встречаются как в протерозойских, палеозойских и мезозойских метаморфических и осадочных комплексах, так и в гранитоидах. Золотоносные участки имеют относительно небольшие размеры (тысячи квадратных километров) и контролируются региональными разломами и зонами трещиноватости, а также кольцевыми структурами разного диаметра, которые указывают на существенные энергетические возмущения в подкоровом и нижнекоровом пространстве на протяжении длительной геологической истории развития региона. Обусловлены они, вероятно, эволюцией магматических очагов, накапливающих энергию вслед-

ствие собственного развития и подпитки из мантии. Взрывообразная разрядка провоцировала перемещение магм, отщепляющихся от очагов, и сопровождающих их растворов в более высокие части земной коры. При этом апикальные части мигрирующих потоков обогащались золотом как за счет самих магматитов, так и терригенно-карбонатных и черносланцевых толщ, из которых металл выщелачивался при взаимодействии с флюидами. Выпадение золота и других рудных компонентов происходило в различных благоприятных условиях вследствие уменьшения давления и температуры и изменения pH-параметров. В связи с этим важно вначале оконтурить площадь основного рудного потока, затем выделить в его пределах более локальные очаги, над которыми и проводить поиски, учитывая возможные формы рудоотложения в зависимости от геологического строения верхних частей земной коры.

2. Россыпное золото в большинстве случаев пространственно тяготеет к участкам очаговой активизации земной коры, поскольку формируется при размыве коренных руд. В регионе оно обнаружено во многих крупных речных долинах продольного (северо-восточного) простирания, а также во фрагментах поперечных (северо-западного и субмеридионального простирания) долин второго и третьего порядков. В первом случае это, скорее всего, обычные русловые россыпи, поиск и разведка которых не представляет трудностей. Поперечные россыпи в своем большинстве развиваются над нарушениями, которые сопровождаются окварцеванием и сульфидизацией и, таким образом, являются вторично обогащенными. Это подтверждается фактами резкого «обрывания» обогащенных россыпных тел при выходе вмещающих их речных долин за зоны метаморфических пачек, в теле которых развиты трещины, выполненные гидротермально измененными породами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бахтин В.И., Роцектаев П.А.* Состояние и проблемы добычи золота в Бурятии // Новые технологии добычи и переработки природного сырья в условиях экологических ограничений: Мат-лы Всерос. научно-технической конференции с международным участием, 26–30 июля 2004 г., г. Улан-Удэ. Улан-Удэ, 2004. С. 3–6.
2. *Золоторудные гиганты России и мира / М.М.Константинов, Е.М.Некрасов, А.А.Сидоров и др.* – М.: Научный мир, 2000.
3. *Некрасов Е.М.* Зарубежные эндогенные месторождения золота. – М.: Недра, 1988.
4. *Серокуров Ю.Н.* Использование космических снимков для целей прогнозирования рудоносности территорий // Советская геология. 1991. № 10. С. 22–27.

5. Томсон И.Н., Фаворская М.А. Рудоконцентрирующие структуры и принципы локального прогнозирования эндогенного оруденения // Советская геология. 1968. № 10. С. 6–20.

6. Хаин В.Е. Региональная геотектоника: внеальпийская Азия и Австралия. – М.: Недра, 1979.

УДК 553.411:550.4 (571.51)

© Н.П.Варгунина, 2008

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Н.П.Варгунина (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

По данным обработки геохимической информации охарактеризованы региональные геохимические зоны и расположенные в их пределах золоторудные районы, узлы, поля и месторождения Енисейского кряжа. Выявлены геохимическая структура Енисейского рудного пояса в целом, латеральная геохимическая зональность составляющих его зон и различие в геохимическом спектре гранитоидов разновозрастных комплексов и их околоинтрузивных ореолов. Определены региональные геохимические факторы, позволяющие судить о промышленной золотоносности отдельных площадей, и выделены аномалии, перспективные на обнаружение золото-кварцевого, золото-сульфидного и комплексного золотосодержащего оруденения.

По результатам региональной геохимической съемки м-ба 1:500 000 (А.А.Ладынин с соавторами, 1991 г., 1998 г.) изучена территория Енисейского кряжа, ограниченная с севера р. Подкаменная Тунгуска в районе ее впадения в р. Енисей, с юга — р. Ангара, с запада — р. Енисей, с востока — р. Вельмо. В ходе съемки в одной точке с разной детальностью опробованы все продукты речного стока (илы, воды и водные мхи). Литохимические потоки рассеяния (донное опробование) охарактеризованы одной пробой с площади 5 км², биогеохимические потоки (по водным мхам) — одной пробой на 10 км², гидрогеохимические — одной пробой на 50 км².

Нами проанализированы и обобщены все виды опробования, составлены единые для них генерализованные моноэлементные карты. Выделенные при этом аномалии использованы в качестве основы для выявления геохимических факторов золотоносности Енисейского кряжа.

Краткие сведения о геологическом строении данной территории приводятся по данным Г.Н.Бровка, Л.В.Ли, М.А.Шермана [1].

Глубинные разломы разделяют Енисейский кряж на четыре блока первого порядка, которые, в свою очередь, расчленяются более мелкими разло-

мами на блоки второго и третьего порядков. Западный блок сравнительно узкой полосой протягивается вдоль р. Енисей. Главная его особенность — широкое развитие магматических образований основного и ультраосновного составов. Осложняющие блоки второго порядка отличаются интенсивными метаморфическими преобразованиями пород. Центральный блок характеризуется интенсивным и весьма неравномерным по площади развитием процессов ультраметаморфизма, метасоматической гранитизации и широким распространением интрузивов гранитовой (батолитовой) формации. Блочные структуры второго порядка выделяются по интенсивности и форме проявления метаморфических, метасоматических и магматических процессов и ряду других признаков. Блоки, включающие гранитоидные интрузии, отличаются развитием контактово-метасоматических преобразований и гидротермальной проработки пород. Восточный блок сложен верхнепротерозойскими преимущественно терригенными и терригенно-карбонатными отложениями, среди которых в небольшом количестве отмечаются вулканические породы. В его пределах выделяется Соврудниковский блок второго порядка, особенностью которого является нали-

чие интрузий габбро-диабазов и диабазов. Южно-Енисейский блок сложен глубокометаморфизованными архейскими образованиями меланократового состава.

Недра Енисейского кряжа богаты месторождениями и рудопроявлениями золота, свинца, цинка, железа, марганца, сурьмы, бокситов, вольфрама, олова, ртути, редких металлов, мусковита, керамического сырья и проч. Высокая рудоносность Енисейского кряжа и специфика геологического строения позволили выделить его в качестве самостоятельного металлогенического подразделения — Енисейского рудного пояса.

С геологическим строением блоков хорошо увязываются их металлогенические особенности, обусловленные неоднородностью геологического разреза. В основу геохимического районирования территории Енисейского рудного пояса положены структурно-формационные и соответствующие им металлогенические зоны. В пределах рудного пояса А.А.Ладыниным с соавторами (1991 г.) выделены шесть региональных геохимических зон. Обработка материалов региональной геохимической съемки, литературных данных и результатов собственных исследований золоторудных месторождений в их пределах позволила нам выявить геохимическую специфику зон, районов, узлов, полей, месторождений.

Енисейский рудный пояс в целом характеризуется повышенной золотоносностью. Район от р. Подкаменная Тунгуска на севере до р. Ангара на юге изобилует аномалиями золота в потоках рассеяния, точками кварцево-жильной минерализации с содержаниями Au от десятых долей до первых грамм на 1 т, присутствием знакового, весового золота вплоть до самородков в аллювии рек и ручьев. Аномалии всех остальных элементов занимают значительно меньшую площадь. По степени распространенности геохимические элементы образуют следующий ряд: Au – Pb, Zn – As – Sn – Cu – Mn – Co, Ni, Cr – Ag – W – Be – Mo (рис. 1–7).

Ниже приведена характеристика региональных геохимических зон и расположенных в их пределах геохимических аномалий золота.

Исаковская фемическая зона, облик которой определяют крупные аномальные поля Cr, Ni, Co, Mn, Au с единичными мелкими аномалиями Cu, Y, Yb, В, характеризуется развитием вулканогенных карбонатно-терригенных формаций с вулканитами основного состава. С последними ассоциируют мелкие интрузивные тела ультрабазитов. В ее пределах известны месторождения окисномарганцевые, железистых кварцитов, рудопроявления хромитов, колчеданно-полиметаллические и медно-

колчеданные, а также точки золото-колчеданной минерализации.

Приенисейская сналическая зона выделена на площади развития сланцевых толщ с рядом крупных и мелких массивов гранитоидов. Геохимически зона выделяется по ассоциации типоморфных для нее элементов — Sn – Au – Cr, Ni, Co – Ag – Pb, Zn. Самые большие по размерам аномалии образует олово. В пределах зоны не выявлено промышленных рудных объектов, отмечаются лишь проявления редкометальной и полиметаллической минерализации.

Тейский сналический блок с крупным гранитоидным массивом в южной части в отличие от всех остальных геохимических зон стерилен в отношении золотоносности. На его площади не обнаружено аномалий золота, лишь единичные содержания Au до 10 мг/т отмечаются по периферии блока. Доминируют аномалии редкометальных элементов Sn, W, Be, Mo при подчиненном значении аномалий Pb, Zn, As. Блок практически безруден.

Для **Ангара-Тисской фемически-сналической зоны** в целом характерна геохимическая и металлогеническая полиметаллическая специализация. В ней сосредоточены все крупные полиметаллические месторождения Енисейского рудного пояса и 75% полиметаллических рудопроявлений. Преобладают объекты свинцово-цинковой формации в карбонатных породах, которые широко распространены по площади и в разрезе. В зоне неравномерно распределена серия крупных и мелких аномалий золота. По составу остальных элементов зона подразделяется нами на северную и южную подзоны.

В северной подзоне широко распространены выходящие на поверхность гранитоидные массивы, сопровождаемые ореолами редкометальных элементов Sn, Be, W, Mo, аномалии которых не установлены в южной подзоне. Типоморфные элементы северной подзоны — Sn – Pb, Zn – As, Au – Be – W – Mo, южной — Pb, Zn – As – Sn – Au. В южной подзоне в пределах вторичного ореола золота обнаружен Зырянковский рудный узел с золото-кварцевым и золото-сульфидным оруденением.

Центральная оксигалькофильная золотоносная зона характеризуется резким сгущением аномальных полей золота, увеличением их размеров и контрастности, возрастанием количества точек золотоносной кварцево-жильной минерализации и шлиховых ореолов золота. Типоморфная элементная ассоциация зоны представлена Au – As – Sb.

С востока зона ограничена Ишимбинским, с запада — Татарским глубинными разломами. В ее пределах известны 20 золоторудных месторождений, 44 рудопроявления и около 200 точек золоторудной минерализации. В количественном отноше-

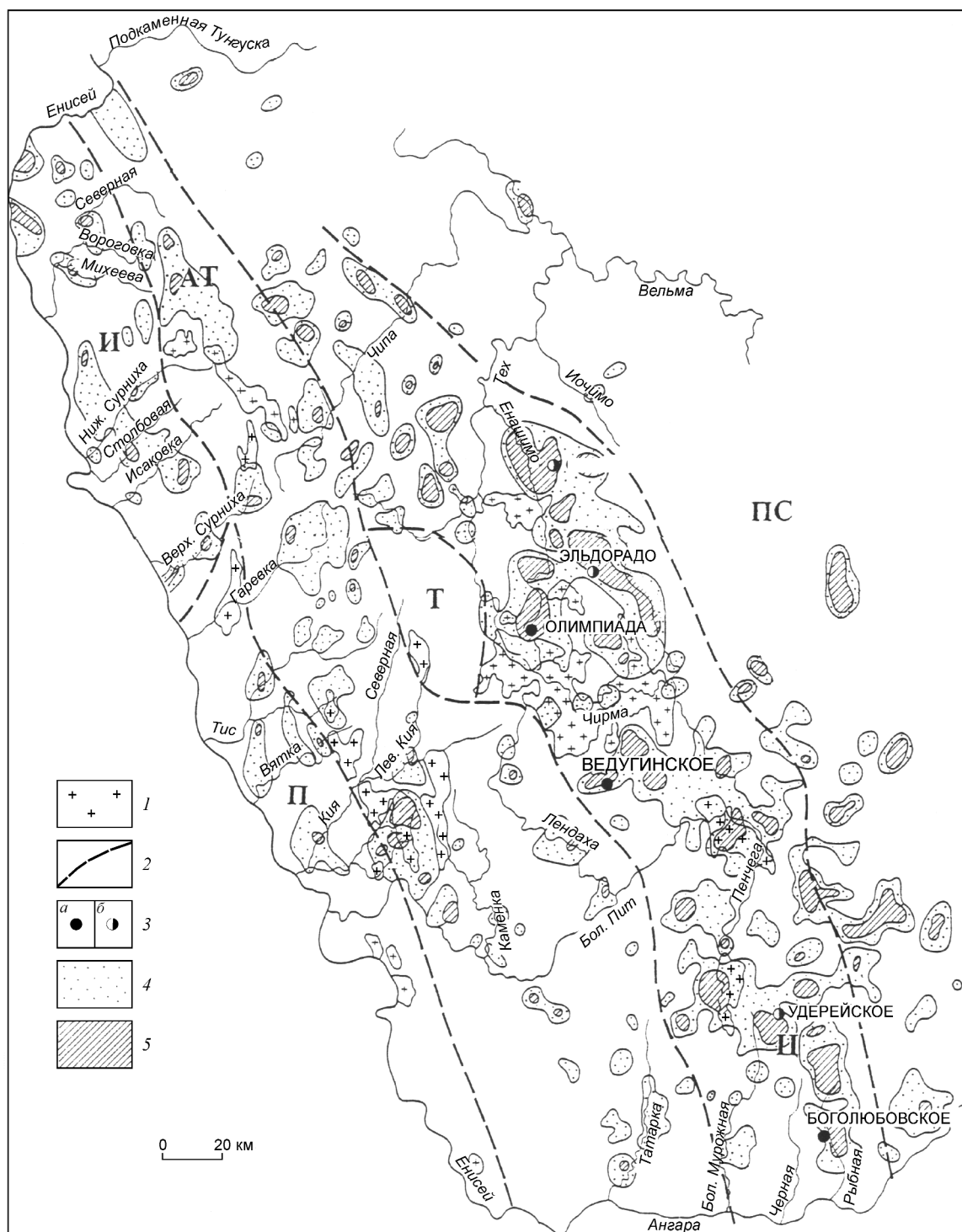


Рис. 1. Аномальные геохимические поля золота:

1 — гранитоидные массивы; 2 — геохимические зоны (ПС — Предьенисейская субплатформенная нейтральная, Ц — Центральная оксисалькофильная, Т — Тейский сиалический блок, АТ — Ангаро-Тисская фемически-сиалическая, П — Приенисейская сиалическая, И — Исаковская — фемическая); 3 — месторождения золото-кварцевой (а) и золото-сульфидной (б) формаций; содержания Au в аномалиях, г/т: 4 — 0,003–0,009, 5 — 0,001 и более

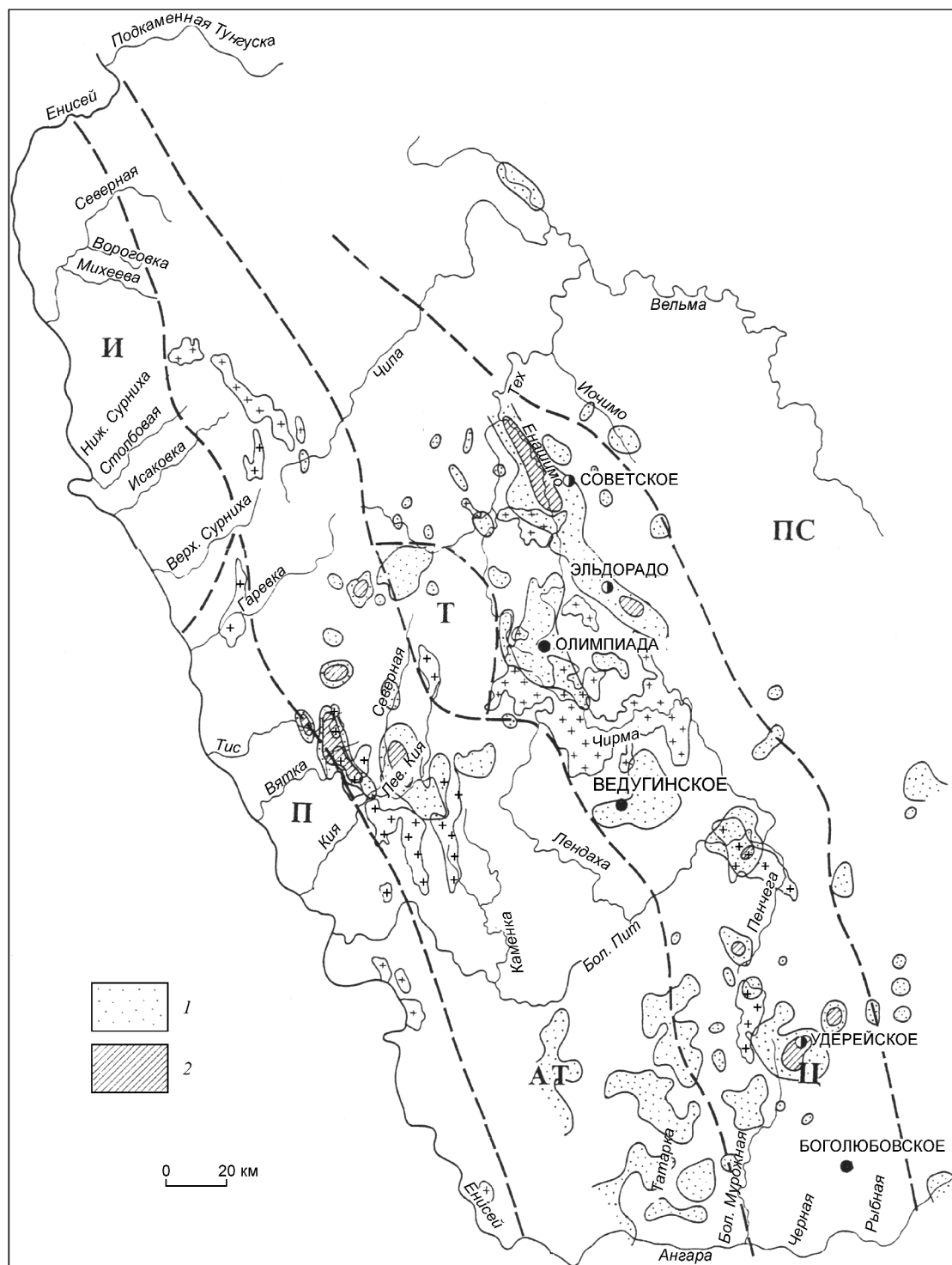


Рис. 2. Аномальные геохимические поля мышьяка:

содержание As, $10^{-3}\%$: 1 — 1–9, 2 — 10 и более

нии существенно преобладают объекты золото-кварцевой формации, но по промышленной значимости весомую роль играют месторождения золо-

то-сульфидной формации. Невысокой золотоносностью отличаются месторождения золото-антимонит-кварцевой формации.

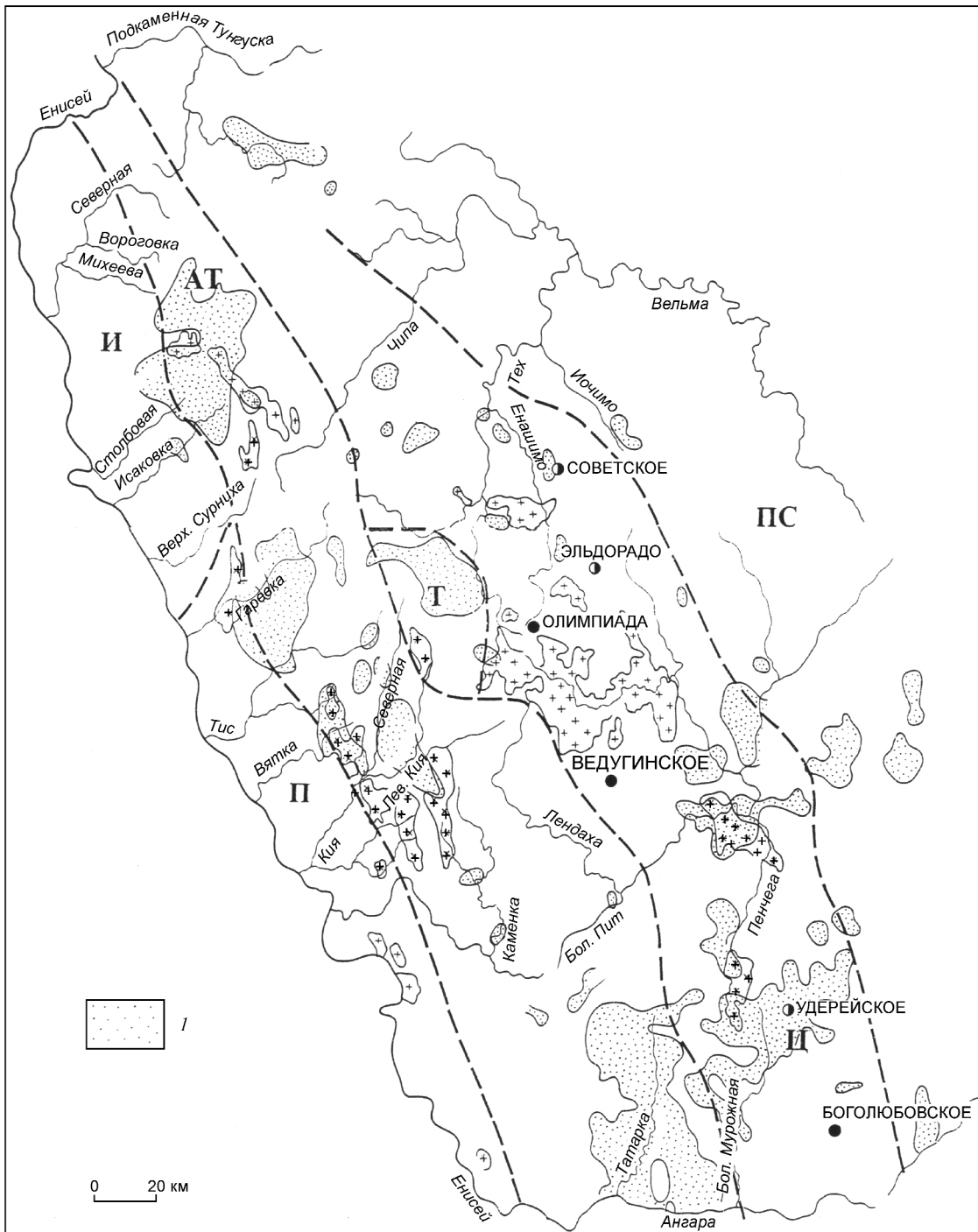


Рис. 3. Комплексные аномальные геохимические поля свинца и цинка:

I — содержание, 10⁻³%: Pb — 3–10, Zn — 15–60

В зоне выделены три региональные геохимические аномалии золота, по размерам соответствующие таксону «рудный район» и пространственно совпадающие с известными рудными районами.

Первая аномалия соответствует *Северо-Енисейскому рудному району*, на площади которого распо-

ложены два наиболее крупных золоторудных месторождения — Советское золото-кварцевой и Олимпиадинское золото-сульфидной формаций, а также пять рудных узлов — Советский, Александро-Агеевский, Перевальненский, Верхне-Енашиминский и Ерудинский. Кроме месторождений и рудопроявле-

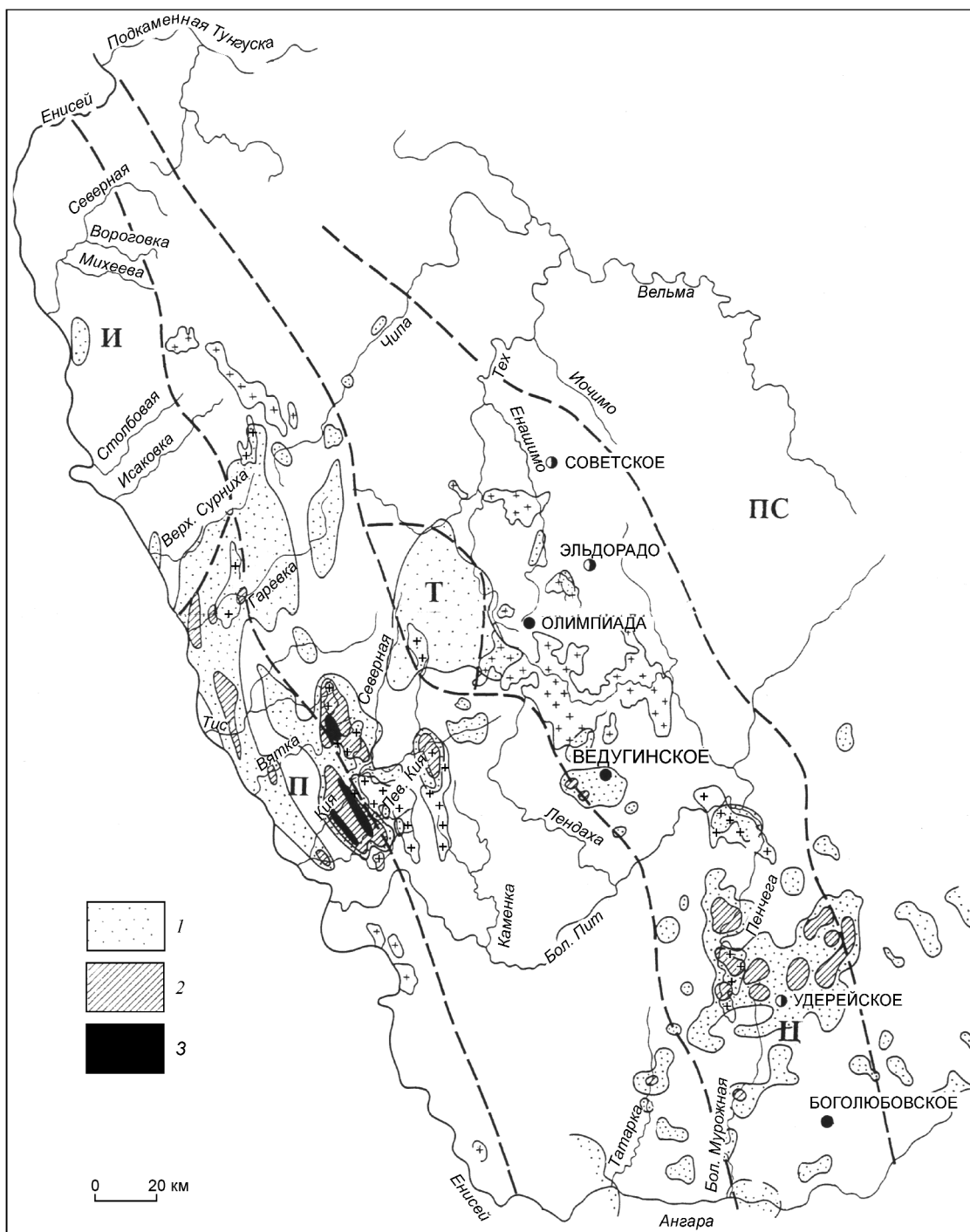


Рис. 4. Аномальные геохимические поля олова:

содержание Sn, г/т: 1 — 4–9, 2 — 10–39, 3 — 40 и более

ний золото-сульфидной и золото-кварцевой формаций, отмечаются мелкие проявления золото-полиметаллической и золото-колчеданной формаций.

Типоморфной геохимической ассоциацией Северо-Енисейского рудного района является Au –

As – Sb – W – Cu. Аномалии сурьмы на территории рудного района и всего Енисейского рудного пояса установлены только в пробах воды. Ввиду очень разреженной сети отбора они носят точечный характер.

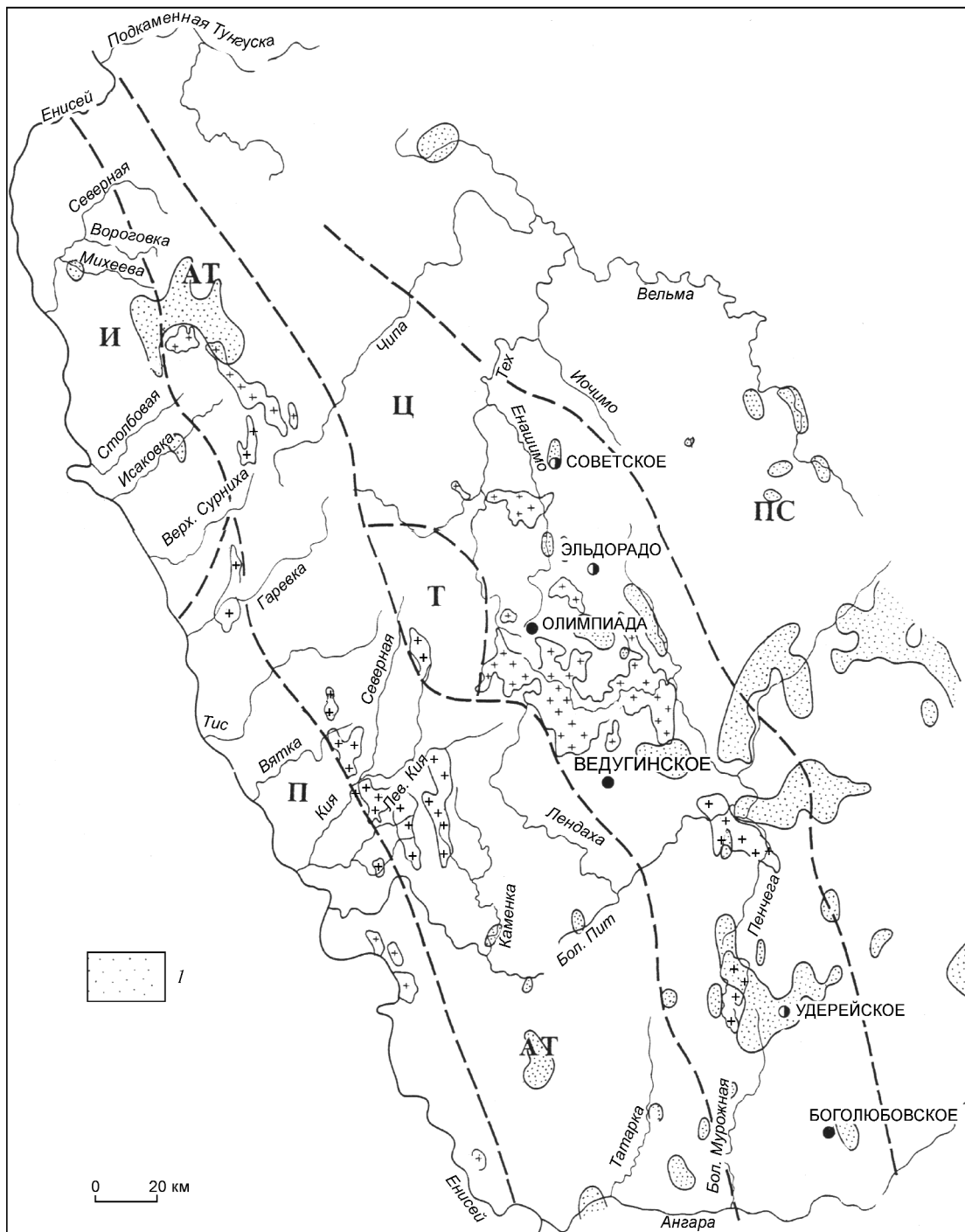


Рис. 5. Аномальные геохимические поля меди:

1 — содержание Cu $6 \cdot 10^{-3}\%$ и более

Северо-Енисейский рудный район расположен на площади развития автохтонных гранитов татарско-аяхтинского комплекса, для которых характерны слабое проявление ореолообразующих процессов на площади самих массивов и ограниченный

набор элементов, образующих аномальные поля в около- и надынтрузивной областях. На фоне окружающих геохимических полей район контрастно выделяется региональной геохимической аномалией золота и геохимической ассоциацией типоморф-

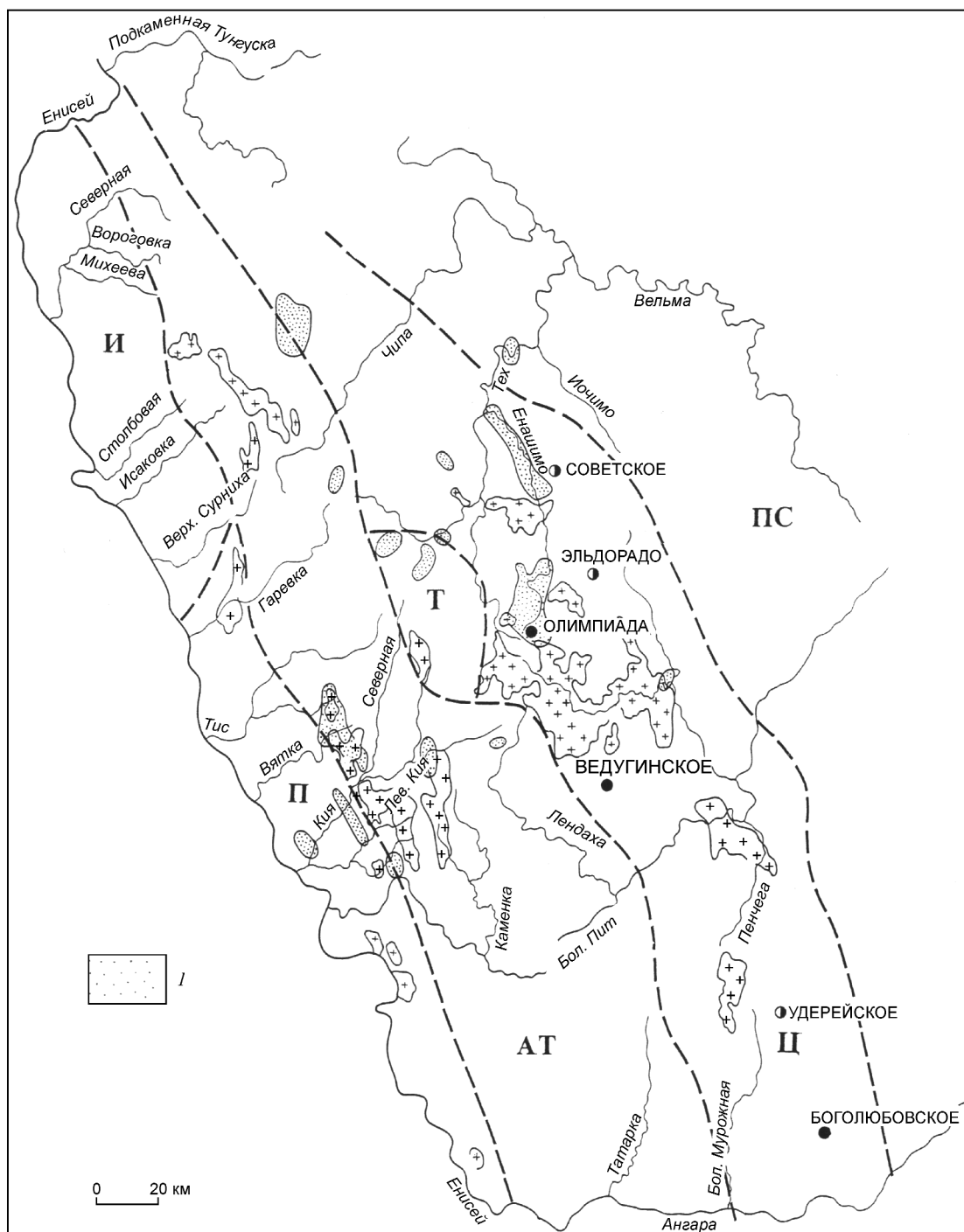


Рис. 6. Аномальные геохимические поля вольфрама:

I — содержание W 5–10 г/т

ных элементов (Au – As – Sb – W). Размер аномалии золота составляет около 4000 км². Она имеет неправильную форму и вытянута вдоль главных водотоков. К югу аномалия разветвляется на две широкие полосы — одна вытянута вдоль долины р. Енашимо и сопровождается Верхне-Енашиминский руд-

ный узел, другая непрерывно прослеживается от Советского рудного узла через Александров-Агеевский и Перевальненский рудные узлы вдоль р. Вангаши к аномальному полю Ерудинского рудного узла. Вдоль южной границы района по долине р. Чиримба несколько мелких слабоконтрастных анома-

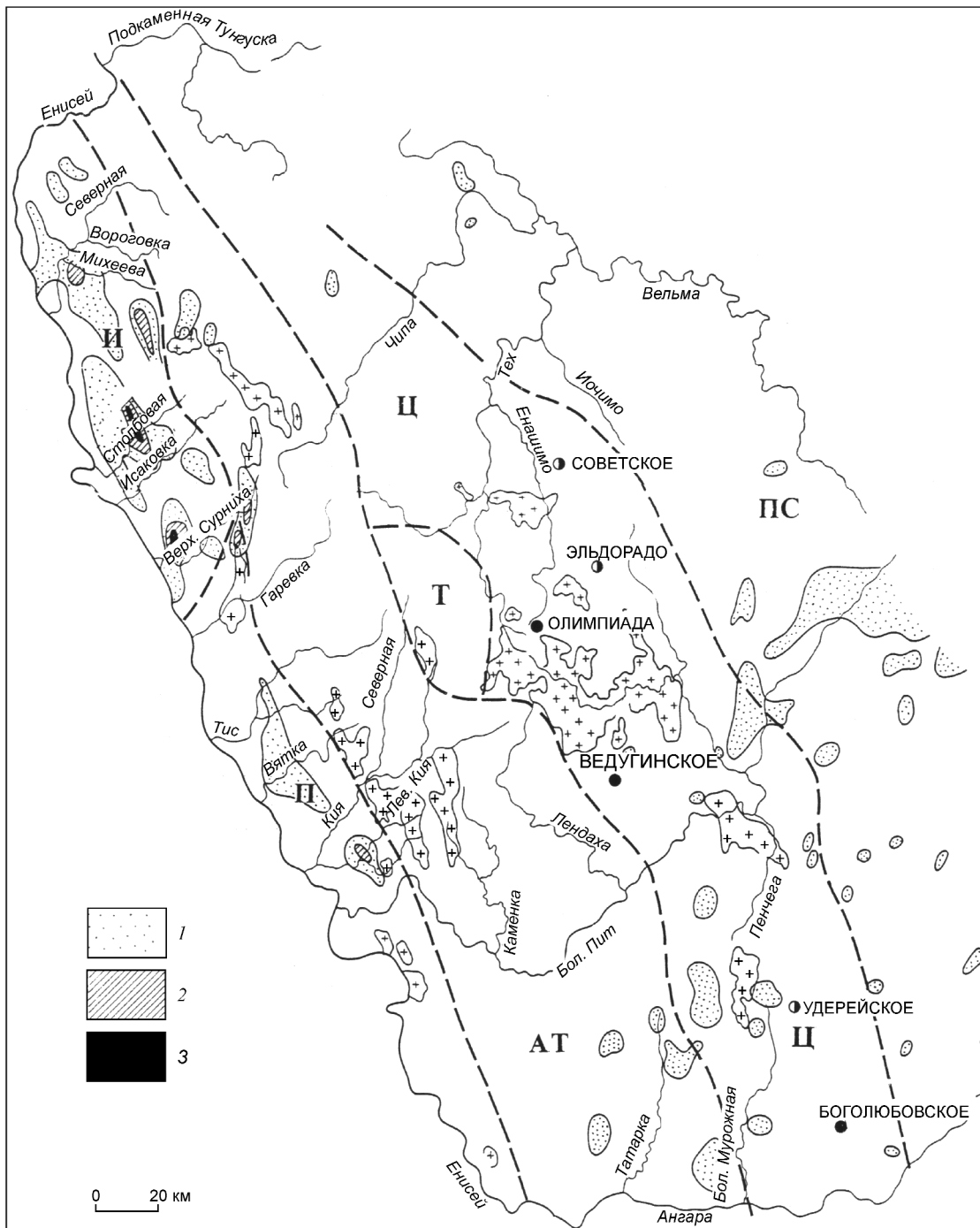


Рис. 7. Комплексные аномальные геохимические поля кобальта, никеля и хрома:

содержание, $10^{-3}\%$: 1 — Co — 3, Ni — 5–9, Cr — 15–29; 2 — Ni — 10–49, Cr — 30–79; 3 — Ni — 50 и более, Cr — 80 и более

лий золота приурочены к контактовой полосе Чиримбинского массива.

Границы района четкие. На севере он отделен фоновой полосой от потенциально перспективного Вороговского рудного района, характеризующе-

гося меньшими размерами аномалий Au и As, отсутствием аномалий Cu и наличием мелких аномалий Pb, Zn, Be. На юге с ним граничит выделенный нами по геохимическим данным потенциальный Большепитский рудный район, располагаю-

щийся на площади Чиримбинского гранитоидного массива. Восточная граница проходит вдоль незолотоносной части Предьенсейской зоны, в которой протягивается крупная аномалия марганца. Вдоль западной границы с Тейским сиалическим блоком наблюдаются региональные аномалии Sn, Pb, Zn.

На площади рудного района расположены три гранитоидных батолита татарско-аяхтинского комплекса. С их около- и надынрузивными ореолами связаны все золоторудные объекты. По данным Л.В.Ли с соавторами (1979 г.), количество рудных объектов уменьшается по мере удаления от гранитоидных интрузий. В околоинтрузивном ореоле (0–5 км) находится 41% месторождений и рудопроявлений, а также 36% точек минерализации, в зоне удаления от интрузива на расстоянии 5–10 км — соответственно 34 и 18%, на расстоянии 10–15 км — 13 и 12%. Месторождение Советское и многие рудопроявления удалены от выходящих на поверхность интрузий на 10–15 км, но фактически за счет полового падения контактов большинства интрузий рудные объекты располагаются значительно ближе к ним. Кроме того, предполагается, что большинство интрузий на глубине 3–5 км соединяются в единый батолит, и весь Северо-Енисейский рудный район практически расположен в надынрузивном ореоле.

Наибольшие по размерам слабоконтрастные аномальные поля золота приурочены к около- и надынрузивному пространству, занимая водораздельные части и прилегающие склоны. Высококонтрастные ореолы золота в основном сопровождают известные рудные узлы. Несколько меньшие по размерам аномалии образует мышьяк, еще более локальные — вольфрам и медь. Наименьшие по размерам аномалии бериллия, серебра, свинца, цинка отмечаются только на севере рудного района на площади Советского и Александро-Агеевского рудных узлов.

Внутренняя структура геохимического поля Северо-Енисейского рудного района определяется геохимическими особенностями рудных узлов, расположенных на его территории.

Советский рудный узел сопровождается контрастной аномалией золота, оконтуривающей площадь рудного узла, и широкой слабоконтрастной аномалией мышьяка. Остальные элементы (Cu, Pb, Zn, Ag, Be, Ba, W) образуют локальные слабоконтрастные аномалии. Из них ореолы Cu, Pb, Zn, Be фиксируют положение Советского месторождения.

Советское месторождение относится к золотопирит-арсенопирит-кварцевому минеральному типу золото-кварцевой формации. Оно сопровождается высококонтрастными ореолами Au, As, Pb, широкими среднеконтрастными — В, слабоконтраст-

ными — Ni, F, Mn и узкими ленточными разной контрастности — Cu, Ag, Bi, Co, Sn (А.А.Пузанов и др., 1981 г.) Непосредственно в рудной зоне отмечаются ореолы Au, As, Ag, Cu, Bi, отчасти Pb. Геохимическое поле является секущим по отношению к кварцево-жильной зоне, подчеркивая более поздний наложенный характер рудного процесса и роль кварцево-жильной зоны в качестве благоприятной вмещающей среды и структурного фактора.

Зональность ореолов выражена рядом элементов (сверху вниз): Zn – Cu – As – Au – В – Ag – Co – Mn – Pb – Ni. К верхнерудным элементам относятся В, F, As, Cu, к нижнерудным — Ag, Pb, Ni. Для определения относительного уровня эрозионного среза рудного тела рекомендуется использовать коэффициент зональности $(B \cdot F \cdot As) / (Pb \cdot Ni \cdot Ag)$, изменяющийся от сотен на верхних уровнях до десятых и тысячных долей — на нижних.

Верхне-Енашиминский рудный узел оконтуривается высококонтрастной аномалией золота, несколько меньшей по размерам, чем аномалия золота Советского рудного узла, и широкими слабоконтрастными аномалиями мышьяка и вольфрама. По результатам крупномасштабной геохимической съемки (А.Р.Романовская и др., 1985 г.) рудный узел сопровождается вторичными ореолами (в скобках — коэффициент контрастности): Au (3–70) – As (2–9) – В (1–3) – Sb, W, Hg, Pb (1–2).

В эпицентре комплексной геохимической аномалии расположено Олимпиадинское месторождение, приуроченное к провесу кровли гранитоидного массива и представленное вкрапленными золото-арсенопиритовыми и прожилково-вкрапленными кварц-антимонитовыми рудами. Все рудные тела сосредоточены в слюдисто-кварц-карбонатной пачке, которая по геохимическим особенностям отчетливо выделяется на фоне остальных пород по высоким концентрациям Sr и Mn и низким — Ti, Cr, V, Ni, Co [2, 3]. Коэффициент литологической принадлежности $(Mn \cdot Sr) / (Ti \cdot V)$ позволяет выявлять и проследить рудовмещающую пачку по значениям, превышающим 0,01. Характерной особенностью месторождения является развитие кор выветривания на участках тектонических нарушений обычно по контакту алюмосиликатных и карбонатных пород, распространяющихся в виде конусовидных залежей до глубины 400 м.

Месторождение сопровождается первичными и вторичными ореолами Au, As, Sb, Co, Ni, Mo, W, Sn, Pb, Zn, Cu, Ba, Ti, V. Наиболее тесная пространственная связь с рудными телами и высокая контрастность проявления свойственна ореолам Au (550), As (240) и Sb (94). В скобках — кларк концентрации (отношение среднеаномального содержа-

ния к кларку в земной коре). Для остальных элементов характерны слабоконтрастные ореолы (кларк концентрации 1,5–2,5). Причем по многим элементам (Pb, Ag, Sn, Mo, Ti, Co и др.) вблизи аномальных концентраций отмечаются содержания в 2–10 раз ниже фоновых, а ореолы в целом прерывистые, непротяженные.

Окисленные руды коры выветривания по отношению к первичным обогащены Au, Sb, W, Pb, Zn, Hg, Ag и обеднены As, Co, Ni, Ba, Sn, Mn. Площадная аномалия с содержанием W > 0,1% оконтуривает вольфрамовое оруденение, отсутствующее в первичных рудах. Ореолы Au, As, Sb непрерывно распространяются из первичных руд в кору выветривания. По вектору накопления элементы разделяются на две группы: в первой (Au, As, Sb) концентрации возрастают в направлении к рудному телу, во второй (Ti, V, Co, Mo и др.) — убывают в том же направлении.

Осевая зональность (по падению рудного тела) выражена в накоплении во фронтальных частях Pb, Zn, Ba, Sb, в тыловых — Co, Ni, Mo, Ag. Уровень эрозионного среза рудной зоны рекомендуется определять с помощью коэффициента зональности $(Pb \cdot Zn \cdot Ba) / (Co \cdot Ni \cdot Mo)$, значения которого изменяются от $n \cdot 10^4$ во фронтальной части до $n \cdot 10^2$ на нижних уровнях оруденения. Степень приближения к рудному телу по латерали можно установить по коэффициенту интенсивности $(Au \cdot As \cdot Sb) / (Ti \cdot V \cdot Mo)$, значения которого колеблются от $1 \cdot 10^{-5}$ при расстоянии в 100 м от рудного тела до 0,01 — в 20 м и 100 на контакте с рудным телом.

Перевальненский рудный узел сопровождается контрастной аномалией золота и слабоконтрастной мышьяка, которая прослеживается за пределы узла вдоль р. Вангаш. Расположенное на площади узла золото-кварцевое месторождение Эльдorado, по данным Ф.Н.Борчалинского (О.П.Разгонов и др., 1975 г.), сопровождается контрастными ореолами Au, As, Ag и узкими слабоконтрастными Cu, Co, Ni, Pb, Zn, Ba, Mo, W, Bi. Вертикальная геохимическая зональность выражена следующим рядом элементов (сверху вниз): Ba – As – Zn – Mo – Pb – Au – Ag – Co, Ni.

Александро-Агеевский рудный узел оконтуривается небольшой контрастной аномалией Au и расположен в слабоконтрастном поле As. На его периферии отмечаются мелкие слабоконтрастные аномалии Cu, Pb, Zn, Ag, Be.

На площади *Ерудинского рудного узла* отмечаются слабоконтрастные аномалии Au и Cu. В контуре слабоконтрастной аномалии Au выделены две мелких контрастных аномалии, одна из которых соответствует месторождению Кварцевая Гора.

Таким образом, все рудные узлы Северо-Енисейского рудного района сопровождаются аномальными полями главных рудогенных элементов Au и As, остальные элементы распределены на площади района зонально. В северном направлении появляются локальные поля Pb, Zn, Ag, Ba — элементов, характерных для верхних уровней рудно-метасоматической колонны. Это позволяет предположить, что Советский и Александро-Агеевский рудные узлы имеют меньший эрозионный срез, чем Верхне-Енашиминский. По геологическим данным (Г.А.Середенко и др., 1991 г.), золото-сульфидное оруденение также считается более ранним и наиболее широко развитым в породах пенченгинской и кординской свит. Кварцево-жильное золотое оруденение развивается позднее при участии тех же рудных элементов, минеральных ассоциаций и в тех же глубинных разрывных структурах, но на более высоких стратиграфических этажах — в отложениях горбилокской, удерейской и потоскуйской свит. При этом породы шунтарской и более молодых свит могут быть надрудными толщами.

Расположенные на территории рудного района месторождения золото-кварцевой и золото-сульфидной формаций в значительной мере сходны по элементному составу и зональности геохимических ореолов. Различия заключаются в проявлении на золото-сульфидном Олимпиадинском месторождении контрастных ореолов Sb и W, обусловленных наличием вольфрамового оруденения в коре выветривания и поздней кварц-антимонитовой минерализации.

Вторая региональная геохимическая аномалия Au соответствует по своим параметрам рудному району, условно названному нами Большепитским. Выделение *Большепитского рудного района* по геохимическим данным обосновывается наличием типоморфной геохимической ассоциации и непрерывного аномального геохимического поля золота, отделенного от других аномалий полосами фоновых содержаний. Район включает Панимбинский, Ведугинский, Таврикульский и Аяхтинский рудные узлы с одноименными золото-кварцевыми и золото-сульфидными месторождениями и проявлениями золоторудной минерализации. Типоморфная геохимическая ассоциация имеет вид Au – As – Sb – Pb – Zn – Cu. Для района в отличие от Северо-Енисейского характерны появление крупных площадных аномалий Pb и Zn, меньшие размеры контрастных аномалий Au и некоторые отличия в спектре ореолообразующих элементов.

Ведугинский и *Панимбинский рудные узлы* размещены в околоинтрузивном ореоле Чиримбинского массива, а *Аяхтинский* и *Таврикульский* — в непо-

средственной близости от Аяхтинского. Все они объединяются контуром одной региональной слабоконтрастной аномалии Au размером 1800 км². Локальные контрастные аномалии Au и As развиты в пределах Ведугинского, Панимбинского и Аяхтинского рудных узлов. Частичное развитие на площади рудных узлов имеют аномалии Sn, Cu, Pb, Zn. Зональность, отмеченная в Северо-Енисейском рудном районе, повторяется и в Большепитском. Наблюдается проявление ореолов верхнерудной группы химических элементов в юго-восточной части района на площади развития золото-кварцевого оруденения.

Южно-Енисейский рудный район имеет приблизительно такие же размеры, как и Северо-Енисейский, но оконтуривается не единой региональной аномалией Au, а серией сближенных аномалий разных размеров, часть из которых выходит за пределы района в восточном направлении. Локальные контрастные аномалии Au приходятся на площади Партизанского и Раздольнинского рудных узлов, а также на северный и западный фланги Татарского массива и площадь между рудными узлами.

Большинство золоторудных объектов локализованы в контактовых зонах базитовых массивов рыббинского комплекса. Часть объектов, расположенных на восточном фланге Татарского гранитоидного массива в его околотрузивном ореоле, также пространственно связана с базитовыми массивами. Для этих объектов характерно проявление минеральной зональности по простиранию рудной зоны (Л.В.Ли и др., 1979 г.). В северной части массива формируются магнетитовые и пирротин-пиритовые типы руд, в южной — арсенопирит-пиритовые и пирит-галенитовые. На удалении от массива локализуются золото-кварцевые жилы месторождений Урал и Васильевское, в которых доминирует пирит при подчиненной роли арсенопирита и блеклых руд. Месторождения околотрузивной зоны, судя по минеральным особенностям и интенсивности метаморфизма вмещающих пород, относятся к более высокотемпературным и глубинным, чем месторождения, расположенные на удалении от интрузий.

Геохимический облик Южно-Енисейского района резко отличается от Северо-Енисейского наличием крупной слабоконтрастной аномалии Sn площадью около 1200 км², включающей большое количество мелких более высококонтрастных, приходящихся на Татарский массив, а также северную и восточную части района. В контур аномалии Sn вписываются слабоконтрастные аномалии Pb, Zn, Ag, Cu, Mo. По уменьшению параметров аномальных полей поликомпонентная аномалия может быть охарактеризована следующим рядом элементов: Au – Sn – As – Pb, Zn – Cu – Ag – Mo – Ni, Cr, Co. Ано-

малия выходит за пределы рудного района и фиксирует крупную геологическую структуру — Татарско-Аяхтинский свод.

Татарский рудный узел, расположенный в южной части вышеназванной аномалии на южном фланге свода, сопровождается аномальными полями Au, As, Sn, Cu, Pb, Zn, Ag, Mo, Ni, Cr, Co. Наиболее четко рудный узел оконтуривается аномалией As. На восточном фланге Татарского массива имеются редкометалльные объекты — оловянные, вольфрамовые, ниобиевые.

Раздольнинский рудный узел геохимически выражен контрастной аномалией Au и небольшой слабоконтрастной аномалией Cu. По результатам крупномасштабной геохимической съемки на площади узла фиксируются мелкие неравномерно распределенные слабоконтрастные аномалии Au, As, Sb, Hg, Pb, Zn, Cu. Золото-антимонит-кварцевое Раздольнинское месторождение характеризуется низкими содержаниями золота, связанного с проявлениями ранней кварц-пирит-арсенопиритовой ассоциации. На площади узла находятся также золото-сульфидное Боголюбовское и золото-кварцевое Попутнинское месторождения. Главными ореолообразующими элементами всех этих объектов являются Au, As, Sb.

Золото-сульфидное оруденение Боголюбовского месторождения, по данным А.М.Кондратенко (1990 г.), сопровождается первичными ореолами Au, As, Sb, Ag, Pb, Zn, Cu, Ba, B, W, Co, Ni, V, Ti, Mn. На месторождении вскрыты рудные тела, выходящие на поверхность и выклинивающиеся с глубиной, и слепые рудные тела, мощность которых возрастает от флангов к центральной части месторождения, где они образуют крупный рудный столб. Его верхнерудные уровни сопровождаются контрастными ореолами As, Sb, Ag. В надрудной части отмечаются контрастные ореолы V и Ti, образующие ореолы выноса в пределах рудного тела, среднеконтрастные ореолы Pb, Zn, B и слабоконтрастные Ba. К нижним уровням рудных тел тяготеют ореолы Co, Cr, W, Mn. Ряд вертикальной зональности представлен Ti – Ba – As – Ag – Au – Sb – Cu – Co, Cr, W, Mn. Ореолы подчеркивают кулисообразное строение рудной зоны. Возрастание их мощности сопутствует образованию рудного столба, а погружение ореолов в западном направлении свидетельствует о перспективах глубоких горизонтов западного фланга.

Таким образом, несмотря на некоторые различия в элементном составе аномальных полей золоторудных районов и рудных узлов, главными элементами, определяющими их геохимическую специализацию в пределах всего Енисейского кряжа, являются Au, As и частично Sb. Зональность в распределе-

нии элементов-спутников для районов с проявлением гранитоидного магматизма татарско-аяхтинского комплекса может указывать на уровень эрозионного среза рудно-магматической системы. При этом для золото-кварцевых объектов характерно проявление элементов верхнерудного уровня, в то время как на золото-сульфидных объектах они практически отсутствуют. В районах развития гранитоидов тейско-посольненского комплекса с соответствующей геохимической специализацией наряду с редкометалльными объектами возможно обнаружение месторождений золото-кварц-антимонитового, золото-кварцевого и золото-сульфидного типов.

Предьенсейская субплатформенная нейтральная зона разделена нами на северную и южную подзоны. Северная подзона отличается резким уменьшением количества ореолообразующих элементов. В их спектре доминирует марганец. Наряду с крупными аномалиями Mn, присутствуют мелкие аномалии Cu и единичные крупные аномалии В и Р. Характерна Mn-Cu геохимическая ассоциация. Рудные объекты не установлены.

В южной подзоне на фоне крупных аномалий Mn появляется множество более мелких аномалий Au. Остальные элементы отмечаются в виде разбросанных локальных аномалий и находятся в подчиненном количестве. Характерна ассоциация элементов Mn – Au – Pb, Zn – Вe. На площади южной подзоны расположены железорудные месторождения и рудопроявления.

В результате анализа структуры геохимических полей Енисейского рудного пояса установлена региональная рудно-геохимическая зональность, проявленная в направлении с северо-запада на юго-восток. Она выражена следующим рядом геохимических ассоциаций: Cr, Ni, Co, Mn, (Au) – Sn, (Au) – Pb, Zn, (Au) – Au, As, Sb, Cu, (Sn) – Mn, Cu, (Au). Золото является сквозным элементом, который доминирует в Центральной зоне и имеет подчиненное значение в остальных зонах.

Геохимическая специализация региональных зон находится в соответствии с их металлогеническими особенностями и может служить прогнозным критерием на возможность обнаружения месторождений тех металлов, наиболее крупные и контрастные геохимические поля которых развиты на их площади.

Помимо зонального строения Енисейского рудного пояса в целом, наблюдается зональность в пределах отдельных геохимических зон. Ангаро-Тисская зона характеризуется преобладанием редкометалльных элементов в спектре геохимической ассоциации ее северной подзоны. На территории северной подзоны широко развиты гранитоидные

массивы, выходящие на поверхность и сопровождаемые ореолами Sn, Mo, W, Вe. В южной части по геофизическим данным интрузивные массивы предполагаются на глубине, и здесь в геохимической ассоциации доминируют Pb, Zn, As, служащие надынтрузивными ореолами. Таким образом, геохимическая зональность, проявленная в Ангаро-Тисской зоне, обусловлена изменением уровня эрозионного среза рудно-магматической системы.

В пределах Центральной золотоносной зоны зональность выражена сменой состава элементов-спутников при существенном преобладании главного рудного элемента — золота — на всем протяжении зоны. Геохимическая зональность проявлена в субмеридиональном направлении с севера на юг и выражена следующим рядом элементных ассоциаций, типоморфных для отдельных рудных районов: W, Cu – Pb, Zn, Cu – Sn, Pb, Zn, Cu, Ag, Mo. Уровень эрозионного среза рудно-магматической системы на всем протяжении зоны мало изменяется. На территории всех рудных районов имеются выходы на поверхность крупных и мелких гранитоидных массивов одинакового возраста. По представлениям многих исследователей, они относятся к татарско-аяхтинскому комплексу. Однако массивы существенно различаются по геохимическим особенностям.

На площади развития Чиримбинского, Каламинского и Гурахтинского массивов практически отсутствуют геохимические аномалии. Причем Чиримбинский массив служит фоновой полосой, отделяющей Северо-Енисейский рудный район от Большепитского. Лишь по его периферии в эндо- и экзоконтактной зонах наблюдаются мелкие аномалии Au, As, Cu, Ag, Sn, Mo.

Татарский и в меньшей степени Аяхтинский массивы сопровождаются крупными аномальными полями Au, Sn, Pb, Zn, которые в районе Татарского массива выходят далеко за его пределы. Различия в геохимических характеристиках массивов по гипотезе Т.Н.Херасковой [4] можно объяснить покровно-складчатый строением Енисейского кряжа, сформировавшимся на протяжении двух этапов. Каждый этап завершался внедрением коллизионных гранитов и метаморфизмом.

В ранний этап (1000–1100 млн. лет) коллизионные процессы привели к обдукции комплексов пассивной континентальной окраины на континентальный шельф, внедрению коллизионных гранитов тейско-посольненского комплекса (950–1100 млн. лет) и росту гранито-гнейсовых куполов. К автохтонным гранитам тейско-посольненского комплекса, сформировавшимся при завершении первого этапа покровообразования, на территории Ени-

сейского кряжа отнесены Татарский, Аяхтинский массивы и ряд других. В зоны метаморфизма, связанные с этими гранитами, вовлечены архейские и нижнепротерозойские образования, черносланцевые толщи нижней половины разреза сухопитской серии нижнего–среднего рифея, а также базит-ультрабазитовые породы, относимые автором гипотезы к рыбинскому ранне-среднерифейскому комплексу. Аллохтонное налегание пород рыбинского комплекса предполагается в окрестностях Татарского массива и по площади Южно-Енисейского района.

Базит-ультрабазитовые массивы обусловили рассеянное распространение локальных аномалий Co, Ni, Cr по всей площади района. Автохтонные граниты тейско-посольненского комплекса метаморфизируют образования рыбинского комплекса.

Второй этап покровообразования сопровождался обдукцией комплексов океанического бассейна и островной дуги на край палеоконтинента. Этот процесс завершился внедрением гранитов татарско-аяхтинского комплекса (850 млн. лет), к которому отнесены Чиримбинский, Гурахтинский и Каламинский массивы, расположенные в Северо-Енисейском рудном районе.

Разное время формирования и различный исходный материал, подвергшийся гранитизации, обусловили геохимические различия гранитоидов татарско-аяхтинского и тейско-посольненского комплексов и проявление геохимической зональности в Центральной зоне.

Таким образом, геохимическая зональность, проявленная в пределах Енисейского рудного пояса и в составляющих его геохимических зонах, явилась результатом длительной и сложной геологической истории развития региона.

В итоге проделанной работы выявлены следующие региональные геохимические факторы, определяющие промышленную золотоносность площади:

площадные геохимические аномалии золота, по размерам соответствующие таксонам рудного района, рудного узла и в меньшей степени месторождения;

типоморфная геохимическая ассоциация, включающая Au, As, Sb;

латеральная геохимическая зональность, обусловленная в масштабе рудного пояса структурно-формационными и металлогеническими особенностями составляющих его рудных зон, в масштабе рудных зон — рудно-геохимической специализацией рудных районов, в масштабе рудных районов — рудно-геохимической специализацией рудных узлов;

поликомпонентность и высокая контрастность аномалий, сопровождающих золоторудные узлы;

латеральная геохимическая зональность рудных узлов, как следствие вертикальной геохимической зональности, позволяющей судить об уровне эрозионного среза;

состав типоморфной геохимической ассоциации золоторудных месторождений, позволяющий судить о минерально-геохимическом типе оруденения.

В результате региональной геохимической съемки на территории Енисейского рудного пояса выявлен ряд аномальных геохимических полей, перспективных на обнаружение золоторудных объектов (рис. 8). По элементному составу и с учетом геологической ситуации эти аномалии разбуксованы нами по их принадлежности к разным типам оруденения. К золото-кварцевому, золото-сульфидному и золото-кварц-антимонитовому типам отнесены аномалии около- и надынтризивных ореолов гранитоидных массивов тейско-посольненского и татарско-аяхтинского комплексов, локализованные в сланцевых, карбонатно-сланцевых и углеродисто-сланцевых толщах. Главными ореолообразующими элементами этих аномалий являются Au, As и Sb. К комплексному золото-колчеданному и золото-медноколчеданному типам отнесены аномалии, обнаруженные в Исаковской фемической зоне с преобладающим развитием вулканогенно-осадочных пород, прорванных интрузиями татарско-аяхтинского комплекса. Для них, наряду с ореолами Au, характерно контрастное проявление ореолов Co, Ni, Cr, иногда Cu при отсутствии ореолов As. В отдельных гидрогеохимических пробах отмечаются повышенные содержания сурьмы. В пределах этих аномалий возможно также обнаружение золото-кварцевых объектов. К комплексному золото-полиметаллическому и золото-серебро-полиметаллическому типам отнесены аномалии в Гаревском полиметаллическом районе и на юге Предъенисейской зоны вблизи Раздольнинского рудного узла. Кроме ореолов Au, в них широко развиты ореолы Pb, Zn, As, Ag.

К наиболее перспективным на золото-кварцевое и золото-сульфидное оруденение относятся аномалии на территории Центральной золотоносной зоны вблизи известных рудных узлов на участках с благоприятной геологической ситуацией.

В Северо-Енисейском рудном районе выявлены три перспективные аномалии: аномалия Au вблизи восточной границы Советского рудного узла, по границам которой отмечается серия мелких аномалий As, а на ее площади находятся слабоконтрастные аномалии Ba, Be, Mn; комплексная аномалия Au, As, W, Sn между северной границей Верхне-

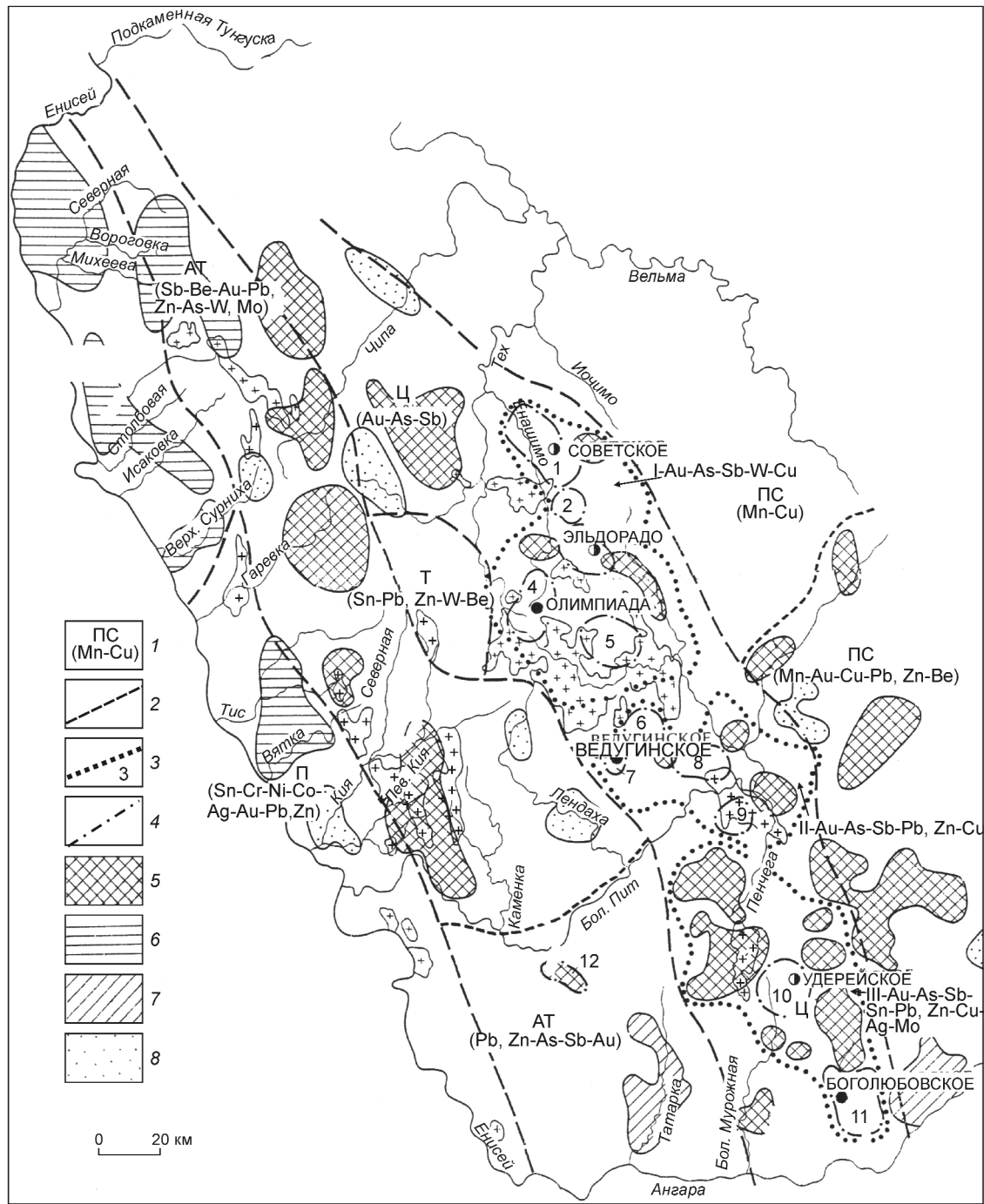


Рис. 8. Геохимическая специализация региональных зон Енисейского кряжа и золоторудных районов с элементами прогноза на золото:

1 — региональные геохимические зоны и их типоморфные элементные ассоциации; 2 — границы подзон; 3 — золоторудные районы и их типоморфные элементные ассоциации: I — Северо-Енисейский, II — Большепитский, III — Южно-Енисейский; 4 — золоторудные узлы: 1 — Советский, 2 — Александро-Агеевский, 3 — Перевальненский, 4 — Верхне-Енашиминский, 5 — Ерудинский, 6 — Панимбинский, 7 — Ведугинский, 8 — Таврикульский, 9 — Аяхтинский, 10 — Татарский, 11 — Раздольнинский, 12 — Зырянковский; участки, перспективные на выявление золоторудных объектов: 5 — золото-кварцевой и золото-сульфидной формаций, 6 — комплексного золото-колчеданного оруденения, 7 — комплексного золото-полиметаллического оруденения, 8 — рассеянной золотосодержащей минерализации

Енашиминского узла и западной границей Перевальненского; Au-As-Cu аномалия, вытянутая от Перевальненского рудного узла вдоль р. Вангаш.

В Большепитском рудном районе перспективны также три аномалии: Au-Cu у западной границы Таврикульского рудного узла; Au-Pb-Zn у восточной границы Таврикульского узла; Au с мелкими слабоконтрастными аномалиями Pb, Ag, Mo, Be и крупными геохимическими полями Ba и Ti.

В Южно-Енисейском рудном районе три крупные аномалии по размеру соответствуют таксону рудного узла: полиэлементная аномалия Au, As, Ni, Co, Cr, Cu, Pb, Zn, Sn, Ag, Mn между Аяхтинским и Партизанским массивами; полиэлементная аномалия Au, As, Ni, Co, Cr, Sn, Cu, Pb, Zn, Mn, охватывающая площадь Татарского массива и выходящая далеко за его пределы в западном направлении; Au-Pb-Zn-Sn аномалия, расположенная между Партизанским и Раздольнинским рудными узлами.

Четыре мелкие аномалии полиэлементного состава расположены в верховьях рек Большая Мурожная и Черная и северо-восточнее Партизанского рудного узла.

К перспективным отнесены также две крупные площади на северном фланге Центральной зоны, включающие группы сближенных аномалий Au, по размерам соответствующие таксону рудного района: полиэлементная аномалия Au, As, W, Pb, Zn, Be в пределах потенциального Вороговского рудного района; три сближенные аномалии Au, расположенные к северу от Вороговского района, с которыми пространственно связаны аномалии W и Mn.

В Ангаро-Вороговской геохимической зоне отмечается ряд перспективных площадей, приуроченных к гранитоидным массивам и образующих субмеридиональную полосу четковидного строения, на севере примыкающую к Центральной золотоносной зоне:

две сближенные слабоконтрастные аномалии Au на севере зоны приурочены к околосинтезивной зоне и включают ряд точек золото-кварцевой минерализации. Эти аномалии моноэлементны и указывают на возможный золото-кварцевый или золото-пирит-кварцевый тип предполагаемого оруденения;

крупная слабоконтрастная Au-As-Sn аномалия, расположенная южнее, соответствует потенциальному Гаревскому рудному узлу, на площади которого отмечается обилие точек слабозолотоносной кварцево-жильной минерализации. Перспективна на обнаружение скрытого золото-кварцевого оруденения;

комплексная слабозолотоносная небольшая аномалия между речья Тис-Вятка представляется пер-

спективной. Геологическая (массив тейско-посольненского комплекса) и геохимическая (контрастные аномалии As, Sn и слабоконтрастные Pb, Zn, W, Mo) ситуации сходны с Партизанским рудным узлом;

самая южная аномалия, соответствующая потенциальному Киликейскому рудному узлу, приурочена к двум крупным гранитоидным массивам тейско-посольненского комплекса и сопровождается элементами, типоморфными для золотого оруденения, связанного с гранитоидами этого комплекса, — Au, As, Sn, Pb, Zn, W, Be, Mn.

Серия аномалий золота, расположенных в Предьенсейской зоне и примыкающих с востока к Партизанскому рудному узлу, также сопровождается комплексом элементов-спутников. Аномалии находятся в геохимическом поле, сопровождающем Татарско-Аяхтинский свод.

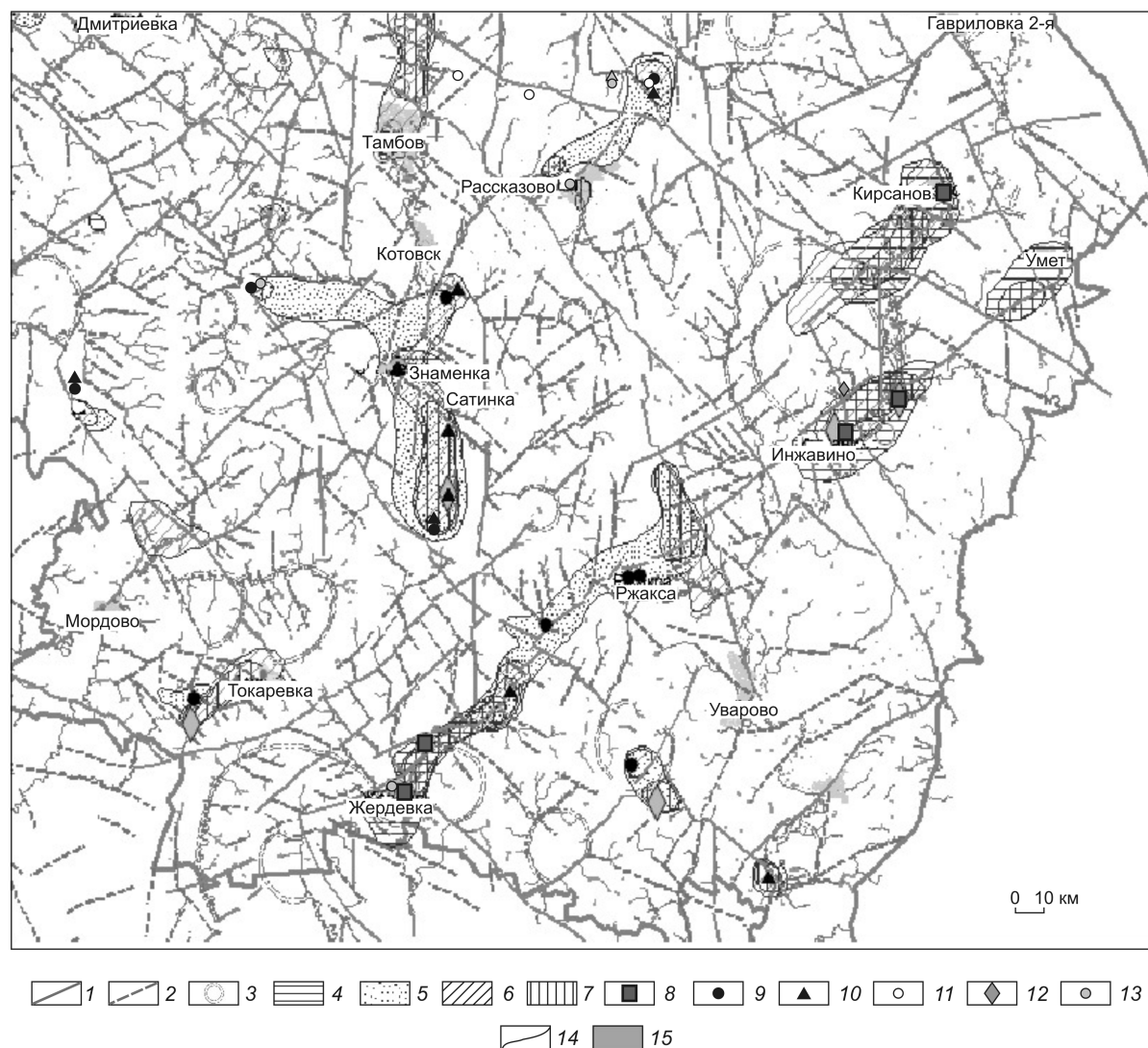
Прочие аномалии золота, на наш взгляд, не представляют практического интереса. Большая их часть моноэлементна и имеет небольшие размеры.

Все перспективные аномалии по размерам значительно меньше известных рудных районов, характеризуются меньшей контрастностью ореолов золота и, соответственно, меньшими прогнозными ресурсами. Не исключена возможность обнаружения скрытого оруденения, особенно на площадях развития верхних частей сухопитской и тунгусикской серий, приуроченных к надынтрузивному ореолу.

В целом перспективы на золотое оруденение как Центральной золотоносной зоны, так и всего Енисейского рудного пояса достаточно высоки. Выявленные при региональной съемке аномалии нуждаются в заверке крупномасштабными геохимическими работами с обязательным анализом на золото всех отобранных проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бровков Г.Н., Ли Л.В., Шерман М.А. Геология и металлогения Енисейского рудного пояса. — Красноярск, 1985.
2. Варгунина Н.П., Полякова Т.П. Околорудные метасоматические и геохимические критерии поисков и оценки вольфрам-золотого оруденения в углеродисто-терригенной толще // Тр. ЦНИГРИ. М., 1989. Вып. 232. С. 53–57.
3. Варгунина Н.П., Яблокова С.В. Минералого-геохимические критерии поисков золотоносных кор выветривания (на примере района с золото-сульфидным вкрапленным оруденением) // Тр. ЦНИГРИ. М., 1986. Вып. 212. С. 82–87.
4. Хераскова Т.Н. Новые данные о строении Енисейского кряжа // Геотектоника. 1999. № 1. С. 15–27.



Схематическая карта гидрохимических аномалий юго-восточной части Тамбовской области:

1 — разломы фундамента; 2 — разломы чехла; 3 — кольцевые куполовидные структуры; надпороговые гидрохимические аномалии: 4 — W, 5 — As, 6 — Pb, 7 — Cu; скважины с повышенным содержанием в воде химических элементов: 8 — W, 9 — As, 10 — Pb, 11 — Zn, 12 — Cu, 13 — Ni; 14 — реки; 15 — водоемы

ных пород отмечено ультратонкое золото с содержаниями до 20 мг/м^3 . Особого внимания заслуживает площадь в пределах Жердевской и Инжавинской кольцевых структур, приуроченных к зоне глубинных разломов северо-восточного простирания (рисунок). Эта площадь представляется наиболее перспективной на обнаружение эксгальационно-осадочных месторождений золота альпийской металлогенической эпохи. В пользу такого предположения свидетельствуют следующие факты:

при дешифрировании разрывных нарушений кристаллического фундамента и экзогенных геоло-

гических процессов по космическим фотоснимкам выявлена активная неотектоническая зона глубинных разломов, которая прослеживается от Ржаксы до Инжавино. В юго-западном направлении она четко дешифрируется до г. Анна (Воронежская область). В пределах Тамбовской области южная ветвь зоны маркируется многочисленными оползнями;

гидрохимическое опробование 132 скважин, эксплуатируемых на воду, показало повышенное содержание в воде некоторых из них ряда элементов, характерных для литогеохимических аномалий золоторудных полей (табл. 1).

2. Гидрохимические ассоциации элементов — косвенные индикаторы рудных месторождений в осадочном чехле и кристаллическом фундаменте

Ассоциации	Типы месторождений	
	в осадочном чехле	в фундаменте
Au – Bi – (Mo) – (Co)	Экспозиционно-осадочные проявления ультратонкого золота	?
W – Hg – (Cu) – (Pb) – (Y)		Редкометалльно-золото-кварцевый прожилково-жильный
As – (Bi) – (Sb)		Мышьяково-золоторудный прожилково-вкрапленный
As – Pb – (Cu) – (Zn) – (Co)		Полиметалльно-золоторудный жильный
Pb – Zn		
Cu – Ni – (Pb) – (Y)	Медистые песчаники, солевые ореолы меди	

На большинстве полигенных золоторудных месторождений, несмотря на существенные различия в условиях их формирования, рудный процесс протекает по одной схеме с образованием в том или ином количестве идентичных парагенетических минеральных ассоциаций: от (шеелит)-золото-кварцевой через золото-арсенопирит-пиритовую и золото-полисульфидную до (золото)-серебряной с теллуридами, золото-антимонитовой и золото-киноварной [2].

Первичные геохимические ореолы рудных полей с уникальными месторождениями золота обычно занимают площади до 30 км² и включают такие элементы: Au, W, Bi, As, Ag, Mo, Pb, Cu, Zn, Sb, Co. Они образуют последовательный ряд индикаторных геохимических ассоциаций Au+W+Bi – Au+As – Ag+Pb+Sb+Cd. Наиболее крупные ореольные поля образуют As, Au, W. Среди них As является важнейшим элементом-индикатором золоторудных месторождений. Его парагенетическая связь с золотом, выявленная в Средней Азии, привела к открытию в Центральных Кызылкумах Узбекистана уникального месторождения Мурунтау.

Химические элементы, выявленные в водоносных горизонтах Тамбовской области и предположительно связанные с корово-мантийным источником вещества, объединены в несколько ассоциаций. Гидрохимические ассоциации образуют слабо выраженные надпороговые аномалии, которые формируются в основном в границе аномалий гелия. В них иногда присутствует ртуть. Аналогичный набор химических элементов установлен в неокатаных золотилах рудопоявления Воронежской области, а их ассоциации отдаленно корреспондируются с золоторудными месторождениями золота черносланцевых толщ (табл. 2).

По данным исследователей региона, Ge в подземных водах — надежный индикатор глубинных разломов. В границах области аномалии полей Ge имеют, как правило, узловое распределение и тяготе-

ют к участкам пересечения разломов северо-западных, северо-восточных и меридиональных систем. К северу от Тамбова содержания Ge в эпицентре водно-гелиевых аномалий колеблются в пределах $(60-556) \cdot 10^{-5}$ мл/л, а к югу от административного центра заметно возрастают и достигают $(1020-3218) \cdot 10^{-5}$ мл/л.

Большинство характеризуемых надпороговых аномалий отмечается в Хоперском мегаблоке, сложенном воронцовской серией нижнего карелия, представленной флишовой углеродисто-терригенно-сланцевой формацией. Некоторые из ассоциаций ограничены по площади распространения разломами фундамента. Так, ассоциация Au – Bi ограничена с юга транзитным разломом, прослеженным от г. Мичуринска до г. Уварова, и северо-восточным разломом, ограничивающим наложенную Воронежско-Шукавскую грабен-синклиналь. К северу от этого разлома в ассоциации Pb – Zn (левобережье р. Цна) доминирует Zn, а к югу от него характерны аномальные содержания Pb. Часть комплексных аномалий контролируется северо-восточной зоной разломов фундамента, к которой в окрестности населенного пункта Анна приурочены два рудопоявления, отнесенные к золото-платино-содержащей полиметалльной формации [5].

На начальном этапе изучения золотоносности Тамбовской области целесообразно ограничиться поисками экспозиционно-осадочных проявлений ультратонкого золота в меловых, неогеновых и четвертичных отложениях. По данной модели рудообразования в терригенных толщах осадочного чехла могут формироваться простые по минеральному составу и бедные по содержанию месторождения золота, где добыча последнего возможна в качестве попутного компонента. При планировании поисков следует учесть опыт аналогичных работ, выполненных в Воронежской области. С этой целью предусматривается опробование карьеров

и естественных обнажений, расположенных в границах выделенных участков, в комплексе с гидрохимическим опробованием действующих скважин и поверхностных водотоков в меженный летний период для минимизации влияния атмосферных осадков.

При опробовании продуктивных горизонтов следует обратить особое внимание на органосодержащие литологические пачки, обогащенные сульфидами или продуктами их окисления, а также на наличие в приповерхностной части разреза протяженных экранов.

При получении положительных результатов на участке Жердевской кольцевой структуры, где фундамент залегает на глубинах 200–350 м, рекомендуется приступить к глубинным поискам месторождений золота редкометалльно-золото-кварцевого типа в отложениях воронцовской серии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геохимические особенности и генезис золота осадочного чехла Воронежской антеклизы* / А.Д.Савко, Л.Т.Шевырев, В.В.Ильяш и др. // Вест. Воронежского гос. ун-та. Сер. геол. 1996. № 2.
2. *Золоторудное месторождение Мурунтау* / Коллектив авторов. – Ташкент: ФАН АН Республики Узбекистан, 1998.
3. *Савко А.Д., Шевырев Л.Т.* Ультратонкое золото // Тр. НИИ геологии ВГУ. Воронеж, 2001. Вып. 6.
4. *Савко А.Д., Шевырев Л.Т.* Перспективы создания минеральной базы высоколиквидного сырья // Вест. Воронежского гос. ун-та. Сер. геол. 2002. № 2.
5. *Чернышов Н.М., Молотков С.П., Рыборак М.В.* Первая прогнозно-минерагеническая карта благородно-металльного оруденения докембрия ВКМ (принципы построения, содержание, прогнозно-поисковое и фундаментальное значение) // Вест. Воронежского гос. ун-та. Сер. геол. 2002. № 2.

ДИСКУССИИ

УДК [553.41+553.98+553.81]:552.5 (571.56)

© М.М.Константинов, 2008

УГЛЕРОДНЫЙ ФЕНОМЕН ЯКУТИИ

М.М.Константинов (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Обосновано положение о наличии широкого ареала привноса углерода в области рудоотложения на Сибирской платформе и в Верхоянской складчатой области. С выделенным ареалом генетически и парагенетически связываются месторождения алмазов, редкометалльных карбонатитов, серебра и газонефтяные залежи.

Рассматриваемый район включает восточную часть Сибирской плиты с фрагментами Анабарского и Алданского щитов и Верхоянский складчатый пояс. В пределах плиты расположена Вилуйская синеклиза. По ограничивающим ее разломам северо-восточного простирания она трансформируется через Верхоянский складчатый пояс, контролируя размещение рудных полей с месторождениями серебра. На этой же территории находятся уникальная алмазоносная провинция, месторождения газоконденсатов, гигантское месторождение карбонатитов (Томтор), крупные месторождения серебра, золота и олова.

А.И.Киселев и др. [5], проанализировав размещение дайковых поясов в пределах Сибирской платформы, установили, что они размещаются в виде гигантского веера. В месте схождения отдельных составляющих веера авторы предполагают наличие мантийного плюма, который и обусловил образование кимберлитового и базитового магматизма.

С учетом этих разработок, некоторых особенностей металлогении Западного Верхоянья, а также под влиянием известных теоретических построений выдающегося исследователя П.Ф.Иванкина, касающихся углеродистого метасоматоза [5], у автора возникло представление о наличии широкого ареала привноса углерода, реализуемого, в зависимости от геологических условий, в различных типах месторождений. Примерно в центре этого ареала находится предполагаемый А.И.Киселевым мантийный плюм (рис. 1).

В пределах вендских карбонатных толщ Сетте-Дабанского антиклинория находится крупное Горноозерское месторождение фосфатно-ниобиевых карбонатитов. Возраст карбонатитового массива, по данным Ю.А.Багдасарова [2], составляет 320–

280 млн. лет. По мнению этого автора, он входит в группу карбонатитов периферии Сибирской платформы (Маймеча-Котуйская, Чадобецкая провинции и др.). Однако его нахождение вблизи выделенного нами ареала, по-видимому, также не случайно.

Якутская кимберлитовая провинция, согласно А.В.Уханову и др. [11], представленная сотнями кимберлитовых трубок, образует пояс протяженностью 1500 км при общей площади около 800 000 км². Авторы отмечают, что длительность формирования провинции составляет около 300 млн. лет и включает три эпохи кимберлитового магматизма: ранне-среднекаменноугольную, средне-позднетриасовую, позднеюрско-раннемеловую. Данные абсолютной геохронологии позволяют детализовать циклы кимберлиитообразования, выделив пять этапов, от позднеордовикского (450–440 млн. лет) до позднеюрского (159–145 млн. лет). Наряду с трубками и линейными телами кимберлитов, широко проявлены дайки базальтов и мелкие тела карбонатитов.

По приближенной оценке В.И.Ваганова [3], общее количество кимберлитовых трубок в провинции порядка 200, из них алмазоносных — около 90. Общее количество алмазов (запасы, ресурсы и добытые) составляет примерно 12 млрд. карат, что соответствует 1200 т углерода. Однако в действительности количество привнесенного в пределах провинции углерода, по-видимому, значительно выше, если учесть наличие в трубках карбонатных брекчий и широкое развитие карбонатитов.

Изотопный состав углерода алмазов образует компактную группу с модельным значением $\delta^{13}\text{C}$ 5‰ (разброс от 4 до 9‰) (рис. 2). Э.М.Галимов источником таких алмазов считает концентрированный эндогенный углерод мантии.

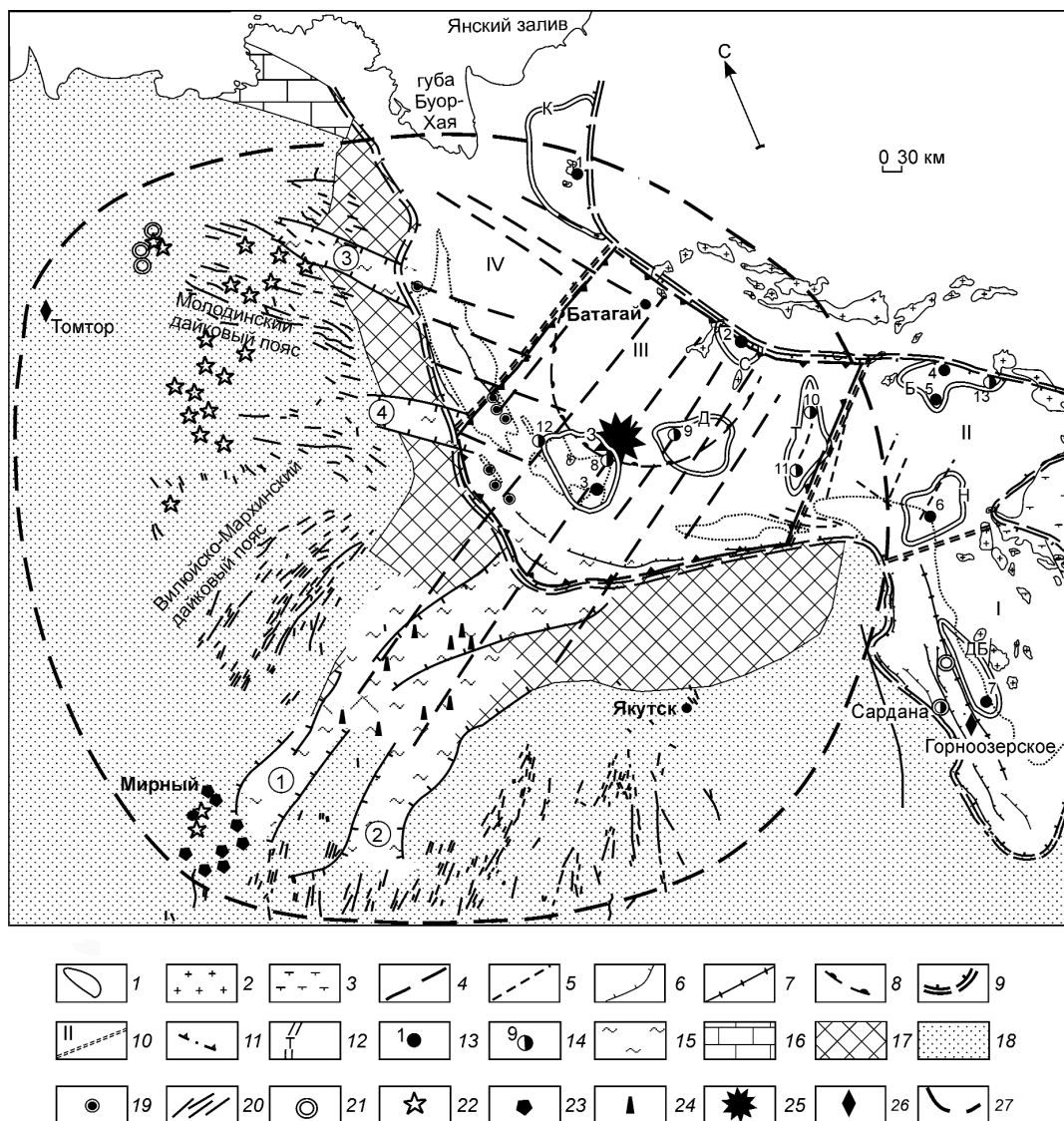


Рис. 1. Схема металлогенического районирования Верхоянской металлогенической провинции и расположение среднепалеозойских магматических образований на востоке Сибирской платформы:

1 — рудоносный страгоруевень C_3-P_1 ; 2 — интрузивы кислого состава; 3 — вулканиты кислого состава; разломы: 4 — сквозные региональные, 5 — переходного типа, 6 — надвиги, 7 — рифтогенные; 8 — кольцевая структура (по космоснимкам); металлогенические границы: 9 — Верхоянской золото-серебряной провинции, 10 — металлогенических областей, 11 — Верхоянской серебрянорудной провинции (предполагаемые), 12 — рудных районов (К — Кючусский, 3 — Западно-Верхоянский, С — Сентачанский, Д — Дербек-Нельгесинский, Т — Томпо-Делиньинский, Б — Бадранский, Н — Нежданнинский, ДБ — Дуэт-Бриндакитский); месторождения: 13 — золоторудные (1 — Кючус, 2 — Сентачан, 3 — Аркачан, 4 — Сарылах, 5 — Бадран, 6 — Нежданнинское, 7 — Дуэт), 14 — серебрянорудные (8 — Мангазейское, 9 — Прогноз, 10 — Заря, 11 — Хачакчан, 12 — Кимпече, 13 — Курдат); 15 — рифты (цифры в кружках: 1 — Ыгыаттинский, 2 — Кемпендяйский, 3 — Кютюнгинский, 4 — Собопольский); 16 — осадочные бассейны с морскими отложениями мощностью до 1,5 км; 17 — участки наибольших поднятий, сопряженные с рифтами; 18 — области отсутствия среднепалеозойских отложений; 19 — диапиры гипсов и ангидритов с обломками девонских базальтов; 20 — дайки базитов; 21 — массивы пород ультраосновного-щелочного состава и карбонатитов; 22 — кимберлиты; 23 — базитовые трубки взрывов; 24 — газонефтеносные месторождения; 25 — местоположение мантийного плюма; 26 — карбонатитовые месторождения; 27 — ареал углеродного феномена

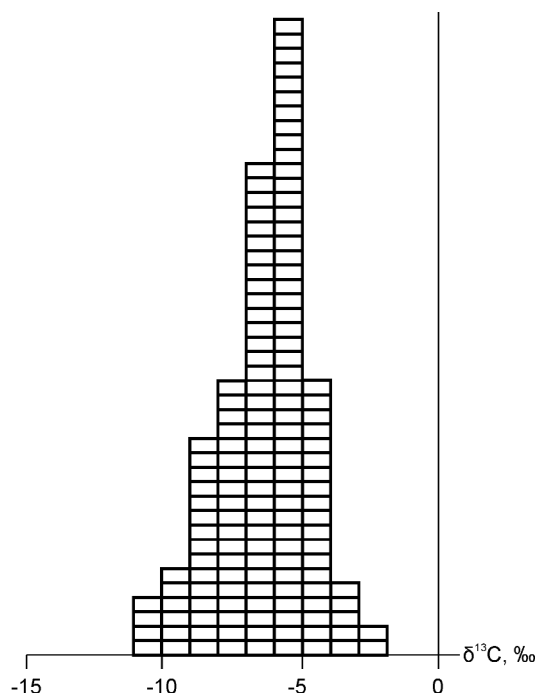


Рис. 2. Гистограмма распределения изотопного состава углерода алмазов Якутской провинции, по [10]

Другая форма локализации глубинного углерода — образование карбонатитовых массивов. К одному из них, по данным Е.М.Эпштейна и др. [13], приурочено уникальное Томторское ниобий-редкоземельное месторождение карбонатитов. Оно расположено на восточном склоне Анабарского щита и локализовано в верхнепротерозойских отложениях. Массив, второй в мире по размерам (250 км²), имеет форму вертикального цилиндра, прослеживающегося на глубину с учетом данных структурного бурения минимум на 2 км, т.е. сопоставим с трубкой кимберлитов. Как полагают Е.М.Эпштейн и др., такой крупный массив сформировался в центробежном режиме на пересечении серии различно ориентированных разломов. Наиболее ранними породами — ийолитами — сложена внутренняя его часть, по их периферии внедрялись нефелиновые сиениты. В ядре массива локализованы собственно карбонатиты. Их формирование было многостадийным и включает наиболее позднюю доломит-анкеритовую стадию. Последняя слагает около 2/3 площади среза карбонатитового комплекса и несет продуктивную ниобий-редкоземельную фосфорную (пироклор-монацит-флоренсит-бастнезитовую) минерализацию. В эту же стадию формировались трубообразные тела взрывных карбонатитовых брекчий, что свидетельствует о высокой газонасыщенности рудооб-

разующего процесса. Возраст редкометалльных карбонатитов оценивается в 670–590 млн. лет.

Карбонатиты Томтора характеризуются отношением $^{37}\text{Sr}/^{36}\text{Sr}$, соответствующим модальному отношению для карбонатитов — 0,7030–0,7040, что говорит об их глубинном происхождении [7]. Отмечается широкий разброс значений $\delta^{13}\text{C}$. Это указанные авторы объясняют возможностью смешения глубинного и метеорного углерода. На диаграмме $\delta^{13}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ (рис. 3) точки карбонатитов образуют тренд, начинающийся от значений, характерных для магматических карбонатитов, и продолжающийся по направлению к полю карбонатов, характерных для осадочных пород восточного склона Анабарского щита (~ -18–25).

Лено-Вилюйская нефтегазоносная область локализована в бассейне вулканогенно-осадочного типа и подразделяется на Вилюйскую синеклизу и Предверхоанский прогиб. Развитые в их пределах отложения слагаются породами средней зрелости, в разрезах выделяются пять продуктивных этажей: PZ_1-C_2 , C_3-T_1 , T_{2-3} , J_{1-2} , J_3-K_2 . Преобладают газовые залежи, с глубин более 2000 м — газоконденсатные, продуктивные пласты (до 10 горизонтов).

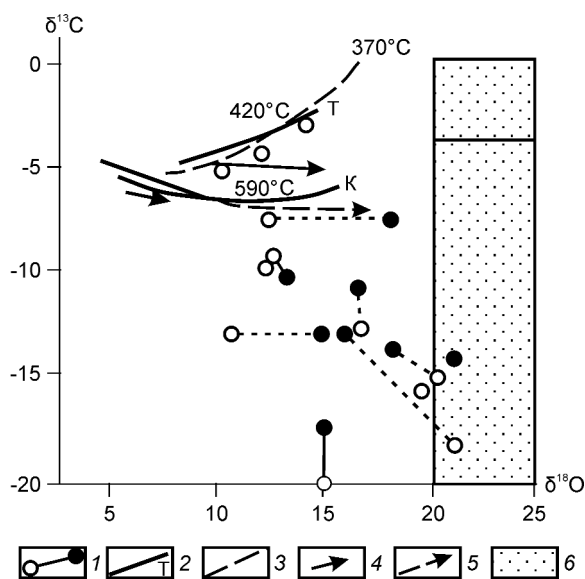


Рис. 3. Соотношение $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, по [7]:

1 — для руд верхнего рудного горизонта месторождения Томтор (залитый кружок — кальцит, полый — доломит ($\pm\text{MnCO}_3$, FeCO_3)); 2 — для трендов фракционирования в пределах карбонатитовых серий месторождений — Т (Томтор) и К (Кайзерштуль, Германия); температуры формирования: 3 — карбонатитовой серии Малосаянского массива, 4 — вкрапленников кальцита и основной массы карбонатитов Кайзерштуля, 5 — закаленных контактов и центральных частей даек карбонатитов Кайзерштуля, 6 — гидротермальных, вторичных и осадочных карбонатов Кайзерштуля (в верхней части — осадочных карбонатов восточного склона Анабарского щита)

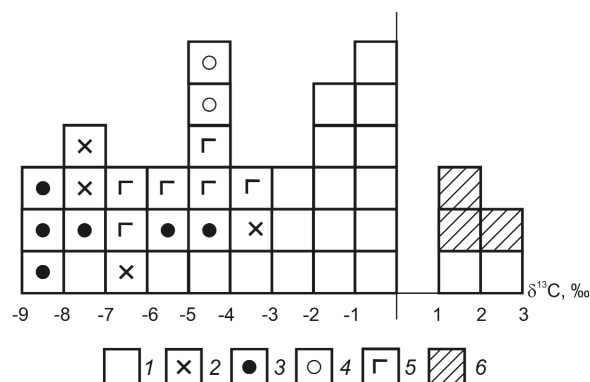


Рис. 4. Гистограмма распределения $\delta^{13}\text{C}$ в сидеритах серебро-свинцово-цинковых и золото-кварцевых месторождений:

месторождения: 1 — Кимпече, 2 — Мангазейское, 3 — Прогноз, 4 — Аркачан, 5 — Горноозерское, 6 — Сардана

Как видно из таблицы, состав изотопов углерода газовых и газоконденсатных залежей аналогичен таковым других горючих полезных ископаемых [12]. Возникает вопрос, какое в этом случае отно-

шение имеют газоконденсатные залежи к ареалу глубинных магматических процессов. Наиболее объективный ответ содержит гипотеза неорганического происхождения нефти. Возможно, происходит латеральная сепарация углерода под воздействием эндогенных процессов и скопление легкого, по-видимому, наиболее подвижного его изотопа, в депрессии. Наконец, возможно селективное поглощение легкого изотопа углерода при биогенезе с последующим захоронением и преобразованием в газоконденсатные и нефтяные залежи.

Западно-Верхоянская провинция золотых и серебряных месторождений выделяется в пределах всей Верхоянской металлогенической зоны необычайно широким распространением карбонатов железо-магнезиального ряда — сидерита и анкерита. Уже более полувека назад исследователи Западного Верхоянья (А.Д.Вихерт и др.) отмечали широкое развитие жил, линз и штоков карбонатов в Верхоянском терригенном комплексе (т.е. в «чуждой» по составу среде).

Все известные в этой провинции месторождения серебро-свинцово-цинковой формации за-

Характеристика газовых и газоконденсатных залежей, по Ф.А.Алексееву и др. 1978, А.Н.Дмитриевскому, 1982, 2002, Е.И.Бодунову, Е.Ф.Доильницыну, В.С.Лебедеву, С.И.Гольшеву, А.Э.Конторовичу, В.А.Каширцеву, В.С.Ситникову, 1986, 2002

Структура, месторождение	Интервал, м	Возраст	Тип залежи	$\delta^{13}\text{C}$, ‰*
<i>Среднетюнская</i>				
Барыканское	3316–3332	P ₂	Г	-32,8
<i>Балагачинская</i>				
Средневиллюйское	1647	T	Г	-35,1
<i>Хайлохское</i>				
Мастахское	3866–3953	P–T	Г	-30,0–31,7
	1744	P	Г	-33,9–30,0
Соболохское	-3344	P ₂	ГК	-24,5–24,6*
	2155–3541	T ₁ , P ₂	Г	-29,5–37,0
Неджалинское	1148–1584	J ₁₋₂	Г	-32,0–43,4
	3093–3125	P ₂	ГК	-27,4–30,1
Бадаринское	3012–3687	T	Г	-29,6–32,2
<i>Бахынайская</i>				
Таловское	1803–2673	T, P ₂	ГК	-29,6–30,4
Сабохоянское	1570–1587		ГК	-42,4
Устьвиллюйское	1511–2531	J, T	ГК	-29,2–24,4*
<i>Нижневиллюйская</i>				
Битумоид, легкие нефти, конденсат (118 определений)		PZ ₃ –MZ		-23,5–28,8, преобладают -25–26

Примечание. Г — газовые залежи, пласты; ГК — газоконденсатные залежи; изотопный состав углерода $\delta^{13}\text{C}$, ‰* — метан.

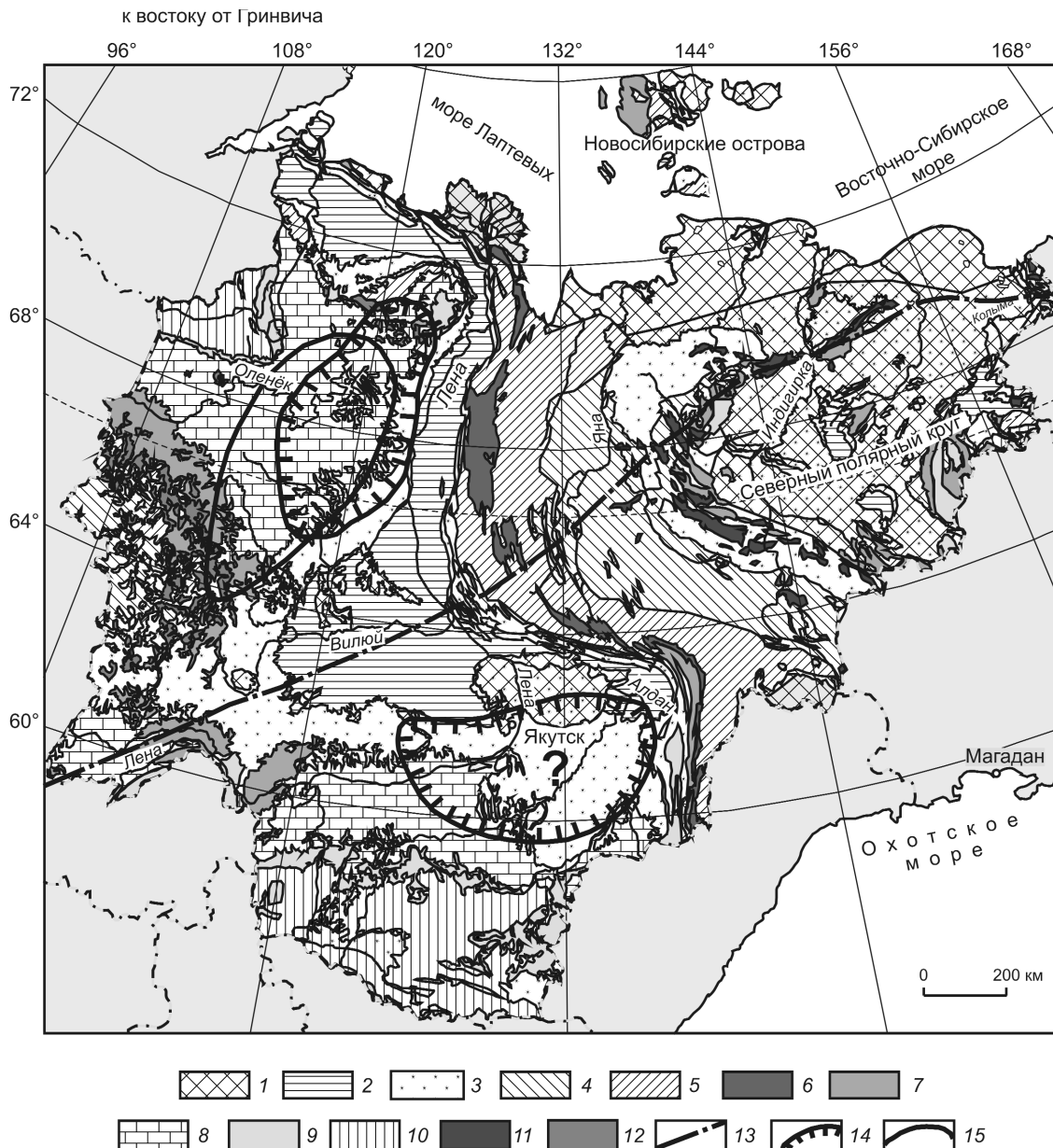


Рис. 5. Трансконтинентальный глубинный разлом и плотностные аномалии в схеме геологического строения Якутии, по [10]:

возраст отложений, выходящих на поверхность: 1 — кайнозойский, 2 — меловой, 3 — юрский, 4 — триасовый, 5 — пермский, 6 — каменноугольный, 7 — ордовик–девонский, 8 — кембрийский, 9 — позднепротерозойский, 10 — архей–раннепротерозойский; 11 — мезозойские граниты; 12 — интрузивные траппы (возраст 250 млн. лет); 13 — трансконтинентальный глубинный разлом; 14 — положительные гравиметрические аномалии; 15 — контуры Якутской алмазоносной провинции

ключают сульфосоле-сульфидный агрегат, наложенный на карбонатную (анкеритовую или сидеритовую) матрицу (жилу или линзу), и, в свою очередь, пересекаемую жилками карбонатов. Кварц играет резко подчиненную роль. Нужно сказать, что для месторождений серебра это не редкость. Так, месторождение Керр д-Ален на западе США

представляет собой плитообразные сидеритовые тела большой протяженности, на которые наложена серебро-полиметаллическая ассоциация (с ураном). Локализованы эти тела также в «чужеродной» среде — кристаллических сланцах протерозоя. Однако для месторождений золота такой парагенезис чрезвычайно редок. Пояс золото-кварце-

вых месторождений, протягивающийся через всю Верхоянскую складчатую систему от месторождений Сетте-Дабанского антиклинория на юге до месторождений хребта Кулар на севере, характеризуется наличием жильных кварцевых тел с наложенной золото-полиметаллической минерализацией и слабыми альбит-серицитовыми изменениями боковых пород или даже полным их отсутствием. Карбонаты присутствуют в незначительном количестве. Исключение составляет месторождение Аркачан, находящееся в пределах выделенного нами ареала [1].

Месторождение Аркачан представлено серией сближенных сколовых трещин северо-восточного простирания, локализованных в нижнепермской песчано-глинистой толще. Трещины контролируют зоны прожилково-вкрапленного и жильно-прожилкового типа сидеритового состава с широким ореолом карбонатных метасоматитов. Последние несут небольшое количество пирита и халькопирита, на которые наложена кварц-полисульфидная минерализация с золотом. Гистограмма изотопного состава углерода $\delta^{13}\text{C}$ в сидерите серебро-полиметаллических месторождений и золото-кварцевого Аркачанского, составленная нами по материалам В.В.Аристовой и Н.А.Тихоновой (рис. 4), показывает, что значения изотопного состава углерода совпадают с таковыми из осадочных карбонатов кембрийского и девонского возрастов [8]. Есть все основания полагать, что эти жильные карбонаты являются продуктом регенерации подстилающих пород. Заметим, что еще в 1963 г. М.М.Константинов (старший) отмечал возможность регенерационного происхождения многочисленных полиметаллических месторождений Западного Верхоянья (Эндыбальского, Мангазейского, Безымянного и др.). О заимствовании рудными телами компонентов из нижележащих каменноугольных и девонских карбонатных толщ свидетельствует карбонатный состав минералов (сидерит, кальцит) в пластовых и секущих жилах, залегающих среди пермского песчано-сланцевого комплекса, полностью лишенного карбонатных пород [6]. В отношении жильной минерализации Аркачанского месторождения аналогичный вывод был сделан в вышеупомянутой статье В.В.Аристовой и др. [1].

В пределах выделенного нами ареала осталась не рассмотренной обширная территория к юго-востоку от г. Якутска, перекрытая в основном юрским осадочным чехлом. Для ее оценки привлечем дополнительные соображения.

Некоторые исследователи [9] рассматривают осевую часть Вилуйской синеклизы как фрагмент трансконтинентального глубинного разлома, на се-

веро-восток трассирующегося по северному обрамлению Колымского массива и уходящего на юго-запад до Аравийского полуострова. К северо-западу и юго-востоку от разлома фиксируют две положительные гравиметрические аномалии, так что вся структура, как Сибирской плиты, так и Верхоянского прогиба, приобретает некоторый элемент симметрии (рис. 5). Северо-западная гравитационная аномалия в существенной части совпадает с алмазонасной провинцией. Можно полагать, что и юго-восточная аномалия под юрским чехлом включает кимберлитовые и карбонатитовые образования и, следовательно, заслуживает детального изучения.

Приведенные данные показывают, что существует широкий ареал привноса углерода в область рудообразования, связанный с глубинными магматическими и энергетическими процессами. Этот процесс был полициклическим и захватывал широкий временной интервал (около 400 млн. лет). Углерод связан с глубинными (мантийными?) процессами, регенерацией осадочных образований, активацией биогенеза с накоплением углерода в зонах глубинных разломов.

Полученные данные открывают некоторые новые подходы к региональному прогнозированию.

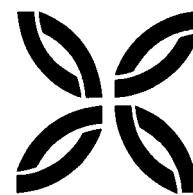
Автор благодарит В.И.Ваганова и Е.Д.Сынгаевского за ценные консультации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аркачанское золоторудное месторождение, Западное Верхоянье / В.В.Аристов, М.М.Константинов, Г.Ю.Орлова и др. // Руды и металлы. 2003. № 4. С. 15–31.
2. Багдасаров Ю.А. Редкометальное оруденение и перспективная оценка Горноозерского карбонатитового массива // Руды и металлы. 2003. № 4. С. 51–60.
3. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и мира. – М.: Геоинформмарк, 2000.
4. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Глубинная флюидизация земной коры и ее роль в петрорудогенезе, соле- и нефтеобразовании. – М.: ЦНИГРИ, 2001.
5. Киселев А.И., Егоров К.Н., Масловская М.Н. Геодинамика развития кимберлитового и базитового магматизма в области Вилуйского палеорифта // Отечественная геология. 2002. № 4. С. 40–45.
6. Константинов М.М. (старший). Происхождение стратифицированных месторождений свинца и цинка. – М.: Изд. АН СССР, 1963.
7. Кравченко С.М., Беляков А.Ю., Покровский Б.Г. Геохимия и генезис массива Томтор (север Сибирской платформы) // Геохимия. 1992. № 8. С. 1094–1110.
8. Кулешов В.Н. Изотопный состав и происхождение глубинных карбонатов. – М.: Наука, 1986.

-
9. *Садовский А.И.* Тихоокеанский тектогенез, его распространение и возможная природа // Тихоокеанская геология. 1982. № 2. С. 104–116.
10. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М.Парфенова.* – М.: Наука-Интерпериодика, 2001.
11. *Уханов А.В., Рябчиков И.Д., Харьков А.Д.* Литосферная мантия Якутской кимберлитовой провинции. – М.: Наука, 1988.
12. *Фор Г.* Основы изотопной геохимии. – М.: Мир, 1989.
13. *Эпштейн Е.М., Данильченко Н.А., Постников С.А.* Геология Томторского уникального месторождения редких металлов (север Сибирской платформы) // Геология рудных месторождений. 1994. Т. 36. № 2. С. 83–110.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



10 февраля 2008 г. исполнилось 100 лет **Галине Дмитриевне Карамышевой** — геоморфологу-россыпнику, старшему научному сотруднику ЦНИГРИ до 1966 г.

Многолетняя и плодотворная трудовая деятельность Г.Д.Карамышевой неразрывно связана с ЦНИГРИ. После окончания географического факультета МГУ в 1936 г. она поступила во вновь созданный институт НИГРИ-золото-ЦНИГРИ и проработала в нем более 30 лет. Вместе с институтом прошла тяжелый путь войны, эвакуации в Макарак, где напряженные полевые и камеральные исследования сочетались с трудным, неустроенным бытом и, наконец, возвращением в Москву.

Г.Д.Карамышева — один из основателей школы россыпников ЦНИГРИ, отличающейся разносторонним комплексным подходом к изучению генезиса россыпей в целях их прогнозирования, поисков, оценки.

Большой вклад внесла Г.Д.Карамышева в изучение геоморфологии и россыпной золотоносности Урала, Кузнецкого Алатау, Салаирского кряжа, Бурятии, Северного Кавказа, юга Западной Сибири и Ленского района. Для этих территорий ею составлены мелко- и крупномасштабные геоморфологические карты с данными по золотоносности россыпей, способствовавшие повышению уровня геологоразведочных работ. Участник первой и второй Ленских экспедиций, Г.Д.Карамышева проводила детальные исследования геоморфологии и стратиграфии четвертичных отложений Кропоткинского золотоносного района в бассейне р. Вача, которые позволили обосновать выявление уникальных россыпей золота. Прогнозные рекомендации Г.Д.Карамышевой, в том числе по Сухому Логу, не утратили своей актуальности до настоящего времени и успешно реализуются золотодобытчиками.

Г.Д.Карамышева обладает такими замечательными качествами исследователя, как высокая требовательность к себе, организованность в работе, умение критически анализировать факты, которые отличают геологов ее поколения. Научные труды Г.Д.Карамышевой, посвященные геологии и генезису россыпей, направлены на решение практически важных задач. Основные опубликованные работы — «К вопросу о строении и генезисе рыхлых отложений центральной части Патомского нагорья» (1960 г.), «Особенности геологии и условия формирования погребенных прибрежных россыпей на примере одного из районов юго-восточной части Западно-Сибирской низменности» в соавторстве (1961 г.).

Отмечая славный юбилей, желаем Галине Дмитриевне доброго здоровья, благополучия и «так держать!».



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

22 января 2008 г. исполнилось 80 лет **Василию Ивановичу Зеленову** — известному ученому, кандидату технических наук, специалисту в области обогащения руд благородных металлов.

В.И.Зеленов более 50 лет проработал в ЦНИГРИ. С 1965 по 1980 гг. возглавлял отдел обогащения минерального сырья, с 1980 по 1983 г. был заместителем директора ЦНИГРИ по научной работе, с 1983 г. заведовал лабораторией физико-химических основ обогащения и лабораторией геотехнологии руд цветных и благородных металлов, с 2002 г. — на заслуженном отдыхе.

В.И.Зеленовым разработаны методические основы технологической оценки руд благородных металлов, новое направление в обогащении — биосорбция золота, внесен существенный вклад в исследование процесса кучного выщелачивания золота из руд и техногенного сырья. Под его руководством и при непосредственном участии созданы и внедрены технологии извлечения благородных металлов из руд десятков месторождений России и стран СНГ, таких как Дукат, Эвенское, Карамкен, Хаканджинское. За разработку технологии обогащения серебряных руд месторождения Большой Канимансур В.И.Зеленов в 1989 г. удостоен Государственной премии СССР.

В.И.Зеленов — автор более 200 научных работ, среди которых девять монографий, 31 авторское свидетельство на изобретения. Заслуженным вниманием пользуются работы «Практика обогащения руд цветных и редких металлов» (1967 г.), «Флотация серебряных минералов с различными реагентами-собирателями» (1976 г.), «Развитие теории и технологии флотации золото- и серебросодержащих руд» (1992 г.), «Минеральное сырье. Серебро». Справочник (1998 г.). Его книга «Методика исследований золото- и серебросодержащих руд» (1989 г.) вышла тремя изданиями и стала справочным пособием для обогатителей, геологов и студентов. Под руководством В.И.Зеленова успешно защищены восемь кандидатских диссертаций.

Заслуги В.И.Зеленова перед отечественной геологической наукой отмечены многими правительственными наградами, среди которых орден «Знак Почета», медали «За доблестный труд», «50 лет победы в Великой Отечественной войне», «Ветеран труда», знаки «Отличник разведки недр», «Почетный разведчик недр», «300 лет горно-геологической службы России».

Поздравляем Василия Ивановича с юбилеем, желаем доброго здоровья, благополучия, долгих и счастливых лет.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

При оформлении статей необходимо руководствоваться следующими правилами.

Объем статьи не должен превышать 15 страниц, включая аннотацию (не более 1/3 страницы), таблицы и список литературы. Оставляются поля сверху (2 см), снизу (2 см), справа (1 см) и слева (3 см). Все страницы рукописи нумеруются. **В редакцию представляются один экземпляр статьи — распечатка с принтера, а также текст на дискете в форматах Word (*.doc, *.rtf) — предпочтительно, Text format (*.txt) с использованием шрифта Times New Roman (размер 12, полуторный межстрочный интервал); для таблиц такой же шрифт (размер 9–10, один межстрочный интервал). Таблицы и подписи к рисункам помещаются в отдельные файлы.** По окончании работы дискеты по желанию автора возвращаются. Возможна передача статей по электронной почте: E-mail: tsnigri@tsnigri.ru для журнала «Руды и металлы».

Рисунки и другие графические материалы (не более 5) принимаются на дискетах с распечаткой на бумаге и прилагаются к статье в одном экземпляре. На обороте каждого рисунка карандашом указываются его порядковый номер, фамилия автора и название статьи. **Размер оригиналов рисунков с подрисуночными подписями и таблиц не должен превышать формат страницы журнала (23×16 см).** Цифры и буквы в условных обозначениях, вынесенных за пределы рисунка, даются курсивом. Текстовые надписи на рисунках набираются на компьютере. Размер букв и цифр не менее 2 мм. **Каждый рисунок помещается в отдельный файл в форматах: штриховой рисунок и растровое фото (*.tif, *.jpg и др.), векторная графика (*.cdr — предпочтительно, *.eps, *.wmf и др.), диаграмма Microsoft Excel (*.xls).** Графика должна быть связана с текстом и способствовать его сокращению. **Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения.**

Подрисуночные подписи набираются на отдельной странице. Цветные рисунки и фотографии не принимаются. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

Для набора математических формул и химических символов рекомендуется использовать Microsoft Equation.

Точность приведенных цитат должна быть заверена подписью автора на полях рукописи, обязательно указывается источник по списку литературы.

Список литературы (не более 15 названий) нумеруется в алфавитном порядке. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник из списка литературы даются соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. В список не следует включать работы, на которые нет ссылок в тексте статьи, а также неопубликованные.

Статья подписывается автором (авторами), в конце ее приводятся фамилия, имя и отчество (полностью) автора, место работы, занимаемая должность, ученая степень, адрес, служебный и домашний телефоны.

Рукопись представляется с установленными сопровождающими документами руководством организации или лично автором (авторами).