

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



4/2007

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 2007

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

Сдано в набор 13.07.07 г.
Подписано в печать 25.07.07 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», 2007

Прикладная металлогения и недропользование*Кривцов А.И., Беневольский Б.И.*

Прогноз сбалансированного использования и развития отечественной минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов

5

Беневольский Б.И., Пономарев А.Ю.

Факторы инвестиционной привлекательности ресурсообеспеченных стран

10

Августинчик И.А., Мызенкова Л.Ф. Инвестиционная оценка освоения месторождений благородных и цветных металлов на основе геолого-экономического моделирования по зарубежным горнорудным проектам

15

Строение рудных месторождений*Рафаилович М.С., Лось В.Л.*

Васильковское штокерковое месторождение золота: геологическая и структурная позиции, прогнозно-поисковая модель

26

Склярва Г.Ф.

Колчеданно-полиметаллические проявления Камчатско-Курильской металлогенической зоны в сопоставлении с месторождениями типа «куроко» в Японии

37

Лобач В.И.

Учет выдающихся подсчетных параметров на основе статистической неоднородности рудных месторождений

42

Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ*Чепуров А.И., Жимулев Е.И., Сонин В.М., Федоров И.И., Солнцева В.П.*

Определение содержания включений металлорастворителя в синтетических алмазах на основе их магнитных свойств

50

Щегольков Ю.В.

Пленочный оксид золота на поверхности золотин в корках выветривания по сульфидно-магнетитовым рудам месторождения Новогоднее-Монто

53

Applied metallogeny and subsoil use*Krivtsov A.I., Benevolsky B.I.*

Prediction of sustainable use and development of the domestic mineral base of precious and base metals

Benevolsky B.I., Ponomaryov A.Yu.

Factors of investment appeal of resource-rich countries

Augustinczyk I.A., Myzenkova L.F.

Investment assessment of precious and base metal deposits on the basis of geological and economic modeling for foreign mining projects

Geology of ore deposits*Rafailovich M.S., Los V.L.*

Vasilkovskoye stockwork gold deposit: geological and structural position, prognostic-prospecting model

Sklyarova G.F.

Pyrite-polymetallic occurrences of Kamchatka-Kuril metallogenic zone in comparison with «kuroko»-type deposits in Japan

Lobach V.I.

Consideration of outstanding estimation parameters on the basis of statistical heterogeneity of ore deposits

Techniques and methods of geological exploration*Chepurov A.I., Zhimulev E.I., Sonin V.M., Fyodorov I.I., Solntsev V.P.*

Determination of metal solvent inclusions grade in synthetic diamonds based on their magnetic properties

Shegolkov Yu.V.

Filmy gold oxide on the surface of gold particles in crusts of weathering within sulfide-magnetite ores of Novogodneye-Monto deposit

Новости, информация**News, information***Кубанцев И.А.*К истории открытия месторождения Олимпик
Дэм

58

Kubantsev I.A.

History of Olympic Dam deposit discovery

Поздравляем с юбилеем**Our congratulations**

М.М.Константинова, В.И.Воробьева, Д.Х.Кима

62

M.M.Konstantinov, V.I.Vorobyov, D.Kh.Kim

Дискуссии**Discussions***Бекжанов Г.Р., Любецкий В.Н.*Новое в теории формирования Прикаспийского
сверхглубинного осадочного бассейна, процес-
сов газо-нефтеобразования и рудоносности ос-
адочных толщ

66

*Bekzhanov G.R., Lyubetsky V.N.*New data on the theory of circum-Caspian ultra-de-
ep sedimentary basin formation, processes of gas
and oil formation and ore potential of sedimentary
strata

Памяти В.Е.Минорина

76

In memory of V.E.Minorin

ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ



УДК 553.41/48

© А.И.Кривцов, Б.И.Беневольский, 2007

ПРОГНОЗ СБАЛАНСИРОВАННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

А.И.Кривцов, Б.И.Беневольский (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Данный в предыдущем номере журнала «Руды и металлы» анализ состояния мировой (без России) минерально-сырьевой базы (МСБ) на рубеже веков и долгосрочных тенденций ее использования и развития — ретроспектива с 1970 г., перспектива до 2020–2025 гг. — позволяет оценить роль отечественной МСБ в будущем мировом минерально-сырьевом обеспечении и возможные сценарии ее использования и воспроизводства на ближайшую и дальнюю перспективы.

Состояние МСБ благородных и цветных металлов России, распределенного и нераспределенного фонда недр, горнодобывающей промышленности показывает, что если в качестве достижимых рубежей освоения запасов благородных и цветных металлов рассматривать уровни их добычи 1991 г. (начального периода реформ), близкие существующим проектным мощностям горнодобывающих предприятий, то такие рубежи отвечают только минимальным вариантам развития и радикально не меняют положение России в мировом минерально-сырьевом сообществе. Даже при самых благоприятных условиях и высоких темпах роста производства благородных и цветных металлов Россия сможет выйти на уровень экономики высокоразвитых стран конца XX в. лишь к 2025 г.

Оценки использования отечественной МСБ благородных и цветных металлов до 2020–2025 г. выполнены по разработанной ЦНИГРИ методике, основанной на модели межотраслевого сырьевого баланса — на количественных соотношениях между потребляемыми массами энергоносителей и других полезных ископаемых, а также на соответствующих показателях металлоемкости (материалоемкости) топливно-энергетического сырья (ТЭС), которые объективно отражают технологические связи индустриальной инфраструктуры.

Показатели межотраслевого сырьевого баланса позволяют, исходя из макроэкономических характеристик будущего развития страны, оценивать перспективные уровни потребления благородных и цветных металлов. Такого рода оценки определяют направления и темпы воспроизводства отечественной МСБ. Поскольку в стране отсутствует официальный баланс производства и потребления минерального сырья в классическом варианте, оценки проведены на базе мониторинга состояния ресурсной базы, поисковой изученности перспективных территорий, структуры запасов прогнозных ресурсов и возможной их ликвидности в лицензионном недропользовании, эффективности геологоразведочных работ последних лет, а также с учетом отечественных геополитических интересов и национальной минерально-сырьевой безопасности.

Баланс отечественного производства минерального сырья и роста ВВП. В ряде публикаций авторов, Е.А.Козловского, интервью Ю.П.Трутнева и других работах приведен комплекс факторов, создающих угрозу национальной минерально-сырьевой безопасности, в первую очередь, для будущего минерально-сырьевого обеспечения экономики страны полезными ископаемыми, а также для стабилизации и роста валютных поступлений от сырьевого экспорта. Несмотря на негативное воздействие этих факторов, отечественная добыча многих полезных ископаемых на месторождениях, ранее введенных в эксплуатацию, к 1995 г. преодолела спад, вышла на доперестроечные уровни и даже превысила таковые. Обращает на себя внимание сходимость трендов роста добычи нефти, золота, железа, никеля, меди с трендом ВВП, что отражает экспортную доминанту отечественной экономики (рис. 1). В то же время доперестроечный уровень

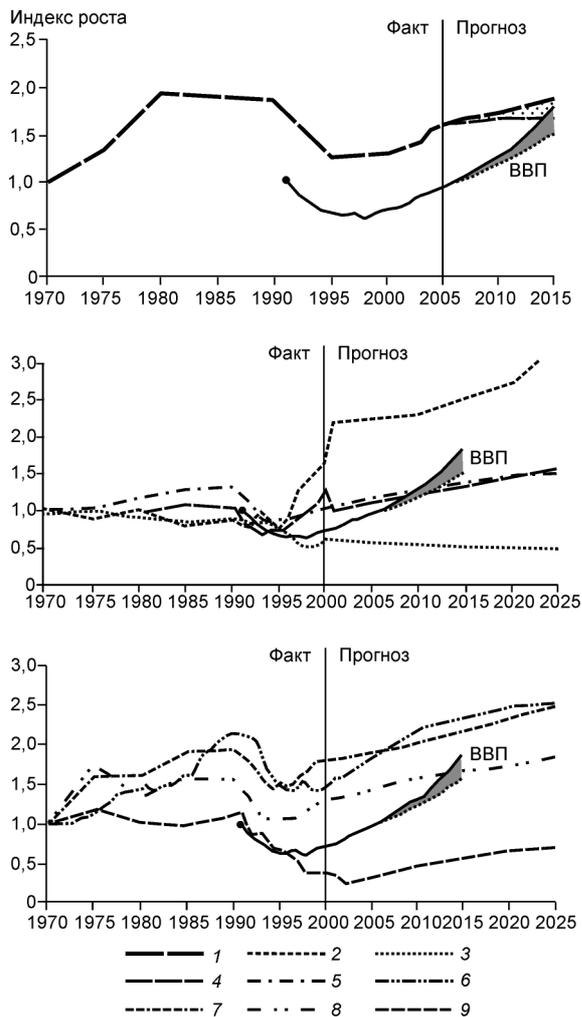


Рис. 1. Ретроспектива и прогноз добычи основных полезных ископаемых и значений ВВП России, тренды ВВП — по проекту долгосрочного (2005–2015 гг.) прогноза роста российской экономики (максимальный и минимальный варианты):

1 — нефть; 2 — Au коренное; 3 — Au россыпное; 4 — алмазы; 5 — платиноиды; 6 — Fe; 7 — Ni; 8 — Cu; 9 — Sn

ВВП по правительственному прогнозу до 2015 г. достигается позже, а иногда и значительно позже, чем уровни добычи основных полезных ископаемых. Можно предположить, что это отражает структуру отечественного экспорта, в котором первичное минеральное сырье преобладает над конечными продуктами, а также очевидную недооценку необходимости участия государства в сфере реальной экономики и производства.

Баланс среднудушевого производства и потребления минерального сырья. Для оценки интенсивности использования отечественной минерально-сырьевой базы проведено сопоставление России по

темпам роста добычи и потребления и их среднудушевых значений с миром в целом, Бразилией, Германией, Казахстаном, Канадой, Китаем, США (табл. 1). Отметим, что из этих стран Бразилия наиболее близка к России по численности населения, площади, богатству природными ресурсами. Экономика Германии обеспечивается импортным минеральным сырьем. Канада — один из лидеров среди мировых экспортеров минерального сырья. Экономика Китая отличается весьма высокими темпами развития при значительных уровнях не только собственной добычи, но и импорта минерального сырья. Импортная минерально-сырьевая ориентация экономики США общеизвестна. Выполненное сопоставление не ставит задачи выбора страны-эталона для определения основных показателей минерально-сырьевого баланса; тем не менее оно позволяет оценить текущее и возможное будущее отечественное производство на фоне основных участников глобального минерально-сырьевого рынка.

По темпам роста добычи большинства полезных ископаемых лидируют Казахстан, Китай, Бразилия; Россия и Австралия примыкают к ним по меньшему числу объектов. В Казахстане темпы роста добычи нефти в 10 раз превышают среднемировые и в два раза эти показатели в России и Бразилии. Такая же ситуация в газовой отрасли (но без России). По интегральному показателю ТЭС Казахстан и Китай намного опережают все остальные страны. Темпы роста отечественной золотодобычи (10%) оказались почти в 2 раза ниже данного показателя по Казахстану на фоне общемировой стабилизации.

По темпам роста внутреннего потребления большинства полезных ископаемых Россия отстает от Казахстана, Китая, Бразилии. За 1997–2003 гг. российское внутреннее потребление нефти убывало при росте потребления газа. Динамика отечественного потребления ниже производства по ТЭС, меди, никелю, цинку, что отражает преимущественно экспортную ориентацию минерально-сырьевого комплекса страны.

Баланс производства минерального сырья и геологических запасов. В Долгосрочной государственной программе изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья, утвержденной приказом МПР России № 160 от 8 июня 2005 г., основные полезные ископаемые по состоянию обеспечения потребностей экономики страны, устойчивости МСБ, доступности и ликвидности запасов и ресурсов разделены на три группы. Эти группы, в первую очередь, различаются по близости сроков исчерпания рентабельных эксплуатируемых запасов (запасов месторождений, на кото-

1. Среднегодовые темпы роста добычи, производства (числитель) и потребления (знаменатель) полезных ископаемых в мире и ведущих странах за 1997–2003 гг., %, по материалам ИАЦ «Минерал»

Полезное ископаемое	Мир	Россия	Германия	Казахстан	Китай	Бразилия	Канада	США	Австралия
Нефть	<u>1,5</u> 1,3	<u>9,5</u> -0,8	<u>10,8</u> -1,4	<u>18,4</u> 11,0	<u>1,5</u> 8,2	<u>9,0</u> -0,5	<u>4,2</u> 2,6	<u>-0,9</u> 0,7	<u>0,2</u> 0,1
ГЭС всего, в пересчете на 1 тун	<u>1,8</u> 1,3	<u>2,1</u> 0,2	<u>0,5</u> 0,1	<u>10,8</u> 4,6	<u>6,7</u> 6,5	<u>7,5</u> 1,3	<u>2,3</u> 1,5	<u>3,5</u> 0,3	<u>3,4</u> 1,3
Cu рудничная	<u>2,7</u> 3,0	<u>6,4</u> 5,5	– -1,6	<u>10,1</u> 75,8	<u>4,2</u> 22,9	<u>-2,2</u> -4,9	<u>-3,7</u> 2,8	<u>-9,5</u> -3,7	<u>11,2</u> 8,0
Ni в концентратах и товарных рудах в пересчете на металл	<u>3,9</u> 3,6	<u>2,6</u> -3,4	– 2,4	– 25,0	<u>8,4</u> 29,5	<u>3,1</u> 12,6	<u>-0,4</u> -2,2	– -4,7	<u>16,5</u> –
Sn в концентратах	<u>2,4</u>	<u>-9,6</u>	–	<u>-24,0</u>	<u>-3,0</u>	<u>-2,2</u>			<u>-8,0</u>
Co в концентратах и товарных рудах в пересчете на металл	<u>6,4</u>	<u>6,9</u>	–	–	–	<u>50,0</u>	<u>-3,3</u>	–	<u>15,0</u>
Co рафинированный	<u>7,2</u> –	<u>6,9</u> –	– –	– –	<u>5,5</u> –	<u>41,7</u> –	<u>1,2</u> -10,0	– -3,9	<u>41,1</u> –
Ag	<u>2,9</u> -0,1	<u>7,1</u> –	– -6,0	<u>22,5</u> –	<u>17,0</u> 6,1	<u>1,8</u> -5,2	<u>5,9</u> -2,2	<u>-7,8</u> -1,6	<u>10,3</u> 0,9
Au	– -3,7	<u>13,0</u> 20,0	– -1,6	<u>22,2</u> 41,7	<u>4,5</u> 2,0	<u>-5,8</u> -7,5	<u>-2,7</u> -7,5	<u>-5,5</u> -6,5	<u>-4,0</u> -11,9
МПГ, включая Pt	<u>6,3</u> -12,2	<u>1,1</u> 35,0	– –	– –	<u>66,7</u> 12,8	– –	<u>5,3</u> -24,2	<u>22,3</u> –	<u>-16,7</u> –
Pt	<u>4,1</u> 4,4	<u>1,6</u> 16,7	– –	– –	<u>60,0</u> 12,2	– –	– -5,9	<u>8,3</u> –	– –

Примечание. По нефти приведены данные за 1999–2003 гг., по Pt и МПГ — за 2000–2002 гг., по остальным видам полезных ископаемых — за 1998–2002 гг. Шрифтом выделены суммарные значения для Канады и США.

рых действует добычная инфраструктура), что создает угрозу стабильности будущего минерально-сырьевого обеспечения. Уровень этих угроз оценивался по показателям погашения исходных запасов (общих и рентабельных эксплуатируемых) в соответствии с индексами роста добычи, заложенными в прогнозный баланс «производство – потребление» (табл. 2).

Как следует из расчетных данных, по общим запасам исходная отечественная МСБ обладает достаточно высокой устойчивостью; в погашение по большинству ведущих полезных ископаемых уходит от 10 до 30% запасов начального периода. Совершенно иная картина устанавливается для рентабельных эксплуатируемых запасов. Следует подчеркнуть, что при росте цен на энергоносители масса таких запасов может уменьшиться за счет увеличения себестоимости. В результате может усилиться разбалансированность национального минерально-сырьевого обеспечения.

Баланс добычи и воспроизводства запасов и МСБ. Баланс в этой подсистеме обеспечивается при реализации модели простого воспроизводства, т.е. при компенсации добытых масс минерального

сырья их «новыми» запасами. Резерв для будущего прироста запасов составляют прогнозные ресурсы (ПР) категорий P_2 и P_1 . Соответствующие отношения ПР к погашаемым массам отвечают показателям обеспеченности приростов запасов исходными ПР (т.е. так называемой кратности) и так или иначе отражают надежность «поискового задела».

Достоверная и представительная статистика, позволяющая судить о достаточности-недостаточности ПР для приростов запасов в форме значений

2. Погашение исходных запасов (2003 г.) расчетной накопленной добычей до 2020 г.

Полезное ископаемое	Индекс погашения	
	всех запасов	рентабельных эксплуатируемых запасов
Au россыпное	0,78	2,01
Ni	0,20	1,13
Cu	0,16	1,30
МПГ	0,21	1,65
Au коренное	0,42	2,02
Zn	0,12	2,88
Pb	0,11	15,20

3. Расчетные темпы отечественного производства (добычи) благородных и цветных металлов в 2001–2025 гг., %

Расчетные варианты	Пятилетние периоды					2001–2025
	2001–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2020	2020–2025	
<i>Золото</i>						
Оптимальный	0,8	0,8	1,46	1,46	1,28	1,27
Средний	–0,26	–0,26	0,27	0,27	1,58	0,32
Пессимистический	–1,05	–1,05	–1,18	–1,18	0	–0,84
<i>Серебро</i>						
Оптимальный	23,22	23,22	7,50	7,50	0	19,26
Средний	16,58	16,58	7,5	7,5	0	14,60
Пессимистический	9,93	9,93	6,67	6,67	0	9,29
<i>МПП</i>						
Оптимальный	3,28	3,28	1,11	1,11	0	1,9
Средний	2,55	2,55	1,47	1,47	0,51	1,9
Пессимистический	1,81	1,81	1,88	1,88	1,05	1,9
<i>Медь</i>						
Оптимальный	2,55	2,55	0,92	0,92	0,84	1,71
Средний	1,83	1,83	1,10	1,10	0,88	1,48
Пессимистический	0,97	0,97	1,45	1,45	1,15	1,31
<i>Никель</i>						
Оптимальный	2,85	2,85	0,98	0,98	1,33	2,02
Средний	1,29	1,29	1,67	1,67	1,43	1,64
Пессимистический	–0,28	–0,28	2,26	2,26	1,58	1,14
<i>Свинец</i>						
Оптимальный	38,23	38,23	10	10	4,67	43,59
Средний	25,37	25,37	10,91	10,91	4,35	32,01
Пессимистический	12,51	12,51	11,43	11,43	5,33	20,44
<i>Цинк</i>						
Оптимальный	10,28	10,28	6,04	6,04	2,59	10,69
Средний	7,21	7,21	5,56	5,56	2,86	8,24
Пессимистический	3,77	3,77	4,44	4,44	2,31	4,88

показателей «кратности», отсутствует как в отечественной, так и в зарубежной практике. По ретроспективным данным Мингео СССР (1991 г.), можно принять, что ПР категорий P_2 и P_1 , пересчитанные с понижающими коэффициентами в условную категорию C_2 , могут и должны, по крайней мере, в 2 раза превышать ожидаемые приросты запасов по категориям C_2+C_1 . В Долгосрочной программе... в качестве критического предела принято трехкратное превышение ПР, приведенных к условной категории C_2 , над возможными реальными приростами.

Прогнозный баланс «добыча – запасы» связывает показатели производства основных полезных ископаемых с показателями воспроизводства их запасов, рассчитанными по модели простого воспроизводства, и значения коэффициентов компенсации добычи приростами запасов. В этом балансе отслеживаются динамика убыли исходных запасов и ожидаемые (по вариантам) состояния запасов по рубежом годам. Основной показатель баланса — обеспеченность расчетной добычи исходными и ожидаемыми запасами.

Расчетные темпы производства благородных и цветных металлов базировались на реальных состоянии и освоенности МСБ, а также на возможности ее воспроизводства и использования в прогнозируемом периоде с учетом выбытия части действующих производственных мощностей (табл. 3).

Минерально-сырьевая база золота России от начала реформирования недропользования по структуре не претерпела существенных изменений. По-прежнему более 50% составляют запасы коренных месторождений, менее 20% — россыпных, примерно третью часть — комплексных золотосодержащих месторождений цветных металлов. За последние годы фундаментальные изменения произошли в структуре добычи золота. Спад добычи преодолен, и ее траектория получила поступательное развитие.

Доля в добыче коренных месторождений долгое время (начиная еще с дореформенных времен), составлявшая около 20%, к 2003 г. достигла 45% и превышает добычу из россыпей, что учтено в расчетах развития МСБ.

Минерально-сырьевая база золота по массе запасов в целом достаточна для наращивания отече-

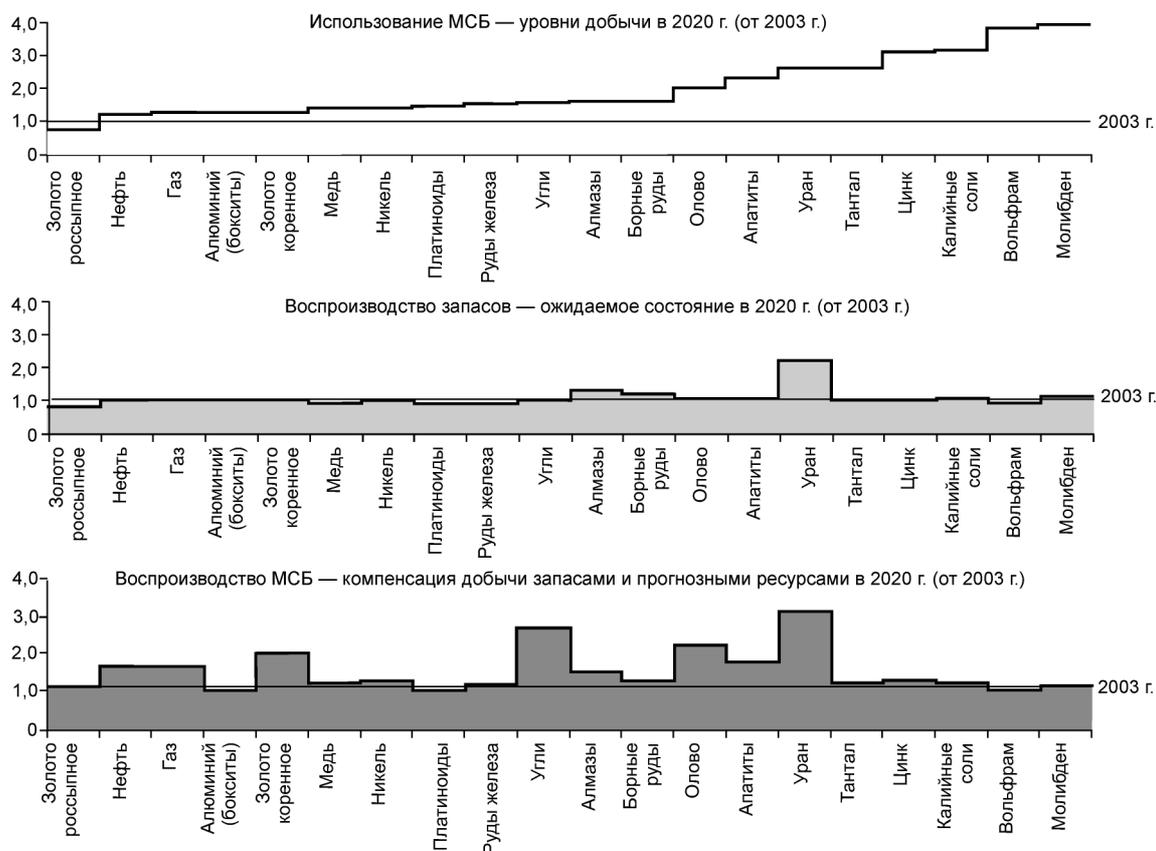


Рис. 2. Показатели развития МСБ России по основным полезным ископаемым до 2020 г.

ственной золотодобычи и в значительной степени вошла в распределенный фонд недропользования.

Задачи дальнейшего развития отечественной минерально-сырьевой базы золота и его добычи решаются с учетом сохранения за Россией на длительную перспективу одного из лидирующих положений среди мировых продуцентов. Это целиком зависит от освоения сырьевой базы коренных месторождений, в том числе за счет крупных узловых проектов в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке и Северном Кавказе.

Максимальные темпы добычи коренного золота требуют ввода в эксплуатацию всех резервных месторождений и удержания их за пределами 2010 г. Минимальные темпы обеспечивают только стабилизацию (с небольшим уменьшением) достигнутого уровня при постепенной замене выбывающих мощностей вводом в промышленное освоение резервных месторождений.

Расчетные уровни добычи золота из россыпей основываются в максимальном варианте на стабилизации (с небольшим уменьшением) достигнутой добычи при высоких мировых ценах на золото, в минимальном — на ее сокращении.

Рост производства никеля, меди и МПГ решающим образом зависит от деятельности Норильского горно-металлургического гиганта, поставляющего основную массу этих металлов. Темпы роста производства МПГ учитывают расчетный календарь развития Норильского горно-металлургического комплекса — основного производителя МПГ в стране. Однако для производства МПГ могут возникнуть дополнительные угрозы в том случае, если прогнозируемое снижение содержаний в рудах норильских месторождений не будет компенсировано эквивалентным увеличением массы вовлекаемых в переработку руд.

По меди сохраняется полное обеспечение текущего внутреннего потребления и экспортных поставок. В расчетах производства принимаются как преобладающая зависимость от деятельности Норильского комбината, так и стабильная работа медедобывающих предприятий Урала. Это позволяет к 2010 г. вплотную приблизиться к наиболее высокому уровню добычи меди в РСФСР, достигнутому в 1975 г. При выбытии значительных мощностей на Урале достижение уровня 1975 г. возможно лишь к 2025 г. Снижение производства на уральских медедобыва-

ющих предприятиях в совокупности с естественным уменьшением содержаний меди в рудах Норильского района может компенсироваться воспроизводством ресурсной базы за счет новых для России типов месторождений, в том числе крупнообъемных медно-порфировых.

Добыча свинца в стране в два раза меньше текущих потребностей в нем. Его дефицит вынужденно покрывается импортными поставками. Поэтому долгосрочная динамика добычи свинца направлена на получение качественного отечественного сырья для замещения импорта. Расчетные максимальные темпы роста добычи свинца обеспечивают его замещение к 2010 г., минимальные — решают эту задачу к 2020 г. Производство цинка в России тесно связано с решением проблем по свинцу и меди.

При прогнозе развития МСБ никеля основными являются задачи по сохранению международного статуса страны как ведущего поставщика товарной продукции на мировой рынок и наращиванию в связи с этим его отечественного производства.

Максимальные темпы отвечают показателям горного календаря Норильского горно-металлургического комбината до 2010 г., но с учетом ввода в эксплуатацию новых месторождений в Печенгском районе и удвоения добычи силикатных руд на Урале. Минимальные темпы обеспечивают достижение показателей горного календаря к 2025 г., выбывание мощностей на Печенге и стабилизацию на достигнутом уровне добычи силикатных руд на Урале.

Имеющийся недостаток поискового задела и объектов, подготовленных для прироста запасов, в настоящее время требует считаться с необходимостью преимущественного наращивания ресурсной базы (прогнозных ресурсов высоких категорий) с последующим переходом в 2011–2020 гг. и до 2025 г. к сбалансированному приросту запасов по модели их простого воспроизводства (рис. 2). При этом необходимо поддержание баланса между состоянием ресурсной базы и требуемым наращиванием запасов.

УДК 336.714:622.34

© Б.И.Беневольский, А.Ю.Пономарев, 2007

ФАКТОРЫ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ РЕСУРСОНЕСУЩИХ СТРАН

Б.И.Беневольский, А.Ю.Пономарев (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

По материалам зарубежных источников рассмотрены критерии принятия инвестиционных решений в горнорудной промышленности, включающие стабильность и прозрачность горного законодательства, минимизацию рисков, устойчивый социально-политический климат, привлекательную минерально-сырьевую базу.

К числу глобальных тенденций мировой геополитики относятся устранение препятствий для иностранных инвестиций в горнодобывающий сектор, стабильность фискальных ограничений, прозрачность условий недропользования, четкость определения связи между правами на разведку и добычу, разумность требований по снижению воздействий горных работ на окружающую среду.

За последние 15–20 лет ведущими сырьевыми странами сформированы основные компоненты

горного законодательства, а горнодобывающими компаниями — критерии принятия инвестиционных решений. Более 90 стран приняли новые горные кодексы или внесли существенные оптимизирующие поправки в действующие горные законы, и этот процесс продолжается. Актуализация горного законодательства дала огромные возможности горному бизнесу активизировать инвестиционную деятельность в новых богатых ресурсами странах.

Обобщенная структура современного горного законодательства включает следующие аспекты:

полномочия правительства — осуществление права собственности на полезные ископаемые; регламентация деятельности чиновников, проводящих правительственные санкции; исполнение законов, применение административных санкций; регламентация типа и характера контрактов и соглашений;

ограничения на освоение полезных ископаемых — предоставление права на добычу, разведку и производство; выделение площадей, закрытых для горных работ; определение типов полезных ископаемых и участков, ограниченных специальным контролем и условиями при проведении работ; установление доступности земли и разрешение споров по использованию земельных участков;

права и обязательства, связанные с геологоразведочными работами (ГРР) и добычей, — определение максимального размера участков для ГРР и добычи; установление срока проведения работ и его пролонгация; прекращение права на ГРР и добычу; освобождение разведочного и добычного участков; минимизации обязательств по расходам на разведку; обязательства и требования к производству работ; гарантии владения участком недр; отчетность; обеспечение возможности передачи прав на недра; обеспечение годовых сборов за недропользование; взимание роялти;

воздействие на окружающую среду — оценка воздействия на природную среду; ограничения (нормативы) воздействия на среду; воздействие на общество в целом или отдельные социальные и национальные группы; мониторинг и отчетность; восстановление среды; обязательства после завершения работ.

Оценка перспективности страны для бизнеса обычно начинается с геологической ресурсной базы. Однако ее общая социально-политическая и экономическая стабильность, инвестиционный климат всегда имеют решающее значение для долгосрочных проектов освоения месторождений.

В современном нестабильном мире принятие решения по развитию горнорудных проектов производится компаниями только после тщательного изучения экономических и инвестиционных рисков и, в первую очередь, геополитических. Так, войны и нестабильность в африканских странах имеют гораздо большее значение для потенциальных инвесторов, чем, например, высокие цены на медь или платину. Поэтому для каждого региона существуют свои ограничения. В Северной Америке это жесткие природоохранные нормы и социальные аспекты ведения горных работ, в странах Азиатско-Тихоокеанского региона привлекательность объектов нивелируется политическими рисками и нестабильностью правового режима и т.д. В России инвестиционный процесс сдерживается несовершенством законодательства о недрах и непрозрачностью налоговой системы.

Канада, занимающая лидирующее место среди мировых производителей металлов и их экспортеров, разработала и реализует «Национальную по-

литику в области минерального сырья и металлов», которая имеет следующие главные цели:

обеспечение международной конкурентоспособности канадских горнодобывающих компаний в условиях открытой и свободной международной торговли и инвестирования;

развитие концепции устойчивого использования минеральных ресурсов и продуктов их переработки на международном уровне посредством создания партнерств с другими странами;

закрепление за страной статуса одного из мировых лидеров в безопасном использовании минерального сырья и сопутствующих продуктов;

расширение возможностей участия коренного населения в деятельности, связанной с освоением минерального сырья.

Правительство Канады предоставляет горнодобывающей промышленности финансовый режим, учитывающий риски, связанные с разведкой, запасами, и другие специфические для данной отрасли риски.

Правительством США на XXI в. сформулированы отчетливо выраженные глобальные экспансионистские направления минерально-сырьевой политики, призванной обеспечить безопасность страны, повышение уровня жизни населения, гарантии благ свободы для жителей США и их потомков.

Учитывая исчерпаемость природных ресурсов, составляющих основу существования народонаселения, мощь национальной экономики по минерально-сырьевому обеспечению страны, США активно проводят политику сбережения собственных минеральных ресурсов за счет использования ресурсов других государств, в первую очередь по стратегическим видам полезных ископаемых. Импортная составляющая в балансе потребления минерального сырья и продуктов его первичного переработки в США занимает сегодня доминирующее положение по 30 стратегическим, критическим и промышленным полезным ископаемым, в том числе за счет Китая, Канады, России и других стран.

Процессы международной глобализации, т.е. ускоренной экономической, технологической, культурной и политической интеграции, снижают уровень национальной безопасности США в связи с ростом населения мира, увеличением добычи минерального сырья и ущерба, наносимого окружающей среде. Так, неограниченная эксплуатация природных ресурсов другими странами (даже весьма удаленными) рассматривается как угроза процветанию и безопасности США в долгосрочной перспективе. Гарантии национальной безопасности США основаны на идее мирового лидерства, что имеет

первостепенное значение для ее безопасности, а процветание зависит от стабильности регионов, из которых импортируются энергоносители и другие полезные ископаемые, составляющие основу ее экономической мощи. В настоящее время в США обсуждается закон, ужесточающий контроль за иностранными инвестициями в стратегические отрасли на предмет возможных угроз национальной безопасности.

В странах с устойчивыми и прозрачными «правилами игры» инвестиционная привлекательность мало зависит от проблем мировой экономики. Например, Южная Америка уже много лет остается наиболее привлекательным регионом для мирового горно-промышленного комплекса. В частности, правовое поле недропользования в Бразилии регламентируется конституцией страны, в соответствии с которой минеральные ресурсы являются государственной собственностью, а их разведка и разработка могут осуществляться лишь с разрешения государства и только в национальных интересах. Эти интересы определены как конституционные приоритеты и учитываются при предоставлении разрешений и концессий.

Национальная минерально-сырьевая политика Бразилии, реализуемая через законодательные и административные акты, направлена на обеспечение сбалансированного развития экономики и увеличения ценности минерально-сырьевых ресурсов. Увеличение ценности минерально-сырьевых ресурсов предполагает их выявление и преобразование горнодобывающей промышленностью в товарные продукты, отвечающие рыночным требованиям, потребностям страны, национальной политике и экономике.

Бурное экономическое и правовое развитие Китая в конце XX в. — начале XXI в. вывело его в первые ряды производителей и потребителей различного минерального сырья и сформировало новый обширный азиатский рынок, привлекательный для инвесторов. Главные принципы минерально-сырьевой политики Китая заключаются в развитии ресурсной базы, рациональном использовании и охране полезных ископаемых. Актуальные цели этой политики следующие:

повышение обеспеченности страны полезными ископаемыми для всестороннего развития среднестатистического общества; увеличение эффективных вложений в разведку и освоение полезных ископаемых; расширение территориального охвата, увеличение глубины разведки и переработки; усиление охраны полезных ископаемых и наращивание их добычи;

расширение внешней открытости и активное участие в международном сотрудничестве;

создание системы резервов, в том числе необходимых стратегических ресурсов, связанных с экономикой государства и жизнью народа, обеспечивающих безопасность государственной экономики и продолжительное безопасное снабжение продукцией земных недр;

стимулирование улучшения экологической среды на шахтах и рудниках; снижение загрязнения окружающей среды в разных производственных звеньях при добыче, обогащении и металлургическом переделе концентратов для обеспечения экологического равновесия между разработкой полезных ископаемых и природоохранными мерами; совершенствование законов и правил по охране окружающей среды на шахтах и рудниках;

формирование открытых, упорядоченных, нормализованных рыночных условий для развития равноправной конкуренции рыночных субъектов при поисках и освоении полезных ископаемых на основе совершенствования законов и нормативных актов по управлению полезными ископаемыми, улучшения инвестиционной среды, предоставления качественных информационных услуг.

Для осуществления вышеуказанных целей Китай исходит из соблюдения ряда основополагающих принципов:

соблюдение стратегии продолжительного развития, претворения в жизнь мероприятий по охране ресурсов, налаживания взаимосвязи экономического развития с охраной ресурсов по формуле «охраняя — осваивать, осваивая — охранять»;

наращивание темпов поисков при рациональном освоении и экономном использовании полезных ископаемых на высоком научно-техническом уровне с хорошей экономической эффективностью, малыми отходами ресурсов, низким загрязнением окружающей среды;

реформирование системы рыночной экономики в соответствии с политикой и планами государства; выявление в полной мере фундаментальной роли рынка в распределении полезных ископаемых; создание механизмов оптимального распределения ресурсов, органично сочетающих контроль правительства с функционированием рынка;

усиление контроля над общими объемами разработки полезных ископаемых, нормирование рынка прав на поиски и добычу, стимулирование плюрализма инвестиций на разведку и освоение полезных ископаемых, нормирование хозяйствования в целях защиты законных прав и интересов носителей государственной собственности и лиц с правами на поиски и добычу;

гармоничное развитие поисков и разработки полезных ископаемых в сочетании с охраной окружа-

ющей среды при едином планировании поисков с разработкой полезных ископаемых государственными и негосударственными горнорудными предприятиями, крупными и мелкими компаниями; усиление охраны и восстановления окружающей среды на рудниках по формуле «упор на предупреждение и сочетание предупреждения с упорядочением»;

расширение внешней открытости и сотрудничества, улучшение инвестиционного климата, поощрение и привлечение зарубежных инвесторов к разведке и добыче полезных ископаемых; расширение международного сотрудничества согласно нормам ВТО и действующим международным правилам в данной сфере, соблюдение принципа взаимной дополняемости и взаимной выгоды в ресурсах;

содействие научно-техническому прогрессу и инновациям, развитие ключевых технологий в разведке и добыче полезных ископаемых, комплексном использовании, борьбе с загрязнением окружающей среды шахт и рудников, в том числе технологий новых источников энергии и новых материалов, а также освоение ископаемых ресурсов морского шельфа; усиление фундаментальных исследований в сферах новых теорий, новых методов и новых технологий;

оздоровление законодательной системы, всемерное внедрение административного управления на основе законов, усиление управления и контроля над разведкой и добычей полезных ископаемых; регулирование и регламентирование порядка управления данной сферой, стимулирование легитимизации, нормирования и научности в области охраны и рационального использования полезных ископаемых.

Оценивая в целом минерально-сырьевую политику Китая, в которой доминируют тенденции самообеспечения при разумных объемах вынужденного экспорта и импорта, следует отметить, что на начало третьего тысячелетия она ориентирована преимущественно на решение следующих главных проблем:

обнаружение новых месторождений и экономичное их использование;

привлечение внешних источников минерально-го сырья;

расширение перспектив известных и эксплуатируемых месторождений;

многоукладность горнодобывающего сектора; гармоничное сочетание крупных, средних и небольших предприятий;

борьба с хищнической отработкой месторождений;

совмещение разведки и эксплуатации месторождений;

максимальное внедрение новых технологий; охрана минеральных ресурсов и окружающей среды.

Главная цель национальной политики Китая — существенное повышение уровней производства и потребления минерального сырья и изготавливаемой из него продукции на душу населения при максимально полном использовании запасов минерального сырья с учетом их невозобновляемости. Особое внимание уделяется геологоразведочным работам на полезные ископаемые стратегического назначения и дефицитные минерально-сырьевые ресурсы. Правительство поощряет инвесторов на получение посредством равноправной конкуренции прав разработки месторождений, развития коммерческих поисков нефти, природного газа, качественных руд марганца, хрома, меди, алюминия, золота, серебра, никеля, кобальта и других важнейших полезных ископаемых. В стране ставится задача создания системы управления, которая отвечала бы потребностям социалистической рыночной экономики, была бы высокоэффективной и служила ресурсной гарантией устойчивого социально-экономического развития. В политике Китая доминируют повышение роли рыночного механизма в управлении национальными ресурсами, расширение сферы возмездного пользования ими всеми потребителями в сочетании с целенаправленными мерами государственного регулирования природопользования.

Природные ресурсы Японии достаточно скудны, поэтому страна удовлетворяет внутренний спрос на углеводородное сырье, металлы и минеральные ресурсы почти целиком за счет поставок из-за рубежа. Доля импорта в объеме потребления природных ресурсов в Японии в 2003 г. составила, %: нефть 99,8, природный газ 96,5, медь 100, цинк 92,3. По состоянию на август 2004 г. государственный резерв нефти составил 91 сутки потребления, резерв частного сектора — 79, государственный резерв редких металлов (никель, кобальт, хром, ванадий и др.) — 27,5.

Для обеспечения стабильных поставок природных ресурсов и энергоносителей Япония проводит работы по поиску и добыче полезных ископаемых, оказывает поддержку японским компаниям, занятым на разведке и добыче природных ресурсов через Японскую национальную корпорацию по нефти, газу и металлам (*JOGMEC*). Эта же компания осуществляет поддержку государственных резервов нефти, сжиженного нефтяного газа и редких металлов для обеспечения их надежных поставок и предотвращения социальных или экономических проблем, которые могли бы возникнуть в связи с их дефицитом, и финансирует частные японские компании для создания резервов нефти и газа. В 1978 г.

правительство Японии приняло решение о создании стратегических государственных резервов.

Многие развивающиеся страны находятся в процессе оптимизации минерально-сырьевой политики, направленной на более эффективное использование своего сырьевого потенциала. Реструктуризация основной — золотодобывающей — отрасли ЮАР протекает в рамках пересмотра прав на недропользование. В связи с этим правительство опубликовало новые документы — закон (Minerals Development Act.) и устав горной отрасли (Mining Charter), в которые внесено положение о праве коренного большинства населения ЮАР контролировать 15% рудников в течение пяти лет с увеличением до 26% через 10 лет. Две из крупнейших в стране горных компаний — *Anglo American* и *Gold Fields* — полностью поддерживают усиление власти коренного большинства. Так, *Anglo American* передала активы стоимостью 1 млрд. дол. местным инвесторам.

В ряде стран продолжается трансформация централизованной экономической системы в рыночную, что также требует внимания к вопросам максимально эффективного использования минеральных ресурсов, разработка которых является важной частью их экономики, с привлечением иностранных инвестиций (Восточная Европа, Азия, Африка, Латинская Америка, Океания). В то же время достаточно обычна ситуация, когда национальные инвесторы еще не имеют требуемых финансовых ресурсов и технологического опыта. В этих условиях привлечение иностранных инвестиций в горную промышленность приобретает ключевое значение для ее динамичного современного развития.

Успешное привлечение иностранных инвестиций в горную промышленность той или иной страны определяется следующими факторами:

наличием благоприятного минерально-сырьевого потенциала, освоение которого может быть конкурентоспособным на современном мировом уровне;

привлекательным инвестиционным климатом (прозрачное горное законодательство, конкурентоспособный налоговый режим и др.);

устойчивым социально-политическим климатом, обеспечивающим минимальные риски вложения средств в готовые проекты.

В числе критериев, рассматриваемых при принятии инвестиционного решения, учитываются геологические, социально-политические, фискальные (финансовые, налоговые), маркетинговые, правовые, монетарные, экологические, операционные и прибыльные.

Геологические — распространенность полезного ископаемого, распределение сырьевого потен-

циала, потенциал объектов исследований, наличие достаточной геологической информации, ретроспектива производства, возможность применения различных методов геологической оценки потенциала объектов, частота встречаемости прогнозируемых месторождений.

Политические — долгосрочная национальная стабильность, последовательность и постоянство политики в области недропользования, наличие внутренних конфликтов, враждебные внешние границы, гарантии безопасности (в том числе возможность страхования) иностранных инвестиций, форма политической системы и правительства.

Фискальные — метод налогообложения и уровень налоговых сборов, возможность заранее определять налоговую ответственность, наличие налоговых льгот, ускоренной амортизации, инвестиционных налоговых кредитов, реинвестиционных кредитов, возможность вычета расходов на ГРП из облагаемой налогом суммы, стабильность фискального режима, налоговый договор со страной-хозяйном, освобождение экспатриантов от подоходного налога.

Маркетинговые (системы сбыта) — географическое расположение, наличие внутренних рынков, транспортная инфраструктура, экспортно-импортная политика, региональные торговые соглашения, прогноз спроса/цены, межрегиональные торговые потоки.

Правовые — реальное законодательство по разработке полезных ископаемых, стабильность условий разведки и добычи, владение полезными ископаемыми, землей (доступ к земле), гарантия землеустройства, устоявшаяся система прав на добычу полезных ископаемых, право передачи владения, размер разведочных блоков (участков), соглашение о добыче полезных ископаемых, дополняющее или заменяющее горное законодательство, разрешение споров, международный арбитраж, степень бюрократического вмешательства, эффективность и ясность процедур.

Монетарные — реальные положения об иностранной валюте, отсутствие запрета на внешние счета, возможности репатриации прибыли, получения внешнего кредитования, наличие местного «рискового» капитала, стабильность обменного курса валют.

Экологические — установленные законом требования защиты окружающей среды, возможность предопределять обязательства, связанные с окружающей средой, наличие антидобычных групп, относительная чувствительность природной среды к горнодобывающей деятельности.

Операционные — возможность владения инвестиционной компанией большей частью пакета

акций, наличие у компании административного управления, установившиеся инфраструктура и коммунальные службы, благоприятный природный климат для развития соответствующих проектов, в том числе рельеф местности и т.д., наличие квалифицированной и другой местной рабочей силы, производственных ремонтных и геотехнических служб, общий разговорный язык, предшествующий опыт деятельности компании в стране, в том числе опыт сотрудников компании и других фирм, возможность взаимодействия с правительственными чиновниками и учреждениями.

Доходные (прибыльные) — внутренняя норма прибыли, чистая современная стоимость, безубыточный год, прибыль от капиталовложений, конкурентоспособный индекс стоимости.

В ежегодном анализе инвестиционного риска, проведенном фирмой Resource Stock, показаны результаты оценок горными и геологоразведочными компаниями различных видов рисков для 25 стран. Австралия признается наилучшей страной в мире для инвестирования капитала в минеральные ресурсы. Данный анализ представляет собой обобщенную оценку различных факторов риска, таких как гражданские волнения, заявки на отвод участков, бюрократизм и охрана среды, с точки зрения их восприятия горными и геологоразведочными компаниями. К странам с низким риском неплатежеспособности, кроме Австралии, отнесены Канада и США. Папуа-Новая Гвинея, Зимбабве и Индонезия имеют самый низкий рейтинг.

УДК 553.41/48:330.142

© И.А.Августинчик, Л.Ф.Мызенкова, 2007

ИНВЕСТИЦИОННАЯ ОЦЕНКА ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ГОРНОРУДНЫМ ПРОЕКТАМ

И.А.Августинчик, Л.Ф.Мызенкова (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

XX век и начало нового тысячелетия были насыщены многочисленными и бурными событиями и явлениями во многих сферах деятельности человеческого общества — социальной, экономической, технической, научной, культурной и природопользовательской. В сырьевом секторе этот период отмечен неуклонным ростом спроса на минерально-сырьевую продукцию, что привело к систематической интенсификации ее производства, топливно-энергетического сырья (ТЭС), минеральных строительных материалов, металлов, удобрений, минеральной химической продукции и др. [6, 7]. Рост производства и потребления определяют, как известно, демографические процессы [1, 9]. За весь XX и начало XXI вв. масштабы роста мирового рудничного производства черных, цветных и благородных металлов и потребления ТЭС составили более трех порядков по Al, более двух порядков по Cr, газу, нефти, два порядка по Ni, МПГ, один-два порядка по прочим металлам и углю. Эти динамичные изменения существенно нарушались только катастрофами мирового масштаба, такими

как первая и вторая мировые войны, экономический кризис 1929–1933 гг.

Рост добычи и потребления минерального сырья требует постоянного восполнения мировой минерально-сырьевой базы (МСБ). Однако число и темпы открытий легко выявляемых месторождений уменьшаются (рис. 1), качество руд новых и эксплуатируемых месторождений снижается, несмотря на достижения в технологии прогнозно-поисковых исследований и разработке месторождений, рост инвестиций на геологоразведочные работы и долговременный рост номинальных мировых цен.

С состоянием МСБ тесно связана обеспеченность добычи запасами минерального сырья, которая определяет возможности долговременного устойчивого развития экономики. Анализ обеспеченности мировой добычи запасами благородных и цветных металлов за 1970–2003 гг. выявил ее неустойчивую динамику. Обеспеченность прошла через максимумы и минимумы, но явно снизилась только для никеля. Для золота, МПГ и меди она

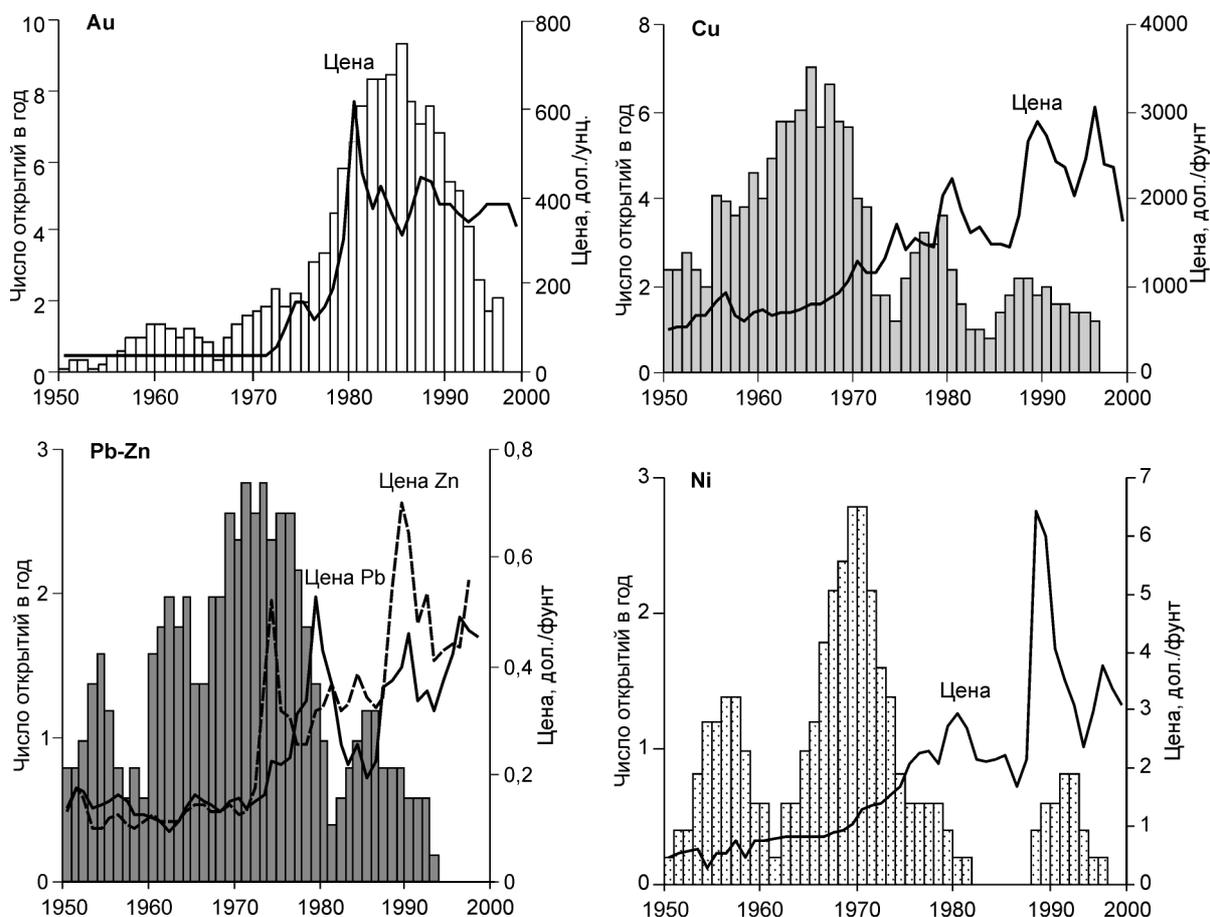


Рис. 1. Мировая динамика открытий месторождений благородных и цветных металлов и цены на них во второй половине XX в. [5]

имеет один ярко выраженный максимум, для серебра, цинка и никеля — циклический характер с несколькими максимумами (рис. 2). Эти изменения увязываются с открытиями месторождений (приростом запасов), достижениями в технологии извлечения металлов (кучное выщелачивание, переработка скрапа и другие процессы) и ценовыми колебаниями. В последнее десятилетие обеспеченность по цветным и благородным металлам снижается, что, как правило, стимулирует инвестиционную активность в горнорудном производстве для поддержания обеспеченности добычи металлов на оптимальном уровне, удовлетворяющем потребность в данном виде сырья.

Один из важнейших факторов улучшения мировой ситуации по минеральному сырью цветных и благородных металлов — рост инвестиций на геологоразведочные работы (ГРР). На рис. 3 показаны суммарные мировые затраты по алмазам, благородным и цветным металлам, их динамика в 1996–2005 гг. и структура в 2005 г. В начале 2000 г. вслед

за относительным подъемом мировых цен на благородные и цветные металлы (особенно высоким для платины) произошел существенный рост инвестиций на ГРР. В ежегодном обзоре агентства Metals Economic Group (Великобритания) расходы на ГРР в 2005 г. оценены на уровне 5,1 млрд. дол. США, причем около половины из них приходится на юниорные компании [10].

В структуре затрат по полезным ископаемым в 2005 г. предпочтение отдано золоту — 47,7% (в 2000–2003 гг. доминировала медь), за которым следуют цветные металлы — 29% и алмазы 13%. Среди регионов лидируют Латинская Америка (23%), Канада (19%) и Африка (17%).

Другим важным фактором является подготовка горнорудных проектов освоения новых месторождений или реанимация ранее законсервированных рудников. В традиционной схеме процесса выявления и оценки месторождений, их подготовки к эксплуатации и добыче минерального сырья разработка проектов относится к стадии принятия реше-

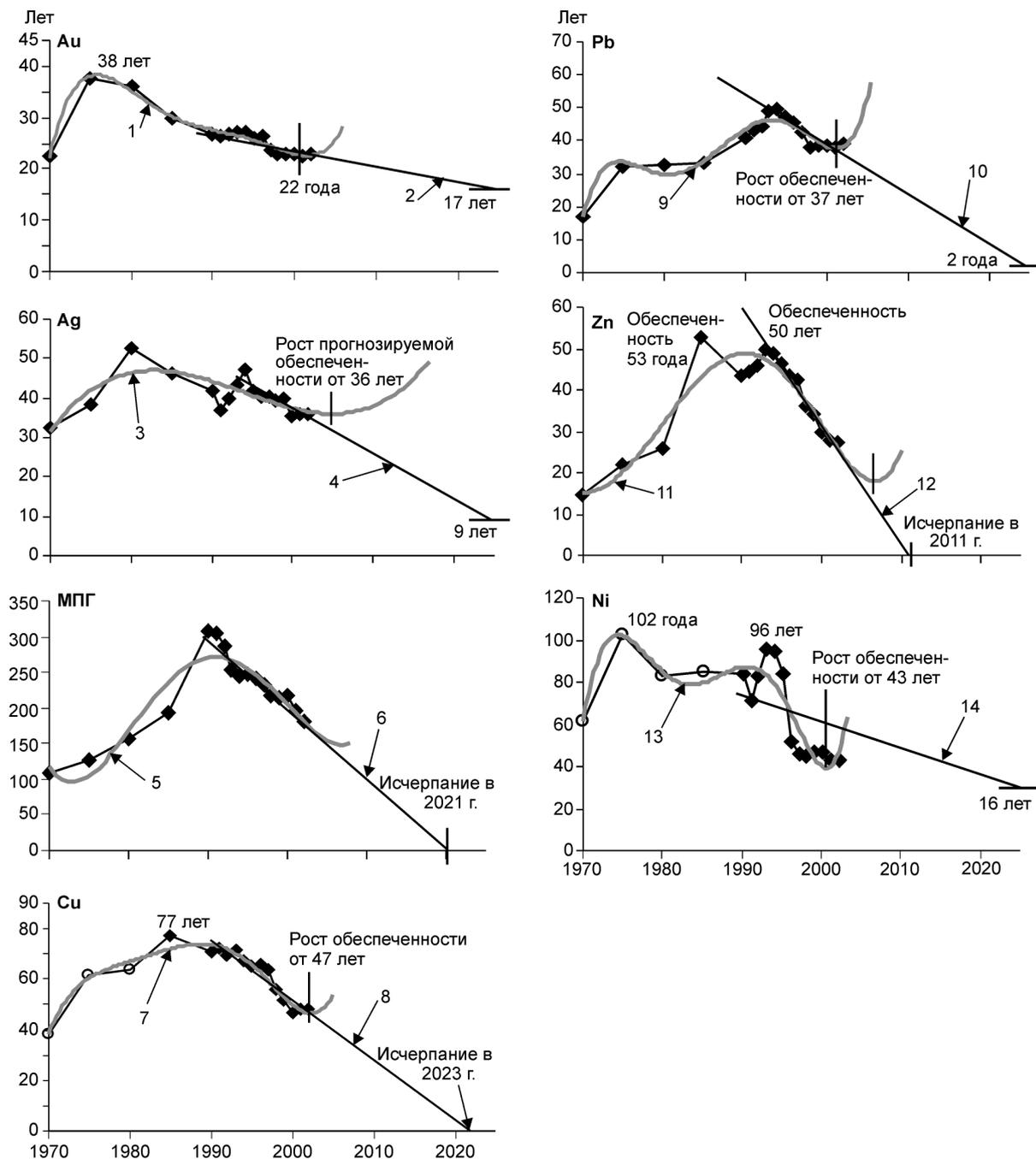


Рис. 2. Ретроспектива (1970–2003 гг.) и прогнозы до 2025 г. мировой обеспеченности добычи металлов их запасами:

тренды: 1 — на полиномиальной основе ($n=5$) для интервала 1970–2003 гг., достоверность аппроксимации $R^2=0,9728$; 2 — на линейной основе для интервала 1970–2003 гг., $R^2=0,3635$; 3 — на полиномиальной основе ($n=3$) для интервала 1970–2003 гг., $R^2=0,6007$; 4 — на линейной основе для интервала 1993–2003 гг., $R^2=0,8152$; 5 — на полиномиальной основе ($n=4$) для интервала 1970–2003 гг., $R^2=0,8735$; 6 — на линейной основе для интервала 1993–2003 гг., $R^2=0,9341$; 7 — на полиномиальной основе ($n=6$) для интервала 1970–2003 гг., $R^2=0,9507$; 8 — на линейной основе для интервала 1990–2003 гг., $R^2=0,3057$; 9 — на полиномиальной основе ($n=5$) для интервала 1970–2003 гг., $R^2=0,9348$; 10 — на линейной основе для интервала 1993–2003 гг., $R^2=0,8377$; 11 — на полиномиальной основе ($n=5$) для интервала 1970–2003 гг. и прогноз до 2010 г., $R^2=0,8904$; 12 — на линейной основе для интервала 1993–2002 гг., $R^2=0,9733$; 13 — на полиномиальной основе ($n=6$) для интервала 1970–2003 гг., $R^2=0,8255$; 14 — на линейной основе для интервала 1993–2003 гг., $R^2=0,3057$

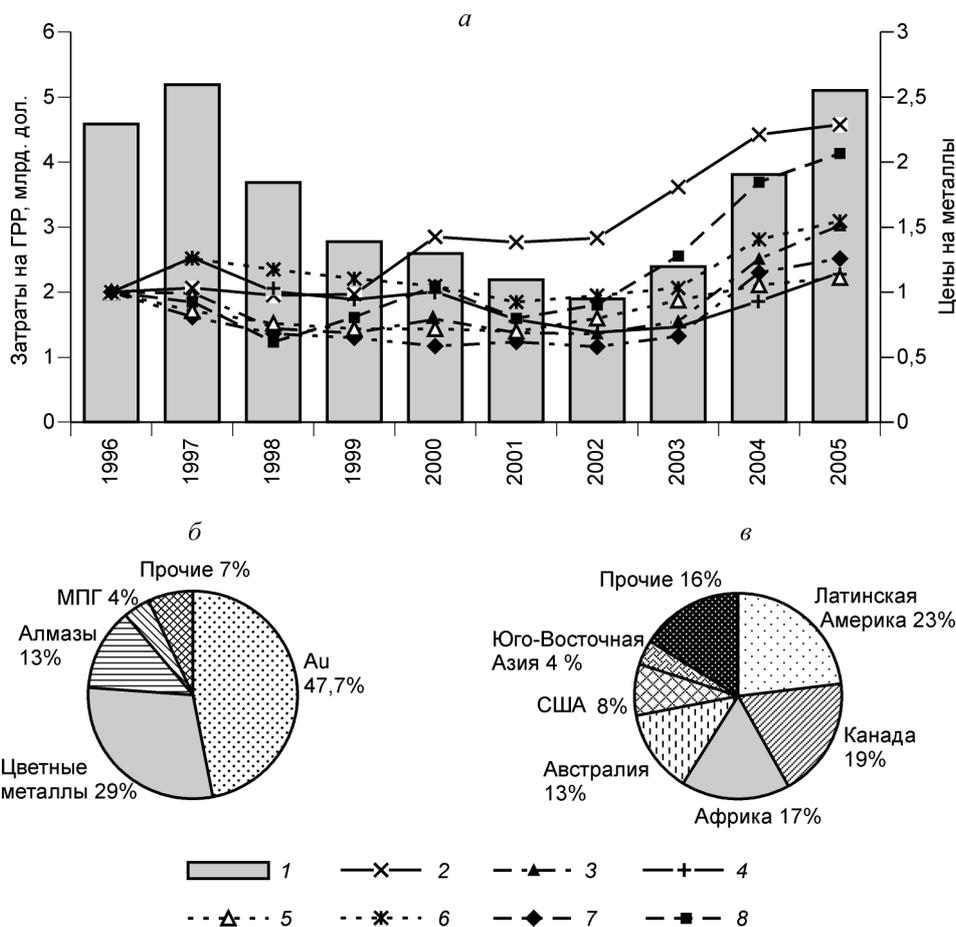


Рис. 3. Динамика суммарных мировых затрат на ГРП (1996–2005 гг.), цен (1996 г.=1) (а), структура затрат на ГРП (2005 г.) по видам сырья (б) и регионам мира (в) на благородные и цветные металлы [10]:

1 — затраты на ГРП; цены: 2 — Pt, 3 — Cu, 4 — Zn, 5 — Au, 6 — Ag, 7 — Pb, 8 — Ni

ния о строительстве горнорудного предприятия с характерной для этого периода минимизацией риска неточной оценки масштаба месторождения. Это, в свою очередь, связано с ростом затрат на проведение ГРП и разработку технико-экономического обоснования строительства будущего горнорудного предприятия.

Авторы провели мониторинг состояния и развития мировой МСБ благородных и цветных металлов на основе систематизации и анализа ретроспективной и текущей геолого-экономической информации по 230 проектам горнорудных предприятий: золото (79), МПП (11), серебро (19), медь (45), свинец и цинк (31), никель и кобальт (35) со сроками освоения 1995–2005 гг. По каждому из них проанализированы проектные данные по геологической обстановке и геолого-промышленным типам (ГПТ) месторождений, запасам и качеству руд, основным и попутным металлам, способам отработ-

ки, производительности рудников по руде и металлам, технологиям переработки руд, капиталовложениям в строительство добывающих предприятий, производственным издержкам, срокам пуска и жизнедеятельности предприятий.

Принятые в проектах суммарные запасы металлов обеспечивают примерно четырехкратное увеличение годового объема добычи золота, десятикратное МПП, 5,5-кратное серебра, 19-кратное меди, 15-кратное цинка, 24-кратное никеля. Эти данные позволяют ориентировочно оценить вектор развития мировой МСБ на среднесрочную перспективу, а распределение капиталовложений — на текущие приоритеты и ранжировать инвестиции по основным металлам: на медь (около 30 млрд. дол.), золото (14,6) и никель (около 11).

Спектр масштабов и ГПТ проектируемых объектов по благородным (рис. 4) и цветным (рис. 5) металлам чрезвычайно широк. Среди крупных золото-

рудных объектов (более 100 т Au) вулканоплутонических поясов — медно-порфировые месторождения — Серро Касале (Чили), Алумбрера (Аргентина), Бату Хайджау (Индонезия), Лас Кристинас (Венесуэла) и др., месторождения штокверков и минерализованных зон — Паскуа-Лама (Чили-Аргентина), Лихир (Папуа-Новая Гвинея), Пиерина и Янакоча (Перу). В эту категорию попадают также крупней-

шие объекты минерализованных и жильных зон зеленокаменных поясов — Бульяххулу и Гейта (Танзания), Уанду (Австралия), Морила, Садиола и Сиама (Мали), минерализованных зон, штокверков и жильных зон терригенно-карбонатных комплексов миогеосинклиналей — Пайплайн, Мейкл, Форт Нокс и Аляска-Джуно (США) и единственный объект в золото-урановых конгломератах — Тарква (Гана). Суммарные запасы золота по всем проектам составляют 8335,8 т.

Платиноносные проекты представлены двумя важнейшими ГПТ — собственно платиновым (малосульфидным) расслоенных базит-гипербазитовых комплексов — Бушвелд (ЮАР) и Великая Дайка (Зимбабве) и сульфидным платиносодержащим Ni-Cu — Рэглан (Канада) и Норсмет (США). Суммарные запасы МПГ по проектам — 2475,4 т.

Горнорудные проекты по серебру представлены широким набором ГПТ от золото-серебряных месторождений штокверков и минерализованных зон вулканоплутонических поясов (Паскуа-Лама, Чили-Аргентина) до различных Pb-Zn месторождений, в том числе серебро-полиметаллических (Сан-Кристобаль, Мексика), колчеданно-полиметаллических в терригенных толщах (Кеннингтон, Австра-

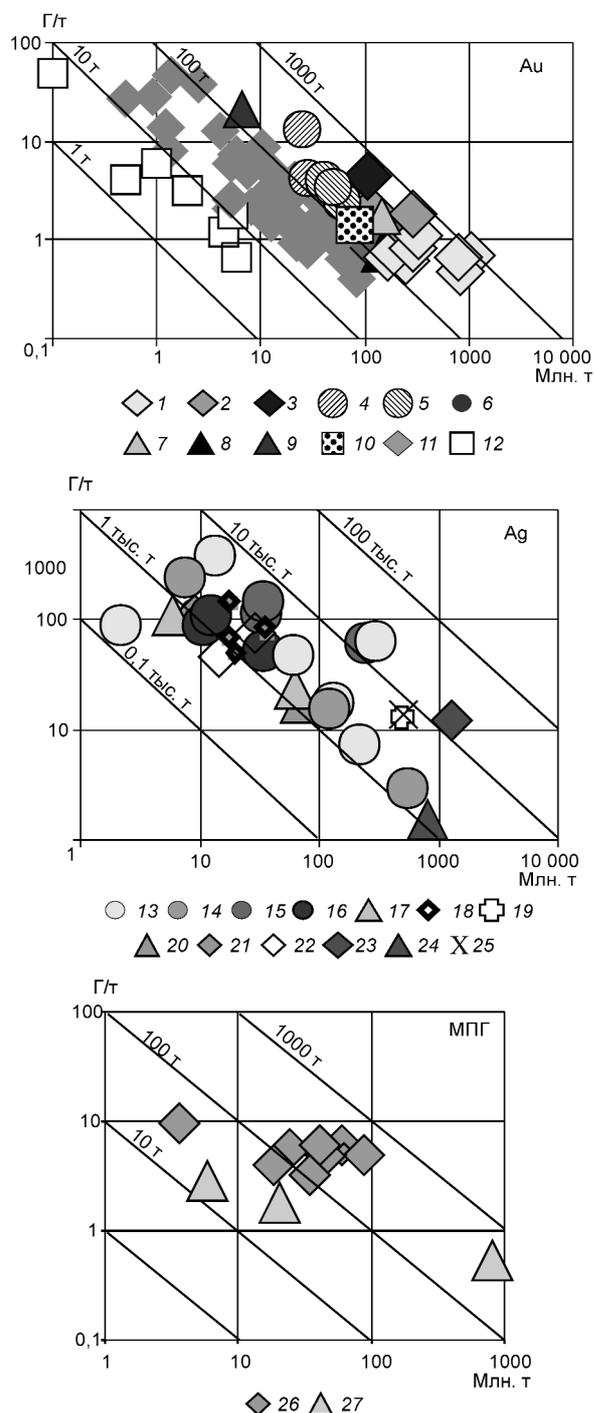


Рис. 4. Геолого-промышленные типы горнорудных проектов по месторождениям благородных металлов (в координатах запасы руды – содержания металла в рудах):

золото: 1 — медно-порфировый вулканоплутонических поясов (ВПП), 2 — минерализованные зоны ВПП, 3 — штокверковые зоны ВПП, 4 — минерализованные зоны в комплексах метавулканитов зеленокаменных поясов, 5 — жильные зоны в комплексах метавулканитов зеленокаменных поясов, 6 — коры выветривания по минерализованным зонам в комплексах метавулканитов зеленокаменных поясов, 7 — минерализованные зоны в терригенно-карбонатных комплексах миогеосинклиналей, 8 — штокверки в терригенно-карбонатных комплексах миогеосинклиналей, 9 — жильные зоны в терригенно-карбонатных комплексах миогеосинклиналей, 10 — минерализованные зоны в золото-урановых конгломератах, 11 — месторождения с запасами Au 10–100 т без разбивки по ГПТ, 12 — месторождения с запасами Au 1–10 т без разбивки по ГПТ; *серебро:* 13 — минерализованные и жильные зоны ВПП, 14 — штокверковые месторождения ВПП, 15 — жильные месторождения ВПП, 16 — золото-серебряные ВПП, 17 — минерализованные зоны в терригенных толщах миогеосинклиналей, 18 — семейство колчеданно-полиметаллических месторождений (в том числе куроко-филизчайский), 19 — колчеданный медно-цинковый, 20 — свинцово-цинковый в карбонатных породах, 21 — свинцово-цинковый стратиформный (красноморский тип) SEDEX, 22 — свинцово-цинковый скарновый (и манто), 23 — медистых песчаников и сланцев стратиформный, 24 — сульфидный платино-медно-никелевый, 25 — техногенные месторождения; *металлы платиновой группы:* 26 — малосульфидный платинометалльный расслоенных комплексов, 27 — сульфидный платино-медно-никелевый

ля), колчеданно-медно-цинковых (Хайула Тесора, Боливия и Антамина, Перу), свинцово-цинковых в карбонатных толщах (Сан-Грегорио, Перу), свинцово-цинковых стратиформных (Леди Лоретта, Австралия), минерализованных зон в терригенно-карбонатных комплексах миогеосинклиналей (Беренгуэла, Перу) и др. Суммарные запасы серебра по проектам — 97 498 т.

Среди проектов по медным месторождениям преобладают медно-порфировые крупнообъемные объекты с низкими содержаниями меди в рудах (Ан-

дина, Эль-Тениенте, Эскондида, Кольяуаси, Чили), медистые песчаники (Конкола Дип, Чибулума, Замбия), колчеданные медно-цинковые (Антамина, Перу), колчеданно-полиметаллические (Ашеле, Китай) и др. Суммарные запасы меди по проектам — 243,7 млн. т.

Свинцово-цинковые проекты представлены крупнейшими колчеданно-полиметаллическими (Ланьпинь, Китай и Мак Артур Ривер, Австралия), колчеданными медно-цинковыми (Антамина, Перу), колчеданно-полиметаллическими в терригенных (Маунт Айза и Джорж Фишер, Австралия) и вулканогенных толщах (Сан Кристоаль, Боливия), свинцово-цинковыми стратиформными (Сенчури, Австралия и Гамсберг, ЮАР) и некоторыми другими типами. Суммарные запасы цинка по проектам — 94,6 млн. т., свинца — 32,9 млн. т.

Среди крупнейших горнорудных проектов по никелю — оба ведущих ГПТ: окисно-силикатный в латеритах (Туба-Бианконума, Кот-д-Ивуар; Сороако, Индонезия; Нонок, Филиппины) и сульфидный медно-никелевый (Ханимун Уэлл, Якабинди, Австралия; Войсиз Бей и Рэглан, Канада). Суммарные запасы никеля по проектам — 18,6 млн. т.

Обобщенные геолого-экономические характеристики проектируемых предприятий нанесены на диаграмму в координатах: приведенные капиталовложения на тонну добываемой руды — годовая производительность по руде (рис. 6). Анализ ее показал связь между указанными параметрами в форме многозначной обратной функциональной зависимости вида $Y = C/x$, где x — приведенные годовые капиталовложения на 1 т руды, дол./т руды; Y — проектная годовая производительность предприятия по

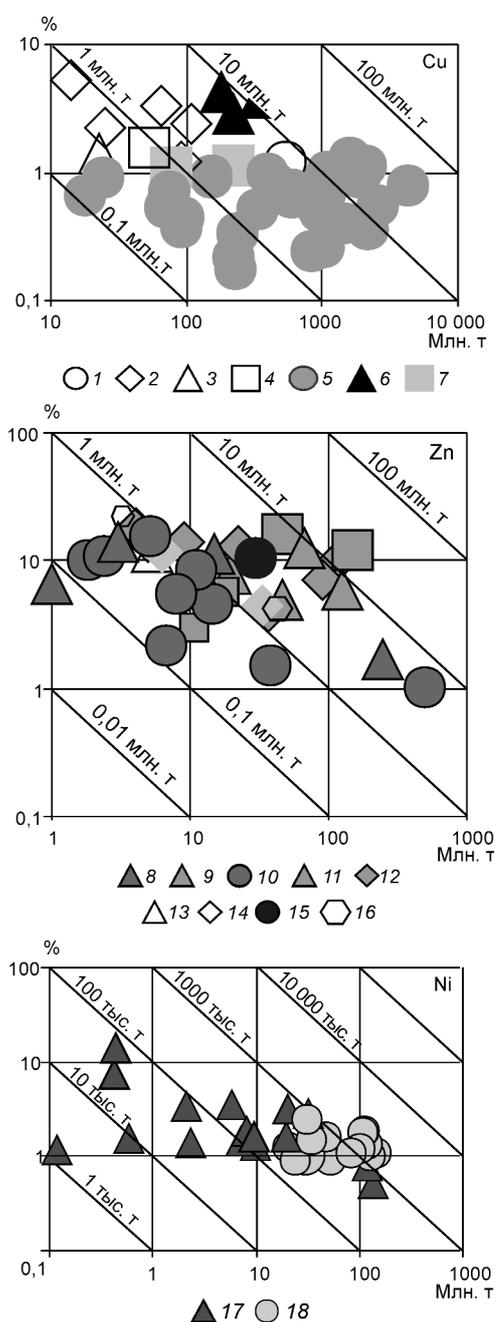


Рис. 5. Геолого-промышленные типы горнорудных проектов по месторождениям цветных металлов (в координатах запасы руды – содержания металла в рудах):

медь: 1 — колчеданный медно-цинковый, 2 — колчеданно-полиметаллический, 3 — свинцово-цинковый стратиформный, 4 — медно-скарновый, 5 — медно-порфировый, 6 — стратиформный медистых песчаников, 7 — медно-железорудный скарновый; *свинец и цинк:* 8 — колчеданно-полиметаллический в вулканогенных породах, 9 — колчеданно-полиметаллический в терригенных и карбонатных породах, 10 — колчеданный медно-цинковый, 11 — свинцово-цинковый в карбонатных породах, 12 — свинцово-цинковый стратиформный, 13 — свинцово-цинковый в соляных диапирах, 14 — свинцово-цинковый скарновый (и тип манто), 15 — свинцово-цинковый несulfидный (окисно-карбонатно-силикатный, включая окисленные руды сульфидных месторождений), 16 — не установленные ГПТ; *никель:* 17 — сульфидный медно-никелевый, 18 — никелевый силикатный и окисно-силикатный

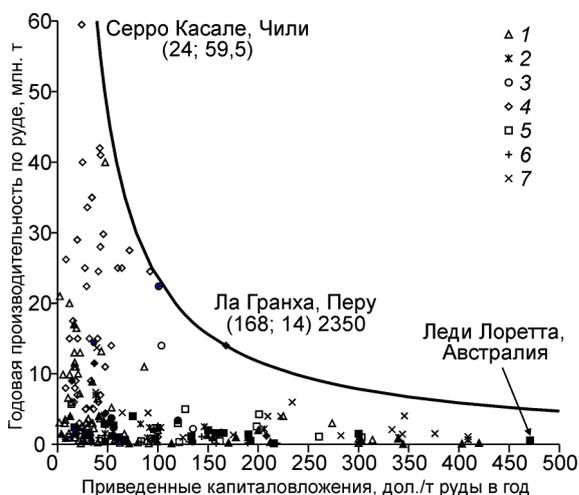


Рис. 6. Мировые горнорудные проекты по благородным и цветным металлам со сроком освоения 1995–2005 гг.:

1 — Au, 2 — МПГ, 3 — Ag, 4 — Cu, 5 — Pb, Zn, 6 — Ni (подземная отработка), 7 — Ni (открытая); залитые знаки — подземная отработка, незалитые — открытая

руде, млн. т; C — объем капиталовложений в проект, млн. дол. Эта зависимость не является строгой, так как допускаются колебания одного из аргумен-

тов при фиксированном значении другого. Подобные многозначные зависимости в последнее время используются при анализе социально-экономических процессов, и это новое направление позволяет моделировать неоднозначные процессы [4]. Применительно к геолого-экономическим исследованиям такие закономерности практически не изучены, но, как показывают полученные результаты, дают возможность моделировать условия и параметры освоения минерально-сырьевой базы.

Пространство поля точек диаграммы отражает спектр возможных комбинаций параметров горнорудных проектов, приемлемых в реальной обстановке конъюнктуры мирового рынка при освоении конкретных минерально-сырьевых объектов. Произведение этих параметров характеризует уровень капиталовложений в каждый осваиваемый объект.

Анализ диаграммы показывает, что установленные закономерности и каждый параметр зависимости можно использовать для моделирования и экспрессной оценки капиталовложений на освоение новых минерально-сырьевых объектов. Таким образом, реальные мировые проекты могут рассматриваться в качестве модельных (эталонных) с априорно рентабельным освоением месторождений при всей многовариантности их параметров [3]. В этом случае диаграмма становится как бы номо-

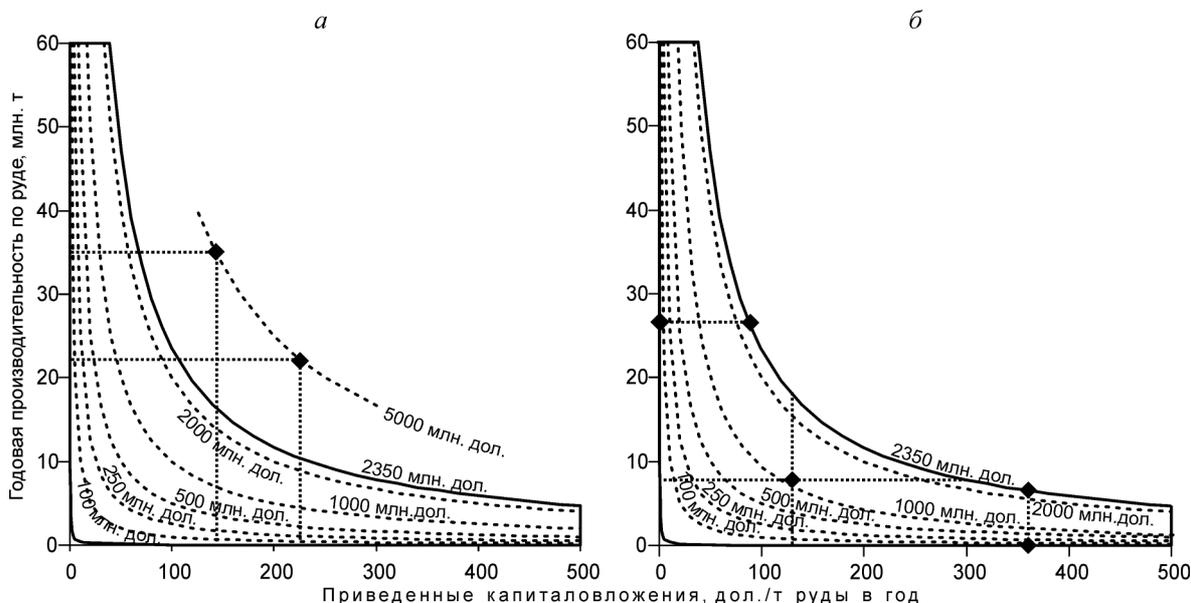


Рис. 7. Варианты экспрессной оценки капиталовложений и других параметров, предполагаемых для освоения объектов МСБ (благородные и цветные металлы):

а — неблагоприятная оценка (возможна в случаях, когда капиталовложения недостаточны или превышают граничные показатели для прибыльных проектных предприятий); *б* — благоприятная оценка (возможна в случаях, когда капиталовложения находятся в поле показателей прибыльных проектных предприятий)

1. Ценностные характеристики руд в недрах некоторых магматических сульфидных месторождений [8]

Месторождение, страна	Общая ценность полезных компонентов, млн. дол.	Запасы руды, млн. т	Потенциальная извлекаемая ценность металлов, дол./т руды
Норильский район, Россия	511 161	1256	407
Рэглан, Канада	7397	25	299
Овоид (Войсиз Бей), Канада	9410	32	297
Томпсон, Канада	31 296	151	212
Садбери (район), Канада	247 802	1673	148
Печенга, Россия	42 757	340	125
Дзиньчуань, Китай	55 195	516	107
Лак дез Иль, Канада	1723	51	34

граммой для экспрессной оценки возможных параметров строительства горнорудных предприятий на месторождениях: годовой производительности по руде, капиталовложений и приведенных капиталовложений на 1 т годовой добычи руды в реальных условиях состояния мирового рынка металлов. Различные варианты такой оценки представлены на модельных диаграммах (рис. 7). Графическое представление данных позволяет также оперативно оценивать приближенно параметры месторождений, еще не прошедших всех стадий ГРР, с учетом их вероятных ГПТ, способов отработки, ценностных качеств руд и др.

Экспрессная оценка возможностей освоения сырьевых объектов была также апробирована на ряде отечественных месторождений: Сухой Лог (терригенно-карбонатные комплексы миогеосинклиналей) с запасами золота около 1540 т, Купол (жильные и минерализованные зоны вулканоплутонических поясов) — 150 т Au и 1800 т Ag, Удокан (стратиформные медистые песчаники) — около 306 тыс. т Cu, Озерное (колчеданно-полиметаллические в вулcano-

генно-осадочных толщах) — запасы Zn 6,9 млн. т, Pb — 1,3 млн. т, Ag — около 4000 т.

Ориентировочные параметры возможных проектов приведены на диаграмме (рис. 8) и показывают, что все они попадают в поле объектов, благоприятных для отработки. Положения точек месторождений Озерное и Купол (открытый и подземный способы) расположены вблизи нижней границы рентабельности. Проекты по месторождениям Сухой Лог и Удокан по геолого-экономическим показателям находятся в средней части поля рентабельной отработки объектов. Однако основные критерии, определяющие принятие решения о начале строительства и добычи на месторождении, не исчерпываются усредненными геолого-экономическими показателями горнорудных проектов. Среди других факторов основными являются:

геологическая позиция месторождения, его геолого-промышленный тип, масштабы, комплексность (предпочтительны крупные месторождения с комплексными рудами золота, МПГ, серебра и др.,

2. Элементы ценностной структуры руд месторождений никеля и МПГ [8]

Месторождение, страна	Содержания в рудах			Суммарная ценность ведущих металлов, дол./т руды	Относительная ценность МПГ в рудах, %
	Pt, г/т	Pd, г/т	Ni, %		
Стиллуотер, США	4,3	15,7	0,0	255	99
Лак дез Иль, Канада	0,2	2,4	0,0	34	93
Норильск, Россия (медистые руды)	8,6	37,9	3,4	1441	58
Садбери, Канада (медистые руды)	7,8	3,4	1,4	372	36
Норильск, Россия (рядовые руды)	1,9	7,7	1,8	360	34
Рэглан, Канада	0,8	2,3	2,7	271	17
Садбери, Канада (руды в целом)	0,5	0,6	1,2	133	10
Томпсон, Канада	0,1	0,5	2,3	195	5
Войсиз Бей, Канада	0,1–0,3	0,1–0,3	1,29–2,88	174	1

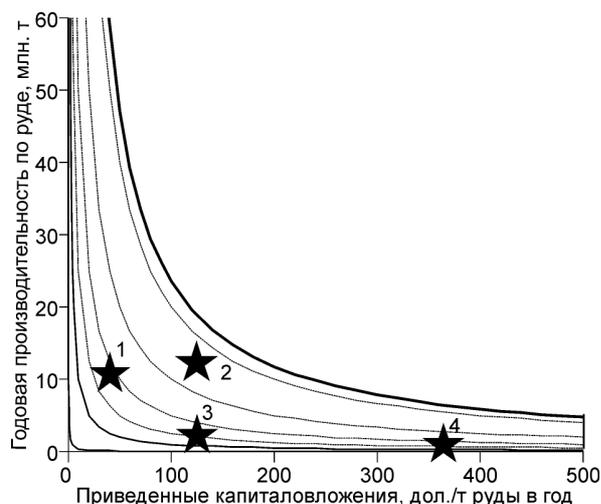


Рис. 8. Примеры экспрессной оценки российских проектов по благородным и цветным металлам на основе модельных данных по зарубежным горнорудным проектам:

1 — проект Удокан (Читинская область) — капиталовложения 400 млн. дол., производство руды 10 млн. т/год, приведенные капиталовложения 40 дол./т руды; 2 — проект Сухой Лог (Иркутская область) — капиталовложения 1240 млн. дол., производство руды 11 млн. т/год, приведенные капиталовложения 113 дол./т руды; 3 — проект Озерное (Бурятия) — капиталовложения 250 млн. дол., производство руды 2 млн. т/год, приведенные капиталовложения ~125 дол./т руды; 4 — проект Купол (Чукотка) — капиталовложения 400 млн. дол., производство руды 1,05 млн. т/год, приведенные капиталовложения 365 дол./т руды

высокие стоимостные показатели, выгодная ценностная структура);

способ отработки месторождения (предпочтительны открытый способ и небольшая глубина залегания рудных тел);

геолого-экономические показатели, отвечающие рентабельной эксплуатации (годовая производительность по руде и металлу, удельные годовые капитальные затраты по руде и металлу и др.);

уровень производственных издержек при текущей конъюнктуре мирового рынка металлов (важнейший комплексный показатель, чувствительный к воздействию различных факторов, благоприятен низкий уровень).

Возможные различия суммарных ценностных характеристик руд демонстрируются на примере комплексных сульфидных медно-никелевых и платинометалльных месторождений [8]. Они могут различаться на порядок (табл. 1). Ценностные различия, наряду с масштабами месторождений, как правило, оказывают существенное влияние на принятие решения о реализации проекта отработки ме-

сторождения. Аналогичные или еще более существенные различия типичны и для других видов благородных и цветных металлов. Так, эксплуатируемое крупное медно-порфировое месторождение Грасберг (Индонезия) содержит, кроме меди, еще около 1900 т запасов золота. Известное свинцово-цинковое месторождение Кеннингтон (Австралия) является также крупнейшим мировым серебряным месторождением.

Значительные различия ценностной структуры руд показаны в табл. 2 также на примере никелевых и платинометалльных месторождений. Показательно канадское месторождение Войсиз Бей с запасами никеля 128 млн. т и весьма низкими содержаниями палладия и платины. На их высокий уровень, по-видимому, очень рассчитывала канадская компания *Inco Ltd.*, когда покупала этот новый объект в 90-х годах за 4,5 млрд. дол. у канадской поисковой компании *Diamonds Fields Resources*. Однако все это не снижает значения месторождения как крупного никеленосного объекта.

Способ отработки месторождения также оказывает существенное влияние на экономику горнорудного проекта. На диаграмме (см. рис. 6) все проекты с открытой добычей тяготеют к вертикальной оси, характеризуются наиболее высокой годовой добычей руды, низкими приведенными капиталовложениями. Для проектов МПГ и сульфидного никеля с преимущественной подземной отработкой обычно более низкая годовая добыча руды и широкий разброс приведенных капиталовложений. Свинцово-цинковым месторождениям соответствуют умеренные объемы годовой добычи.

Наряду с капиталовложениями, производственные издержки являются основным показателем рентабельности освоения месторождений. Примеры динамики производственных издержек при добыче благородных и цветных металлов показаны на рис. 9 для мира в целом и ведущих компаний. Изменения производственных издержек ведущих стран-производителей имеют различный характер. Для золота рост издержек отмечается с 2002 г. практически у всех ведущих стран, особенно в ЮАР (рис. 9, а). По цветным металлам за 1994–2004 гг. для одних стран и мира они снижаются, для других — почти неизменны, а в некоторых — повысились (см. рис. 9, б, в). Наиболее заметное снижение издержек при одновременном росте объемов производства произошло по никелю (рис. 9, г). Комплексное влияние на производственные издержки компаний различных факторов (ГПТ месторождений, стоимостной структуры руд, новых технологических процессов извлечения металлов из руд и др.) иллюстрируется на примере

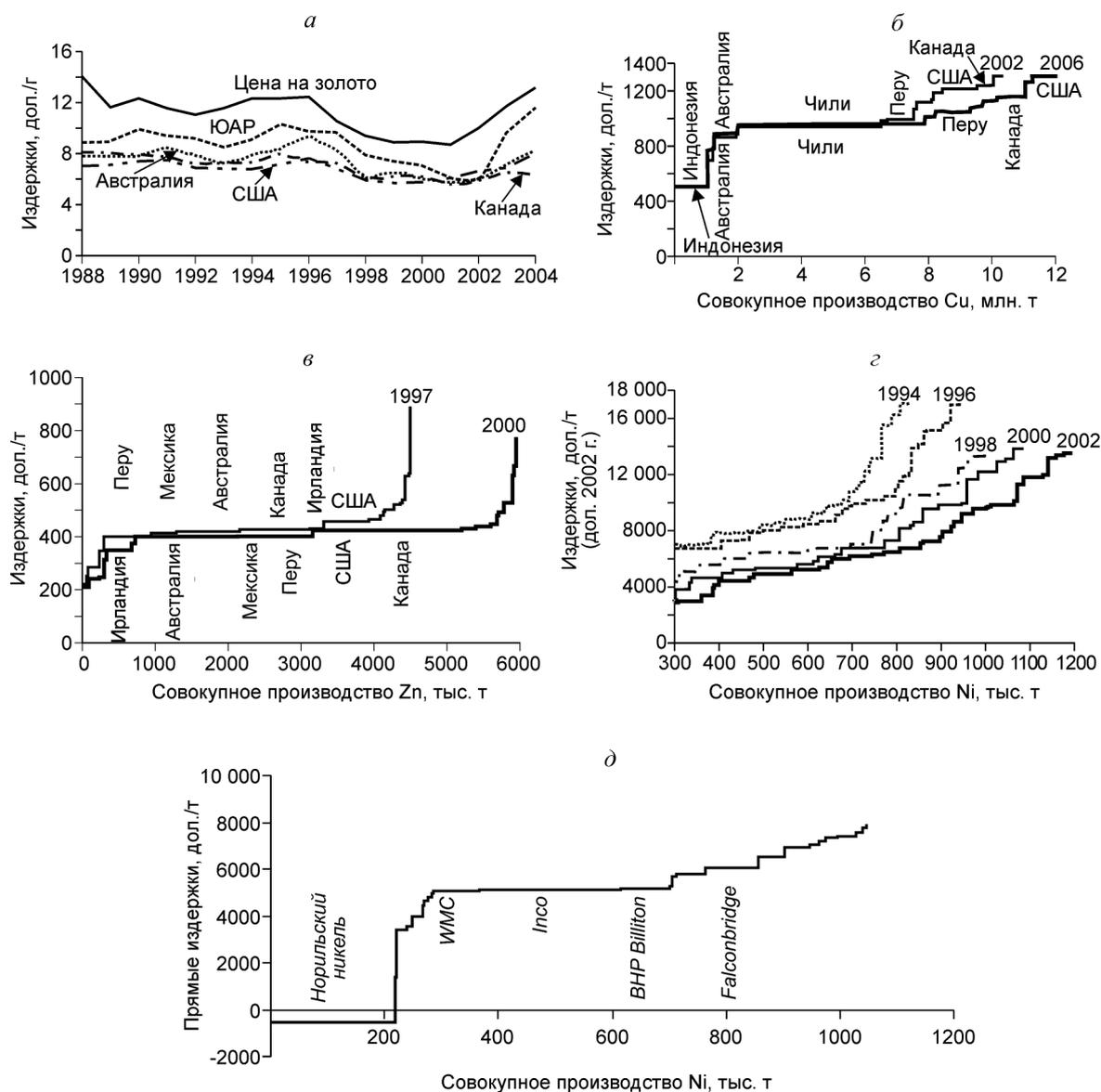


Рис. 9. Динамика издержек производства некоторых благородных и цветных металлов ведущих стран-производителей и компаний в 1994–2004 гг. (а – д)

различий этого показателя у ведущих никеледобывающих компаний мира (см. рис. 9, д).

Укрупненная экспрессная оценка капитальных затрат на строительство проектируемых горнодобывающих предприятий с учетом существующей мировой практики освоения месторождений благородных и цветных металлов в реальном времени с использованием модельных разработок может проводиться на объектах, еще не прошедших полностью всех стадий ГРП и геолого-экономической оценки (рис. 10). Это позволяет проводить экспертную предварительную оценку сравнительной экономической эффективности рассматриваемых альтер-

нативных решений на «стадии оценки» (предпроектная стадия) инвестиционных проектов строительства и реконструкции предприятий [3].

Учет перечисленных особенностей проектируемых объектов освоения МСБ при их экспрессной оценке способствует анализу различных аспектов экономической доступности минерально-сырьевых ресурсов на основе соотношения фактических и расчетных цен товарной продукции как меры экономической доступности минерального сырья [2] и существенно образом влияет на расчетные геолого-экономические параметры будущих добывающих предприятий.

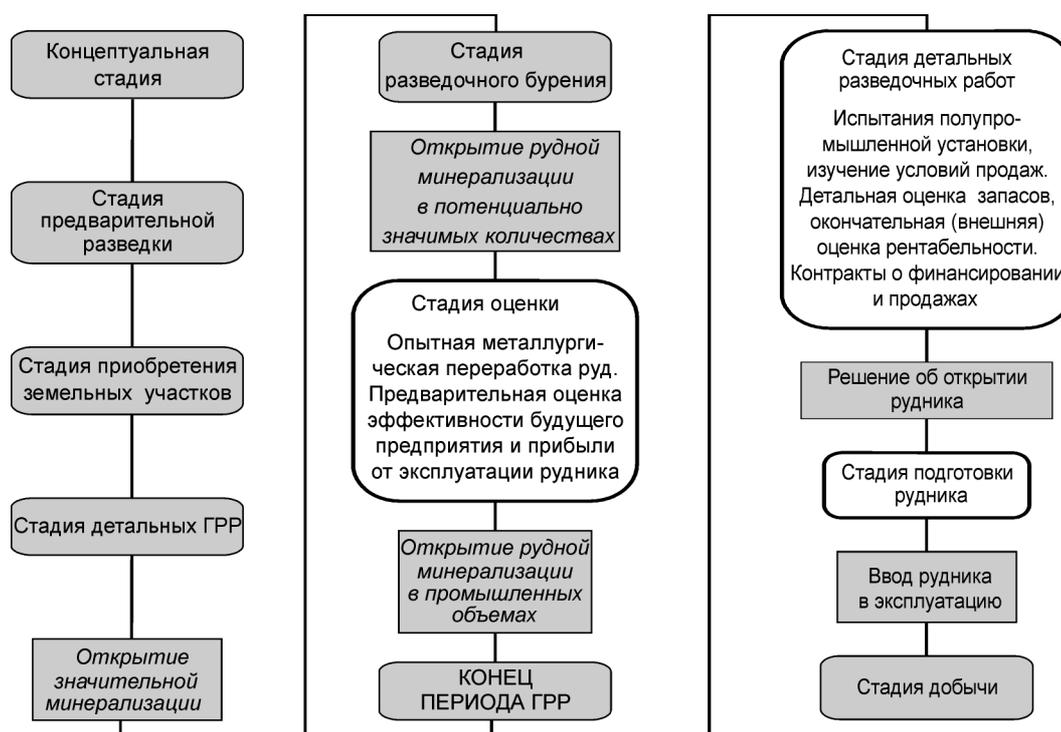


Рис. 10. Место горнорудных проектов в общей схеме освоения минерально-сырьевых ресурсов:

возможности экспрессной оценки объектов реализуются на стадиях их освоения, показанных без заливки

Таким образом, мониторинг геолого-экономических показателей мировых горнорудных проектов освоения минерально-сырьевых объектов позволяет прогнозировать в среднесрочной перспективе динамику обеспеченности мировой горнодобывающей промышленности благородными и цветными металлами, а также отслеживать конкретные источники этой обеспеченности.

Априорная расчетная рентабельность реальных горнорудных проектов по благородным и цветным металлам в конкретных условиях конъюнктуры мирового рынка предоставляет возможность для экспрессной укрупненной оценки (включая графический вариант) новых минерально-сырьевых объектов, геологоразведочных работ, не прошедших во всей полноте соответствующих стадий экономической оценки, и проводить такую оценку еще до окончания периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каница С.П.* Общая теория роста населения Земли. – М.: Наука, 1999.
2. *Мацко Н.А.* Динамические аспекты доступности минерально-сырьевых ресурсов // Маркшейдерия и недропользование. 2002. № 4. С. 16–19.
3. *Моссаковский Я.В.* Экономика горной промышленности. – М: МГУ, 2004.
4. *Осунов Г.В.* Методы измерения в социологии. – М.: Электронная библиотека социологического факультета МГУ, 2005.
5. *Dummet H.T.* Minerals resource development — our new Challenges // Mining Engineering, July 2000. Vol. 52. №. 7. P. 37–42.
6. *Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States.* USGS Open-File Report 01-006, 2005 (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/of01-006/>) / T. Kelly, D. Buckingham, C. DiFrancesco et al.
7. *Kesler S.E.* Mineral Economics. Value of Growth of World Mineral and Other Raw Material Production // SEG Newsletter. 1994. №. 17. P. 14–15.
8. *MuskoX Minerals Corp.* Cu-Ni-Pt-Pd in the Muscox Intrusion. An Anglo American (Canada) / MuskoX Minerals Joint Venture, 2005 (<http://www.muscoxminerals.com/presentations/mar2004/slides1-25.jpg>).
9. *Wagner H., Fettweis G.B.L.* About science and technology in the field of mining in the Western world at the beginning of the new century // Resources Policy. 2001. №. 27. P. 157–168.
10. *World Exploration Trends.* A Special Report from Metals Economic Group for the PDAC2005 International Convention. MEG, 2006.

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.441 (574)

© М.С.Рафаилович, В.Л.Лось, 2007

ВАСИЛЬКОВСКОЕ ШТОКВЕРКОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ЗОЛОТА: ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИИ, ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ

М.С.Рафаилович (Институт природных ресурсов ЮГГЕО, Республика Казахстан), В.Л.Лось (Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья, Республика Казахстан)

Рассматриваются геологическая и структурная позиции, распределение золота, состав гидротермально измененных пород, минералого-геохимическая зональность золоторудного месторождения Васильковское в Северном Казахстане. Васильковское месторождение — модельный образец для прогноза и поисков крупнообъемных золотоносных штокверков в Казахстане и других регионах мира.

Крупнообъемные золото-сульфидно-кварцевые штокверки — высокорентабельный геолого-промышленный тип рудных концентраций. Новейшие технологии переработки минерального сырья (автоклавное окисление, биометоды, кучное выщелачивание и др.), позволяющие эффективно обогащать залежи различного качества, включая «упорные» ранее законсервированные и забалансовые руды со средними, низкими и предельно низкими содержаниями золота, стимулируют рост коммерческой значимости таких месторождений. Особый интерес, как показывает мировой опыт, представляют гигантские штокверки сечением сотни метров и более, локализованные в мезотермальных интрузивных массивах (Intrusion Related Deposits).

К крупным штокверковым месторождениям в интрузивных породах (в скобках среднее содержание Au, г/т) относятся Форт Нокс на Аляске (0,9), Васильковское в Казахстане (3,5), Джеруй и Ункурташ в Киргизии (соответственно 4,7 и 1,8), Зармитан в Узбекистане (первые граммы на 1 т), Джилао в Таджикистане (1,7) и др. [2–4, 15]. Для них характерны следующие признаки:

образование в обстановке больших глубин в породе высокой тектонической активности земной коры (коллизонная, островодужная стадии);

локализация в сложнопостроенных морфоструктурных узлах длительного развития (купола,

кольцевые структуры, шовные зоны, складчато-надвиговые деформации, каркасы разломов различного порядка, замыкания складок и др.);

яркая выраженность в геофизических полях (магнитном, силы тяжести, гаммоспектрометрии);

тесный парагенезис с многофазными интрузивами гранитоидов повышенной щелочности (до монзонитов, сиенитов), имеющими комбинированное мантийно-коровое происхождение;

дифференцированные дайковые комплексы, включающие тела аплитов и пегматитов;

повышенная степень метаморфизма вмещающих толщ (кварц-серицитовые и углеродистые сланцы, амфиболиты, гнейсы, скарноиды, роговики);

повторяющийся спектр гидротермальных изменений (калишпатизация, березитизация, поздние аргиллизация, альбитизация, хлоритизация);

значительный вертикальный размах до 0,8–1,5 км;

зональное строение штокверков с преобладанием жильных и жильно-прожилковых руд на верхних горизонтах, прожилковых и вкрапленных — на средних и нижних.

ведущая Au-As-Bi-Te-W-Mo специализация;

подчиненная роль серебро-сурьмяно-полиметаллической ассоциации;

несколько генераций самородного золота;

специфические минералы-индикаторы (висмутин, тетрадимит, шеелит, арсенопирит).

Рассмотрим Васильковское месторождение — эталон мирового уровня гигантского золото-сульфидно-кварцевого штокверка [1–3, 5, 12].

Месторождение расположено в Северном Казахстане на территории Кокшетауского срединного массива (террейна) — крупного блока метаморфических пород докембрия, подвергнувшегося в фанерозое интенсивной гранитизации и аккреции. Основные структурные элементы Васильковского рудного района — северо-восточная периферия Кокшетауского террейна, узел пересечения региональных разломов северо-западного (Донгульагашский, Алексеевский), северо-восточного (Васильковско-Березовский) и широтного (Широтный) направлений, Северо-Кокшетауская эллипсоидная купольно-кольцевая структура размером 55×30 км, осложненная куполами второго порядка (рис. 1).

Большая часть Васильковского района сложена вытянутым в северо-западном направлении Северо-Кокшетауским куполовидным дифференцированным позднеордовикским интрузивом зерендинского комплекса (габбро, габбро-диориты, диориты, гранодиориты, плагиограниты, монцититы) [1, 5]. Характерны сложные фазово-фациальные переходы и частая перемежаемость пород, полосчатость, шлировые обособления, наличие мигматитов, ветвящиеся апофизы. Ранние интрузивные образования габброидного ряда (габбро, габбро-диориты, диориты) имеют повышенную щелочность с преобладанием натрия над калием. В поздних кислых разностях понижены содержания CaO, MgO, суммарного железа и Al₂O₃ при повышенной кремнекислотности, высоком содержании суммы щелочей (10–12%), резком преобладании калия над натрием (до 4:1). В гранодиоритах широко развита площадная калишпатизация с порфиробластами вторичного микроклина красного, розовато-серого и серого цветов, составляющими от 5–10 до 45–70% от объема породы. Среди дайковых образований преобладают кислые породы — мелкозернистые граниты, аплитовидные граниты, а также пегматиты, слагающие пологопадающие маломощные тела и шлировые выделения [1].

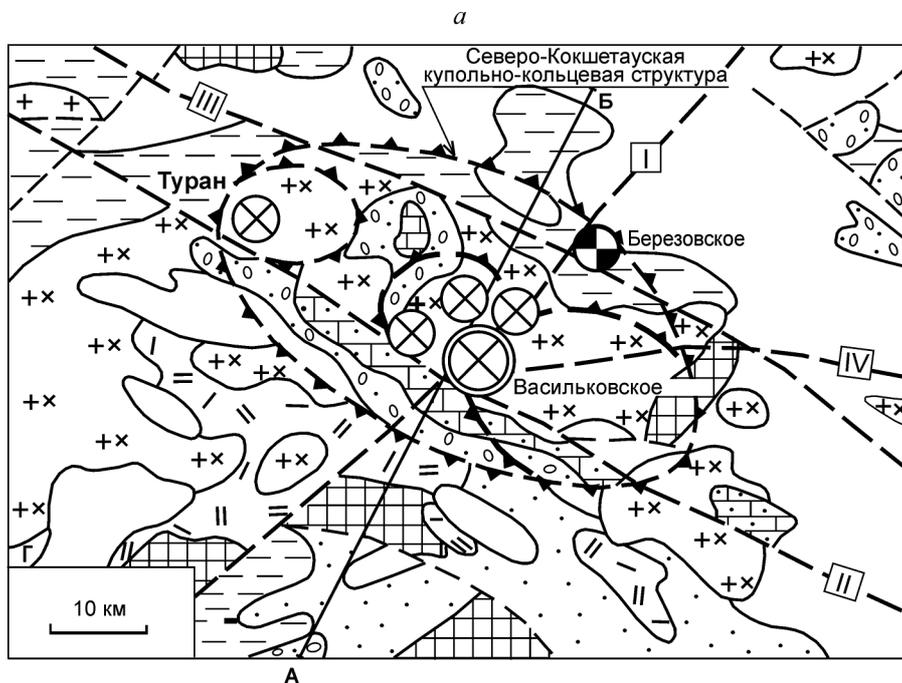
На юго-западном фланге района развиты средне-верхнедевонские красноцветы и нижнекаменноугольные терригенно-карбонатные отложения (Северо-Кокшетауский прогиб). Северо-восточный фланг сложен углеродисто-терригенно-карбонатными породами верхнего рифея–венда (шарыкская свита) с повышенным фоном золота. Реже встречаются ниже-среднепротерозойские амфиболиты, кристаллические сланцы, гнейсы и средне-верхнеордовикские флишоиды.

Ведущий тип руд — золото-сульфидно-кварцевый штокверковый в верхнеордовикских интрузивных породах (Васильковское, Туран, Дальнее и др.). В отложениях шарыкской свиты локализовано золото-колчеданно-барит-полиметаллическое Березовское месторождение. На площади известны месторождения и проявления урановой минерализации эйситового типа.

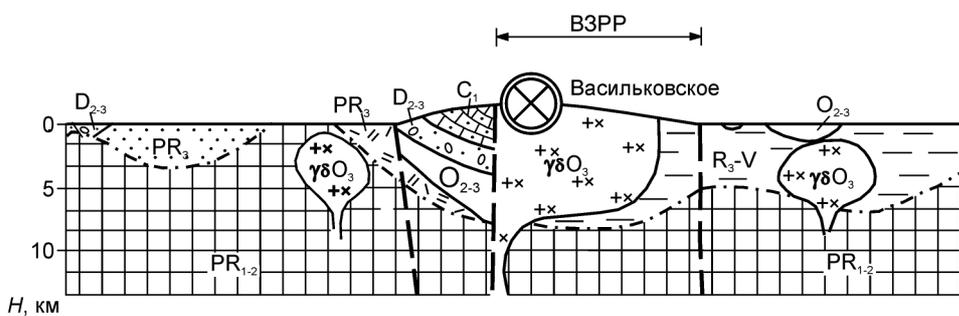
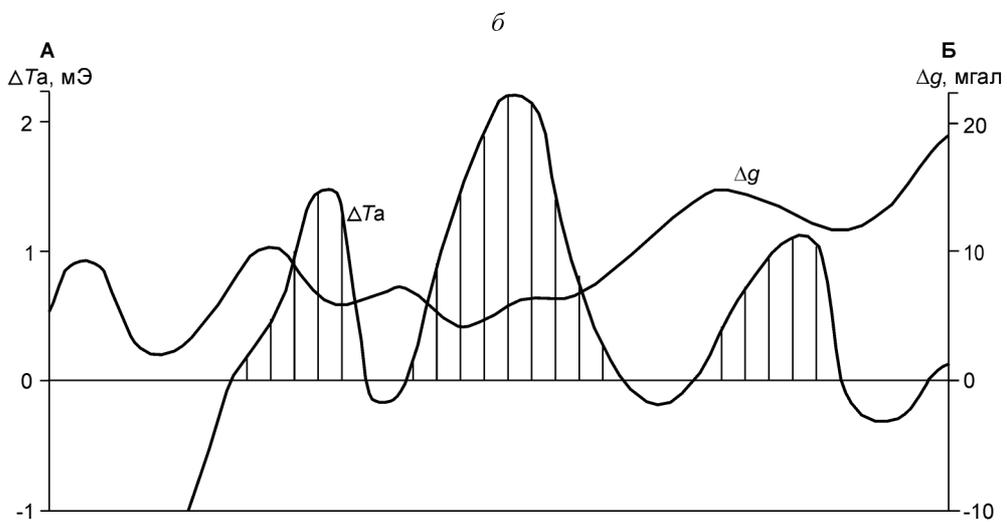
Васильковский золоторудный район отчетливо проявляется в геофизических полях, глубинных тектонических структурах, региональных и локальных геохимических аномалиях [5, 9, 11]. Концентрированное золотое оруденение размещается в зоне Донгульагашского разлома в гибридизированных интрузивных породах повышенной намагниченности. Золоторудные объекты располагаются на переходе от положительных гравитационных аномалий к отрицательным; первые фиксируют слабо гранитизированные породы фундамента, вторые — интенсивно гранитизированный субстрат. Васильковский район тяготеет к мобильной тектонической зоне, находящейся на контакте гранитогнейсового купола и фемического (зеленокаменного) блока пород фундамента. Эта зона над областью локального подъема поверхности Конрада и локального прогиба поверхности Мохо (рис. 2) глубинными корнями связана с линзой гранулит-базальтового слоя повышенной мощности (24–26 км). По В.Н.Любецкому, линза имеет магматическое и метасоматическое происхождение, формировалась при активном участии восстановленных флюидов, базальтовых и андезитовых расплавов.

Васильковский рудный район занимает закономерное положение в региональных полях концентраций золота (рис. 3) [8]. Модель распределения золота составлена по данным высокочувствительного (0,2 мг/т) нейтрон-активационного анализа более 1000 штучных проб (анализы предоставлены В.Н.Любецким). Статистическое и пространственное распределение золота характеризуется значительной неоднородностью и большим диапазоном изменений. По минимумам и перегибам специальной проверочной функции и форме гистограммы распределения золота выделяются пять популяций (совокупностей) проб со следующими уровнями концентраций Au, мг/т: A₁ — с резким дефицитом металла (<0,5); A₂ — с умеренным дефицитом (0,5–2,0); B — соответствующая местному «фону» (2,0–5,0); C₁ — повышенных концентраций (5,0–25,0); C₂ — высоких концентраций (от 25,0 до сотен). Перечисленные уровни отделяются друг от друга «естественными» границами 0,5, 2,0, 5,0, 25,0 мг/т.

Васильковский золоторудный район пространственно совпадает с областью развития высоких



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17



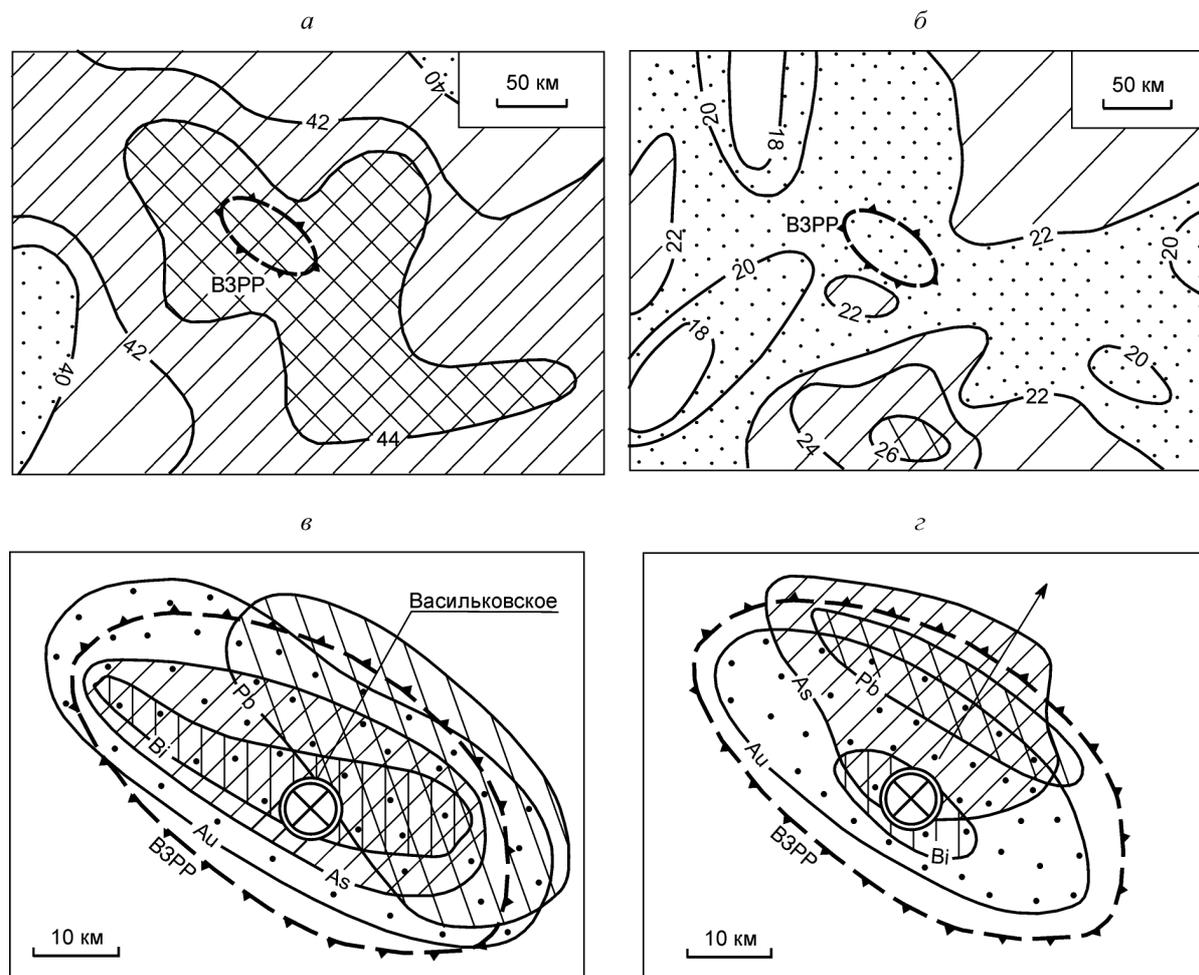


Рис. 2. Схемы изоглубин (км) поверхности Моха (а) и поверхности Конрада (б) Васильковского золоторудного района, позиция Васильковского месторождения в геохимических (в) и гидрохимических (г) полях, по В.И.Шацкову, В.Н.Любецкому, М.С.Рафаиловичу, А.П.Кобзарь:

стрелкой показано направление потока подземных вод

концентраций уровня C_2 ($Au > 25,0$ мг/т). С запада, юго-запада и юга к этой области примыкает ареал уровня A_1 с резким дефицитом золота ($< 0,5$ мг/т) площадью около 10 тыс. км². Области дефицита зо-

лота (уровни A_1, A_2) интерпретируются как зоны выноса, а области повышенных концентраций (C_1, C_2) как зоны накопления и возможного рудообразования. Региональное перераспределение золота мо-

Рис. 1. Геолого-структурная позиция (а) и глубинный геолого-геофизический разрез (б) Васильковского золоторудного района (ВЗРР), по М.С.Рафаиловичу, Г.М.Козловскому, В.Н.Арефьеву:

геологические формации: 1 — терригенно-карбонатная, C_1 , 2 — молассовая конгломерат-песчаниковая, D_{2-3} , 3 — терригенная, вулканогенно-терригенная, O_{1-2}, O_2, O_{2-3} 4 — терригенная кварцитопесчаниковая, R_3-V (кокшетауская свита) 5 — углеродисто-терригенно-карбонатная, R_3-V (шарыкская свита) 6 — порфиридно-порфиритоидная, R_{1-2} (кууспекская свита), 7 — амфиболит-гнейсовая, PR_{1-2} (зерендинская серия), 8 — лейкогранитовая, D_2 (дальненский, золотонешенский интрузивные комплексы), 9 — интрузивов пестрого состава, O_3 (зерендинский комплекс), 10 — габбро-габбро-диоритовая; 11 — купольно-кольцевые структуры; 12 — региональные разломы (I — Васильковско-Березовский, II — Донгулагашский, III — Алексеевский, IV — Широшный); 13 — разломы второго и третьего порядков; золото-сульфидно-кварцевые объекты штокверкового типа: 14 — Васильковское месторождение, 15 — мелкие месторождения и рудопроявления; 16 — золото-колчеданно-барит-полиметаллическое Березовское месторождение; 17 — линия геолого-геофизического разреза

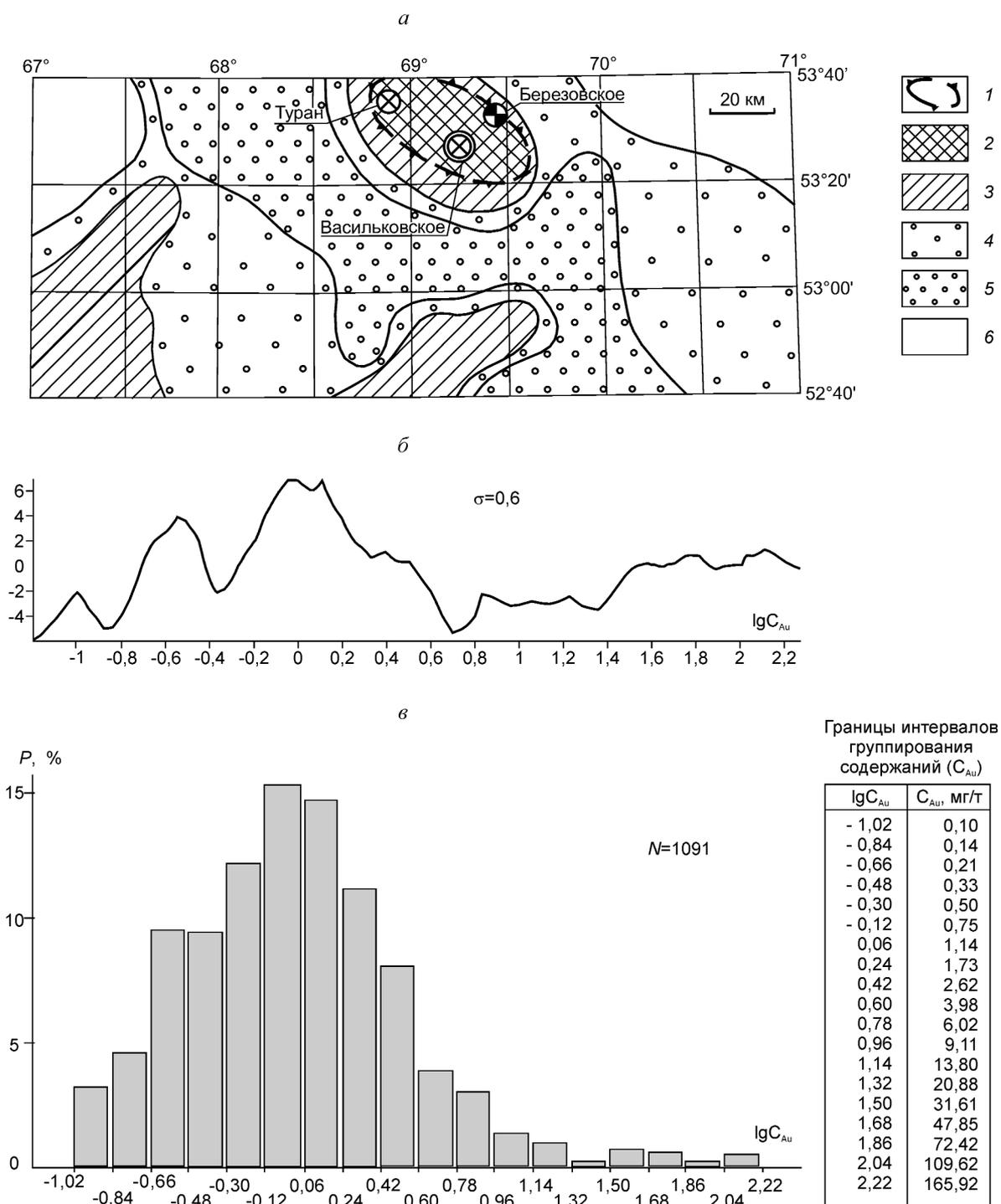


Рис. 3. Модель распределения золота в коренных породах Кокшетауского террейна, составлена по материалам В.Н.Любецкого:

a — региональное распределение, *б* — проверочная функция, по [6], *в* — гистограмма распределения (N — число проб); 1 — Северо-Кокшетауская купольно-кольцевая структура (пространственно совпадает с контуром Васильковского золоторудного района); поля концентраций Au, мг/т: 2 — >25, 3 — 2–25, 4 — 0,5–2, 5 — <0,5, 6 — данные по золоту отсутствуют; остальные усл. обозн. см. рис. 1

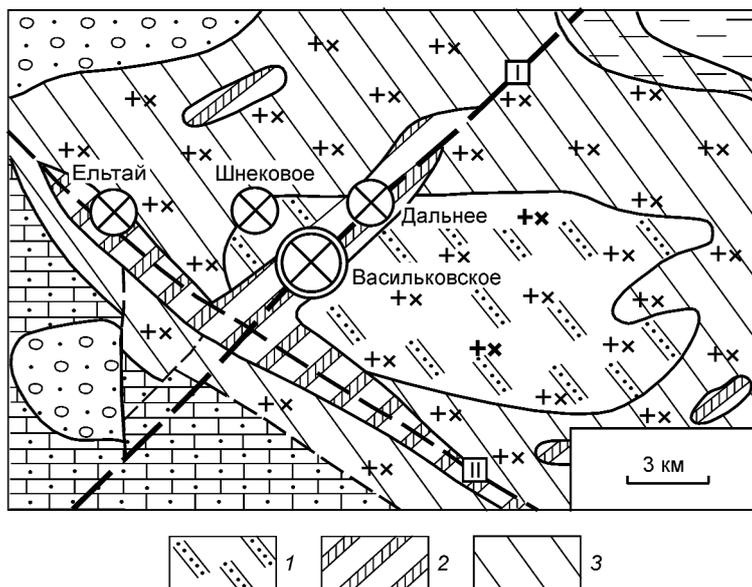


Рис. 4. Метасоматическая зональность Васильковского золоторудного поля, по материалам АО «Степгеология»:

1 — региональные калишпатиты; 2 — березиты; 3 — пропилиты и пропилитизированные породы; остальные усл. обозн. см. рис. 1

жет быть вызвано как «местными» (электрохимические процессы, по [7, 8]), так и более глубинными тектономагматическими факторами.

Геохимические и гидрогеохимические поля, развитые в пределах Васильковского района, коррелируют с размерами и пространственной позицией рудоносного Северо-Кокшетауского купольного поднятия. От юго-западной глубоко эродированной части купольной структуры к северо-восточному слабо эродированному флангу наблюдается единая последовательность в смене геохимических и гидрогеохимических аномалий: Au – As, Bi – Pb (см. рис. 2) [5].

Васильковское золоторудное поле (Васильковское, Шнековое, Дальнее, Ельтай), локализованное в узле пересечения Донгульгашского и Васильковско-Березовского разломов, характеризуется каркасно-блоковым тектоническим строением и контрастными гидротермальными изменениями пород. На формирование рудного поля и размещение золотого оруденения влияли три системы разрывных нарушений: рудоподводящие северо-западные ($300\text{--}320^\circ$), рудораспределяющие северо-западные ($320\text{--}345^\circ$) и субширотные ($75\text{--}90^\circ$), рудоконтролирующие северо-восточные ($20\text{--}40^\circ$) [1]. Трещины и трещинные зоны служили каркасом для проявлений метасоматоза. Важнейший тип гидротермалитов — высокотемпературная калишпатизация с несколькими разновидностями метасоматического

микроклина: дорудным (метакристаллы в интрузивных породах, полевошпатовые линзы и жилы в протектонических трещинах), синрудным (оторочки на контакте с золотоносными кварц-сульфидными жилами) и пострудным (кварц-полевошпатовые прожилки, наложенные на штокверковое оруденение). По данным АО «Степгеология», зона калишпатитов размером не менее $15 \times (6\text{--}8)$ км имеет субширотное простирание (рис. 4). Полихронная калишпатизация отчетливо проявлена на Васильковском месторождении. Региональные березиты (кварц, серицит, хлорит, карбонат) образуют приразломные линейные тела до $(15\text{--}20) \times (3\text{--}2,5)$ км, частично перекрывающие калишпатизированные породы. По обрамлению калишпатитов и березитов располагаются пропилиты и пропилитизированные породы с кварцем, карбонатом, альбитом, хлоритом, эпидотом, пренитом.

Васильковское месторождение приурочено к контакту габбро-диоритов и диоритов с роговообманково-биотитовыми гранодиоритами и плагиогранитами (рис. 5). Сечение штокверка на поверхности — первые сотни метров, вертикальная протяженность до 1–1,5 км. Средние содержания Au 3–5 г/т. Штокверк состоит из серии золотоносных струй, склоняющихся под углами $35\text{--}40^\circ$ в юго-западном направлении.

Месторождение характеризуется объемно-концентрической метасоматической, минеральной и

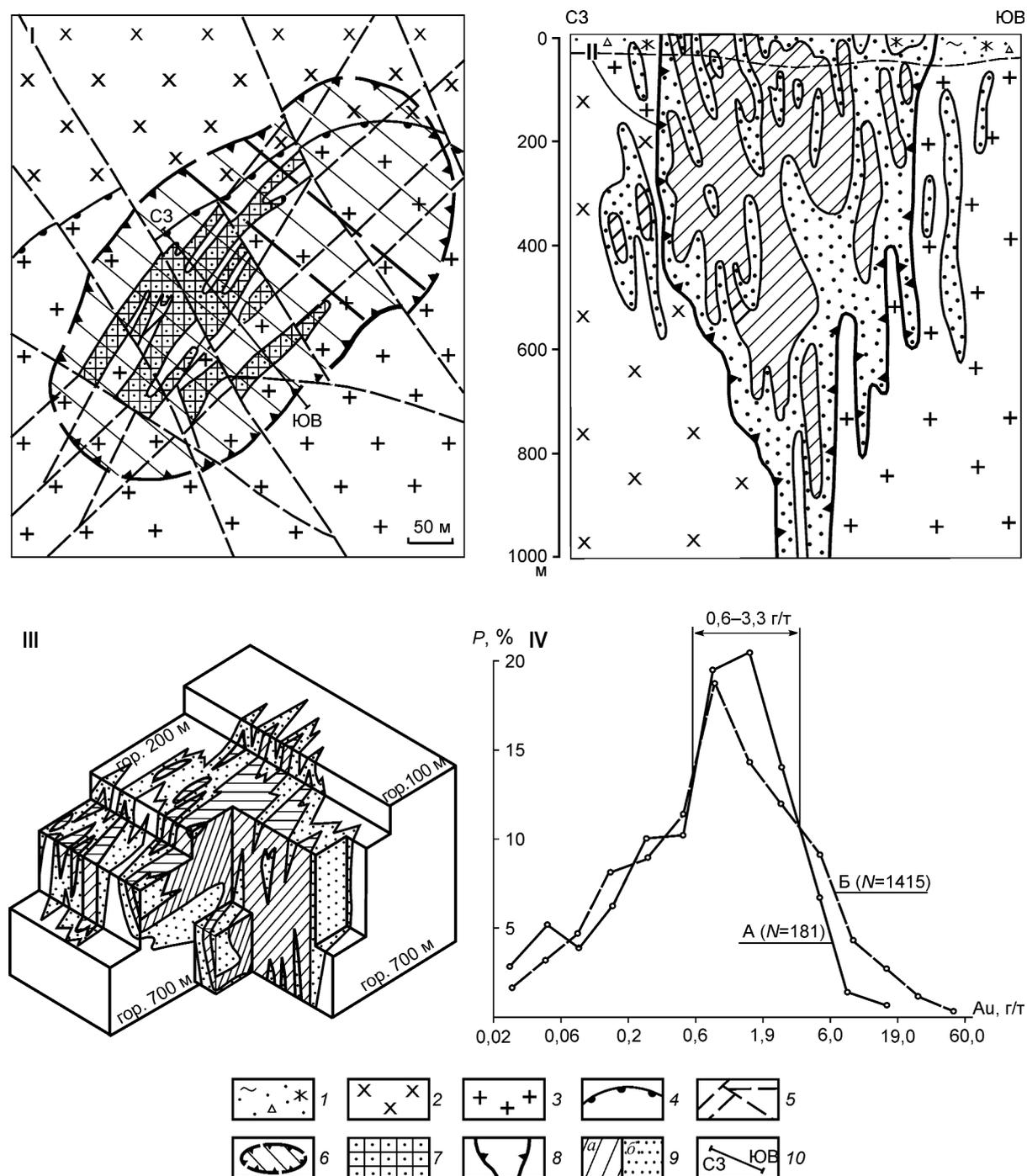


Рис. 5. Васильковское золоторудное месторождение, по материалам ТВ «Севказнедра», НИИ ЮГГЕО, КазИМСа:

I — геологическая схема, II — геологический разрез, III — блок-диаграмма золоторудного штокверка, IV — распределение золота в коре выветривания (А) и коренных породах (Б); 1 — глинисто-щебнистая кора выветривания; интрузивные породы; 2 — нерасчлененные габбро-диориты, диориты, 3 — гранодиориты, плагиограниты, 4 — контакт между породами среднего-основного (габбро-диориты, диориты) и кислого (гранодиориты, граниты) составов; 5 — разломы; 6 — контур прожилковой и прожилково-вкрапленной золотой минерализации; 7 — золотоносные штокверки; 8 — контур золотоносного штокверка в разрезе; 9 — содержания Au в золотоносном штокверке (а — средние и высокие, б — низкие); 10 — линия геологического разреза

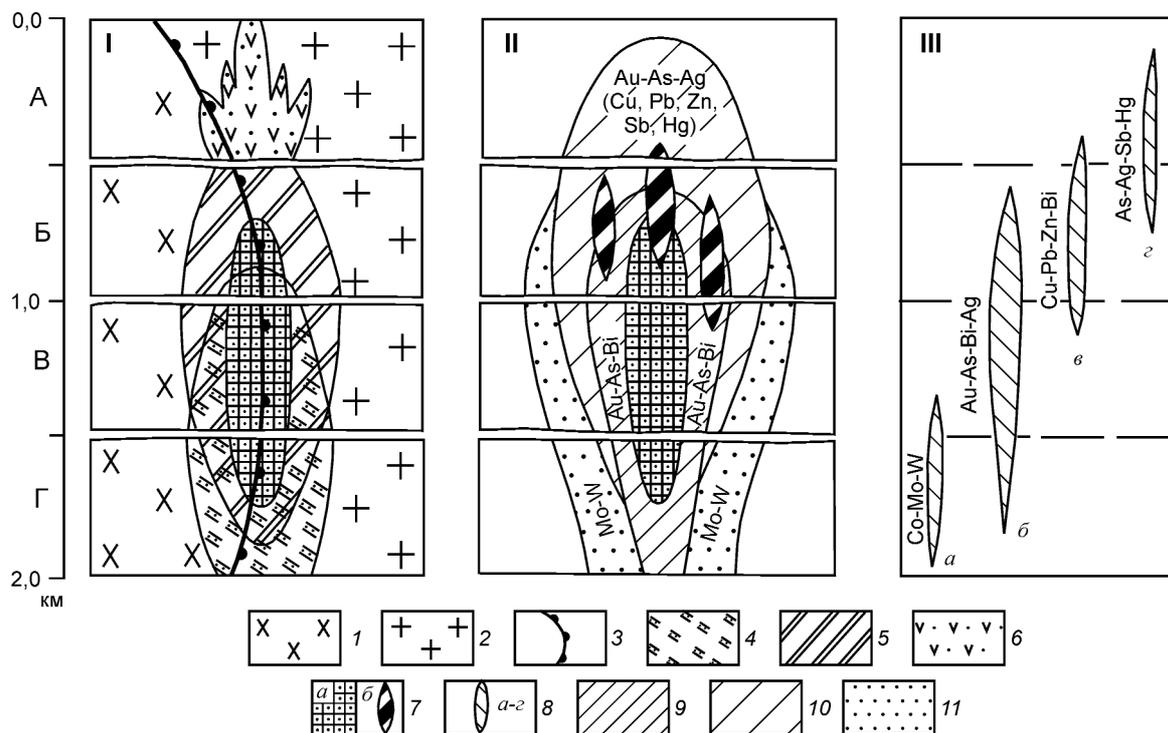


Рис. 6. Модели метасоматической (I) и геохимической (II, III) зональностей месторождения Васильковское, составлены М.С.Рафаиловичем с использованием материалов А.А.Шиганова, Ю.И.Четверткова, В.Б.Чекваидзе, В.М.Абишева:

1 — габбро-диориты, диориты; 2 — гранодиориты, плагиограниты; 3 — контакт интрузивных фаций; гидротермалиты: 4 — высокотемпературные калишпатиты, 5 — березиты, 6 — хлорит-альбитовые метасоматиты; 7 — рудные залежи: а — Au-As-Bi штокверк, б — золото-кварц-полиметаллические тела (Au, Pb, Zn, Ag); 8 — геохимические ассоциации (а — преимущественно нижнерудная Co-Mo-W, б — основная продуктивная Au-Bi-As-Ag (развита в зонах Б, В, Г), в — преимущественно верхнерудная полиметаллическая Cu, Pb, Zn, Bi, г — надрудно-верхнерудная As-Ag-Sb-Hg); геохимические полосы: 9 — Au-As-Bi, 10 — Au-As-Ag (с Pb, Zn, Cu, Sb, Hg), 11 — Mo-W; зоны месторождения: А — фронтальная (надрудная), Б — прифронтальная (верхнерудная), В — промежуточная (среднерудная), Г — тыловая (нижнерудно-подрудная)

геохимической зональностями. Его прогнозно-поисковая модель включает четыре индикаторные зоны: фронтальную А, прифронтальную Б, промежуточную В и тыловую Г [10, 11].

Локальные гидротермальные изменения выражены калишпатизацией, березитизацией, окварцеванием, альбитизацией, хлоритизацией и другими преобразованиями пород (рис. 6).

Калишпатизация интенсивно проявлена в зонах В и Г. Дорудная локальная калишпатизация представлена сериями субпараллельных зон, сложенных жилами и прожилками полевошпатового и кварц-полевошпатового составов. Эта генерация калишпата максимально проявлена в осевой части штокверка. Порода в таких зонах нередко приобретает пегматоидный облик. Синрудный микроклин по обрамлению золотоносных кварц-арсенопиритовых и арсенопиритовых жил образует каймы и полосы мощностью до 1–5 см [1]. Самый поздний,

по-видимому, переотложенный калишпат развит в маломощных (0,1–0,5 см) извилистых нитеобразных просечках, наложенных на кварц-арсенопиритовые жилы, линзы и гнезда. С калишпатитами ассоциирует вкрапленная золото-висмут-пирит-арсенопирит-кварцевая минерализация.

Березиты (кварц, серицит, мусковит, карбонат, хлорит, пирит, арсенопирит) размещаются выше калишпатитов (в зонах Б и В, частично в зоне А). Строение березитовых тел стандартное (от периферии к центру): хлорит-карбонат-серицитовая зона – кварц-хлорит-серицитовая зона – кварц-серицит-мусковитовая зона – монокварцевая осевая зона с серицитом и сульфидами железа и мышьяка. Березитовый ореол в несколько раз превышает размеры рудного штокверка. В березитах совмещены две минеральные ассоциации: ранняя вкрапленная золото-пирит-арсенопирит-кварцевая и поздняя жильно-прожилковая золото-кварц-полиметалли-

ческая (самородное золото, кварц, блеклая руда, теллуриды, галенит, тетрадимит). Максимально продуктивное золотое оруденение локализовано в участках совмещения березитов и калишпатитов (зона В). Хлорит-альбитовые метасоматиты (зона А) развиваются по восстанию рудоносных структур на сотни метров [13].

Широко распространенные жильные минералы (кварц, карбонат, турмалин, серицит, флюорит) образуют закономерные соотношения с рудно-метасоматическими телами. Калишпатизации, березитизации и формированию золотого оруденения предшествовали процессы кристаллизации маломощных кварц-турмалиновых и кварц-пиритовых жил. Первые развиты в стволовой зоне (Б+В), вторые образуют ореол, далеко выходящий за пределы рудного штокверка. Кулисообразные, субпараллельные, взаимопересекающиеся жилы и прожилки рудной стадии, для которых характерен мелкозернистый темно-серый кварц с сульфидами и самородным золотом, слагают основу штокверка. Наиболее крупные (0,5–1 м) золотоносные жилы развиваются во фронтальной зоне штокверка. Пострудные образования представлены кальцит-кварц-серицитовой, флюорит-карбонатной, кварц-турмалиновой и карбонат-эпидот-пренитовой ассоциациями. Жилы, прожилки и гнезда кальцит-кварц-серицитового состава распространены на средних и верхних горизонтах; кварц-турмалиновая ассоциация расположена в самой верхней части месторождения; флюорит — в корневой части; карбонат-эпидот-пренитовая ассоциация обрамляет золотоносный штокверк.

В рудную стадию сформировались следующие минеральные ассоциации: ранняя пирит-пирротин-марказит-кварцевая; собственно рудные золото-пирит-арсенопирит-кварцевая (с пирротином, леллингом, халькопиритом), золото-висмут-пирит-арсенопирит-кварцевая (с молибденитом, шеелитом, кубанитом, самородным висмутом, висмутином, тетрадимитом, смешанной блеклой рудой) и золото-полиметаллическая (с халькопиритом, сфалеритом, галенитом, теннантитом); поздняя кварц-карбонат-антимонит-тетраэдритовая. Пирит и арсенопирит (95–98%) развиты во всех ассоциациях, но в основном концентрируются в золотоносных кварцевых жилах и прожилках. Пирит образует просечки, агрегативные скопления, кубические и кубооктаэдрические кристаллы, содержащие тонкие зерна самородного золота и висмутин. Арсенопирит слагает жилки, розетчатые и гребенчатые образования, линзо- и гнездообразные скопления, неравномерную вкрапленность в кварце и гидротермально измененных породах. Формы арсенопирита — пор-

фиробластовые и гипидиоморфнозернистые выделения, игольчатые, короткопризматические и псевдобипирамидальные кристаллы размером от тысячных долей до 2–4 мм. Арсенопириты содержат Au (до сотен грамм на 1 т), Ag (5–50 г/т), Bi (до 100–300 г/т), Pt (0,3–0,5 г/т), Cu, Pb, Zn, Co (до 0,01–0,1%), Mo (до 20–50 г/т). Арсенопириты обогащены на верхних горизонтах Sb, Ag, Cu, на средних и глубоких — Zn, Mo, Bi, Co, Ni. Наиболее высокие концентрации Au и сопутствующих элементов характерны для мелкозернистых разностей арсенопиритов.

Основная масса золота связана с пирит-арсенопирит-кварцевой и висмутин-пирит-арсенопирит-кварцевой ассоциациями. Преобладают две генерации — заключенная в арсенопирите и свободная в кварце. Золото мелкое (десятые доли микрометра—0,12 мм), в виде округлых, каплевидных, амeboобразных, комковидных и неправильных выделений, ромбододекаэдрических кристаллов и их сростков. Проба золота 840–950.

Минеральная зональность проявлена на уровне парагенетических ассоциаций и отдельных минералов. Пирит-пирротин-марказит-кварцевая ассоциация развита преимущественно на средних и глубоких горизонтах (зоны В и Г); золото-пирит-арсенопирит-кварцевая и золото-висмутин-пирит-арсенопирит-кварцевая выполняют стволовую зону (Б и В); золото-полиметаллическая и кварц-карбонат-антимонит-тетраэдритовая тяготеют к верхним горизонтам (Б и А).

По В.Б.Чекваидзе [3, 13], в зоне А (фронтальная часть системы) доминируют альбититы, хлоритолиты, альбит-хлоритовые породы, ассоциирующие с маломощными (5–20 м) телами березитов, широко развит слабозолотоносный гипидиоморфнозернистый арсенопирит, отмечаются блеклая руда, антимонит, полиметаллические сульфиды, а прожилковый рудный кварц имеет слабую интенсивность (1–5%).

На верхнерудном уровне (зона Б) березиты имеют повышенную мощность (десятки и первые сотни метров), возрастает доля золотоносного порфиробластового арсенопирита (до 80–85%), фиксируется антимонит-блеклорудная минерализация, количество рудного кварца 20%, присутствуют турмалин и флюорит.

В зоне В (среднерудный уровень) мощность ореола березитизации многие сотни метров, арсенопирит обилен (более 5%) при равном соотношении порфиробластовой и гипидиоморфнозернистой генераций, постоянно присутствуют соединения висмута (висмутин, тетрадимит, самородный висмут), максимально проявлены (более 30%) жиль-

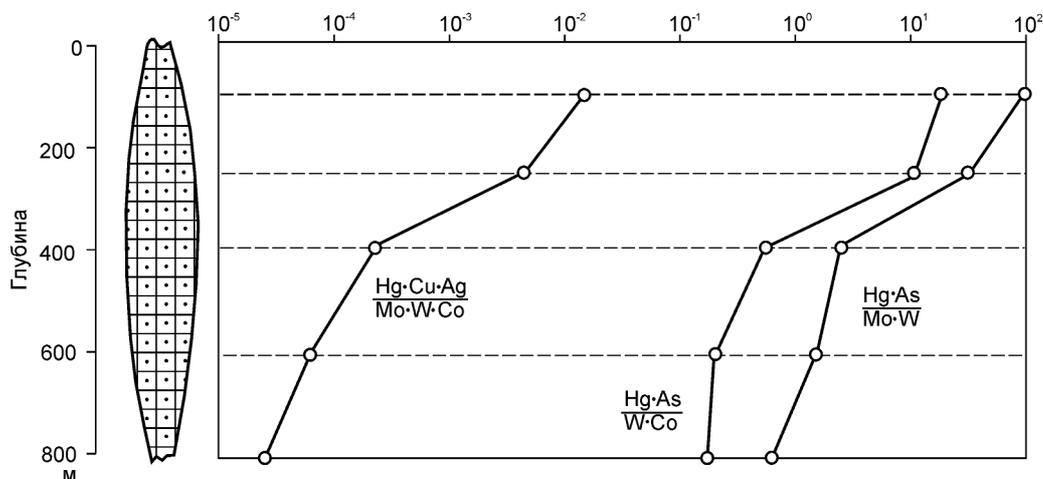


Рис. 7. Показатели вертикальной геохимической зональности Васильковского месторождения [14]

ные минералы (серый рудный кварц, турмалин, флюорит).

В зоне Г (нижнерудно-подрудный уровень) отмечается телескопирование калишпатитов и березитов при снижении (до выклинивания) мощности метасоматического ореола, уменьшается (до 1–2%) количество арсенопирита (преобладают гипидиоморфнозернистые выделения) и жильных минералов (до 20–30%), увеличивается содержание флюорита [3].

Обобщенная вертикальная минеральная зональность представлена последовательностью (снизу вверх): пирротин, марказит, шеелит, молибденит → висмутин → арсенопирит → полиметаллические сульфиды → антимонит. Зональность блеклых руд: смешанная блеклая руда → теннантит → тетраэдрит. С глубиной возрастают пробы самородного золота (до 900–950) и размер его выделений (до 0,1–0,12 мм).

Латеральная зональность арсенопиритов выглядит следующим образом: внешнюю кайму рудоносного штокверка слагает вкрапленный арсенопирит, промежуточную полосу — прожилково-вкрапленный, внутреннее ядро — прожилковый. Максимально широк пиритовый ореол. Во вмещающих интрузивных породах в сочетании с дорудным кварцем фиксируется ранний агрегативный пирит. В периферийной зоне рудоносного штокверка, а также на контакте с золотоносными кварцевыми жилами развиты жилки и вкрапления более позднего пирита, ассоциирующего с марказитом, пирротинном, халькопиритом. В золотоносных жилах и прожилках проявлен пирит рудной стадии (вкрапления, гнезда, монокристаллы в ассоциации с арсенопиритом, висмутовыми минералами, блеклыми рудами).

Главные элементы-индикаторы месторождения — Au, As, Bi (контрастность сотни-тысячи кларков), менее контрастны — W, Sb, Ag, Cu, Pb, Hg (единицы-первые десятки кларков), слабоконтрастны — Zn, Mo, Ni, Co, Cr, Mn (единицы кларков). Золото — сквозной элемент с полимодальным распределением концентраций; средние его содержания, г/т: околорудные породы 0,37, рудные зоны 1,0, рудные тела 3,7, рудные столбы >10 [2]. Средние и высокие содержания золота тяготеют к центральной части рудоносного штокверка, низкие — к периферии. Кривые распределения золота в коре выветривания и коренных породах повторяют друг друга. Наиболее распространен класс концентраций благородного металла 0,6–3,3 г/т (50–55%) (см. рис. 5). Содержания As от 0,0n до 8,5%, во вкрапленных рудах — 0,01–0,1%, прожилково-вкрапленных — 0,3–1,0%, прожилковых — 0,5–2,0% и более. Висмут тесно связан с пирит-арсенопиритовой минерализацией. Во вкрапленных и прожилково-вкрапленных рудах содержания Bi 5–10 г/т, в прожилковых — 10–50 г/т, рудных столбах — до 100–1500 г/т. Золото проявляет тесные корреляционные связи с элементами рудной стадии — Bi, As, Ag, Pb, Cu. Эндеогенные геохимические ореолы размещены зонально. Ореолы Bi ограничивают рудные тела и рудные столбы. Внешняя граница ореолов Ag, Pb и Cu от рудных залежей удалена на первые метры-десятки метров. Максимальными параметрами отличаются ореолы Au и As [1]. Mo, W, Ni, Co в большей степени характерны для средних и нижних горизонтов, Cu, Sb, Ag и Hg — для верхних.

Осевое положение в геохимической модели занимает рудоносное Au-As-Bi ядро (зоны Б, В и ча-

стично Г), которое на средних и нижних горизонтах облекается Mo-W зоной (В, Г), на средних и верхних (В, Б и А) — Au-As-Ag (с Cu, Pb, Zn, Sb, Hg) (см. рис. 6). Обобщенный ряд вертикальной геохимической зональности: W – Co – Mo – Pb – Au, Bi – Sb – As, Ag – Cu – Hg [14]. Его основу образуют четыре геохимические ассоциации: нижнерудная Co-Mo-W, основная продуктивная Au-Bi-As-Ag (развита в зонах В, В, Г), верхнерудная полиметаллическая Cu-Pb-Zn-Bi (Б) и надрудно-верхнерудная As-Ag-Sb-Hg (А, Б). Контрастными показателями вертикальной зональности являются отношения Hg·Cu·Ag/Mo·W·Co, Hg·As/Mo·W, Hg·As/W·Co (рис. 7).

Васильковское месторождение отличают длительный диапазон рудоподготовительных и рудообразующих процессов (сотни миллионов лет), комбинированная мантийно-верхнекоровая природа магматизма, рудонесущих флюидов и золота, четкая позиция в геофизических полях и структурных дислокациях, высокоупорядоченная метасоматическая, минеральная и геохимическая зональность [1–3, 5, 9–14]. В дальнейшем предполагается более глубокое изучение источника золота с использованием метода фиксации воспроизводимых факторов и моделированием физико-химических процессов мобилизации, переноса и отложения рудного вещества [7]. Васильковское месторождение — модельный образец для прогноза и оценки крупнообъемных штоков в различных регионах мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов и месторождений Казахстана* / Отв. ред. В.А.Нарсеев. – Алма-Ата, 1972.
2. *Золоторудные месторождения СССР. Геология золоторудных месторождений Казахстана и Средней Азии. Т. 2* / Отв. ред. В.А.Нарсеев. – М., 1986.
3. *Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира.* – М.: Научный мир, 2000.
4. *Константинов М.М. Золоторудные провинции мира.* – М.: Научный мир, 2006.
5. *Крупномасштабное прогнозирование золотых и золотосодержащих месторождений в активизированных докембрийских блоках и срединных массивах Казахстана (методические рекомендации)* / М.С.Рафаилович, В.М.Абишев, Г.М.Козловский и др. – Алма-Ата: Казахский НИИ минерального сырья, 1985.
6. *Лось В.Л. Компьютерные технологии при моделировании и оценке рудных объектов* // Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Астана, 2003. Т. 9. С. 97–142.
7. *Лось В.Л. Металлогенетические системы и механизмы рудообразования* // Геология и охрана недр. 2005. № 4. С. 28–36.
8. *Лось В.Л., Гольдберг И.С., Абрамсон Г.Я. Геохимические системы рудных объектов: примеры, модель, генетические и поисковые аспекты* // Геология и охрана недр. 2003. № 1. С. 24–33.
9. *Любецкий В.Н. Глубинные критерии локализации оруденения золота в Казахстане (по геофизическим данным)* // Опыт прогнозирования и оценки золоторудных месторождений Казахстана. Алма-Ата, 1985. С. 10–19.
10. *Рафаилович М.С. Модели вертикальной геохимической зональности месторождений золота и их использование при поисковых работах.* – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2002.
11. *Рафаилович М.С., Федоренко О.А., Арефьев В.Н. Васильковское штоковерковое месторождение золота* // Атлас моделей месторождений полезных ископаемых Казахстана. Алматы, 2004. С. 58–61.
12. *Рафаилович М.С., Смирнов А.В. Высокопродуктивные золотообразующие системы Казахстана: региональная позиция, источники рудного вещества, минералого-геохимическая зональность* // Актуальные проблемы рудообразования и металлогении. Новосибирск, 2006. С. 184–185.
13. *Чекваидзе В.Б., Берзон Р.О. Полиметалльно-золоторудная формация. Околорудные метасоматиты* // Золоторудные месторождения СССР. М., 1986. Т. 2. С. 28–32.
14. *Шиганов А.А. Геохимические поисково-оценочные критерии золоторудных месторождений Казахстана (методические рекомендации).* – М., 1985.
15. *Lang J.R., Baker T., Hart C.J.R., Mortensen J.K. An Exploration Model for Intrusion-Related Gold Systems* // SEG Newsletter. 2000. № 40. P. 5–15.

УДК 553.44 (571.645)

© Г.Ф.Склярова, 2007

КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ КАМЧАТ-СКО-КУРИЛЬСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ В СОПОСТАВЛЕНИИ С МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ ТИПА «КУРОКО» В ЯПОНИИ

Г.Ф.Склярова (Институт горного дела ДВО РАН)

Курило-Камчатская металлогеническая зона уникальна для Дальнего Востока по условиям геологического развития и металлогенической специализации. В ее пределах установлены многочисленные крупные проявления богатых полиметаллических руд, приуроченных к олигоцен-миоценовому рудогенному уровню. Генетически они связаны с формированием в подводных условиях туфов и лав дацит-андезит-риолитового состава. По условиям образования и характеру минерализации проявления Курило-Камчатской зоны аналогичны промышленным полиметаллическим месторождениям типа «куроко» в Японии.

Фактическая основа настоящей работы — первичные фондовые материалы по геологическим исследованиям территории Курильских островов и п-ова Камчатка [1, 3, 4], результаты НИР, выполненных автором в ДВИМСе, и данные из опубликованной литературы [5–10]. В зависимости от степени геологической изученности рудопроявлений и перспективных площадей приведена оценка прогнозных ресурсов свинца и цинка, подтвержденная специалистами ПГО «Сахалингеология».

В пределах кайнозойской (палеоген-миоценовой) Курило-Камчатской геосинклинальной системы, объединяющей островные дуги Курильской гряды и п-ова Камчатский, юго-восток Корякского нагорья, выявлены многочисленные колчеданно-полиметаллические проявления [7]. Основные структурные элементы этой системы — геоклинали с активным андезитовым вулканизмом, отчетливо выраженные в рельефе Большой гряды Курильских островов, характеризующихся определенными ассоциациями осадочных пород вулканогенно-терригенной формации. Неогеновые осадочно-вулканогенные образования, а также система четвертичных вулканов Большой гряды Курильских островов прослеживаются на Камчатке в виде Восточного вулканического пояса. Вулканиды представлены породами основного и среднего (лавы, лавобрекчии, агломераты, туфобрекчии) и кислого (пемзы, экструзии лав) составов. Все неогеновые магматические породы могут быть сгруппированы в формации: липарит-дацитовую, андезит-базальтовую, диорит-плагиогранитную, габбро-диорит-гранодиоритовую, андезит-дацитовую. Осадочные породы объединены в раннемиоценовую граувакковую, среднемиоценовую глинисто-диато-

митовую и плиоцен-четвертичную граувакко-песчистую формации.

В структурно-тектоническом отношении для неогеновых осадочно-вулканогенных комплексов характерны простые пликативные дислокации (пологие 15–20° моноклинали, осложненные пологими изгибами), отсутствующие в четвертичных образованиях. Дизъюнктивные дислокации представлены многочисленными продольными и поперечными нарушениями типа сбросов, сдвигов с амплитудой перемещения в сотни метров, редко до 1000–1500 м. В фундаменте кайнозойских геосинклинальных систем выявлены образования самого различного типа. Наиболее характерны глубоководные вулканогенно-кремнистые дислоцированные толщи, ассоциирующие с альпинотипными гипербазитами, формирование которых происходило, вероятно, на океаническом дне (на континентальном склоне или вблизи его в океане). На основании анализа тектонической карты Японии Л.М.Парфенов [7] пришел к выводу, что вулканические геоклинали миоценового возраста ко-со срезают более древние структуры и в разных своих частях перекрывают как мезозойские, так и палеозойские складчатые комплексы. Отмечалось также сходство мезозойских структур и более молодых образований Сихотэ-Алиня и Японских островов.

Рассматриваемые металлогенические формации объединяют вулканогенные рудоносные формации, связанные со становлением базальтоидного магматизма, и колчеданно-полиметаллические рудные формации, по современным геолого-промышленным классификациям относящиеся к рудноалтайскому типу, малокавказскому подтипу [6, 8],

прямыми аналогами которых являются зарубежные месторождения типа «куроко».

Месторождения рудноалтайского типа локализуются в регенирированных эвгеосинклиналях в пределах островодужных металлогенических зон и связаны с контрастной базальт-липаритовой формацией калий-натровой серии. Обстановка, соответствующая образованию металлогенических формаций колчеданных месторождений вторичных эвгеосинклиналей на территории Дальнего Востока, широко представлена в пределах Сомхето-Карабахской зоны Малого Кавказа, кайнозойской Курило-Камчатской островной дуги, продолжением которой служат третичные островные дуги Японии с вулканитами, объединяемыми в формацию «зеленых туфов» и вмещающими колчеданно-полиметаллические промышленные месторождения типа «куроко». Рудоносной является последовательная базальт-андезит-дацит-риолитовая формация. Руды характеризуются галенит-халькопирит-сфалерит-пиритовым минеральным составом. Сплошные руды слагают преимущественно пластообразные гидротермально-осадочные стратиформные залежи, а прожилково-вкрапленные развиты в лежачем боку сплошных руд в виде жиллообразных и штокверковых залежей в метасоматитах кварц-хлорит-серицитовый формации. Примеры типовых месторождений малокавказского типа — Маднеульское и Ахтальское Сомхето-Карабахской зоны Малого Кавказа, Куросава и Такара типа «куроко» в Японии.

Сомхето-Карабахская зона располагается в пределах киммерийско-альпийской вторичной эвгеосинклинальной системы Малого Кавказа и представлена раннегеосинклинальными вулканогенными толщами и комагматичными с ними гранитоидами. Основание рудовмещающей формации состоит из мощной (1500 м) толщи лав, лавобрекчий и туфов андезит-базальтового, андезитового, реже базальтового составов, содержащих горизонты слоистых вулканогенно-осадочных пород, а верхняя часть — из андезитовых шлаковых гряд и вулканических построек центрального типа.

Рудоносная часть разреза (100–200 до 700–800 м) представлена фациально неоднородной толщиной лав, лавобрекчий, игнимбритов, шлаков и туфов риолитового, риодацитового и реже дацитового составов, в которой присутствуют туфопесчаники, кремнистые туффиты и туфоалевролиты. Основные рудные районы металлогенической зоны — Алавердский, Кедабекский, Чирагидзорский и Кафанский — контролируются вулканогенными поднятиями. Согласно пласто- и линзообразные залежи богатых руд преимущественно медно-цинко-

во-колчеданного состава и вмещающие кислые вулканиты падают в западном направлении согласно с погружением андезитового фундамента, причем выполаживание рудовмещающих пород сопровождается выполаживанием рудных тел. Рудные жилы и штокверки, залегающие ниже стратиформных залежей, выполняют синвулканические разрывы и, вероятно, играют роль подводящих каналов. В пластообразных рудных телах по составу выделяются три ассоциации — серноколчеданная, медно-цинково-колчеданная, барит-полиметаллическая, последовательно сменяющие друг друга от лежачего бока к висячему. Кварц-серицит-хлоритовые и кварц-серицитовые околорудные метасоматиты на объектах Алавердского и других рудных полей развиваются в основном в лежачем боку согласных залежей.

Металлогенические зоны, содержащие месторождения Японии [8–10], приурочены к кайнозойской колчеданноносной формации «зеленых туфов». Неогеновые осадочно-вулканогенные образования на северо-западе о. Хонсю и западе о. Хоккайдо представлены мощным (до нескольких километров) комплексом осадочных и вулканогенных пород, которые вследствие интенсивных гидротермальных изменений приобрели преобладающий зеленый цвет, определивший наименование формации «зеленых туфов». Подобные вторичные изменения характерны и для неогеновых образований Курило-Камчатской дуги. Свинцово-медно-цинково-колчеданные месторождения локализуются в миоценовом геосинклинальном прогибе, заложенном на палеозойско-мезозойском складчатом фундаменте, содержащем фрагменты бывших срединных массивов. Месторождения тесно ассоциируют со среднемиоценовыми кремнекислыми дифференциатами непрерывной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации. Из металлогенических зон наиболее известны Хокуроку и Айзу.

Зона Хокуроку контролируется палеодепрессией (30×25 км), выполненной образованиями продуктивной формации — риолитовыми и андезитовыми туфами, туфобрекчиями и лавами, переслаиваемыми с аргиллитами. В восточной и западной окраинах палеодепрессии субвулканические дайки, силлы базальтов, штокообразные тела андезитов, дацитов, риолитов нередко фиксируют разломы фундамента субмеридионального направления. К ним и приурочены типичные месторождения типа «куроко», тяготеющие к верхним горизонтам свиты Нисикуросава. Мощность свиты, сложенной в основном лавами, лавобрекчиями и пирокластами дацитового состава, колеблется от 380 до 1250 м. Рудные тела локализованы в экструзивных куполах,

сложенных так называемыми белыми риолитами и взрывными брекчиями.

По данным японских геологов, месторождения типа «куроко» сочетают в себе продукты субмаринного вулканогенно-осадочного рудоотложения (пластовые залежи черных, желтых и отчасти гипсовых руд) с продуктами гидротермально-метасоматического рудоотложения в секущих подводных каналах, где локализованы прожилково-вкрапленные и штокверковые сульфидные, реже гипсовые руды. Краткие сведения о промышленных параметрах полиметаллических месторождений типа «куроко» Японии можно получить из характеристики месторождений Мацумине и Эдзури.

На руднике Эдзури субгоризонтальные линзо- и седлообразные залежи протяженностью от 80 до 800 м располагаются на глубинах 170–230 м. Вмещающими породами служат стратифицированные кислые вулканы миоцена, содержащие пласты базальтов и туфов. Разведанные запасы руды оценивались в количестве порядка 3 млн. т. Содержания полезных компонентов в рудах, %: Cu 0,89, Pb 3,3, Zn 10,1; из попутных — Au 0,2–7,9 (в среднем 1,3) г/т, Ag 34–1442 (в среднем 180) г/т, барит 2,29–64,92%.

Месторождение Мацумине — крупнейший в Японии объект полиметаллических руд типа «куроко». Стратиформные рудные тела, приуроченные к трем горизонтам вулканогенно-осадочных пород миоценового возраста, залегают на глубинах 200–400 м. По простиранию прослеживаются на 800 м при ширине зоны 600 м. Рудные тела зональные: снизу вверх происходит смена пиритовых, желтых и черных руд. Разрабатывалось с 1966 г. Добыча составляла 20–50 тыс. т.

Анализ месторождений-аналогов малокавказского и «куроко» типов позволил установить характерные черты формационного, стратиграфического, литолого-фациального и структурного контроля рудообразования. Формационный контроль выражается в тесной временной, пространственной, генетической общности раннегеосинклинальных геологической и рудной формаций — последовательной базальт-андезит-дацит-риолитовой и свинцово-медно-цинково-колчеданной. Стратиграфический обусловлен приуроченностью к определенному уровню развития кремнекислых дифференциатов последовательной формации, в которой локализуются колчеданные залежи. Литолого-фациальный контроль заключается в приуроченности согласных пластообразных рудных тел к покровным фациям (пирокластам, реже лавам). Структурный контроль проявляется в закономерном расположении разномасштабных колчеданных объектов относительно разнопорядковых вулканогенных структур.

Пространственно рудные тела связаны с наиболее кислыми проявлениями вулканизма, в региональном масштабе приурочены к выдержанным горизонтам туфов и лав дацит-андезит-риолитового состава, выделяемых в формацию «зеленых туфов». Характерно расположение залежей над центральной частью риолитовых куполов. Рудная залежь в разрезе напоминает гриб, ножка которого, уходящая корнями в тело риолитов, представлена эпигенетическими штокверковыми рудами, вероятно, маркирующими пути движения рудоносных растворов, и шляпкой, сложенной стратифицированными пластами, жилами и линзами руд, формировавшимися синхронно с вмещающими туфогенными толщами. Для месторождений характерна такая последовательность рудных зон: вмещающие породы, железистые роговики, баритовая зона, полиметаллическая (Zn, Pb, Cu, Ag) зона с баритом (зона Куроко), медный колчедан, меденосные кремнистые руды (вкрапленные и штокверковые), ангидрит-гипс-пиритовые руды, окварцованные риолиты с вкрапленностью и прожилками сульфидов. В направлении от рудных тел происходит последовательная смена зон околорудных изменений: окремнения → серицит-хлорит-кварцевой → серицит-хлорит-пиритовой → монтмориллонит-цеолитовой.

По соотношению меди, свинца и цинка выделяются подтипы руд: черные — галенит-сфалеритовые с подчиненным халькопиритом, сложные (смешанные) — существенно свинцовые с равными соотношениями меди и цинка, желтые — пирит-халькопиритовые. От краевых к центральным частям палеобассейна происходит последовательная смена желтых руд смешанными и черными. Для подтипа желтых руд отмечается более удаленная связь с вулканизмом, чем для подтипов черных и сложных руд. Характерно присутствие барита в самых верхних частях рудных тел и гипса — в нижних.

Полиметаллические проявления установлены в пределах почти всех крупных островов Большой Курильской дуги. Выделяются рудные узлы — Кунаширский, Итурупский, Шумшу-Парамуширский, Урупский.

В пределах о. Кунашир сконцентрированы наиболее многочисленные (более 12) проявления, в том числе и месторождение Валентиновское — одно из наиболее крупных полиметаллических проявлений Курильских островов.

Валентиновское месторождение расположено на правом притоке руч. Медный, вблизи оз. Валентины, в 1,5 км от берега Охотского моря. В геологическом строении участвуют эффузивно-терригенные породы нижнего миоцена кунаширской свиты (липариты, дациты, андезиты и их туфы, от-

носящиеся в Японии к формации «зеленых туфов»), прорванные миоценовыми гранитоидами и липаритами. Породы, вмещающие оруденение, сильно смяты, окварцованы, пиритизированы, каолинитизированы.

Наиболее крупное линзообразное рудное тело средней мощностью около 2 м (в раздувах до 4,5 м) прослежено более чем на 150 м. Оно сложено рудами двух минеральных типов: массивными сфалеритовыми с подчиненным развитием галенита и пирита и менее распространенными пирит-халькопиритовыми с наибольшим количеством сфалерита и галенита. Из второстепенных минералов в обоих типах руд встречаются халькозин, борнит, церуссит, англезит, ковеллин, малахит, из нерудных — барит и кварц, концентрирующиеся в околорудных зонах. Содержания полезных компонентов в рудах достигают, %: Zn 16,0, Cu 4,15, Pb 1,70. В монофракциях сфалерита, %: Ag до 0,01, Cd до 2,0, La 0,05, Cs и In до 0,1. Кроме того, в пределах месторождения выделены две рудные зоны брекчированных пород мощностью до 40 м, протяженностью более 200 м, ряд малоизученных рудопроявлений цинка и меди с неравномерным распределением вкрапленности, тонких прожилков пирита, халькопирита, сфалерита. По минеральному составу и условиям залегания руды Валентиновского месторождения сходны с желтыми рудами месторождения Косака в Японии.

В северной части о. Кунашир в аналогичных геологических условиях среди измененных дацитов локализованы проявления Докучаевское (Zn до 17,13%, Pb до 18%, Cu 3,43%, Ag >0,1%) и ряд других слабо изученных (руч. Полюнов, руч. Тропинка, оз. Ильинское, мыс Спиридонова, мыс Прасолова).

В пределах о. Итуруп наиболее крупное Чистореченское проявление расположено на побережье Охотского моря вблизи устья р. Чистая. Оно приурочено к нижнемиоценовым пропилитизированным и окварцованным туфогенно-эффузивным породам тетеньковской свиты. Рудная зона шириной до 300 м протягивается вдоль побережья на 1,5 км. Вкрапленные и жильные руды представлены сфалеритом, галенитом, пиритом и халькопиритом. Содержание полезных компонентов, %: Zn 13,60–26,44, Pb 8,3–8,7, Cu 0,41–0,86, Ag до 0,01, Cd до 0,3.

В миоценовых эффузивно-туфогенных породах Урупского рудного узла выявлен ряд рудопроявлений пирит-халькопирит-галенит-сфалеритового состава (Zn до 9,87, Pb до 1,16, Cu до 4,67%).

На о. Парамушир наиболее изучено рудопроявление Рифовое. Оно представлено двумя участками протяженностью около 300 м каждый, шириной в несколько метров. Вкрапленность, мелкие гнезда и прожилки сульфидов — сфалерита, галенита, мель-

никовита, реже халькопирита и пирита — локализованы в зонах гидротермально измененных пород. Текстура руд — колломорфная. Из нерудных минералов характерно присутствие кварца, халцедона, барита. В массивных рудах содержания Zn достигают 35,3%, Pb — 16,92%.

На Командорских островах также отмечаются сульфидные рудопроявления в составе измененных пород толстовской свиты, сложенной вулканомиктовыми песчаниками и брекчиями, андезитами. В парагенезисе с рудными сульфидами прослеживаются кальцит, кварц, цеолиты, гипс.

На п-ове Камчатка более 15 полиметаллических рудопроявлений сосредоточены в пределах Восточно-Камчатской геосинклинальной островодужной системы и единичные — в Западно-Камчатско-Корякской. Они приурочены к зонам расланцевания, дробления, гидротермально измененных пород среди олигоцен-миоценовых туфогенно-осадочных отложений. Полиметаллические рудопроявления в бассейне р. Мутновская локализованы в зоне пропилитизированных пород длиной около 1800 м, шириной до 300 м. Рудные тела имеют линзовидную форму или представлены густой сетью кварцево-сульфидных жил. Состав руд — сфалерит-галенит-пиритовый. Содержания полезных компонентов, %: Zn до 5,5, Pb до 3,22, Ag до 0,05. В краевых частях зоны отмечаются повышенные концентрации марганца, что характерно для верхних уровней месторождений Японии.

Полиметаллическое проявление Галенитовое представлено группой рудных тел, выявленных в бассейне р. Голая (верховья р. Пенжина) в составе гидротермально измененных пород на площади 4 км². Минерализация сосредоточена в коротких (до 20 см) пирит-сфалеритовых, галенитовых и карбонатно-галенит-сфалеритовых прожилках, гнездах, штокверкоподобных рудных телах размерами до 2,5×15 м. Рудные минералы составляют 10% от массы пород. Отмечаются также и другие рудопроявления сульфидных руд (реки Левый Январай, Тыльпэгыргын и др.). Содержания Cu в них достигают 5,36, 10,03%.

Прогнозные ресурсы свинца, цинка и меди по рудным узлам Курильской металлогенической зоны (по материалам ПГО «Сахалингеология» на 01.01.03 г.) определялись с учетом степени изученности объектов и перспективных площадей. Использовался метод аналогии и коэффициентов достоверности в пределах выделенных рудных узлов (островов), соответствующих отдельным вулканоструктурам. При средних содержаниях Pb 0,52%, Zn 9,68%, Cu 2,56% их прогнозные ресурсы (тыс. т) в рудных узлах по категориям составили: Шумшу-

**Рудоконтролирующие признаки стратиформного полиметаллического оруденения
Курило-Камчатской металлогенической зоны и месторождений типа «куроко»**

Рудоконтролирующие признаки	Валентиновское, Чистореченское, Рифовое, Галенитовое, Мутновское (Курило-Камчатский район)	Ивами, Эдзури, Мацумине (Япония)
Рудовмещающие породы	Липарит-андезит-базальтовые туфогенно-эффузивные образования	Фельзитовые лавы, пирокласты, андезиты со слоями базальтов и их туфы
Возраст	Олигоцен–миоцен	Миоцен
Околорудные изменения	Окварцевание, пиритизация, каолинитизация, пропилитизация, пиритизация	Хлорит-серицит-глинистые образования, окварцевание, пиритизация
Морфология рудных тел; текстура руд	Штокверки, линзообразные тела; гнездовидно-вкрапленная, массивная	Штокверки, линзообразные тела; массивная, колломорфно-концентрическая
Протяженность; мощность рудных тел	150–1800 м; 4 м–десятки метров	80–800 м; до 10 м
Запасы; прогнозные ресурсы	Pb 220 тыс. т; 650 тыс. т Zn 3 тыс. т; 9,9 млн. т	До 3 млн. т руды

Парамуширский рудный узел, P₃ — Pb 260, Zn 4500, Cu 1400; Урупский, P₃ — Pb 160, Zn 1900, Cu 700; Итурупский, P₃ — Pb 130, Zn 1500, Cu 450; Кунаширский, P₂ — Pb 220, Zn 3000, Cu 880, P₃ — Pb 100, Zn 2000, Cu 600.

Суммарные прогнозные ресурсы (тыс. т) по Курильской металлогенической зоне: P₂ — Pb 220, Zn 3000, Cu 880; P₃ — Pb 650, Zn 9900, Cu 3150.

Таким образом, Курило-Камчатская островодужная система является продолжением третичных островных дуг Японии, вулканиты которых, объединяемые в формацию «зеленых туфов», вмещают колчеданно-полиметаллические промышленные месторождения типа «куроко». Сопоставление основных характеристик по стратиформным полиметаллическим месторождениям типа «куроко» Японии и полиметаллическим проявлениям малокавказского типа Курило-Восточно-Камчатской металлогенической зоны показывает их аналогию (таблица). В подавляющем большинстве они миоценового возраста, образуют островодужные металлогенические зоны. Руды приурочены к горизонтам гидротермально измененных образований в последовательной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации. Почти повсеместно отмечается связь оруденения с субвулканическими телами липаритов, андезитов. Сходны морфология рудных тел (линзы, штокверки, жилы), текстуры руд (массивные, вкрапленные), а также их минеральный состав (в разных соотношениях галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовый) с присутствием характерных для этого типа руд барита, гипса, кварца; одного порядка высокие количественные

содержания полезных компонентов (Zn >105, Pb до 5–85, Cu до 4–6%, повышенные содержания Ag, Cd).

Итак, изучение и оценка уникальных полиметаллических-сульфидных руд Курильской, а также Восточно-Камчатской металлогенических зон перспективны. В Японии аналогичные по типу руд месторождения промышленно осваиваются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бевз В.Е., Шапошникова А.В. Геологическая карта. Сер. Курильская. – М.: Недра, 1981.
2. Геология СССР. Т. XXXI. Ч. II. Полезные ископаемые. – М.: Недра, 1977.
3. Королева Г.П., Смирнова И.Г. Геологическая карта. Сер. Курильская. – М.: Недра, 1973, 1974.
4. Пискунов Б.Н. Геологическая карта. Сер. Курильская. – М.: Недра, 1971, 1972.
5. Ручкин Г.В., Склярлова Г.Ф. Металлогенические формации стратиформных месторождений цветных металлов Дальнего Востока // Тихоокеанская геология. 1992. № 3. С. 17–25.
6. Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов. – М.: Недра, 1985.
7. Тектоническое районирование и структурно-вещественная эволюция Северо-Востока Азии. /Л.М.Парфенов, Н.В.Бердников, И.П.Воинова и др.– М.: Наука, 1979.
8. Филатов Е.И. Полиметаллические месторождения фанерозоя. – М.: Недра, 1986.
9. Project on Mineral Resources, Metallogenesis, and Tectonics of Northeast Asia / W.J.Nokleberg,

R.J.Miller, V.V.Naumova et al. // USGS Open-File Report 03-203, Menlo Park, California, 2003.

10. Singer D.A. Descriptive model of kuroko massive sulfide // Mineral deposit models: U.S. Geol. Sur. Bul. 1693, 1986. P. 189.

УДК 553.048:550.85

© В.И.Лобач, 2007

УЧЕТ ВЫДАЮЩИХСЯ ПОДСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В.И.Лобач (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Разработан способ статистического учета выдающихся значений подсчетных параметров на базе перцентиль-функции. В отличие от прежних, эмпирических, предложенный способ применим при компьютерных технологиях подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых.

В практике подсчета запасов на рудных месторождениях нередко сталкиваются с «ураганными» значениями основных подсчетных параметров, из которых указанное определение применяют, как правило, к содержанию полезного компонента в пробе. В дальнейшем такие значения основных подсчетных параметров будем называть «выдающимися» по отношению не только к содержаниям полезного компонента, но и в некоторых случаях к длинам проб и производным от них метрограммам или метропроцентам.

Выдающиеся содержания полезного компонента обнаруживаются, как правило, в пробе, обладающей определенными размерами или объемом. Можно сказать, что любая проба, как локальный замер, обладает при определенных условиях свойством оказывать влияние на среднестатистические оценки некоторой совокупности проб, объединенных в выборку. Степень ее влияния на оценку среднего содержания в выборке проб зависит как от уровня содержания в пробе, так и от объема выборки. Например, если принять статистическую выборку проб по рудному месторождению в целом, включающую сотни или тысячи проб, влияние проб с выдающимся содержанием на оценку среднего содержания по месторождению в целом может быть не значимым. Подсчет запасов рудного месторождения производится по системе разных по объему выборок, сформированных на основе разведочных пересечений, сечений и подсчетных блоков. Влияние выдающихся

значений подсчетных параметров на оценки средних содержаний в выборках, где они появляются, может быть достаточно весомым. Последнее обстоятельство крайне нежелательно, так как может рассматриваться в качестве одной из причин неподтверждения результатов разведки месторождения в процессе его отработки. Следовательно, учет выдающихся значений подсчетных параметров при подсчете запасов является мерой не столько необходимой, сколько вынужденной.

Собственно подход к учету выдающихся значений подсчетных параметров включает операции по их выявлению и ограничению, отсюда следуют вопросы: какие из значений подсчетных параметров считать выдающимися и как их ограничивать?

Способов выявления и ограничения выдающихся значений подсчетных параметров, предлагавшихся ранее, к настоящему времени насчитывается более 50. Из них в практике подсчета запасов рудных месторождений наиболее известны в основном два способа — П.Л.Каллистова [1] и И.Д.Когана [2].

Способ П.Л.Каллистова следует считать статистическим, поскольку он базируется на особенностях статистического распределения содержаний полезного компонента в рудах и применялся главным образом на месторождениях золота и алмазов, отличающихся крайне и весьма неравномерным распределением полезных компонентов в рудах. Основное условие применимости способа — под-

чинение статистической модели распределения содержаний логнормальному закону. В связи с этим при построении гистограмм статистического распределения содержаний золота использовалась равномерная шкала для классов содержаний с постоянным знаменателем 2 ($\log 0,301$).

К выдающимся по содержанию золота относились пробы, попадающие в классы, отделенные «пустыми» классами от основного массива проб (разрыв сплошности гистограммы). Они подлежали ограничению средними значениями содержаний «пустых» классов.

Выбранная шкала для построения гистограмм является по сути эмпирической, что при прочих равных условиях не исключает возможности использования более высокого постоянного знаменателя для ее формирования. Очевидно, в этих случаях может и не быть разрыва сплошности гистограммы, но это еще не гарантирует отсутствия проб с выдающимися содержаниями в исследуемой выборке.

По существу, способ П.Л.Каллистова для выявления и ограничения выдающихся значений подсчетных параметров зависит от объема выборки и неравномерности распределения проб по классам. Для относительно малых объемов выборок гистограммы имеют, как правило, пилообразный вид и нередко несколько «пустых» классов или разрывов сплошности. В этих случаях задача выявления выдающихся по содержанию проб существенно усложняется.

В действительности, автор рассматриваемого способа понимал трудности, возникающие при выборе подхода к выявлению выдающихся по содержанию проб, и в поисках совершенствования способа предлагал оценивать выборки на наличие ста-

тистической неоднородности в распределении содержаний или метрограммов (например, золота) по наблюдающимся переломам в кумулятивных кривых их распределения. Точки перегибов на кумулятивных кривых распределения содержаний (метрограммов) золота рассматривались им как границы их статистических неоднородностей. П.Л.Каллистова интересовала в основном граница проб с нормальными и богатыми содержаниями, чтобы при возможности оконтурить, т.е. локализовать участки богатых руд в так называемые «рудные столбы» и затем провести отдельный подсчет запасов. Тем самым, снимался вопрос ограничения проб с выдающимися содержаниями или метрограммами. В случае невозможности вычленив «богатые» руды, например при гнездовом типе концентрирования полезных компонентов в рудных телах, когда пробы с богатыми содержаниями (высокими метрограммами) разобщены в оцениваемом пространстве подсчетного блока или в подсчетном сечении, он опять возникал.

И.Д.Коган, располагая материалами подсчетов запасов месторождений твердых полезных ископаемых, прошедшими экспертизу в ГКЗ, к решению вопроса выявления и ограничения «ураганных» значений основных подсчетных параметров подошел опытным путем. Для выявления «ураганных» метрограммов (метропроцентов) им рекомендовано пользоваться их предельными значениями: 20% по пересечению или 10% по блоку от суммы метрограммов (метропроцентов). При этом объемы проб по пересечению или пересечениям по блоку в статистическом отношении должны быть достаточно представительными (не менее 20–30). Если по пересечению или блоку встречались метрограммы (метропроценты) выше предельных на 20 или 10%

1. Распределение параметров модели ГБТК при различных значениях перцентиль-функции

Перцентиль-функция	Пороговые содержания Au, г/т	В отсекаемой пороговыми содержаниями части массива проб			Показатель «эффекта самородков»	
		доля запасов руды	доля запасов металла	среднее содержание Au, г/т	величина	градиент
0,99	476	0,01	0,24	777,8	22,6	
0,98	301	0,02	0,36	574,7	16,7	5,9
0,97	240	0,03	0,43	483,6	14,1	2,6
0,96	199	0,04	0,49	424,9	12,4	1,7
0,95	144	0,05	0,55	363,0	10,6	1,8
0,94	122	0,06	0,58	328,4	9,6	1,0
0,93	104	0,07	0,62	296,1	8,6	0,9
0,92	90	0,08	0,64	273,8	8,0	0,6
0,91	75	0,09	0,67	251,4	7,3	0,7
0,9	63	0,10	0,69	232,0	6,7	0,6

от суммы метрограммов (метропроцентов), то они рассматривались как выдающиеся. Однако при этом возникали сложности с процедурой ограничения выдающихся значений подсчетных параметров. Автор способа предостерегал от использования формального подхода к процедуре ограничения, напоминая постоянно об учете особенностей распределения метрограммов (метропроцентов) в пересечениях или блоках. Например, было рекомендовано проводить ограничение выборки ближайшим к выдающемуся по значению метрограммом (метропроцентом).

Один из недостатков способа И.Д.Когана — зависимость значения порога «ураганности» от объема выборки: чем больше она по объему, тем выше пороговое значение метрограмма (метропроцента) и наоборот. Поэтому для относительно малых выборок ограничение выдающихся метрограммов было более жестким, а для больших — более мягким. Другой недостаток способа проявлялся в тех случаях, когда примерно равные по объему выборки отличались уровнями частных метрограммов (метропроцентов), и пороги «ураганности» значительно варьировали в отдельных выборках. В связи с этим ограничению подвергались метрограммы (метропроценты) не «ураганные» по сути, например, для месторождения в целом.

В последнее время при подсчетах запасов твердых полезных ископаемых к выявлению и ограничению «ураганных» или выдающихся значений основных подсчетных параметров используют способы аппарата математической статистики. Один из них базируется на перцентиль-функции и в чем-то близок к способу П.Л.Каллистова.

Перцентиль — одна из числовых характеристик распределения вероятностей (квантиль). Перцентиль определяется как квантиль K_p , соответствующая значениям p , равным $j/100$ для $j=0, 1, 2, \dots, 99$. В математической статистике перцентиль дает хорошее представление о виде функции распределения. Перцентили также называют процентилями или центилями.

Для непрерывной строго монотонной функции распределение $F(x)$ j -я перцентиль представляет собой решение уравнения: $F(x)=j/100$, где $j=0, 1, 2, 3, \dots, 100$.

Функция довольно широко используется для определения порога применимости при различных исследованиях в сфере экономики, социологии и т.д.

Алгоритм перцентиль-функции заложен в программном пакете Excel, что значительно упрощает процедуру обработки исследуемого массива проб при подсчете запасов в целях определения уровня выдающихся подсчетных параметров.

При использовании перцентиль-функции массив не должен превышать 8191 точек данных, что вполне достаточно для подсчета запасов.

В процессе обработки массива данных (наблюдений) перцентиль-функция ранжирует по убыванию значения исследуемого подсчетного параметра. При заданных ее величинах производится как бы отсечение в процентном отношении (в соответствии с выбранным значением перцентиль-функции) от всего массива данных выборки с наиболее высокими значениями параметра. Например, при 90-й перцентили от исследуемой совокупности проб отсекается 10% проб с наиболее высокими содержаниями полезного компонента. Если перцентиль не кратна $1/(n-1)$, то перцентиль-функция производит интерполяцию для определения значения k -й перцентили.

Рассмотрим использование перцентиль-функции для выявления выдающихся содержаний золота на примере модели рудного тела, включающей массив из 560 точек наблюдений содержаний золота. Каждая точка может рассматриваться как проба. Пространственное распределение содержаний золота в рудном теле показано на рис. 1, где заметно наличие линейно вытянутого участка и отдельно расположенных проб с высокими концентрациями золота. Модель характеризуется гнездово-бонанцевым типом концентрирования золота, а по коэффициенту вариации (282%) крайне неравномерным его распределением. Статистическая модель рудного тела представлена в виде гистограммы и накопленной (кумулятивной) кривой распределения содержаний золота, свидетельствующими в пользу логнормального их распределения в рудном теле (рис. 2), т.е. имеются все условия к применению способа П.Л.Каллистова для выявления выдающихся по содержанию золота проб для рассматриваемой модели. На гистограмме нет разрывов сплошности, а трудности использования раздельного подсчета запасов богатых руд связаны с невозможностью их оконтуривания из-за разобщенного расположения отдельных богатых гнезд в рудном теле.

Для выявления порога приемлемости содержаний золота достаточен диапазон перцентиль-функции 0,99–0,90. Для более обоснованного определения порога приемлемости можно использовать в дополнение к графику пороговых значений приемлемости их градиенты. Результаты расчетов по алгоритму перцентиль-функции показывают два перегиба в динамике порогов приемлемости, приходящиеся на значения перцентиль-функции 0,98 и 0,95 (рис. 3). Перегибы являются искомыми порогами приемлемости, или границами неоднородностей в распределении содержаний золота по исследуемой модели. Предполагается, что при значении 0,98 порог прием-

Номера профилей

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
21	21	22	22	28	28	44	64	74	127	126	52	28	8	9	9	11	9	10	7	2	8	18	33
22	22	23	28	5	44	75	160	460	72	53	28	9	8	9	9	9	9	7	2	2	8	33	17
22	23	29	46	115	78	168	612	176	89	54	27	9	12	11	11	10	7	2	2	1	2	8	8
23	29	46	111	228	239	750	185	92	54	27	9	12	12	11	10	7	2	55	31	2	1	2	8
29	47	63	83	235	1005	243	119	93	54	27	10	12	12	11	10	19	16	38	6	2	1	0	2
29	48	62	150	960	252	216	124	105	55	26	11	12	10	10	7	16	500	16	6	2	1	0	0
49	108	144	840	195	208	126	101	56	26	10	12	10	7	2	2	39	17	19	6	3	1	0	0
49	65	408	136	85	97	99	57	56	26	11	12	7	2	2	5	7	6	6	6	3	3	3	3
50	120	68	68	61	59	58	26	11	11	12	7	2	2	2	31	4	4	4	8	30	8	8	8
50	51	51	44	43	43	25	12	13	12	8	8	2	2	4	4	1	1	1	8	8	34	19	8
21	23	25	25	24	13	12	13	10	9	9	15	18	15	5	4	1	1	1	3	3	14	355	13
24	24	15	13	13	13	13	10	8	8	31	40	260	39	31	5	1	1	1	0	0	19	14	34
15	14	14	13	13	10	10	7	2	2	2	15	18	15	5	5	1	1	1	0	0	3	3	3
16	16	15	11	11	7	5	5	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	0	0	1	1
16	16	13	7	7	5	5	32	2	2	1	2	2	2	3	30	37	14	18	3	0	0	0	0
16	13	11	7	5	4	15	41	15	2	1	1	1	1	0	3	14	318	14	4	1	0	0	0
13	11	7	5	5	4	20	275	20	3	3	1	1	1	0	0	18	14	37	4	3	1	0	0
	11	7	6	5	4	15	40	15	5	3	1	1	1	0	0	3	3	4	30	4	3	1	1
	7	7	6	5	4	4	31	5	5	3	2	2	2	2	0	0	0	4	8	8	3	3	3
	7	7	32	7	4	4	4	4	5	4	3	3	3	3	2	2	0	3	8	8	8	19	17
	7	32	41	7	1	1	3	3	4	4	15	20	14	3	3	1	0	1	8	8	35	386	19
	21	296	42	7	1	1	1	3	4	30	36	302	36	30	3	1	1	1	3	4	35	30	17
	21	20	6	7	1	1	1	3	4	5	14	20	14	4	3	1	1	1	1	3	17	17	17
		6	5	7	1	1	1	3	4	5	5	5	5	3	3								

Рис. 1. Модель рудного тела с гнездово-бананцевым типом концентрирования золота (ГБТК):

черное — выдающиеся содержания золота

лемости в 301 г/т может рассматриваться как ограничительный предел для проб с выдающимися содержаниями золота, а при значении 0,95 порог приемлемости в 144 г/т — как граница богатых руд.

В табл. 1 при заданном диапазоне перцентиль-функции (0,99–0,90) показано распределение запасов металла (сумма содержаний золота) и запасов руды (число проб) по модели ГБТК в их долях от массива в 560 проб. Так, при перцентиль-функции 0,98 доля запасов руды рассчитана из отношения 12 проб к 560 пробам и составляет 0,02 (2%). Доля запасов металла рассчитана при той же перцентиль-функции из отношения суммы содержаний, включающей пробы с содержанием 301 г/т и более, к сум-

ме содержаний всех проб массива. Отношение долей запасов металла (0,358) и руды (0,02) при перцентиль-функции 0,98 составляет 16,7 и рассматривается как показатель «эффекта самородков».

Показатель «эффекта самородков», или признак контрастности концентрирования полезного компонента в обогащенных участках рудных образований, служит дополнительной характеристикой к показателю «концентрационной сложности» рудных тел, введенному автором [3]. На рис. 4 видно, что изменение указанного показателя отличается наибольшим градиентом между значениями перцентиль-функции 0,99–0,98. Это лишнее раз подтверждает правильность выбранного порога ограни-

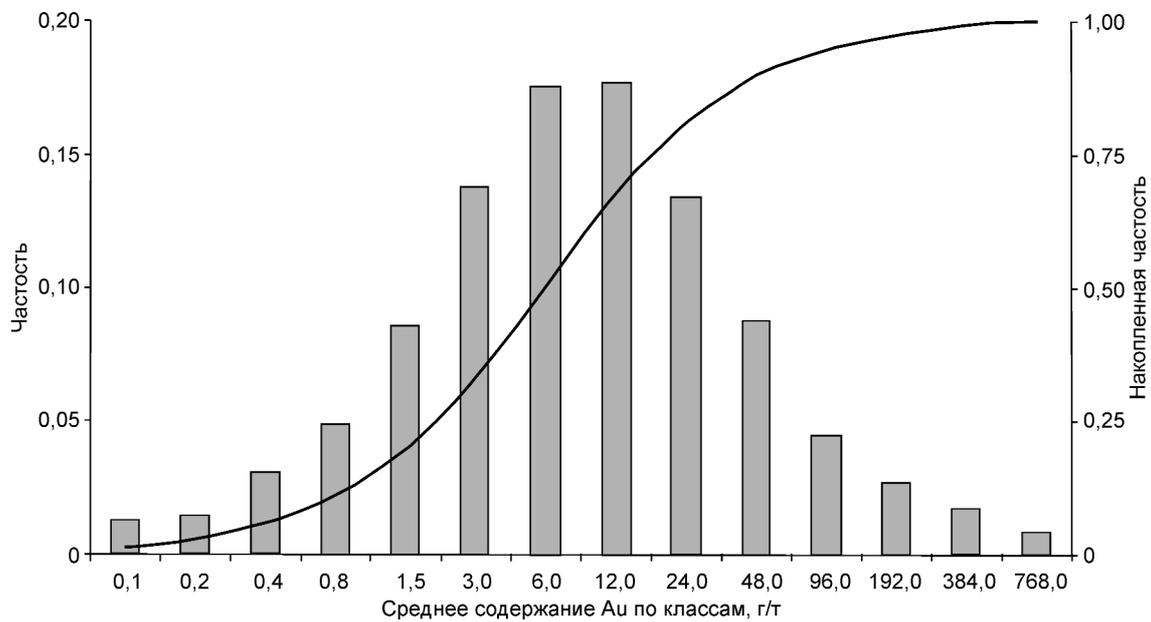


Рис. 2 Статистическое распределение проб по классам содержаний золота (модель ГБТК):

число проб 560; среднее содержание Au 34,4 г/т; коэффициент вариации 282%

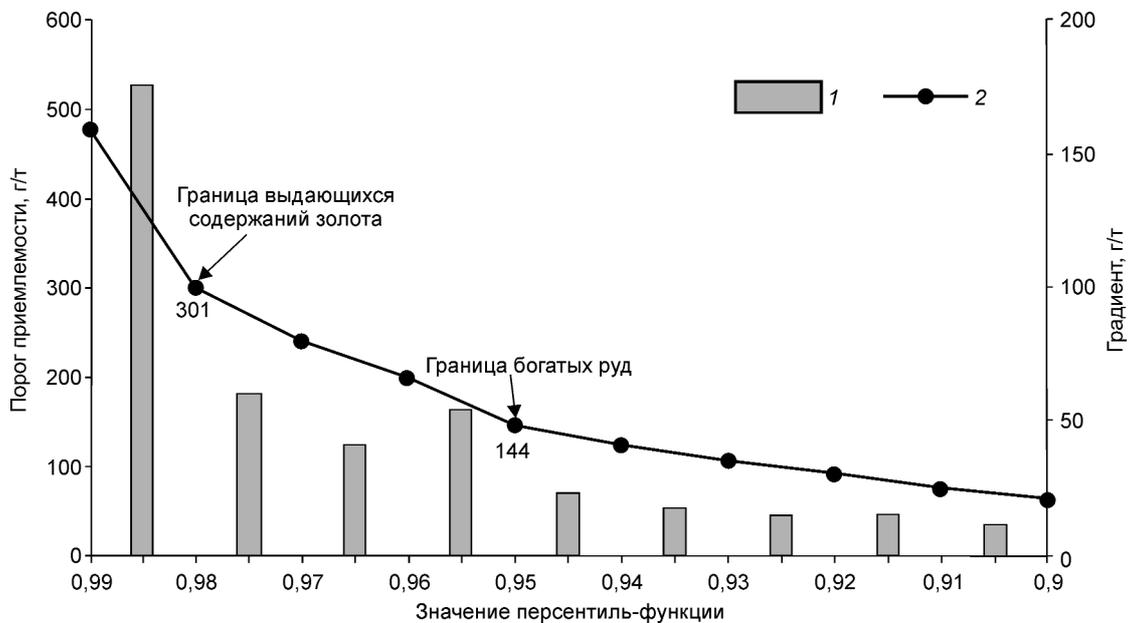


Рис. 3. Динамика порогов приемлемости содержаний золота при различных значениях перцентиль-функции (модель ГБТК):

1 — градиент изменения порогов приемлемости содержаний Au; 2 — порог приемлемости содержаний Au

чения выдающихся содержаний 301 г/т при перцентиль-функции 0,98.

Предполагаем, что сеть наблюдений по модели рудного тела получена в результате эксплуатационной разведки. Основные параметры модели можно принять в качестве исходных для проведения сопоставления результатов ограничения выдающихся по содержанию проб различными способами. При этом интерес представляет среднее содержание Au по модели, равное 34,4 г/т, и по профилям, варьирующее вследствие отмеченной неоднородности распределения золота на модели от 6,7 до 88,6 г/т. Выдающиеся содержания в пробах по отдельным профилям превышают среднее по модели более чем в 10 раз (см. рис. 1). Каждый профиль, будучи разведочным пересечением рудного тела, рассматривается как отдельная его реализация при оценке среднего содержания по модели при различной плотности разведочной сети. Очевидно, чем реже разведочная сеть, тем больше будет искажаться оценка среднего содержания по модели при решающем влиянии выдающихся по содержанию проб. Поэтому процедура ограничения выдающихся по содержанию проб, особенно при редкой разведочной сети, должна быть застрахована, в первую очередь, от нежелательного завышения оценки среднего содержания по рудному объекту.

Однако возможно применение способа ограничения выдающихся подсчетных параметров с использованием перцентиль-функции 0,98 в сопоставлении с известным способом И.Д.Когана. Ограничительным пределом для выдающихся содержаний по перцентиль-функции принято содержание 0,301 г/т. Пороги ограничения выдающихся содержаний по способу И.Д.Когана приняты из расчета 10 и 20% от суммы содержаний по профилям. По способу И.Д.Когана ограничение выдающихся содержаний проводилось не формально. С учетом особенностей распределения золота в каждом из профилей замена выдающегося содержания производилось либо выявленными 10 и 20%-ными порогами, либо ближайшими к ним содержаниями. На рис. 5 приведены отклонения средних содержаний по трем вариантам ограничения от исходных средних содержаний по профилям, из которых хорошую сходимость показали результаты ограничения по перцентиль-функции и способу И.Д.Когана (20%). В результате ограничения по профилям содержания золота понизились в среднем: по перцентиль-функции на 8,1%, по способу И.Д.Когана при ограничении пределом в 10 и 20% соответственно на 18 и 9,3%. Заметим, что в целом по модели ГБТК способом И.Д.Когана, наряду со способом П.Л.Каллистова, вообще не обнаружено выдающихся содержа-

ний. Способ И.Д.Когана приводит в отдельных случаях к ограничению содержаний, когда нет выдающихся содержаний, выявленных перцентиль-функцией (профили 3, 10–13, 19–21).

На примере одного из золоторудных месторождений жильного типа с крайне неравномерным распределением содержаний золота рассмотрим результаты ограничения выдающихся метрограммов с применением перцентиль-функции и способа И.Д.Когана. На месторождении в результате эксплуатации выявилось неподтверждение данных разведки. Среди прочих причин неподтверждение связывалось с наличием «ураганных» проб. Данные сопоставления по их ограничению двумя способами приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, оба подхода к ограничению выдающихся метрограммов показали сходимость результатов ограничения в целом по блокам (–11,9% по перцентиль-функции и –10,8% по И.Д.Когану), но ограничение по перцентиль-функции затронуло семь блоков, по И.Д.Когану — 13 блоков. Причем по способу И.Д.Когана ограничение проведено и в блоках с относительно низкими содержаниями золота, в которых выдающихся метрограммов перцентиль-функцией не обнаружено.

В результате проведенного анализа выяснилось, что ограничение выдающихся метрограммов по способу И.Д.Когана выполнено несколько формально при недостаточной обоснованности объединения блоков для формирования представительных выборок. В какой-то мере это вызвано трудностями применения способа И.Д.Когана в условиях крайне неравномерного распределения содержаний золота в рудах месторождения.

Способ ограничения выдающихся значений подсчетных параметров по И.Д.Когану имеет под собой основательную эмпирическую базу, прошел испытание практикой и его следует применять, наряду с другими способами ограничения выдающихся параметров, при подсчете запасов. Однако следует проводить специальные работы по обоснованию применимости того или иного способа ограничения выдающихся подсчетных параметров, исходя из природы их возникновения и геологических особенностей строения месторождений.

В качестве способов ограничения выдающихся значений параметров при подсчете запасов можно рекомендовать способы, использующие статистические функции (перцентиль, квантиль и др.). Это тем более важно, если учесть, что в последние годы внедряются новые компьютерные технологии подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых, к которым, как показывает экспертиза, не всегда возможна адаптация прежних (эмпири-

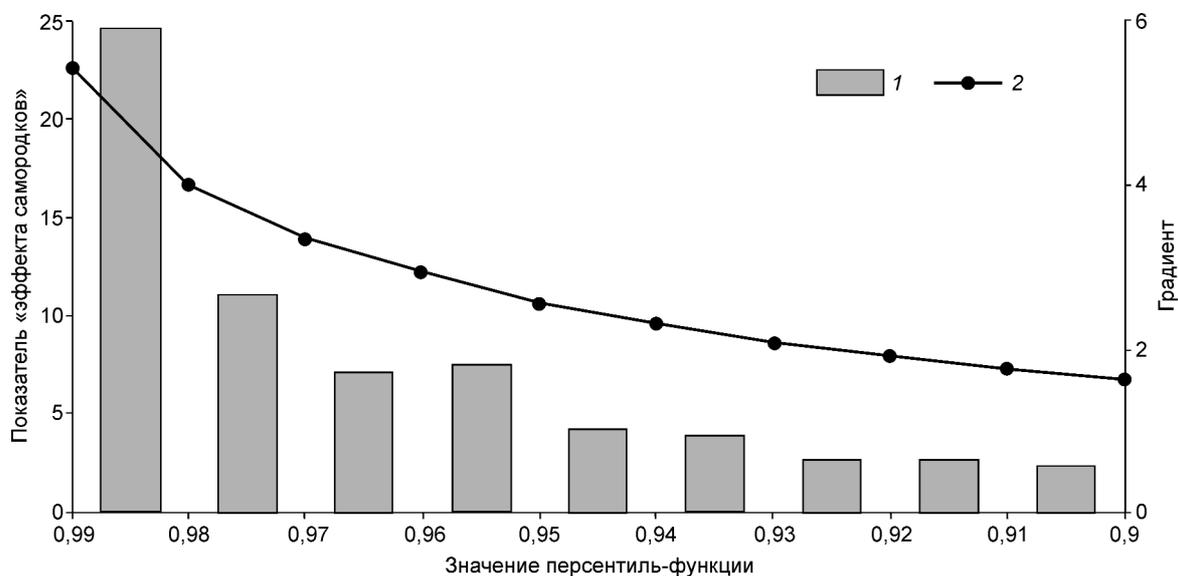


Рис. 4. Динамика показателя «эффекта самородков» при различных значениях перцентиль-функции (модель ГБТК):

1 — градиент; 2 — показатель «эффекта самородков»

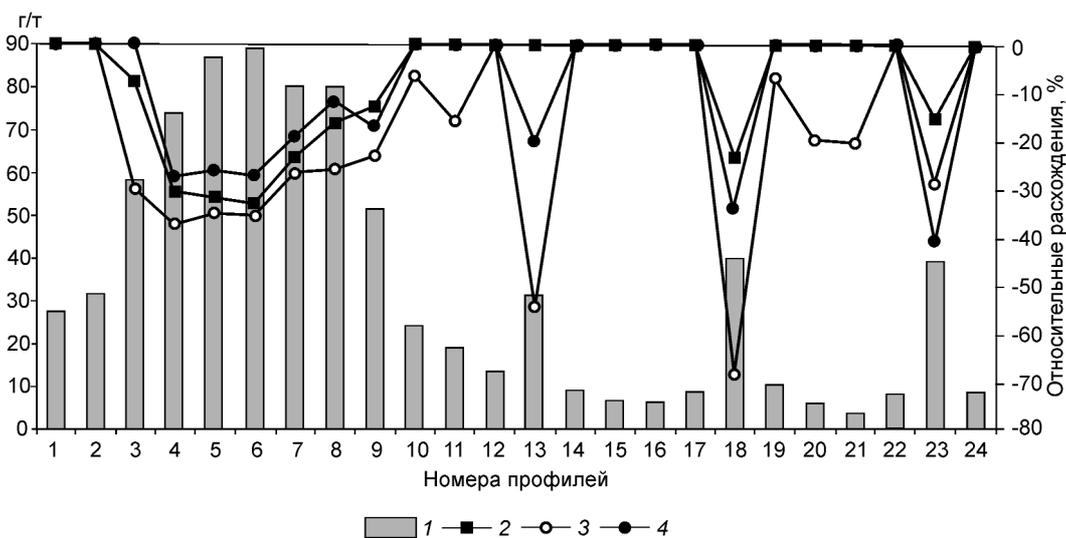


Рис. 5. Влияние ограничения выдающихся содержаний золота на оценку среднего его содержания при разных способах ограничения (модель ГБТК):

1 — средние содержания Au до ограничения; способы ограничения: 2 — перцентиль-функция, 3 — по И.Д.Когану (10%), 4 — то же (20%)

2. Сравнение результатов выявления и ограничения выдающихся метрограммов (ВМГ) на месторождении жильного типа

Номера блоков	Число пересечений	Среднее содержание Au, г/т (без ограничения)	Способы ограничения				
			статистический с использованием перцентиль-функции		И.Д.Когана		
			среднее содержание Au, г/т	число ВМГ выше метрограмма 678	предел ограничения по 10%-ному метрограмму	число ВМГ	среднее содержание Au, г/т
1	8	7,0	7,0		49,4		7,0
2	11	9,2	9,2		49,4	1	8,5
3	25	9,8	9,8		54,0	1	8,9
4	10	11,7	11,7		49,4	2	8,6
5	12	12,6	12,6		54,0	2	10,3
6	16	20,5	20,5		291,9		20,5
7	22	25,1	25,1		291,9	1	20,4
8	36	26,2	26,2		231,8		26,2
9	11	40,7	40,7		523,7		40,7
10	7	41,2	41,2		291,9	1	36,7
11	36	47,6	40,2	1	443,1	1	37,4
12	36	49,5	46,6	1	355,7	1	42,1
13	16	53,1	50,3	2	1101,1		53,1
14	34	64,4	58,4	3	1101,1	1	62,5
15	36	66,1	54,9	2	486,4	2	49,7
16	18	79,8	60,9	1	1149,4	1	69,8
17	33	81,9	66,2	3	1149,4	3	71,7

ческих) способов ограничения выдающихся подсчетных параметров.

В заключение отметим отдельные моменты рекомендательного плана по применению статистического способа учета выдающихся подсчетных параметров на базе перцентиль-функции.

1. Использование способа не ограничено условиями распределения полезного компонента в рудах и возможно на месторождениях всех видов твердых полезных ископаемых.

2. При наличии отдельных рудных тел на месторождении по каждому в отдельности можно выявлять пороги приемлемости.

3. Представительный объем выборки должен быть не менее 20–30 разведочных наблюдений (проб, пересечений или сечений).

4. При наличии комплекса полезных компонентов выявляются пороги приемлемости по каждому

из них для дифференцированного ограничения выдающихся подсчетных параметров по каждому полезному компоненту.

5. Пороги приемлемости определяются в диапазоне перцентиль-функции 0,99–0,90 с шагом 0,01, при необходимости шаг в указанном диапазоне может быть уточнен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каллистов П.Л.* Учет высоких проб и самородков при подсчете запасов месторождений золота. – М.: Главспеццветмет, Отраслевое бюро техн. информ., 1952.
2. *Коган И.Д.* Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1974.
3. *Лобач В.И.* Количественная оценка сложности строения рудных объектов // Руды и металлы. 1993. № 4. С. 17–28.

АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛО- ГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 549.07:549.211

© Коллектив авторов, 2007

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВКЛЮЧЕНИЙ МЕТАЛЛА-РАСТВОРИТЕЛЯ В СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗАХ НА ОСНОВЕ ИХ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ

А.И.Чепуров, Е.И.Жимулев, В.М.Сонин, И.И.Федоров, В.П.Солнцев (ИГМ СО РАН)

Предлагаемый метод определения содержания включений металла-растворителя в кристаллах синтетического алмаза на основе их магнитных свойств имеет погрешность 15% и может быть востребован для определения качества густо окрашенных или непрозрачных алмазов.

Малоазотные борсодержащие алмазы голубого цвета (тип IIb по физической классификации) чрезвычайно редки в природе и обладают уникальными свойствами. Фактически они встречаются только в кимберлитовых трубках Премьер и Цвартруггенс в Южной Африке, а в россыпных и коренных месторождениях России не известны [1]. Алмазы типа IIb востребованы в ювелирном деле и в высоких технологиях вследствие своих полупроводниковых свойств.

Основной дефект и отличие синтетических алмазов типа IIb от природных — присутствие включений ростовой среды — металла-растворителя [5]. Включения металла в синтетических кристаллах различаются по форме выделений, размеру и, что особенно важно, количеству. В то же время, в зависимости от содержания бора цвет алмазов меняется от светло-голубого до темно-синего, почти черного. Это осложняет визуальную оценку количества включений и изучение их распределения в кристаллах.

Известно, что синтетические алмазы с включениями металла обладают магнитными свойствами [2]. На основе их изучения приводятся данные по определению количества включений металла и, соответственно, качества малоазотных борсодержащих кристаллов алмаза.

Малоазотные борсодержащие алмазы выращивали в беспрессовом многопуансонном аппарате высокого давления типа «разрезная сфера» в системе Fe (36 вес.%) – Ni (64 вес.%) – C при давлении

5,5–6,0 ГПа, температуре 1350–1450°C в течение 40–120 ч по методике, изложенной в работе [3]. В качестве геттера азота использовали металлический титан. Для легирования кристаллов алмаза бором в Fe-Ni шихту добавляли фиксированное количество V_2O_3 .

Включения в алмазах, как в целых кристаллах, так и изготовленных по плоскости (001) шлифованных пластинок толщиной 1–3 мм, изучали методом оптической микроскопии, используя микроскопы МБС-10 и МБИ-15. Рентгенографическое исследование проводили на аппарате УРС-55 в камере «Гондольфи» с использованием Си-излучения при длительности экспозиции 10 ч.

Для определения количества (по массе) включений металла-растворителя использовали магнит ЭПР-спектрометра РЭ-1306, между полюсами которого помещали изучаемый образец, подвешенный на капроновой нити. Магнитную индукцию определяли с помощью измерителя магнитной индукции ШИ-1 и частотомера Ч-3-54.

Были выращены кристаллы алмаза кубооктаэдрического габитуса с второстепенными гранями {311}, {511}, {110} с различными оттенками голубого цвета. Характерный признак полученных алмазов — секториальное распределение цвета по голубым и бесцветным секторам роста. Окрашены секторы роста октаэдра, а бесцветны — секторы роста куба. Масса выращенных кристаллов — 0,2–3,2 карата.

Обычно алмазы содержали включения металла в виде непрозрачных выделений темно-серого

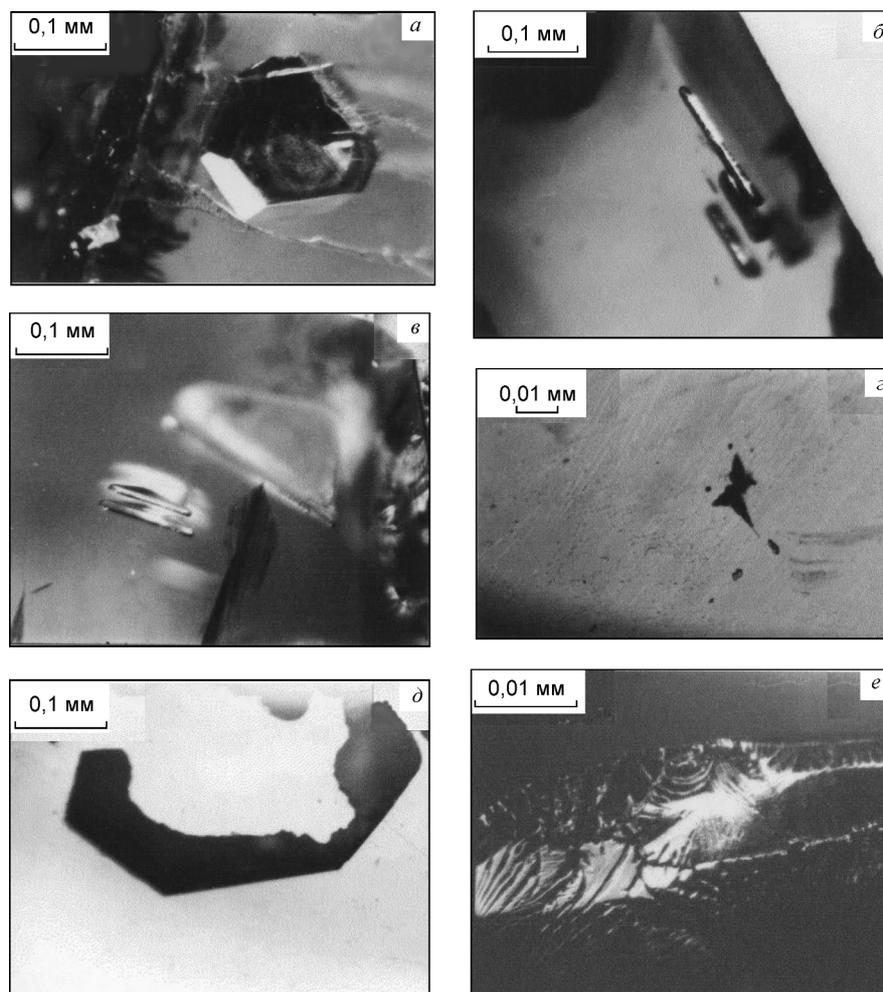


Рис. 1. Включения металла-растворителя в кристаллах алмаза:

a — ограненное, изометричное, *б* — ограненные, удлиненные, *в* — ограненные, уплощенные, *г* — неправильной формы, *д* — «футляровидное», *е* — поверхность неограненного включения

до черного цвета с металлическим блеском (рис. 1). Установлены ограненные и неограненные включения размером до 1 мм. Минимальный размер включений находится за пределом разрешения оптического микроскопа. В объеме кристаллов они распределяются неравномерно: в виде отдельных выделений или групповых скоплений. Ограненные включения имеют морфологию, аналогичную кристаллу-хозяину. Как правило, они огранены плоскостями $\{111\}$ и $\{100\}$. Встречаются изометричные, уплощенные и удлиненные включения. Неограненные включения обычно неправильной или каплевидной форм. По данным рентгенографического анализа включения представляют собой железо-никелевый сплав, который использовался в качестве шихты для роста алмазов (табл. 1).

Массу включений в выращенных алмазах определяли по калибровочной кривой (рис. 2), построенной при испытании стандартных образцов. Для изготовления стандартных образцов использовали

1. Результаты рентгенографического анализа включений металла (Fe-Ni) в алмазе

<i>hkl</i>	Металлические включения в кристалле алмаза		Fe-Ni сплав [5, карточка 23–297]	
	<i>d</i> (Å)	<i>I</i>	<i>d</i> (Å)	<i>I</i>
111	2,066	10	2,08	10
200	1,793	8	1,80	8
220	1,265	5	1,270	5
311	1,081	6	1,083	8
222	1,033	5	1,037	5

2. Содержание включений металла в кристаллах алмаза разных категорий

Номер кристалла	Масса кристалла, карат	Скорость роста, мг/ч	Масса включений, мг	Содержание включений, мг/карат	Категория кристаллов
1	2,0	1,5	1,6	0,8	А
2	0,5	2,5	1,15	2,3	А-В
3	0,83	3,3	2,9	3,5	В
4	2,7	4,5	18	6,7	В-С
5	3,2	6,2	25	7,8	С
6	3,0	8,1	36	12	С-Д

кусочки железо-никелевого сплава разной массы, механически отделенные после опытов от «таблетки» металла-растворителя, закристаллизованного в ростовой ячейке аппарата высокого давления. Образцы запрессовывали в диамагнитный материал (пластилин) для приведения к одной массе (0,6 г). Для каждого приготовленного таким образом образца определяли величину магнитной индукции, при которой подвешенный образец отклонялся у полюса магнита до фиксированного положения.

Аналогичным способом по отклонению подвешенных алмазов измеряли величину магнитной ин-

дукции, по которой с помощью калибровочной кривой (см. рис. 2) определяли содержание включений металла в тестируемых кристаллах. Точность оценки содержания Fe-Ni сплава в кристаллах алмаза составляет 15% от определяемой массы. По содержанию (мг/карат) включений кристаллы алмаза массой 1 карат разделены на несколько категорий: А — <1, В — <5, С — <10, Д — >20. Выделены также промежуточные категории: А-В, В-С, С-Д. В качестве примера в табл. 2 и на рис. 2 представлены оцениваемые характеристики некоторых кристаллов алмаза.

Содержание включений непосредственно зависит от скорости роста кристаллов (см. табл. 2). Малоазотные борсодержащие алмазы без включений или с включениями только в затравочной части кристаллов образуются при минимальных скоростях роста (<1–1,5 мг/ч).

Таким образом, на основании магнитных свойств синтетических алмазов типа Ib по физической классификации предложен способ их тестирования, который может быть использован для экспресс-метода определения содержания включений металла в окрашенных кристаллах и оценки их качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Природные алмазы России*: Научно-справочное издание / П.П.Вечерин, В.В.Журавлев, В.Б.Квасков и др. — М.: Полярон, 1997.
2. *Физические свойства алмаза*. Справочник / Под ред. Н.В.Новикова. — Киев: Наук. думка, 1987.
3. *Чепуров А.И., Федоров И.И., Соин В.М.* Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1997.
4. *A.S.T.M. Inorganic index to the powder diffraction file*. — Printed in Easton, Md, 1971.
5. *Shigley J.E., Fritsch E., Reinitz L., Moses T.M.* A chart for the separation of natural and synthetic diamonds // *Gems and Gemology*. 1995. № 4. P. 256–264.

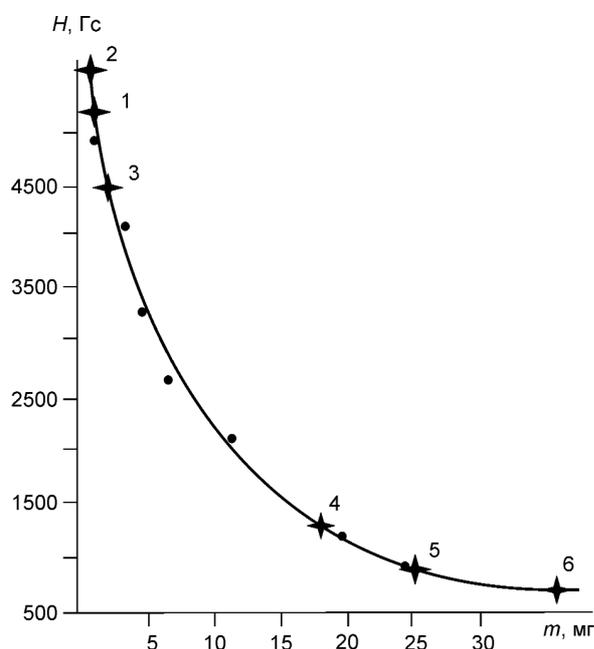


Рис. 2. Зависимость магнитной индукции (H) от содержания включений Fe-Ni сплава (m) в кристаллах алмаза:

точки — эталоны Fe-Ni сплава заданной массы; звездочки — содержание включений в алмазах по данным табл. 2

УДК 549.283:543.42 (470.531)

© Ю.В.Щегольков, 2007

ПЛЕНОЧНЫЙ ОКСИД ЗОЛОТА НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЛОТИН В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ ПО СУЛЬФИДНО-МАГНЕТИТОВЫМ РУДАМ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОВОГОДНЕЕ-МОНТО

Ю.В.Щегольков (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Методом электронной оже-спектроскопии (ЭОС) на поверхности самородного золота из коры выветривания (КВ) по эпидот-гранатовым скарнам, вмещающим сульфидно-магнетитовые руды месторождения Новогоднее-Монто, обнаружены пленочные фазы оксида золота. Показаны гидротермальное происхождение оксидных пленок и связанные с ними особенности отложения нового золота в КВ.

Процессы коррозии, растворения и повторного отложения золота, происходящие в зоне гипергенеза, нередко служат причиной его промышленных концентраций [15, 17]. В связи с этим большое значение приобретает выявление форм нахождения первичного золота, поступающего в КВ золоторудных месторождений. Помимо химического состояния, на растворение самородного золота в КВ большое влияние оказывает состав циркулирующих в зоне гипергенеза грунтовых вод, а также состав первичных руд и вмещающих пород. Как показывают экспериментальные данные, наиболее легко золото переходит в раствор из окисленных руд, слабее выщелачивается из неокисленных сульфидных и наиболее слабо растворяется компактное самородное золото [4]. Традиционно считается, что необходимое условие растворения золота — присутствие в растворах лигандов, таких как Cl^- , HS^- , CN^- и других, способных вступать с ним в реакции комплексообразования.

В последнее время в связи с переходом на микро- и наноуровень исследования вещества появились данные об обнаружении в рудах оксидных соединений золота. Так, И.Я.Некрасовым в рудах Агинского месторождения на Камчатке с помощью метода РСМА установлены оксигидрат золота $\text{AuO} \cdot \text{Au}(\text{OH})_2$ и гидроксиды золота с серебром и медью типа $(\text{AuO}, \text{Ag}, \text{Cu}) (\text{OH})_2$ [7]. Как отмечает автор, оксидные фазы образуют в золоте мелкие (15–30 мкм) включения неправильной формы или развиваются по самородному золоту в виде узких каемок на границах с другими минералами, что затрудняет их диагностику и изучение физических свойств. Гидроксид золота состава $\text{AuO}(\text{OH}, \text{Cl}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ диагностирован М.И.Новгородовой с соавторами [8] в КВ прожилково-вкрапленных руд на Южном Урале в тонкодисперсных полиминераль-

ных смесях новообразованного золота с гипергенными минералами.

На месторождении Новогоднее-Монто оксид золота обнаружен при исследовании состава самородного золота из КВ с помощью метода ЭОС. Окисленное состояние металла ($\text{Au}-\text{O}$) зафиксировано на поверхности золота из КВ по сульфидно-магнетитовым рудам, связанным с магнетитсодержащими эпидот-гранатовыми скарнами (рис. 1). Равномерное распределение оксида золота на поверхности исследованных образцов позволяет отнести данную фазу к пленочному типу. Поскольку водород в оже-спектрах не детектируется, нельзя исключать, что поверхностный слой может быть представлен оксигидратом или гидроксидом золота.

Месторождение Новогоднее-Монто расположено на Полярном Урале и приурочено к северо-восточной части среднепалеозойского Войкарского вулканоплутонического пояса. Оно локализовано в пределах тектонического блока, сложенного вулканогенно-осадочными породами андезито-базальтового состава тоупугольской толщи (S_2-D_1) с мощными линзовидными телами известняков. Породы блока прорваны апофизами крупного батолитоподобного массива собского интрузивного комплекса (D_{1-2}), силлами габбро-долеритов и дайками монцодиоритовых порфиринов конгорского комплекса (D_{2-3}), а также дайками долеритов малоханмейского (D_3-C_1) комплекса. Тела известняков в экзоконтакте собских гранитоидов мраморизованы и в различной степени (преимущественно вдоль контактов) замещены известковыми скарнами и массивными магнетитовыми рудами [2].

В пределах месторождения установлена практически значимая золоторудная минерализация двух типов — золото-сульфидно-магнетитовая скар-

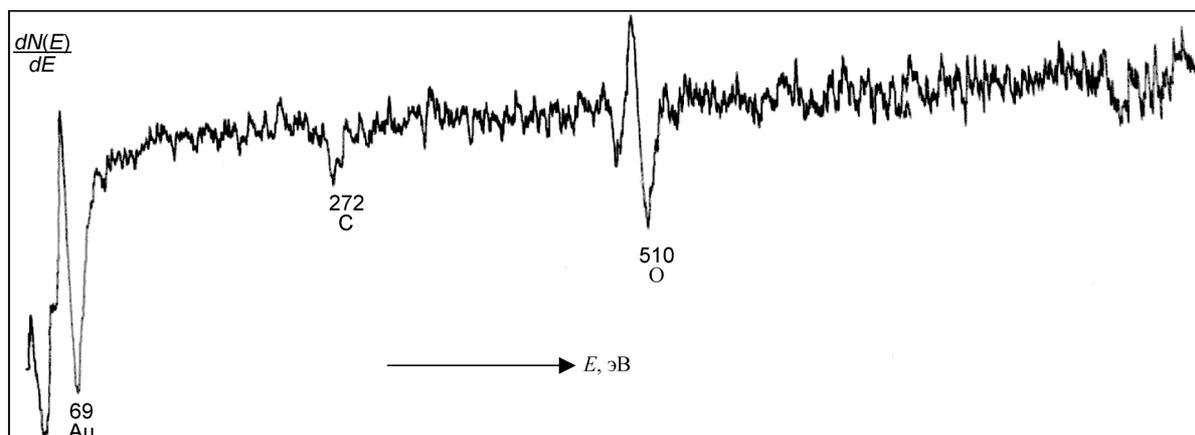


Рис. 1. Обзорный оже-спектр оксидной фазы на поверхности золота из КВ по эпидот-гранатовым скарнам, вмещающим сульфидно-магнетитовые руды:

пик углерода в спектре обусловлен оставшимися после ионного травления углеродсодержащими примесями, адсорбированными из атмосферы

новая и золото-сульфидно-кварцевая жильная и прожилково-вкрапленная [3]. По данным Н.М.Риндзюнской с соавторами [6], на месторождении сохранились преимущественно корневые части золотоносной коры выветривания. Выделяются следующие ее литолого-минералогические типы — глинистый, по кварц-серицитовым метасоматитам с золото-сульфидно-кварцевой минерализацией и КВ типа «железная шляпа» по магнетитсодержащим эпидот-гранатовым скарнам, вмещающим сульфидно-магнетитовые руды. Различные типы руд и КВ часто совмещены в пространстве, в результате чего образуется более сложный (смешанный) литолого-минералогический тип КВ.

Золото гравитационного концентрата из КВ мелкое или очень мелкое, его размер $0,05\text{--}0,25$, редко $0,5\text{--}1,25$ мм. Большая часть золотин имеет рудный облик. Преобладает остаточное золото с оглаженными краями, которое связано с рудными минералами — пиритом, халькопиритом, магнетитом, галенитом, гесситом и др., а также с нерудными — сростки кварца и хлорита. Формы выделений пластинчатые с ячеистой поверхностью, интерстициальные, гемиидоморфные зерна, сростки кристаллов. Пробность золотин неоднородна — преобладает Au $810\text{--}870$ и $900\text{--}960$ проб, реже $610\text{--}650$ [6].

Результаты минераграфических исследований показали незначительную разницу в морфологии и размерах золота из указанных выше типов КВ. Тем не менее, существенные различия были выявлены при изучении состава поверхности золота.

Исследования проведены на приборе LAS-3000 фирмы «Riber», оснащенном анализатором оже-

электронов типа «цилиндрическое зеркало». Оже-спектры регистрировались в дифференциальной форме $dN(E)/dE$. Энергия первичного электронного пучка составила $2,5$ кэВ, напряжение модуляции $2,3$ В при записи обзорных спектров и $0,9$ В при записи тонкой структуры Au (NOO) пика, давление в аналитической камере $5 \cdot 10^{-10}$ торр.

Для изучения распределения элементов на глубину от поверхности (построение профилей концентраций) использовали травление образцов пучком ионов аргона с энергией 2 кэВ при токе эмиссии 20 мА. Временной интервал ионного травления между точками на профилях концентраций (ось абсцисс) в зависимости от сложности рельефа образца соответствует $10\text{--}15$ мин. Таким образом, с учетом скорости распыления металлического золота $0,06$ нм/с, рассчитанной по формуле из работы [1], глубина анализа составляет $\sim 0,3$ мкм.

Поверхность золотин, отобранных для исследования методом ЭОС из КВ по магнетитсодержащим эпидот-гранатовым скарнам, затемненная с бронзовым оттенком, по кварц-серицитовым метасоматитам — чистая блестящая. На рис. 2, а видно, что отличительная особенность золота из КВ по магнетитсодержащим эпидот-гранатовым скарнам — наличие на его поверхности мощного ($>0,3$ мкм) кислородсодержащего слоя. Так как серебро в данном случае не зафиксировано, присутствие кислорода в этом слое логично объяснить его химической связью с золотом. Обработка Au (NOO) оже-спектра по методике из работы [13] подтвердила это (рис. 3). По данным ЭОС содержание серебра в центральной части данной золотины (анализировал-

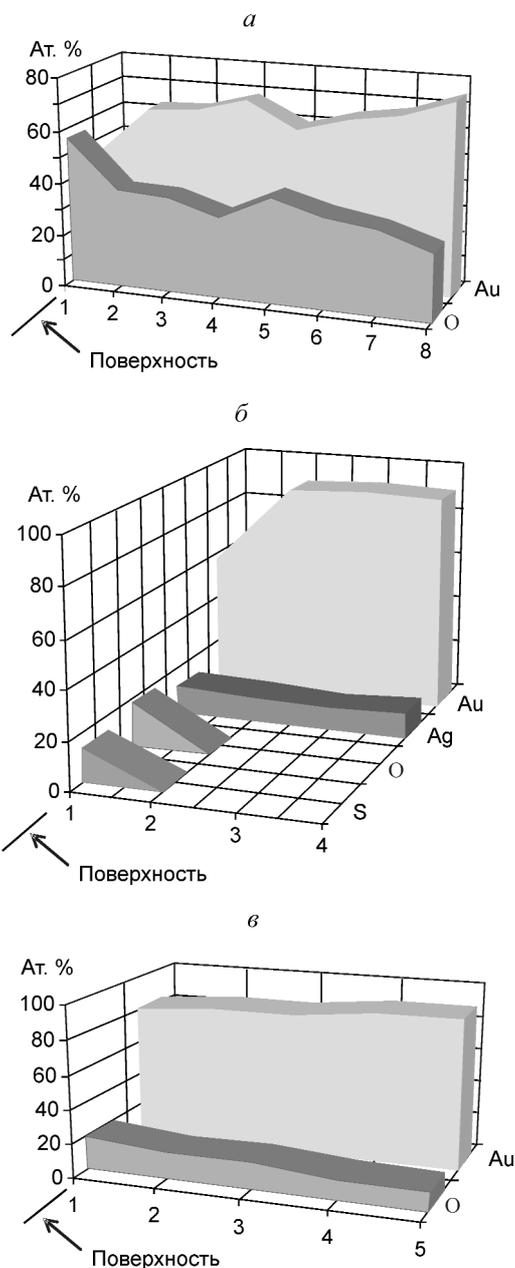


Рис. 2. Состав поверхностных слоев золота из КВ по магнетитсодержащим эпидот-гранатовым скарнам (а), кварц-серицитовым метасоматитам (б) и первичного золота из сульфидно-магнетитовых руд (в)

ся поперечный срез зерна) составляет 10–11 ат. %, что соответствует пробности 940–950.

Как отмечалось выше, КВ месторождения Ново-годнее-Монто представляет собой нижние слабо измененные горизонты гипергенного профиля (зона дезинтеграции и нижняя часть зоны гидратации). Поэтому были определенные сомнения в том, что оксидный слой такой толщины образовался на поверхности золота в условиях КВ, а не унаследован от

гидротермального этапа формирования месторождения. Для проверки этого предположения выполнен профильный оже-анализ образца коренного золота, взятого непосредственно из первичных сульфидно-магнетитовых руд. Установлено практически полное сходство составов поверхности коренного золота (см. рис. 2, в) и золота из КВ (см. рис. 2, а). Более высокая концентрация кислорода в приповерхностных слоях последнего говорит, скорее всего, об изменчивости этого параметра в зависимости от минерального состава руды, чем о продолжении процесса окисления первичного золота в зоне гипергенеза. Это подтверждается также отсутствием серебра в приповерхностных слоях золота из первичных сульфидно-магнетитовых руд, что указывает на высокую степень окисления металла. Известно, что окисле-

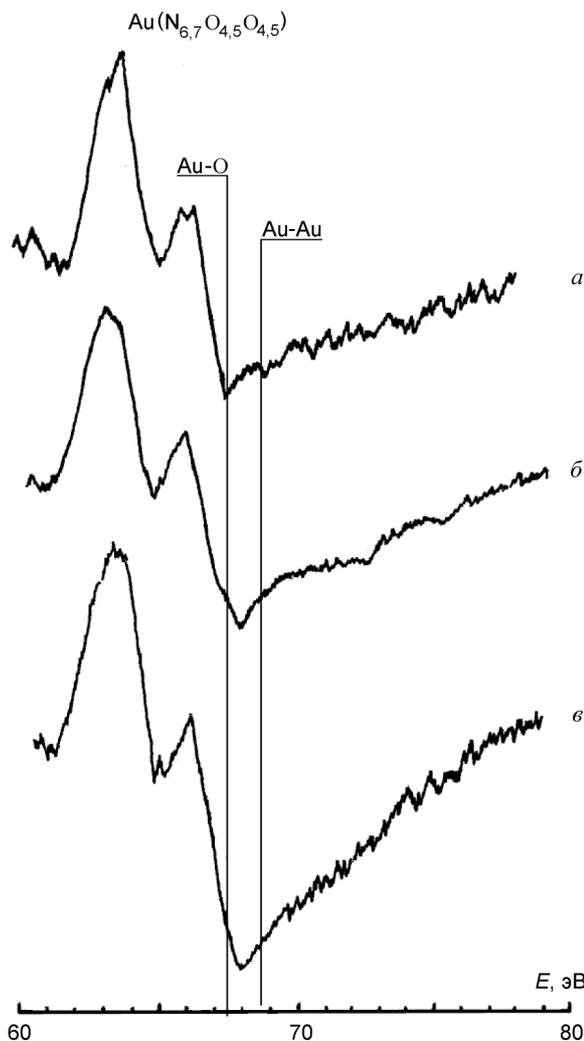
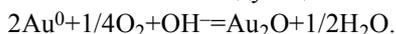


Рис. 3. Тонкая структура $Au(N_{6,7}O_{4,5}O_{4,5})$ оже-спектров золота с кислородсодержащим слоем из КВ по эпидот-гранатовым скарнам, вмещающим сульфидно-магнетитовые руды (а, б), и эталонного образца золота без кислородсодержащего слоя (в)

ние самородного золота сопровождается выносом атомов серебра, что приводит к образованию высокопробной каймы на его поверхности [10].

Причиной столь высокой степени окисления золота из сульфидно-магнетитовых руд является, по нашему мнению, специфика физико-химических условий накопления и отложения последних. По данным А.Г.Волчкова, С.Г.Кряжева, В.П.Новикова и др. (2005), золоторудная минерализация происходила в обстановке равновесия пирит–магнетит на завершающей стадии раннего высокотемпературного (около 400°C) скарнового этапа формирования месторождения, т.е. в условиях, которые можно охарактеризовать как близкие щелочным окислительным. О высоком кислородном потенциале среды рудообразования свидетельствует также наличие в рудах гематита [3, 16].

В работе [9] экспериментально показано, что при гидротермальной обработке элементного золота (500°C, 1 кбар) оксидный слой на его поверхности образуется как в восстановительной ($\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 + \text{H}_2$), так и в окислительной ($\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$) среде, а необходимым условием процесса окисления Au^0 является присутствие гидроксил-иона. Максимальная толщина оксидного слоя (около 300 нм) была достигнута в окислительном флюиде состава 80% $\text{H}_2\text{O} + 20\% \text{O}_2 + \text{NaOH}$. Природа химической связи золото–кислород в оксидном слое остается дискуссионной, но из анализа величин химических сдвигов в энергетических позициях $\text{Au}4f_{7/2}$ фотоэлектронных линий следует, что он имеет переменный состав на основе соединения, содержащего связь $\text{Au(I)}-\text{O}$. Формальная реакция его образования может быть следующей:



Стабильность поверхностных оксидных соединений золота при повышенных температурах (>500°C) может быть обеспечена влиянием структурных дефектов подложки, а также «...необычной химией поверхности — в частности, легко меняющейся валентностью поверхностных атомов» [14].

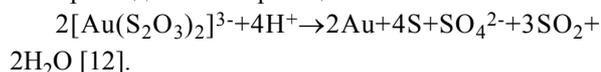
Таким образом, приведенные данные позволяют утверждать, что образование оксидного слоя ($\text{Au}-\text{O}$) на поверхности золота из сульфидно-магнетитовых руд произошло в гидротермальный этап формирования месторождения.

Обнаружение оксидных соединений золота в первичных рудах, на наш взгляд, заслуживает внимания по следующей причине. Известно, что металлическое золото при нормальных условиях в воде практически нерастворимо, в то время как для гидроксида $\text{AuO}(\text{OH})$ растворимость в воде $S_{\text{AuO}(\text{OH})}$ при 20°C составляет $2,4 \cdot 10^{-12}$ моль/л. С повышением

кислотности или щелочности среды растворимость $S_{\text{AuO}(\text{OH})}$ возрастает на несколько порядков. Так, в растворах HNO_3 $S_{\text{AuO}(\text{OH})} = 0,38$ моль/л, а в растворах NaOH достигает $8 \cdot 10^{-4}$ моль/л [11]. Следовательно, переход золота в раствор из оксидной фазы (в зонах окисления и корях выветривания) должен происходить значительно легче, чем из свободного (металлического) состояния.

Наибольшие концентрации золота в корях выветривания месторождения Новогоднее-Монто (от 2 до 200 г/т) установлены для глинистой фракции и скоплений гидроксидов железа [6]. В то же время, на многих золоторудных месторождениях глинистые фракции кор выветривания не содержат высоких концентраций золота. Например, на Воронцовском месторождении содержание золота в глинистой фракции в среднем составляет 1 г/т. С большой долей вероятности можно предполагать, что аккумуляция металла в тонких классах гипергенных минералов на месторождении Новогоднее-Монто обусловлена окислением сульфидно-магнетитовых руд, содержащих золото с оксидными пленками.

Механизм растворения оксидных пленок и формы переноса нового золота до конца не выяснены, но очевидно, что переход золота в раствор из оксидной фазы не требует столь высокой кислотности среды и наличия сильных окислителей, как при растворении металлического золота. Основываясь на результатах экспериментов по изучению устойчивости различных комплексов золота в водных растворах при нормальных температуре и давлении, можно предположить, что на ранней стадии развития кор выветривания месторождения Новогоднее-Монто в слабощелочной среде стабильны комплексы с лигандами $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ [12, 18]. В процессе дальнейшего развития кор выветривания с понижением pH среды за счет появления органических кислот, разложения сульфидов и других минералов тиосульфатные комплексы золота становятся неустойчивыми и распадаются по реакции:



Предпочтительное осаждение вторичного золота на агрегаты минералов с развитой поверхностью и высокой адсорбционной способностью, таких как гидроксиды железа и слоистые силикаты, неоднократно обсуждалось в литературе [5, 8, 10]. Отметим, что фактором, способствующим разложению тиосульфатных комплексов золота, служит, по-видимому, процесс ферролиза, усиливающий кислотные свойства реакционной среды [17].

В работе [6] на основании литолого-минералогических исследований сделан вывод о существова-

нии некогда зрелой коры выветривания на месторождении Новогоднее-Монто. Наличие оксидных Au-O пленок на золоте из коры выветривания по скарново-магнетитовым рудам — дополнительное свидетельство того, что кора была сильно эродирована и сохранились только ее нижние горизонты. Количество золота, перешедшее в раствор из оксидной фазы, можно оценить как значительное исходя из следующих соображений. Во-первых, рассматриваемые руды принадлежат к основному типу рудной минерализации — золото-сульфидно-магнетитовой скарновой. Во-вторых, доля оксидного слоя в общей массе золотины зависит от величины последней. Чем меньше размер выделений золота, тем больше вклад поверхностной оксидной фазы и, следовательно, тем интенсивнее будет проходить процесс растворения. Поэтому нельзя исключать, что субмикронные частицы золота в сульфидно-магнетитовых рудах были полностью окислены и в дальнейшем попали в раствор, формирующий коры выветривания.

Таким образом, проделанная работа позволяет сделать следующие выводы:

в процессе формирования высокотемпературных золото-скарновых сульфидно-магнетитовых руд на золоте в этих рудах могут появляться Au-O пленки, которые можно использовать в качестве типоморфного признака данного типа золоторудной минерализации;

в корях выветривания оксидные соединения золота становятся неустойчивыми и переходят в раствор, вероятнее всего, в виде тиосульфатных комплексов;

с изменением условий от слабощелочных к кислотным тиосульфатные комплексы золота в корях выветривания распадаются с образованием нового золота, которое сорбируется глинистыми минералами и гидроксидами железа;

наличие оксидных Au-O пленок на золоте из кор выветривания указывает на наличие слабо измененных нижних горизонтов гипергенного профиля.

Автор выражает искреннюю благодарность за поддержку в работе Е.В.Матвеевой, А.М.Гаврилову, С.Г.Кряжеву, Т.П.Зубовой, а также Н.М.Риндзюнской, любезно предоставившей необходимую коллекцию образцов самородного золота и принявшей участие в обсуждении результатов исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анализ* поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / Под ред. Д.Бриггса, М.П.Сиха. — М.: Мир, 1987.
2. *Золотоносность* рудного поля медно-железоскарнового месторождения Новогоднее-Монто на Полярном Урале / А.А.Черемисин, М.М.Гирфанов, А.М.Гаврилов и др. // Мат-лы региональной конференции. Екатеринбург, 2000. С. 188–190.
3. *Карелина Е.В., Дьяконов В.В., Трофимов Н.Н.* Особенности нахождения золота в рудах месторождения Новогоднее-Монто (Полярный Урал) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2002. № 1. С. 92–94.
4. *Королева Г.П., Погребняк Ю.Ф.* Экспериментальное исследование растворения и переноса золота некоторыми водными растворами // Геология и геофизика. 1984. № 7. С. 85–90.
5. *Кренделев Ф.П., Жмодик С.М., Миронов А.Г.* Экспериментальное исследование сорбции золота природными слоистыми силикатами и гидроокислами железа с использованием радиоизотопа ^{195}Au // Геохимия. 1978. № 6. С. 891–898.
6. *Литолого-минералогический состав коры выветривания золоторудного месторождения Новогоднее-Монто, Полярный Урал / Н.М.Риндзюнская, А.В.Андреев, Т.П.Зубова и др.* // Руды и металлы. 2005. № 6. С. 34–44.
7. *Некрасов И.Я.* Геохимия, минералогия и генезис золото-серебряных месторождений. — М.: Наука, 1991.
8. *Новгородова М.И., Генералов М.Е., Трубкин Н.В.* Новое золото в корях выветривания Южного Урала // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. С. 40–53.
9. *О возможности* поверхностного окисления золота в гидротермальных растворах в отсутствии сильных комплексообразователей / Ю.В.Щегольков, В.Л.Тайсон и др. // Мат-лы научной конференции. Иркутск, 2005. Т. 2. С. 156–158.
10. *Петровская Н.В.* Самородное золото. — М.: Наука, 1973.
11. *Химическая энциклопедия.* — М.: Советская Россия, 1988.
12. *Шабынин Л.Л.* К вопросу миграции золота в водной среде в тиосульфатной форме // Изв. Томского политехнического ин-та. 1967. Т. 167.
13. *Щегольков Ю.В., Амосов А.А.* Окисление самородного золота в россыпях // ДАН РФ. 2000. Т. 370. № 4. С. 520–523.
14. *Chesters M.A., Samorjai G.A.* The chemisorption of oxygen, water and selected hydrocarbons on the (111) and stepped gold surfaces // Surfaces Sci. 1975. Vol. 52. P. 21–23.
15. *Dominique M.* Concentration of gold in situ laterites from Mato Grosso // Miner. Deposit. 1987. Vol. 22. № 3. P. 185–189.
16. *Hemingway B.S.* Thermodynamic properties for bunsenite, NiO, magnetite, Fe_3O_4 , and hematite, Fe_2O_3 , with comments on selected oxygen buffer reactions // Amer. Miner. 1990. Vol. 75. № 7–8. P. 781–790.
17. *Mann A.W.* Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: Some observations from Western Australia // Econ. Geol. 1984. Vol. 79. № 1. P. 38–49.
18. *Webster J.G.* The solubility of gold and silver in the system Au–Ag–S–O₂–H₂O at 25°C and 1 atm // Geochim. Cosmochim. Acta. 1986. Vol. 50. P. 1837–1845.



К ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ОЛИМПИК ДЭМ*

И.А.Кубанцев (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

Австралийский геолог доктор Даглас Хейнз, побеседовав с «товарищами его трудов» тридцатилетней давности по открытию месторождения Олимпик Дэм Д.Эвансом, Х.Раттером, Дж.Лаларом и Р.Вудаллом, решил описать путь к главному открытию в своей профессиональной карьере.

Став студентом университета, Д.Хейнз составил стратегию своей дальнейшей деятельности и неукоснительно следовал плану. Для начала он стал стипендиатом Содружества Наций; его дипломная работа отмечена отличием. Главный геолог компании *Вестерн Майнинг*, один из первооткрывателей Cu-Ni месторождения Камбалда, не счел за труд лично пригласить на работу «молодого да раннего». Д.Хейнз соглашается и намечает следующий ориентир: поработать в компании два-три года, за это время подготовить материалы для диссертации и поступить в аспирантуру.

Первым объектом изучения начинающего геолога-рудника в 1967 г. стало медное месторождение Варбертон (Warburton), генетически связанное с протерозойскими базальтоидами. Здесь у Д.Хейнза зародилась основа модели, примененной впоследствии в проекте Олимпик Дэм: гидротермальное выщелачивание меди из базальтоидов, ее последующий перенос и переотложение на комплексных гидродинамических и геохимических барьерах. В случае месторождения Варбертон — это межпотоковые грубообломочные образования в базальтоидах, зоны главных и оперяющих тектонических нарушений в обогащенных сингенетическими сульфидами рудных зонах метаосадков, вмещающих базальтоиды. Парадигмой стала медная минерализация в базальтоидах п-ова Кивинау (Keweenaw), шт. Мичиган, США. Человеком, который помог Д.Хейнзу нащупать эту логическую цепочку, был Р.Вудалл, один из

ведущих геологов компании *Вестерн Майнинг*. Материал по этому месторождению лег в основу диссертации Д.Хейнза.

Второй значимой ступенью в подъеме к Олимпик Дэм стали для молодого исследователя ревизионные работы по изучению керна и переувязке рудных зон (Cu-Au+/-Ag, Fe — тип IOGC) в рудном районе Мунта-Валлару (Moonta-Wallaroo), приуроченном к нижнепротерозойским расланцованным кислым эффузивам и метаосадкам. Он участвовал в них при обучении в аспирантуре.

Первоначально на объекте предполагалась стратиформная медная минерализация. В итоге ревизионных работ установлены рудные жилы, брекчии и пластообразные залежи, связанные с зонами развития альбит-актинолит-скаполитовой минеральной ассоциации. Именно Д.Хейнз подметил последнее обстоятельство как поисковый признак, дополнивший модель, позднее использованную в проекте Олимпик Дэм.

Получив докторскую степень, Д.Хейнз вернулся в компанию *Вестерн Майнинг*, где ему был открыт оперативный простор для работы над прогнозом размещения медных месторождений на юге Австралии и программой поисковых работ.

В основу прогноза легли карты распространения нижнепротерозойских базальтоидов — потенциально продуктивных по отношению к искомым медной минерализации образований. Эти породы широко распространены и в отличие от метаосадков легко диагностируются и надежно картируются. Зоны развития минеральной ассоциации альбит+гематит+гидрослюд+эпидот+карбонаты, повышенных значений ППП и отношения Fe^{3+}/Fe^{2+} , а также пониженного содержания меди в базальтоидах рассматривались как «корневые» зоны медной

*Haynes D. The Olympic Dam Ore Deposit Discovery — A Personal View // SEG Newsletters. 2006. №. 66. P. 1–15.

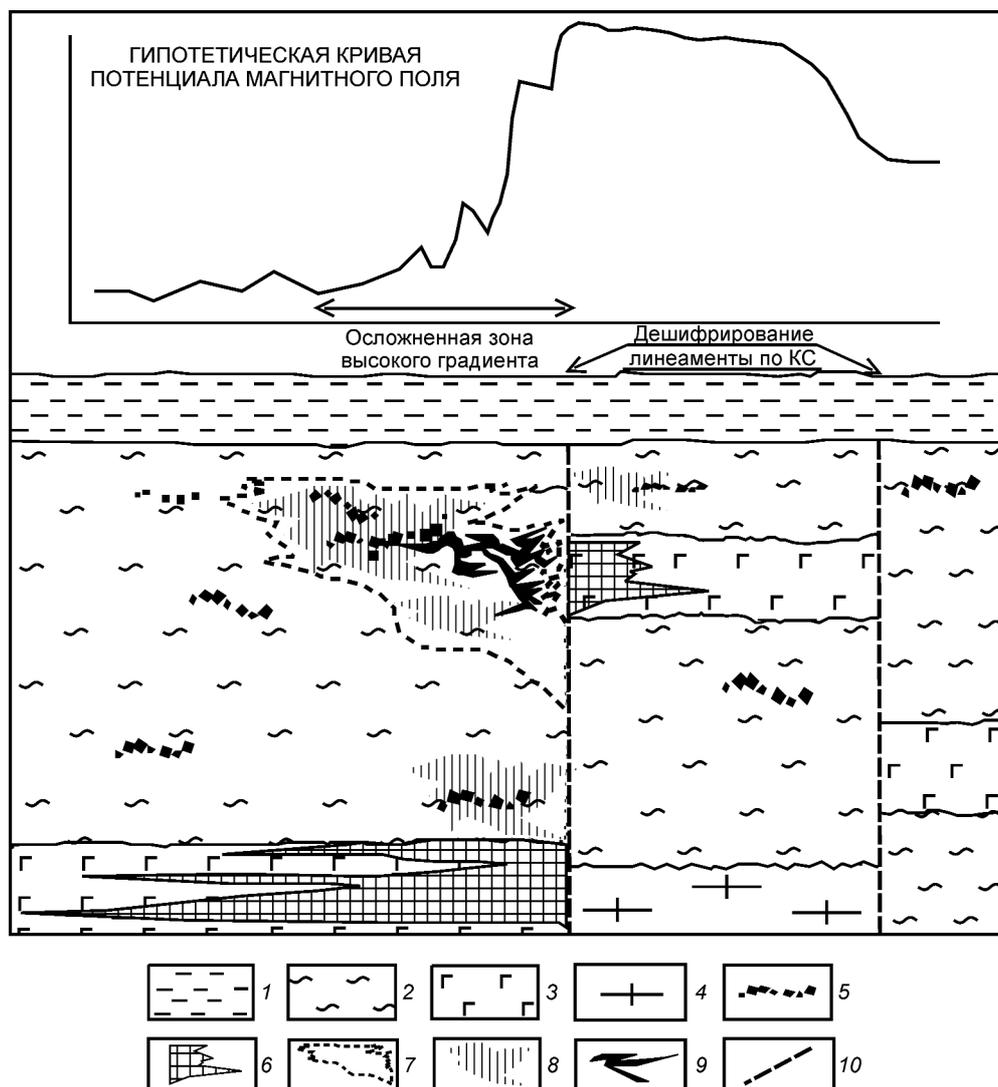


Рис. 1. Поисковая модель Cu минерализации, использование которой привело к открытию месторождения Олимпик Дэм, составлена И.А.Кубанцевым по данным Д.Хейнза, 2006:

1 — осадочные образования шельфа Стюарт (KZ); протерозойские образования: 2 — метаосадки, 3 — базальтоиды; 4 — породы фундамента (AR); 5 — сингенетическая сульфидная минерализация; 6 — предполагаемый источник меди — зоны развития минеральной ассоциации альбит+гематит+гидрослюда+эпидот+карбонаты, повышенных значений отношения Fe^{3+}/Fe^{2+} и пониженного содержания меди в базальтоидах; 7 — внешний контур зон развития минеральной ассоциации альбит+актинолит+скаполит в метаосадках; 8 — стратиформная вкрапленная сульфидная Cu минерализация; 9 — морфологически сложная жильная Cu минерализация (парадигма — месторождение Мунта, Австралия); 10 — разломы

минерализации. Крупные зоны тектонических нарушений, дешифрируемые, в частности, по космоснимкам, считались областями транзита рудоносных гидротерм. К рудовмещающим породам относили метаморфизованные осадочные и вулканогенно-осадочные образования раннего протерозоя, содержащие сингенетическую сульфидную минерализацию. Локальный поисковый признак для метаосадков — наличие альбит-актинолит-

скаполитовой минеральной ассоциации. В качестве перспективных площадей рассматривались территории, где глубина залегания базальтоидов не превышала 1 км. В качестве геофизически благоприятных на искомую минерализацию зон выдвигались зоны высокого градиента магнитного и гравитационного полей, соответствующие зонам тектонических нарушений, разделяющих блоки, резко различающиеся по глубине залегания продуктив-

ных базальтоидов. Последние из-за относительно высокой плотности и повышенного содержания магнитных минералов, очевидно, предполагались в качестве основных возмущающих объектов. Осложнения рисунка поля в пределах зон высокого градиента могли соответствовать минерализованным зонам. Сводная поисковая модель, составленная по этому описанию применительно к одному из районов работ — окраине кратона Гаулер, перекрытой кайнозойскими осадками так называемого шельфа Стюарта (шт. Южная Австралия), приведена на рис. 1. Интересно отметить, что какие-либо радиометрические и иные наблюдения, направленные на выявление урановой минерализации, Д.Хейнзом при описании начальной стадии работ вообще не упоминаются. Кроме того, первооткрыватель отмечает, что данные дешифрирования тектонических линеаментов никак не повлияли на выбор мест заложения скважин (хотя соответствующими специалистами и были рекомендованы перспективные участки, часть из которых совпадала с зонами геофизических аномалий).

Перед началом прогнозно-поисковых работ руководство компании *Вестерн Майнинг* позаботилось о развитии рабочих контактов между ее сотрудниками. До начала проекта Д.Хейнз работал на западе страны, а его будущие коллеги по проекту — на востоке. Тем не менее, они нашли друг друга и, как показывают результаты, составили весьма эффективную команду.

Открытие Олимпик Дэм, как указывает Д.Хейнз, не обошлось без простой удачи. На территории, где ранее (вероятно, по данным мелкомасштабных работ) были выявлены обширные аномалии силы тяжести и магнитного потенциала, незадолго до начала проекта проводились профильные аэрогеофизические исследования, позволившие детализировать структуру полей и наметить пять перспективных участков (рис. 2). В компании был отлажен мониторинг новой информации: соответствующие данные были запрошены и без проволочек предоставлены специалистам. Две из этих аномалий располагались в труднодоступной местности, одна — на площади известного во всем мире месторождения опала Андамука (Andamooka). Интерес к еще двум примерно равноценным аномалиям подогревался находками медной минерализации в 100 км к югу от исследуемого района. Выявленные объекты при лучшей обнаженности сопровождалась геофизическими аномалиями сходного облика, но меньшей интенсивности. Та, что наблюдалась над открытым впоследствии месторождением Олимпик Дэм, отличалась наименьшей расчетной глубиной залегания возмущающего объекта.

Перед началом буровых работ ведущий геофизик проекта Х.Раттер отметил в служебной записке, что аномалии на шельфе Стюарта плохо укладываются в модель минерализации, связанной с измененными базальтоидами. Но тут же подчеркнул, что эти неоднородности поля все равно весьма интересны, а та аномалия, под которой впоследствии было открыто месторождение, вероятно, представляет собой древний вулканический центр.

Начальный проект бурения первой скважины предусматривал заглубливание под подошву метаосадков (поверхность несогласия) на глубину 150 м для изучения корневой (питающей) зоны системы. В рабочем проекте данная величина была урезана до 50 м. Д.Хейнз отмечает, что без этого месторождение могло быть пропущено. И у него есть все основания так утверждать.

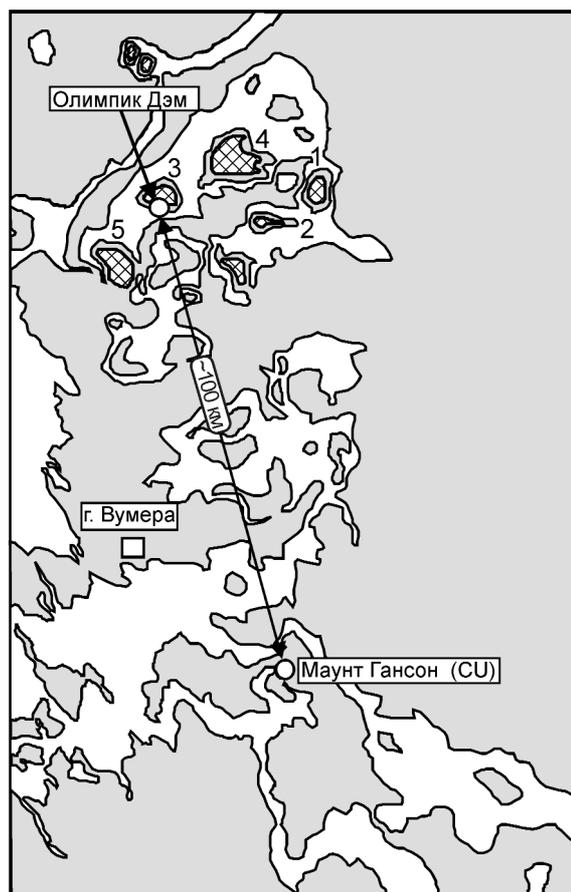


Рис. 2. Расположение перспективных участков, выделенных на основании аэромагнитной съемки (1974 г.), предшествовавшей открытию Олимпик Дэм, по Д.Хейнзу, 2006:

интенсивность магнитного поля соответствует густоте закрашки; 1–5 в утолщенных контурах — аномалии, признанные перспективными

Место заложения первой скважины (RD1) было выбрано Х.Ратгером в пределах зоны наиболее высокого градиента аномалий силы тяжести и магнитного потенциала (все прочие скважины первой серии, до RD10 включительно, тоже задавались по соображениям геофизиков). При этом данные профильной аэрогеофизической съемки предварительно уточнялись наземными наблюдениями.

Ниже приведен календарь событий по веб-архиву Nuclear Information Centre, Аделаида, Южная Австралия.

1975 г. 2 мая — выдана лицензия на ГРП. 12 июня — RD1 начата бурением; водоснабжение буровой установки осуществляется из мелкого водохранилища Олимпик Дэм. 4 июля — в керне RD1 выявлен первый минерализованный интервал. 30 июля — завершение проходки RD1, вскрывшей 38-метровый интервал со средним содержанием Cu 1,02%, Au 0,29 г/т и серебра 3,7 г/т; глубина скважины 411,1 м.

1976 г. 25 ноября — только в десятой по счету скважине проекта (RD10) выявлено богатое пересечение: 170 м керна со средним содержанием Cu 2,12% и U_3O_8 0,058%, что дает гарантии экономического успеха проекта.

1977 г. Март — получение первых геолого-экономических оценок объекта.

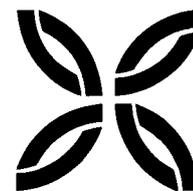
Успех, и какой! Но... Первые 335 м скв. RD1 пришлись на безрудные породы кембрия и метаосадки протерозоя, после чего вскрыта поверхность несогласия, а зона бедной минерализации обнаружена в породах фундамента. Настоящей «скважи-

ной-первооткрывательницей» стала лишь десятая. Примерно год весь проект «висел на волоске», подерживаемый верой в успех и энтузиазмом менеджера проекта Д.Эванса. Только при изучении подземных разведочных выработок (1985–1987 гг.) удалось установить, что стратифицированной минерализации на объекте нет. Руды оказались приуроченными к сложно построенному комплексу брекчий гидротермально-магматической природы — продукту многостадийного дробления, сформированному под воздействием основных и ультраосновных интрузивных тел и обрушения вулканических построек.

Главным источником энергии и вещества в ходе рудообразования многие австралийские исследователи считают гранитоиды свиты Хилтаба (Hiltaba, возраст 1590 млн. лет) и в особенности породы подсвиты Роксби Даунс (Roxby Downs, 1588 млн. лет).

Автор открытия признает, что он и его коллеги открыли не то, что искали в соответствии с проектом. Однако он не сомневается в том, что часть запасов меди и золота месторождения Олимпик Дэм генетически связана с эффузивами основного состава, комагматичными эффузивам серии Рупена (Roopena), ранее обнаруженным в Южной Австралии. Д.Хейнз считает весьма низкой вероятностью того, что вся рудная нагрузка могла быть произведена какой-либо одной из участвующих в геологическом строении месторождения разновидностью пород.

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ



2 июля 2007 г. исполнилось 70 лет главному научному сотруднику ЦНИГРИ, доктору геолого-минералогических наук, профессору, академику РАН и МАМР, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, одному из лидеров отечественной геологической науки в области золоторудных месторождений **Михаилу Михайловичу Константинову**.

М.М.Константинов трудится в ЦНИГРИ с 1960 г. Прошел путь от младшего до старшего научного сотрудника, заведовал сектором, лабораторией, отделом. Работал на свинцово-цинковых месторождениях Северной Осетии, золоторудных месторождениях Закавказья, Северо-Востока России, Дальнего Востока, Приморья, Якутии, Средней Азии. Полученные в результате этих исследований новые данные о строении месторождений использовались при определении направлений геологоразведочных работ.



М.М.Константинов разработал рудно-формационную для золотых и геохимическую для золотосеребряных месторождений классификации, положение о закономерных связях рудно-геохимических ассоциаций с вулканизмом, типом и предьсторией формирования земной коры. В многочисленных научных трудах им раскрыты основные закономерности размещения и формирования золоторудных месторождений, определены золоторудные эпохи, выделены рудно-геохимические системы, конвекционные золотоносные системы и динамические фации золотоносных формаций, рассмотрен процесс биогенного концентрирования золота и условия образования золоторудных гигантов.

М.М.Константинов участвовал в подсчете запасов многих месторождений, в том числе Зодского, Многовершинного, Дукацкого, руководил рабочей группой института, обеспечивающей научно-методическое сопровождение геологоразведочных работ в Республике Северная Осетия–Алания, в Магаданской области и Якутии. Он постоянно передает свой опыт молодым исследователям, под его руководством в ЦНИГРИ защищено 12 кандидатских диссертаций. Является членом редколлегии журналов «Отечественная геология» и «Руды и металлы».

М.М.Константинов — автор более 300 научных публикаций, в том числе 20 монографий. Наиболее важные из них — «Золотое и серебряное оруденение вулканогенных поясов мира» (1984), «Прогнозно-поисковый комплекс на золотосеребряное оруденение Охотско-Чукотского вулканогенного пояса» (1988), «Многофакторные поисковые модели золоторудных месторождений» (1989), «Методика локального прогноза скрытых месторождений золота и серебра» (1989), «Серебро» (1989), «Провинции благородных металлов» (1991), «Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России» (1992), «Золотосеребряное месторождение Дукат» (1998), «Условия формирования и основы прогноза крупных золоторудных месторождений» (1998), «Россыпи золота Северо-Востока России (модели для прогноза, поисков и разведки)» (1999), «Золоторудные гиганты России и мира» (2000), «Золотосеребряные месторождения» (2002), «Строение и развитие золотоносных рудообразующих систем» (2002), «Геология месторождений серебра» (2003), «Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса» (2005), «Золоторудные провинции мира» (2006).

М.М.Константинов — лауреат премий Правительства Российской Федерации и имени академика В.А.Обручева, удостоен звания «Почетный разведчик недр», награжден знаком «Отличник разведки недр».

Поздравляем Михаила Михайловича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия и новых творческих успехов.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

13 августа 2007 г. исполнилось 70 лет **Вадиму Ивановичу Воробьеву** — ведущему научному сотруднику ЦНИГРИ, кандидату геолого-минералогических наук, члену-корреспонденту РАН.

В.И.Воробьев после окончания в 1959 г. геологического факультета Казанского государственного университета работал в Гайской геологоразведочной экспедиции Южно-Уральского геологического управления, пройдя путь от старшего коллектора до старшего геолога геологоразведочной партии. Под его методическим руководством была завершена детальная разведка Джусинского колчеданно-полиметаллического месторождения и защищены запасы в ГКЗ СССР, а также изучался Теренсайский рудный район, где позднее были обнаружены новые рудные объекты. По результатам проведенных исследований в 1968 г. В.И.Воробьев защитил кандидатскую диссертацию.

В 1968–1969 гг. после избрания по конкурсу В.И.Воробьев работал доцентом Свердловского горного института. Наряду с преподавательской работой, проводил научные исследования по совершенствованию методов поисков и разведки глубокозалегающих месторождений. В 1969 г. был приглашен на должность начальника геологического отдела Оренбургского геологического управления. Под его методическим руководством на территории Оренбургского Урала открыты и разведаны объекты рудных и неметаллических полезных ископаемых, подсчитаны запасы Гайского и Весеннего колчеданных месторождений. В.И.Воробьев — соавтор ряда публикаций по металлогении Оренбургского Урала, металлогенической карты Урала на структурно-формационной основе м-ба 1:200 000. По его инициативе выпущены сборники «Геология и полезные ископаемые Оренбургского Урала».

В 1977–1980 гг. В.И.Воробьев руководил группой советских геологов, осуществлявших геолого-съемочные, поисковые и разведочные работы на благородные, цветные, черные металлы и нерудные полезные ископаемые в Республике Куба. В результате этих работ получен значительный прирост запасов никеля, подготовлены к эксплуатации два золоторудных объекта, завершена разведка двух крупных полиметаллических месторождений, выявлено значительное число новых проявлений различных видов полезных ископаемых, составлены геологические карты м-ба 1:50 000 для наиболее перспективных территорий востока и запада республики. За работу в Республике Куба В.И.Воробьев награжден орденом «Знак Почета» и грамотой Посольства Кубы.

В 1980–1991 гг. В.И.Воробьев работал в Мингео СССР в должностях заместителя начальника Управления научно-исследовательских организаций, заместителя начальника Управления внешних связей, ответственного секретаря Коллегии. Принимал участие в научно-организационном руководстве работой отраслевых научно-исследовательских институтов, выезжал в качестве руководителя представительных групп специалистов Мингео СССР в зарубежные страны — Канаду (1982 г.), Таиланд (1987 г.), Испанию (1988 г.), Китай (1989 г.). В 1988 г. по итогам переговоров был заключен контракт на поиски месторождений золота на территории Испании силами ЦНИГРИ.

В 1991 г. в связи с упразднением Мингео СССР В.И.Воробьев перешел на работу в концерн «Полиметалл» Министерства цветной металлургии (в дальнейшем АО «Полиметалл»), где в течение пяти лет



координировал геологоразведочные работы ГОКов полиметаллической подотрасли. С 1996 по 2000 гг. работал секретарем Коллегии МПР России. В сентябре 2000 г. ушел на государственную пенсию по возрасту.

В 2000 г. В.И.Воробьев был приглашен на работу в ЦНИГРИ, где в должности ведущего научного сотрудника до настоящего времени занимается научно-организационной деятельностью.

В течение всей трудовой деятельности В.И.Воробьев активно работал в различных общественных организациях. В настоящее время он — ученый секретарь Секции наук о Земле РАЕН, соучредитель и ученый секретарь Фонда имени академика В.И.Смирнова.

За продолжительную плодотворную работу в геологической отрасли В.И.Воробьев награжден двумя медалями, двумя знаками «Отличник разведки недр», различными грамотами.

Высокий профессионализм, корректность и доброжелательность в отношениях с сотрудниками снискали В.И.Воробьеву заслуженное уважение коллег по совместной, в том числе долговременной полевой, работе.

Поздравляем Вадима Ивановича с юбилеем, желаем доброго здоровья, творческого вдохновения, благополучия и долголетия.

*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

3 августа 2007 г. исполняется 60 лет заведующему лабораторией геотехнологии руд цветных и благородных металлов отдела обогащения минерального сырья ЦНИГРИ, кандидату технических наук **Дмитрию Хаксуновичу Киму**.

После окончания Московского института стали и сплавов, аспирантуры на кафедре «Обогащение полезных ископаемых» и защиты диссертации в 1973 г. Д.Х.Ким начал работать в ЦНИГРИ вначале в должности младшего, а затем старшего научного сотрудника в отделе обогащения минерального сырья. За время работы в ЦНИГРИ (1973–1981 гг.) проявил себя квалифицированным специалистом в области обогащения полиметаллических руд и бактериального выщелачивания золото-содержащих концентратов.

В 1981–86 гг. Д.Х.Ким продолжил трудовую деятельность во ВНИИ-1 в г. Магадане, занимаясь разработкой и совершенствованием технологии обогащения золото-серебряных руд на Омсукчанской ЗИФ Дукацкого ГОКа, внедрением в практику обогащения новых процессов и реагентов. В 1986 г. был приглашен на должность главного обогатителя на Омсукчанскую ЗИФ, где проработал два года.

После возвращения в Москву Д.Х.Ким работал в ЦНИИцветмет экономики и информации в должностях старшего научного сотрудника, заведующего сектором прогнозирования развития цветной металлургии РФ.

В ЦНИГРИ в отдел обогащения минерального сырья Д.Х.Ким вернулся в 2005 г. Высококвалифицированный специалист, обладающий глубокими теоретическими знаниями и имеющий большой практический опыт — он в 2007 г. назначен на должность заведующего лабораторией геотехнологии руд цветных и благородных металлов.

Д.Х.Ким — автор более 80 публикаций, имеет 3 изобретения, активный член секции Ученого Совета ЦНИГРИ.

Д.Х.Ким уделяет большое внимание воспитанию молодых специалистов, пользуется уважением в коллективе.

Поздравляем Дмитрия Хаксуновича с юбилеем, желаем здоровья, счастья, благополучия, дальнейших творческих успехов.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

ДИСКУССИИ

УДК [553.982+553.2] (574)

© Г.Р.Бекжанов, В.Н.Любецкий, 2007

НОВОЕ В ТЕОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИКАСПИЙСКОГО СВЕРХГЛУБИННОГО ОСАДОЧНОГО БАСЕЙНА, ПРОЦЕССОВ ГАЗО-НЕФТЕОБРАЗОВАНИЯ И РУДОНОСНОСТИ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩ*

Г.Р.Бекжанов, В.Н.Любецкий (Академия минеральных ресурсов, Республика Казахстан)

В 2005 г. вышла в свет монография П.Ф.Иванкина, Н.И.Назаровой: «*Флюидно-метасоматические преобразования и рудоносность осадочных толщ Прикаспийского бассейна*» (М., 2005, 104 с., 30 ил.).

Направление исследований и суть достигнутых результатов определяются авторами следующей формулировкой: «...все важнейшие типы полезных ископаемых Прикаспийского бассейна и Предуральского прогиба своим возникновением обязаны процессам флюидно-метасоматического преобразования осадочных пород, поэтому в пространственном размещении полезных ископаемых устанавливаются временные и пространственно-структурные связи с солями и сопутствующими им метасоматически преобразованными осадочными породами» (с. 74).

Неожиданность появления этой работы, которую с большим основанием можно назвать революционной, заключена в том, что для геологов общего профиля, да и для большинства нефтяников Казахстана теория формирования осадочных бассейнов и накопление в них мощных эвапоритовых комплексов и газо-нефтепроявлений не представляли особых теоретических сложностей с позиций традиционного осадочного литогенеза.

Подтверждением этому являются доклады нефтяников многих стран по проблемам газо-нефтеносных бассейнов Прикаспийского региона на XXXII сессии МГК в г. Милане (Италия). Этим проблемам была посвящена сессия G-20.06 «Геоло-

гия регионов Каспийского и Аральского морей», включенная в программу симпозиума «Региональная геология» по инициативе казахстанских геологов. Сессия состоялась под председательством президента Академии минеральных ресурсов Республики Казахстан академика Бекжанова Гинаята Рахметуллича; издан том докладов в форме статей участников совещания [2]. Состоялся обмен мнениями по вопросам геологического строения и оценки перспектив региона, но каких-либо существенных разногласий по теории образования крупных осадочных бассейнов и газо-нефтегазообразования в этих бассейнах не было. Тем неожиданнее оказалось появление рецензируемой книги, спустя всего один год после конгресса.

Внешне парадоксальная ситуация объясняется просто: первый автор монографии Петр Филиппович Иванкин умер в 1998 г., а его соавтор по многим совместным работам Наталия Исааковна Назарова в течение нескольких лет дорабатывала книгу, а затем «пробивала» ее издание, преодолевая сопротивление идейных противников. На самом же деле новая теория авторов сформировалась еще до 2004 г.

Книга состоит из двух частей: часть 1. «Геологическая природа и основные особенности развития Прикаспийского бассейна»; часть 2. «Основные особенности эпигенетической минерализации солевмещающих толщ».

Основа всякой геологии, в том числе и бассейновой, зиждется на стратиграфическом расчлене-

*Статья перепечатана из журнала «Геология и охрана недр». 2006. № 4. С. 88–97.

нии слагающих бассейн отложений, поэтому состояние дел в этом принципиальном вопросе по Прикаспию авторы рассмотрели в числе первых. Суть их анализа кратко, но выразительно изложена в параграфе 1.3. «*Противоречия в сложившихся представлениях о литолого-стратиграфическом расчленении фанерозойского разреза бассейна и его причины*».

Авторы подчеркивают, что возможности изучения стратиграфического разреза прямыми геологическими методами крайне ограничены из-за нерасчлененности рельефа, закрытости структур, огромных размеров бассейна и локальности участков детального бурения. Стратиграфические и литолого-фациальные корреляции можно считать строгими лишь для отдельных частей разреза и на небольших разрозненных площадях. В региональном плане недостаток прямых геологических данных восполняется геофизическими увязками. На этом основана стратиграфическая схема осадочных толщ бассейна, которая во многом остается условной.

В качестве конкретных примеров спорных возрастных датировок приводятся красноцветы и соли, не содержащие фауны. Возраст первых условно принят позднепермским, вторых — кунгурским. Указанные условности влекут за собой и ошибочные представления об истории формирования и структуре бассейна. Авторы убедительно показывают, что соли и сопровождающие их ореолы красноцветов являются вторичными образованиями, что не всегда учитывается при традиционных подходах к стратификации слоистого заполнения бассейна с позиций осадочного галогенеза.

Подсолевой разрез впадины, мощность которого весьма велика, а степень вскрытия сверхглубокими скважинами мала, включает в себе еще большее количество проблем. Приемы расчленения подсолевого разреза геофизическими методами в бортах прогиба перестают работать на значительных глубинах в его центральных частях, что может быть связано с вторичной метасоматической проработкой карбонатных толщ. Возрастание карбонатной седиментации в центре бассейна в морской обстановке не улавливается сейсмическими методами, не распознающими метасоматически преобразованные карбонатные толщи. Происходит потеря сейсмической индивидуальности терригенных и карбонатных толщ по мере их погружения к центру впадины, поэтому для их распознавания необходимо, по мнению авторов, совершенствование методов геолого-геофизических исследований.

Авторы выступают также против концепции «подсолевой рифогенной формации». По их мнению, рельеф дна предкунгурского моря получается

сложнорасчлененным, поскольку в местах так называемых контрастных рифов перепады его на коротких расстояниях достигают 2 км. Такие разновозрастные «риффы» буквально пронизывают весь карбонатный разрез от верхнего девона до перми. Этот вывод согласуется с разрезом Прикаспийского бассейна, приведенным в работе [1], где максимальная мощность многих соляных куполов близка к 6–8 км. Подобные факты, по мнению авторов, не увязываются с представлениями о палеогеографической обстановке нормальной морской седиментации в огромном бассейне с унаследованным погружением дна и пологими равнинными берегами. С такой палеогеографией согласуется частое чередование известняков с глинистыми отложениями, несовместимое с рифами, которым мутные воды противопоставлены (с. 23).

Противоречат рифогенной концепции и факты вовлечения в столбообразные поднятия не только карбонатных, но и переслаивающихся терригенных толщ, сопряженных с ними соляных куполов и подушек. Поэтому, как заключают авторы, рифогенная концепция ошибочна и существующие представления о строении и составе палеозойского осадочного чехла Прикаспийской впадины нуждаются в коренном пересмотре.

Проблема генезиса ископаемых солей рассмотрена авторами в более ранней монографии [3]. Она сопряжена с процессами магнезиально-сульфидно-углеродистого метасоматоза, щелочно-кремниевой флюидизации и нефтегазонакопления. Эти процессы порождены глубинной дегазацией недр и окислительным преобразованием изначально восстановленных газовых флюидов при их взаимодействии с породами коры. В основу работы [3] положены два главных основополагающих вывода: 1) ископаемые соли, заключенные в осадочных толщах от протерозоя до кайнозоя, в главной своей массе имеют эндогенное происхождение; 2) реальность осадочного галогенеза, подобного тому, который происходит в Кара-Богаз-Голе и других соленых водных бассейнах, не подлежит сомнению, однако относительные количества древних осадочных солей всегда уступают солям, к которым применимы критерии эндогенности.

В обстоятельной главе: 1.4.1. «*Стратиграфическая позиция и морфология соляных залежей*», снабженной большим фактическим материалом, показано, что определенного стратиграфического уровня в осадочных толщах Прикаспия соли не занимают. Это обусловлено не столько явлениями диапиризма, сколько изменчивостью в пространстве геолого-структурных условий внедрения солей, рапы, палеотемпературных режимов, определяющих

гипсометрический уровень массовой раскристаллизации солей, условия экранирования флюидов и др.

Поскольку в разных частях огромного по площади бассейна конкретная обстановка солеобразования была различной, рассмотрены вначале наиболее общие закономерности размещения солей в стратиграфическом разрезе, а затем особенности их морфологии и взаимоотношений с подстилающими и перекрывающими породами.

Отмечена следующая морфоструктурная вертикальная зональность инъекционно-метасоматических соляных залежей. В глубинных зонах (свыше 5–8 км) соли образуют преимущественно крутопадающие дайковидные тела («соляные гряды»), рассекающие слоистый разрез в разных направлениях. В промежуточной зоне, на глубине 3–5 км, преобладают силлово-лакколитовые залежи. В самой верхней зоне (менее 2 км от поверхности) часто встречаются субсогласные силлы, которые при проникновении солей в чехол прилегающей платформы становятся господствующими. Значения глубин залегания солей разных морфологических типов не совпадают с глубинами их образования. Определения мощности солей достоверны лишь в случае их пластового залегания. В остальных случаях более уместно говорить о вертикальной протяженности соляных залежей.

Большое внимание уделено фактам замещения карбонатных разрезов солями. Наиболее полно этот процесс происходил в центральных частях бассейна, в меньшей мере — в его бортовых частях. Поэтому в сторону бортов отчетливо возрастают полнота и мощность так называемого подсолевого карбонатного разреза, а к центру бассейна — мощность солей. В большинстве разрезов наблюдается омоложение подсолевого ложа к бортам впадины. Загадочное морфологическое несоответствие подошвы и кровли карбонатов подсолевого ложа отражает несовпадение вторичного (инъекционно-метасоматического) контакта солей с подсолевым ложем и региональной стратиграфической границей между разнородными карбонатными и терригенными толщами в слоистом разрезе.

В итоге авторы монографии разделяют точку зрения тех исследователей, которые говорят о резко завышенных оценках количества солей в Прикаспии, следующих из представлений об их пластовых формах и больших мощностях.

В базовых теоретических разделах рассматриваются *метасоматические изменения осадочных пород, сопутствующие солеобразованию*, имеющие широкий размах и большую интенсивность. Изложение конкретных фактических материалов по Прикаспию совмещено с обсуждением нерешен-

ных проблем теории галогенеза и природы красноцветных и доломит-ангидритовых формаций. Охарактеризованы изменения вмещающих пород, завершающие процесс образования солей и проявляющиеся в надсолевых толщах, а также типовые преобразования пород подсолевого этажа, предшествующие и сопутствующие отложению эндогенных солей. Главная региональная геохимическая закономерность всего надсолевого этажа в Прикаспии — существование ореола ожелезненных некомпенсированных осадочных пород над залежами солей и вокруг них. Авторами обосновывается альтернативная концепция, согласно которой так называемая аридная красноцветная формация образуется при воздействии на обычные сероцветные осадочные породы остаточных кислотных рассолов, отщепляющихся при кристаллизации солей и приводящих к окислению и переотложению двухвалентного железа. Основное отличие красноцветов от сероцветов состоит в разных формах присутствующего в породах железа: закисного в виде пирита и хлорита в сероцветах и окисленного в форме гематита, лимонита, гидроксидов железа, железистых бобовин в красноцветах. Сложное чередование химически преобразованных (красноцветных) и непреобразованных реликтовых (сероцветных) частей разреза наблюдается по многим глубоким скважинам, что связано с распадением потоков остаточных рассолов на струи при их дальнейшей латеральной миграции.

Таким образом, метасоматически преобразованные красноцветные породы Прикаспийской впадины, имеющие разный возраст и исходный состав, составляют единый регионально проявленный, но весьма сложный по строению надсолевой геохимический ореол поздне триасового возраста. Не изученными остаются условия переноса и накопления разных металлов (свинца, цинка, меди, ртути) остаточными окисленными рассолами в пределах этого ореола.

Геохимически особый тип изменений пород, предшествующих и сопутствующих отложению солей, связан с воздействием на породы солевых флюидов повышенной восстановленности и температуры. Типичными вторичными минералами, возникающими при этом в породах, являются гидрослюда, кварц, углисто-графитовое вещество, ранние битумоиды, сульфиды, доломит, ангидрит и др. Сохранение солей с сульфидизированными черносланцевыми и доломит-ангидритовыми породами, развитыми на уровне соляных залежей и в нижележащих толщах, выявлено во многих регионах мира. Типично оно и для Прикаспийской впадины. Такие породы повсеместно встречаются в виде реликто-

вых пачек и прослоев в соляных залежах и особенно широко развиты ниже солей в терригенно-карбонатных толщах палеозоя. На разбуренных участках бортовых структур можно наблюдать разную степень замещения слоистых осадочных толщ солями. Это происходит на стадии преобразования существенно глинистых частей толщи в углеродистые сланцы, а карбонатных — в доломит-ангидритовые метасоматические породы. Выявленная последовательность образования слюдисто-углеродистых, сульфидных углеродисто-доломитовых, ангидритовых и других минеральных парагенезисов позволяет заключить, что предшествующее и сопутствующее отложению солей метасоматическое изменение пород было обусловлено воздействием на них парогазовых флюидов, постепенно сменяющихся с течением времени жидкими высококонцентрированными солевыми рассолами. Сам процесс метасоматического преобразования осадочных пород способствовал пресыщению флюида солями и, таким образом, являлся предпосылкой для последующего солеотложения. По этой причине между пространственным размещением солей и метасоматически преобразованными осадочными породами, в особенности карбонатными, существует определенная связь. На картах соленосных регионов эта связь выражается в латеральной зональности преобразованных осадочных толщ. Так, на палеогеографических картах для сакмарского, артинского и кунгурского веков можно видеть, что соли Прикаспийской впадины сменяются в сторону платформенных структур гипс-ангидритовыми породами с небольшим количеством доломитов, затем доломитами с гнездами и пропластками сульфатов и, наконец, на периферии — глинистыми органогенными известняками.

Далее следует обзор фактических данных, подчеркивающих эту метасоматическую зональность как в плане, так и в разрезах. Авторами изучен петрографический состав подсолевых пород по 17 глубоким скважинам, расположенным на месторождениях Тенгиз, Астраханское, в Каракульско-Смушковской зоне дислокаций, в пределах западной и северной частей впадины. Изучены доломиты и ангидриты по опорным разрезам Предуралья и других участков, проанализировано более 1000 шлифов подсолевых пород, отобранных на глубинах от 1045 до 6050 м.

Установлено, что все осадочные породы подсолевого разреза, независимо от возраста, состава и глубин залегания, подверглись регионально-метасоматическим изменениям разной интенсивности. Выделено три этапа преобразования пород: 1) сульфидно-углеродистое замещение с образованием

черных и темно-серых окремненных сланцев по терригенным породам и массивных темно-серых доломитов по карбонатным породам; 2) сульфатизация, засоление и порфиробластическое окварцевание с образованием комковато-крошковых, псевдопесчаниковых, псевдодоломитовых, пятнисто-гнездовых, вихревых и других микроструктур по терригенным породам и известнякам, испытавшим преобразование 1 этапа; 3) битуминизация и сопутствующие сульфидизация, окремнение, доломитизация терригенных и карбонатных пород, преобразованных на 1 и 2 этапах. Эти изменения происходят на фоне снижения температур от 300 до 150° С.

Авторами собран и приведен в монографии большой фактический материал по всем этапам преобразования исходных пород, иллюстрируемый многочисленными микрофотографиями шлифов и сопровождающийся полной характеристикой деталей процессов на каждом этапе. В итоге авторы пришли к заключению, что гигантские масштабы соленакопления и метасоматического преобразования пород обусловлены глубинными потоками флюидов, воздействовавшими на осадочное заполнение сверхглубокой впадины по всей его мощности, вплоть до верхней части триасовых отложений. Потоки эти при инфильтрации снизу вверх подвергались определенным направленным физико-химическим изменениям.

Применительно к сверхглубоким бассейнам, где господствовали процессы холодного флюидно-метасоматического преобразования литосферы, выявление вертикальной зональности метасоматоза представляет собой сложнейшую фундаментальную теоретико-методологическую задачу, решение которой может быть намечено только в самых общих чертах. Этому и посвящен раздел монографии 1.5. «*Вертикальная зональность флюидно-метасоматических процессов в осадочном бассейне*». В основу положена обобщенная схематическая модель строения земной коры Прикаспийской впадины, составленная авторами.

В первой снизу зоне (ниже гранитно-метаморфического слоя коры) преобладали сухие ювенильные метановые газы, включая летучие соединения щелочных и других металлов с водородом, серой, углеродом, галоидами.

Вторжение побочных потоков газов в гранитно-метаморфический фундамент и рифейско-нижнепалеозойские толщи сопровождалось начальным окислением флюидов и массовым водообразованием при снижении температуры до 500–400° С. Интенсивно протекали процессы щелочно-кремниевой флюидизации, гидролиз щелочно-кремниевых комплексных

соединений, последующий их распад с отложением в породах кварца, полевых шпатов, слюд, амфиболов. В специфических условиях Прикаспийской впадины подобные процессы не были похожи на ультраметаморфизм и гранитизацию в глубинных зонах складчатых поясов, а проявлялись в форме метасоматического замещения массивных пород.

Это главное «теоретическое ядро» всей концепции, доказывающей связь флюидизации с образованием щелочно-кремниевых комплексов типа $K_2O \cdot SiO_2$ алюмосиликатных химически устойчивых пород в «сухих» условиях, активности гидридов щелочей, метана и дефицита воды. С увеличением количества воды за счет окисления водорода и углеводородов возрастала ее химическая активность, возникали оксиды щелочей, происходил гидролиз щелочно-кремниевых комплексов, завершившийся переходом из твердого состояния в вязко-жидкую плотную фазу (растворимое жидкое стекло), затем последующий распад этих соединений с образованием в породах силикатных минералов и отщеплением солевой рапы. Приведены наиболее характерные реакции распада жидкого стекла, которые сопровождаются образованием рапы щелочно-хлоридного и хлоридно-сульфатного составов, что наиболее типично для Прикаспийского бассейна.

Развитие этих процессов в алюмосиликатных породах зоны II приводило к массовому возникновению новой подвижной флюидной фазы — солевой, существенно хлоридной и хлоридно-сульфатной рапы. Очагами ее генерации становились те части фундамента и налегающих слоистых толщ, которые подвергались наиболее интенсивному полевошпат-кварцевому и кварцевому замещению. При этом менялись петрографические свойства пород, возникали крупные блоки разуплотнения и уплотнения пород, субвертикальные зоны с аномально резким изменением скоростей сейсмических волн и отсутствием послонной анизотропии. Сейсмометрией такие разнопородные «столбы» прослеживаются в пределах глубин от 3–2 до 15–10 км. Они и служили каналами интенсивной флюидизации, по которым потоки солевой рапы поступали в вышележащие толщи.

Проникновение рапы на глубины 15–5 км, где распространены девон-карбоновые породы, сопровождается ее инфильтрацией, а также паров воды, хлоридов магния и других металлов, серной кислоты, сероводорода, метана, других подвижных веществ. При температуре 300–200° С эти газожидкие флюиды обладали большой химической активностью и поэтому взаимодействовали с относительно легкорастворимыми известняками и глини-

то-известковыми породами. Этим обусловлены региональные процессы доломитизации, ангидритизации, кавернозно-пористого выщелачивания карбонатных пород, а также сопутствующие им сульфидизация, рассеянная битуминизация и кремнеение. При снижении температуры из концентрированной рапы, содержащей 50–80% растворимых соединений Na, Ca, Mg, K и других элементов, происходило массовое отложение эндогенных солей.

Наиболее сильные изменения карбонатных пород III зоны происходили в пределах так называемых столбов. Пропитка их флюидами достигала 20–30%. Породы утрачивали слоистое сложение; их кавернозно-пористое растворение сопровождалось дезинтеграцией первичной структуры и превращением во флюидонасыщенные кашеобразные слои. По заключению авторов, процесс эволюции флюидной системы на уровне III зоны в подсолевом этаже сопровождается не только мощными метасоматическими преобразованиями осадочных пород, но и кардинальными нарушениями их петрофизических свойств, пластового строения и первичного залегания. «Только полной неизученностью этого феномена можно объяснить бытующую до последнего времени концепцию так называемых рифов, атоллов и различных других органогенных построек»... (с. 62).

Главным физико-химическим результатом эволюции флюидов на уровне III зоны являлось их беспредельное насыщение солями. С этим также связано массовое солеобразование при вторжении таких флюидов в вышележащие толщи. Снижение температуры рапы до 200–100°С, ее дегазация на этом уровне приводили к переходу рапы в состояние густого солевого флюид-расплава. Соли отложились здесь путем пропитки и метасоматического замещения вмещающих пород и путем заполнения кристаллизующейся солью инъекционных камер.

При послонных инъекциях флюидов и метасоматическом морфогенезе солей известняково-мергелистые пласты и прослои в первую очередь подвергались частичному растворению и замещению солями. С этим связано, в частности, возрастание мощности солевых пачек на месте прослоев карбонатных пород, резкое увеличение в таких участках количества ангидритов в солях и развитие сульфатгалитовых смесей на контактах солей с карбонатными породами.

Вследствие накопления воды, кислых газов (CO_2 , SO_4 и др.), вытесняемого кальция и других веществ во фронтальных частях инжецирующих потоков происходит заметная активизация процессов метасоматоза в надкупольных частях крутопадающих соляных залежей.

Обычная схема метасоматической надкупольной зональности при глубоком залегании куполов выражается сменой соляного ядра зоной соль-ангидрита, существенно кальцитовыми метасоматическими и другими ореолами.

Основной вывод авторов: красноцветы, соли, ангидрит-доломитовые и другие прогнозируемые на глубинах комплексы флюидно-метасоматических пород генетически взаимосвязаны и образуют закономерный вертикальный ряд в условиях флюидизации сверхглубокого осадочного бассейна, как разные фации метаморфизма и внутрикорового гранитоидного магмообразования в условиях флюидизации подвижных поясов. Поэтому петролого-геохимический подход (наряду с геотектоническим и другими) к изучению осадочного бассейна столь же необходим и правомерен, как и при изучении подвижных поясов. Более того, такой подход имеет решающее значение при исследовании закономерностей образования и размещения полезных ископаемых.

Отмечаются условия, при которых описанная идеальная модель зональности флюидно-метасоматических процессов может изменяться, поскольку соотношения красноцветов, солей, углеродистых доломитовых пород и доломит-ангидритовых метасоматитов определяются особенностями геологического строения и геодинамики бассейнов на этапе солеобразования. Приводятся примеры разнотипных бассейнов: Волго-Уральского, Припятского, Тимано-Печерского и др.

Особо отмечается своеобразие соотношений доломит-ангидритовых столбов и уступов (гряд) с углеродисто-битумоидными сланцами, слагающими между поднятиями «доманиковые ванны». Куполо- и столбообразные поднятия, гряды, сложенные нацело метасоматически преобразованными выщелоченными карбонатными породами кавернозно-кашеобразной структуры, всегда четко контролируются субвертикальными глубинными разломами, а субгоризонтальные и пологопадающие горизонты и пачки углеродисто-битумоидных сланцев — зонами полойных смятий более пластичных глин и мергелей, с чем связана нередкая многоярусность залегания доломитов.

Специальный раздел в работе посвящен методологии дальнейших региональных исследований Прикаспийского бассейна в свете изложенных достигнутых результатов. Поскольку основным средством изучения глубинного строения бассейна являются геофизические методы, то существенная часть раздела 1.6. «О специфике флюидодинамики и структурообразования в сверхглубоком осадочном бассейне и методологии дальнейших региональных его исследований» посвящена изложению новых

принципов анализа регионального сейсмического материала. Как всегда, в изложении сложных теоретических вопросов авторы предельно конкретны, и поэтому предлагаемые новые подходы они демонстрируют на примере геологической переинтерпретации сейсмического профиля «Волгоград – Челкар», выполненного в варианте скоростной модели разреза по этому профилю под руководством В.И.Шацилова [4].

На примере конкретного фактического материала, полученного еще в 80-х годах прошлого столетия и «пролежавшего» с тех пор без удовлетворительного геологического использования много лет, авторы шаг за шагом проследили особенности структуры разреза и увязали их с новыми представлениями по строению впадины.

Главные выводы этого раздела заключаются в том, что самой актуальной является задача кардинального совершенствования метода дальнейшего геолого-геофизического изучения впадины. В основу должна быть положена корреляция петрофизических свойств в разной мере флюидно-метасоматически преобразованных осадочных пород с их геофизическими характеристиками в структурах. Подмена этой задачи разными гипотетическими ображениями не помогает изучению глубинного строения впадины и не способствует созданию надежно обоснованных теоретических и методологических предпосылок для дальнейших нефтегазовых работ.

Во второй части монографии авторы заостряют внимание на многоступенчатости флюидизации и эпигенетической минерализации, сильно усложняющих охарактеризованные выше типовые вертикальные колонны поэтажной флюидизации. Контрастные поднятия в Прикаспийском бассейне происходили трижды: на границе палеозоя-мезозоя, в неогене и современные. Этим обусловлены многоступенчатость проявлений в бассейне глубинной дегазации, одновременность метасоматических процессов и восстановительного минерогенеза.

Процессы метасоматоза, сопутствующие солеобразованию, завуалировали более ранние изменения пород, которые местами были, несомненно, интенсивными. К ним относятся надвиговые дислокации в прибортовых структурах, зоны углеродистых (шунгитизированных) листоватых сланцев по аргиллитам, а также полосчатых ранних доломитов по известнякам. Минеральные парагенезисы сульфидов углерода и кремния в таких зонах образованы под воздействием относительно восстановленных парогазовых смесей, предшествовавших более поздним и более низкотемпературным солевым жидким флюидам.

Важной геохимической особенностью солеобразования является последовательное нарастающее окисление флюидов при их движении с глубин в приповерхностную зону. Индикатор геохимической эволюции этого этапа — переход газообразных гидридов серы (сероводорода и др.) на уровне III зоны в окисные формы — водные растворы сульфатов. Это связано с повсеместной ангидритизацией пород подсолевого ложа и массовой ангидрит-гипсовой минерализацией на уровне солеотложения и выше.

Парагенезисы с сульфатами других минералов, характеризующие окислительно-восстановительные режимы среды, свидетельствуют о медленном изменении этих режимов по вертикали и их флуктуации. В подсолевом ложе в парагенезисе с доломитами и ангидритами обильно кристаллизуются сульфиды железа (пирит), а в пустотах и микротрещинах выделяются битумоиды. Последний процесс в случае широкого проявления служит предпосылкой для более позднего нефтеобразования.

На этапе солеотложения битумоиды и сульфиды образовывались на уровне III зоны в соляных залежах и в особенности среди вмещающих соли пермо-триасовых пород. Но переменчивый окислительно-восстановительный режим солей не способствовал процессу битуминизации и сульфидизации.

Мезозойский (неогеновый) этап глубинной дегазации качественно отличался от рассмотренного выше, потому что воздействие восстановленных газов на ранее измененные породы происходило на умеренных и малых глубинах при невысоких (200–300° С) температурах. Важными при этом оказались умеренная окисленность пород на уровне подсолевого этажа и преобладающее их глубокое окисление и гидролиз в надсолевом.

В позднедевон-каменноугольных и пермских толщах подсолевого этажа петрографическими исследованиями повсеместно доказывается четкое наложение на ранние доломит-сульфатные и другие метасоматические породы более поздних минеральных парагенезисов, возникших при сравнительно низкотемпературной восстановительной флюидизации. К ним относятся гидрогенизация ранних выделений антракосолита-шунгита и твердых битумоидов с преобразованием их в микрокапельную и трещинно-шнурковую нефть, образование кремнисто-нефтебитумных микрошлаков и доломитов III генерации с включениями жидких нефтебитумов, образование самородной серы в микропрожилках нефтебитумов, пересекающих ангидрит-гипсовые агрегаты, и др. Такая последовательность процессов, приводящая к восстановлению некоторых химических элементов переменной валентности, типична для региона.

Восстановительная неогеновая флюидизация имела региональный характер и пронизывала весь палеозойско-мезозойский разрез, вплоть до уровня плиоцена. В подсолевом ложе она наиболее интенсивна в пределах столбообразных поднятий, как зонах высокой проницаемости. На уровне отложений солей и в надсолевом этаже проницаемость зон снижалась и приобретала неравномерно рассредоточенный характер. На этом уровне обнаружено наибольшее количество нефтегазопроявлений.

Наиболее поздний — четвертичный этап глубинной дегазации сопоставляется авторами с проявлениями современной инфильтрации газов, аномалиями пластового давления и геотермией. Показано, что многие современные тепловые, газовые аномалии сопровождают крупные столбообразные поднятия структур, вмещающих месторождения углеводородов. Вероятно, они связаны с современными подтоками глубинных флюидов.

Теоретические главы второй части книги венчаются разделом, имеющим важнейшее теоретическое и практическое значение: 2.3. «Типовые модели формирования месторождений углеводородов». Рассмотрены модели существенно различающихся между собой трех месторождений: Тенгиз, Карачаганак и Астраханское.

Авторы реализовали альтернативный подход к обоснованию моделей формирования нефтяных месторождений с позиций эндогенного науглероживания пород в столбообразных поднятиях и последующей трансформации углерода при повторных актах восстановительной флюидизации таких структур.

Месторождение Тенгиз приурочено к округлому поднятию подсолевых пород площадью 23,5×24 км на высоту около 1 км. В шлифах по керну скважин наблюдаются интенсивная преобразованность терригенно-карбонатных пород, их общая перекристаллизация и изменение минерального состава, грануляция, выщелачивание, доломитизация, кальцитизация, растрескивание и инъецирование кремнисто-битумного и кальцито-битумного вещества в трещины и пустоты. На микроскопическом уровне рассмотрены соотношения между твердыми битумами, жидкой нефтью и флюидно-метасоматическими преобразованиями пород. Исходные известняки, вмещающие нефтяную залежь, сравнительно равномерно пропитывались парогазовыми флюидами, без существенного изменения их плотности и пористости. Осадочные породы сохранили слоистое сложение.

Наблюдается не менее трех стадий замещения доломит-сульфатных пород с формированием поздних сульфидов III–IV генераций и нефтебитумов.

Оптимальный режим гидрогенизации ранних битумоидов с преобразованием их в микрокапельную нефть характеризуется начальным и умеренным окремнением с сопутствующими ему битумоидами. Установлена устойчиво повторяющаяся петроструктурная закономерность — теснейшая связь между временем и местом выделения дисперсного кремнезема и микрокапельной нефти. В пределах шлифа связь прослежена на расстоянии долей миллиметра и первых миллиметров, чем обусловлены размеры и морфология кремнисто-нефтебитумных гнезд-пятен, микропрожилков.

Ассоциация окремнения и нефтеносности — явление обычное и массовое. Однако лишь в условиях Тенгиза, где нефтеобразование происходило в карбонат-сульфатных метасоматитах, авторы впервые столкнулись со столь наглядными соотношениями кремнезема и нефтебитума, подтверждающими их генетическую связь.

Общей предпосылкой нефтеобразования послужило обильное отложение углерода в форме антракосолита, керита и других твердых битумоидов в метасоматически преобразованных породах при формировании локального сводового поднятия. При мезозойской (неогеновой) активизации тектонических структур и глубинных флюидодинамических процессов столбообразная структура поднятия служила каналом высокой сосредоточенной проницаемости. По ней потоки восстановленных газов инфильтрировали в битуминизированные трещиновато-кавернозно-пористые метасоматически преобразованные породы. В процессе гидрогенизации битумоидов под воздействием водород-углеводородных, сероводородных и других «сухих» газов принимали участие также и сланцы. Этим, возможно, обусловлены почти повсеместное окремнение нефтеносных пород и высокая степень гидрогенизации битумоидов с образованием преимущественно легких бензиновых нефтей.

Миграция нефти с накоплением ее под экраном углеродистых сланцев и солей имела локальный характер и осуществлялась в пределах столбообразной структуры снизу вверх, т.е. в направлении потока глубинных газов. Вертикальный размах зоны нефтеобразования определялся условиями битуминизации пород на ранних этапах. Привнос и отложение тяжелых металлов происходили, по-видимому, на всех стадиях науглероживания пород с последующей их перегруппировкой и накоплением в жидкой нефти на этапе гидрогенизации углерода.

Карачаганакское нефте-газоконденсатное месторождение также приурочено к локальному поднятию подсолевого комплекса высотой более 2 км.

Площадь несколько меньшая, чем поднятия месторождения Тенгиз.

На этапе солеобразования, когда возникло столбообразное поднятие преобразованных известняков, интенсивность их битуминизации была слабой. Заметное количество битумоидов сформировалось лишь на глубинах более 5 км. Это было обусловлено, видимо, неблагоприятными для битумообразования условиями эволюции флюида, например низкой температурой среды. Карачаганакская структура имела насыщенность битумоидами на порядок более низкую, чем Тенгизская структура. В итоге на мезозойском этапе восстановительной флюидизации процесс нефтеобразования был менее интенсивным и смещен от экранирующего свода на 1–1,5 км в область, где количество ранних битумоидов превышало 1–2%. Поступавшие с глубин мантийные газы, концентрируясь под экраном и взаимодействуя с рассеянными битумоидами, эволюционировали в газоконденсаты с малой долей жидкой фазы. И лишь на глубине появлялась нижняя нефтяная оторочка.

Принципиальное различие между моделями формирования Тенгизского нефтяного и Карачаганакского газоконденсатного месторождений, приуроченных к сопоставимым структурам, объясняется различным окислительно-восстановительным режимом флюидизации на ранних этапах их развития: интенсивной битуминизацией (от 1–2 до 18–20% битумоидов) пород Тенгиза и слабой (от 0,05–0,1 до 1–2%) пород Карачаганакского. Более поздние потоки восстановительных газов на Тенгизе расходовались в процессе гидрогенизации ранних битумоидов с преобразованием их в легкую нефть при попутном накоплении сероводорода. На Карачаганакском наложение таких газов на слабо битуминизированные породы приводило к образованию существенно газоконденсатной залежи.

Астраханское месторождение локализовано в субгоризонтальной зоне обширного и пологого сводового поднятия подсолевого ложа. На глубине 4,2 км латеральные размеры свода 100×200 км при амплитуде вертикального поднятия всего 200–300 м. Окружающие свод склоны платформы погружаются круто, что обусловило хорошие условия экранирования газов на очень большой площади при почти горизонтальном их залегании и скоплении. Под силлово-лакколитовой залежью соли, перекрывающей свод, располагается маломощная зона разлитованных сульфидно-углеродистых сланцев, содержащих проявления нефтебитумов.

На раннем этапе инверсии (в конце триаса–начале юры) поднятие «платформы» подсолевого карбонатного комплекса не сопровождалось пол-

ным разрушением и флюидно-метасоматическим преобразованием известняков, как это произошло в столбообразных структурах Тенгиза и Карачаганака. Слоистое сложение пород сохранилось, а степень их доломит-сульфатного замещения и битуминизации были невысокими. Поднятие платформы сопровождалось межпластовыми срывами, рассланцеванием, шунгитизацией перекрывающих ее глини-аргиллитов, преобразованных в доманикоподобные черные сланцы. На мезозой-кайнозойском этапе черные сланцы экранировали газовые потоки, а углистое вещество в них преобразовывалось в нефтебитумы. Проявления нефтебитумов в субгоризонтальной зоне черных сланцев сосредоточены по латерали на большие расстояния. Условий для их концентрации и перераспределения не было. Взаимодействие глубинных газов с рассеянными битумоидами в нижележащих карбонатных породах выражалось преимущественно в их превращении в более плотные газоконденсаты с сопутствующими сероводородом, углекислотой, гелием, ртутью.

Масштабы газонакопления здесь обусловлены огромными латеральными размерами сводовой структуры и весьма совершенными условиями ее экранирования. Прямая (Астраханское) и обратная (Карачаганак) вертикальные зональности в размещении нефтебитумов и газоконденсатов являются унаследованными. Они возникли при наложении потоков восстановительных газов на ранее минерализованные структуры, в разной мере обогащенные углеродистым веществом в нижних и верхних своих частях.

В заключение необходимо отметить, что нового в работе П.Ф.Иванкина и Н.И.Назаровой так много, что, несмотря на большой объем приведенного обзора, в нем лишь схематично «протрассирована» главная идея авторов, состоящая в том, что аномальный флюидный режим отдельного блока литосферы обусловил особый геодинамический режим его развития от позднего докембрия-кембрия до кайнозоя включительно, флюидизацию и особый метасоматоз вмещающих пород, соле- и нефтеобразование. Изложение в обзоре главной линии исследования должным образом не подкреплено представленным в монографии обильным фактическим материалом, неодолимой логикой анализа и синтеза в суждениях авторов, делающих неопровержимо доказательным каждое из выдвигаемых положений. Многие разделы исследования остались вне охвата: геохимия серы и формы ее накопления, поведение тяжелых металлов и типовые обстановки их накопления (в том числе железа, марганца, меди и др.); рудопроявления свинца, цинка,

ртути, благородных металлов; типы вещественной зональности при солеобразовании и многое другое. Приведенный обзор не раскрывает всех сторон оригинала, поэтому целесообразны полное изучение и анализ всей работы соответствующими специалистами.

В целом мы имеем дело с крупным фундаментальным исследованием, в основе которого лежит глубоко и последовательно разработанная во всех звеньях теоретическая база. Вместе с тем через модели газо-нефтеобразования крупнейших эталонных месторождений имеется широкий выход на решение большого круга прикладных и поисковых задач.

В числе особо важных новых теоретических разработок представляются следующие:

обоснование необходимости совершенствования метода сейсмических исследований глубоких частей прогиба для выявления индивидуальных сейсмических характеристик карбонатных толщ на глубинах 5–10 км;

вывод о тесной связи соле- и нефтеобразования с дезинтеграцией карбонатных толщ внедряющейся солевой рапой; отсюда следует, что объем ожидаемой нефти не всегда пропорционален объему карбонатной толщи на подсолевом уровне или, иными словами, учет объема карбонатной «платформы» ниже соли не является критерием для оценки перспектив структуры на углеводороды;

заключение о том, что центральную часть Прикаспийской впадины, где максимальными были флюидопотоки восстановительных газов, солеобразование, высока вероятность наличия подсолевых карбонатных толщ, нельзя исключать из состава высокоперспективных нефтяных земель;

вывод о локализации месторождений в высокопроницаемых для восстановительных флюидопотоков карбонатных и терригенно-карбонатных столбах существенно расширяет возможности дистанционных геофизических, геотермических, газовых, геохимических методов для поисков такого рода структур.

Прикаспийский осадочный бассейн щедро дарован Казахстану природой. От того, каковы потенциальные перспективы открытий в нем новых нефтегазовых месторождений, от правильности методов прогнозирования и оценок, зависит благополучие республики на многие годы вперед. Между тем именно в этих вопросах появились факты сбой традиционных методов прогнозирования, основанные на классической теории осадочного литогенеза. Поэтому, учитывая особую важность работ в самой многообещающей структуре — Прикаспийском сверхглубинном осадочном бассейне, геологи обязаны принимать во внимание всесторонние подхо-

ды к проблеме прогнозирования, поисков и оценки углеводородного сырья, включая и предложенные авторами монографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Быкадоров В.А., Волож Ю.А., Мазуров А.К и др.* Палеогеографические аспекты формирования палеозойских нефтегазоносных бассейнов Казахстана и смежных районов // Геология и охрана недр Казахстана. 2004. № 1. С. 4–11.
2. *Геология* регионов Каспийского и Аральского морей. – Алматы: Казахстанское геологическое общество «КазГЕО», 2004.
3. *Иванкин П.Ф., Назарова Н.И.* Глубинная флюидизация земной коры и ее роль в петрорудогенезе, соли- и нефтеобразовании. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
4. *Шацлов В.И., Горбунов П. Н., Фремд А.Г. и др.* Скоростные модели земной коры Казахстана. – Алматы, 1993.

ПАМЯТИ ВИКТОРА ЕВГЕНЬЕВИЧА МИНОРИНА
(21.09.1931 – 08.07.2007)

8 июля 2007 г. скончался **Виктор Евгеньевич Минорин** — ведущий научный сотрудник ЦНИГРИ, кандидат геолого-минералогических наук.

В 1956–1969 гг. после окончания Иркутского горно-металлургического института В.Е.Минорин работал в должности коллектора, а затем начальника тематической партии Амакинской и Ботуобинской геологоразведочных экспедиций. Занимался геологической съемкой, прогнозированием, поисками и разведкой коренных и россыпных месторождений алмазов. Участвовал в открытии россыпного месторождения алмазов и кимберлитов бассейна р. Молодо, разведке месторождений Удачное, Зарница, руч. Пиропового, оценке кимберлитовых тел россыпей Далдынского поля, рек Молодо, Моторгуна, Сюнгююде, составлении прогнозных карт на изученную территорию.

С 1970 г. В.Е.Минорин работал в Мирнинской лаборатории отдела алмазов в должности старшего, ведущего сотрудника и заведующего лабораторией. Основные направления деятельности — прогноз, поиски и разведка месторождений алмазов. С 1978 г. он — заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник отделов геологии алмазов и методики оценки и разведки месторождений ЦНИГРИ.

В.Е.Минорин — автор 30 научных трудов, шести монографий, в числе которых «Принципы и методика составления прогнозных карт на алмазы» (1978), «Россыпные месторождения России и других стран СНГ» (1997), «Оценка и разведка коренных и россыпных месторождений алмазов» (2000), «Прогнозно-поисковые модели алмазоносных россыпей России» (2003), «Геология, прогнозирование, методика поисков и разведки месторождений алмазов» (2004). В.Е.Минорин — первооткрыватель месторождения, лауреат Государственной премии СССР и премии имени Н.И. и М.Б.Бородаевских, Отличник разведки недр, награжден медалями «За доблестный труд», «Ветеран труда», «В память 850-летия Москвы».

Виктор Евгеньевич удачно сочетал в себе исключительную работоспособность, высокий профессионализм и замечательные качества доброго, вдумчивого человека. Мы потеряли не только прекрасного специалиста, но и хорошего друга, с которым бок о бок проработали несколько десятков лет.

Светлая память о Викторе Евгеньевиче Минорине навсегда останется в наших сердцах.



*Ученый совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

С.С.Долгушин, В.Л.Хомичев **Псевдоконгломераты: природа, диагностика, рудно-петрологическая значимость.** - Новосибирск: СНИИГГиМС, 2007. 91 с., 1 табл., 22 ил., библи. 82 назв.

В последние 30-40 лет появляется все больше данных о том, что далеко не все породы конгломератовидного облика, традиционно принимаемые за конгломераты, являются таковыми. К псевдоконгломератам относятся породы из трубок взрыва, галечных даек, эруптивные, эксплозивные, тектонические брекчии и др. К таким же образованиям принадлежат и широко известные золоторудные кварцевые «конгломераты» Витатерсранда. Диагностика конгломератов и псевдоконгломератов в силу конвергентности их главных признаков представляет нелегкую задачу. Однако практические следствия от возможных ошибок весьма значимо скажутся на направлении, методике поисковых работ и оценке перспектив рудных объектов. На этом авторы акцентируют внимание читателей в целях критического, взвешенного подхода при определении генезиса конгломератовидных пород.

© Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), 2007