

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ



Contents

Kiselev E.A.
 Congratulations on the Day of geologist 3

**ORGANIZATION, CONTROL, ECONOMICS,
 SUBSOIL USE**

Alexeyev V.M., Farrakhov E.G., Volfson I.F.
 A revenues of production workers from the enterprises
 of geological branch of industries 4

**METALLIFEROUS AND
 NONMETALLIFEROUS DEPOSITS**

Migachev I.F., Zvezdov V.S., Minina O.V.
 Scientific-methodological fundamentals of forecasting
 and prospecting of copper-porphyry deposits and pros-
 pects for their discovery in Russia 12

Akhmanov G.G., Egorova I.P., Bulatkina T.A.
 Barite deposits weathering – a promising source of high-
 quality raw material. 23

*Agibalov O.A., Ivanov N.M., Rindziunskaya N.M., Che-
 remisina E.A., Filippov V.P., Jablokova S.V., Shatilova L.V.*
 Gold-bearing crusts of weathering within the Kras-
 notur'insk metallogenic zone of the Urals (perspectives) 32

**LITHOLOGY, PETROLOGY,
 MINERALOGY, GEOCHEMISTRY**

Likhachev A.P.
 Possible causes and conditions of the close association
 of gold with sulphides and quartz 41

Milyaev S.A.
 Complex geochemical characteristics as justification
 for the prediction of the mineralization at depth (for
 example, fields of gold-sulfide-quartz and gold-silver
 formations)..... 53

Knyazev G.B.
 Petrochemistry metasomatic magnetite deposits 59

DISCUSSIONS

Tretiakova L.I., Lyukhin A.M.
 Impact-cosmic-metasomatic origin of microdiamonds
 from Kumdy-Kol deposit, North Kazakhstan 69

A LETTER TO THE EDITORIAL BOARD

Boyshenko A.F.
 Minerals and rocks in the Russian poetry and song
 lyrics of the 20th century..... 78

MEMORABLE DATES

90th anniversary of Lidiya Aleksandrovna Nikolaeva 82

Bessudnova Z.A.
 To the 105 anniversary from the date of a birth of
 Aleksandra Leonilovicha Janshina 83

ISSN 0869-7175. ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ. 2016. № 2.

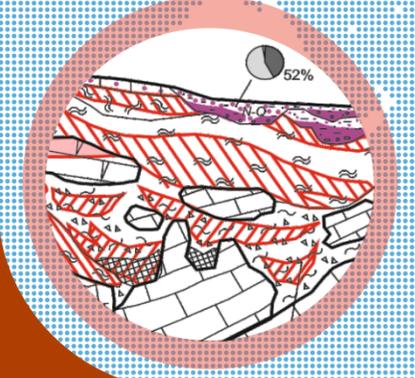


ОСНОВЫ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ
 МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

12

ЗОЛОТОНОСНЫЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ
 КРАСНОТУРЬИНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ
 ЗОНЫ УРАЛА

34



№ 2 / 2016

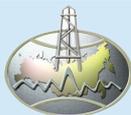
ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 2 / 2016

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор А.И.Иванов

А.А.Кременецкий, Г.А.Машковцев,
Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),
А.Ю.Розанов, Г.В.Ручкин (зам. главного
редактора), В.И.Старостин

Е.М.Аксенов, А.Н.Барышев,
А.И.Варламов, Ю.К.Голубев,
А.И.Жамойда, А.К.Корсаков,
В.С.Круподеров, Н.В.Межеловский,
И.Ф.Мигачев, Е.Г.Фаррахов

Бюро

Редсовет

Содержание

<i>Киселев Е.А.</i> Поздравление с Днем геолога	3	<i>Миляев С.А.</i> Комплекс геохимических признаков для обоснования прогноза оруденения на глубину (на примере месторождений золотосульфидно-кварцевой и золотосеребряной формаций)	53
ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ			
<i>Алексеев В.М., Фаррахов Е.Г., Вольфсон И.Ф.</i> Доходы работников предприятий геологической отрасли	4	<i>Князев Г.Б.</i> Петрохимия метасоматических магнетитовых залежей	59
РУДНЫЕ И НЕРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ		ДИСКУССИИ	
<i>Мигачёв И.Ф., Звездов В.С., Минина О.В.</i> Научно-методические основы прогноза и поисков медно-порфировых месторождений и перспективы их обнаружения на территории России	12	<i>Третьякова Л.И., Люхин А.М.</i> Импактно-космогенно-метасоматическое происхождение микроалмазов месторождения Кумды-Коль, Северный Казахстан	69
<i>Ахманов Г.Г., Егорова И.П., Булаткина Т.А.</i> Баритовые месторождения выветривания – перспективный источник высококачественного сырья	23	ИЗ РЕДАКЦИОННОЙ ПОЧТЫ	
<i>Агibalов О.А., Иванов Н.М., Риндзюнская Н.М., Черемисина Е.А., Филиппов В.П., Яблокова С.В., Шатилова Л.В.</i> Золотоносные коры выветривания Краснотурьинской металлогенической зоны Урала и перспективы их освоения	32	<i>Бойшенко А.Ф.</i> Минералы и горные породы в русской поэзии и песенной лирике XX века	78
ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ		ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ	
<i>Лихачев А.П.</i> Возможные причины и условия тесной ассоциации золота с сульфидами и кварцем	41	90-летие Лидии Александровны Николаевой	82
		<i>Безсуднова З.А.</i> К 105-летию Александра Леонидовича Яншина	83

Редакция: *Н.И.Назарова, Т.М.Папеско*
Компьютерная верстка *К.С.Щербакова*

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий

Подписано в печать

Адрес редакции: 117545 Москва, Варшавское шоссе, 129 корп. 1

Телефон: 315-28-47. Факс: 313-43-47. E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Сайт электронной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Типография ФГУП ЦНИГРИ



Уважаемые коллеги, работники геологической отрасли!

От всей души поздравляю вас с профессиональным праздником!

В этом году исполняется 50 лет с того дня, как 31 марта 1966 года Указом Президиума Верховного Совета СССР был учрежден профессиональный праздник – День геолога, как официальное признание государством той важнейшей роли, которую сыграла отечественная геология в обеспечении экономики страны минеральными ресурсами. Инициаторами обращения о создании праздника выступили советские геологи во главе с естествоиспытателем, геологом, академиком А.Л. Яншиным. Поводом стало открытие в 1966 году первых месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Самоотверженными усилиями многих поколений геологов были открыты и разведаны тысячи месторождений полезных ископаемых, которые стали надежной основой успешного развития экономики России. Но и сегодня геологи России успешно решают свою главную задачу – развитие минерально-сырьевой базы Российской Федерации. За последнее десятилетие открыты полтора десятка месторождений благородных и цветных металлов мирового класса, геологи-нефтяники существенно расширили перспективы нефтегазоносности Восточной Сибири и шельфа России. Значительные успехи достигнуты в отстаивании геополитических интересов страны. Комиссией ООН по континентальному шельфу принято решение о признании Охотского моря шельфовой зоной России, а в настоящее время рассматривается заявка Российской Федерации на установление внешних границ континентального шельфа в Северном Ледовитом океане.

В октябре 2016 года будет проведен VIII Всероссийский съезд геологов, который должен всесторонне рассмотреть и оценить современное состояние отечественной геологической науки и практики, структурное построение геологической службы страны, организационные, технико-технологические, управленческие, кадровые и другие проблемы, наметить пути их решения. Значительной частью повестки съезда станет обсуждение стратегии развития минерально-сырьевой базы. Решения съезда будут положены в основу развития отрасли на ближайшие годы, что определяет его значение и важность для каждого из нас.

В канун праздника хочу поздравить вас ещё раз с Днем геолога и искренне пожелать вам крепкого здоровья, счастья, благополучия, новых геологических открытий и успехов во всех делах на благо Родины!

Заместитель Министра
природных ресурсов и экологии РФ –
Руководитель Федерального агентства
по недропользованию

Е.А. Киселев

Доходы работников предприятий геологической отрасли

В.М.АЛЕКСЕЕВ, Е.Г.ФАРРАХОВ, И.Ф.ВОЛЬФСОН (Российское геологическое общество (РОСГЕО); 115191, г. Москва, 2-я Рощинская ул., д. 10, оф. 211)

Рассмотрены вопросы оплаты труда и формирования доходов работников предприятий геологической отрасли. Осуществлен анализ среднемесячной заработной платы работников по данным 64 геологических и добычных предприятий различных форм собственности и видов деятельности в межотраслевом и региональном разрезе.

Ключевые слова: геологическая отрасль, геологоразведка, наука, добыча, оплата труда, среднемесячная заработная плата, полевое довольствие.

Алексеев Виктор Михайлович
Фаррахов Евгений Гатович
Вольфсон Иосиф Файтелевич



rosgeo@yandex.ru
rosgeo@yandex.ru
rosgeo@yandex.ru

A revenues of production workers from the enterprises of geological branch of industries

V.M.ALEXEYEV, E.G.FARRAKHOV, I.F.VOLFSO

Some issues are considered of the labor payment and revenues formation of production workers from the enterprises of geological branch of industries. Case study is performed on the analysis of average monthly wage rate of production workers from 64 enterprises of geological branch of industries and subsurface use of different forms of ownership as well as sorts of activities in inter-sectoral and regional perspective.

Key words: geological branch of industries, geological prospecting works, Earth sciences, mining operations, salary, average monthly wage rate, field provisions.

Формирование рыночного хозяйственного механизма в экономике коренным образом изменило правовые основы трудовых отношений, центральное место в которых занимают вопросы оплаты труда. С признанием многообразия форм собственности исключается возможность всеобъемлющего централизованного регулирования заработной платы, а роль государства во внебюджетном секторе экономики ограничивается в основном реализацией социальной функции, а именно гарантированием минимальных размеров оплаты труда работникам по найму. Конкретные же условия труда и его оплаты определяются на предприятии самими участниками трудовых отношений – работодателем и работником по найму. При этом условия оплаты труда во многом зависят от эффективности деятельности предприятия и его позиционирования на рынках товаров (услуг) и труда.

Известно, что геологическая отрасль, хотя и предопределяет развитие минерально-сырьевой базы, являющейся потенциально значимым источником пополнения бюджета страны, имеет ограниченные финансовые ресурсы и коммерческие возможности, в том числе из-за отсутствия классической товарной продукции, которая может быть эффективно реализована на широком рынке товаров (услуг).

Спецификой финансово-экономической деятельности многих геологических предприятий, занятых геологическим изучением недр, является их зависимость от государственного финансирования, которое в последние десятилетия характеризуется изменчивостью. Годы роста объемов чередуются с годами их спада. Заметим, что у геологических предприятий, работающих в горнодобывающем и топливно-энергетическом комплексах, являющихся конкурентами геологической отрасли на рынке труда, финансовых проблем, как правило, меньше. Они более конкурентоспособны в производстве и сбыте продукции, особенно в условиях возможности ее экспорта.

На предприятиях геологической отрасли как ранее, так и сейчас основной доход работников формируется за счет фонда заработной платы, размер которого по госзаказу определяется в сметной стоимости работ. Основные показатели для расчета установлены в справочниках сметных норм (СН) и норм основных расходов (СНОР) еще в 1990-е годы с последующими дополнениями и изменениями. При их подготовке много внимания уделялось совершенствованию механизмов снижения трудоемкости при определении сметной стоимости геологоразведочных работ за счет привлечения компьютерных технологий. Однако недостаточно про-

рабатывались вопросы повышения технической обоснованности отдельных элементов ценообразования, в том числе норм трудозатрат (нормы времени и выработки) и расходов на заработную плату. Хотя очевидно, что во многом регламенты нормативных трудовых и материальных затрат на геологоразведочные работы, заложенные в сметные нормы, требуют актуализации и уточнения, в том числе в связи с внедрением новых отечественных и зарубежных методик, технологий и техники, а также изменением цен на товары и услуги. Так, дифференциация тарифных ставок (окладов), заложенная в расчет сметной стоимости работ, не в полной мере обеспечивает нормальное соотношение меры труда и заработной платы работников. Это приводит к обесцениванию рабочей силы и ухудшению социально-экономических условий на производстве, в том числе снижению стимулирующей роли заработной платы и появлению проблем по воспроизводству рабочей силы, и, в конечном счете, отрицательно влияет на эффективность геологоразведочных работ. Сказанное можно отнести к проблемам геологических предприятий независимо от источников их финансирования и организационно-правовых форм, ибо, как правило, в большинстве случаев расчет цены по проектируемым геологическим объектам осуществляется с использованием ССН и СНОР.

В целях учета фактически сложившихся условий и уровня оплаты труда, а также повышения обоснованности стоимости рабочей силы при сметном ценообразовании, в том числе при определении стартовых цен при организации конкурсов (тендеров), альтернативно можно предложить использование предельных нормативов заработной платы. На взгляд авторов публикации они могут формироваться для типовых условий проведения геологоразведочных работ, обеспечивающих воспроизводство рабочей силы и конкурентоспособность геологических предприятий на рынке труда. При этом обобщенный показатель норматива заработной платы для стоимости работ или выручки может быть зафиксирован в отраслевом соглашении и коллективных договорах.

Финансовое положение предприятий геологической отрасли является основой для формирования доходов работников, а оценка финансово-экономических показателей их деятельности создает определенный фон для рассмотрения и объяснения существа развития основных ситуационных характеристик в сфере оплаты труда. Подобная оценка показателей, а также анализ заработной платы работников за 2014 г. осуществлены по данным 64-х предприятий. Из них 33 занимаются геологическим изучением недр (далее – геологоразведка), 16 – научно-исследовательскими, информационно-экс-

пертными, проектно-конструкторскими работами (далее – наука), объединенные по тексту под рубрикой «геология» и 15 – добывающие организации. Представительность выборки, обеспечивает достоверность результатов анализа и позволяет достаточно объективно охарактеризовать положение с заработной платой в предприятиях геологической отрасли.

В 2014 г. по организациям-респондентам в геологии общий объем геологоразведочных работ за счет всех источников финансирования (с учетом НДС) составил 33 352 673 тыс. руб. или 11,5% от общего объема финансирования ГРП (290,7 млрд. руб.). Среднесписочная численность работников задействованных для обследования составила по геологии 10 410 человек, добычи – 3978 человек.

Одним из универсальных показателей деятельности геологических предприятий является объем геологоразведочных работ, в том числе по госзаказу. За последние годы, когда рост объемов чередовался с их спадом, тенденции его изменения как в стоимостном, так и натуральном выражении по геологической отрасли представляли собой достаточно пеструю картину и по направленности, и по величине. Отрицательное влияние на финансово-экономическое положение предприятий геологической отрасли оказали вместе с тем кризисные явления, начавшиеся в 2008 г., усугубившиеся в последние годы из-за экономических санкций ряда стран в отношении России. При этом наблюдается уменьшение финансирования геологического изучения недр в 2015 г.

примерно на 20% по сравнению с 2014 г., а также его сокращение в 2016 г.

В целом сложившаяся финансово-экономическая ситуация не способствует благоприятному развитию социально-экономической и трудовой сфер предприятий геологической отрасли, на что указывают данные финансово-экономического характера предприятий-респондентов за 2014 г. (табл. 1). Крайнюю нестабильность финансово-экономических условий их работы убедительно иллюстрирует разброс показателей эффективности в деятельности предприятий геологии и добычи.

Особое внимание следует уделить показателю рентабельности предприятий геологической отрасли. При этом в табл. 1 диапазоны рентабельности по чистой прибыли приведены только по данным предприятий работающих с прибылью, а средние значения показателя рентабельности рассчитаны по всему кругу предприятий-респондентов.

По предприятиям-респондентам геологии средняя рентабельность составила достаточно низкую величину 0,9%, по геологоразведке ее значение отрицательное –0,13% и относительно нормальное по науке 2,8%. Это притом, что в предприятиях геологической отрасли при

На предприятиях геологической отрасли основной доход работников формируется за счет фонда заработной платы, размер которого по госзаказу определяется в сметной стоимости работ

1. Показатели эффективности деятельности предприятий геологической отрасли и добычи за 2014 г.

Показатели	Геология всего		Геологоразведка		Наука		Добыча	
	Среднее значение	Диапазон значений						
1. Выработка – производительность труда (отношение выручки к среднесписочной численности работников за год), тыс. руб.	2898	280–9202	3566	280–9202	2155	432–4530	1437	524–13 305
2. Себестоимость на 1 руб. продаж (отношение себестоимости продаж к выручке)	0,92	0,46–1,05	0,92	0,46–1,05	0,94	0,82–0,98	0,49	0,32–0,85
3. Рентабельность по чистой прибыли (отношение чистой прибыли к выручке * 100%)	0,9	0,011–54	–0,13	0,011–54	2,8	0,1–7,7	6,3	0,2–9,9
4. Фондоотдача (отношение выручки к среднегодовой стоимости основных фондов)	4,1	0,89–75	3,73	0,89–37	4,99	1,59–75	2,66	1,88–5,17
5. Фондовооруженность (отношение среднегодовой стоимости основных фондов к среднесписочной численности работников), тыс. руб.	705,3	17,5–2195	954,8	17,5–2195	428,0	33,8–1135	539,3	349–11 137

планировании производственно-хозяйственной деятельности величина рентабельности, которая принимается при составлении бюджетов доходов и расходов, ориентировочно составляет 5–7%. Из 33 предприятий геологоразведки убыточными являются 7 или 21,2% от их общего числа, а из 16 предприятий науки убыточных нет.

Смежными по отношению к геологическим организациям, привлекающим специалистов геологического профиля, являются добывающие предприятия, среди которых представлены и старательские артели. Показатели эффективности деятельности добычных предприятий отличаются от таковых в геологических организациях. Отражение финансовых результатов их работы, включая определение показателя выручки, связано с необходимостью реализации добытой продукции и соблюдения коммерческой тайны, что ограничивает предоставление ими экономической информации. В целом же среди предприятий, занимающихся добычей и представивших данные по выручке, убыточных не выявлено.

С учетом изложенного, можно сделать вывод, что в геологической отрасли отсутствует стабильность и сложились не очень благоприятные финансово-экономические условия для развития социально-трудовой сферы и роста доходов работников предприятий недропользования. Подобная ситуация характерна для пред-

приятий многих отраслей экономики России. Это указывает на необходимость уделять больше внимания социально-трудовой сфере на всех уровнях управления, в том числе путем организации соответствующего мониторинга ее состояния в целях отслеживания и предупреждения негативных явлений, а также разработки мер по их ликвидации.

Универсальным показателем уровня оплаты труда является среднемесячная заработная плата работников, размеры которой по предприятиям-респондентам и видам деятельности представлены в табл. 2.

Предваряя анализ средней заработной платы работников предприятий геологической отрасли, обратим внимание на колебание ее величины в течение года, что проявляется в значительном приросте оплаты труда за июнь и особенно декабрь месяцы. Это в основном обусловлено стимулирующими выплатами (премии, тринадцатая зарплата и др.), приходящимися, как правило, на конец отчетного календарного периода. Так, по данным ранее проведенных обследований установлено, что среднемесячная заработная плата в декабре отличалась от ее средней величины за год по выборке предприятий недропользования в 1,5 раза, в том числе по геологоразведке в 1,4 и науке в 1,7 раза. Кстати, аналогичная картина наблюдается практически повсе-

2. Среднемесячная заработная плата работников предприятий геологической отрасли (геологоразведка и наука) и добычи за 2014 г.

Вид деятельности	Среднемесячная заработная плата, руб.			
	Работники по отрасли в целом	Работники списочного состава	Работники основного вида деятельности	Молодые специалисты
Геология всего (геологоразведка и наука)	51 317	54 009	54 692	40 417
Геологоразведка	45 095	47 520	48 132	33 169
Наука	58 159	61 299	62 055	46 590
Добыча	42 427	42 608	28 095	24 181

местно на предприятиях других отраслей экономического профиля России, где среднемесячная заработная плата в декабре, как правило, выше ее величины за год в 1,3–1,4 раза.

Среднемесячная величина заработной платы за 2014 г. по предприятиям геологической отрасли в целом составила 51 317 руб. В геологоразведке среднемесячная заработная плата была 45 095 руб. Лидерами по абсолютным размерам среднемесячной заработной платы отмечены предприятия науки 58 159 руб., что на 29% больше, чем в геологоразведке. В аутсайдерах по этому показателю оказались добычные предприятия со средней заработной платой 42 427 руб.

Среднемесячная заработная плата списочного состава работников (без учета внешних совместителей и работников по договорам гражданско-правового характера) больше, чем у всего персонала предприятий геологической отрасли примерно на 5,2%, добычных – на 0,43%. За 2014 г. она составила соответственно: по геологической отрасли в целом 54 009 руб., геологоразведке 47 520 руб., науке 61 299 руб. и добыче 42 608 руб.

В геологической отрасли наиболее высокая среднемесячная заработная плата у работников основных видов деятельности, которая выше, чем у всего персонала предприятий более чем на 6,6%. В 2014 г. она составила соответственно: в геологии в целом 54 692 руб., геологоразведке 48 132 руб., науке 62 055 руб.

Дальнейший анализ посвящен средней месячной заработной плате списочного состава работников (далее – среднемесячная заработная плата).

Размер среднемесячной заработной платы молодых специалистов определяет стимулы привлечения и закрепления их на предприятиях. За 2014 г. она составила: по геологической отрасли в целом 40 417 руб., геологоразведке 33 169 руб., науке 46 590 руб., добыче 24 181 руб. Совершенно очевидно, что в материальном смысле для молодых специалистов геологического профиля наиболее привлекательной сферой приложения труда является наука, где среднемесячная заработная плата больше, чем в геологоразведке в 1,4 раза и добыче в 1,9 раза. При этом среднемесячная заработная

плата работников по предприятиям геологической отрасли больше, чем у молодых специалистов по геологии в целом на 27%, геологоразведке на 36%, науке на 24,8% и добыче на 75,5%.

Сопоставление среднемесячного уровня заработной платы по предприятиям недропользования и другим отраслям экономики России можно оценить позитивно для геологической отрасли. По данным Росстата среднемесячная начисленная заработная плата по экономике России в целом за 2014 г. составила 32 495 руб., что меньше как в целом по геологии, так и геологоразведке и науке. Так, среднемесячная заработная плата в 2014 г. на предприятиях геологии была выше общероссийской на 66,2%, в том числе по геологоразведке на 46,2%, науке на 88,6%, добыче на 31,1%. Сравнение среднемесячной заработной платы за 2014 г. по геологической отрасли и другим отраслям экономической деятельности в России, приведено в табл. 3.

В табл. 3 показатели по заработной плате ранжированы как по отраслям экономики, так и отдельным видам экономической деятельности, входящим в ту или иную отрасль. При этом надо иметь в виду, что показатели заработной платы по видам экономической деятельности формируют показатели по отдельным отраслям в целом. Из данных табл. 3 видно, что в 2014 г. в разрезе 32 видов экономической деятельности России по уровню среднемесячной начисленной заработной платы все работники предприятий геологической отрасли в целом и геологоразведки в частности потенциально занимали 5 и 6 места, работники организаций геологической науки 4 место и добычи (геология) 7 место. Отметим, что в течение последних десятилетий геологоразведчики по уровню заработной платы по сравнению с работниками иных отраслей и видов экономической деятельности России традиционно занимали высокие места, а при социализме, как правило, были в первой пятерке.

Приведенные выше данные иллюстрируют значительную дифференциацию среднемесячной заработной платы работников по видам экономической деятельности России от максимума при производстве кокса и нефтепродуктов 75 517 руб. и финансовой деятельности 68 565 руб.

3. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников по различным отраслям и видам экономической деятельности в России за 2014 г.

Наименование вида экономической деятельности	Размер заработной платы, руб.
Всего по экономике России	32 495
1. <i>Производство кокса и нефтепродуктов</i>	75 517
2. Финансовая деятельность	68 565
3. <i>Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых</i>	66 780
Геология – наука	61 299
4. Добыча полезных ископаемых	58 959
Геология – всего	54 009
Геологоразведка	47 520
5. <i>Добыча полезных ископаемых, кроме топливно-энергетических</i>	44 441
6. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование	42 659
Добыча – геология	42 608
7. Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	37 559
8. Рыболовство, рыбоводство	37 062
9. Транспорт и связь	37 011
10. <i>Химическое производство</i>	36 218
11. Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	34 808
12. <i>Производство транспортных средств и оборудования</i>	33 736
13. <i>Связь</i>	33 705
14. <i>Производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования</i>	32 779
15. <i>Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий</i>	30 437
16. <i>Производство машин и оборудования</i>	30 268
17. Обрабатывающие производства	29 511
18. Строительство	29 354
19. <i>Целлюлозно-бумажное производство; издательская и полиграфическая деятельность</i>	29 222
20. Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	27 876
21. <i>Производство прочих неметаллических минеральных продуктов</i>	27 335
22. Здравоохранение и предоставление социальных услуг	27 068
23. Образование	25 862
24. Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	25 601
25. <i>Производство пищевых продуктов, включая напитки и табак</i>	25 081
26. <i>Производство резиновых и пластмассовых изделий</i>	23 270
27. Гостиницы и рестораны	19 759
28. <i>Прочие производства</i>	19 711
29. <i>Обработка древесины и производство изделий из дерева</i>	18 628
30. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	17 724
31. <i>Производство кожи, изделий из кожи и производство обуви</i>	16 119
32. <i>Текстильное и швейное производство</i>	14 453

Примечание. Виды экономической деятельности выделены курсивом.

до минимума при производстве кожи, изделий из кожи и производстве обуви – 16 119 руб., а также текстильном и швейном производстве 14 453 руб., то есть разница в 5,2 раза. При этом сравнение экстремальных величин среднемесячной заработной платы работников за 2014 г. по геологической отрасли и видам экономической деятельности России показывает преимущество предприятий геологии в области минимальных значений показателя в 3,7 раза и отставание от его максимальной величины в 1,4 раза.

Формально, сопоставляя уровень заработной платы по геологической отрасли и другим видам экономической деятельности, можно констатировать достаточно высокую конкурентоспособность геологических предприятий на рынке труда в части привлечения рабочей силы. Однако следует учитывать специфику профессионального состава кадров и условий производства геологоразведочных работ, что, безусловно, ограничивает рынок рабочей силы и влияет на привлекательность труда в геологических предприятиях.

На фоне достаточно высоких мест по уровню заработной платы работников предприятий недропользования среди других отраслей экономики России, представляет интерес ситуация с заработной платой в смежных с геологией видах экономической деятельности, которые выступают на рынке труда конкурентами по привлечению работников. По кругу рассматриваемых видов экономической деятельности России к таковым можно отнести предприятия по добыче полезных ископаемых, из них по добыче топливно-энергетических и других полезных ископаемых. При этом по уровню среднемесячной заработной платы геологоразведку превосходят предприятия добычи полезных ископаемых в целом (включая топливно-энергетические и другие полезные ископаемые) в 1,24 раза и добыче топливно-энергетических в 1,4 раза. Вместе с тем, в геологоразведке среднемесячная заработная плата выше, чем на предприятиях добычи других полезных ископаемых (кроме топливно-энергетических) в 1,07 раза.

В настоящее время в сфере науки по линии Росстата среднемесячная заработная плата учитывается в совокупности у научных сотрудников в учреждениях образования, науки, здравоохранения, социального обслуживания и ее размер в 2014 г. составил 48 212 руб., то есть в геологической науке заработная плата работников выше в 1,27 раза.

Характеризуя размер среднемесячной заработной платы, отметим достаточно пеструю картину его распределения по предприятиям геологической отрасли, как по федеральным округам, так и по субъектам России. При этом в 2014 г. среднемесячная заработная плата работников по геологоразведке и науке была повсеместно выше ее средней величины по федеральным

округам. Однако, в 26 субъектах России, в которых расположены предприятия геологоразведки, охваченные обследованием, в 6 из них среднемесячная заработная плата работников была ниже ее среднего размера по субъекту. Только в одном субъекте из 9 с предприятиями-респондентами геологической науки среднемесячная заработная плата была выше, чем в геологических организациях науки.

По отдельным субъектам наблюдалось значительное колебание среднемесячной заработной платы, что вполне логично с учетом разницы социально-экономического развития регионов и установленных региональных надбавок к заработной плате (районные коэффициенты и северные надбавки). Так на предприятиях геологоразведки наименьшая среднемесячная заработная плата отмечена в Ставропольском крае 15,1 тыс. руб. и Курской области 15,4 тыс. руб., а наибольшая в Ханты-Мансийском АО – 103,9 тыс. руб. и Чукотском АО – 93,1 тыс. руб., то есть максимальная разница составила 6,9 раз. Минимальная среднемесячная заработная плата на предприятиях науки была в Воронежской области – 19,7 тыс. руб. и Чеченской республике – 29,2 тыс. руб., а максимальная в Красноярском крае (г. Норильск) – 166,7 тыс. руб., Московской области – 73,1 тыс. руб. и г. Москва – 70,5 тыс. руб., то есть разница почти в 8,5 раз.

Полученные данные о колебании средней заработной платы на предприятиях геологической отрасли показывают ее большой разброс по величине не только по субъектам России в целом, но и

по субъектам в пределах отдельных федеральных округов. Например, в пределах Центрального федерального округа на геологоразведочных предприятиях среднемесячная заработная плата работников колебалась от 15,4 тыс. руб. в Курской области до 48,3 тыс. руб. в Москве, разница в 3,1 раза. Аналогичное явление можно увидеть на предприятиях геологической науки, где среднемесячная заработная плата работников изменялась от 19,7 тыс. руб. по Воронежской области до 73,1 тыс. руб. по Московской области, то есть разница в 3,7 раза.

В целом предприятия геологической отрасли по размеру среднемесячной заработной платы в регионах занимали в 2014 г. удовлетворительные позиции. Вместе с тем, для объективности оценки уровня заработной платы работников геологической отрасли нужно учитывать разницу в среднемесячной заработной плате по отдельным предприятиям и величину прожиточного минимума, которая отличается по регионам России более чем в 2 раза. Влияет на этот показатель также межрегиональная дифференциация среднедушевых денежных доходов населения в наиболее «бедных» и «богатых» субъектах России. Правда, необходимо отметить, что среди предприятий недропользования встречаются та-

“
Финансовое положение предприятий
геологической отрасли – основа
для формирования доходов
работников

кие, в которых среднемесячная заработная плата работников меньше среднедушевого дохода в субъекте России вне зависимости от уровня социально-экономического развития региона.

Анализ среднемесячной заработной платы работников геологической отрасли дает общее представление об уровне их доходов, но очевидно, что какая-то часть персонала предприятий имеет заработную плату ниже ее средней величины и отдельных показателей оценки уровня жизни в данном регионе. На это, прежде всего, указывает значительный разброс тарифных ставок (должностных окладов), являющихся базовой частью заработной платы работников геологии, как в целом по отрасли, так и в отдельных предприятиях. Так, в 2014 г. отмеченные на предприятиях геологической отрасли минимальные и максимальные размеры тарифных ставок варьировали в геологоразведке от 2657 до 230 000 руб., то есть разница в 86 раз, а в науке от 5540 до 100 000 руб. с разницей в 18 раз. Несколько меньший разброс тарифных ставок работников наблюдался на предприятиях добычи от 3960 до 55 370 руб., разница в 14 раз.

Наряду с размерами заработной платы большое социальное значение для работников имеет вопрос о своевременности ее выплаты. В этом плане в 2014 г. в геологической отрасли ситуацию можно оценить как благополучную, так как ни одно из обследуемых предприятий геологоразведки и науки не указало на наличие просроченной задолженности по заработной плате, даже в случае наличия у них убытков по результатам производственно-финансовой деятельности. Скорее всего, в отдельных геологических предприятиях проблемы со своевременностью выплаты заработной платы возникали, но явно не носили массовый характер. Вместе с тем, учитывая нарастание кризисных явлений в экономике, можно предположить увеличение количества негативных явлений, связанных с заработной платой, в ближайшие годы.

Заработная плата работников предприятий недропользования является основным, но не единственным элементом, формирующим их доходы. Работники геологических предприятий дополнительно получают выплаты социального характера, включающие оплату путевок, проезда, обучения, материальную помощь и др. Правда, нужно констатировать, что выплаты социального характера для работников носят избирательный и эпизодический характер, а их общий размер на предприятиях в сравнении с фондом заработной платы составляет первые проценты. Так в 2014 г. по геологической отрасли в целом выплаты социального характера составили в сравнении с фондом начисленной заработной платы всего 1,26%, а

в геологоразведке 1,13% и науке 1,38%. В пересчете на одного работника списочного состава на год это соответственно составляет (в тыс. руб.): 8,6, 6,7 и 10,7. Кстати, на предприятиях добычи социальные выплаты меньше, чем в геологии и составляют в сравнении с фондом заработной платы всего 0,7% или 3,61 тыс. руб. на одного работника в год.

Помимо указанных выше денежных выплат, работники геологических предприятий при работе в полевых условиях получают полевое довольствие. Расходы по нему в 2014 г. в сравнении с фондом начисленной заработной платы составили в геологоразведке 3,1%, науке 0,93%. Причем во времена плановой экономики размер полевого довольствия определялся в процентах к должностному окладу или тарифной ставке работника в зависимости от района проведения геологоразведочных работ. Одновременно он ограничивался по абсолютной величине (не более размера суточных при командировках). В настоящее же время расходы по полевому довольствию полностью относятся на себестоимость работ, а порядок выплаты и размер полевого довольствия устанавливается предприятием самостоятельно в коллективном договоре, соглашении, локальном нормативном акте или трудовом договоре.

В связи с этим на предприятиях трансформировался экономический смысл полевого довольствия, как гарантированной компенсационной выплаты за работу в полевых условиях. Произошло неофициальное придание ему функции своеобразной доплаты.

Вместе с тем выплаты полевого довольствия не связаны с результатами труда работников, но позволяют обеспечить работнику дополнительный доход и в какой-то мере сократить расходы по налогам и страховым взносам. При достаточно большом размере полевого довольствия, выплачиваемого за каждый календарный день, работник дополнительно получает за месяц сумму, зачастую сопоставимую с его должностным окладом (тарифной ставкой), даже в случае невыполнения производственного задания, наличия простоя в работе или брака по вине работника. Так, в 2014 г. на предприятиях геологической отрасли средняя величина выплат работникам по полевому довольствию составляла 563 руб. в сутки, а колебалась она в диапазоне 150 до 1500 руб. Это означает, что работник может дополнительно к заработной плате получить за месяц доход от 4500 до 45 000 руб., который прямо не связан с эффективностью труда. И это притом, что среднемесячная заработная плата работников в геологоразведке составила в 2014 г. 47 520 руб., то есть работник может дополнительно получить доход в размере среднемесячного заработка.

“Выплаты социального характера для работников носят избирательный и эпизодический характер, а их общий размер на предприятиях в сравнении с фондом заработной платы составляет первые проценты”

В связи с изложенным, при определении размера выплат полевого довольствия работодателям необходимо ориентироваться не только на возмещение работникам материальных затрат за работу в полевых условиях, но и постараться не допустить снижения стимулирующей функции заработной платы.

В заключение следует сказать, что через организацию заработной платы достигается компромисс между интересами работника и работодателя, способствующий развитию отношений социального партнерства между двумя движущими силами рыночной экономики, элементы которого в геологической отрасли регламентируются в коллективных договорах и соглашениях. При этом работодатель должен понимать, что достижение выгоды предприятия невозможно без соблюдения интересов работника, поскольку, образно выражаясь, мало «захватить бастион», его надо удерживать, материально обеспечивая «защитников». Это в полной мере относится, как к руководителям предприятий, так и представителям Роснедра, выступающим в качестве работодателей при заключении коллективных договоров и отраслевого соглашения по организациям недропользования Российской Федерации.

В целом политика в области оплаты труда является составной частью управления предприятием. От оптимальной ее организации в значительной мере зависит эффективность геологоразведочного производства и

конкурентоспособность предприятий геологической отрасли, а также возможность создания условий для формирования достойных социально-экономических и материальных условий жизни трудящихся.

Для предупреждения и ликвидации негативных явлений в области оплаты труда, как минимум, необходимо повысить обоснованность определения трудовых затрат и стоимости живого труда при разработке проектно-сметной документации на объекты и отдельные виды геологических работ с учетом региональной дифференциации социально-экономических

Расходы по полевому довольствию полностью относятся на себестоимость работ, а порядок выплаты и размер полевого довольствия устанавливается предприятием самостоятельно в коллективном договоре, соглашении, локальном нормативном акте или трудовом договоре

условий. Обратит внимание работодателей и руководства профессиональных союзов на необходимость заключения коллективных договоров на предприятиях и фиксации в них основных параметров оплаты труда, включая минимальный размер заработной платы или тарифной ставки рабочего первого разряда, а также их увязки с величиной прожиточного минимума в регионе и порядка индексации с учетом инфляции. Одновременно необходимо развивать отраслевую систему мониторинга социально-трудовой сферы геологической отрасли, которая позволит на основе системного анализа происходящих в ней изменений осуществлять отраслевое регулирование и разработку мер по повышению эффективности использования трудовых ресурсов, стимулированию труда и социальной защите работников геологических предприятий.

Научно-методические основы прогноза и поисков медно-порфировых месторождений и перспективы их обнаружения на территории России

И.Ф.МИГАЧЁВ, В.С.ЗВЕЗДОВ, О.В.МИНИНА (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Описаны научно-методические основы прогноза и поисков медно-порфировых месторождений. С их использованием оценены перспективы потенциальных рудных районов и узлов, выделенных в пределах вулканоплутонических поясов России, для поисков объектов этого типа. С учетом инфраструктурного развития регионов, наличия в них горнорудного производства и возможностей ускоренного вовлечения медно-порфировых месторождений в эксплуатацию, сделан вывод о приоритетности проведения поисков на территории Урала и Приамурья, в меньшей степени Забайкалья и Тувы.

Ключевые слова: вулканоплутонические пояса, медно-порфировые системы и месторождения, прогноз, поиски.

Мигачёв Игорь Федорович
Звездов Вадим Станиславович
Минина Ольга Васильевна



metallogeny@tsnigri.ru

Scientific-methodological fundamentals of forecasting and prospecting of copper-porphyry deposits and prospects for their discovery in Russia

I.F.MIGACHEV, V.S.ZVEZDOV, O.V.MININA

The scientific and methodical bases of forecasting and prospecting of porphyry copper deposits are described. With their use assessed the prospects of potential ore districts and nodes, selected within the volcano-plutonic belts of Russia, to search for objects of this type. Given the infrastructural development of the regions of mining production and opportunities for accelerated leg involving copper porphyry deposits into operation, concluded that the priority of conducting searches in the territory of the Ural mountains and the Amur region, in the second turn – Zabaikalsky and Tuva regions.

Key words: volcanoplutonic belts, porphyry copper systems and deposits, ore districts and nodes, forecasting, prospecting.

Медно-порфировые месторождения являются основными мировыми продуцентами меди, молибдена и рения. Кроме того, они обеспечивают около 20% мировой добычи золота. Комплексные, объемные, высокотехнологичные медно-порфировые месторождения представляют собой надежные, долгосрочные, эффективные источники Cu, Mo, Au и Re. Интерес к таким объектам в мире постоянно растет, что подтверждается многочисленными открытиями и вводом в эксплуатацию месторождений в последние десятилетия.

В то же время в России, обладающей достаточно значительными перспективами на этот вид оруденения и наличием большого количества недооцененных и недоизученных проявлений, на Государственном балансе числится всего лишь 5 медно-порфировых месторождений – Томинское и Михеевское на Южном Урале, Песчанка на Чукотке, Аксугское в Туве, Малмыж в Приамурье. С учетом мирового опыта, медно-порфировые место-

рождения в Российской Федерации могут и должны рассматриваться в качестве основы медедобывающей промышленности на ближнюю и дальнюю перспективы, что определяет необходимость усиления геологоразведочных работ, которые должны осуществляться на основе научных разработок, позволяющих оптимизировать геологоразведочный процесс.

Созданные в ФГУП ЦНИГРИ под руководством А.И.Кривцова и апробированные на территории Российской Федерации и бывших республик СССР, научно-методические основы прогноза и поисков медно-порфировых месторождений учитывают современные достижения в изучении месторождений, закономерностей их размещения и геологических обстановок нахождения, теории рудообразования [1, 5, 9]. В основу разработки положены пространственно-временные связи оруденения с определенными геологическими формациями; определение палеотектонической позиции по-

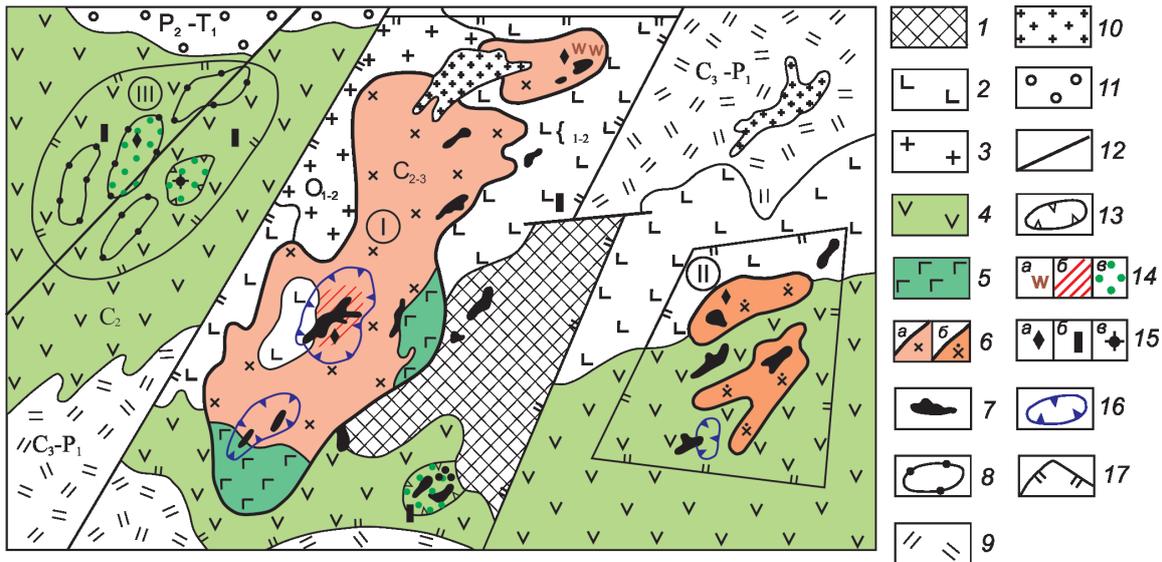


Рис. 1. Макет карты прогноза потенциальных рудных районов:

прогноз потенциальных медно-порфировых рудных районов в различных геоструктурных обстановках: I – в блоке длительного унаследованного развития в режиме поднятия с преобладанием плутонов продуктивной вулканоплутонической ассоциации и проявлениями минерализации разных уровней медно-порфировой системы (МПС), в том числе внутренней зоны с прогнозируемыми промышленными рудами; II – в относительно поднятом блоке фундамента с равноценным развитием вулканитов и плутонов продуктивной ВПА с признаками верхнерудного уровня МПС; III – в относительно опущенном блоке, сложенном вулканитами продуктивной ВПА, с признаками надрудного уровня МПС; 1–3 – комплексы субстрата и рамы андезитовидных ВПП: 1 – докембрийские кристаллические, 2 – фанерозойские вулканогенные базальтоидные и вулканогенно-терригенные, 3 – интрузивные; 4–10 – образования андезитовидных вулканоплутонических поясов: 4–8 – породы продуктивных вулканоплутонических ассоциаций: 4 – вулканогенные и 5–8 – плутоногенные рудоносные: 5 – ранние габброиды, 6 – гранитоидные фанеритовые интрузивы (а – диорит-гранодиоритовые, б – монцонитоидные), 7 – завершающие «порфировые» фазы и 8 – ареалы их предполагаемого развития; 9–11 – пострудные образования: 9 – вулканогенные, 10 – плутоногенные, 11 – осадочные; 12 – разрывные нарушения; 13 – вулканоструктуры; 14 – гидротермально-метасоматические изменения: а – калиево-кремниевые, б – кварц-серицит-хлоритовые, в – пропилитовые; 15 – проявления минерализации: а – молибденово-медной, б – полисульфидной (Cu, Pb, Zn), в – медно-мышьяковой; 16 – геохимические аномалии; 17 – границы потенциальных рудных районов

тенциально рудоносных ассоциаций; установление их составляющих, с которыми рудная минерализация обнаруживает наиболее тесные и постоянные связи в пространстве и времени. Подобный подход позволил сформировать геолого-поисковые модели рудно-металлогенических единиц разного ранга – провинций, зон, рудных районов, полей и поисковых участков (месторождений). Элементы моделей представляют собой поисковые критерии и признаки [2, 3, 6–8].

В качестве металлогенических медно-порфировых провинций рассматриваются вулканоплутонические пояса (ВПП) двух типов: базальтоидные (БВПП), формирующиеся в барьерных зонах островных дуг в завершающие стадии развития последних, и андезитовидные (АВПП) – окраинно- и внутриконтинентальные, образующиеся в орогенно-активизационном режиме на субстрате различного состава и времени возникновения. ВПП занимают определенную позицию в рядах сопряженных геоструктурных элементов [1, 4, 10].

Металлогенические зоны эквивалентны площадям

развития продуктивных (металлоносных) на медно-порфировое оруденение вулканоплутонических ассоциаций (ВПА). В базальтоидных вулканоплутонических поясах такие ВПА обычно представлены базальт-андезитобазальтовой вулканогенной и габбро-диорит-кварцдиоритовой (плагиигранитовой) плутоногенной формациями. В андезитовидных вулканоплутонических поясах продуктивные ВПА возникают в начальные этапы его развития и, в зависимости от состава основания поясов, представлены (базальт)-андезит-диорит-гранодиоритовой, андезит-латит-диорит-монцонитовой, андезит-риолит-гранодиоритовой вулканоплутонической ассоциацией. Определяющим для прогноза является присутствие в ареалах развития ВПА проявлений Cu, Cu-Mo, Mo, Cu-As и Pb-Zn минерализации.

Рудные районы и узлы с медно-порфировым оруденением отвечают ареалам распространения интрузивных составляющих продуктивных ВПА, включая поля развития порфировых тел, и обычно представляют собой плутоногенные поднятия в структурах ВПП (рис. 1).

При благоприятном положении эрозионного среза рудные районы соответствуют отдельным крупным многофазным или полихронным плутонам, группам плутонов или порфировым фаз. В качестве обязательного элемента выступают проявления Cu, Cu-Mo, Mo, Cu-As, Pb-Zn- и Fe-Cu-скарновой, Cu-турмалиновой и Pb-Zn-Au-Ag минерализации, обнаруживающие пространственно-временные связи с продуктивными магматитами. В пределах рудных районов может быть обнаружено несколько разобщенных или сближенных в пространстве медно-порфировых рудно-магматических систем.

Рудное поле эквивалентно медно-порфировой рудно-магматической системе (РМС), центром которой служат порфировые интрузивы. На рисунках 2 и 3 отражены основные элементы строения РМС и их взаиморасположение. При этом во внешних (фланговых) зонах РМС может проявляться жильная полиметалльно-сульфидная, Pb-Zn и скарновая Pb-Zn с Au и Ag, медная и полиметалльно-железная минерализация, а в верхних (надрудных) – эпитермальная жильно-прожилковая и страгоидная Au-Ag, Cu-As, As-Sb-Hg и самородная серная в интенсивно аргиллизированных вулканогенных породах. Степень перспективности РМС определяется положением эрозионного среза. Наибольший интерес представляют рудно-магматические системы, уровень эрозии которых обеспечивает не только выведение на поверхность рудоносных частей, но и сохранность основного объема минерализации (см. рис. 2, варианты II и III) Промышленная минерализация концентрируется

во внутренних зонах РМС. Такие зоны или рудовещающее пространство выделяются в качестве поисковых участков или потенциальных месторождений (см. рисунки 2 и 4). В одной и той же рудно-магматической системе возможно нахождение нескольких медно-порфировых месторождений, которые, как правило, приурочены к отдельным «порфировым» интрузивам, представляющим собой выступы единого на глубине плутона (см. рис. 4). Несмотря на различие геологических обстановок нахождения медно-порфировых месторождений, существо главных поисковых критериев и признаков – элементов РМС – при этом не меняется. Необходимо отметить, что медно-порфировые месторождения, как правило, не испытали последующих складчатости и метаморфизма, что предопределяет соответствие наблюдаемых условий их локализации первоначальному залеганию рудных тел, порфировых интрузивов и рудно-метасоматических зон.

Разработанные научно-методические основы прогноза и поисков позволили сформировать оптимальные, эффективные технологии проведения геологоразведочных работ на меднопорфировые руды – так называемые прогнозно-поисковые комплексы, включающие оптимальный (необходимый и достаточный) набор методов для выявления элементов прогнозно-поисковых моделей – критериев и признаков разноранговых рудно-металлогенических категорий [13, 14].

Эти основы позволяют оценить перспективы территории России на обнаружение медно-порфировых

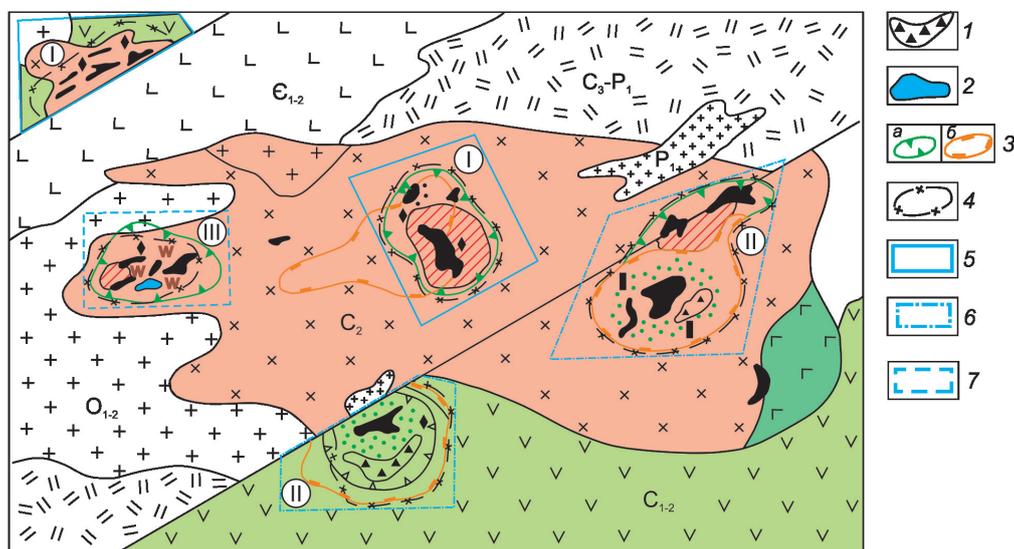


Рис. 2. Макет карты прогноза потенциальных рудных полей с медно-порфировым оруденением:

потенциальные рудные поля с признаками разного уровня эрозионного среза МПС, ранжированные по степени перспективности выявления медно-порфировых месторождений: I – перспективные (с малым и умеренным срезом на уровне внутренней зоны), II – с неясными перспективами (с надрудным срезом), III – малоперспективные (с глубоким срезом на подрудном уровне); 1 – эруптивные брекчи; 2 – «кварцевые ядра» и «пегматоидные» тела; 3 – геохимические аномалии: а – Cu и Mo, б – комплексные Cu, Pb, Zn, As, Au, Ag; 4 – аномалии вызванной поляризации; 5–7 – границы потенциальных рудных полей: 5 – перспективных, 6 – с неясными перспективами, 7 – малоперспективных; остальные услов. обозн. см. на рис. 1

месторождений, в том числе крупных, как достаточно высокие. В первую очередь они связаны с изучением перспективных и потенциально перспективных провинций и металлогенических зон (рис. 5, таблица), а также выделенных в их пределах рудных районов, узлов и проявлений. При этом, с учетом инфраструктурного разви-

тия тех или иных регионов, наличия в них горнорудного производства и возможностей ускоренного вовлечения медно-порфировых объектов в эксплуатацию, в качестве приоритетных для их поисков и оценки могут рассматриваться территории Урала и Приамурья, в меньшей степени Забайкалья и Тувы [11].

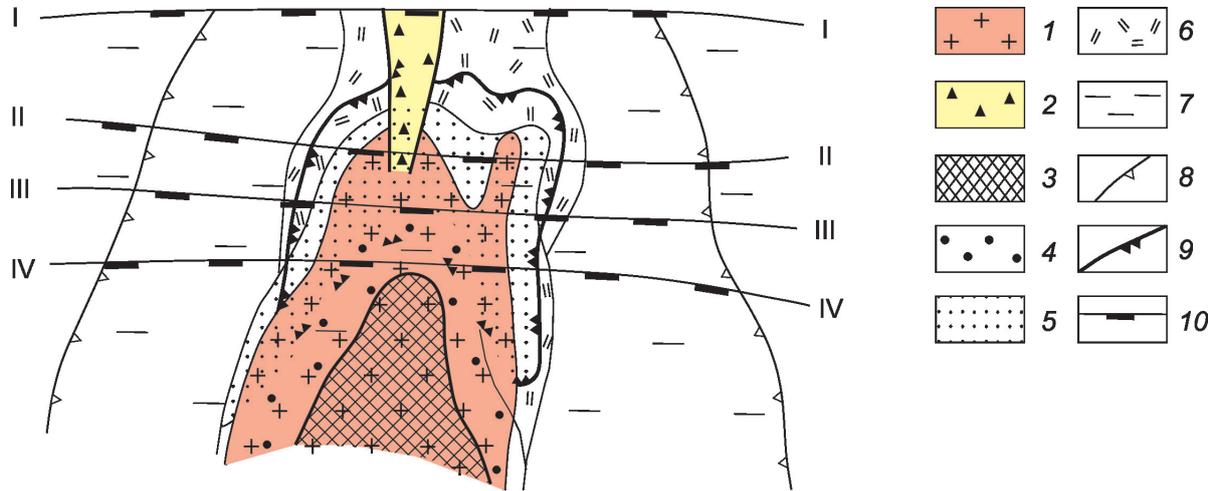


Рис. 3. Модель медно-порфировой рудно-магматической системы:

1 – рудоносный порфировый интрузив; 2 – брекчиевая трубка; 3–7 – зоны гидротермально-метасоматических изменений: 3 – «кварцевое ядро», 4 – кварц-биотит-калишпатовая, 5 – кварц-серицитовая (филлизитовая), 6 – аргиллизитовая, 7 – пропилитовая; 8 – граница «пиритового ореола»; 9 – контур промышленных руд; 10 – варианты положения эрозионного среза: I – надрудный, II – верхнерудный, III – внутрирудный, IV – подрудный

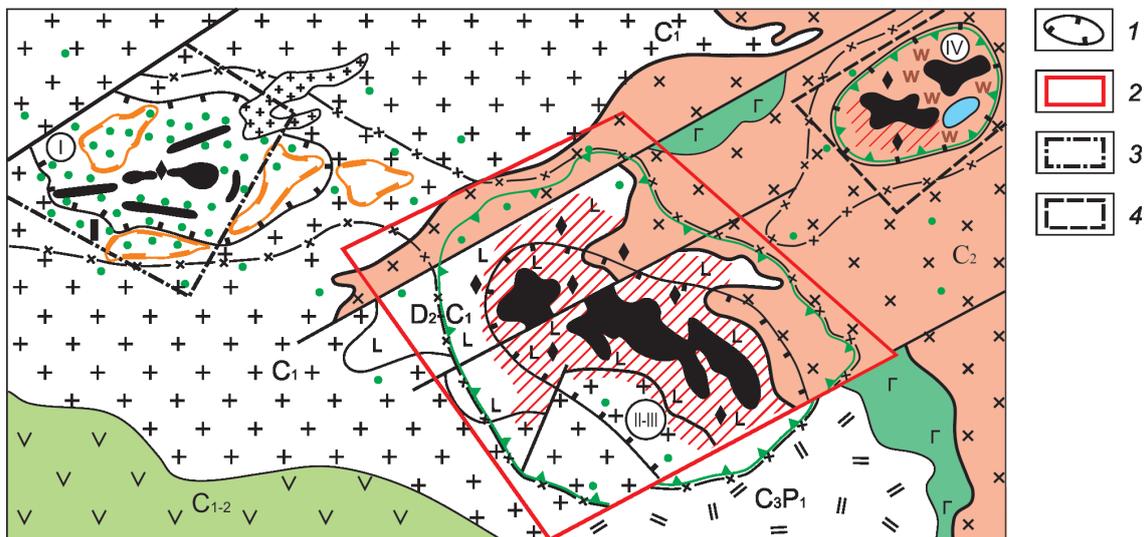


Рис. 4. Макет карты прогноза поисковых участков с медно-порфировым оруденением:

поисковые участки, ранжированные по степени перспективности с учетом уровня эрозионного среза МПС: I – с неясной перспективностью (надрудный), II–III – перспективные со вскрытием внутренней зоны МПС с промышленными рудами (верхнерудный и внутрирудный), IV – не перспективные (подрудный); 1 – аномалии магнитного поля; 2–4 – границы поисковых участков: 2 – перспективных, 3 – с неясной перспективностью, 4 – не перспективных; остальные услов. обозн. см. на рисунках 1 и 2

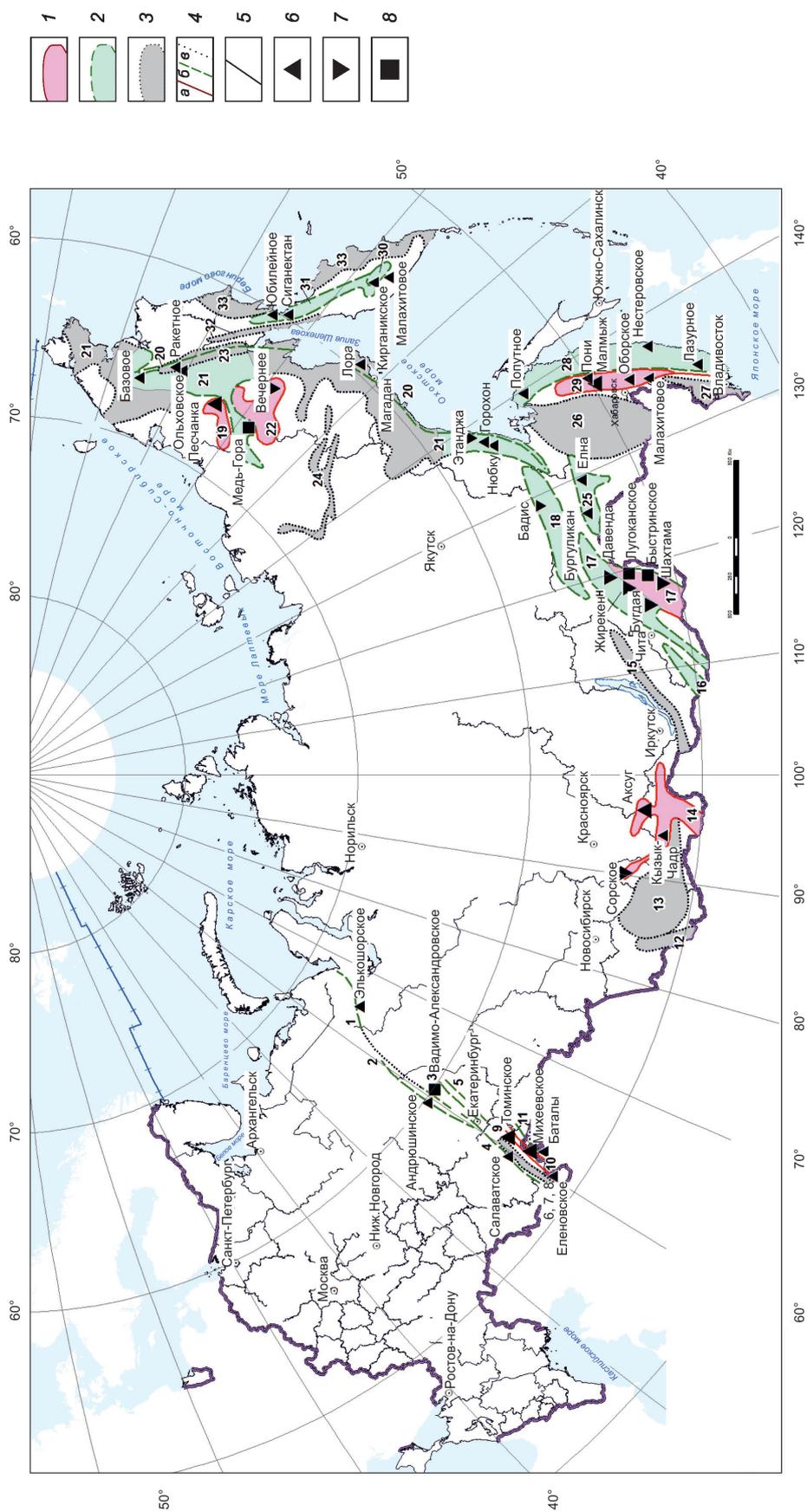


Рис. 5. Вулканоплутонические пояса Российской Федерации, ранжированные по перспективности на обнаружение медно-порфировых месторождений:

1–3 – вулканоплутонические пояса: 1 – перспективные (Новониколаевско-Карамысовский), 14 – Саяно-Тувинский, 17 – Забайкальский, 19 – Курьинский, 22 – Кедровский, 29 – Западно-Сихотэ-Алинский); 2 – потенциально перспективные (1 – Ауэрбаховско-Новогодненский, 2 – Именновский, 3 – Новоалексеевский, 4 – Ирендынский, 5 – Алтынайский, 11 – Валерьяновский (на территории РФ), 16 – Чикой-Хилокское эвено Орхон-Селенгинское, 18 – Становой, 20 – Удско-Мургалский, 21 – Охотско-Чукотский (Пенжинско-Анадырская, Березовская и Удско-Джугдурская металлогенические зоны), 25 – Умлекано-Огоджинский, 28 – Восточно-Сихотэ-Алинский, 30 – Ирунейско-Киргалинский, 31 – Корякско-Центрально-Камчатский); 3 – с неясными перспективами и неперспективные (6 – Гумбайский, 7 – Верхнеуральский, 8 – Центрально-Магнитогорский, 12 – Талицко-Монголо-Алтайский, 13 – Минусинско-Тувинский, 15 – Джидино-Витимский, 21 – Охотско-Чукотский (центральные звенья, Чукотская фланговая зона), 23 – Оклано-Пенжинский, 24 – Уандино-Ясаченский, 26 – Хингано-Охотский, 27 – Ханкайский, 32 – Пенжинско-Западно-Камчатский, 33 – Олиторско-Восточно-Камчатский); 4 – немассштабное изображение ВПП: а – перспективные, б – потенциально перспективные, в – неперспективные, г – границы звеньев ВПП с различной перспективностью; 4 – немассштабное изображение ВПП: крупные проявления: б – медно-порфировые и молибден-порфировые, 7 – молибден-порфировые, 8 – медно-порфировые (скарновые-порфировые)

Металлогенические медно-порфирировые зоны, рудные районы и узлы в вулканоплутонических поясах России

1	2	3	4	5	6
Вулканоплутонический пояс и его номер на рис. 5	Продуктивные вулканоплутонические ассоциации	Продуктивные плутогенные формации	Металлогенические зоны	Рудные районы и узлы	Месторождения и проявления медно-порфирирового семейства
<i>Урал</i>					
1. Ауэрбаховско-Новгороденский, D ₁ -C ₁	Базальт-андезит-гранодиоритовая, S ₂ -D ₁₋₂	Габро-диорит-плагио-гранодиоритовая (тоналитовая), D ₁ (собский)	Войкарская (Малгоуральская)	Варчатинский, Элькоиорский	Маникужокское, Мокрый Лог, Осеннее
	Трахибазальт-гранит-андезит-монцитовая, D ₂₋₃	Монцитовит-гранитная (янаслорский), D ₃ -C ₁		Янаслорский	Янаслорское
		Монцо-габбро-диорит-монцитовая (конгорский), D ₂₋₃		Конгорский	Первая Рудная Горка Ай-Си-Fe-скарное
	Базальт-андезит-гранодиоритовая, D ₁₋₂	Габбро-диорит-гранодиоритовая, D ₂ (ауэрбаховский)	Красноуральско-Ивдельская	Ауэрбаховский	Вадимо-Александровское Си-скарное, Никитинское, Фроловское и др.
2. Именновский, S ₁₋₂	Базальт-андезит-базальт-диоритовая, S ₁₋₂	Габбро-диорит-плагиогранитовая, S ₁₋₂ (башеневский)	Западно-Тагильская	Валенторский и др.	Андришинское, Рудноболотское, Алексеевское
		Габбро-диорит-гранодиоритовая монцитовидная (северо-рудничный)		Второй Северный, Вознесенско-Покровский	Пельм-Чакурское, Нижнеушминское, Высотинское
3. Новоалексеевский, D ₁₋₂	Базальт-андезит-базальт-диоритовая, D ₁₋₂	Габбро-диорит-плагиогранитовая, D ₂ (некрасовский)	Западно-Магнитогорская	Гумешевский	Гумешевское Au-Cu-скарное
4. Ирельдский, D ₁₋₂	Базальт-андезит-базальт-диоритовая, D ₁₋₂	Габбро-диорит-плагиогранитовая, D ₁₋₂ (салаватский, курганский)	Прикамарско-Вознесенская	Вознесенский, Поляковский	Вознесенское, Донзурый, Поляковское и др.
			Западно-Магнитогорская	Южно-Ирельдский	Салаватское и др.
5. Алтынайский, D ₂		Габбро-диорит-плагиогранитовая (алтынайский, касаргинско-тептаргинский), D ₂	Сакмарская	Медногорский	Хабарнинское и др.
			Каменская, Алапаевско-Теченская		Южно-Гальяновское, Тептяргинское; Си-Fe-скар-новые Зырянкульское и др.
6. Гумбейский, D ₂₋₃	Андезит-базальт-риодацит-гранодиорит-гранитовая, D ₂₋₃	Габбродиорит-гранодиорит-гранитовая (краснинский), D ₃	Восточно-Магнитогорская (Гумбейская)	Домбаровский	Петропавловское, Малдыгусайское

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
<i>Забайкалье</i>					
15. Джидино-Витимский, D ₁₋₂	Гранит-граносиенитовая гранит-лейкогранитовая, D ₁₋₂ (дабанский, зазинский)	Гранит-граносиенитовая гранит-лейкогранитовая, D ₁₋₂ (дабанский, зазинский)	Верхнеджидинская Западно-Забайкальская		Мало-Ойногорское, Жарчинское, Харитоновское Мо-порфиры
16. Орхон-Селенгинский, P _{2-T1}	Базальт-андезит-монцитит-плагиогранитовая, P _{2-T1}	Диорит-монцитит-гранитовая (плагиогранитовая)	Северо-Хэнтэйская	Кударинско-Гутайский	Кударинское, Тамирское и др.
17. Забайкальский, J ₂₋₃ Пришилкинская ветвь	Андезит-риолит-диорит-гранодиоритовая, J ₂₋₃	Диорит-гранодиорит-гранитовая (амуджиканский, сретенский, шахтаминский), J ₂₋₃	Пришилкинская металлогеническая пояс	Тура-Илинский, Сычу-гурский Жирекенский, Могочинский Давенда-Ключевской, Дарасунский	Сычузурское Ау-Мо-порфиры Жирекен и Давенда Аи-Мо-Си-порфиры: Боровое, Усть-Кудечинское, Тала-туйское
Восточно-Забайкальская ветвь	Андезит-риолит-диорит-гранодиоритовая, J ₂₋₃	Диорит-гранодиорит-гранитовая (амуджиканский, сретенский, шахтаминский), J ₂₋₃	Ундино-Газимурская металлогеническая область Борщевочная	Сретенско-Карийский, Сретенский	Ниженалинское
18. Становой, J _{3-K1}	Андезит-диорит-гранодиоритовая, J _{3-K1}	Диорит-гранодиорит-гранитовая, J _{3-K1} (тындинско-бакаранский)	Газимурская	Шахтаминский, Шахтаминский, Бугдаинский, Курунзулайский	Ау-Мо-порфиры Шахтама, Бугдая, Курунзулай
	Андезит-диорит-гранодиоритовая, J _{3-K1}	Диорит-гранодиорит-гранитовая, J _{3-K1} (ироканский)	Северо-Становая	Газимуро-Заводский, Быстринский Красноярово-Золинский	Ау-Си(Fe) скарновое Быстринское
	Андезит-диорит-гранодиоритовая, J _{3-K1}	Диорит-гранодиорит-гранитовая, J _{3-K1} (ироканский)	Южно-Становая	Будомкано-Култуминский, Лугоканский, Култуминский	Аи-Си(Fe) скарновые, Лугоканское, Култуминское
	Андезит-дацит-гранодиорит-гранитовая, K ₁	Гранодиорит-гранитовая, K ₁ (ироканский)		Бадисский и др.	Мо-порфиры: Джалиндинское, Бадис, Охок, Выходное, Лебяное и др.
	Андезит-дацит-гранодиорит-гранитовая, K ₁	Гранодиорит-гранитовая, K ₁ (ироканский)		Верхнебрянтинский	Олонеро, Брянтинское, Бачан, Ожон и др.

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
Северо-Восток России					
19. Курьинский, J ₃ у	Андезит-базальт-андезит-диорит-плагиогранитовая, J ₃ -K ₁	Габбро-монцонитовая (екдэгкычский), J ₃ у	Ненкано-Баимская	Баимский	Песчанка, Находка и др.
20. Удско-Мургалский, J ₃ -K ₁	Андезит-базальт-андезит-диорит-плагиогранитовая, J ₃ -K ₁	Габбро-диорит-тоналит (гранодиорит)-плагиогранитовая (мургалский), K ₁	Хетанано-Кричалская	Иннахский	Камень Такмыка, Иннах
21. Охотско-Чукотский, K ₁₋₂	Базальт-андезит-диорит-гранодиоритовая, K ₁₋₂ (альб-сеноман)	Габбро-диорит-тоналит-гранодиоритовая, габбро-диорит-гранодиорит-гранитовая (джугджурской, охотский), K ₁₋₂	Кони-Тайтоноская	Кони-Пьягинский	Лора, Прямой, Викинг, Тальниковый
			Пекульнейско-Золотогорская	Танюерский	Базовое, Моренное
			Удско-Джугджурская	Алдома-Этанджинский	Горохан, Усмучанское, Верхнеудинское, Ньюку, Этанджа, Иннахское, Кивангера, Назаровское и др.
			Кетанда-Куйдусунская		Верхнеудинское, Моренное, Дарпирчан, Каньон, Выходное, Аулия и др.
		Габбро-диорит-гранодиорит-адамелитовая, K ₁₋₂	Южно-Буондинская	Омчикский, Верхне-Буондинский	Сосед, Грхаринное, Березовское
		Габбро-диорит-гранодиоритовая (охотский, тополеватский), K ₁₋₂	Вилигинская	Мосичанский, Ненкапский, Вархаламский	Дэдэнэрэкен, Октава, Перекапный
			Эвенско-Пареньская	Сумной, Мечивеемский и др.	Вай и др.
			Пенжинско-Анадырская	Цирковский	Цирковое, Штокверк
			Эргунейская	Эргунейский	Сульфидный, Пряжка и др.
	Андезит-гранодиоритовая, K ₁₋₂	Монцонитовая габбро-диорит-гранодиоритовая (каварьянский), K ₁₋₂	Кавральянская	Ольховский: Убенкинский, Серовский	Ольховское, Роковое, Ракетное, Пожарское, Веткинское
		Диорит-гранодиоритовая	Восточно-Чукотская	Чаплинский	Синеем, Гагачье
	Андезит-гранодиоритовая, K ₁₋₂	Габбро-диорит-гранодиоритовая (намыдьянский), K ₁₋₂	Березовская (Бургананская)	Бургананский, Омучанский	Медь-Гора – Аи-Си-скарновое, Утинное, Вахаровское
22. Келонский, D ₂₋	Субщелочная андезит-риолит-гранодиоритовая, D ₂₋₃	Диорит-гранодиорит-граносиенитовая (булунский), диорит-гранодиорит-гранитовая	Южно-Омолонская	Южно-Омолонский, Северо- и Южно-Авландинский, Ольдянский и др.	Таборное, Орлиное, Дубль-Южный, Мо-порфиры: Хрустальное, Вечернее

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
23. Оклано-Пенжинский, P_3-N_1	Андезит-диорит-плагиогранитовая P_3-N_1	Габро-диорит-тоналит-плагиогранитовая (ракетный), N_1	Пенжинско-Анадырская	Убиенкинский, Кондыревский, Ср.-Орловкинский	Ракетное
24. Уяндино-Ясачненский, J_3-K_1	Андезит-дацит-гранодиорит-гранитовая, J_3-K_1	Диорит-гранодиорит-гранитовая (немичанский, халчагайский), K_1	Омулевская Лыглыхтакская	Гайский	Невидимка
Приамурье и Сихотэ-Алинь					
25. Умлекано-Огоджинский, K_{1-2}	Андезит-монцограно-диоритовая, K_1	Габро-монцодиорит-монцогранодиоритовая (буриндинский), K_1	Октябрьская	Октябрьский: Елга-Адамхинский, Умлекано-Ясенский, Сохатинский	Елга, Порфириное, Меньшиковское
26. Хингано-Охотский, K_{1-2}	Андезит-диорит-гранодиоритовая (альб-сеноман)	Диорит-гранодиоритовая, K_1 (селитканский, анникский)	Гонжинская	Гонжинский: Верхнетыгдинский, Боргуликанский	Боргуликанское, Иканское, Арбинское
27. Ханкайский, P	Андезит-диорит-гранодиоритовая, P	Диорит-гранодиоритовая, P		Селитканский	Гором и Муникан Капрал
28. Восточно-Сихотэ-Алинский, K_2-N_1	Андезит-риолит-гранодиоритовая, K_2 Андезит-риолит-гранодиоритовая, P_1	Диорит-гранодиорит-гранитовая, K_2 Диорит-гранодиорит-гранитовая, P_1 (бекчулский, верхнеудоминский)	Нижнеамурская Окча-Уктурская, Самаргинская, Центральная	Нижнеамурский Окча-Уктурский, Самаргинский, Звездный, Максимовский, Соболинский	Тырское, Попутное Цокольное, Удомин, Сухой, Золотой, Верхнезолотой, Янтарный, Нестеровское, Лазурное и др.
29. Западно-Сихотэ-Алинский, K_2-P_1	Андезит-риодацит-гранодиоритовая, K_2-P_1	Диорит-гранодиорит-гранитовая, K_2	Нижнеамурская Дагдинская	Пильдо-Лимурский, Ямтульский Дагды-Сандинский Сидиминский	Малмыж, Пони, Кантасар и др. Ночное, Сухое, Оуми, Верхнеарсеньевское; Маноминское, Правобарахтинское, Левый Чуи, Малахитовое Оборское, Хвоцеево и др.
Камчатка					
30. Ирунейско-Кирганинский, K_2-P_1	Трахитбазальт-трахиандезит-шонкинитовая, K_2-P_1	Пироксенит-эссексит-шонкинитовая, K_2-P_1	Срединная	Хим-Кирганинский, Хим-Кирганинский Шарамский	Ау-Су: Кирганинское Позднее, Сухое, р. Хим

1	2	3	4	5	6
31. Корякско-Центрально-Камчатский, N	Андезит-диоритовая, N ₁	Габро-диорит-гранодиоритовая (лавкинский), N ₁	Срединная	Хим-Кирганинский Андрюановско-Крутогоровский Лунтосский	Лагерное, Лазурное и др. Малахитовое, Озерное, Квахонское и др. Кагисин
32. Пенжинско-Западно-Камчатский, P ₂ -N	Андезит-дацит-гранодиоритовая, P ₃ -N ₁	Диорит-гранодиорит-гранитовая, P ₁	Ганальская Центрально-Камчатская	Венявямский, Шаманкинский, Тымлатский Малетойваямский	Воеводское, Красногорское Сисанектан, Выпонецкая др.
33. Олоторско-Восточно-Камчатский, P ₃ -N	Андезит-диоритовая, P ₃ -N ₁	Диорит-гранодиоритовая, P ₃ -N ₁	Пенжинско-Корякская Олоторско-Восточно-Камчатская	Опукский Южно-Камчатский, Авачинско-Китхойский Кумрочский Белогорский	Юбилейное, Октябрьское Мильгинэй, Декуоль, Лаланкытан Кумроч

Примечание. Вулканоплутонические пояса, ранжированные по перспективности для поисков медно-порфириновых месторождений: перогептивные (красный шрифт), погенциально перспективные (зеленый), с неясными перспективами и неперспективные (черный); рудные районы (и узлы): с известными месторождениями и проявлениями (красный шрифт), с проявлениями и поисковыми признаками медно-порфириновых месторождений (зеленый); узлы и проявления медно-порфиринового семейства даны курсивным шрифтом

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кривцов А.И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфириновых месторождений. – М.: Недра, 1983.
2. *Кривцов А.И.* Прикладная металлогения. – М.: Недра, 1989.
3. *Кривцов А.И.* Моделирование рудных месторождений: основные направления // Геонауки в СССР. – М.: Недра, 1992. С. 249–273.
4. *Кривцов А.И., Мигачев И.Ф.* Металлогения андезитоидных вулканоплутонических поясов. – М.: ЦНИГРИ, 1997. Ч. 1.
5. *Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С.* Медно-порфириновые месторождения мира. – М.: Недра, 1986.
6. *Медно-порфириновые месторождения / А.И.Кривцов, В.С.Звездов, И.Ф.Мигачев, О.В.Минина// Серия: Модели месторождений цветных и благородных металлов. – М.: ЦНИГРИ, 2001.*
7. *Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов / А.И.Кривцов, И.Ф.Мигачев, А.Г.Волчков и др. // Выпуск «Медь». – М.: ЦНИГРИ, 2002.*
8. *Мигачев И.Ф.* Геолого-поисковые модели рудных полей и месторождений – основа крупномасштабного и локального прогноза медно-порфиринового оруденения // Труды ЦНИГРИ. 1986. Вып. 207. С. 15–20.
9. *Мигачев И.Ф.* Металлоносность рудно-магматических систем – прогнозы и их реализация // Базовые доклады научно-практической конференции «Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей – достижения и перспективы». Научно-практич. конф. – М.: ЦНИГРИ, 2006. С. 47–57.
10. *Мигачев И.Ф.* Палеотектоническая позиция краевых андезитоидных вулканоплутонических поясов // Металлогения современных и древних океанов. – М., 1992. С. 92–99.
11. *Мигачев И.Ф., Минина О.В., Звездов В.С.* Перспективы территории Российской Федерации на медно-порфириновые руды // Руды и металлы. 2015. №1. С. 74–92.
12. *Пространственные металлогенические таксоны. Справочное пособие / В.И. Ваганов, А.Г. Волчков, В.И.Кочнев-Первухов и др. // Серия: Модели месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. – М.: ЦНИГРИ, 2002.*
13. *Прогнозно-поисковые комплексы. Методические рекомендации по комплексированию работ по прогнозу и поискам медно-порфириновых месторождений. Вып. II. – М.: ЦНИГРИ, 1983.*
14. *Прогрессивные технологии оценки и разведки медно-порфириновых месторождений / А.И.Кривцов, Ю.А.Сергийко, Л.У.Кадырбеков и др.– Алма-Ата, 1987.*

Баритовые месторождения выветривания – перспективный источник высококачественного сырья

Г.Г.АХМАНОВ, И.П.ЕГОРОВА, Т.А.БУЛАТКИНА (ФГУП Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых «ЦНИИГеолнеруд»; 420097, РТ, г. Казань, ул. Зинина, д. 4)

Баритовые месторождения выветривания рассматриваются в качестве альтернативы жильным месторождениям – основным продуцентам высококачественного баритового сырья. Приводится описание типовых месторождений. Показана возможность получения из их руд концентратов высоких марок. Активизация работ по поиску и вовлечение в производство баритовых месторождений выветривания позволят решить существующую ныне проблему дефицита высококачественного сырья. В качестве перспективных для проведения геолого-разведочных работ рекомендованы территории Республик Башкортостан и Хакасия.

Ключевые слова: барит, выветривание, остаточный, россыпь, карст, высококачественный, концентрат.

Ахманов Георгий Григорьевич
Егорова Ирина Петровна
Булаткина Татьяна Анатольевна



root@geolnerud.net
irna65@yandex.ru
root@geolnerud.net

Barite deposits weathering – a promising source of high-quality raw material

G.G.AKHMANOV, I.P.EGOROVA, T.A.BULATKINA

Barite deposits weathering are considered as an alternative to vein deposits - the main producers of high-quality raw material barite. Provided the description of the types of deposits. The possibility of obtaining from ore concentrates of high marks. Revitalization of the work of search and involvement in the production of barite deposits weathering will solve the problem of the deficit currently existing high quality raw materials. As promising for exploration recommended territories of the Republic of Bashkortostan and Khakassia.

Key words: barite, weathering, residual, placer, karst, high-quality, concentrate.

Промышленностью разрабатываются месторождения барита, подразделяемые по генетическим признакам на: гидротермальные, гидротермально-осадочные и выветривания; по морфологии на: жильные, пластовые, россыпные.

Среди баритовых месторождений выветривания выделяются: остаточные и россыпные. Первые образуются при интенсивном воздействии химических процессов, вторые – в результате механического разрушения баритовых руд и баритсодержащих пород.

Остаточные месторождения формируются вследствие растворения и выноса приповерхностными водами вмещающей барит массы горных пород и концентрации в остатке самого барита. Для их образования необходимы: обстановка относительного тектонического покоя и благоприятный климат, сохраняющиеся на протяжении длительного времени и способствующие глубокому химическому преобразованию пород и формированию кор выветривания.

Формирование россыпных месторождений происхо-

дит при участии денудационных процессов в благоприятных тектоногеоморфологических и физико-географических условиях. Среди россыпных месторождений выделяются: элювиальные, делювиальные и карстовые россыпи.

Элювиальные россыпи представлены не перемещенными продуктами выветривания коренных источников. Они обычно образуют маломощные залежи над баритовыми телами, сложены дресвяно-щебенчато-глыбовым материалом коренных пород с примесью разного количества суглинка, супеси, песка. Барит заключен в обломках горных пород или в сростках с другими минералами.

Делювиальные россыпи образуются на склонах с преобладанием плоскостного смыва. В формировании их существенную роль играет сортировка обломочного материала в процессе перемещения его по склону. В условиях дифференцированного смещения делювия по склону происходит разделение обломков пород и мине-

ралов по вертикали с накоплением барита (как наиболее тяжелого) в нижней части делювия.

Карстовые россыпи локализованы в карстовых формах рельефа. В отличие от элювиальных россыпей они имеют пространственную и временную связь с корами выветривания и размыва подстилающих и вмещающих карбонатных пород. Легкая растворимость известняков, вмещающих месторождения, обуславливает накопление барита *in situ*. Тем самым по условиям образования карстовые россыпи приближаются к месторождениям остаточного типа.

Товарной продукцией, выпускаемой баритдобывающими предприятиями России, является баритовый концентрат классов А и Б. Концентрат класса А («небуровой» барит) используется в химической, лакокрасочной, электротехнической, резинотехнической и других отраслях промышленности, концентрат класса Б («буровой» барит) – в нефтегазодобывающей и геологоразведочной отраслях в качестве утяжелителя буровых растворов.

Отрасли, использующие «небуровой» барит, стабильно увеличивают его потребление. За последние 10 лет оно выросло в 2 раза, составив в 2014 г. ~115 тыс. т. Если темпы развития отраслей, потребляющих «небуровой» барит, сохранятся, то к 2025 г. потребности в «небуровом» барите (класс А) могут возрасти до 220 тыс. т. В настоящее время производство «небурового» барита не позволяет обеспечить существующее и тем более прогнозируемое его потребление. Дефицит покрывается импортом. В 2014 г. импортировано 93 тыс. т «небурового» барита на сумму 12,97 млн. \$ (ФТС РФ).

Как правило, «небуровой» барит получают при отработке месторождений жильного типа, для руд которых характерно высокое содержание сульфата бария, обуславливающее получение при обогащении концентрата высоких марок. Однако жильные месторождения характеризуются изменчивой морфологией рудных тел, в силу чего требуют сложных систем отработки. В Российской Федерации сырьевая база месторождений жильного типа отсутствует: нет ни разведанных, ни оцененных месторождений. В XX в. «небуровой» барит поставлялся предприятиями Хакасии и Грузии. Месторождения Хакасии были отработаны еще в 30-е годы, поставки из Грузии прекращены в 90-е.

В определенной мере проблему обеспечения промышленности «небуровым» баритом можно было бы решить путем освоения баритовых месторождений выветривания.

Месторождения этого типа в отдельных странах в определенные этапы играли значительную роль в баритдобывающей отрасли. Так до открытий в 70-е годы прошлого века в штатах Невада и Арканзас место-

рождений стратиформного типа, месторождения выветривания обеспечивали свыше 50% добычи барита в США. Они известны: в штатах Миссури, Джорджия и Теннесси; в России на Южном Урале: в Челябинской области (Медведевское), Республике Башкортостан (Бретьякское, Ирлинское и др.) и Республике Хакасия (Моховское, Таежное); в Казахстане (Хатын-Камальское и др.).

В США они рассматриваются как месторождения остаточного типа и представляют собой глинисто-охристый элювиально-делювиальный покров, в котором заключены многочисленные обломки барита. Последний обычно имеет белую окраску или покрыт пленкой темно-красных оксидов железа, встречается в виде разрозненных волокнистых и таблитчатых кристаллов или плотных тонкозернистых агрегатов размером от 2,5 до 15 см. Баритовые агрегаты иногда содержат вкрапленность галенита, сфалерита и пирита. Рудные залежи в плане имеют формы от округлой до вытянутой, лентовидной и мощности от 2 до 50 м. Продуктивность залежей весьма изменчива даже в пределах одного месторождения. Руды содержат в среднем 12–20% барита, иногда до 50%. Площадь отдельных крупных месторождений превышает несколько гектаров, а запасы составляют многие тысячи тонн барита. Мощность перекрывающих отложений изменяется от 3 до 45 м. Месторождения образовались в результате выветривания кембрийских доломитов, содержащих маломощные прожилки и разрозненные

Объем производства «небурового» барита не позволяет обеспечить существующее и прогнозируемое его потребление

вкрапленники барита.

В *штате Джорджия* (округ Бартоу) расположены наиболее крупные месторождения. Барит образует включения в трещинах и пустотах карбонатных пород формаций Шеди и Ром, продукты выветривания которых концентрируются на поверхности кембрийских отложений и представлены глинами с гнездами барита. В переслаивании с глинами находятся железные охры, состоящие из тонкой смеси лимонита и глины с небольшим количеством мелких зерен кварца и чешуек мусковита. Содержание барита в рудах около 30%. Мощность вскрыши составляет 15–18 м.

В *штате Миссури* (округа Вашингтон, Миллер и Морган) месторождения образовались в результате выветривания баритсодержащих доломитов формаций Потоси и Эминенс. Рудные залежи протяженностью до 60 м и мощностью от 4 до 12 м приурочены к пологим склонам холмов и состоят из глин с включениями барита размером от дресвы до глыб весом 90 кг и более. Содержание барита составляет 5–25%. Кроме барита, в глинах присутствуют обломки кремней, кварца и доломита. Мощность перекрывающих отложений 3–4,5 м.

На Южном Урале все выявленные месторождения и

проявления остаточного типа локализируются в пределах Башкирского мегантиклинория; относятся к бурожелезняково-баритовой формации; фиксируются в корках выветривания баритизированных пород – известняков, доломитов, анкеритов, кварц-карбонатных, глинисто-карбонатных и кварц-серицит-глинистых сланцев. Баритоносные слои и прослои этих пород встречаются в разрезах бурзянской (Медведевское месторождение) и юрматинской (Бретьякское, Ирлинское месторождения) серий рифея. Баритоносные коры выветривания приурочены к локальным разрывным нарушениям в системе крупных структур надвигового, взбросо-надвигового и сбросового типов и локализируются в пределах зон и участков тектонического дробления и повышенной трещиноватости пород.

Продукты кор выветривания представляют собой глинистые, реже алевритистые и песчаные нецементированные пестроцветные образования, содержащие ксенолиты материнских пород по которым они сформировались, а также залежи (желваки, линзы, пласты) баритов и плотных бурых железняков. Минеральный состав глинистых продуктов кор выветривания: гидрослюда, каолинит, монтмориллонит, хлорит и другие глинистые минералы [2].

Медведевское месторождение представлено Главной залежью, фиксируемой в зоне контакта кварц-серицит-глинисто-филлитовидных сланцев сунгурской подсвиты айской свиты и доломитов нижнекусинской подсвиты саткинской свиты нижнего рифея, и двумя элювиальными россыпями: Северо-Западной и Юго-Восточной.

Главная залежь субпластовой формы, при параметрах: по простиранию 3,2 км, падению до 250 м и мощности от 0,2 до 16 м, имеет юго-восточное 30–40° падение. Оруденение проявлено как в зоне коренных пород, так и в зоне выветривания. Вмещающие породы с поверхности до глубины 60–100 м выветрены до состояния песчано-глинистого материала. В коренных кремнисто-карбонатных породах барит отмечается в виде мелких рассеянных вкрапленников, маломощных прожилков, небольших гнезд, линз, желваков. Содержание его не превышает 20%. В зоне выветривания руда представляет собой песчано-глинистый материал с многочисленными мелкими кристаллами и обломками барита. В ее составе, наряду с баритом, в значительных количествах присутствуют кварц, глинистые минералы, минералы группы лимонита, реже отмечаются гипс, целестин. Барит прозрачный, голубоватого или желтоватого цвета. В верхних горизонтах масса отдельных обломков достигает 100 кг. По баритовым агрегатам часто развита гетитовая рубашка. Гетит имеет натечную или почковидную форму выделений, иногда встречается в виде оолитов и

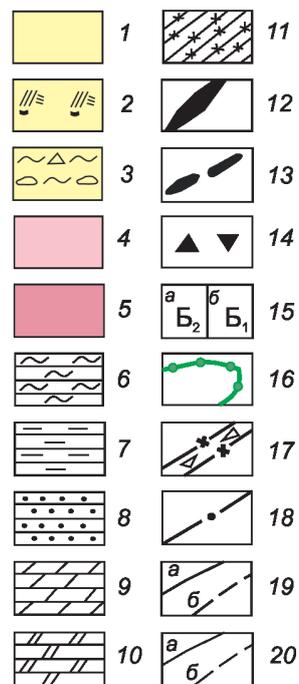
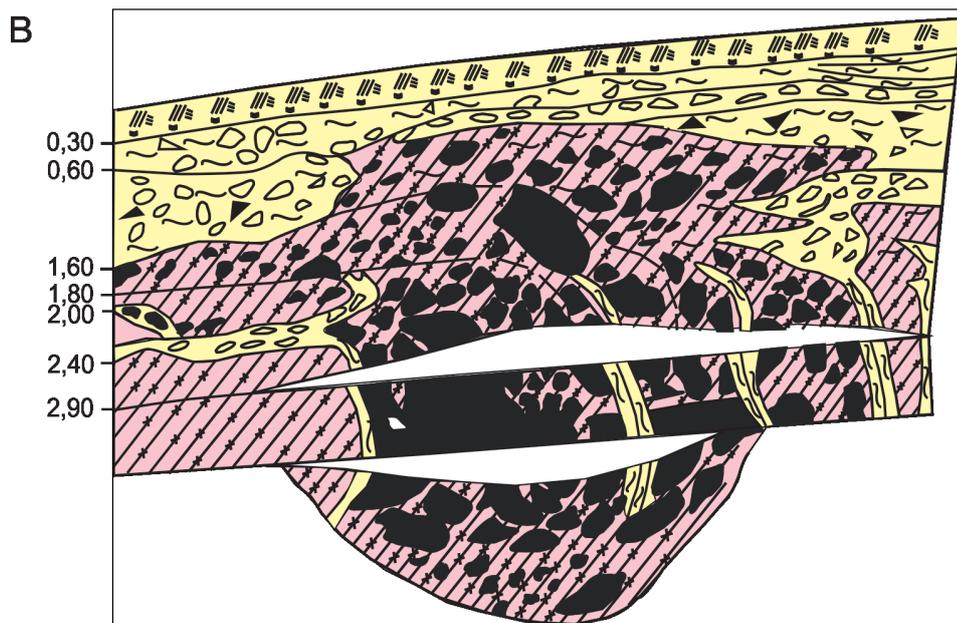
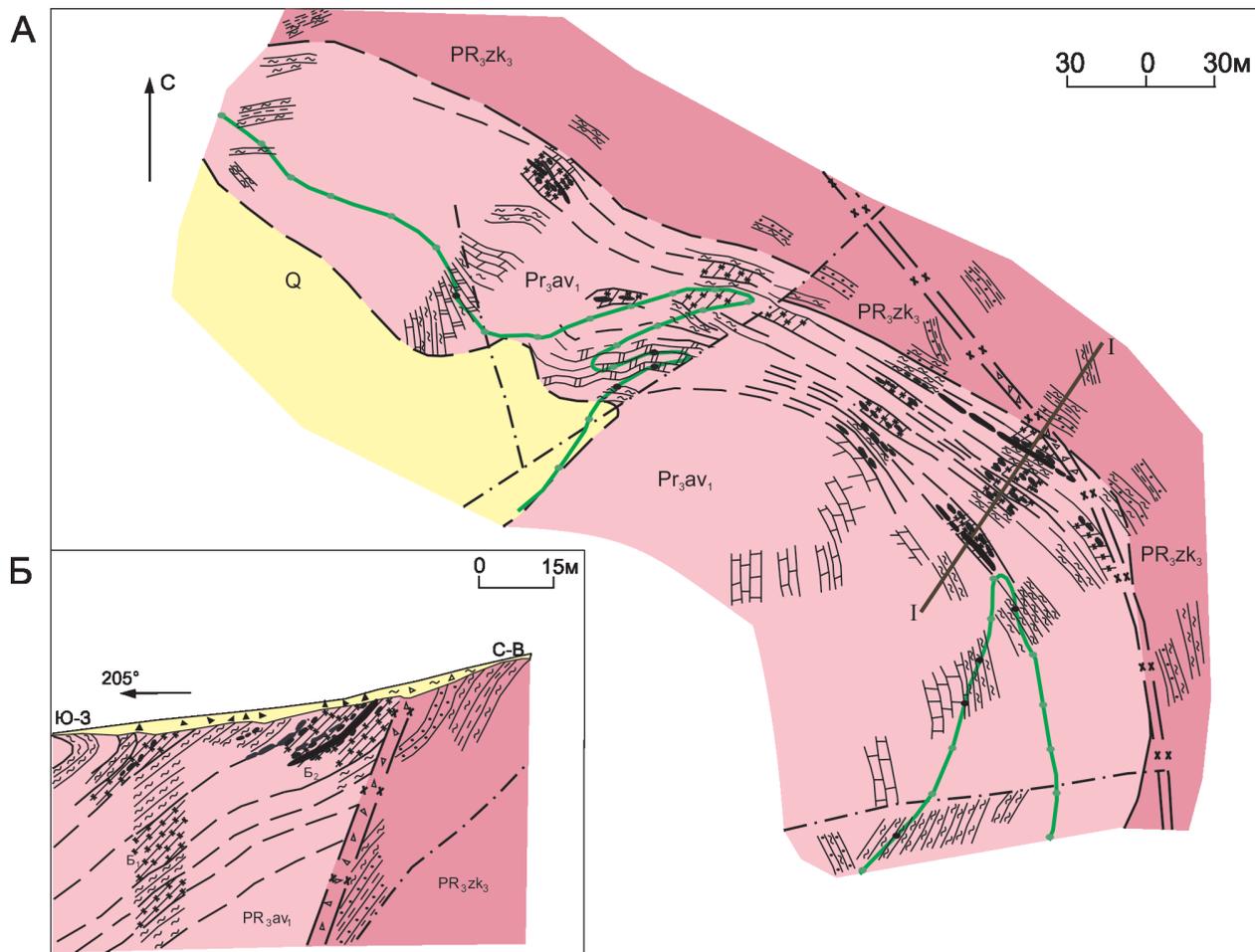
бобовин. Псаммито-пелитовая составляющая руд сложена глинистыми минералами и кварцем. Содержание барита в руде в среднем по залежи оценивается в 22,8%, с глубиной, а также от южного фланга к северному оно постепенно уменьшается. Наиболее обогащенными являются приповерхностные части, где содержание барита достигает 80–90%.

Северо-Западная и Юго-Восточная россыпи возникли за счет разрушения основного месторождения. Первая непосредственно связана с Главной залежью: является ее элювием. Она имеет в плане форму неправильного пятиугольника площадью 7 га и мощностью до 8 м. Содержание барита 8–12%. Минеральный состав отличается от руд Главной залежи пониженным содержанием барита и повышенным содержанием глинистых минералов. Юго-восточная россыпь не имеет тесной пространственной связи с Главной залежью. Она представлена баритосодержащим пластом мощностью от 0,5 до 5,7 м, проявленным на площади около 10 га. По качеству она аналогична Северо-Западной россыпи и содержит 10,2% $BaSO_4$ [1].

В строении *Бретьякского месторождения* принимают участие отложения зигазино-комаровской и авзянской свит среднего рифея. Месторождение представлено баритоносным горизонтом мощностью 50 м, прослеживаемым до 1 км, в составе которого фиксируются линзовидные тела и гнездовые выделения, и двумя делювиальными россыпями площадью от 15 000 м² до 40 000 м² и мощностью до 3 м (рис. 1).

Баритизация в продуктивном горизонте распространена весьма неравномерно. В приповерхностной части месторождения барит образует согласные линзовидные, прожилковые и гнездовые выделения, локализующиеся в прослойках глинистых охр. Мощность линз до 0,8–4 м, длина не более 5–20 м. Форма гнезд барита самая разнообразная, от округлой до неправильно угловатой, размеры их варьируют в пределах 5–40 см в поперечнике. Часто отдельные гнезда тесно прилегают друг к другу, создавая впечатление пластовых тел сплошного барита. Зоны гнездовой баритизации по простиранию прослеживаются до сотни метров. Прожилковые выделения барита имеют мощность от нескольких мм до 1–5 см, а в раздувах 5–15 см. Барит во всех случаях имеет крупнокристаллическое строение, светло-серый, серый и розовато-серый цвет, в нем часто встречаются неправильной формы пустотки, заполненные землистыми охрами. Содержание $BaSO_4$ в линзовидных телах 78,8–93,6%; в гнездовых рудах варьирует значительно, в наиболее баритизированных участках – 64,6–82,1%. Линзовидные и гнездовые выделения барита распространены исключительно в приповерхностных частях месторождения и на глубину не прослеживаются.

Альтернативой жильным месторождениям при получении высококачественной продукции могут служить месторождения выветривания



В Северной и Южной россыпях барит представлен полуокатанными обломками размером от нескольких сантиметров до 0,6 м в поперечнике, крупно-, гигантокристаллический, белого, светло-серого и серого цвета, иногда содержит примазки малахита и азурита. Содержание $BaSO_4$ составляет 5–10% [2].

Ирлинское месторождение расположено в 30 км к северо-востоку от Бретьякского. Рудное поле сложено среднерифейскими отложениями: зигазино-комаровской (песчаники, алевролиты, глинистые сланцы), авзянской (железистые доломиты, анкериты, доломитизированные известняки с прослоями глинистых сланцев) и зильмердакской (красноцветные алевролиты, глинистые сланцы, песчаники и кварциты) свит (рис. 2).

Основная масса барита локализуется в глинистых оврагах коры выветривания, развивающихся в близповерхностных условиях при окислении железистых доломитов и анкеритов авзянской свиты. Вблизи дневной поверхности оруденение представлено скоплениями крупных глыб до 0,5 м в поперечнике. Отдельные глыбы тесно прилегают друг к другу и образуют пластобразное тело мощностью 1–3 м, прослеженное по простиранию на 1000 м. С глубиной отдельные глыбы обособляются друг от друга, и оруденение постепенно приобретает гнездовое строение. Барит крупно-, гигантокристаллический, светло-серого и серого цвета, часто с голубоватым и зеленоватым оттенками. В самом барите – гнездовые скопления охр, редко – рассеянная вкрапленность халькопирита и примазки малахита [2].

Среди месторождений барита россыпного типа наибольший интерес представляют карстовые россыпи, примером которых могут служить месторождения юга Сибири (Моховское, Таежное) и Южного Казахстана (Хатын-Камальское).

Моховское и Таежное месторождения выявлены в Республике Хакасия, в юго-восточной части Батеневского кряжа; являются карстовыми россыпями, образовавшимися в олигоценное время, в эпоху тектонической активизации территории.

Источником питания россыпей послужили широко распространенные на территории в составе кремнисто-карбонатной формации верхнего протерозоя осадочные стратиформные месторождения и контролируемые

разломами баритовые жилы девона. Руды стратиформных и секущих тел, под воздействием сопровождавших тектонические напряжения пострудных процессов, претерпевали изменения: в зонах разломов при интенсивном проявлении гипергенных процессов выносились балластные компоненты, происходила перекристаллизация вещества, улучшались качественные характеристики руд.

Месторождения представляют собой воронко- и чашеобразные карстовые полости протяженностью от 450 до 860 м; при ширине по поверхности от 40 до 74 м и глубине распространения карста до 55 м, выполненные красновато-бурыми суглинками и глинами с дресвой, щебнем известняков, доломитов, кремнисто-глинистых сланцев и барита. Содержание $BaSO_4$ колеблется по разрезу от 11,64 до 48,19%. Наиболее обогащены баритом приповерхностные части залежей (до глубины 15 м), с глубиной, а также на флангах содержание его снижается. Ресурсный потенциал соответствует мелкому–среднему месторождению [4].

Хатын-Камальское месторождение находится в юго-восточной части Центрального Каратау. Рудное поле сложено отложениями палеозоя и мезокайнозоя. Палеозойские отложения представлены известняково-мергелистыми образованиями верхнего девона, мезокайнозойские – породами позднемергельского и четвертичного возрастов. На месторождении интенсивно проявлена разрывная тектоника. Руды представлены двумя морфогенетическими типами: россыпным (карстовые образования) и гидротермальным (жилы) (рис. 3). Оконтурено 25 развитых по известнякам фамена карстовых полостей, выполненных песчано-глинистым материалом буровато-красного, серовато-зеленого цвета, содержащим обломки барита, известняка и лимонита. Форма карстовых полостей изометричная, размеры до 300 м по длинной оси, глубина до 30–40 м. Среднее содержание барита в карстах составляет 32%. Барит представлен в псефитовой, псаммитовой и алевритовой фракциях. В псефитовой и псаммитовой фракциях барит молочно-белый, в виде зернистых агрегатов и отдельных крупных кристаллов, которые нередко заключены в мелкозернистую массу гетита. В алевритовой фракции барит присутствует в виде раздробленных зерен размером не более 0,1 мм.

Рис. 1. Бретьякское месторождение: А – план, Б – разрез по линии I–I, В – зарисовка стенок канавы, вскрывшей баритовое оруденение, по материалам Р.С.Казакова, 1973:

1 – четвертичные отложения; 2 – почвенно-растительный слой; 3 – глины, щебень; 4–10 – отложения среднего рифея (юрматинская серия): 4 – авзянская и 5 – зигазино-комаровская свиты, 6 – глинистые сланцы, 7 – алевролиты, 8 – песчаники, 9 – доломиты и доломитизированные известняки, 10 – доломиты железистые и анкериты; 11 – охристые глины и глинистые охры коры выветривания железистых доломитов и анкеритов; 12 – линзы сплошного барита (с содержанием $BaSO_4 > 75\%$); 13 – зоны гнездовой баритизации (с содержанием $BaSO_4$ 15–75%); 14 – обломки барита в делювиальных отложениях (установленные в копушах); 15 – прожилково-гнездовая минерализация барита с содержанием $BaSO_4$ (%): а – 5–15, б – 1–5; 16 – механический ореол рассеяния обломков барита в делювии (под почвенно-растительным слоем); 17 – разрывное нарушение с зоной брекчирования; 18 – разрывные нарушения; границы: 19 – между разновозрастными отложениями: а – достоверные, б – предполагаемые и 20 – литологических разностей пород и структурные линии: а – достоверные, б – предполагаемые

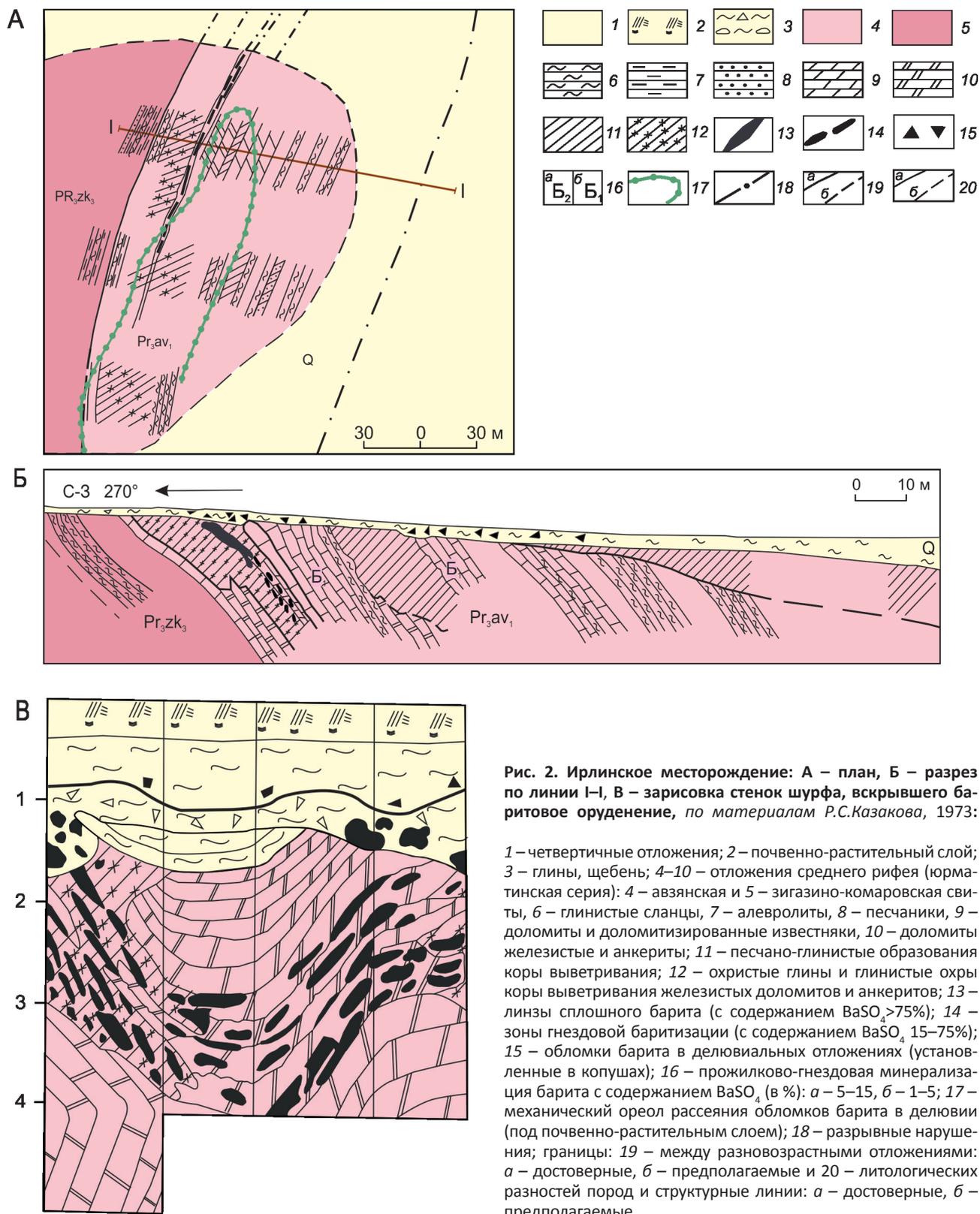


Рис. 2. Ирлинское месторождение: А – план, Б – разрез по линии I–I, В – зарисовка стенок шурфа, вскрывшего баритовое оруденение, по материалам Р.С.Казакова, 1973:

1 – четвертичные отложения; 2 – почвенно-растительный слой; 3 – глины, щебень; 4–10 – отложения среднего рифея (юрматинская серия): 4 – авзянская и 5 – зигазино-комаровская свиты, 6 – глинистые сланцы, 7 – алевролиты, 8 – песчаники, 9 – доломиты и доломитизированные известняки, 10 – доломиты железистые и анкериты; 11 – песчано-глинистые образования коры выветривания; 12 – охристые глины и глинистые охры коры выветривания железистых доломитов и анкеритов; 13 – линзы сплошного барита (с содержанием $BaSO_4 > 75\%$); 14 – зоны гнездовой баритизации (с содержанием $BaSO_4$ 15–75%); 15 – обломки барита в делювиальных отложениях (установленные в копушах); 16 – прожилково-гнездовая минерализация барита с содержанием $BaSO_4$ (в %): а – 5–15, б – 1–5; 17 – механический ореол рассеяния обломков барита в делювии (под почвенно-растительным слоем); 18 – разрывные нарушения; границы: 19 – между разновозрастными отложениями: а – достоверные, б – предполагаемые и 20 – литологических разностей пород и структурные линии: а – достоверные, б – предполагаемые

Скопления барита в карстах образованы за счет разрушения баритовых жил, широко распространенных в рудном поле. Мощности жильных тел колеблются от десятков сантиметров до нескольких метров, протяженность от первых десятков до нескольких сотен метров. Жильные бариты в основном обладают массивной текстурой и крупно- до гигантозернистой структурой [1].

В условиях дефицита «небурового» барита, покрываемого импортом, и при отсутствии жильных месторождений, из руд которых можно было бы получать сырье высокого качества, баритовые месторождения выветривания вполне могут рассматриваться в качестве альтернативы месторождениям жильного типа.

Несмотря на то, что содержание барита в месторождениях выветривания значительно ниже, чем в большинстве жильных месторождений, они имеют целый ряд преимуществ перед последними. Поверхностное залегание, морфология рудных тел и вещественный состав руд баритовых месторождений выветривания позволяют использовать при их отработке самые простые способы добычи (открытый) и обогащения (промывка, ручная рудоразборка, дробление), обеспечивая получение товарной продукции высокого качества со значительно меньшими затратами по сравнению с жильными месторождениями.

За исключением Медведевского месторождения, открытого еще в 1930-е годы, в России нет крупных баритовых месторождений выветривания. Объясняется это отсутствием специализированных работ на этот тип. Все известные на сегодня объекты открыты попутно при проведении геологоразведочных работ различной направленности. Например, карстовые залежи в Хакасии были открыты при поисках жильных баритов в зоне сочленения Кузнецкого Алатау и Минусинской впадины, а остаточные месторождения Башкортостана – при геологической съемке масштаба 1:50 000. Изученность как тех, так и других не превышает поисковой стадии, а авторские запасы соответствуют обычно мелкому месторождению. Что, как ни парадоксально, также является преимуществом месторождений этого типа, так как отработка их возможна малыми предприятиями, которые, как правило, исключают необходимость создания дорогостоящей инфраструктуры, тем самым, обеспечивая низкие себестоимость добычи и цену товарной продукции.

Как уже было отмечено, при разработке остаточных и россыпных месторождений используются самые простые методы обогащения: ручная сортировка и промывка. В голове процесса применяется рудоразборка крупнокускового материала и промывка более мелких фракций, что приводит к удалению значительного количества балластных примесей уже на начальных стадиях обогащения. Нередко уже это обеспечивает получение кондиционного баритового концентрата.

Более полному извлечению барита из руды способствует предварительное дробление исходного материала. Так при обогащении руд Моховского месторождения

предусматривалось дробление исходной руды до класса крупности 5 мм, а затем, промывка и удаление шламовой составляющей. Полученный после обесшламливания руды промпродукт по своим качественным характеристикам уже соответствовал концентрату марки КБ-4 класса А. Однако следует иметь в виду, что это рационально только в случае, если руды представлены легкопромывистыми песчанистыми разновидностями.

Плотные глинистые разности руд относятся к труднопромывистым. В ходе обогащения при интенсивном отмывании в скруббере глина скатывается в твердые комки и вместе с включенным в нее баритом выбрасывается в бункер пустой породы. Поэтому на Медведевском месторождении при обогащении труднопромывистых руд исходный материал подвергался промывке без дробления. После удаления глинистых фракций крупные классы барита подлежали додробливанию.

Нередко наблюдаемое в составе руд наличие значительного количества минералов группы лимонита (часть баритовых зерен находится в сростании с ними или покрыта железистой коркой, так называемой «рубашкой») не должно вызывать сомнения при решении вопроса их освоения, так как проблема обогащения таких руд успешно решается гравитационным обогащением, которому подвергается руда после удаления шламовой составляющей. Оксиды железа при гравитационном обогащении концентрируются преимущественно в легкой фракции, тяжелая фракция представлена, в основном, баритом с незначительной примесью Fe_2O_3 .

Для получения особо чистых концентратов используются дополнительные методы: электромагнитная сепарация, а также химическое отбеливание.

Отсадка промпродукта, полученного из руд Моховского месторождения, и последующая его электромагнитная сепарация позволили повысить содержание в концентрате $BaSO_4$ до 90,3% и практически полностью удалить из концентрата Fe_2O_3 . Полученная товарная продукция по своим характеристикам соответствовала концентрату марки КБ-3 класса А [5].

В.С.Сырокомский запатентовал способ химического отбеливания барита посредством превращения бурых окисных соединений железа в бесцветные фосфорнокислые и разработал проект небольшой заводской установки для отбеливания барита по его способу. Исследования проводились в химико-технологической лаборатории Уральского отделения Института прикладной минералогии. Полученный измельченный продукт своей белизной не уступал высшим сортам немецкого отбеленного баритового концентрата и был признан годным как наполнитель для тертых белых красок [3].

Исходя из вышеизложенного, представляется, что есть все основания рассматривать баритовые месторождения выветривания в качестве перспективного источника высококачественного баритового сырья.

Однако имеющаяся сырьевая база месторождений выветривания явно недостаточна для обеспечения нужд

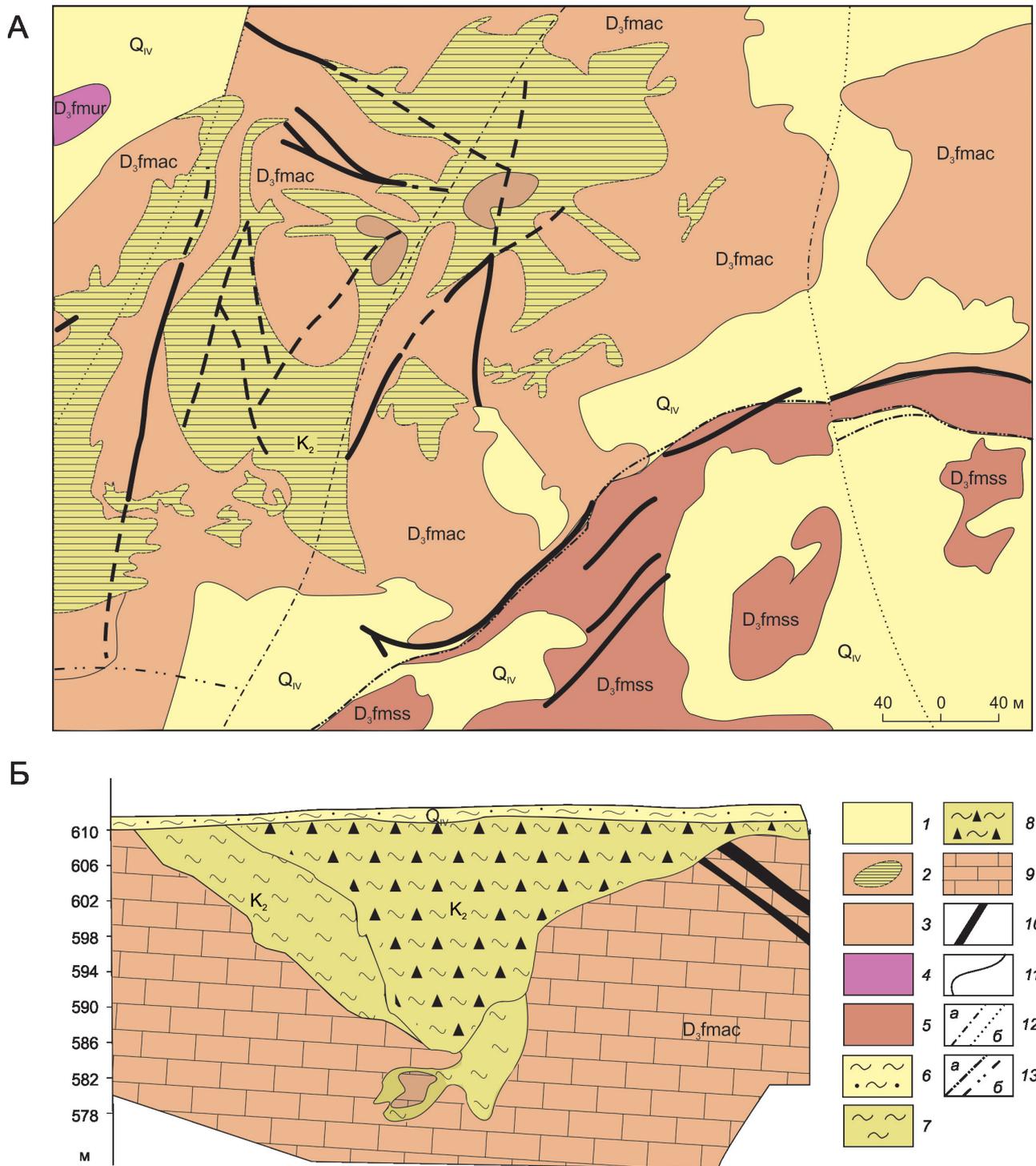


Рис. 3. Хатын-Камальское месторождение: А – план, Б – разрез карстовой полости, по материалам Ю.И.Черкасова, 1982:

1 – четвертичные отложения, Q_{IV} ; 2 – отложения верхнего мела (карстовые образования), K_2 ; 3–5 – отложения фаменского яруса верхнего девона, пачки: 3 – ачисайская, D_3fmac , 4 – уртандинская, D_3fmur , 5 – шушаковская, D_3fmss ; 6 – суглинки; 7 – глины; 8 – глины с обломками известняков и барита; 9 – известняки комковатые; 10 – баритовые жилы; 11 – геологические границы; тектонические нарушения: 12 – разрывные: а – достоверные, б – под рыхлыми отложениями, 13 – надвиги: а – достоверные, б – под рыхлыми отложениями

отраслей промышленности, использующих «небуровой» барит. Суммарный ресурсный потенциал их оценивается в 1184 тыс. т барита, из которых: 631 тыс. т (>50%) составляют запасы категории В+С₁ Медведевского месторождения, разведанного ЗАО «Барит-Газ» для нужд нефтегазодобывающей отрасли, и лишь 81 тыс. т авторских (Р.С.Казаков, 1973) запасов категории С₂ (месторождения Республики Башкортостан) и 472 тыс. т прогнозных ресурсов категории Р₂+Р₁ (месторождения Республики Хакасия) могут рассматриваться в качестве источника «небурового» барита.

Перспективными территориями, где работы по выявлению баритовых месторождений выветривания могут быть успешными, следует рассматривать регионы, в которых известно оруденение других типов (страгиформного или жильного), и где можно ожидать обнаружение кор выветривания линейно-трещинного типа. Формирование последних происходит вблизи разломов в зонах трещиноватости и смятия в результате интенсивной гидротермальной проработки пород субстрата. При этом в полях развития формаций, несущих баритовое оруденение, циркуляция водных растворов по ослабленным зонам, способствуя растворению и выносу балластных компонентов, приводит к накоплению инертного к агрессивным средам барита «in situ», формируя остаточные и россыпные (карстовые) месторождения.

В настоящее время к таким районам, исходя из степени специальной (на барит) изученности, следует отнести территории Республик Башкортостан и Хакасия. В Республике Башкортостан эффективным могло бы быть проведение ревизионных работ по оценке известных месторождений и выявлению новых на площадях развития авзянской и зигазино-комаровской свит среднерифейского возраста, в Республике Хакасия – на площадях распространения кремнисто-карбонатной формации венда, вмещающей страгиформное оруденение, и девонских отложений в зоне сочленения Кузнецкого Алатау и Минусинской впадины, несущих оруденение жильного типа.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Товарной продукцией, выпускаемой баритдобывающими предприятиями России, является баритовый концентрат классов А и Б. Концентрат класса А («небуровой» барит) используется в химической, лакокрасочной, электротехнической, резинотехнической и других отраслях промышленности; концентрат класса Б («буровой» барит) – в нефтегазодобывающей и геолого-разведочной отраслях в качестве утяжелителя буровых растворов. Отечественное производство «небурового» барита не позволяет обеспечить существующее и тем более прогнозируемое его потребление. Дефицит покрывается импортом. В 2014 г. ввезено «небурового» барита на сумму 12,97 млн. \$ (ФТС РФ).

2. «Небуровой» барит получают при обработке месторождений жильного типа, особенностью которых яв-

ляется высокое содержание сульфата бария, однако они сложны в обработке; к тому же в России отсутствует сырьевая база месторождений этого типа. Альтернативой могут служить месторождения выветривания, поверхностное залегание, морфология рудных тел и вещественный состав руд которых позволяют использовать при их обработке открытый способ добычи и простые методы обогащения, обеспечивая получение товарной продукции со значительно меньшими затратами по сравнению с жильными.

3. При обогащении руд месторождений выветривания в голове процесса применяется рудоразборка крупнокускового материала и промывка более мелких фракций, приводящие к удалению значительного объема балластного материала, что нередко обеспечивает получение кондиционного баритового концентрата уже на начальных стадиях. Последующие его отсадка, электромагнитная сепарация и при необходимости химическое отбеливание позволяют получать товарную продукцию самого высокого качества.

4. Активизация ГРП по оценке известных и выявлению новых баритовых месторождений выветривания позволит снизить уровень проблемы обеспечения баритопотребляющих отраслей высококачественным сырьем. Перспективными являются регионы, в которых известно оруденение других типов (страгиформного или жильного), и можно ожидать обнаружение кор выветривания линейно-трещинного типа. На сегодня к таким районам, исходя из степени специальной (на барит) изученности, относятся территории Республик Башкортостан и Хакасии. В случае успеха в стране могла бы быть создана минерально-сырьевая база высококачественного барита, позволяющая сократить или отказаться от импорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас руд баритовых месторождений* / Г.Г.Ахманов, Н.Г.Васильев, Т.А.Булаткина, И.П. Егорова. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2000.
2. *Казаков Р.С.* Баритовые месторождения Башкирского мегантиклинория. – М.: Наука, 1986. С. 157–164.
3. *Казанцев В.П.* Бариты Урала // Труды ВИМС. Вып. 83. – М.: Изд-во НКТП СССР, 1935. С. 39–39.
4. *Новый тип месторождений барита Хакасии* / Г.Г.Ахманов, Н.Г.Васильев, И.П.Егорова, Ф.Н.Ходаковский, Е.С. Единцев // Отечественная геология. 2007. №3. С. 65–70.
5. *Получение высококачественного баритового концентрата из руд месторождений выветривания* / Н.Г.Васильев, И.П.Егорова, Р.А.Хайдаров // Мат-лы Второй Международной конференции: «Промышленные минералы и научно-технический прогресс». – М.: ГЕОС, 2007. С. 44–45.
6. *Brobst D.A.* Barite: World Production, Reserves and Future Prospects. U.S. Geol. Survey Bull. № 1321. 1970. Pp. 1–46.

Зотоносные коры выветривания Краснотурьинской металлогенической зоны Урала и перспективы их освоения

О.А.АГИБАЛОВ, Н.М.ИВАНОВ, Н.М.РИНДЗЮНСКАЯ, Е.А.ЧЕРЕМИСИНА, В.П.ФИЛИППОВ, С.В.ЯБЛОКОВА, Л.В.ШАТИЛОВА (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Приводятся данные по геологическим, металлогеническим, структурно-геоморфологическим обстановкам формирования золотоносных кор выветривания. Отмечено значение карстовых зон в формировании эндогенных руд, золотоносных кор выветривания и россыпей. Выделены геолого-технологические типы золотоносной коры выветривания. Обращено внимание на тождественность технологических проблем извлечения золота из остаточной коры выветривания и высокоглинистых россыпей, объединенных в один геолого-технологический тип. Дана высокая оценка перспективам поисков месторождений золота формации коры выветривания.

Ключевые слова: золотоносные коры выветривания, высокоглинистые россыпи, мелкое и тонкое золото, геолого-технологический тип.

Агибалов Олег Анатольевич
Иванов Николай Михайлович
Риндзюнская Наталья Михайловна
Черемисина Екатерина Алексеевна
Филиппов Виктор Петрович
Яблокова Светлана Васильевна
Шатилова Людмила Викторовна



vosp@tsnigri.ru
vosp@tsnigri.ru

vosp@tsnigri.ru
vosp@tsnigri.ru
vosp@tsnigri.ru
vosp@tsnigri.ru

Gold-bearing crusts of weathering within the Krasnotur`insk metallogenic zone of the Urals (perspectives)

O.A.AGIBALOV, N.M.IVANOV, N.M.RINDZIUNSKAYA, E.A.CHEREMISINA, V.P.FILIPPOV, S.V.JABLOKOVA, L.V.SHATILOVA

The data on geological, metallogenic, structural geomorphological conditions of formation of gold-bearing weathering crusts are produced. The importance of karst zones for the formation of endogene ores, gold-bearing weathering crusts and placers is noted. Geological-technological types of gold-bearing weathering crusts are eliminated. Attention is paid to identity of technological problems in extraction of gold from residual weathering crusts and high-clayey placers, which are combined into one industrial type. Perspectives for search of gold deposits of weathering crust formation are highly rated.

Key words: gold-bearing crust of weathering, high-clayey placers, small and fine gold particles, geological-technological types.

Краснотурьинская металлогеническая зона (МЗ) авторами данной публикации рассматривается на отрезке г.Ивдель–р.Тура. Она расположена на восточном склоне Северного и Среднего Урала и приурочена к высококорудонной структуре – девонскому вулканоплутоническому поясу, занимающему крайнюю восточную часть Тагильской структурно-формационной мегазоны (СФМЗ) и, сложенному рифтогенно-океаническими и острово-

дужными комплексами палеозойских пород (S–D) с туфогенно-терригенным и карбонатным материалом [4]. Краснотурьинская МЗ находится в зоне влияния Серовско-Маукского разлома глубокого заложения, представляющего собой шовную зону между двумя мегаструктурами Урала: Тагильской и Восточно-Уральской. В систему шовной зоны входит серия субмеридиональных разломов длительного развития, которые сопровождаются

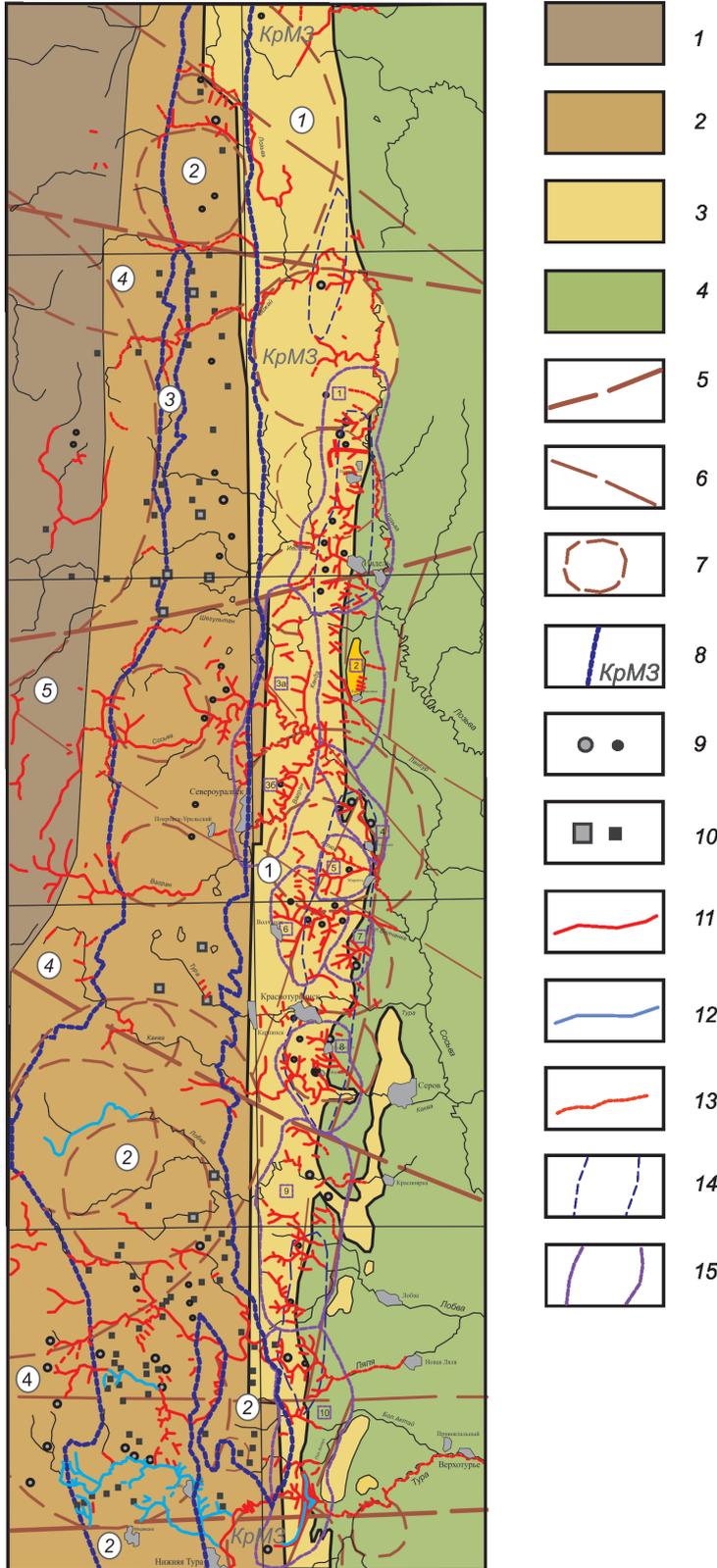


Рис. 1. Схема размещения перспективных площадей (в ранге рудно-россыпных узлов) на поиски золотоносных кор выветривания и высокоглинистых россыпей преимущественно с мелким и тонким золотом в Краснотурьинской металлогенической зоне (восточный склон Северного и Среднего Урала):

1–4 – морфоструктуры: 1 – глыбово-сводово-блоковая дифференцированных умеренных и интенсивных поднятий на раннепалеозойских толщах Центрально-Уральской мегазоны, представлена низкоргорьем (600–800 м) с отдельными горными массивами (800–1100 м), 2–3 – глыбово-блоковая слабых реке умеренных поднятий на эвгеосинклинальных образованиях (комплексах формаций островных дуг и меланократового основания) Тагильской мегазоны и образованиях базальтоидного и андезитовидного вулканоплутонических поясов; 2 – приподнятые денудационные равнины (высокий пенеплен) с останцовым низкоргорьем (350–600 м) и 3 – денудационные и аккумулятивно-денудационные равнины (низкий пенеплен) (160–250(350) м), 4 – глыбово-блоковая длительного дифференцированного опускания и относительных очень слабых поднятий на структурах Тагильской и Восточно-Уральской мегазон поздних уралид, представлена аккумулятивными и аккумулятивно-денудационными равнинами (50–160 м); 5–6 – линейные морфоструктуры, выраженные протяженными уступами, границами приподнятых и опущенных морфоблоков, спрямленными отрезками речных долин и водоразделов: 5 – региональные, отражающие крупные разрывные нарушения субширотные и северо-западные (выражены геофизическими аномалиями), 6 – представленные зонами разломов, ограничивають и секут площадные морфоструктуры; 7 – кольцевые разломы, связанные с формированием сводово-купольных и кольцевых структур разного ранга; 8 – границы и номера (в кружках) металлогенических зон: 1 – Краснотурьинская, 2 – Восточно-Тагильская, 3 – Западно-Тагильская, 4 – Салатимская, 5 – Ляпинская; 9–10 – месторождения и рудопроявления: 9 – золоторудные и золотосодержащие различных рудно-формационных типов, 10 – сопутствующих рудных формаций; 11–12 – россыпи: 11 – золотоносные, 12 – платиноносные; 13 – россыпепроявления; 14 – границы рудных узлов, по которым оценены прогнозные ресурсы рудного золота по категории P_3 (ЦНИГРИ, 2011, Г.В.Ручкин и др.); 15 – границы и номера (в квадратах) рудно-россыпных узлов, перспективных на поиски золотоносных кор выветривания и высокоглинистых россыпей с мелким и тонким золотом: 1 – Ивдельский, 2 – Екатеринбургский, 3 – Шегульгано-Вагранский, 4 – Масловский, 5 – Чапинско-Атюсский, 6 – Волчанский, 7 – Ларьковский, 8 – Воронцовский, 9 – Катасьминско-Мысовской (Лобвинский), 10 – Лялинско-Туринский (Актайский)

сдвиго-надвигами и секущими субширотными и диагональными разломами. Серовско-Маукская зона разломов трассируется крупными интрузивными комплексами габбро-диорит-гранодиоритовой, дунит-гарцбургитовой и др. формаций (рис. 1).

В пределах Краснотурьинской металлогенической зоны широко развиты купольно-кольцевые структуры, отличающиеся масштабами и временем заложения. Одни из них представляют вулканоплутонические структуры палеозоя ($D_1-D_3?$), другие, возможно, связаны с мезозойской тектономагматической активизацией (ТМА) и неотектоническим этапом. Предполагается, что купольно-кольцевые структуры представляют собой нескрытые интрузии разного ранга. Прямым признаком их рудообразующего значения являются россыпи, приуроченные к дугообразным изгибам рек Ивдель, Калья, Ляля, Тура и др. Особое поисковое значение могут иметь зоны сочленения или пересечения кольцевых и линейных разломов [12].

В пределах Краснотурьинской зоны широко развиты вещественные комплексы, благоприятные для локализации рудных месторождений и для образования коры выветривания: вулканогенно-терригенные и карбонатные формации, прорванные дайками пестрого состава. Зоны тектонических контактов известняков (в том числе и брекчированных) и терригенно-вулканогенных или интрузивных пород имели исключительное значение для локализации рудных зон, карста, линейных кор выветривания и россыпей, особенно древних.

Метасоматические процессы проявлены широко: скарны, березит-листвениты, кварцевые серициты, аргиллизиты, джаспероиды и другие.

Рассматриваемая зона является уникальной по набору рудных полезных ископаемых: железа, никеля, бокситов, марганца, золота. Характерно сочетание в пределах одного рудно-россыпного узла нескольких типов рудных месторождений и полигенных месторождений золота.

Основными типами золотых руд в пределах Краснотурьинской зоны являются золотокварцевые, золотосульфидные, золотосульфидно-кварцевые месторождения и рудопроявления [14]. Характерны зоны вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализации пирит-арсенопиритового и золотосурьмяно-ртутного типов; в подчиненном количестве золотомагнетитовый тип. Минерализованные рудные зоны большой протяженности и отличаются аномально повышенными концентрациями Au, As, Hg, Ag, Ba, Mn, Pb, Zn, Cu, Sb, Mo, Y, Yb, Sc, K в первичных и вторичных ореолах.

Краснотурьинская металлогеническая зона приурочена к Восточно-Уральской морфоструктуре, для кото-

рой на протяжении мезозоя, а затем и кайнозоя были характерны слабые, дифференцированные, прерывистые тектонические подвижки с переменным знаком движения, но с общим трендом к воздыманию, которое в сумме не превышало 150–250 м и до 350 м на западе, что способствовало формированию низкого пенеплена. Именно в его пределах расположена Краснотурьинская металлогеническая зона.

Такой режим тектонического развития, который часто называют близким к стабильному, способствовал неоднократному формированию широких поверхностей выравнивания и коррелятных им линейно-площадных кор выветривания [1, 5, 10]. Этим процессам благоприятствовал тропический и субтропический влажный и перемененно влажный климат мезозоя, палеогена и неогена. Площадные коры выветривания покрывали всю пенепленизированную поверхность, формировались по всем горным породам, в том числе наложились на рудные зоны, что привело к формированию золотоносной коры выветривания (ЗКВ), которая является составной частью линейно-площадной коры выветривания, но по литолого-минералогическим особенностям отличается от окружающей площадной КВ не только за счет присутствия ценных компонентов, но и из-за особенностей гипергенных преобразований зон профиля КВ в разной степени насыщенных сульфидами, карбонатами и другими соединениями, создающими в приповерхностной зоне земной коры высокоокислительную среду.

Широкое развитие эрозионно-структурных депрессий, контролируемых зонами глубинных разломов, часто имеющих рудо локализирующее значение, явилось благоприятным фактором для образования золотоносных кор выветривания, их локализации и консервации [10]. Не случайно в бортах эрозионно-структурных депрессий совмещены рудные месторождения и проявления и золотоносные коры выветривания (Воронцовское месторождение, Екатерининское и Чернореченское рудопроявления в скальных породах и корах выветривания), а в днищах депрессий расположены россыпи (рис. 2).

Особую роль в формировании золоторудных месторождений, ЗКВ и россыпей сыграл карст. Частая приуроченность двух первых к контактам карбонатных и силикатных пород, свидетельствует о благоприятной роли карбонатных (щелочных) барьеров в локализации гипогенной золотой (золотоплатиновой) минерализации. С зонами развития карста связаны золоторудные и золотороссыпные объекты в Кедровско-Ивдельском, Екатерининском, Масловском, Чапинском, Воронцовском (Ауэрбаховском), Актайском (Лялинско-Туринском) рудно-россыпных узлах. За пределами Краснотурьин-

“
В пределах Краснотурьинской МЗ широко развиты вещественные комплексы, благоприятные для локализации рудных месторождений и образования кор выветривания

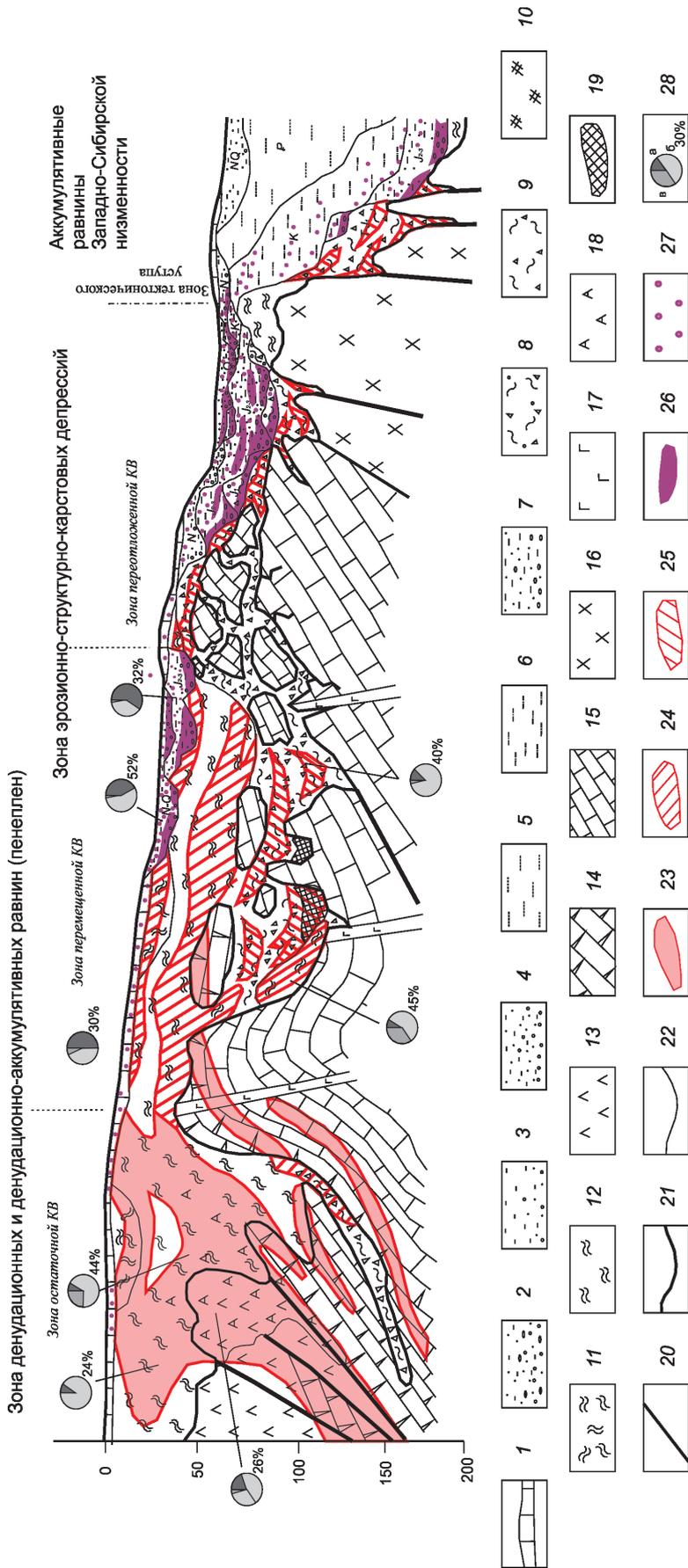


Рис. 2. Типовой разрез эволюционно-генетического ряда эндогенные руды-золотоносные коры выветривания-россыпи Красноуральской металлогенической зоны (Северный Урал), составлен с использованием данных Воронцовской ГРП и ЦНИГРИ:

отложения: 1 – делювиальные (Q), 2 – аллювиальные (Q), 3 – озерно-аллювиальные и болотно-озерные (N-Q), 4 – аллювиально-пролювиальные и аллювиальные неогена (N), 5 – палеогеновые прибрежно-морские и морские, 6 – меловые аллювиально-озерные и прибрежно-морские (K), 7 – озерно-аллювиальные (песчано-гравийные глины) и аллювиально-глинистые кварцевые пески и галечники), лангурская свита (L₂₋₃); 8–10 – перетоколожные продукты коры выветривания: 8 – элювиально-делювиальные и делювиально-пролювиальные отложения – глинисто-обломочные, плохоокатанные с проявлениями эпигенетического выветривания, предлангурский горизонт (L₁₋₂); 9 – делювиально-карстовые глинисто-обломочные отложения (T-I), в том числе заполняющие карстовые каналы, 10 – участки ожелезнения; 11–12 – кора выветривания глинистая (охристо-каолинит-гидро-слюдистая) остаточная и перемещенная по склону крупными блоками, без следов перетоколожения: 11 – бесструктурные пестроцветные глины с участками оолитового строения, 12 – структурные глины, в нижних горизонтах с преобладанием щебня крепких пород; 13–15 – породы плотика (D₁₋₃); 13 – андезитовые порфириты, туфы, туфопесчаники, туфоалеволиты, 14 – брекчиевидные известняки, 15 – известняки; 16 – породы интрузивного комплекса габбро-диорит-плагиогранитной (D₁₋₂) и габбро-диорит-гранодиоритовой (D₂₋₃) формаций; 17 – дайки основного состава (D-C); 18 – метасоматиты формации аргиллизитов; 19 – бурые железняки; 20 – тектонические нарушения; 21 – нижняя граница коры выветривания; 22 – литологические границы; 23–25 – рудные тела (золотоносные пласты); 23 – эндогенные в скальных породах (карбонатных и силкатных) и гипергенные в остаточной коре выветривания, 24 – гипергенные перемещенные по склону и в карстовой депрессии, 25 – гипергенные перетоколожные в карсте; россыпи: 26 – высокоглинистые с мелким и тонким золотом и 27 – тетраэдрические (с тонким и тонкодисперсным золотом); 28 – формы нахождения россыпных установок, б – тонкодисперсное связанное, в – свободное золотоносных отложений (в %), золото: а – извлекаемое гравитационными установками, б – тонкодисперсное связанное, в – свободное

ской металлогенической зоны на Урале этот перечень многократно увеличится (месторождения Новогоднее Монто, Каталамбию, Светлинское, Тамбовское).

Золотоносные коры выветривания Краснотурьинской металлогенической зоны представлены линейными корами выветривания: линейно-трещинными, контактово-карстовыми и карстовыми [2, 9]. В первых двух случаях коры выветривания почти всегда совмещены с первичными рудами, по которым они образуются, как например, на Воронцовском месторождении. В линейно-трещинной зоне коры выветривания остаточного типа залегают «in situ» [9].

Высока роль карста в формировании золотоносных кор выветривания. В карстовых воронках, как правило, локализованы наиболее зрелые горизонты коры выветривания, происходит довыветривание вещественного состава КВ, чему способствует агрессивная карбонатная среда; усиливается растворение и миграция золота, разложение сульфидов и др.; в карсте увеличивается количество новообразованного гипергенного золота, повышаются его концентрации на карбонатных барьерах. При просадках может происходить уплотнение структуры гипергенного золота [7, 8, 13]. Геохимическая среда карста способствует увеличению крупности золота, концентрации тонкого и тонкодисперсного золота и др.

Гидротермальные процессы мезозоя достигали современного близповерхностного уровня, что определяется по положению мезозойских аргиллизитов ($T_{1-2}?$) в геологических разрезах Воронцовского месторождения. В современном рельефе карстовые котловины, воронки, депрессии также имеют близповерхностное положение. Они начали развиваться не позднее триаса, так как возраст заполняющих карстовые формы наиболее древних остаточных и осадочных образований определен как триас–ранняя юра. Если в определении времени формирования аргиллизитов и начала карстообразования нет ошибки, то нельзя исключить следующее: в формировании ранне-мезозойских карстовых депрессий принимали участие не только гипергенные процессы («холодный карст» по Э.И.Кутыреву, Б.М.Михайлову и др.), но и гидротермокарстовые процессы, которые могли повлиять не только на глубокий карст, но и на близповерхностный (по отношению к современной поверхности). Сонахождение мезозойских аргиллизитов и карстовых депрессий в одном вертикальном и, по-видимому, временном диапазоне, позволяет высказать подобное предположение.

Важнейшее положительное значение карста – сохранность эволюционно-генетического ряда близповерхностных золотых месторождений: эндогенных руд, ЗКВ, россыпей [12, 13]. Наглядные примеры Во-

ронцовский (Ауэрбаховский) рудно-россыпной узел (РРУ) с Воронцовским золоторудным месторождением, состоящим из гипогенных (скальных) золотосульфидных руд и гипергенных руд (охристо-глинистых кор выветривания) и ряда россыпей, пространственно и генетически связанных с Воронцовским месторождением (см. рис. 2). Пространственное совмещение рудных зон с зонами карсто- и корообразования способствует более интенсивному протеканию всех процессов.

В контакто-карстовой коре выветривания вблизи зоны контакта может сохраняться остаточная кора выветривания, верхние горизонты которой постепенно сползают в сторону карстовой полости. При этом по пологому склону могут сползать крупные блоки коры выветривания, практически без изменения их структуры и текстуры. В центральной части карстовой полости материал коры выветривания и заключенные в ней рудные тела могут подвергнуться деформациям, интенсивность которых зависит от условий развития карста. При медленных просадках коры выветривания рудные тела приобретают мультиморфную морфологию, при провалах происходит их обрушение и резкие деформации, частичное пе-реотложение [2, 13].

В карстовых воронках, удаленных от первоисточника, накапливается золотоносный материал за счет переотложения коры выветривания и частичного перемыва последней. В процессе переотложения глинистый материал коры выветривания может получить допол-

нительные порции золота за счет коренного источника, локализованного в карбонатных породах.

Отрицательное значение карста связано с неровностями плотика экзогенных месторождений, выраженными в виде чередования разномасштабных полостей и образований «башенного карста», что усложняет горно-технические условия при разведке и эксплуатации золотоносных кор выветривания и россыпей.

Протяженность Краснотурьинской МЗ на сотни километров определило развитие Ивдельско-Тагильской россыпной зоны, протягивающейся практически без перерыва от пос.Бурмантово до р.Тагил и южнее (см. рис. 1).

Уникальность этой зоны определяется сохранностью богатых древних (J_{2-3} , P_1 , N_{1-2}) россыпей, генетически и пространственно связанных с корами выветривания. Литолого-минералогические особенности этих россыпей, прежде всего высокая глинистость (40–90%), большое количество гидроксидов Fe и Mn, преобладание устойчивых к выветриванию минералов в шлихах и в литологическом составе пластов, свидетельствуют о тесной генетической связи их с корами выветривания, что позволяет отнести древние россыпи к форма-

Золотоносная кора выветривания – составная часть площадной коры выветривания, но отличается от нее присутствием ценных компонентов и особенностями корообразования

ции коры выветривания. С другой стороны, высокая золотоносность древних высокоглинистых россыпей подтверждает предположение о развитии ЗКВ на восточном склоне Северного и Среднего Урала.

Золотоносные коры выветривания Краснотурьинской металлогенической зоны в юре и особенно позднем мелу имели латеритную или каолиновую направленность выветривания, но сохранился их неполный профиль. В зависимости от денудационного среза той или иной площади или участка, кора выветривания представлена лимонит-каолиновыми, гидрослюдисто-каолиновыми, маршаллитовыми образованиями (Воронцовское рудное поле), либо дресвяно-глинистыми, гидрослюдисто-монтмориллонит-каолиновыми, лимонит-каолинит-гидрослюдистыми глинами, бурыми железняками (Екатерининский РПУ). На Кедровско-Ивдельской площади кора выветривания имеет каолинит-гидрослюдистый, гидрослюдисто-каолиновый состав и представлена глинистым и дресвяно-глинистым материалом [11].

На отдельных участках Актайской (отработанное месторождение Талисман), Вогульской и Ларьковской перспективных площадях по кварцевожильным полям и штокверкам образован особый тип коры выветривания, представленный щебнисто-глинистыми образованиями, где щебень состоит из обожженного кварца.

На протяжении мезозоя и кайнозоя интенсивность процессов корообразования, а в отдельные периоды и их направленность неоднократно изменялись, что было связано с колебательными тектоническими движениями небольшой амплитуды и сменой климата, главным образом в сторону гумидности или аридизации, с постепенным понижением положительных температур в палеогене и неогене, раннем квартере. Наибольшей зрелостью отличаются юрские и меловые эпохи корообразования – с ними связаны наиболее мощные горизонты гидрослюдисто-каолинового состава в гипергенном профиле коры выветривания. Направленность процессов выветривания сохранялась вплоть до раннего миоцена и существенно изменилась в позднем миоцене–плиоцене, когда наибольшего распространения достигали гидрослюдисто-монтмориллонитовые горизонты профиля коры выветривания и широко проявилось гипергенное ожелезнение.

Эволюционные изменения гипергенного минералообразования от древних к более молодым эпохам выветривания отразились в эпигенетических изменениях рыхлых пород и минералов как элювиального, так и осадочного генезиса. Последнее четко прослеживалось на древних россыпях.

Древние россыпи, пространственно и генетически тесно связанные с корами выветривания, испытывали

эпигенетическое корообразование. Например, довыветриванию подвергался предлангурский (J.) горизонт, представленный делювиально-пролювиальными глинисто-галечно-валунно-обломочными отложениями. Обломочный материал состоит из валунчиков и плохоскатанных обломков известняков, порфиринов, метасоматитов кварц-серицитового состава, габбро-диабазов, интенсивно разложенных в постседиментационном этапе – при сохранении формы от легкого прикосновения они распадаются до дресвы. Эти образования широко распространены в пределах Екатерининского, Чапинского, Богословско-Харитоновского РПУ и несут промышленную золотоносность.

Эпигенетическое ожелезнение характерно для неогеновых россыпей, вплоть до образования бобовников из гидроксидов железа и марганца (Среднечапинская россыпь) и связано с красноцветной корой выветривания неогена.

Следы наложения более поздних процессов корообразования на каолиновые глины коры выветривания и существенно кварцевые галечники юрских и меловых россыпей выделяются сложнее. С довыветриванием, по-видимому, можно связывать увеличение содержаний в данных толщах вторичного «хрупкого» золота (Воронцовская, Шайтанская, Екатерининская юрские россыпи, меловые осадки Актайско-Талицкой депрессии). Подобное золото перенос в русловом пото-

ке не выдержит.

Происходило также дальнейшее разложение вещественного состава россыпей в процессе эпигенетического корообразования, в связи с чем, увеличилось количество свободного золота за счет полного разложения части сульфидов, увеличения количества вторичного золота и увеличение размеров золота.

Прямым признаком золотоносности коры выветривания в Краснотурьинской металлогенической зоне являются гипергенные руды ЗКВ Воронцовского месторождения (среднее содержание 4–5 г/т, обрабатывалось методом кучного выщелачивания при бортовом содержании 1,4 г/т, первичные руды 2,3 г/т) и месторождения Талисман (среднее содержание 1 г/т, обрабатывалось гравитационными методами), а также наличие в россыпях золотоносных отложений ближнего сноса – аллювиально-пролювиальных и делювиально-пролювиальных. В процессе геологоразведочных работ последних десятилетий на площадях: Екатерининской (К.А.Зубарев и др.), Чернореченской (К.П.Савельева и др.), Кедровско-Ивдельской и Актайской (А.П.Михайлов, О.А.Агибалов и др.) установлены и локализованы минерализованные зоны с повышенными содержаниями золота, что подтверждает золотоносность кор выветривания

Золотоносные коры выветривания Краснотурьинской МЗ представлены линейными корами выветривания: линейно-трещинными, контактово-карстовыми и карстовыми

Краснотурьинской металлогенической зоны.

Анализ россыпной золотоносности Краснотурьинской площади и выборочное опробование разновозрастных отложений высокоглинистых россыпей и кор выветривания, проведенное сотрудниками ЦНИГРИ на различных участках площади [2, 3, 13], свидетельствуют о золотоносности кор выветривания и перспективности дальнейших поисков месторождений золота в коре выветривания в пределах Краснотурьинской металлогенической зоны. Можно ожидать открытия ЗКВ, развитых как по промышленным золоторудным месторождениям (зоны окисления Воронцовского, Тамуньерского месторождений), так и по минерализованным зонам с убогой золотоносностью, где промышленное значение будут иметь только коры выветривания.

Невысокие результаты прогнозно-поисковых работ последних десятилетий могут быть связаны с недостаточными объемами геологических, геохимических и горно-буровых работ. Например, из-за недостатка финансирования минералого-геохимические профили закладывались на выборочных участках перспективных площадей, при этом практически все выявленные аномалии на Алексеевской, Екатерининской, Лангурской, Чапинской, Чернореченской, Ларьковской площадях оказались не оконтурены, хотя интенсивность аномалий не уменьшалась, а в ряде случаев (по данным В.Б.Чекваидзе и Б.С.Зеликсона) и возрастала к периферии.

Объемы горно-буровых работ также недостаточны, что привело к сокращению площадей опробования. Например, в пределах Чернореченского РРУ участок прогнозно-поисковых работ ОАО «Уральская геологическая экспедиция» (УГСЭ) ограничивался только долиной р. Черная, где до этого верхняя часть коры выветривания возможно была содрана при эксплуатации россыпи, частично эродирована речной деятельностью. Рекомендуется также обратить внимание на качество аналитических исследований.

На Чернореченской площади на западном водоразделе р. Черная специалистами ЦНИГРИ был выделен Западно-Чернореченский участок, апробированный минералого-геохимическими работами. В результате установлена протяженная аномальная зона (Ag, Au, Cu, Pb, Hg) золотосульфидного ряда при высокой интенсивности ожелезнения элювиально-делювиальных образований. Эта зона из-за сокращенных объемов ОАО УГСЭ не завершалась бурением. На Чапинской площади буровые линии не затронули геохимические аномалии, выявленные ЦНИГРИ западнее и севернее Чапинских россыпей [12].

Такое выборочное изучение отдельных участков перспективных площадей при не всегда достаточном

качестве поисковых работ, могло привести к тому, что были подсечены только фланги промышленных объектов ЗКВ и первичных руд, или они могли быть полностью пропущены.

Прогнозные ресурсы Краснотурьинской металлогенической зоны и сопредельных территорий оцениваются разными авторами высоко. Максимальная оценка дана А.В.Иванищевым, К.П.Савельевой и др. (2005) в 500 т (P_2+P_3) и относилась к территории Краснотурьинской МЗ от г.Ивдель до р.Тагил. Г.В.Ручкин и Ч.Х.Арифлулов оценили ресурсы Краснотурьинской МЗ от северной границы Свердловской области до р.Тура в 350 т (P_3). В обоих случаях в оценку вошли золоторудные месторождения и зоны их окисления («воронцовский тип»), при этом, оценивались главным образом ЗКВ с высокими содержаниями металла.

Но как показала практика на Урале, Салаире, Енисейском кряже, Республике Бурятия и других регионах широко развиты коры выветривания с низкими содержаниями золота. Они обра-

зуются по минерализованным зонам с убогой рассеянной золотоносностью. Этот тип ЗКВ имеет большие объемы при низких содержаниях золота от 0,2 до 0,7 г/т.

Среди формации ЗКВ (остаточная кора выветривания и высокоглинистые россыпи) авторы данной публикации предлагают выделять четыре геолого-технологических типа руд (см. таблицу). За основу типизации

принята классификация, разработанная авторами ранее в 1991, 1995 гг. [2, 13], но с учетом современных требований к содержанию металла в промышленных рудах.

При современных способах извлечения золота почти все перечисленные типы руд могут вовлекаться в эксплуатацию: фабричными способами, кучным выщелачиванием, при привлечении усовершенствованных гравитационных установок.

Наибольшие трудности вызывают бедные и убогие глинистые руды как элювиальные, так и осадочные (пролювиально-аллювиальные), при содержаниях ниже 0,5 г/т. Они не рентабельны для кучного выщелачивания. Применение подземного выщелачивания крайне нежелательно из-за широкого развития карста и воздействия на экологию.

Для локализованных в пределах Винновского участка Актайской площади карстовых золотоносных кор выветривания сотрудники ОАО УГСЭ (А.П.Михайлов и др., 2014) провели предварительную геолого-экономическую оценку. По приведенным ими данным промышленное извлечение золота из убогих карстовых кор выветривания и глинистых россыпей может иметь уровень рентабельности 160% и выше. Карстовые глинистые,

Важнейшее положительное значение карста – сохранность эволюционно-генетического ряда близповерхностных золотых месторождений: эндогенных руд, золотоносных кор выветривания и россыпей

Геолого-технологические типы руд формации золотоносных кор выветривания

Геолого-технологические типы руд	Среднее содержание, г/т	Способы отработки
1. Богатые глинистые руды с преобладанием мелкого, тонкого и тонкодисперсного золота	>0,8	Кучное выщелачивание
2. Бедные глинистые руды с преобладанием мелкого, тонкого и тонкодисперсного золота	0,5–0,8	Кучное выщелачивание
3. Бедные и богатые глинисто-щебнистые руды с крупным, средним и мелким золотом (образованные по кварцевым штокверкам)	0,1–10 и более	Гравитационный с дроблением щебня
4. Убогие глинистые руды с мелким, тонким и тонкодисперсным золотом	0,2–0,5 (100–300 мг/м ³)	Усовершенствованные гравитационные установки

глинисто-щебнистые коры выветривания могут быть отработаны открытым способом с отдельной добычей песков с предварительной вскрышей торфов (при условии применения современных гравитационных аппаратов).

На практике, конечно, все сложнее. Потребуется адаптация современных рациональных технологических схем к непростым условиям эксплуатации. Высокая глинистость часто требует не только механической дезинтеграции, но и применения реагентов для роспуска глинистых (при гравитационных способах) или предварительного окомкования (при кучном выщелачивании).

В настоящее время для извлечения золота из бедных глинистых руд с высоким уровнем ресурсов золота в высокоглинистых рыхлых образованиях, при низких его содержаниях ищут и другие возможности, кроме гидравлически-гравитационных.

Таким образом, несмотря на генетические различия, высокоглинистые пласты россыпей и бедные глинистые руды остаточной коры выветривания, представляют один геолого-технологический тип.

Древние высокоглинистые россыпи состоят из литотипов мало чем отличающихся от кор выветривания: высокие содержания глинистой фракции (40–90%), преобладание свободного мелкого, тонкого и тонкодисперсного золота, особенно в склоново-пролювиальных, озерно-аллювиальных, озерных, морских осадочных фациях. Для них характерны горизонты или линзы с гипергенным ожелезнением в виде пленок, рыхлых охр, бобовин и конкреций Fe и Mn, почти всегда присутствует некоторое количество связанного золота – реликтового или вторичного. На практике золотоносные коры выветривания и древние высокоглинистые пласты не всегда отличаются и вместе обрабатываются с большими потерями золота за счет его тонких классов. По результатам выборочного опробования ЦНИГРИ чаще других встречаются высокоглинистые россыпи с содержаниями 300–600 мг/м³. Но не редко наблюдались и более высокие содержания до 1200–3549 мг/м³ (озерно-аллювиальные отложения, перекрывавшие промыш-

ленный пласт Северо-Воронцовской россыпи, неогеновый пласт Чапинской россыпи) [6].

Вся проблема в больших потерях золота на широко применяемых гравитационных аппаратах. Потери в лабораторных условиях составляли от 30 до 90%, главным образом за счет свободного тонкого и тонкодисперсного золота, а также за счет связанного золота. Часть золота можно доизвлекать из хвостов гравитации по фабричной схеме (содержания от 5–10 до 100 г/т), другая часть свободного золота или связанного с глинистыми минералами оказывается в отвалах или полностью теряется.

Подсчитанные прогнозные ресурсы золота по категориям P₂+P₃ в техногенных и целиковых высокоглинистых россыпях отдельных рудно-россыпных узлов могут составлять от 5 до 30 т (О.А.Агибалов и др., 2014). В пределах этих узлов широко развиты бедные и убогие глинистые руды кор выветривания и россыпей. Золотоносными часто являются остаточные коры выветривания по металлогеническим зонам, озерные глинистые, песчано-глинистые отложения, на которые далеко не всегда обращали внимание.

Бедные и убогие глинистые руды широко развиты во всех рудно-россыпных узлах Краснотурьинской металлогенической зоны.

Намечаются определенные успехи в их освоении: в 13 пробах, отобранных из древних россыпей Актайской депрессии ОАО УГСЭ (2012–2014 гг., А.П.Михайлов и др.) и обработанных в ЦНИГРИ на современной гравитационной установке ПКЦ 300 («Бегущая волна»), с последующим определением содержания золота в хвостах (А.И.Романчук и др.), были получены результаты от 900 до 3500 мг/м³ при классах крупности золота от 0,05 до 0,3 мм. Данные результаты подтверждают присутствие тонкого и тонкодисперсного золота в высокоглинистых отложениях, которое практически не извлекается традиционными методами гравитации. По сравнению с данными промывки на ПОУ-4 м, отдувки золота и отбора его под бинокляром из тех же отложе-

ний, в полученных результатах содержания золота по отдельным пробам увеличиваются в 3–10 раз.

Богатые глинистые руды «воронцовского» типа наиболее желательные объекты, но наиболее редко встречаемые, на всей территории зоны можно ожидать открытия не более 2–3 объектов данного типа. Более вероятно обнаружить несколько объектов богатых глинистых руд с ресурсами до 5 т в пределах ряда рудно-россыпных узлов.

Итак, перспективы Краснотурьинской металлогенической зоны связаны с месторождениями золота формации коры выветривания:

остаточными корами выветривания с богатыми, бедными и убогими глинистыми рудами;

россыпями с высокоглинистыми пластами, в том числе и в нетрадиционных для россыпей Урала литофациях: озерных, прибрежно-морских.

Сравнительно небольшие ресурсы могут быть заключены в ЗКВ по кварцевым полям и штокверкам, но это легко осваиваемые объекты и даже при небольших запасах – рентабельные.

Значительные прогнозные ресурсы МТЗ могут быть заключены в крупнообъемных объектах, представляющих собой полигенетические золотоносные толщи, сложенные фациями конусов выноса золотоносных долин рек Краснотурьинской МЗ ниже пересечения ими зон тектонических уступов – они совершенно не изучены.

Территория Краснотурьинской металлогенической зоны недостаточно и неравномерно охвачена поисково-оценочными работами на ЗКВ. Ресурсы мелкого, тонкого и тонкодисперсного золота высокоглинистых россыпей практически не изучены. Поисковые работы на ЗКВ последних десятилетий нацеливались, главным образом, на обнаружение месторождений «воронцовского» типа. Другим, перечисленным выше типам глинистых руд внимания уделялось мало, либо совсем не уделялось.

Учитывая высокую перспективность месторождений золота формации коры выветривания, авторы данной публикации предлагают усилить геологические работы, сопровождаемые необходимым комплексом геологических исследований, технологическим картированием глинистых образований (малые лабораторные технологические пробы) для определения полного содержания золота и форм его нахождения.

При этих работах желательно обратить внимание на комплексное использование глинистых руд формации

ЗКВ. Прежде всего на содержание минералов платиновой группы (МПГ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранников А.Г. Рудоносность заполненного мезозойского карста на Урале: проблемы изучения // Руды и металлы. 2013. № 4. С. 23–29.
2. Геолого-генетические основы прогноза и поисков месторождений золота в корах выветривания // Н.М.Риндзюнская, Р.О.Берзон, Т.П.Полякова и др. – М.: ЦНИГРИ, 1995.
3. Древние высокоглинистые россыпи Урала с МТЗ – источник восполнения МСБ благородных металлов / О.А.Агибалов, Т.П.Зубова, Е.А.Черемисина и др. // Тезисы докладов литологического совещания ЦНИГРИ. – Москва, 2015. С. 34–39.
4. Золоев К.К., Раннопорт М.С., Попов Б.А. Геологическое развитие и металлогения Урала. – М.: Недра, 1981.
5. Золото Урала. Россыпные месторождения // В.С.Шуб, А.Г.Баранников, И.З.Шуб и др. – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993.
6. Матвеева Е.В., Риндзюнская Н.М. Экзогенные месторождения с мелким и тонким золотом – перспективы XXI в. // Отечественная геология. 1998. № 3. С. 24-32.
7. Николаева Л.А. Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. – М.: Недра, 1978.
8. Петровская Н.В., Яблокова С.В. Золото в корах выветривания // Сб. Рудоносные коры выветривания. – М.: Наука, 1974. С. 173–182.
9. Риндзюнская Н.М., Полякова Т.П., Бобров В.Н. Геолого-минералогическая характеристика зоны гипергенеза Воронцовского золоторудного месторождения // Руды и металлы. 1995. С. 42–52.
10. Сигов А.П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. – М.: «Недра», 1969.
11. Строение и вещественный состав золотоносных КВ Кедровско-Ивдельского рудно-россыпного узла (Северный Урал) / Т.П.Зубова, О.А.Агибалов, Н.М.Иванов и др. // Руды и металлы. 2013. № 4. С. 24–32.
12. Технологии ускоренных поисков месторождений золота в корах выветривания (Методические рекомендации) / Н.М.Риндзюнская, В.Б.Чекваидзе, В.И.Пятницкий и др. – М.: ЦНИГРИ, 1997.
13. Флеров И.Б., Риндзюнская Н.М., Берзон Р.О. Методические рекомендации по поискам россыпей золота, связанных с карстом. – М.: ЦНИГРИ, 1988.
14. Черемисин А.А., Злотник-Хоткевич А.Г. Воронцовское золоторудное месторождение // Руды и металлы. 1997.

Возможные причины и условия тесной ассоциации золота с сульфидами и кварцем

А.П.ЛИХАЧЕВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Показано, что совместное нахождение и концентрирование золота с сульфидами и кварцем обусловлены сходством энергетических свойств составляющих их элементов и образуемых ими соединений. Все они являются вторичными продуктами, формирующимися в гидротермальных процессах преобразования пород земной коры.

Ключевые слова: золото, сульфиды, кварц, вода, магмы, магматические образования, водные растворы, гидротермальные процессы, метасоматоз, месторождения, перспективные площади.

Лихачев Александр Петрович



alexanderlikhachev@rambler.ru

Possible causes and conditions of the close association of gold with sulphides and quartz

A.P.LIKHACHEV

It is shown that the joint presence and concentration of gold with sulphides and quartz due to the similarity of the energy properties of their constituent elements and the forming of connections. All of them are secondary products formed in the hydrothermal processes of conversion crustal rocks.

Key words: gold, sulfides, quartz, water, magma, magmatic formations, aqueous solutions, hydrothermal processes, metasomatism, deposits, promising areas.

Тесная ассоциация золота с сульфидами и кварцем широко известна и хорошо изучена [1, 4, 14–16 и др.]. Однако причины ее во многом остаются неясными. Это снижает эффективность прогноза и поисков золоторудных месторождений, так как наряду с золотоносными, имеются бедные золотом образования сульфидов и кварца.

В статье изложены некоторые подходы к выяснению природы данной закономерности. Делается вывод, что совместное нахождение и концентрирование золота с сульфидами и кварцем обусловлены сходством энергетических свойств составляющих их элементов и образуемых ими соединений. Их общность состоит также в том, что все они являются вторичными продуктами, формирующимися в гидротермальных процессах преобразования пород земной коры.

Энергетические свойства химических элементов наиболее полно проявляются в свободной энергии образования (ΔG°) создающихся ими соединений. В ней сосредоточены практически все основные факторы, влияющие на формирование, существование и поведение веществ. Она контролирует их растворимость и устойчивость в твердых, жидких и газовых состояниях и средах, очередность перехода элементов в раствор и

расплав, как и последовательность выделения из них и др. [6–8, 18].

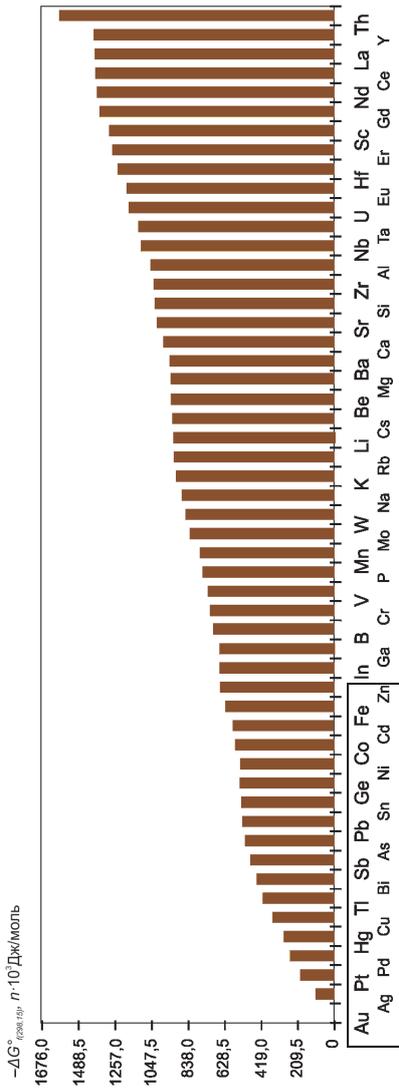
Для выяснения рассматриваемых вопросов наиболее важным является определение закономерностей поведения химических элементов в процессах гидротермального растворения, переноса и отложения веществ.

Ранее было показано [6, 18], что по величине свободной энергии образования ионов и нейтральных молекул в водных растворах химические элементы располагаются в определенной последовательности, формируя единый энергетический (термодинамический) ряд (рис. 1). Каждый правостоящий элемент этого ряда является более предпочтительным и стабильным в водных растворах по сравнению с левостоящими элементами [6, 18]. Подобно химические элементы располагаются и для твердых соединений [7], величины ΔG° которых отражают энергию (силу) связи элементов в решетках минеральных фаз.

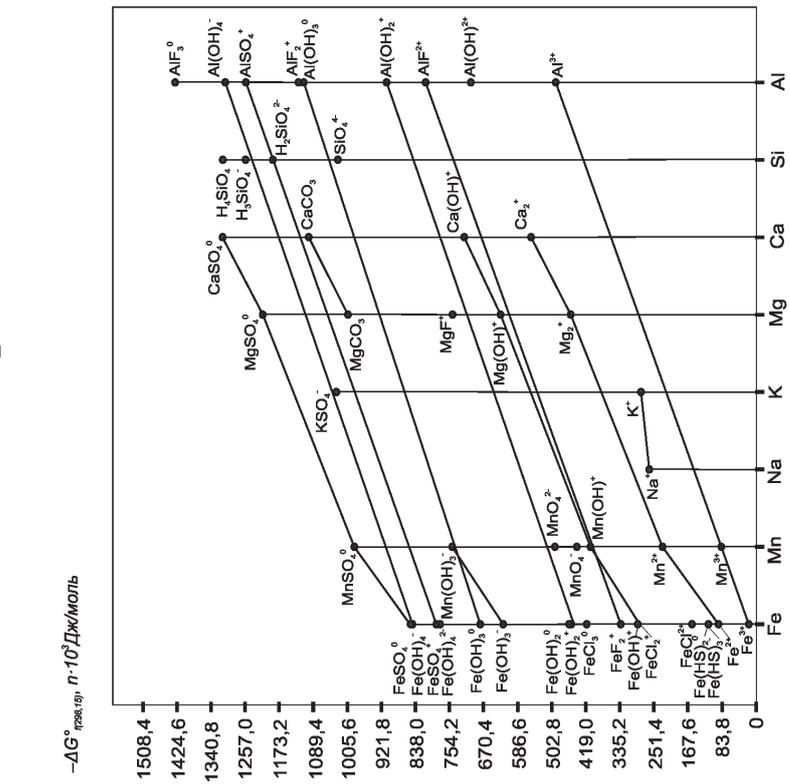
Таким образом, возможность перехода каждого элемента в раствор зависит от соотношения величин энергии (силы) его связи в твердом (растворяющемся) веществе и в растворе. Если энергия связи элемента в исходном веществе будет больше, чем в водном растворе, то он остается в твердом соединении. И, наоборот, пре-

Рис. 1. Термодинамический ряд химических элементов [6, 18]: величины свободных энергий образования ионов и нейтральных молекул в водных растворах, по работе [12]:

А – единый ряд в обобщенных значениях; конкретные формы и значения для элементов: Б – рудогенных и В – петрогенных



А



вышение энергии связи элемента в ионах и молекулах растворителя обеспечивает его предпочтительный переход в раствор, если этому не мешают другие причины и факторы. К последним относятся: количественные соотношения между раствором и растворяемым веществом; состояние растворяемого вещества и характер его взаимоотношения с раствором; количество и характер распределения компонентов в исходной массе [6, 18].

В природных условиях доминируют ситуации, когда количество элементов растворяемых веществ резко преобладает над содержанием в растворе лигандов – основных носителей растворенных компонентов. При этом возникает энергетическая конкуренция между элементами исходного вещества в отношении способности, предпочтительности и очередности их поступления в раствор, то есть соединения с имеющимися в растворе лигандами. В результате в раствор обычно, в первую очередь, поступает правостоящий в термодинамическом ряду элемент, создающий наиболее прочные связи с лигандами. В это время другие элементы остаются в исходном веществе, хотя они могут вступать в межфазные перераспределения. Лишь после выноса преобладающей части энергетически предпочтительного элемента из растворяемого материала и зоны растворения, в раствор поступает следующий по предпочтительности элемент, и так далее вплоть до полного переноса вещества.

Поочередный вынос элементов из исходного материала и зоны растворения приводит к образованию химической и минеральной зональности в местах отложения веществ [7, 8]. Примером такой зональности могут служить продукты, полученные автором публикации при гидротермальном переотложении сульфидных руд месторождений Норильского района и Урала (рис. 2).

На рис. 1, Б выделено расположение основных рудогенных элементов по величине свободных энергий образования создающихся ими ионов и нейтральных молекул в водных растворах. Крайнее левое положение в этом ряду занимает золото, что свидетельствует о его самой низкой энергетической возможности нахождения (растворимости) в водных растворах по сравнению с другими приведенными элементами и по отношению ко всем остальным химическим элементам. Эти данные, а также данные по величинам свободной энергии образования твердых соединений [7], указывают на энергетическую возможность и выгодность нахождения золота и ближайших к нему элементов (Ag, Pt, Pd, Hg) в собственных соединениях, чем объясняется способность и причина их существования в самородном виде.

Петрогенные элементы в термодинамическом ряду занимают более правую позицию по сравнению с рассматриваемыми рудогенными элементами как для водных растворов (см. рис. 1), так и для твердых образова-

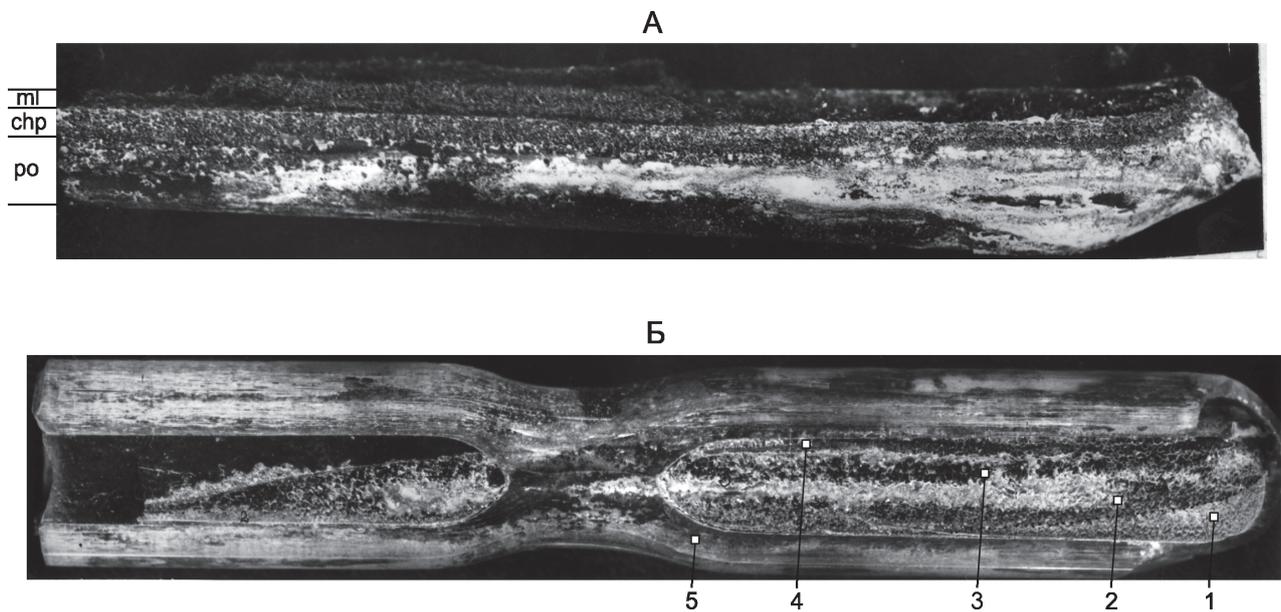


Рис. 2. Синтетические сульфидные «залежи» [8]:

А – вертикально дифференцированная, полученная в процессе гидротермального переотложения халькопирит-пентландит-пирротиновых руд месторождения Норильск I; слои: po – пирротиновый, chp – халькопиритовый, ml – миллеритовый (неплотные сростания игольчатых кристаллов), ув. 2,5; Б – вертикально и горизонтально дифференцированная, полученная при гидротермальном переотложении галенит-сфалерит-халькопирит-борнит-пиритовой ассоциации месторождения III Интернационал; слои: 1 – существенно сфалеритовый, 2 – существенно пиритовый, 3 – существенно борнитовый, 4 – зона частого переслаивания тонких минеральных слоев борнита, халькопирита, пирита, 5 – кварцевая ампула, ув. 2

ний [7], что в целом свидетельствует о большей устойчивости их соединений. Однако в природных условиях эти элементы обычно создают сложные по составу минеральные формы, свободная энергия образования которых отражает суммарный эффект, но не энергию связи отдельного элемента. Поэтому величина последней всегда ниже, чем общая свободная энергия образования минерала. Вместе с тем, энергия связи одного и того же элемента в простых соединениях может быть больше, чем в сложных. Иначе говоря, простые соединения с относительно низкой свободной энергией образования могут обладать большей устойчивостью к растворению и плавлению, чем сложные, имеющие большую свободную энергию образования. Примером тому является кварц.

Различие в энергиях связи элементов, входящих в состав сложных соединений, является причиной проявления парциального плавления и инконгруэнтного растворения минеральных веществ. Например, в оливине энергия связи левостоящего в энергетическом ряду железа (см. рис. 1) ниже ($\Delta G^\circ \text{Fe}_2\text{SiO}_4 = -1482,3$ Дж/моль), чем правостоящего магния ($\Delta G^\circ \text{Mg}_2\text{SiO}_4 = -2175,4$ Дж/моль). Вследствие этого при нагреве оливина в расплав и в раствор внача-

ле переходит богатая железом («фаялитовая») составляющая. За счет нее при кристаллизации расплава в природных условиях образуются обогащенные железом продукты типа магматических пород (комплексов) основного состава с магнетитовыми горизонтами, а в гидротермальных процессах – происходит отложение веществ кварц-железородных формаций, например, по реакции $3\text{Fe}_2\text{SiO}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{SiO}_2$.

В водных растворах петрогенные элементы могут находиться в формах, показанных на рис. 1, В, а в твердых соединениях – на рис. 3, на котором видно, что кварц занимает самую низкую (левостоящую) позицию в ряду свободных энергий образования главнейших породообразующих минералов, как и золото в ряду химических элементов (см. рис. 1). Но, несмотря на это, энергия связи кремния с кислородом в кварце более высокая, чем у многих других элементов, входящих в состав сложных минеральных соединений (см. рис. 3), в том числе и в связи с тем, что в общем термодинамическом ряду (см. рис. 1) Si находится в более правой позиции и благодаря этому образует более прочные соединения по сравнению с большинством других петрогенных элементов. Поэтому кварц, подобно золоту,

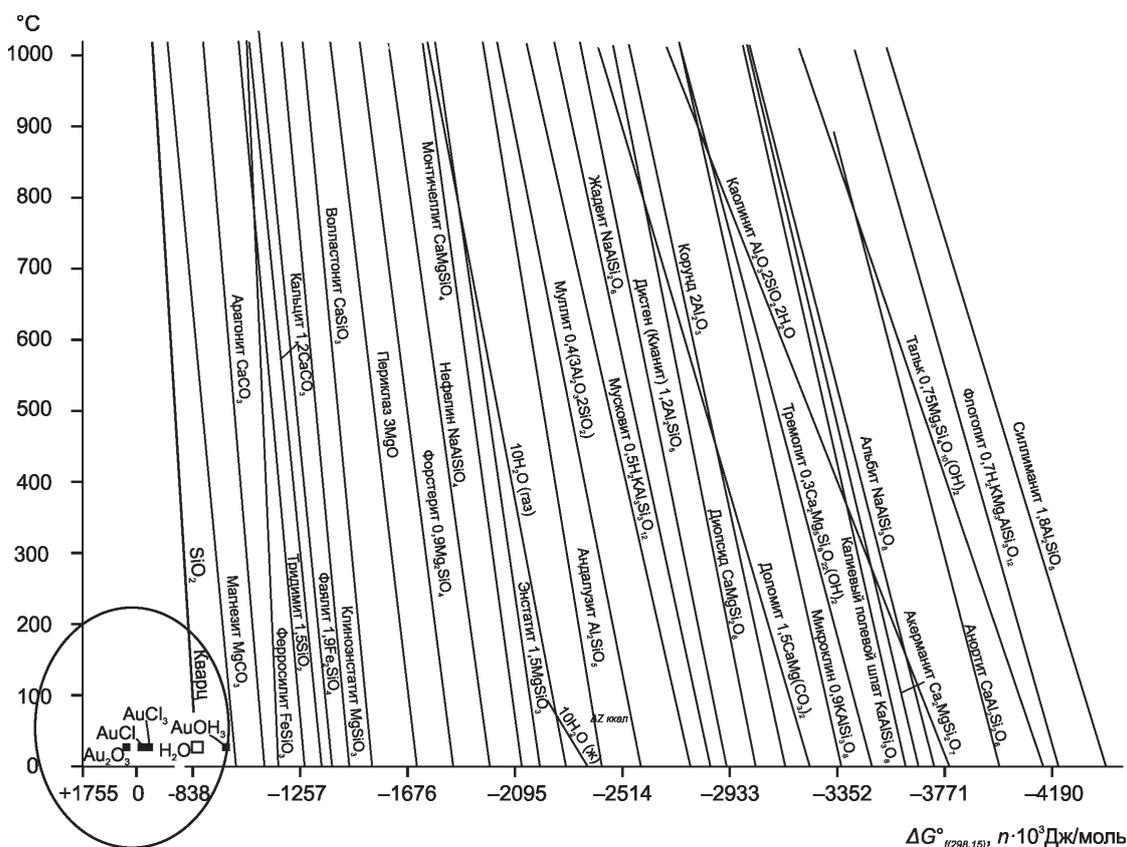


Рис. 3. Диаграмма зависимости от температуры изобарных потенциалов образования главнейших породообразующих минералов, по работе [11], соединения Au и H₂O, по работе [12]

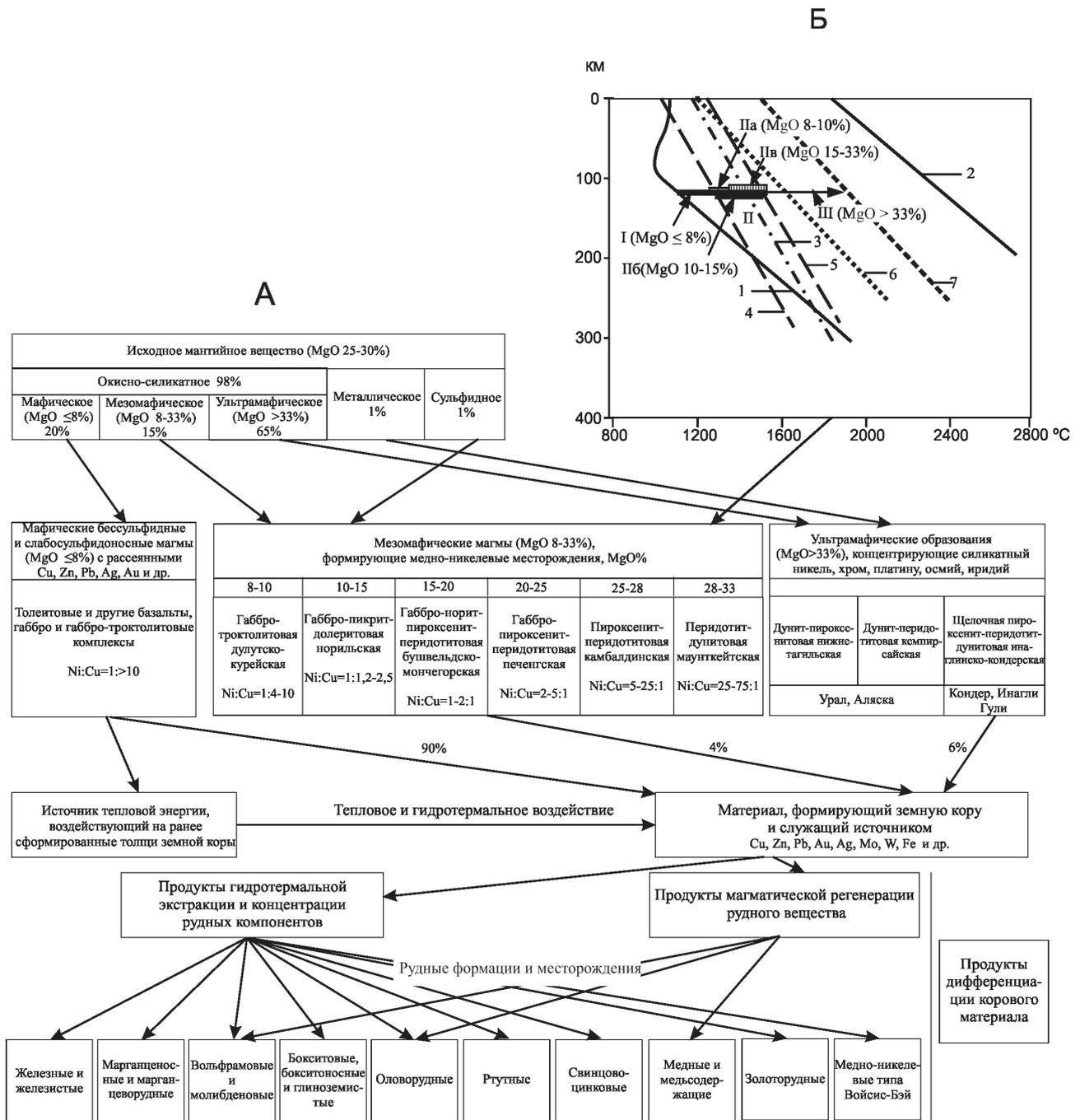


Рис. 4. Схемы генетической взаимосвязи магматических и гидротермальных рудоносных формаций и месторождений [8]:

А – общая взаимосвязь; Б – условия образования магматических продуктов: 1, 2 – линии солидуса и ликвидуса пиролита, содержащего 0,1% воды [20]; 3 – линия солидуса пирротина [3, 19]; 4, 5 – предполагаемые линии солидуса и ликвидуса сульфидов мантии; 6 – сухой солидус перидотита; I – участок зарождения сравнительно низкотемпературных бессульфидных и слабосульфидоносных магм (MgO ≤8%); участки зарождения сульфидоносных магм: IIa – относительно низкотемпературных (MgO 8–10%), несущих богатые медью (по отношению к никелю) сульфиды (Ni:Cu=1:2,5–10), IIб – среднетемпературных (Mg 10–15%), включающих всю сульфидную фракцию исходного вещества (Ni:Cu=1:1,2–2,5), IIв – высокотемпературных (MgO 15–33%), содержащих бедные медью сульфиды (Ni:Cu=1->10:1); III – участок образования бессульфидных высокотемпературных магм ультрамафического состава (MgO >33%)

плохо растворим в гидротермальных растворах, что сближает их поведение и определяет совместное нахождение и отложение в гидротермальных процессах.

Как видно из рис. 1, по своим энергетическим свойствам золото располагается в одной группе с другими рудогенными (халькофильными) элементами, большая часть которых проявлена в природе преимущественно в соединениях с серой. Поэтому его нахождение в ассоциации с сульфидами вполне закономерно.

В первичном материале мантии, являющимся первоисточником всех составляющих земной коры, золото может находиться преимущественно в металлической и сульфидной фракциях (рис. 4), подобно тому, как оно распределяется в метеоритном веществе [17].

При парциальном плавлении материала мантии, продуцирующим первичное вещество земной коры, образуются различные виды магм, имеющие определенный силикатный и рудный состав, зависящий от степени плавления исходного материала (см. рис. 4). Наименее магнезиальные магмы ($MgO < 8$ массовых долей %), отражающие наименьшую степень ($< 15\%$) плавления мантийного вещества, соответствуют базальт-андезитовому составу и содержат небольшую по количеству самую легкоплавкую, обогащенную цветными металлами и золотом, часть первичной сульфидной фракции, в значительной мере растворяющуюся в силикатном расплаве. Именно эти мафические и менее основные (субмафические) продукты плавления мантийного материала являются первичным источником золота и других благородных и цветных металлов гидротермальных месторождений, формирующихся в процессах водного преобразования вещества земной коры. В случаях больших степеней плавления мантийного материала образуются более магнезиальные продукты с соответствующими составами рудного вещества (см. рис. 4).

Возможность растворения рудных компонентов в силикатном расплаве подтверждается их нахождением в первичных порообразующих минералах (табл. 1), а содержание в магмах рудных веществ отражено в валовом составе формирующихся за счет них пород (табл. 2).

Как видно из приведенных данных, мафические и субмафические магмы и образованные ими породы характеризуются сравнительно низкими содержаниями рудных компонентов. Для их извлечения и концентрирования до образования месторождений требуется интенсивная гидротермальная переработка больших объемов исходных пород, находящихся в сравнительно «рыхлом» состоянии, которая возможна только при наличии больших масс воды и источников тепла, обеспечивающих разогрев пород, а также растворение, перенос и отложение веществ.

К территориям и структурам с подобными характеристиками относятся вулканические пояса [1], а среди них особенно благоприятны островодужные зоны, где доминирует базальт-андезито-дацитовый магматизм, приводящий к образованию относительно «пористых» по-

род. В таких зонах проявлены большая обводненность и длительная интенсивная циркуляция водных растворов, охватывающая все формирующиеся в этих условиях образования магматических и осадочных толщ.

Принципиальная особенность островодужных обстановок состоит в том, что в протекающих в их пределах гидротермальных процессах определяющую роль играет вода погружающихся в мантию океанических плит, находящаяся в межзерновых пространствах и в составе водных (гидратированных) минералов. Обе эти разновидности характеризуются отсутствием свободного кислорода, что препятствует формированию (при метасоматических преобразованиях пород) магнетита, который поглощает (растворяет в себе) большую часть золота, препятствуя его скоплению и образованию золоторудных ассоциаций [10]. По этой причине большинство известных месторождений золота, независимо от их возраста и происхождения, находится преимущественно в немагнитных и слабомагнитных полях земной коры [9].

Причины, условия и время образования природных скоплений кварца рассмотрены автором в последующей работе. В ней показано, что кварц, как и золото, в массовых проявлениях является вторичным продуктом, формирующимся путем преобразования более ранних пород под воздействием воды. Его выделение и накопление, как и концентрирование Au, стало возможным только с появлением супракрустальных (~3800 млн. лет назад) и более поздних образований земной коры.

Сближение золота с кварцем начинается на стадии плавления мантийного вещества в случае наличия воды, снижающей температуру его солидуса и обеспечивающей зарождение базальт-андезито-дацитовых магм ($MgO < 8$ массовых долей %), содержащих в рассеянном виде наиболее легкоплавкую медистую часть исходных (мантийных) сульфидов с золотом и полиметаллами и продуцирующих при своей кристаллизации самостоятельные выделения кварца.

Совместное концентрирование золота с кварцем и сульфидами осуществляется в последующих процессах формирования земной коры и преобразования ее веществ преимущественно в водных средах и под воздействием воды. При этом создается практически непрерывный ряд золотоносных продуктов, изменяющийся от бескварцевых существенно сульфидных, через сульфидно-кварцевые до преимущественно кварцевых разновидностей, и соответствующие им месторождения золота.

Возможность появления каждой из этих разновидностей зависит от стадии и степени преобразования исходных материалов. Преимущественно сульфидные разновидности образуются за счет сульфидной составляющей исходного материала на ранней стадии процесса водного преобразования веществ, так как ей свойственен переход в раствор наименее энергетически связанных элементов, находящихся в сульфидных соединениях. Две другие ассоциации последовательно появляются в

1. Содержание рудных компонентов в оливинах трапповых вулкаников Норильского района

SiO ₂	MgO	NiO	Cu	Zn	Co
38,57	39,11	0,10	0,69	188	209
38,57	38,90	0,08	0,66	206	199
38,80	40,46	0,13	1,06	169	199
38,82	39,83	0,09	0,78	187	200
39,00	41,36	0,13	1,04	150	203
38,90	40,71	0,13	1,27	178	208
38,91	40,42	0,09	0,99	185	204
38,85	40,67	0,12	1,15	163	199
39,07	41,56	0,16	1,00	160	207
39,06	41,34	0,14	0,85	151	197
38,88	40,69	0,10	0,98	159	202
38,80	40,20	0,08	0,86	177	202
39,00	41,31	0,14	0,95	134	181
39,01	41,17	0,13	1,07	156	211
38,56	39,69	0,09	0,94	199	209
39,05	41,49	0,13	0,89	156	208
38,91	41,03	0,12	1,09	154	198
39,05	41,39	0,15	1,12	150	194
38,36	38,34	0,08	0,64	199	208
39,09	41,14	0,13	0,94	155	187
38,81	40,20	0,11	0,86	188	206
38,96	40,96	0,13	1,10	164	202
38,84	40,64	0,10	1,16	178	202
38,97	41,39	0,13	0,85	148	191
38,99	40,94	0,12	1,00	162	197
38,48	38,66	0,08	0,64	222	215
39,08	41,43	0,14	1,23	144	190
38,88	41,25	0,167	1,25	161	187
39,39	40,77	0,093	0,81	173	207
39,22	40,37	0,09	0,94	185	201
39,15	39,99	0,104	0,94	179	194
38,7	38,36	0,088	0,66	216	208
39,3	42,09	0,191	1,55	154	192
38,95	40,04	0,092	0,78	187	194
38,4	37,58	0,088	0,63	214	199
38,61	38,47	0,086	0,73	196	193
38,58	39,22	0,086	0,87	194	192
38,97	40,13	0,086	0,81	184	195
38,33	37,81	0,09	0,67	205	197

Примечание. Здесь и в таблицах 2 и 3 оксиды – в массовых долях %, элементы – в ppm [5].

2. Содержание рудных компонентов в трапповых вулканитах Норильского района (MgO <8%)

SiO ₂	MgO	NiO	Cu	Zn	Co
50,98	4,76	41	31	114	241
52,87	2,96	20	19	172	405
50,27	4,65	90	46	117	117
48,81	7,65	122	127	81	49
53,48	7,27	26	29	90	43
53,28	6,80	31	40	87	42
52,59	6,49	25	33	105	41
50,38	6,72	128	92	104	52
51,90	6,78	81	135	107	49
50,28	7,41	126	134	96	53
50,38	7,76	139	153	97	53
49,98	7,02	113	118	95	50
49,74	7,04	101	137	92	47
49,22	7,01	126	59	98	50
50,03	7,00	130	167	112	52
49,22	7,01	126	59	98	50
49,74	7,04	101	137	92	47
48,90	7,16	127	181	108	51
49,64	7,19	126	153	101	50
52,07	7,53	49	286	124	136
52,40	6,63	52	420	153	123
53,61	6,50	47	200	122	128
53,23	5,89	40	319	129	142
52,64	6,25	39	36	84	40
52,72	6,37	19	22	86	35
53,13	6,47	19	15	97	39
48,45	7,64	120	82	88	47
49,34	7,06	128	133	95	51
50,30	7,10	139	139	89	54

ходе продолжения или реализации нового (повторного на том же месте) процесса водного преобразования исходных материалов с постепенным снижением участия сульфидного вещества и увеличением роли силикатного (в том числе включенного в силикатах золота) до формирования золотоносных кварцевых выделений.

Золотоносные и другие рудные продукты преобразования исходных веществ формируются преимущественно в проточных (в том числе рециклинговых) процессах, которые охватывают большие массы исходного материала и обеспечивают перенос химических элементов на значительные расстояния. Безрудные же продукты характерны для процессов преобразования веществ в условиях медленной их пропитки растворами, можно сказать, «in situ». Например, при гидратации и дегидратации породообразующих минералов без привноса и выноса компонентов, за исключением

воды. Проточные процессы могут приводить к образованию золотоносных мономинеральных продуктов типа кварцевых жил, а процессы «in situ» в основном формируют полиминеральные ассоциации, которые обычно не содержат существенного количества золота.

Образование золоторудных как и многих других месторождений происходит главным образом экстракционно-концентрационным путем с выносом компонентов в одном месте и отложением их в другом. Необходимое условие для этого – предварительное концентрирование золота и других рудных компонентов действующим процессом гидротермального преобразования веществ, либо предшествующими процессами. Если такового нет, то формируются кварцевые и сульфидные ассоциации, не содержащие промышленного золота.

Причина состоит в том, что первоначально в исходных материалах золото и другие рудные компоненты

обычно существуют в рассеянном состоянии. В первичных источниках – вулканитах они довольно равномерно распределены как металлические и сульфидные частицы, в основном включенные в породообразующие минералы, стекло и пепел. При этом весь вулканический материал вначале находится в закаленном состоянии с неупорядоченными структурами минеральных фаз, что связано с быстрым охлаждением магм, изливающихся на дно водоемов, либо на земную поверхность.

Исходный материал такого типа и в подобном состоянии обычно не пригоден для образования существенных скоплений рудных веществ из-за сложности их извлечения, требующего практически полного растворения и выноса минеральной среды, вмещающей рассеянные рудные компоненты. Но даже в случае такой возможности они чаще не концентрируются, а рассеиваются и уносятся водным потоком вместе с веществом растворяющейся основной массы. Некоторое исключение составляют процессы, приводящие к образованию кор выветривания и протекающие в условиях первоочередного выноса петрогенных элементов и накопления в остатке слаборастворимых золота и кварца.

Преимущественно в рассеянном состоянии золото и другие рудные компоненты находятся и в осадочных (в том числе черносланцевых) породах, если не считать их скопление в ранее образованных россыпях и других месторождениях. Поэтому и в них для гидротермального накопления золота в большинстве случаев требуется предварительное его концентрирование, возможно иногда и механическим путем.

Предварительное концентрирование рассеянного золота и других веществ, заключенных в породообразующих и рудных минералах, как и в их межзерновых пространствах, происходит при последующем нагреве (метаморфизме) закаленных и неупорядоченных вулканитов и иных пород в гидротермальных и «сухих» условиях. При этом находящиеся в твердых растворах «избыточные» компоненты выделяются из них и концентрируются в виде самостоятельных фаз сначала внутри полей (зерен) твердых растворов, а затем в свободных межзерновых пространствах и ослабленных участках подверженных нагреву материалов. В итоге первоначально рассеянные вещества становятся легкодоступными для растворения, переноса и дальнейшего концентрирования водными растворами.

В качестве примера таких процессов могут служить полученные автором результаты в экспериментах по нагреву и гидротермальному переотложению сульфидных руд норильских месторождений. В них никель, растворенный в исходных пирротинном (mss) и халькопиритовом (iss) твердых растворах, сначала выделялся в виде мелких частиц пентландита, рассредоточенных по всему полю минерала-хозяина (рис. 5, Б–Г), а затем концентрировался преимущественно в межзерновых пространствах (см. рис. 5, Д). Подобным образом выделяются железо, никель, кобальт, цинк, МПГ и другие элементы из оливина при его нагреве и гидратации (серпентинизации) с концентрацией и выделением в свободных и ослабленных участках в виде магнетита (см. рис. 5, А), гетита, самородного никеля, кобальта,

3. Содержание рудных компонентов в островодужных вулканитах Карабаха (MgO <8%)

SiO ₂	MgO	Ni	Cu	Zn	Co	Pb
60,85	2,59	6,02	32,76	73,3	8,0	1,73
50,38	5,21	31,27	43,87	92,7	30,9	2,63
57,13	4,27	16,69	192,4	79,1	22,5	2,65
54,15	1,94	22,8	91,23	73,3	24,2	1,98
54,6	4,30	40,28	104,6	93,9	28,3	3,47
59,47	1,84	49,94	17,7	116,4	9,0	1,91
47,64	5,30	96,72	27,83	120,2	40,3	0,68
80,99	0,32	23,26	6,77	12,5	1,1	0,65
66,64	1,31	50,79	25,18	13,3	5,4	1,73
63,28	3,07	71,6	14,77	45,6	13,9	3,44
58,14	3,26	55,12	3,71	46,6	15,6	2,59
63,11	2,07	38,33	12,9	39,9	10,6	2,0
59,96	3,82	58,76	11,65	48,7	19,4	3,29
63,93	2,99	75,24	4,47	53,2	13,0	7,83
63,94	2,27	35,00	17,89	46,5	12,4	3,12
65,10	2,67	66,69	22,25	28,9	11,2	13,71
64,32	3,15	103,1	20,6	33,6	10,7	12,11
63,87	2,21	53,71	32,15	66,1	9,4	22,88

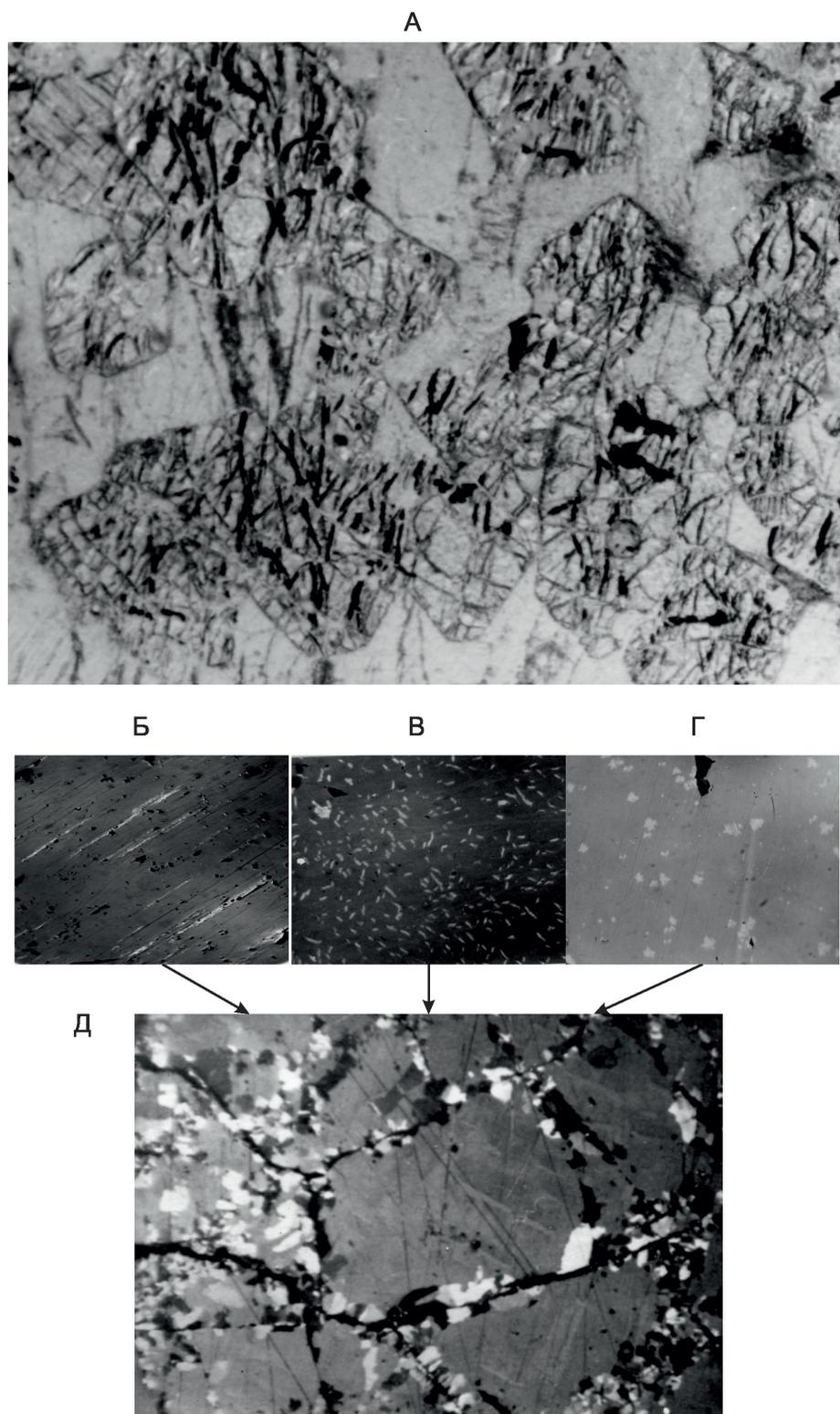


Рис. 5. Концентрирование и выделение рудных компонентов твердых растворов при их нагреве и охлаждении:

А – выделения магнетита (черное) при серпентинизации оливина пикритового габбро-долерита Талнахского интрузива, ув. ~ 15 раз; Б, В, Г – выделения пентландита (белое) из пирротинового – mss (Б) и халькопиритового – iss (В, Г) твердых растворов – синтетические продукты, полученные при кристаллизации сульфидных расплавов, ув. ~ 100 раз; Д – концентрация пентландита (белое) при нагреве ($\sim 350^\circ\text{C}$) синтетических mss и iss в вакуумированных кварцевых ампулах, ув. ~ 150 раз

хизлевудита, пентландита и иных фаз [13].

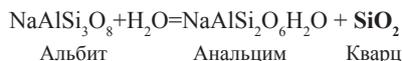
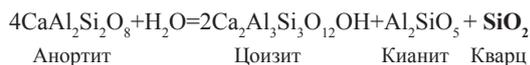
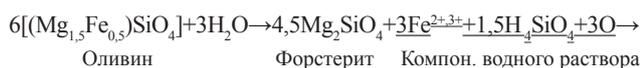
Рассматриваемый процесс экстракции и концентрации химических элементов в твердых средах (минералах, рудах и породах) при их нагреве имеет принципиальное значение. Дело в том, что с нагревом минеральных фаз обычно связывается обратное явление, а именно, гомогенизация нагреваемого вещества. На этом, в частности, основываются методы получения однородных материалов для экспериментов, определения температуры кристаллизации минералов и др.

Гомогенизация веществ в основном происходит при высоких температурах (обычно >500° С) и при сравнительно низкотемпературной устойчивости растворяющихся фаз. А дезинтеграция осуществляется в случаях более низких температур, при которых устойчивы выделяемые минеральные фазы, тем более, если в веществе и во всей системе имеются какие-либо ослабленные участки и свободные пространства.

Дезинтеграция веществ совершается и при высоких температурах их нагрева, в том числе, в случае высокотемпературной устойчивости новых (эксклюзионных) фаз и наличия свободного пространства для миграции химических элементов. Например, в наших экспериментах по нагреву образцов халькопиритовых руд норильских месторождений наблюдалось преобразование *iss* не только за счет примесных, но и основных рудообразующих элементов. В частности, в результате миграции и потери железа и серы исходный халькопирит превращался сначала в талнахит, затем борнит, халькозин до металлической меди [6, 18].

Предварительная концентрация рудных веществ в природных обстановках происходит в период разогрева (в первую и вторую стадии преобразования) исходных материалов и в основном связана с их медленной пропиткой гидротермальными растворами, сопровождающейся гидратацией минеральных фаз. Она протекает в условиях «*in situ*», но может осуществляться и в последующем, во время развития проточного процесса, когда неоднократно смещается область замыкания циркуляционной ячейки, являющаяся местом отложения растворенных компонентов.

В это же время происходит и предварительная концентрация кварца, реализуемая главным образом при гидратации первичных минералов, например, в следующих реакциях:



При этом образуются преимущественно вкрапленные выделения кварца, располагающиеся, как и рудные вещества (золото, сульфиды) в интерстиционных пространствах. В результате на данном этапе происходит встреча и объединение в общую ассоциацию трех рассматриваемых составляющих – золота, сульфидов и кварца. К тому же, совместно концентрируясь в ослабленных участках и свободных пространствах (микро- и макротрещинах), они оказываются на пути наиболее интенсивного движения водных растворов и в максимально благоприятной обстановке для их растворения, переноса и накопления. В таких условиях в раствор в первую очередь поступают не элементы вмещающей силикатной среды, которые уже достигли равновесного отношения с водой, а именно межфазные скопления золота, сульфидов и кварца. Причем вынос их осуществляется с некоторым опережением сульфидной составляющей, что приводит к образованию упоминавшихся выше трех основных золоторудных разновидностей: существенно сульфидных, сульфидно-кварцевых и преимущественно кварцевых.

Предварительная концентрация золота и других веществ необходима, но не достаточна для формирования месторождения. Для этого требуется последующая интенсивная и длительная циркуляция гидротермальных растворов, которые особенно свойственны, как уже говорилось, островодужным системам.

В природных условиях возможны ситуации, когда процесс останавливается на стадии предварительной концентрации рудных веществ. Тогда образуется сравнительно бедная минерализация в основном рассеянного и вкрапленного характера. Но в одном и том же рудном поле могут быть участки с предварительной (частичной) и полной (промышленной) концентрацией рудных веществ. Поэтому обнаружение сравнительно бедной рудной минерализации целесообразно рассматривать как указание на возможность существования промышленной, что обычно и делается на практике.

Для выявления перспективных участков можно использовать также свойственные им прожилково-жильные проявления кварца и других породо- и рудообразующих минералов, формирующихся, как и скопления промышленных руд, в основном в «проточных» условиях гидротермального преобразования веществ, но не в малопродуктивных условиях «*in situ*».

По материалам статьи можно сделать следующие основные выводы.

1. Тесная ассоциация золота с сульфидами и кварцем обусловлена сходством энергетических свойств слагающих их элементов и образуемых ими соединений, которые

определяют поведение веществ в природных процессах.

2. В первичных источниках (исходных материалах мантии и земной коры) рассматриваемые вещества содержатся в небольших количествах ($Au < 1 \text{ г/т}$, $Sph \leq 0,1\%$, $Qz \leq 3\%$) и находятся в рассеянном (рассредоточенном) состоянии.

3. Извлечение, объединение и накопление золота, сульфидов и кварца происходит при гидротермальных процессах преобразования материалов мантии и земной коры.

4. Для образования промышленных скоплений рудных веществ требуется предварительная их концентрация, реализуемая в ходе разогрева и медленной пропитки водными растворами (гидратации) исходных материалов с возможностью дополнительного их концентрирования путем многоступенчатого локального переотложения.

5. Промышленная концентрация золота и сульфидов осуществляется на стадии активного движения и действия гидротермальных процессов в «проточном» режиме, который обеспечивает поэлементный вынос и пространственное разделение веществ с формированием рудных тел, а также прожилково-жильных проявлений кварца и других пороодо- и рудообразующих минералов.

6. Перспективными на обнаружение месторождений золота и цветных металлов являются структуры и площади, подвергшиеся интенсивному гидротермальному преобразованию и содержащие прожилково-жильные проявления кварца и других пороодо- и рудообразующих минералов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков А.В., Сидоров А.А., Старостин В.И. Металлогения вулканогенных поясов и зон активизации. – М.: Макспресс, 2014.
2. Галоян К.Л., Мелконян Р.Л., Чунг С.-Л. и др. К петрологии и геохимии юрских островодужных магматитов Карабахского сегмента Сомхето-Карабахского террейна // Известия НАН РА, Науки о Земле. 2013. Т. 66. № 1. С. 3–22.
3. Кеннеди Дж.Р., Рыженко Б.Н. Влияние давления на эвтектики в системах Fe–FeS // Геохимия. 1973. № 9. С. 1392–1396.
4. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. – М.: Научный мир, 2000.
5. Криволицкая Н.А. Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в Норильском районе. – М.: Товарищество научного издания КМК, 2014.
6. Лихачев А.П. О переотложении рудогенных и петрогенных компонентов водными растворами // Геохимия. 1975. № 10. С. 1459–1474.
7. Лихачев А.П. О поведении химических элементов в магматических и гидротермальных процессах // ЗВМО. 1975. Вып. 6. С. 649–663.
8. Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006.
9. Лихачев А.П. Общая закономерность размещения месторождений золота по глубинным геофизическим данным // Отечественная геология. 2012. № 6. С. 13–29.
10. Лихачев А.П. Причины и условия существования магнитных и немагнитных полей земной коры, определяющих формирование и размещение месторождений золота, алмазов, нефти, газа и других полезных ископаемых // Отечественная геология. 2013. № 6. С. 40–50.
11. Маракушев А.А. Термодинамика метаморфической гидратации минералов. – М.: Наука, 1968.
12. Наумов Г.Б., Рыженко Б.Н., Ходаковский И.Л. Справочник термодинамических величин. – М.: Атомиздат, 1971.
13. Рамдор П. О широко распространенном парагенезисе рудных минералов, возникающих при серпентинизации // Геология рудных месторождений. 1967. № 2. С. 32–43.
14. Шер С.Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). – М.: Недра, 1972.
15. Шер С.Д. Металлогения золота (Евразия, Африка, Южная Америка). – М.: Недра, 1974.
16. Boyle R.W. The Geochemistry of Gold and its Deposits (together with a chapter on geochemical prospecting for the element). Minister of Supply and Services. Canada. 1979. Pp. 584.
17. Brown H.A. A table of relative abundances of nuclear species // Rev. mod. phys. 1949. Vol. 21. Pp. 625–634.
18. Likhachev A.P. Redeposition of ore-producing and petrogenetic components by aqueous solutions // Geochemistry Internat. 1975. Vol. 12. Pp. 101–113.
19. Sharp W.E. Melting curves of sphalerite, galena, and pyrrhotite and decomposition curve of pyrite between 30–65 kilobars // J. Geophys. Res. 1969. Vol. 74. No. 6. Pp. 1646–1652.
20. Wyllie P.J. Experimental limits for melting in the Earth's crust and upper mantle // Geophys. Monog. Ser. 1971. Vol. 14. Pp. 279–301.

Комплекс геохимических признаков для обоснования прогноза оруденения на глубину (на примере месторождений золотосульфидно-кварцевой и золотосеребряной формаций)

С.А.МИЛЯЕВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

На основе построения параметрических моделей разрезов месторождений золотосульфидно-кварцевой и золотосеребряной формаций с учетом коэффициентов подобия и данных анализа вертикальной геохимической зональности проводится прогнозная оценка оруденения на глубину.

Ключевые слова: прогноз оруденения, коэффициент подобия, геохимическая зональность.

Миляев Сергей Анатольевич



sermil52@yandex.ru

Complex geochemical characteristics as justification for the prediction of the mineralization at depth (for example, fields of gold-sulfide-quartz and gold-silver formations)

S.A.MILYAEV

On the basis of construction of parametric models incisions fields of gold-sulfide-quartz and gold-silver formations to the coefficients of similarity and data analysis vertical geochemical zonation is carried out predictive assessment of mineralization at depth.

Key words: forecast of mineralization, the coefficient of similarity, geochemical zoning.

При прогнозной оценке оруденения на глубину следует учитывать комплекс геохимических признаков, наиболее важными из которых являются коэффициент подобия и вертикальная геохимическая зональность. Количественными характеристиками зональности в любой точке служат геохимические показатели зональности v – безразмерные величины отношений между содержаниями типоморфных химических элементов. Исследование зональности месторождений направлено на установление рядов последовательного отложения рудных элементов и отыскание контрастных геохимических показателей зональности v . Решение этой задачи возможно с применением специальных программ. Наиболее совершенная, отвечающая запросам практики, – программа «Нью-2» [1] предназначена для выявления рядов зонального отложения элементов, автоматического отыскания общих монотонных, то есть однонаправлено изменяющихся вдоль заданного направления показателей зональности, вычисления их значений и построения графиков изменения этих показателей по исследованным уровням, а также анализа их структуры. Для прогнозной оценки изучаемых объектов на разных стадиях геологоразведочных работ привлекается принцип подобия, обоснование и последовательное развитие которого при-

нительно к полезным ископаемым принадлежит А.П.Соловову, сформулировавшему его в 1968 г.: «Генетически однотипные месторождения различной крупности являются геометрическими и геохимическими фигурами подобия».

Рудные тела (месторождения) одного формационного типа, отличающиеся по объемам и запасам полезного ископаемого, характеризуются близкой формой с устойчивыми отношениями между линейными размерами залежей. Этот признак проявляется лишь в известных пределах, а именно, при условии, что проводимая аналогия между месторождениями учитывает своеобразие каждого из сопоставляемых объектов. При одинаковом качестве руд два однотипных рудных тела, не затронутых процессами денудации, характеризуются полными линейными размерами по простиранию (L), падению (H) и мощности (m) и близким отношением $K=L_1 : L_2 = H_1 : H_2 = m_1 : m_2$, где K – коэффициент подобия. Геохимическое подобие определяется сравнительным постоянством содержаний основных компонентов в рудах для месторождений одной формации и средних отношений рудных элементов. Естественно, что отношения между двумя (или несколькими) элементами в значительной степени будут зависеть от зональности объекта

и закономерно изменяться по геометрии рудного тела. Вместе с тем для одноименных точек рудного тела величина отношения элементов будет относительно постоянной.

Важнейшим следствием принципа подобия для методики геохимических поисков является то, что для двух объектов, относящихся к одной формации, но различных по масштабу запасов, численные значения конкретного геохимического показателя зональности v будут одинаковы в интервале от верхней до нижней выклинки первичного ореола основного рудного элемента. При этом графики показателей зональностей, как функция глубин $v=f(z)$, построенные в полулогарифмическом масштабе, будут характеризоваться различными углами наклона α . При этом для объектов большей крупности характерен более крутой наклон графиков показателей зональности (слабоконтрастная вертикальная зональность), для более мелких объектов – более пологий (контрастная вертикальная зональность).

Значение коэффициента подобия K определяется как отношение тангенсов соответствующих углов α_1 и α_2 , образованных осредненными графиками v с осью абсцисс $K=\operatorname{tg}\alpha_1 : \operatorname{tg}\alpha_2$ [4, 5].

Оценку K целесообразно вести по нескольким разным v , определяя для них среднее геометрическое K с указанием доверительных пределов оценки. Значения K могут определять соотношение между полной протяженностью интервалов объектов, но не дают их абсолютной величины. Определить полную протяженность рудного интервала оцениваемого объекта можно также по формуле

$$H_{\text{полн}} = \lg(v_{0,2}/v_{0,8}) \cdot a \cdot b \cdot \operatorname{tg}\alpha \quad [4],$$

где $v_{0,2}$ и $v_{0,8}$ – численные значения геохимического показателя v соответственно для начала (0,2) и конца (0,8) интервала промышленных руд, α – угол наклона графика v , a – линейный масштаб по оси глубин, b – модуль логарифмического масштаба.

Допустимость подстановки в формулу значений $v_{0,2}$ и $v_{0,8}$, взятых по любым однотипным месторождениям, вытекает из принципа подобия, согласно которому данный геохимический показатель зональности v при одинаковых значениях глубины будет иметь одинаковую величину.

Прогнозная оценка коренного оруденения на глубину по геохимическим параметрам первичных ореолов представляет сложную задачу, особенно в случае отсутствия пересечений с промышленными содержаниями основного компонента. Вместе с тем, привлечение принципа подобия совместно с данными анализа эндогенной зональности позволяет производить такую оцен-

ку, причем надежность оценок возрастает, если эталонный объект представлен параметрической моделью.

В качестве примера рассмотрим модель Васильковского месторождения в Северном Казахстане. Эталонное месторождение представляет золотосульфидно-кварцевый штокверк, приуроченный к зоне контакта палингенных интрузий – порфиробластовых (калишпатизированных) гранодиоритов и часто перемежающихся пород габбро-диоритового состава. Рудные тела (зоны) имеют форму линейных и овальных штокверков с вертикальным падением [6]. Среди рудных минералов доминируют арсенопирит и пирит, в подчиненном количестве присутствуют самородный висмут, висмутин, марказит, халькопирит, пирротин, тетрадимит и др. Золото тяготеет к кварц-арсенопиритовым прожилкам, ассоциирует с висмутовой минерализацией и выделяется преимущественно в свободном виде [6].

Для построения модели были привлечены аналитические данные по объектам Васильковского рудного поля (рудные зоны Основная, Центральная, Перспективная; участки Промежуточный, Дальний, Шнековый),

овый), охватывающие все уровни оруденения и включающие сечения с промышленными содержаниями золота с выходом по латерали в область с содержаниями близкими к фоновым.

Поскольку по отдельным разведочным профилям геохимическим опробованием охвачены ограниченные по вертикали интервалы руд-

ных зон, с помощью программы «Нью-2» были проанализированы несколько композиций из 12 химических элементов по всем изученным объектам Васильковского рудного поля, что позволило выявить следующую вертикальную зональность месторождения (снизу вверх):

W–Mo–Co–Au–Bi–As–Cu–Ag –Sb–Pb–Ba–Hg.

Модель Васильковского месторождения представлена в полном контуре первичных ореолов, что для крупнопадающих объектов отвечает интервалу от надрудного до подрудного горизонта (рис. 1). Согласно модели полная вертикальная протяженность рудной залежи (до начала процесса эрозии) составляла порядка 1200 м [2].

На основе рассмотренных зависимостей проведен прогноз оруденения на глубину рудной зоны Параллельная, находящейся в «слепом» залегании. Для получения общих характеристик Васильковского месторождения и зоны Параллельная совместно обработаны геохимические данные по программе «Нью-2». Получено шесть общих монотонно убывающих с глубиной показателей v общего вида Ba, Ag, Pb, Hg/W, Mo, Co, Bi.

Реальное изменение графиков показателей зональности $\operatorname{Ba} \cdot \operatorname{Ag} / \operatorname{W} \cdot \operatorname{Mo}$ и $\operatorname{Ba} \cdot \operatorname{Ba} / \operatorname{Co} \cdot \operatorname{Mo}$ с глубиной для рудной

“
Основная задача исследования
эндогенной геохимической зональности
рудных месторождений – обоснование
прогноза оруденения
на глубину

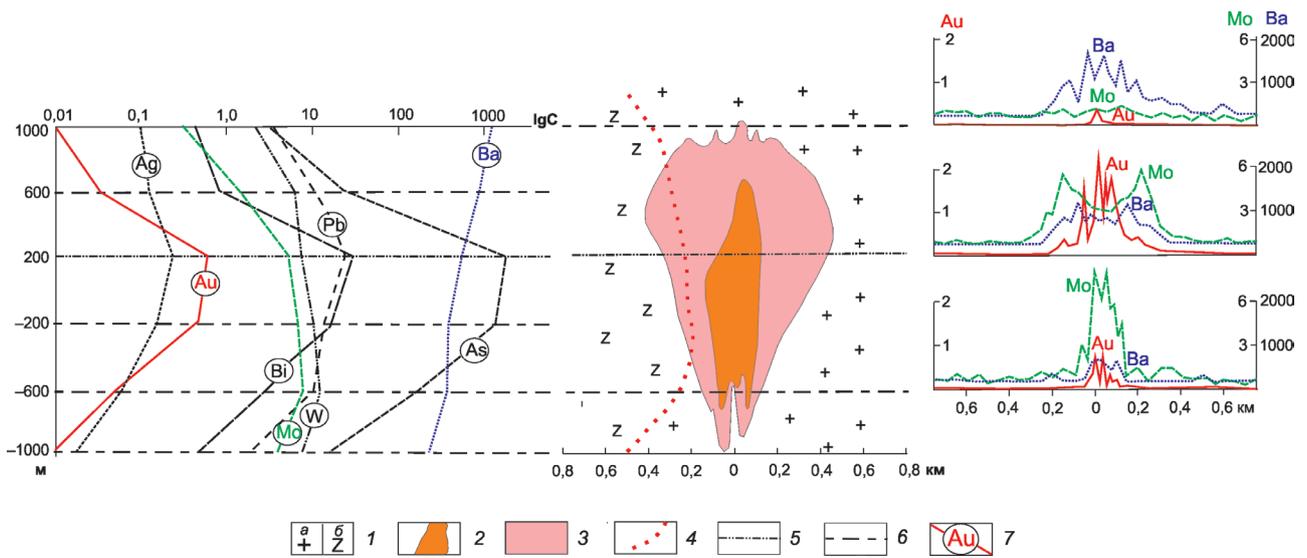


Рис. 1. Генерализованная геохимическая модель Васильковского золотосульфидно-кварцевого месторождения:

1 – интрузивные породы (а – кислого, б – основного и среднего составов); 2 – рудная залежь; 3 – первичный ореол Au; 4 – контакт между интрузивными породами различного состава; 5 – современный эрозионный срез; б – уровни (горизонты) рудной залежи; 7 – графики средних содержаний рудных элементов, г/т

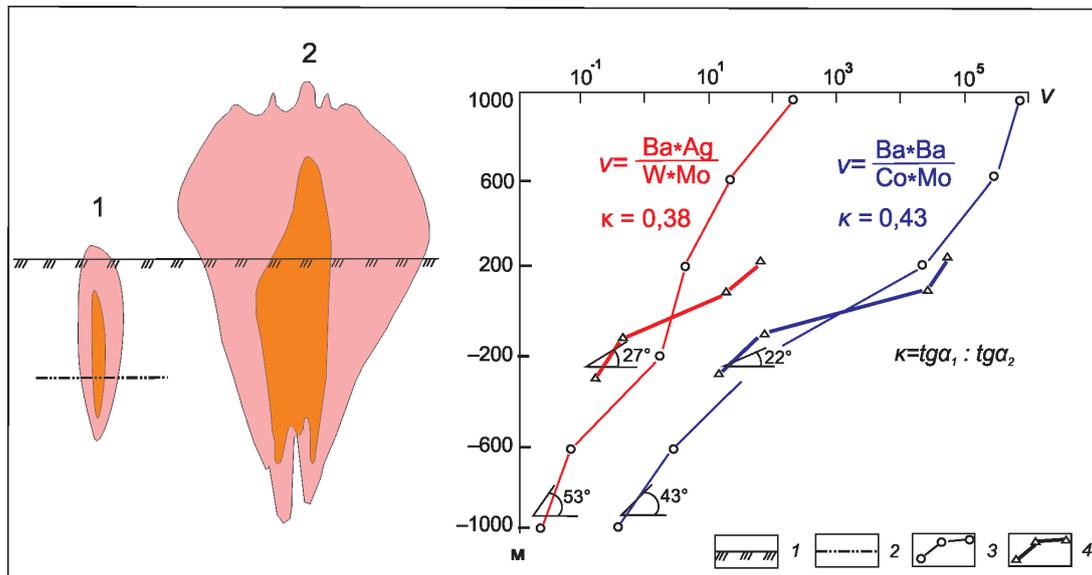


Рис. 2. Графики v для оценки коэффициента подобия между зоной Параллельная (1) и Васильковским месторождением (2):

1 – песчано-глинистые отложения; 2 – уровень геологической изученности зоны Параллельная; графики показателей зональности v : 3 – Васильковского месторождения, 4 – зоны Параллельная

зоны Параллельная и Васильковского месторождения представлено на рис. 2. Сопоставление геохимических данных по двум объектам иллюстрирует более пологий наклон графиков показателей зональности для первого объекта (осредненные величины углов наклона соответственно 27° и 22°) и более крутой наклон графиков для второго (углы наклона соответственно 53° и 43°). Таким образом, мелкий объект характеризуется «сжатой» вертикальной геохимической зональностью, крупный – «растянутой». Точки пересечения графиков показателей зональности отвечают центрам каждого из рудных объектов (см. рис. 2), что является отражением принципа подобия, когда для геометрически одноименных точек рудной залежи, в данном случае для ее центров, показатель зональности для двух объектов будет иметь одинаковые (или близкие) значения.

По наклонам графиков $v=f(z)$ через отношение тан-генсов углов показателей зональности можно оценить коэффициенты подобия, которые в данном случае составили 0,38 и 0,43. Средняя гео-метрическая величина коэффициента подобия $K=0,4$. Полный вертикальный размах оруденения зоны Параллельная и Васильковского месторождения соотносятся как 0,4:1. Учитывая, что для Васильковского месторождения протяженность рудной залежи (до начала эрозии) была оценена в 1200 м, Параллельная рудная зона будет иметь общую протяженность 480 м. За вычетом изученной части можно прогнозировать продолжение промышленного оруденения дополнительно на глубину 100 м.

Возможности привлечения геохимической зональности для прогнозной оценки месторождений золото-полиметаллического типа золотосеребряной вулканогенной формации иллюстрируют проведенные работы на Береговском месторождении (Украинское Закарпатье). Рудное поле расположено во внутренней зоне Карпат вблизи их сочленения с Паннонским срединным массивом [6]. В геологическом строении объекта участвуют образования двух структурных этажей. Нижний этаж представлен комплексом предположительно триас-юрских вулканогенно-осадочных пород, верхний – чередующимися неогеновыми осадочными и вулканогенными толщами. Участок Береговского месторождения приурочен к восточному борту Береговской палеокальдеры и примыкающему к ней Куклянскому вулканическому горсту, отделенному Береговским разломом северо-западного направления. Палеокальдера вблизи месторождения выполнена риолитами и их туфами, вмещающими основную массу золото-полиметаллических руд. Рудные тела (жилы и жильные зоны) сложены породами с кварц-колчеданно-полиметаллической минерализацией+самородное золото

и находятся в слепом залегании. Рудным телом, вмещающим основные запасы полезных компонентов, является рудная зона VI. Она прослежена по простиранию на 1500 м, на глубину 800 м. В 500 м западнее рудной зоны VI, параллельно ей, на глубине 350 м от дневной поверхности располагаются зоны 41, 42 и 43.

Несмотря на некоторые различия в геологических и морфологических особенностях рудные тела Береговского месторождения однотипны по геохимическому составу и рядам вертикальной зональности рудных элементов. Обобщенный ряд отложения элементов отвечает последовательности (снизу вверх):



По программе «Ню-2» выявлены монотонные убывающие показатели зональности v , имеющие большой размах по падению рудных тел ($v=\text{Au} \cdot \text{Ag}/\text{Cu} \cdot \text{Zn}$; $\text{Ag} \cdot \text{Sb}/\text{Zn} \cdot \text{Bi}$; $\text{Hg} \cdot \text{Au}/\text{Cu} \cdot \text{Bi}$ и др.). Пригодность полученных показателей для прогнозной оценки уровней оруденения проверялась путем таксации по смежным разрезам, не входившим в исследование зональности. Результаты показали, что геохимические показатели

хорошо идентифицируют рудные пересечения по их гипсометрическому положению в разрезе месторождения, доверительный интервал оценок $\pm 25-30$ м [3].

В основу построения многокомпонентной геохимической модели Береговского месторождения положены

данные опробования рудной зоны VI. Дополнительно привлекались данные по зонам VIII, XVI, XIX. Модели изменений средних содержаний типоморфных элементов по вертикали и латерали в эталонной рудной зоне VI представлены на рис. 3.

Очевидное подтверждение геометрического подобия обнаруживают рудные тела Береговского месторождения. Рудные жилы различаются по мощности, простиранию и протяженности на глубину, при этом возрастание одного из линейных размеров сопровождается пропорциональным увеличением двух других. Для рудной зоны VI оценена эффективная (в контуре нижних аномальных содержаний) ширина (м) первичных ореолов основных компонентов руд Au, Ag, Pb, Zn на всем протяжении жильной зоны по ее падению. Для получения более устойчивых значений m рассчитаны их средние арифметические величины. На рис. 4 представлен график средних значений m , которые меняются от 3 м (верхняя и нижняя выклинки первичного ореола) до 80 м (центр рудной зоны).

Для прогнозной оценки, в качестве испытуемых объектов, взяты данные опробования рудных зон 41–43, для каждой из которых была оценена средняя эффективная ширина (мощность) первичных ореолов Au, Ag, Pb, Zn (см. таблицу). Ширина ореолов зависит от их гипсоме-

“Генетически однотипные месторождения различных классов крупности являются геометрическими и геохимическими фигурами подобия”

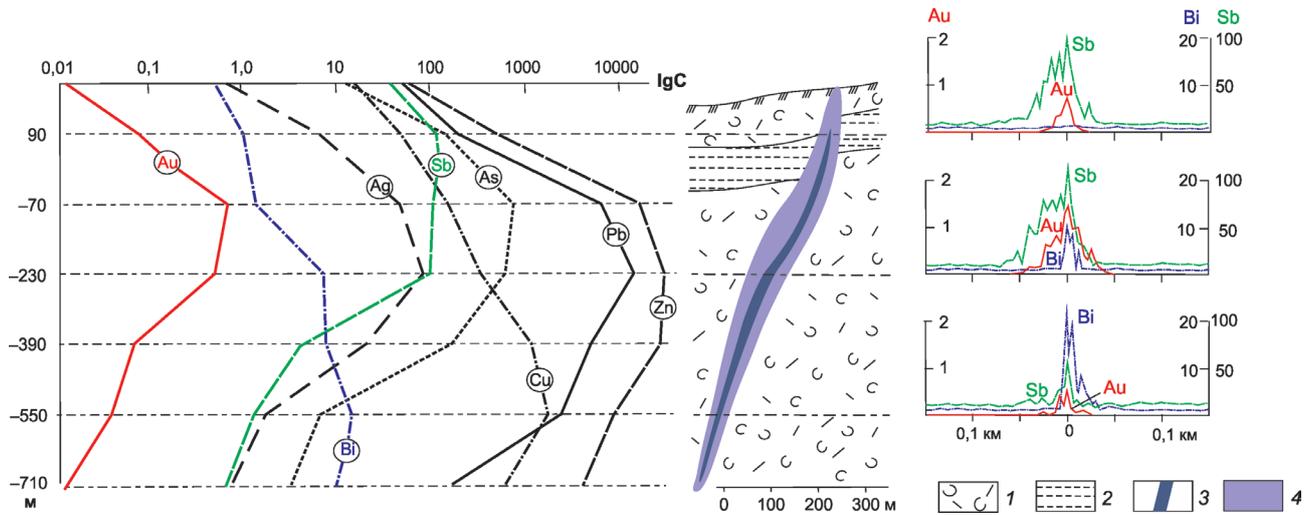


Рис. 3. Модельный геохимический разрез через рудную зону VI Береговского месторождения:

1 – риолиты, туфы риолитов; 2 – аргиллиты, песчаники; 3 – рудное тело; 4 – первичный ореол золота; остальные услов. обозн. см. на рисунках 1 и 2

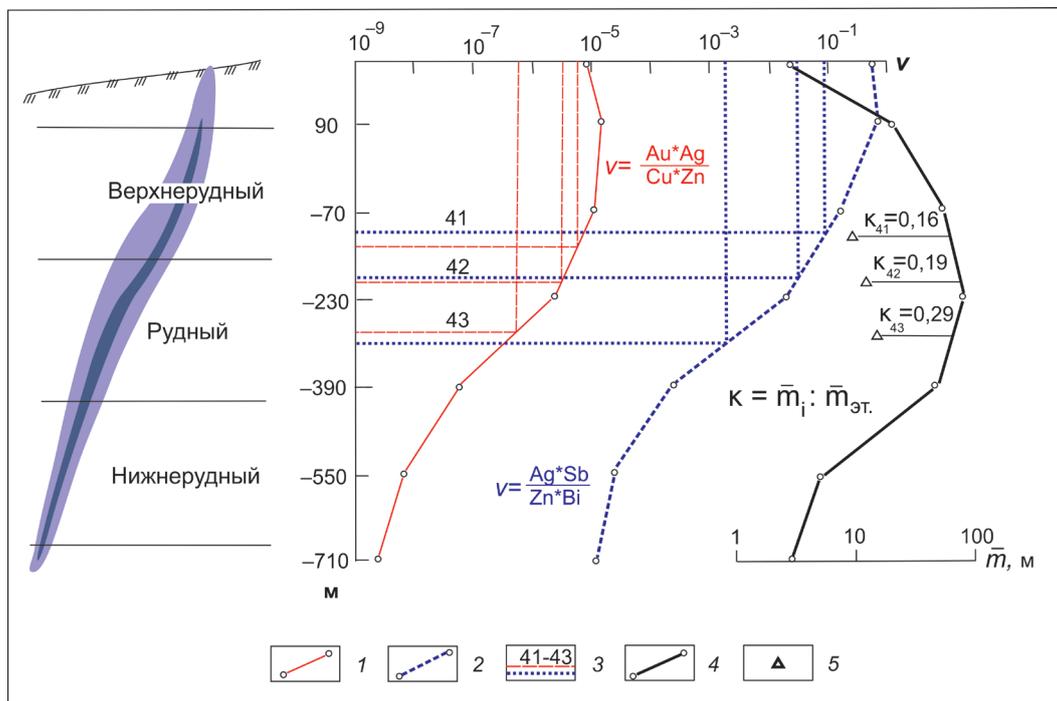


Рис. 4. Геохимическое сопоставление модельных характеристик рудной зоны VI с зонами 41–43 Береговского месторождения:

1–2 – графики показателей зональности v : 1 – $Au \cdot Ag / Cu \cdot Zn$, 2 – $Ag \cdot Sb / Zn \cdot Bi$; 3 – оценки уровней рудных пересечений зон 41–43 в метрике модели; 4 – график средних арифметических значений мощностей первичных ореолов Au, Ag, Pb, Zn; 5 – положение точек средних мощностей первичных ореолов зон 41–43

Оценка линейных размеров рудных зон с помощью геохимического коэффициента подобия

Рудные зоны	Уровень пересечения	Ширина ореолов, м		К	Протяженность рудных зон, м	
		Рудных зон	Модели		на глубину	по простиранию
41	Верхнерудный	10	63	0,16	130	240
42	Рудный	13	70	0,19	150	290
43	Рудный	18	62	0,29	230	430

трического положения. Для определения гипсометрического положения рудных пересечений зон 41–43 проведена таксация уровней с помощью геохимических показателей v (Au·Ag/Cu·Zn и Ag·Sb/Zn·Bi) и установлено положение уровней аномальных пересечений в метрике модели. Расхождения в определении исследованных уровней оруденения колеблются от 10 м (зона 42) до 25 м (зона 41). Коэффициент подобия оценивался через сопоставление мощностей одноименных уровней рудных зон и модели. Получено три значения коэффициента подобия и рассчитаны размеры по падению ($H_i=800 \text{ м} \cdot K_i$) и простиранию ($L_i=1500 \text{ м} \cdot K_i$) рудных зон 41–43 (см. рис. 4 и таблицу).

Результаты прогнозных оценок с помощью коэффициента подобия на основе вертикальной геохимической зональности месторождений свидетельствуют о реальной применимости этого параметра. Пространственная изменчивость оценок K при недостаточной изученности месторождения может оказывать существенное влияние на величину его оценок. Наиболее устойчивыми значениями K будут характеризоваться месторождения с простым геологическим строением, представленные выдержанными по мощности и по простиранию рудными залежами. Разумеется, что даже для таких месторождений показатели K будут различными для разных сечений, отражая «растянутость» ($K > 1$) или «сжатость» ($K < 1$) оруденения. Оценка коэффициента подобия, полученная при полной геохимической характеристике месторождения на глубину, позволяет проводить модельные построения, восстанавливая интерва-

лы оруденения, уничтоженные эрозией, и прогнозируя оруденение на глубину. Оценка выявляемых объектов, естественно, требует совместного рассмотрения всех имеющихся геологических, геофизических и геохимических данных, при тщательном учете морфологии и условий локализации оруденения. Привлечение к этим оценкам представлений о геохимическом подобии особенно важно на стадии поисковых работ, при недостатке других данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матвеев А.А., Соловов А.П.* Геохимические поиски месторождений полезных ископаемых. – М.: КДУ, 2011.
2. *Миляев С.А.* Геохимические критерии прогнозной оценки золоторудных объектов по данным анализа эндогенной зональности // Руды и металлы. 2013. № 6. С. 72–76.
3. *Миляев С.А.* Геохимическая зональность Береговского золото-полиметаллического месторождения // Руды и металлы. 2014. № 6. С. 58–62.
4. *Соловов А.П., Миляев С.А.* Оценка генетически однотипных месторождений по v , M // Состояние и задачи геохимических поисков рудных месторождений в Казахстане. – Алма-Ата, 1981. С. 213–219.
5. *Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П.Соловов, А.Я.Архипов, В.А.Бугров и др.* – М.: Недра, 1990.
6. *Чеквадзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З.* Комплексная петрографо-минералого-геохимическая методика поисков золоторудных месторождений. – М.: Бородино-Е, 2004.

Петрохимия метасоматических магнетитовых залежей

Г.Б.КНЯЗЕВ (Томский государственный университет; 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 36)

Разработана петрохимическая классификация метасоматических магнетитовых залежей петроруд железа на основе информационной модели (базы данных) результатов разведочных работ и минералого-геохимических исследований железорудных месторождений в структурах Саяно-Уральского складчатого пояса и юга Сибирской платформы
Ключевые слова: петрохимия скарны магнетитовые руды.

Князев Георгий Борисович



kgb@ggf.tsu.ru

Petrochemistry metasomatic magnetite deposits

G.B.KNYAZEV

Developed petrochemical classification deposits of metasomatic magnetite petroores of iron on the basis of the information model (database) the results of exploration and mineralogical and geochemical studies of iron ore deposits in the structures Sayano-Ural fold belt and South of the Siberian platform.

Key words: petrochemistry, skarn, magnetite ore.

Скарново-магнетитовые месторождения, независимо от генетических представлений, могут рассматриваться как геологические тела петроруд. Универсальной их характеристикой является химический состав. Разведка месторождений и отдельных рудных залежей обычно сопровождается анализом железных руд на содержание оксидов железа, главных шлакообразующих оксидов: кремния алюминия, магния, кальция, оксида марганца, диоксида титана, серы, фосфора. Гораздо реже и менее надежно оценивается содержание щелочей, воды, диоксида углерода и других летучих компонентов суммарно в виде потерь при прокаливании, малых элементов-примесей. Химические анализы рудных залежей наиболее полно учитывают возможную их гетерогенность, так как групповые пробы включают не только собственно руды, но и вмещающие породы со всеми метасоматическими их изменениями. Количество анализов, то есть полнота химической характеристики петроруд железа намного превосходит количество проб при исследовании обычных горных пород, что компенсирует высокую неоднородность руд, всегда сохраняющих внутри себя реликты вмещающих и изменённых пород. Важность химических анализов железных руд для технологических оценок, классификационных целей и генетического анализа отмечали многие исследователи [20, 22, 23, 26, 29, 34, 43, 52] и включали их в различные сводные работы и обобщения и, в частности, в классическую сводку по железорудным месторождениям СССР под реакцией А.П.Бардина [16], месторождениям Си-

бири под редакцией А.С.Калугина [27] и уже переизданную в 2007 г. работу по железорудным месторождениям России под редакцией В.П.Орлова [17]. Большой материал по вещественному составу и геологии метасоматических магнетитовых залежей имеется в серии сборников и монографий, посвященных железорудным месторождениям Алтае-Саянской складчатой области [6, 11, 20, 23, 27, 47, 50]. Среднего и Южного Урала [15, 16, 18, 19, 45], Зауралья, Кустанайской области Казахстана [9, 10, 15, 44], Кавказа [28], Забайкалья [14] и месторождениям юга Сибирской платформы [1, 12, 48]. Необходимо отметить чрезвычайное многообразие метасоматических магнетитовых рудных залежей, затрудняющее разработку их классификации. Это выражается не только в разнообразии минерального и химического составов собственно руд, но и в изменчивости вмещающих и околорудных пород, сохраняющихся в рудных залежах, так что каждое месторождение оказывается достаточно оригинальным, не повторяющимся в полной мере в других месторождениях. Как и при начальных петрологических исследованиях в основе классификаций оказывается минеральный состав руд – их главные парагенетические минеральные ассоциации. В дальнейшем, как и в петрологии магматических и метаморфических пород, в качестве обобщающей объективной характеристики петроруд, можно рассматривать их валовый химический состав. Выделение и обоснование главных минералогических типов метасоматических магнетитовых месторождений связано с

именами Г.И.Соколова, А.М.Дымкина, М.П.Мазурова, В.В.Богацкого и других исследователей [8, 35, 42, 45, 53]. Петрохимический или литохимический подход к классификации железных руд и месторождений начал использоваться еще в начале 20 столетия [3].

Петрохимические данные и методика их обработки. С позиций возможностей количественных оценок геологических объектов химические анализы групповых проб руд, как выборки многомерной случайной величины, представляются уникальными информационными моделями рудных залежей. Исследования полученных выборок представляют значительную сложность по ряду причин: 1) опробование рудных залежей и анализы проб проводились различными лабораториями в разное время и, естественно, с разной точностью; 2) статистические распределения отдельных свойств (переменных) – содержаний оксидов и элементов далеко не всегда имеют нормальные распределения, что может вызывать недоверие к результатам многомерного статистического анализа, как наиболее приемлемого метода исследования многомерной случайной величины, требующего хотя бы одинакового симметричного распределения отдельных переменных. Более того, распределение всех величин, описывающих состав руд и измененных пород рудных зон, не только не имеет нормального распределения, но даже не приближается к нему, имея индивидуальное, иногда полимодальное, распределение, описывающееся каждое своей эмпирической функцией распределения.

Для получения более корректных результатов исследования автор данной публикации прибег к преобразованию случайных величин – нормализации их на объем выборок с заменой содержательных значений дробными рангами. Это преобразование, в отличие от стандартизации, сохраняющей закон распределения, приводит к стандартному равномерному распределению случайных величин в интервале 0,1 со средним, равным 0,5 и стандартным отклонением – 0,29. Выбранное преобразование содержится в известной программе «Statistica» в виде процедуры ранжирования данных с использованием опций «sequential» и «fractional».

Нормализация на объем выборки особенно полезна для данных, измеренных в порядковой шкале, или для полуколичественных данных с низкой точностью измерений. Она фактически преобразует дискретные по способу получения случайные величины, например, данные полуколичественного спектрального анализа в непрерывные величины. Преобразование данных можно провести и вне программы «Statistica» по алгоритму: $Y=X/i$, где Y – преобразованная случайная величина, X – преобразуемая величина, i – порядковый номер реализации величины X в ее вариационном ряду. Отсутствие отрицательных значений нормализованной случайной величины, в отличие от стандартизированной, хорошо соответствует реальным геохимическим закономерностям. Возникающие при ранжировании связи, как

совокупности одинаковых значений случайной величины, сохраняют при больших объемах выборок малые отличия элементов связок друг от друга, хорошо укладываясь в общие особенности распределения содержательных значений случайных величин.

Результат преобразования случайных величин – замена реализаций их эмпирическими вероятностями и фактическая замена равномерных содержательных шкал измерения неравномерными, приведенными в соответствие с равномерной вероятностной шкалой. Для лучшего восприятия результатов принятой системы обработки данных на графиках и в таблицах равномерную вероятностную и неравномерную содержательные шкалы можно совмещать.

В качестве примера полезности и результативности нормализации данных при геохимических расчетах рассмотрим данные по Абаканскому железорудному месторождению. Месторождение известно с XIX века как «Абаканская Благодать». Завершающая его оценка была дана лишь во второй половине прошлого века в результате разведки глубоких горизонтов. Запасы месторождения промышленных категорий от первоначально известных 90 млн. т были доведены до >150 млн. т [41]. Месторождение расположено среди раннекембрийских вулканогенно-осадочных отложений, резко обогащенных вулканитами андезитового состава. Рудные залежи месторождения расположены преимущественно среди горизонтов терригенных и карбонатных пород и, как предполагают его разведчики [41], магнетит отлагался путем замещения известняков и карбонатсодержащих алевролитов, аргиллитов и песчаников.

Исследование зависимости между содержаниями железа и кобальта, измеренными в единицах массы, оказалось непродуктивным. На диаграмме совместного распределения железа и кобальта точки составов руд скопились в нижней части диаграммы (рис. 1, А) в области модальных содержаний кобальта, имеющего асимметричное распределение. Нормализация данных на объем выборки изменили вид диаграммы совместного распределения кобальта и железа (см. рис. 1, Б). Точки состава руд распределились по всей площади диаграммы. Коэффициент корреляции между нормированными содержаниями железа и кобальта составил 0,35 при доверительной вероятности выше 0,998. Уравнение регрессии для связи Fe-Co можно представить как: $Co=0,33+0,34 \times Fe$. В этом уравнении содержания Fe и Co должны быть взяты в нормированном виде. Полученный результат в нормированном виде, то есть в вероятностных единицах нужно перевести в единицы массы, используя соответствующую таблицу эмпирической функции распределения (табл. 1). Формально положительная корреляционная зависимость между содержанием Fe и Co в рудах выявляется в обоих случаях, но для ненормированных данных она оказывается незначимой.

Из таблицы видно, что нормированному значению 0,5

(модe) соответствуют содержания: Co 140 г/т и Fe 35,9%. Исходная же измерительная шкала кобальта преобразуется в равномерную.

Пусть, согласно полученному уравнению регрессии, требуется рассчитать содержание кобальта в рудах Абакана, содержащих 40% общего железа (в нормированном виде – 0,57). Рассчитываем по уравнению регрессии содержание Co, равное $0,33+0,34 \times 0,57=0,52$. Это, согласно таблице децилей эмпирической функции распределения, соответствует ~ 150 г/т Co.

1. Сокращенные таблицы эмпирических функций распределения железа и кобальта в рудах Абаканского месторождения

Fe, в %	$F_n(Fe)$	Co, в г/т	$F_n(Co)$
3,7	0,01	5	0,01
11,2	0,1	30	0,1
16,3	0,2	50	0,2
23,8	0,3	80	0,3
30	0,4	100	0,4
35,9	0,5	140	0,5
41,7	0,6	170	0,6
47,6	0,7	200	0,7
52,2	0,8	270	0,8
56,2	0,9	400	0,9
63,8	1	4200	1

Преобразование путем нормирования всех случайных величин приводит к уточнению ковариационных и корреляционных матриц и увеличивает результативность анализа матриц данных методом главных компонент.

Обычно представляется необходимым преобразование величин с получением стандартного равномерного

распределения для второстепенных примесных компонентов магнетитовых руд – TiO_2 , MnO, S и P, а также мультипликативных показателей типа различных отношений, обычно имеющих асимметричные экспоненциальные и логнормальные распределения.

После нормализации двумерной случайной величины точки векторов составов располагаются на графике более или менее равномерно в квадрате со стороной, равной единице. В общем случае точки-векторы составов p -мерной случайной величины, нормированной на объем выборки, расположатся в p -мерном кубе с ребром равным единице.

В настоящее время в России и прилегающих к ней странах по примерной оценке известно >500 метасоматических магнетитовых месторождений и отдельных рудных залежей от мелких с запасами в несколько миллионов тонн до крупных и уникальных с запасами до 1 млрд. т и более.

Среди классификаций метасоматических магнетитовых месторождений наиболее завершённой является классификация М.П.Мазурова [42], созданная на формационной основе в развитие известных ранее классификаций Г.А.Соколова и А.М.Дымкина [51]. В ней нашли свое место не только собственно магнетитовые месторождения фанерозойских складчатых областей, но и магномагнетитовые месторождения юга Сибирской платформы, скарновые месторождения докембрия, включая скарновые руды среди высокометаморфизованных железистых кварцитов.

Для данной работы автор использовал выборку из 120 достаточно хорошо изученных месторождений с известными запасами железных руд (табл. 2).

Не все месторождения охарактеризованы с одинаковой полнотой. Часто отсутствуют достоверные данные

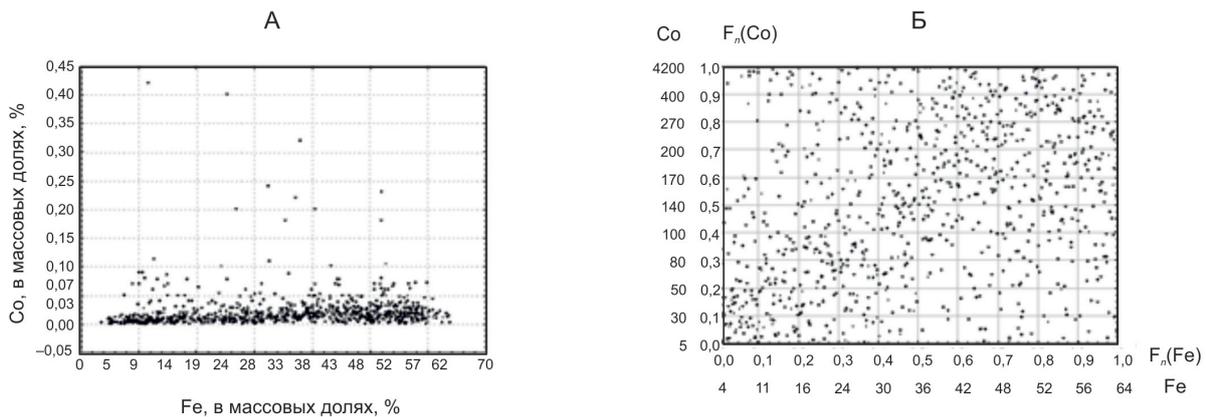


Рис. 1. Совместное распределение общего железа и кобальта в рудах Абаканского месторождения по результатам анализов групповых проб:

А – в массовых долях %; Б – в значениях равномерной вероятностной шкалы $F_n(x)$ и совмещенных с ними неравномерных содержательных шкал (Fe, в массовых долях %, Co, в г/т); общее число проб около 900

по запасам, содержанию щелочей, CO_2 и второстепенных примесных оксидов. В выборке учтены данные, полученные в процессе исследования железорудных месторождений Саяно-Алтайской складчатой области [1, 28–34], и анализы, опубликованные в указанных ранее обобщениях с достоверными результатами разведочных работ и запасами, включая месторождения Урала, Зауралья, Саяно-Алтайской складчатой области, Казахстана, Закавказья, Южной Якутии, Иркутской и Читинской областей. Об объеме использованного материала дает представление количество учтенных месторождений в таблице 2. Общее количество анализов руд всех месторождений, так или иначе учтенных в таблице в виде средних значений, по примерной оценке превышает первые сотни тысяч.

Кроме того, автор располагает данными опробования отдельных месторождений Восточных Саян, Западных Саян и Кузнецкого Алатау, полученными в процессе изучения вещественного состава руд в ходе многолетних их исследований по договорам с соответствующими промышленными предприятиями.

Одними из наиболее информативных показателей состава руд, наряду с содержанием породообразующих оксидов, являются, давно используемые при характеристике железных руд мультипликативные показатели основности – $\text{Oс} = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$, магнезиальности – $\text{Mг} = (\text{MgO} / \text{CaO})$, глинозёмный модуль $\text{Am} = (\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3)$, магнетитовый показатель $\text{Fm} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3))$, где содержания оксидов взяты в массовых долях.

Ранее [33, 36, 38] было предложено разделить все метасоматические магнетитовые месторождения по составу вмещающих пород на две группы. К первой группе отнесены месторождения, залегающие среди вулканогенно-карбонатных отложений с преобладанием вулканитов средне-основного состава и их туфов. Это обычно известковоскарновые месторождения более богатых руд, имеющих повышенную магнезиальность, связанную с фемическим профилем среды рудообразования. Месторождения такого геохимического профиля преобладают среди промышленных месторождений Урала, характерны для Горной Шории и Восточного Саяна.

Месторождения второй группы образуются в силических средах среди терригенно-карбонатных отложений, часто содержащих кислые вулканиты. Образующиеся руды имеют низкую основность и обычно относятся к гидросиликатовому минералогическому типу. Месторождения характерны для Западного Саяна и Горного Алтая [36].

Исследование системы фосфор–железо–сера [39] методом главных компонент с учетом состава вмещающих пород позволило разделить метасоматические магнетитовые месторождения также на две группы по соотношению фосфора и серы.

Фосфор более характерен для месторождений магнетита в силических средах. Сульфидная минерализация свойственна фемическим вмещающим средам, что особенно характерно для месторождений среднего и южного Урала.

2. Средний состав метасоматических магнетитовых месторождений, общая выборка

Параметры состава месторождений	N	Параметры распределения месторождений			Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
		средние	минимальные	максимальные		
Запасы	110	139,59	1,40	1600,00	257,65	1,845668
Fe _{общ}	120	39,89	14,52	65,78	9,51	0,238463
SiO ₂	120	18,97	2,15	49,70	8,78	0,462665
TiO ₂	120	0,40	0,07	4,42	0,43	1,067315
Al ₂ O ₃	120	4,85	0,13	12,05	2,42	0,499076
Fe ₂ O ₃	120	38,23	12,38	76,91	10,92	0,285767
FeO	120	16,33	1,48	29,60	4,92	0,300976
MnO	120	0,49	0,02	5,44	0,77	1,546798
MgO	120	4,35	0,37	19,10	3,71	0,852195
CaO	120	8,40	0,50	18,36	3,83	0,455226
MgO/CaO	120	0,93	0,07	35,60	3,30	3,533012
(MgO+CaO)/(SiO ₂ +Al ₂ O ₃)	120	0,64	0,05	2,78	0,40	0,615305
P	120	0,12	0,00	1,40	0,17	1,409154
S	120	1,57	0,01	11,10	1,70	1,079252
Потери при прокаливании	120	4,83	0,12	15,70	2,77	0,573345

Примечание. N – число определений соответствующих параметров, в массовых долях %; запасы даны в млн. т.

На диаграммах главных компонент (рис. 2), раскрывающих структуру матрицы петрохимических данных, хорошо выражено разделение всех месторождений на петрохимические группы. На диаграмме (см. рис. 2, А) плоскостью оси Fe–(SiO₂, Al₂O₃), которой ортогонален вектор магнезиальности (Mг), облако составов руд разделено на верхнюю существенно кальциевую группу руд и месторождений и нижнюю – существенно магниевую. Плоскостью второй главной координаты (см. рис. 2, А) средние составы рудных залежей разделяются на высокоосновные более богатые в правой части диаграммы и более бедные, но, в среднем, с большими запасами – в левой части. Первому квадранту соответствуют известковоскарновые месторождения с более богатыми рудами, второму квадранту – относительно богатые руды с повышенной магнезиальностью, в третьем и четвертом квадрантах можно предполагать, соответственно, кислые руды магнезиальной и известковой петрохимических групп.

Фосфор и титан входят в одну группу компонентов, тяготея к силикатной части руд [39, 40], и связаны с кремнием и глиноземом, образуя самостоятельные минералы – сфен и апатит, всегда отмечаемые в составе руд. Марганец группируется с железом и кальцием, входя в состав магнетита, граната и моноклинного пироксена.

Петрохимическая классификация метасоматических магнетитовых залежей. Одна из наиболее известных петрохимических классификаций – классификация магматических пород, в основу которой

положена бинарная диаграмма кремнезем–щелочи [1]. Полученная ранее модель главных компонент позволяет выбрать в качестве главных осей классификации магнетитовых тел основность и магнезиальность руд (см. рис. 2), не обнаруживающих между собой корреляционной зависимости. Такую попытку уже делали применительно к известковоскарновым рудам [34, 38].

На диаграмме основность–магнезиальность руд (рис. 3) достаточно контрастно обособляются две обычные петрохимические группы или серии минералогических типов месторождений – магнезиальная и известковая. Их примерной границей можно считать значение магнезиальности (0,43), соответствующее медиане. Медианные значения основности (0,56) и магнезиальности (0,43) примерно делят поле составов в системе основность–магнезиальность на четыре квадранта.

Первый (верхний правый) квадрант содержит собственно магнезиальноскарновые месторождения. Вторым (правый нижний) включает известковоскарновые месторождения с высокой ролью в рудах карбонатов, моноклинного пироксена и граната. Левый верхний квадрант содержит месторождения гидросиликатового минерального типа, а левый нижний – низких значений основности и магнезиальности – содержит месторождения, обогащенные кальций-магниевые водными силикатами, но считавшиеся ранее известково-скарновыми. Верхней границей гидросиликатового поля можно рассматривать медианное значение основности, фиксирующее некоторую переходную зону от

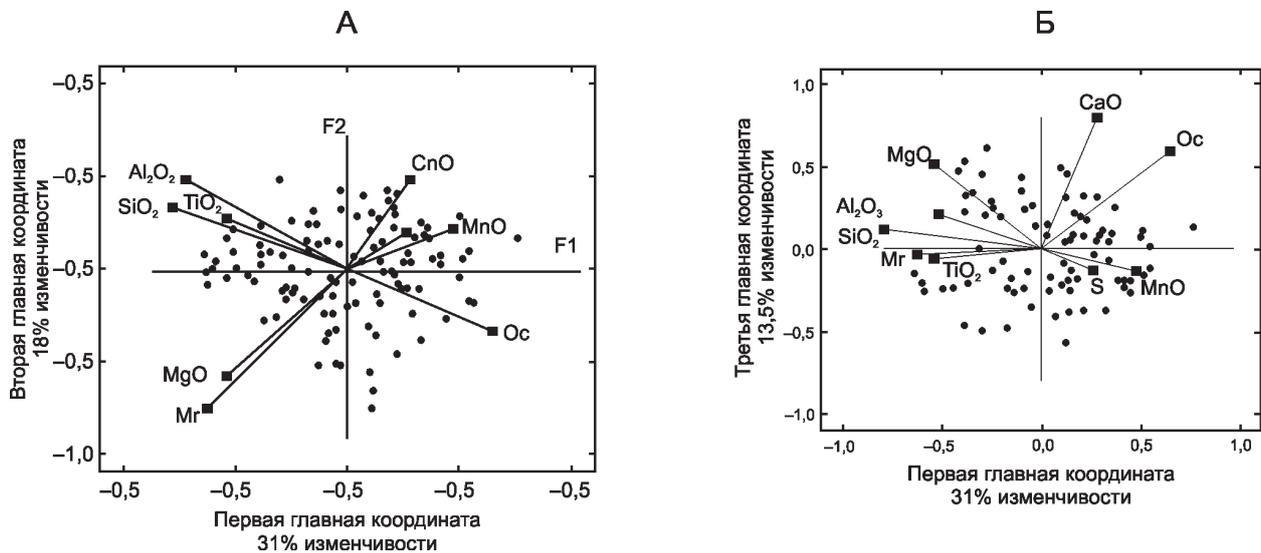


Рис. 2. Петрохимическая модель главных компонент метасоматических магнетитовых залежей; проекции 9-мерной системы шлакообразующих оксидов и попутных элементов на плоскости 1-2(А) и 1-3(Б) главных компонент, определяющих в совокупности около 60% изменчивости состава руд метасоматических магнетитовых месторождений:

точки – средние составы магнетитовых руд 120 месторождений; квадраты – проекции векторов параметров руд на плоскости главных компонент (см. таблицы 3 и 4); Z – запасы месторождений; Ос – основность (CaO+MgO)/(SiO₂+Al₂O₃); Mг – магнезиальность (MgO/CaO)

собственно скарных месторождений к собственно гидросиликатовым, что и объясняет появление термина водносиликато-скарновые месторождения [51]. Это, по-видимому, касается месторождений не только известковой серии, но, судя по диаграмме, и магнезиальной. В гидросиликатовом поле по третьему квартилю ($MgO/CaO=0,79$) магнезиальности фиксируется граница между магнезиальными гидросиликатовыми и известковыми гидросиликатовыми месторождениями. Таким образом, полученная диаграмма на формальном уровне подтверждает достоверность принятой петролого-минералогической классификации метасоматических магнетитовых месторождений [42, 47, 51].

Всю совокупность магнетитовых месторождений в

координатах основность–магнезиальность руд можно представить как четырехкомпонентную систему, подобно принятым в минералогических классификациях для отображения минералов переменного состава, в вершинах которой располагаются некоторые конечные члены-минералы. В вершинах четырехкомпонентной диаграммы состава магнетитовых месторождений можно поместить ранее определенвшиеся минералогические типы руд: магнезиально-скарновый (диопсид-форстеритовый главный парагенезис), известково-скарновый (салит-андрадитовый парагенезис), гидросиликатовый (флогопит-пеннинный и эпидот-актинолитовый главные парагенезисы). В качестве последней левой нижней вершины можно представить хлорит-актино-

3. Сокращенные таблицы эмпирических функций распределения важнейших компонентов химического состава руд метасоматических магнетитовых месторождений

$F_{120}(X)$	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SiAl	Am	MgO	CaO	Mg	Oc	MgCa
0	14,52	2,15	0,13	2,65	0,008	0,37	0,5	0,07	0,046	1,875
0,1	26,5	8,3	1,8	10,6	0,13	1,23	3,55	0,129	0,283	7,48
0,2	31,7	12,7	2,85	15,4	0,19	1,8	5,3	0,21	0,409	8,52
0,25	34,56	13,3	3,15	17,5	0,2	2,02	5,65	0,247	0,434	9
0,3	35,7	14,5	3,54	18,6	0,22	2,35	6,1	0,286	0,456	9,67
0,4	37,5	16,35	4,3	20,45	0,242	2,87	6,96	0,334	0,502	11
0,5	40,7	17,68	4,7	22,04	0,265	3,32	8,1	0,43	0,56	12
0,6	42,9	19,3	5,28	25,4	0,292	3,7	9	0,535	0,61	13,4
0,7	44,8	21,3	6,05	28,1	0,312	4,525	10,2	0,67	0,71	14,6
0,75	45,57	23,8	6,27	28,6	0,317	4,92	11,1	0,75	0,75	15,5
0,8	47,24	24,68	6,47	29,5	0,323	5,75	11,45	0,89	0,78	16,5
0,9	50	28,77	7,5	36,98	0,386	8,9	13,35	1,209	1,11	20,2
1	66,78	49,7	12,05	59,6	0,58	19,1	18,36	35,6	2,78	29,97

Примечание. Объем выборки – 120.

4. Структура главных компонент 12-мерной системы средних составов руд метасоматических магнетитовых месторождений, отображенной на рис. 2

Переменные	Вклад переменных			Факторные координаты		
	Фактор			Фактор		
	1	2	3	1	2	3
Z	0,054	0,001	0,000	-0,440	0,047	-0,013
Fe	0,166	0,043	0,103	0,773	-0,292	-0,402
Si	0,194	0,035	0,002	-0,835	0,261	-0,057
Ti	0,086	0,008	0,016	-0,558	0,123	-0,160
Al	0,165	0,057	0,006	-0,770	0,335	-0,099
Mn	0,059	0,059	0,009	0,462	0,341	-0,115
Mg	0,055	0,148	0,231	-0,443	-0,540	0,601
Ca	0,002	0,269	0,255	0,090	0,728	0,630
Mg	0,050	0,372	0,006	-0,425	-0,855	0,095
Oc	0,093	0,002	0,349	0,577	-0,058	0,737
P	0,064	0,001	0,000	-0,479	0,046	-0,016
S	0,012	0,005	0,022	0,205	0,104	-0,187

лит-кварц-альбит-скаполитовый парагенезис. Полученное поле составов магнетитовых месторождений представляется непрерывным. Любое из известных и вероятно еще неизвестных месторождений магнетита может быть описано в указанных координатах, как в содержательных неравномерных, так и равномерных вероятностных шкалах. Примечательно, что границами состава руд месторождений разных групп минералогических типов оказались значения квартилей распределения важнейших показателей качества руд – основности и магнезиальности.

Бинарная диаграмма основность–магнезиальность позволяет в рамках скарново-магнетитовой формации М.П.Мазурова [31], с учетом реального состава руд, подтвердить выделение пяти минералого-геохимических типов, несколько изменив их содержание (в скобках указаны главные типоморфные минералы):

- 1) известково-скарновый (актинолит, эпидот, диопсид-геденберgit, андрадит);
- 2) магнезиальный известково-скарновый (роговая обманка, эпидот, хлорит, салит, андрадит);
- 3) магнезиально-скарновый (флогопит, хлорит, диопсид, серпентин, форстерит);
- 4) известковый гидросиликатовый (актинолит, эпидот, хлорит, альбит);
- 5) магнезиальный гидросиликатовый (флогопит, магнезиальный хлорит, кварц, полевые шпаты).

В обобщенном виде классификация метасоматических магнетитовых месторождений и их руд показана на рис. 4 вместе с наиболее крупными месторождениями магнетита.

Магнезиальный известково-скарновый тип можно разделить на два подтипа: магниевый известково-скарновый, примыкающий к известково-скарновому, и собственно магнезиальный известково-скарновый, примыкающий к магнезиально-скарновому, то есть представить три класса известково-скарновых месторождений: 1) низкомагнезиальный, собственно известково-скарновый, 2) умеренно магнезиальный, 3) высокомагнезиальный.

Диаграмма подтверждает, что в природе не существует резких границ между минеральными типами месторождений и всегда имеет место некоторая неопределенность. В частности, месторождения левых половин скарновых полей основностью ниже 0,56 можно рассматривать как скарново-гидросиликатные с некоторой количественной оценкой степени усложнения состава скарновых парагенезисов апоскарновыми гидротермальными парагенетическими ассоциациями водосодержащих минералов. Для месторождений переходного поля магнезиально-известково-скарнового типа можно рассчитать долю магнезиальности, рассматривая три класса известково-скарновых месторождений.

Подобный подход возможен к классификации известково-скарновых месторождений с позиций их основности. Возможно выделение трех классов основности: 1) высокоосновные «сухие» рудные залежи с преобладанием в известково-скарновых рудах безводных пироксен-гранатовых минеральных ассоциаций с максимальной известковистостью, 2) среднеосновные или сложноскарновые с существенным замещением пироксенов и гранатов амфиболами и эпидотом и 3) низкоосновные

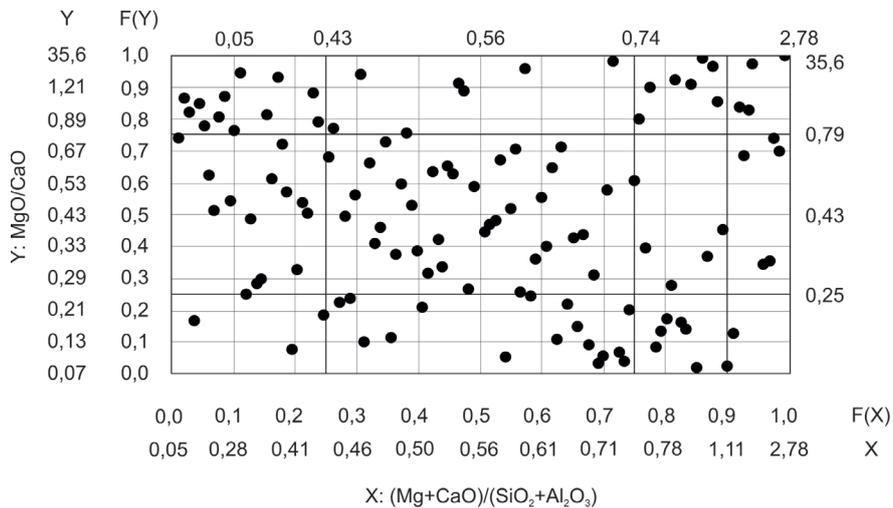


Рис. 3. Диаграмма совместного распределения основности–магнезиальности рудных залежей метасоматических магнетитовых месторождений:

ближние значения координат – равномерные вероятностные шкалы, во вторых рядах – значения основности (X) и магнезиальности (Y), соответствующие значениям вероятностных шкал (децилям эмпирических функций распределения); верхняя и правая шкалы – значения первого, второго (медианы) и третьего квартилей эмпирических функций распределения значений основности и магнезиальности руд; точки – средние составы руд месторождений

сновные с примерно равной ролью в рудных залежах и околорудных породах простых и сложных скарнов и водосодержащих апоскарновых минеральных ассоциаций или даже с преобладанием водосодержащих силикатов и алюмосиликатов. Как показывают многочисленные исследования, известково-скарновые месторождения формируются стадийно. Можно предположить, что высокоосновные рудные залежи реализуются для сопутствующего типа магнетитового оруденения, а руды пониженной основности – для наложенного типа оруденения. Особенности руд третьего наиболее низкого класса основности можно связать с интенсивным проявлением в рудных залежах пострудных гидротермальных процессов ранней гидротермальной «пропилитовой» стадии с развитием эпидота, актинолита, гематита и хлорита, а затем поздней альбит-березитовой стадии с поздним железистыми карбонатами щелочными полевыми шпатами, флюоритом и редкометалльными сульфидами.

Собственно магнезиально-скарновые магнетитовые месторождения – достаточно редкие геологические объекты. В соответствии с петрохимической классификацией, принятой автором, к магнезиально-скарновому минералогическому типу относится <5% известных рудных объектов, вместе с наиболее крупным и генетически сложным месторождением Таёжное. По параметрам основности и магнезиальности магнезиально-скарновым месторождениям соответствуют месторождения Коршуновское, Рудногорское и Тагарское, возможно попавшие в магнезиальную группу в связи с некоторой неопределённостью границ. Поле месторождений с максимальной основностью и магнезиальностью руд заметно перекрывается с полем высокомагниевого известково-скарновых месторождений.

Область пересечения содержит такие месторождения как Краснояровское, Огненное, Талое, Нерюндинское, Берямбинское. В пределах Алтае-Саянской области известно несколько небольших магнезиально-скарновых месторождений и рудных залежей в Горной Шории, Восточном Саяне и Кузнецком Алатау [19, 35, 47]. Наиболее крупное среди них – Тейское месторождение. Уверенно магнезиально-скарновыми можно называть месторождения, содержащие в рудных залежах серпентин, фиксирующий присутствие в них ранее форстерита и доломита. Показателями высокой магнезиальности руд являются диопсид, иногда, хондрит, магнезиальный хлорит и флогопит.

Особый гидросиликатовый тип метасоматических магнетитовых месторождений был выделен В.В.Богачкиным на примере месторождений Западного Саяна – Абаканского и Анзасского. В последние годы выявлены и оценены другие достаточно крупные месторождения этого типа – Холзунское и Волковское. Название минералогического типа определяется преобладанием в рудах водосодержащих минералов (эпидот, афиболы, хлорит, флогопит). Гидросиликатовые месторождения характеризуются отсутствием в рудах высокотемпературных безводных минеральных ассоциаций, характерных для собственно скарнов или содержат их в резко ограниченных количествах. При образовании гидросиликатовых месторождений не проявляется высокотемпературный скарново-рудный этап, но характерны процессы альбитизации и скаполитизации.

Гидросиликатовые месторождения содержат магнетитовые руды первого низшего класса основности. Месторождения первого класса основности, как и скарновые, уверенно можно разделить на две группы – магнезиально-гидросиликатовую и известково-гидросиликатовую. Группа магнезиальных гидросиликатовых месторождений характерна для Западного Саяна и сочленяющихся с ним структур Горного Алтая. Она включает Анзасское, Волковское, Холзунское, Кызырсугское, Ярышккольское месторождения. Известковые (актинолит-хлоритовые) гидросиликатовые месторождения представлены Абаканским месторождением. К этой же группе, в соответствии с полученной диаграммой, принадлежат Таятское,

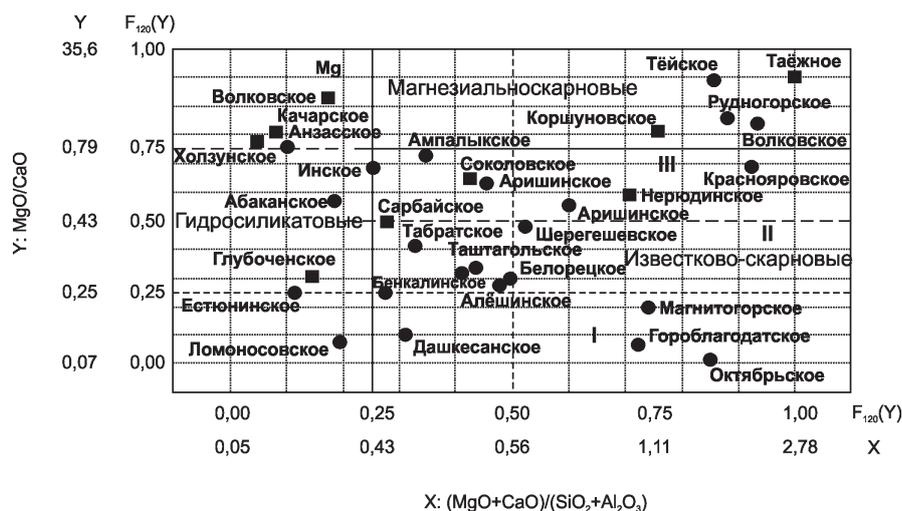


Рис. 4. Классификационная диаграмма метасоматических магнетитовых месторождений:

месторождения с запасами (в млрд. т): точки – >100, квадраты – 500; пояснения к системам координат даны на рис. 3

Хабалыкское и Тереховское месторождения Восточного Саяна. Хабалыкское и Тереховское месторождения ранее относились к известково-скарновым [32], но по параметрам основности и магнезиальности точнее могут быть отнесены к известковым скарново-гидросиликатным, где собственно скарны количественно резко подчинены амфибол-эпидотовым и амфибол-хлорит-эпидотовым минеральным ассоциациям.

Интересно, что в класс гидросиликатовых известковых месторождений попали такие известные месторождения Тургайско-Тюменского прогиба как Естунинское, Глубоченское и Ломоносовское, в то время как Качарское и другие месторождения Качарско-Давыдовской группы отнесены к магнезиальным гидросиликатовым.

Выделяемый по минералогическим параметрам скаполитовый подтип метасоматических магнетитовых месторождений можно рассматривать в рамках как магнезиальных (Анзасское), так и известковых (Таятское) месторождений. Характерные для скаполитовых месторождений пироксен-скаполитовые, амфибол-скаполитовые и эпидот-амфибол-скаполитовые минеральные ассоциации можно представить как парагенетические в составе единой системы, реализованной, в частности, на Таятском месторождении.

Можно также утверждать, что существует некоторая региональная спецификация магнетитовых месторождений. В частности, в Сисим-Казырской складчатой зоне Восточного Саяна и Горной Шории резко преобладают известково-скарновые месторождения при подчиненном значении магнезиально-скарновых. В железных рудах месторождений Кузнецкого Алатау заметно возрастает роль магнезиально-скарновых минеральных ассоциаций. В Западных Саянах преобладают своеобразные гидросиликатовые месторождения. Очевидна также специфика магнетитовых месторождений юга Сибирской платформы. На Урале, как и в целом в Саяно-Уральском складчатом поясе преобладают известково-скарновые месторождения.

По-видимому, железорудная металлогенетическая специализация обусловлена региональными особенностями тектономагматических циклов, на определенном этапе которых формируются рудные месторождения [34]. О ранней специализации каледонид Алтае-Саянской орогенной области на железо, реализованной в связи с раннепалеозойским магматизмом писал Г.В.Поляков [35]. Это же фактически предполагал один из первых исследователей Западного Саяна И.К.Баженов [5, 6], увидевший связь между палеозойским Анзасским месторождением и джебашскими позднепротерозойскими железистыми кварцитами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреева Е.Д., Богатиков О.А.* и др. Классификация и номенклатура магматических горных пород. – М.: Недра, 1981.
2. *Антипов Г.И., Иващенко М.А., Коробельникова В.В.* и др. Ангаро-Илимские железорудные месторождения трапповой формации южной части Сибирской платформы. – М.: Госгеолтехиздат, 1960.
3. *Архангельский А.Д., Копчёнова Е.В.* К познанию химического состава железных руд СССР. – М.–Л., 1935.
4. *Баженов И.К.* Западный Саян / Очерки по геологии Сибири. – М.: Изд-во АН СССР, 1934.
5. *Баженов И.К.* Новые железорудные месторождения в Западном Саяне / Вестник ЗСГРТ. 1932. № 2. С. 34–41.
6. *Баженов И.К., Индукаев Ю.И., Тюлюпо Б.М., Чистяков В.К.* Геохимические особенности и закономерности локализации некоторых контактово-метасоматических месторождений Алтае-Саянской области / Итоги исследований по геологии и географии за 50 лет (1917–1967). – Томск, 1968.
7. *Бекмухаметов А.И., Баклаев Я.П., Полтавец Ю.А.* и др. Железорудные формации Зауралья. Средняя и Южная части Тургайского прогиба. – Свердловск, 1986.
8. *Богацкий В.В.* Геологические особенности южно-сибирских магнетитовых месторождений гидросиликатового типа / Разведка и охрана недр. 1057. № 9. С. 26–34.
9. *Бекмухаметов А.Е., Панкратова Н.Л.* Геология и закономерности размещения железорудных месторождений Казахстана / Геология и генезис железорудных месторождений. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. С. 13–24.
10. *Геология и генетические особенности магнетитовых месторождений Тургая.* – Алма-Ата: Наука, 1969.
11. *Вахрушев В.А.* Минералогия, геохимия и генетические группы контактово-метасоматических железорудных месторождений Алтае-Саянской области. – М.: Наука, 1965.
12. *Вахрушев В.А., Воронцов А.Е.* Минералогия и геохимия железорудных месторождений юга Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, 1976.
13. *Дымкин А.М., Баклаев Я.П., Нечкин Г.С., Полтавец Ю.А.* Некоторые особенности формирования железорудных месторождений Урала / Геология и генезис железорудных месторождений. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. С. 3–7.
14. *Дымкин А.М., Лидин Н.С.* Генетические типы железорудных месторождений Западного Забайкалья. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985.
15. *Дымкин А.М., Полтавец Ю.А., Баклаев Я.П.* и др. Железорудные формации Зауралья. Северная часть Тургайского прогиба. – Свердловск, 1987.
16. *Железорудные месторождения Алтае-Саянской горной области.* – М.: Изд-во АН СССР, 1959.
17. *Железорудная база России /* Под ред. В.П.Орлова, М.И.Веригина, Н.И.Голивкина. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998.
18. *Железорудные формации Среднего и Южного Урала.* – М.: Наука, 1989. Т. 1.
19. *Железорудная база Тагило-Кушвинского промышленного района.* – Свердловск, 1957.
20. *Зубова С.И.* Химический состав руд и концентратов железорудных месторождений Сибири / Железорудные месторождения Сибири. – Новосибирск: Наука, 1981. С. 220–225.
21. *Индукаев Ю.В.* Рудные формации контактово-метасоматических месторождений Алтае-Саянской области. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1980.
22. *Калугин И.А.* Петрохимические критерии подвижности железа при эндогенном рудообразовании / Генетические

- модели эндогенных рудных формаций. – Новосибирск: Наука, 1983. С. 105–111.
23. *Калугин И.А.* Химический состав магнетитовых руд на месторождениях скарновой формации / Теоретическая и генетическая минералогия. – Новосибирск: Наука, 1980. С. 69–73.
 24. *Калугин А.С.* Принципы новой классификации железорудных месторождений Сибири / Геолого-геохимические особенности магматогенных рудных месторождений Алтае-Саянской области. – Новосибирск: СНИИГГИМС, 1969. С. 5–7.
 25. *Калугин И.А.* Метаморфизм вулканогенно-осадочных железных руд. – Новосибирск: Наука, 1985.
 26. *Калугин И.А.* Петрохимические особенности скарново-магнетитового оруднения в силикатных и карбонатных толщах / Проблемы дифференциации вещества в магматических и рудообразующих процессах. – Новосибирск: Наука, 1977. С. 161–173.
 27. *Калугин А.С., Калугина Т.С., Иванов В.И.* и др. Железорудные месторождения Сибири. – Новосибирск: Наука, 1981.
 28. *Кашкай М.А.* Петрология и металлогения Дашкесана и других железорудных месторождений Азербайджана. – М.: Недра, 1965.
 29. *Князев Г.Б., Хохлов В.Е.* Химико-минералогические особенности руд Таятского метасоматического магнетитового месторождения скаполитового подтипа / Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск: Иркутский политехнический ин-т, 1981. С. 36–47.
 30. *Князев Г.Б., Зубков А.А.* и др. Структурно-генетическая модель Восточно-Бурлукского железорудного месторождения (Восточный Саян) // Геология и разведка. 1991. № 2. С. 70–75.
 31. *Князев Г.Б., Зубков А.А., Хохлов В.Е.* Нижнечинжебинское железорудное месторождение в Восточных Саянах // Геология и разведка. 1986. № 6. С. 54–60.
 32. *Князев Г.Б.* Структурно-генетическая модель Тереховского магнетитового месторождения // Геология и геофизика. 1988. № 12. С. 68–77.
 33. *Князев Г.Б.* Вулканогенно-карбонатный тип разрезов вмещающих пород железорудных полей Сисим-Казырского синклиория (Восточный Саян) // Формационный анализ в геологических исследованиях. Мат-лы научно-практической конференции. – Томск: Изд-во Томского государственного ун-та, 2002. С. 53–57.
 34. *Князев Г.Б.* К вопросу о петрохимической классификации метасоматических магнетитовых месторождений / Геология и разведка. 1987. № 3. С. 62–66.
 35. *Князев Г.Б.* Магнетитовые месторождения пироксен-амфиболового и пироксен-амфибол-хлоритового минеральных типов // Геология и разведка. 1992. № 6. С. 52–58.
 36. *Князев Г.Б.* Магнетитовые месторождения в палеозойских терригенных и терригенно-вулканогенных отложениях Западного Саяна и Горного Алтая / Проблемы металлогении юга Западной Сибири. Мат-лы научн. конф. 10–11 июня 1999 г. – Томск: Изд-во Томского государственного ун-та, 1999. С. 97–100.
 37. *Князев Г.Б.* Сисим-Казырская складчатая зона Восточного Саяна. Нижнепалеозойский магматизм и железооруденение. – Saarbrücken: LAP, 2014.
 38. *Князев Г.Б.* Типизация контактово-метасоматических магнетитовых месторождений Урала и юга Сибири по особенностям среднего химического состава руд // Руды и металлы. 2012. № 4. С. 19–24.
 39. *Князев Г.Б.* Фосфор и сера в скарновых железных рудах // Минералогия, геохимия и полезные ископаемые Азии. – Томск: ЦНТИ, 2013. Вып. 2. С. 122–128.
 40. *Князев Г.Б., Майборода У.Ю.* Титан в составе скарново-рудных залежей стратиформных скарновых месторождений и оценка степени преобразования вмещающих пород в процессе скарнирования // Скарны, их генезис и рудоносность (Fe, Cu, Au, W, Sn). Мат-лы междунар. научной гонф. (11 чтения памяти академика А.Н.Заварицкого), 31 мая–2 июня, 2005. – Екатеринбург: Изд-во ИГГ УрО РАН, 2005. С. 213–216.
 41. *Леверттов А.Р., Леверттова Н.С.* Условия локализации руд на Абаканском железорудном месторождении / Магматизм и металлогения Алтае-Саянской складчатой области. – Новосибирск: СНИИГГИМС, 1971. С. 169–171.
 42. *Мазуров М.П.* Генетические модели скарновых железорудных формаций. – Новосибирск: Наука, 1985.
 43. *Момджи Г.С., Чистякова Н.М.* Геохимические типы железорудных формаций // Геохимия. 1979. № 6. С. 840–853.
 44. *Магнетитовые руды* Кустанайской области и пути их использования / Под ред. А.П.Бардина. – М.: АН СССР, 1958.
 45. *Овчинников Л.Н.* Контакттово-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала. – Свердловск: Изд-во Уральского филиала АН СССР, 1960.
 46. *Поляков Г.В.* Палеозойский магматизм и железооруденение юга Средней Сибири. – Новосибирск: Наука, 1971.
 47. *Проблемы генезиса, закономерности размещения и перспективы* // Под ред. В.А.Кузнецова и А.М.Дымкина. – Новосибирск: Институт Геологии и геофизики СО АН СССР, 1974.
 48. *Пухнаревич М.М.* Условия и особенности формирования эндогенных месторождений железа юга Сибирской платформы. – Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1986.
 49. *Синяков В.И.* Основы теории рудогенеза. – Л.: Недра, 1987.
 50. *Синяков В.И.* Формационные типы железорудных месторождений Тельбесского рудного пояса (Горная Шория). – Новосибирск: Наука, 1975.
 51. *Соколов Г.А., Дымкин А.М.* К вопросу о классификации контактово-метасоматических железорудных месторождений // Геология и генезис магнетитовых месторождений Сибири. – М.: Наука, 1967. С. 5–15.
 52. *Тюлюпо Б.М.* Критерии определения генетического типа железорудных месторождений // Проблемы геологии и металлогении Сибири. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1969. С. 141–156.
 53. *Шабынин Л.И.* Магнезиально-скарновые железорудные месторождения. – М.: Недра, 1978.

Импактно-космогенно-метасоматическое происхождение микроалмазов месторождения Кумды-Коль, Северный Казахстан

Л.И.ТРЕТЬЯКОВА, А.М.ЛЮХИН

На основе анализа геологических, петрографических, минералогических, кристаллографических, геохимических данных по алмазам и алмазоносным породам месторождения Кумды-Коль в Северном Казахстане показано импактно-космогенно-метасоматическое происхождение алмазов этого месторождения.

Ключевые слова: микроалмазы, месторождение Кумды-Коль, генезис алмазов, импакт, метаморфизм сверхвысокого давления, прогрессивный и регрессивный метаморфизм, метасоматоз.

Третьякова Людмила Иосифовна
Люхин Алексей Михайлович



ltretia@gmail.com
Lyuhin@yandex.ru

Impact-cosmic-metacomatic origin of microdiamonds from Kumdy-Kol deposit, North Kazakhstan

L.I.TRETIKOVA, A.M.LYUKHIN

On the basis of comprehensive analyses geological, petrological, mineralogical, crystallographic, geochemical data of microdiamonds and diamond-bearing rocks from Kumdy-Kol deposit have been proved impact-cosmic-metacomatic origin of diamonds from this deposit.

Key words: microdiamonds, Kumdy-Kol deposit, diamond genesis, impact, UHP metamorphism, prograde and regressive metamorphism, metasomatism.

В истории Солнечной Системы импактные процессы играют важную роль. Бомбардировки планет Солнечной Системы, включая Землю, метеороидами и кометами продолжают в течение всей ее геологической истории и носят пульсационно-прерывистый характер. Первые надежные свидетельства крупномасштабных импактных событий в форме различных слоев сферул найдены в Южной Африке и Австралии, их возраст ~3,4 и ~2,5 млрд. лет соответственно (С.Коеберл, 2006). Известно несколько больших импактных структур, образовавшихся 2100–700 млн. лет назад (Jordan, 2012), остальные – около 188 известных в настоящее время подобных структур моложе 700 млн. лет, из них основная часть имеет кайнозойский возраст. Поскольку на Земле в отличие от других планет Солнечной Системы большую роль играют эрозионные процессы, которые за многие миллионы лет могли уничтожить следы древних импактов, в действительности ударных кратеров значительно больше, они пока не все идентифицированы.

Любое столкновение космического тела с Землей оставляет следы на её поверхности. Важно находить и определять признаки внеземного вещества в земных породах и отличать их от следов древних геологических

процессов с помощью тщательных структурных дистанционных, петрографических, минералогических, геохимических исследований.

Известно отрицательное влияние импактов на биологическую эволюцию нашей планеты, один из примеров – удар метеороида в конце мелового периода, который уничтожил многие виды фауны, в том числе и динозавров. Влияние импактов на геологическую эволюцию Земли скорее положительное, благодаря им на Земле появились многие полезные ископаемые: алмазы, U, PЗЭ, руды Pt, Au, Fe, Ni, Cu, нефть, газ и др. Документированными земными импактами являются Cu-Ni месторождение Садбери (возраст 1850±3) (D.E.Ames et al., 2008), Au-U месторождение Витватерсранд, возникшее в результате импактного события Vrederfort 2023±4 млрд. лет назад (С.А.Вишневецкий, 2007).

Авторы считают, что и алмазы, найденные на Земле, доставлены на её поверхность космогенными источниками (астероиды, кометы) и (или) кристаллизовались in situ на затравках вещества, принесенного ими в условиях среды и за счет энергии, созданной импактным событием. В большинстве случаев имели место обе причины. В частности, месторождение Кумды-Коль и

территориально близкие и геологически подобные ему проявления алмазов Барчи-Коль, Сулу-Гюбе, Солдат-Коль и Кюлет, расположенные в Северном Казахстане, образовались в результате наклонного столкновения с Землей фрагментов кометы, распавшейся на части в земной атмосфере. Месторождение Кумды-Коль с запасами микроалмазов многие сотни миллионов карат – одно из наиболее изученных проявлений «метаморфических» алмазов на Земле. Рассмотрение геологических, петрографических, минералогических, геохимических признаков минералов и пород позволило авторам сделать вывод об импактно-космогенно-метасоматическом происхождении микроалмазов этого месторождения.

В настоящий момент существует пять гипотез генезиса микроалмазов месторождения Кумды-Коль. Их описание дано в работах [1, 2, 7] и др. и здесь не рассматривается.

Геологическое строение месторождения микроалмазов Кумды-Коль приводится по данным источников [1, 2, 7]. Месторождение располагается в пределах Северо-Казахстанской рудной провинции и приурочено к Кокчетавскому массиву.

Докембрийский фундамент (вмещающие породы месторождения) сложен гранат-биотитовыми и двуслюдяными протерозойскими гнейсами (~1900–2600 млн. лет). Возраст метаморфического события сверхвысокого давления, явившегося причиной изменения вмещающих алмазы пород и алмазообразования – кембрийский (~517–527 Ма), а возраст линз лейкократовых гранитов – поздний кембрий–ордовик [2, 16].

Породы рудной зоны – алмазоносные метасоматически измененные метаморфизованные гранат-биотитовые и биотитовые гнейсы (с графитом, сульфидами, водой, оксидами железа, РЗЭ), с линзами кварцевых, карбонатных, гранат-пироксеновых пород, измененных эклогитов обогащены Ас, U, Ti. Алмазоносные породы переслаиваются с безрудными, безграфитовыми регионально метаморфизованными гранат-биотитовыми гнейсами или линзами инъекционных гранитов. Это означает, что гнейсы образовались в результате регионального метаморфизма на ~2 млрд. лет раньше, а граниты на несколько миллионов лет позже формирования рудной зоны месторождения.

Алмазоносная зона имеет сложное линзовидно-блоковое строение. На фоне ее линзовидно-полосчатого строения выделяются блоки пород различного состава. Рудная зона представлена моноклинально залегающим, крутопадающим (угол падения 60–80°), пластообразным телом северо-восточного простирания с незакономерно чередующимися рудными (с разным содержанием алмазов) и безрудными участками. На юго-западном фланге месторождения оно протягивается на дневной

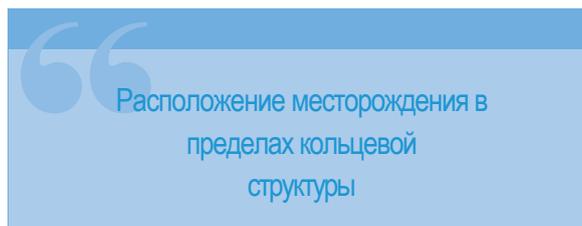
поверхности в виде полосы на расстояние ~1300 м при ширине ~40 м и до ~250 м – на северо-восточном (то есть расширяется по направлению к оз. Кумды-Коль). Выклинивается на глубине ~300 м. Рудная зона ограничена разломами северо-восточного, север-северо-восточного и широтного простираний, образующими единую тектоническую зону дробления и трещиноватости. Вмещающие породы брекчированы, имеют бластомилонитовую и бластокатаклазитовую структуры и сцементированы тонкозернистой массой [2], (Л.Д.Лаврова и др., 1997).

Распределение алмазов (размер 10–60 мкм) в породах рудной зоны не имеет четких литологических и пространственных границ. Критерием алмазоносности пород является их интенсивный метасоматоз, алмазы встречаются во всех типах метасоматитов в виде вкрапленников во все минералы и межзерновое пространство. Алмазы всегда приурочены к трещинам в породах и минералах, они не замещают ранее существовавший минерал, но заполняют пустоты в микротрещинах породообразующих минералов, включая их эпигенетические (более поздние) разновидности. Содержание алмазов возрастает в северо-восточном направлении к центру кольцевой структуры.

По данным работ [2 и др.] высокоалмазоносные породы отмечены в ксенолите гранат-пироксеновой породы, находящемся в теле лейкократовых гранитов, расположенных к северу от рудной зоны месторождения. Порода пред-

ставляет собой крупнозернистый агрегат граната (пироп-гроссуляр-альмандин) 30%, пироксена (диопсид-салит) 60% и кварца+полевого шпата ~10%. В небольших количествах присутствуют амфибол и акцессорные минералы – рутил, сфер, циркон. Кроме того, алмазы обнаружены в глыбе на берегу оз. Кумды-Коль, состоящей из пироксен-флогопит-карбонатной породы, а также в линзах и маломощных пластах аналогичного состава среди гнейсов рудной зоны, имеющих бластомилонитовую структуру и состоящих из клинопироксена (диопсид) 20–40%, флогопита 10–20% и карбонатов (кальцит и доломит). К высокоалмазоносным породам относятся также гранат-биотитовые измененные гнейсы, слагающие основную часть (80%) рудной зоны [2], (Л.Д.Лаврова и др., 1997).

К алмазоносным породам также относят: а) гранат-биотит-амфиболовые породы, обычно наблюдающиеся на контактах гранат-биотитовых гнейсов с эклогитами или гранат-пироксеновыми метасоматитами. Эти породы с массивной текстурой состоят (в %): из граната (пироп-гроссуляр-альмандин) 20, биотита 15, зеленой роговой обманки 25, сфена 5, кварц-полевошпатового агрегата; б) алмазоносные ортоклаз-пироксеновые, пироксеновые, гранат-пироксеновые и пироксен-карбо-



натные породы, образующие маломощные линзы и изометрические тела в рудной зоне. Породы имеют такситовую текстуру (по-видимому, имело место плавление исходных пород) и содержат (в %): пироксен (диопсид-салит) 60, сфен 5, ортоклаз 35.

Сценарий и признаки импактного события. Космическое изображение территории (рис. 1) показывает, что месторождение Кумды-Коль расположено в пределах кольцевой структуры диаметром ~4,0 км, по форме и размерам сопоставимой с небольшим ударным кратером [4], (А.М.Луыкхин, 2012). Авторы предполагают, что рудная зона месторождения начала формироваться на пике метаморфизма сверхвысокого давления, условия которого были спровоцированы ударом кометы, летевшей по направлению с северо-востока на юго-запад и столкнувшейся с Землей под косым углом [4], (А.М.Луыкхин, 2012, Н.Ж.Мелеш, 1989). Доказательством служат образовавшаяся в результате удара четко выраженная кольцевая структура и сопутствующая ей зона дробления и трещиноватости, сформированная породами, образованными при механическом дроблении и разрушении со структурами автокластических пород, расширяющаяся по направлению к оз. Кумды-Коль и выклинивающаяся на глубине ~300 м. Подчеркнем, что содержание алмазов в рудной зоне возрастает в северо-восточном на-правлении к центру кольцевой структуры.

Вещество ядра кометы, подобное углисту хондриту, включающему в себя частицы звездной пыли,

presolar зерна (зерна, имеющие аномальный изотопный состав по сравнению со средним составом материала Солнечной системы, которые не могли образоваться в результате ядерных процессов – радиоактивного распада, расщепления, вызванного космическими лучами, идентифицируются как Presolar, T.L.Dalton et al., 1996). К ним относятся зерна алмазов, SiC, графита, Si_3N_4 , Al_2O_3 , MgAl_2O_4 , $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$, TiO_2 , $\text{Mg}(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$, силикатов, TiC, Fe-Ni, замороженные газы – C-H-O-N [19], (D.D.Clayton, L.R.Nittler, 2004, T.L.Dalton et al., 1996, R.M.Hough et al., 1995, U.Ott, 1993), наноалмазы с аномальным содержанием благородных газов – He, Ne, Ar, Xe [19, 14, 9], (C.Koeberl, 1998) и рассеянные элементы (K, Na, S, P, Pb, Nb, Cl, Zn, Ni, Zr, Ti, Th). Под огромным давлением вещество ядра кометы было вприснуто в породы мишени, став импактно-космогенным источником зародышей алмазов и (или) самих алмазов [4], (А.М.Луыкхин, 2012).

Рост алмазов происходил в условиях регрессивного метаморфизма в течение короткого времени сразу после импакта за счет сверхнасыщенного углеводородами флюид-расплава, когда давление резко упало, а температура медленно понижалась. Флюид-расплав был сформирован в процессе столкновения из водно-парового хвоста кометы (состав которого C, CH, CH_3 , CN, HCN, N, NH_3 , H_2O) [10] и смеси тонкодисперсного вещества ядра кометы с парами расплавленных пород мишени.

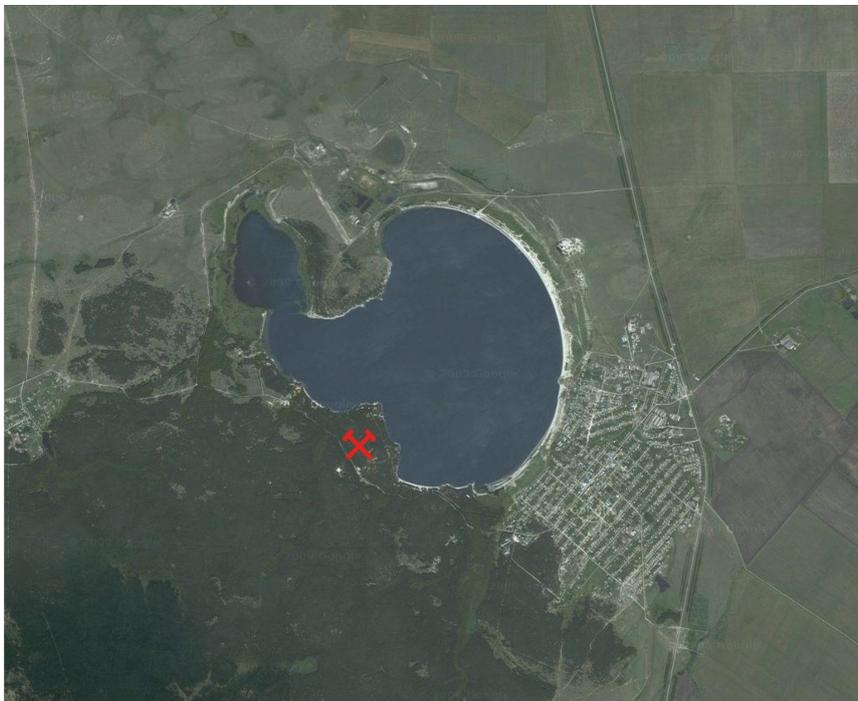


Рис. 1. Космическое изображение района месторождения Кумды-Коль, Северный Казахстан [26]

Рассмотрим особенности строения и состава алмазов и сопутствующих им минералов, подтверждающих космогенную природу месторождения Кумды-Коль.

Автографы ударного давления и прогрессивного метаморфизма пород мишени характеризуются включениями минералов сверхвысокого давления – алмаза, лонсдейлита, коэсита, омфацита в породы мишени, наличием принесенных кометой муассанита (SiC) и сферул графита [17], закаленных металлических частиц – магнетита, гематита, вюститита, троиллита, α -Fe, Ni-Fe в алмазносных породах. Указанные условия подтверждаются также существованием катионных обменов в ударно-активированных фазах при замещениях: $2Al^{3+} \rightarrow [(Mg, Fe)^{2+} + Ti]$ или $(Ca + Al) \rightarrow (Na + Ti)$ в гранатах, наличием избытка Si в клинопироксенах при замещении $1,5 Si^{4+} \rightarrow (Mg^{2+} + Na + Al^{3+})$ [25], о чем свидетельствуют высокие содержания Na и Ti в гранатах, K и Na в клинопироксенах [16], Al и Si в сфенах, Al в фенгитах [25], (R.Y.Zwang and G.J.Liou, 2001). Разделение Fe-Mg между клинопироксеном и гранатом дает пик температур $\sim 985\text{--}1045^\circ\text{C}$ для ядро-ядро и $\sim 800\text{--}1000^\circ\text{C}$ оболочка-оболочка пар при $P > 40$ кбар для алмазсодержащих пород [25]. Амфибол со значительным компонентом К-рихтерита [25] и минеральная ассоциация доломит+диопсид+гранат(+арагонит) \pm алмаз в доломитовых мраморах [22] согласуются с происхождением при высоком давлении. Все это указывает на воздействие на эти породы ударной волны с пиковым давлением $\geq 40\text{--}50$ кбар.

Условия регрессивного метаморфизма возникли при резком уменьшении давления и медленном понижении температуры пород после импакта. Образовавшийся флюид-расплав способствовал метасоматическому изменению пород мишени. Это прослеживается по образованию оболочек графита на алмазах [17], псевдоморфоз шестоватого кварца по коэситу (C.D.Parkinson, 2000), реакционных каемок (симплектитовых сростаний) клинопироксена и шпинели на гранатах [16], (I.Katayama et al., 2000, 2002), биотит-полевошпатовых и плагиоклаз-амфиболовых симплектитов вокруг клинопироксенов и гранатов, замещению граната биотитом, что что служит маркером амфиболитовой фазии метаморфизма ($T 650\text{--}680^\circ\text{C}$, $P < 10$ кбар) [25], (R.Y.Zwang and G.J.Liou, 2001).

Произошедшие во время декомпрессии фазовые переходы в твердом состоянии кристалл-кристалл характеризуются распадом твердого раствора кварца, фенгита и калишпата в клинопироксене [16], образованием пластинок ильменита в оливине и клинопироксене, магнетита в оливине и клиногумите [12, 16], (I.Katayama et al., 2002), ламелей коэсита в титаните и диопсиде [22], (Y.Ogasawara et al., 2002). Образование кальцита из доломита при распаде твердого раствора и присутствие в матрице хлорита и актинолита отвечают зеленосланцевой ступени

метаморфизма при $T \sim 420^\circ\text{C}$ и $P \sim 2\text{--}3$ кбар. [25].

Алмазсодержащие зональные гранаты и цирконы содержат минеральные включения, захваченные как в прогрессивную, так и регрессивную стадии метаморфизма. В некоторых гранатах по направлению от ядра к оболочке уменьшаются содержания MgO, TiO₂ и Na₂O и увеличиваются – FeO, CaO, MnO. Включения и зональность граната отражают прогрессивные P - T условия в их центральных частях и регрессивные при образовании келифитовых каемок. Включения в гранатах из алмазсодержащих гнейсов с изменчивым парагенезисом главных минералов (гранат \pm биотит \pm кварц \pm плагиоклаз \pm К-полевоый шпат \pm цоизит \pm хлорит \pm турмалин \pm кальцит) и второстепенных (апатит, рутил, циркон) представлены алмазом, графит+хлоритом (или кальцитом), фенгитом, клинопироксеном, калишпатом, биотитом, рутилом, сфеном, цирконом. Включения алмаза, доломит \pm графита, клинопироксена, биотита идентифицированы в гранате из алмазсодержащих доломитовых мраморов (доломит+диопсид \pm гранат+флогопит) (перечень минералов включений в зональных гранатах приведен по направлению от центра к периферии гра-натов) [25].

Циркон – лучший контейнер минералов сверхвысокого давления, что обусловлено P - T диапазоном стабильности, механической устойчивостью и нахождением его как акцессорного минерала в метаморфических породах. Распреде-

ление включений в цирконе дает возможность проследить определенную метаморфическую зональность. Наиболее часто в цирконах месторождения наблюдается унаследованное ядро, широкая мантия и наружная оболочка, каждая с отчетливым парагенезисом микровключений. Минералы низкого давления – включения графита, кварца и альбита обычны в унаследованном ядре и тонкой наружной оболочке, в зоне между ядром и оболочкой циркона присутствуют минералы, образующиеся при сверхвысоком давлении: алмаз, коэсит и жадеит [16], (I.Katayama et al., 2000).

Углерод представлен микроалмазами (10–60 мкм), графитом (тесно связанный sp^3 гибридный углерод (алмаз) с подчиненным количеством sp^2 углерода (графит)), алмаз-лонсдейлит-графитовыми сингенетическими сростаниями (Т.Г.Шумилова и др., 2012) (лонсдейлит диагностируется в большинстве Раман-спектров алмазов месторождения по уширению и сдвигу в сторону меньших волновых чисел полосы $1332,5\text{ см}^{-1}$ и рассматривается как космический импакт-маркер [4]), чаоитом, α - и β -карбинами и скелетными рентгеноаморфными формами [2, 7], (Т.Г.Шумилова и др., 2012). Состав углеродного вещества сравним с таковым presolar наноалмазов хондритов и частиц космической пыли (IDP) (F.J.M.Rietmeijer, I.D.R.Mackinnon, 1987).

“**Признаки прогрессивного, ударно-активированного (УНР) и регрессивного метаморфизма и метасоматоза пород МИШЕНИ**”

Графит содержится в виде единичных кристаллов, зерен в ядрах алмазов (затравки), оболочек вокруг алмазных зерен, сингенетических включений в алмазах, сростаний с алмазом, сульфидами и другими минералами [7], капелек в ядре граната, агрегатов, чешуек в матрице (Y.Nashiguchi et al., 2006), сферул [17], развивается по трещинам и заполняет пустоты в минералах и матрице сильно измененных пород.

Алмаз характеризуется многообразием морфологических типов: кубы, комбинированные формы – скелетные, розетковидные, сфероидальные кристаллы, агрегаты идиоморфных кристаллов, редкие октаэдр, двойники [7]. Кристаллы алмаза зональные, ядра и оболочки отличаются по морфологии, изотопному составу углерода и азота (Y.Nashiguchi et al., 2006), концентрации и агрегации азота [21]. Слабая и уширенная Рамановская полоса алмаза 1332 см^{-1} в ядрах и интенсивная, узкая в промежуточной зоне – свидетельство присутствия разных фаз углерода, микропримесей в ядрах алмаза и признак их двухстадийного роста. Дислокации в алмазах имеют тенденцию расходиться лучами от центральной точки зерна к остроконечным наружным частям

[15], (S-L.Hwang, 2003), наблюдается их аномальное дву-преломление, обусловленное напряжением, несколько различное в ядрах и оболочках алмазов.

Включения микроалмазов в минералы и породы представлены единичными кристаллами, сингенетическими сростаниями со всеми породообразующими минералами, наиболее часто образуются агрегаты алмаз±графит; алмаз+апатит+клинопироксен; алмаз+гидратные фазы – флогопит и фенгит; сростания коэсита с алмазом.

Изотопный состав углерода алмазов. Диапазон значений $\delta^{13}\text{C}$ ($-8,9\text{...}-27\text{‰}$) [3] алмазов сравним с $\delta^{13}\text{C}$ ($-5\text{...}-31\text{‰}$) наноалмазов из примитивных метеоритов [13], (S.S.Russell, 1991). В некоторых микроалмазах наблюдаются зоны, для которых характерны разные значения $\delta^{13}\text{C}$: ядра имеют более тяжелые значения $\delta^{13}\text{C}$, а оболочки более легкие [22], что указывает на двухстадийность их образования. В доломитовых мраморах значения $\delta^{13}\text{C}$ алмаза ($-26,9\text{...}-8,3\text{‰}$) отличаются от $\delta^{13}\text{C}$ ($-7\text{...}-1\text{‰}$) кальцита этих пород [3, 15]. Алмазы из гнейсов имеют более легкие значения $\delta^{13}\text{C}$, чем таковые из пироксен-карбонатных и гранат-пироксеновых пород. Разнообразие модификаций

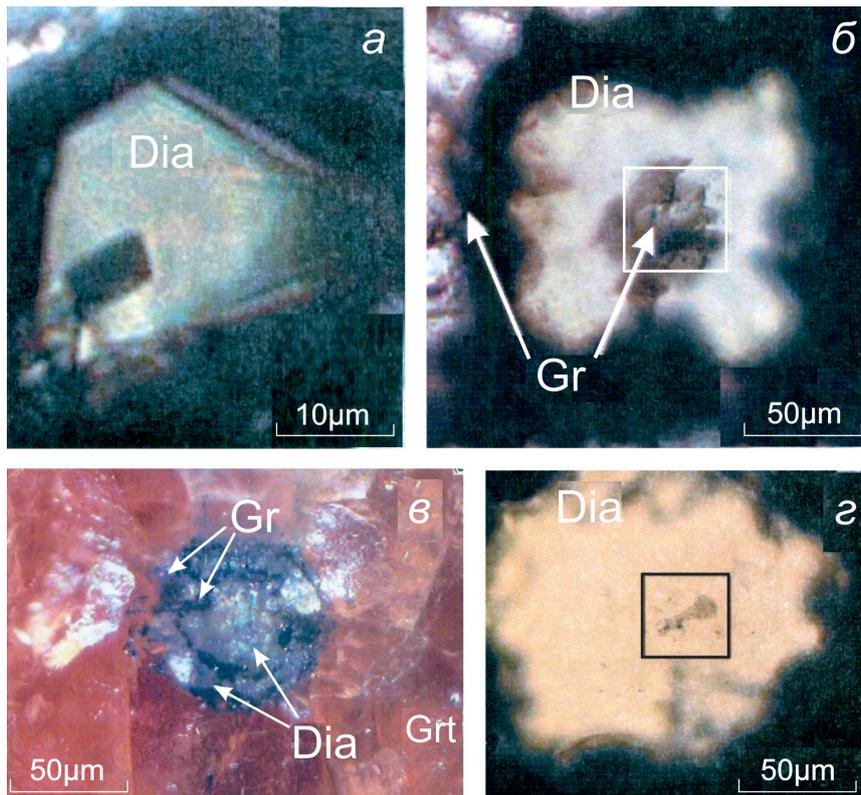


Рис. 2. Морфология и зональность микроалмазов [17]:

a, б – затравки в центре кристаллов (sp^3+sp^2) – графит, промежуточные зоны – алмаз с видимыми зонами роста и оболочки – графит; *в* – сложные условия роста – наружная и внутренняя оболочки графита на и в алмазе; *г* – нановключения в микроалмазе

углерода и состава его изотопов позволяет допустить происхождение отдельных групп алмазов из разных (или смешанного) источников углерода в породах [3]. Значения $\delta^{13}\text{C}$ графита более легкие, чем у алмаза [3], что не подтверждает гипотезу происхождения алмаза из графита для этого месторождения.

Включения в алмазах. Прото-генетические нановключения углерода в алмазах представлены углеродными фазами (sp^3+sp^2), они служат затравками для последующего роста алмазов (рис. 2). Не исключено, что часть углерода образовалась в результате графитизации при-несенных кометой алмазов непосредственно при импактном событии. Алмаз осаждался на этих затравках во время изменения условий среды от прогрессивного к регрессивному метаморфизму и очень непродолжительное время.

Необычные нановключения, извлеченные из микроалмазов, найденных в гранатах представлены: твердыми фазами SiO_2 (с рассеянными элементами Al, Fe, Cr, K, S, Ca), TiO_2 (с рассеянными элементами N, Fe, Cr, Ca, Zn, K, S, P, Pb, Si), Cr_2O_3 (с рассеянными элементами Fe, Al, Ti, K, P), Fe_xO_y , (два набора рассеянных элементов (Al, K, Ca) и (Si, Cl, S, Mg)+(Al, Si, P, Ni, Fe), обогащенными Ферропироксенами, Са-Титанцирконатами, Th_xO_y , BaSO_4 . Определено одно включение, стехиометрически соответствующее ферросилиту с малым количеством энстатитового компонента ($\text{Fe}_{1,60}\text{Mg}_{0,14}$

$\text{Ca}_{0,09}\text{Al}_{0,08}\text{Al}_{1,91}(\text{Si}_{1,930}\text{Al}_{0,07})\cdot 2\text{O}_6$ [11]. Нановключения представляют сосуществующие разновидности редких минералов (не являющихся породообразующими за исключением SiO_2) с необычными наборами рассеянных элементов. Даже два нановключения, находящиеся рядом, могут иметь различающиеся наборы рассеянных элементов [11]. Эти данные поддерживают нашу гипотезу образования микроалмазов месторождения Кумды-Коль. Как было показано выше, микроалмазы в основном зональны, они имеют ядро, промежуточную зону и оболочку. Ядра алмазов сформировались в космосе, что подтверждается присутствующими в них экзотическими нановключениями и разнообразным набором рассеянных элементов, то есть они имеют внеземное происхождение, отражая состав вещества кометы.

Сингенетические нановключения в микроалмазах. Промежуточная часть алмазов кристаллизовалась из флюида, в них включения представлены жидкими фазами К-С-ОН флюида с высоким содержанием К и Са, растворенными фосфатами, хлоридами, сульфатами (сульфидами) и рассеянными элементами (Si, Fe, Ni, Ti, Cr, Zr, Ba, Mg, Th, Na, Pb, Zn, Nb, Al), а также нанокристаллами карбонатов и силикатов [11,

15] и расплавленного стекла во флюиде [15]. В таких включениях не исключено присутствие азота [21]. Химический состав стекла и жидких включений зависит от состава пород: включения Si-P-K-стекла с высоким содержанием Si и низким К характерны для алмазов из гнейсов, а включения К-Si-флюида с высоким содержанием К и низким Si – для алмазов из доломитовых мраморов [15], (S-L.Hwang et al., 2005). Сложные сингенетические включения в алмазах представлены жидкими и твердыми субмикроскопическими фазами – флюид+наноалмазы+сульфиды Fe, Co, Ni, Zn+ различные породообразующие минералы [15]. Оболочка микроалмазов, как правило, графитизирована в связи с изменением условий кристаллизации, но и внутри алмазов наблюдаются признаки графитизации – взаимные прорастания алмаза и графита, переслаивание этих фаз [7], что указывает на периодические изменения условий кристаллизации.

Благородные газы в алмазах. Микроалмазы и метасоматические алмазоносные породы месторождения Кумды-Коль обогащены He, Ne, Ar, Xe [5, 6, 23, 24]. Экстремально высокое содержание ^3He наблюдается в матрице алмазов и в нановключениях, которые сохранили автографы инертных газов, захваченных при образовании алмазов, а также в алмазоносных метасоматитах и минералах из этих метасоматитов [6, 24]. Значение $^3\text{He}/^4\text{He}$ в алмазах (в ‰) месторождения варьируют от $7\cdot 10^{-1}$ до $8\cdot 10^{-9}$ [5, 6, 23] и

превышает значения $^3\text{He}/^4\text{He}$ (частиц космической пыли (IDP) $>10^{-4}$), атмосферы Земли ($1,4\cdot 10^{-6}$), солнечного ветра ($4,3\cdot 10^{-4}$), базальтов срединного океанического хребта MORB ($1,1\cdot 10^{-5}$), базальтов океанических островов OBI ($0,7\cdot 10^{-4}$), мантийных магм ($4\cdot 10^{-6}$ и $>10^{-5}$) [5, 6, 8, 14, 23], (M.D.Kurz, W.J.Jenkins, 1981).

Высокие значения $^3\text{He}/^4\text{He}$ в алмазах получены при освобождении He в относительно низком температурном диапазоне (200–1100°C) во время отжига в вакууме [5, 23], а не во время сжигания алмаза в контролируемой кислородом атмосфере (A.B.Verchovsky et al., 1993). Количество «избыточного» ^3He и значения $^3\text{He}/^4\text{He}$ зависят от размера зерен алмаза в алмазных фракциях: наибольшая часть ^3He освобождается из самой мелкой фракции (<14 мкм) при низких температурах (500–800°C) и меньшая – при высоких (1500–1700°C). Наоборот, ^4He предпочтительно освобождался, когда алмазы были нагреты до температуры близкой к T графитизации алмаза (~2000°C) и (или) во время сжигания более крупных (>60 мкм) фракций. Термический отжиг при разных температурах свидетельствует о разном положении атомов этих изотопов в кристаллах алмаза (большинство атомов ^4He находится в решетке алмазов, а ^3He – во включениях), что указывает на

Присутствие минеральных включений
высокого и низкого давления в алмазах и
минералах вмещающих пород

разную их природу. Концентрация ^4He во фракциях разного размера алмазов показывает обратную корреляцию с радиусами зерен и более высокую концентрацию в наружных слоях алмазов, чем в ядрах. Происхождение ^4He объясняется имплантацией α -частиц при распаде ^{238}U [6], (M.D.Kurz, W.J.Jenkins, 1981, A.B.Verchovsky et al., 1993) (породы месторождения отличаются повышенным содержанием U). Возможными причинами высокого содержания ^3He могли ли быть ядерная реакция или облучение солнечной радиацией [5], что исключено самими авторами, которые объясняют высокое содержание ^3He в алмазах его концентрацией в не выявленных «загрязнителях». Авторы этой работы считают, что «загрязнителями» являются нановключения в алмазах. Это подтверждается при исследовании гранат-пироксеновых алмазоносных пород Ю.А.Шуколюковым и др. [6]. Наличие избыточного ^3He – специфическая особенность этих пород, в которых присутствуют несколько минеральных фаз-носителей как ^3He , так и ^4He . ^3He содержится не только в микро-алмазах, но и в выделенных из кислотного остатка минеральных фазах – граната, пироксена, аксессуарных – рутила, сфена, сульфидов [6]. Один из носителей ^4He в этих породах – циркон, U-содержащий устойчивый минерал.

Алмазы месторождения характеризуются высоким содержанием водорода, поэтому предшественником He в алмазах мог быть и изотоп водорода – тритий, в результате β -распада которого и в связи изменением состава флюида во времени могла возникнуть зональность изотопного состава гелия в образовавшихся алмазах, подобно изотопной гетерогенности углерода в алмазах месторождения [6]. Но этот вопрос пока слабо изучен.

Содержание инертных газов в микроалмазах месторождения Кумды-Коль сравнимо с содержанием таковых в метеоритных наноалмазах, даже если они включают в себя только ~0,15% тонкозернистого материала «матрицы» примитивных хондритов, экстремально высокое содержание He и Ne в них доминирует над He и Ne из вмещающих их метеоритов, а Ar, Kr и Xe составляют несколько процентов от общего содержания инертных газов [14]. Импортированное вещество ядра кометы – хондрит включало в себя благородные газы He, Ne, Ar, Xe. ^3He – изначальный компонент Галактики, захваченный веществом кометы в космосе [14], имеет космогенную природу, ^{40}Ar и ^{21}Ne присоединились к алмазам во время их образования. Наличие связи между радиогенным ^4He и Xe спонтанного деления указывает на то, что алмазообразующий флюид содержал продукты распада урана и тория (A.B.Verchovsky et al., 1993).

Примеси азота, водорода, никеля в алмазах. На основе

ИКС в алмазах из известково-силикатных пород и гнейсов установлены примеси N, H, H_2O , OH и карбоната, содержание N варьируют в диапазоне 700–2500 ppm. Азот представлен C-центрами (единичный замещающий N, 1b тип алмаза) и A-дефектами (два атома N замещают углерод – агрегированный N, 1aA тип алмаза), то есть алмазы смешанного типа (1b+1aA) с относительно низкой степенью агрегации N. Содержание определяемого ИКС водорода (полоса 3107 cm^{-1} – CH дефекты) достаточно большое, но в микроалмазах из карбонатсодержащих пород оно меньше, чем в остальных алмазах рудной зоны (Е.С.Ситникова, А.Л.Рагозин, 2007). По данным масс-спектрометрии для алмазов месторождения характерны высокая концентрация азотных P1-парамагнитных центров (P1-центр аналог C-центра в ИКС), обогащение $\delta^{15}\text{N}$ (+5,3...+25‰), высокое содержание N до 10 000 ppm. Наиболее вероятное объяснение избыточного N в алмазах – присутствие его в жидких включениях [21].

Спектры фотолюминесценции (ФЛС) (Ar лазер (λ 514,5 нм)), полученные в кубоидных алмазах в сечении, близком к грани куба, характеризуются интенсивными полосами 694, 700 и 710 нм в краевых частях и ядрах кристаллов и приписываются авторами к Ni-N (или) Ni-N-H дефектам, температурный диапазон существования которых ~1300–2200°C (L.Tretiakova, 2010). Интенсивная доминирующая полоса 637 нм [(NV) $^-$ центр] в краевых зонах кристаллов и меньшая ее интенсивность в ядрах

является характеристикой облученного и отожженного 1b алмаза (G.Davies, M.F.Hamer, 1976). Слабая полоса 575 нм [(NV) 0 центр], наблюдаемая в краевых зонах алмазов и трудно обнаруживаемая в ядрах, характеризует 1b алмазы с высоким содержанием N. Таким образом, спектры ФЛ подтверждают данные, полученные методами ИКС и ЭПР, и дают информацию о том, что периферийные части кристаллов подверглись большему радиационному облучению. Все перечисленные данные указывает на разные P-T условия образования разных зон алмазов и, по меньшей мере, на двухстадийный рост алмазов. Высокие содержания N и значения $\delta^{15}\text{N}$ (+5,3...+25 – хондритовый диапазон), присутствие H- и Ni-содержащих дефектов в алмазах месторождения сравнимы таковыми в газах оболочек комет, алмазов хондритов, presolar алмазных зерен [18, 13], (S.S.Russell et al., 1991).

Кристаллизация микроалмазов месторождения Кумды-Коль происходила на затравках, впрыснутых в породы мишени и графитизированных в результате импактного события микро- и наноалмазов из C-H-O-N-содержащего флюид-расплава, также образовавшегося при

Наиболее вероятное описание событий, в результате которых образовались алмазы месторождения Кумды-Коль

импакте. Графитизированные микроалмазы – это за-
травки будущих алмазов с примесями редких экзотичес-
ких минералов с разнообразными элементами космичес-
кого происхождения. В пересыщенный углеродом,
водородом, кислородом, азотом флюид-расплав входи-
примеси тонкодисперсного вещества, образованного
при дроблении пород мишени во время импакта, ко-
торое захватывалось растущими алмазами в виде
твердых сингенетических включений. При постоянно
изменяющихся *P-T* условиях (от высоких *P-T*, до резко
уменьшившегося *P* и посте-пенно уменьшающейся
T) и, следовательно, многоступенчатом характере
кристаллизации рост алмазов проходил по схеме
образования CVD (химическое осаждение из паров)
алмазов, для которой не требуется сверхвысоких
давлений и температур. Зональность большинства
кристаллов алмаза и зонально-секториальное строение
наиболее крупных индивидов свидетельствуют о рез-
ких, многократных, быстро меняющихся *P-T* условиях
их кристаллизации, приведших к неравномерному
захвату примесей и делающих структуру алмаза дефект-
ной. Изменения скорости роста алмазов и кратко-
временность процесса алмазообразования отразились
на их размерах, низкой степени агрегации азота и
сохранности алмазов.

Алмаз – полигенный минерал. Он может образовать-
ваться при разных давлениях и температурах. Главное
найти и понять процесс, заставляющий углерод при
различных комбинациях давления и температуры
пре-образовываться именно в алмаз, а не в какую-
либо другую его модификацию. По-видимому,
настало время с большой осторожностью относиться
к трактовке исключительно мантийного генезиса
алмазов, ставящей во главу угла «поле стабильности
алмаза», и погружающей алмазы на немислимо
большую глубину в мантию, где они, вероятно,
никогда и не были. Кроме «поля стабильности» ника-
ких других условий для возникновения и роста алма-
зов там нет – ни возможного источника углерода, ни
условий для свободного роста, ни механизма достав-
ки к поверхности, ни вероятного источника энергии
для реализации этих процессов. Природные процессы
не ограничиваются мантией Земли, они гораздо
шире и многообразнее. Авторами показан один из
вариантов природного процесса, а именно, наклонное
столкновение небольшой ко-меты с Землей, который,
по их мнению, и привел к образованию месторождения
алмазов Кумды-Коль в Северном Казахстане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишневецкий С.А. Метаморфогенные алмазы Кумдыколь-
ского месторождения (Кокчетавский массив, Казахстан):
метасоматический генезис с начальным космогенно- им-
пактным вкладом // <http://www.proza.ru/2011/12/28/522>
2. Лаврова Л.Д., Печников В.А., Плеваков А.М. и др. Новый
генетический тип алмазных месторождений. – М.:
Научный мир, 1999.
3. Печников В.А., Бобров В.А., Подкуйко Ю.А. Изотопный
состав алмазов и графитов из метаморфических пород
Северного Казахстана // Геохимия. 1993. № 1. С. 150–154.
4. Третьякова Л.И., Люхин А.М. Импактно-космогенно-ме-
тасоматическое происхождение микроалмазов месторож-
дения Кумды-Коль, Северный Казахстан // Мат-лы V Все-
российской научно-практической конференции. –Якутск,
2015. С. 513–516.
5. Шуколюков Ю.А., Плеваков А.М., Лаврова Л.Д. Бес-
прецедентно высокое $^3\text{He}/^4\text{He}$ отношение в алмазе из
метаморфической породы Кокчетавского массива, Казах-
стан // Петрология. 1993. Т. 1. № 1. С. 110–119.
6. Шуколюков Ю.А., Плеваков А.М., Семенова Л.Ф. и др. Изо-
топный состав He в алмазоносных метаморфических поро-
дах Северного Казахстана // Геохимия. 1996. № 1. С. 22–35.
7. Шумилова Т.Г. Минералогия самородного углерода. –
Екатеринбург: УРО РАН, Коми НЦ, 2003.
8. Anderson D.L. Helium-3 from the Mantle: Primordial Signal
or Cosmic Dust? // Science. 1993. Vol. 261. Pp. 170–176.
9. Dai Z.R., Bradley J.P., Joswiak D.J. et al. Possible in situ
formation of meteoritic nano-diamonds in the early Solar
System // Nature. 2002. Vol. 418. Pp. 157–159.
10. de Niem D. Multiple stages of condensation in impact-pro-
duced vapor clouds // In C.Koeberl, K.G.MacLeod Eds. Cata-
strophic events and mass extinctions: impacts and beyond:
Boulder, Colorado // Geol. Soc. America Spec.Paper. 2002.
Vol. 356. С. 631–644.
11. Dobrzhinetskaya L.F., Green H.W., Bozhilov K.N. et al.
Crystallization environment of Kazakhstan microdiamond:
from nanometric inclusions and mineral associations // J.
Met. Geol., 2003. Vol. 21. № 5. С. 425–437.
12. Fukasawa K.Y., Ogasawara Y. and Maruyama S. et al.
Coosite exsolution, silica-excess titanite and $\text{K}_2\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ -bear-
ing diopside in calcite marble from Kokchetav UHPM ter-
raire // 11 Annual Gold. Conf. 2001.
13. Gilmour I. Geochemistry of Carbon in terrestrial impact pro-
cess // Geol.Soc. L. SP. 1998. Vol. 14. Pp. 205–216.
14. Huss G.R. Meteoritic nanodiamonds: messengers from the
Stars // Elements. 2005. № 1. Pp. 97–100.
15. Hwang S-L., Chu H-T., Yui T-F. et al. Nanometer-size P/K-
rich silica glass (former melt) inclusions in microdiamond
from the gneisses of Kokchetav and Erzgebirge massifs //
EPSL. 2006. Vol. 243. С. 94–106.
16. Katayama I., Maruyama S. Inclusion study in zircon from
ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Kokchetav
massif: an excellent tracer of metamorphic history // J. Geol.
Society. 2009. Vol. 166. Pp. 783–796.
17. Korsakov A.V., Perraki M., Zedgenizov D.A. et al. Dia-
mond-Graphite Relationships in Ultrahigh-pressure Meta-
morphic Rocks from the Kokchetav Massif, Northern Ka-
zakhstan // J. Petrol. 2010. № 3. Pp. 763–783.
18. Lewis R.S., Anders E., Wright I.P. et al. Isotopically anom-
alous nitrogen in primitive meteorites // Nature. 1983. Vol.
305. Pp. 767–771
19. Lewis R.D., Ming N., Walker J.F. et al. Interstellar diamonds
in meteorites.// Nature. 1987. Vol. 326. Pp. 160–162.
20. Melosh H.J. Impact cratering: a geological process. 1989.
21. Nadolnny V.A., Shatsky V.S., Palyanov Yu. et al. Study of

- local concentration of single substitution nitrogen atoms in micro diamonds from Kokchetav massif // *Eur. J. Mineral.* 2006. Pp. 739–743.
22. *Ogasawara Y.* Microdiamonds in UHP Metamorphic Rocks // *Element.* 2005. Vol. 1. № 2. Pp. 91–96.
23. *Pleshakov A.M., Shukolukov Yu.A.* Isotopic variations of Helium in the diamonds of the Kokchetav massif's metamorphic rocks, Kazakhstan // In *Noble gas Geoch.&Cosmoch.* Tokyo. 1994. Pp. 229–243.
24. *Sumino H., Dobrzhinetskaya L.F., Burgess R.* et al. Deep-mantle-derived noble gases in metamorphic diamonds from the Kokchetav massif, Kazakhstan // *EPSL.* 2011. Vol. 307. Pp. 439–449.
25. *Zhang R.Y., Liou J.G., Ernst W.G.* et al. Metamorphic evolution of diamond-bearing and associated rocks from the Kokchetav Massif, Northern Kazakhstan // *J. Metam. Geol.* 1997. Vol. 15. № 4. Pp. 479–496.
26. <http://maps.google.ru/9>

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается. Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на ее опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или же намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.

По всем вопросам, связанным со статьями обращаться в редакцию по телефону (495)315-28-47, E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1

Оформить подписку в почтовых отделениях связи на журнал «Отечественная геология» можно по каталогу «Газеты. Журналы» ОАО Агентства «Роспечать» (подписной индекс **70824**)

Периодичность — шесть номеров в год.
Цена подписки на год 1200 руб. в том числе НДС 10%.

На электронную версию журнала можно подписаться на сайте Научной Электронной библиотеки elibrary.ru

Минералы и горные породы в русской поэзии и песенной лирике XX века

А.Ф.БОЙШЕНКО (ОАО «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ»; 117418, г. Москва, ул. Новочеремушкинская, д. 69)

Бойшенко Александр Федорович



admin@vniizg.ru

Природные камни – минералы, горные породы и самородные металлы – всегда привлекали внимание человека, считающего себя венцом и господином жизни на планете Земля. Отношения между ними давние и очень сложные: на протяжении всей своей истории «венец природы» «разбрасывал камни и собирал их». Камни – бесценный дар нашей Матери-Земли, с которым порой мы так нерачительно, неразумно и безответственно обращаемся. Это одновременно и совершенство, и хаос природы, основа красоты, что окружает нас. Камень имеет свою энергетику, которая может взаимодействовать с энергетикой человека. Камень может выполнять функции оберега и талисмана, может быть другом человека. Камни всегда сопровождали жизнь язычника. В языческой Японии есть такая форма общения человека и камня, как «Сад Камней».

Из камня изготавливали орудия труда, посуду, оружие, талисманы, обереги, амулеты, предметы для лечения, массажа и украшения; строили жилища, сооружали храмы-крепости. Камни служили человечеству источником познания, так как люди открывали новые свойства и явления природы. Зачастую камни признавались носителями магической силы, в которой виделось спасение рода от болезней, стихий, врагов и диких зверей. И на сегодняшний день количество природных самоцветов, которым приписываются лечебные и магические свойства, достигает несколько сотен наименований. Современные обладатели самоцветов чувствуют себя более уверенно. Все это, как костер поддерживается огромным числом прекрасно иллюстрированных на современном технологическом уровне публикаций. По существу, приобретение камня обеспечивает ту ненавязчивую психотерапию, которая, как правило, дает положительный эффект. Цветные камни использовали для украшения оружия, одежды, церковной утвари, царских одежд и корон, символов богатства и власти, ювелирных изделий, печатей. Использовались они и для исцеления. Считается, что камни черного цвета подавляют, угнетают, камни красного цвета возбуждают нервную систему, а голубого вселяют надежду, зеленого успокаивают. Зеленый цвет является священным во всех мировых религиях. Издавна густо окрашенные камни считаются «мужскими», а слабоокрашенные – «женскими». У каждого народа в зависимости от исторического времени, обычаев и вероисповедания существовала мода на разные камни и украшения. На Руси в особом почете были жем-

чуг, аметист, янтарь, яхонт (рубин), яспис (яшма).

В последние годы отмечается массовое использование природных самоцветов в строительстве: облицовке не только общественных зданий, но и жилых помещений; пешеходных улиц в центре Москвы и других городах; набережных различных водоемов; подземных сооружений, станций метрополитенов; в отделке домов, садов и парков. С увеличением объемов использования природных самоцветов наблюдается применение в массовом количестве искусственных самоцветов, качество которых и декоративные свойства столь высокие, что их нередко с трудом диагностируют специалисты. Большое разнообразие природных и искусственных самоцветов, например, используется в производстве сувениров и женских украшений.

Красота природных самоцветов, как и красота природы в целом, воспеты русскими поэтами и геологами-романтиками в многочисленных стихах и поэмах.

Разнообразных много *самоцветов*

Природа подарила нам, друзья,
Влекут к себе внимание поэтов
Семейство *кварца*, братья *хрустала*:
Празем, цитрин, опал и халцедоны –
Гелиотроп, сердолик, хризопраз,
Авантюрин, кристаллы мориона
И *аметиста*, и *кошачий глаз*...
Александр Богатырев [22].

Музыка слова и музыка камня в поэтике геологов выражены очень мелодично, четко и ярко. Все явления и перемены в природе – порой длительные, чаще мимолетные, властно вторгаются в душу геолога-поэта.

Агаты

Топазы огранкой богаты,
Алмазы – родня королю,
А я, как ни странно, *агаты*,
Простые агаты люблю.
Не верю, что в них долготелье:
Ничто не подарит годов.
И все же часами смотреть я
На *чудо-агаты* готов.
Мила и душевно близка мне,
Как песенность русских рябин,

Природная грация в *камне*,
И строгость, и тайна глубин...
Валентин Литвинов [6].

Автора данной публикации занимает культурно-эстетическая функция минералогии, проблема использования названий природных самоцветов стихотворцами в их произведениях. Этой теме и посвящено данное сочинение, основанное на опубликованных материалах [1–24, 26–37, 39].

Изучением геологического строения, геологической съемкой, поисками и разведкой месторождений полезных ископаемых территории бывшего Советского Союза (1/6 части суши Евразийского материка) на государственном уровне занимались специалисты Министерства геологии СССР (Мингео СССР). Выпускники геологических и политехнических институтов, университетов страны трудились во многих регионах не только своей страны, но и за рубежом. При содействии советских геологов в 29 странах мира были открыты или разведаны более 80 месторождений различных видов полезных ископаемых [25, 41]. Многие выпускники вузов стали не только заслуженными исследователями и знатоками недр огромной страны – Советского Союза, но и вдохновенными певцами её красот и величия. Они были и являются достойными представителями романтиков золотого века советской геологии.

Нередко в геологических полевых партиях работали удивительные люди – самобытные, талантливые, духовно богатые, с эстетическим восприятием природы, не имевшие специального геологического образования, но связавшие свою судьбу с профессией геолога. Они любили природу, путешествия, приключения, охоту, рыбалку, сплавы по бурным рекам. Их души воспринимали образы и картины природы в прекрасном виде. Среди них трудились разные люди, порой и с тяжелым прошлым, золотоискатели (старатели), геологи-любители и коллекционеры драгоценных камней (горщики). Многие из них обладали поэтическим, художественным или литературным даром. Они всегда были искренни в своем творчестве. *Творческий дух экспедиций поднимал порывы прекрасной, пылливой души* [22]. Жизнь среди первозданной природы непостижимым для нас способом облагораживает человека.

Среди авторов-сочинителей, широко использовавших названия минералов, самоцветов, горных пород, руд и металлов есть горные инженеры, доценты, профессора, кандидаты и доктора наук, члены-корреспонденты и академики.

Лето

Был закат нежней *эвдиалита*,
Луг в росе сверкал, как *диоптаз*,
И глубокой синью *азурита*
Ширь небес охватывала нас...
Легкое спокойствие разлито,
Соловьи запели о весне...

Вон, как огоньки *лабродарита*,
Замерцали звезды в вышине.
Но другой звездой – *астрофиллита* –
Золотое солнце встало вдруг,
Шелковистой гладью *малахита*
И росой *алмазов* ожил луг.

Осень

Вот и наступило бабье лето –
Андрадит рябин, грибная прель
И лучи *цитринового* цвета
С неба голубого, как *шпинель*...
Бабье лето – срок воспоминаний,
Как *александрит* их облик свеж,
Может быть, еще пора дерзаний,
Но уже, конечно, не надежд...
И спешу скорее глаз насытить
Горечью последней красоты
Паутинок *кварцевые* нити
Оплели былинки и кусты...
Л.А.Николаева [25]

В стихотворных сочинениях русских поэтов и геологов-романтиков встречается множество названий минералов, горных пород, самородных металлов, руд и полезных ископаемых, таких как каменный уголь, нефть и газ, фосфориты, цеолиты и др. Наиболее часто рифмуются названия драгоценных и поделочных камней. Общий систематизированный *перечень (список)* названий камней в лирике поэтов и геологов-романтиков включает 226 наименований. В их числе, *минералы* – 144 (в алфавитном порядке): авантюрин, авгит, агат, азурит, аквамарин, александрит, алмаз, альбит, альмандин, амазонит, аметист, амфибол, анальцим, анатаз, англезит, антофиллит, апатит, апофеллит, арагонит, асбест, астрофиллит, африкандит, аурипигмент, барит, берилл, бирюза, благородный опал, борнит, брунцит, валентинит, верделит, вермикулит, вольфрамит, воробьевит, галенит, геденбергит, гелиодор, гелиотроп, гиацинт, гиббсит, гидрослюда, гипс, глауконит, гольдманит, горный хрусталь, гранат, графит, гречищевит, гроссуляр, демантоид, дендрат, дистен, дравит, изумруд, ильменит, индиголит, исландский шпат, кальцит, канкринит, касситерит, кварц, кианит, киноварь, клейофан, кобальтин, корунд, кошачий глаз, коэсит, лавсонит, лазурит, лизардит, лимонит, лопарит, лунный камень, магнезит, магнетит, малахит, марказит, марматит, мирабилит, монацит, морганит, морион, мусковит, мухинит, настуран, нефелин, нонтронит, оливин, оникс, опал, ортоклаз, пирит, пироксен, пироп, празем, пшибрамит, пьомонит, растерит, раухтопаз, реальгар, родонит, родусит, рубеллит, рубин, рутил, сапфир, сард, сардоникс, селенит, сера, сердолик, серпофит, слюда, смектит, спессартин, сунгулит, сфалерит, сфен, тальк, турмалин, уваровит, фенакит, флюгопит, флюорит, халцедон, хризолит, хризопраз, хризотил, хромит, целестин, цеолиты, церуссит, циркон, цитрин, чароит, шеелит, шерл, шпинель, шпинель благородная, шунгит, щербинаит, эвдиалит, эвклаз, эвколит, эгирин, эпидот;

горные породы – 32: базальт, бентонит, гарцбургит, гипер-базит, глина, гнейс, гранит, грейзен, диабаз, диорит, доломит, дунит, игнимбрит, кварцит, кимберлит, кремьень, лампрофир, метасоматит, миаскит, мрамор, нефрит, обсидиан, опока, пегматит, пемза, песок, песчаник, порфир, сиенит, сланец, туф, хибинит, эклогит, яшма; *металлы* – 30: ванадий, висмут, вольфрам, галлий, германий, железо, золото, индий, кадмий, калий, кобальт, марганец, медь, молибден, мышьяк, никель, олово, платина, радий, рений, ртуть, свинец, селен, серебро, скандий, сурьма, тантал, титан, уран, цинк; *руды, виды полезных ископаемых* – 16: антрацит, бокситы, битумы, вода, железняк, колчедан, минеральная вода, нефть и газ, оловянный камень, сера, соль, уголь, фосфатный камень, фосфориты; *биогенные образования* – 4: жемчуг, перламутр, коралл, янтарь. Многим минералам посвящены отдельные стихи Л.Борисенко, М.Воскресенской, В.Ехиванова, В.Литвинова, А.Манаевой, Т.Полежаевой, Ю.Э.Савченко, Л.Хафизовой, Е.Шумиловой. В оде самоцветам А.Богатырева 29 минералов. Венок сонетов уральским самоцветам А.Фадеева включает 14 минералов.

«Душу» природных самоцветов понимают многие геологи. К ним относится и выпускник МГРИ доктор геолого-минералогических наук Л.И.Шабалин, создатель нового направления в художественном искусстве – композитография, а применительно к цветному камню – камнеграфия [38].

В профессиональном сообществе геологов принято друзьям дарить редкие коллекционные камни, сувениры из природных самоцветов, нередко сопровождая их стихами. И здесь мы наблюдаем обширное поле рифмованных миниатюрных шедевров.

Связь научной деятельности ученого-геолога с поэтическим творчеством в советский период являлась интимной, лирикой «для себя», интересной лишь для узкого круга друзей и сослуживцев. Характер этой связи определялся способностью геолога слагать стихи вне зависимости от его специальности или талантом. Поэтому многие геологи-поэты не стремятся к опубликованию своих стихов. Да и качество подобных сочинений очень пестрое. Сочетание в геологе высокого профессионализма и подлинного поэта в среде естествоиспытателей встречается гораздо чаще, чем среди биологов, палеонтологов, ботаников, врачей. «Пожалуй, никто другой не способен мыслить такими категориями как миллионы лет, никто другой не может разом охватить внутренним взором всё пространство планеты, включая атмо-, гидро- и литосферу, да ещё в миллионлетней динамике. Пожалуй, никто другой не понимает так явственно всю мгновенность и бренность человеческой жизни в сравнении с жизнью Природы. Наконец, никто другой так не далёк от признания Бога как единственного, вечного и иррационального начала всех начал» [3, с. 5]. Критерии оценки содержания, качества и формы поэтического сочинения меняются с течением времени, с эволюцией языка и литературы эпохи. В целом стихи «геологической тематики» неразрывно связаны

с поколениями геологов, с началом создания Петром I горно-геологической службы России 300 лет назад. Но своего расцвета это творчество достигло в 1960–1990-е гг., которые называются «золотым веком» геологии.

С полным правом можно утверждать, что профессия геолога лидирует среди других профессий по множеству стихов и песен, посвященных нелегким особенностям труда людей на геологической съёмке, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых на лоне окружающей природы, любви, разлуке, встречам, мечтам, романтике *Негаснувшего Костра*. Одним из ярких энтузиастов фольклора поэтического творчества геологов является Виктор Иванович Власюк, создавший антологию геологической песни «Негаснувший костёр». Геологи – люди увлеченные, с воображением. Геолог, пишущий стихи, – явление обычное. Это стихи о любви, дружбе, о природе, о самих геологах, об их труде и самой сути этой профессии.

Стихи, песни, сочиненные талантливыми поэтами-любителями, продолжают звучать в регионах России, где живут и работают люди замечательной профессии – геологи-романтики и патриоты. Это люди, для которых геология не только профессия, но и образ жизни. Пусть не прерывается связь времен и наш труд на благо страны и науки.

Автор благодарит М.Е.Левинтова за просмотр рукописи статьи и доброжелательную критику, уточнение её первоначального названия. Г.Л.Чочия и В.В.Соболеву за моральную поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андрусенко Н.И.* Памяти Е.Я.Киевленко // Смирновский сборник (научно-литературный альманах). 2011. С. 167–178.
2. *Антология геологической поэзии Сибири (XIX–XX вв.)* // Литературная серия «В поисках руд и созвучий». Вып. 4 / Отв. редактор-составитель В.П.Арсентьев. – Иркутск: ГеоИГУ, 2004.
3. *Бастриков Ю.Л.* Лихолетье. Избранные вирши и этюды. – М., 2007.
4. *Были мы вчера ещё студенты...* // Книга о выпускниках геологического факультета МГУ 1957 г. Биографии, воспоминания, песни, встречи. Изд. 2-е, переработанное и дополненное / Под ред. Ю.И.Пиковского и М.Е.Раменской. – М.: Университетская книга, 2009.
5. *Головин А.А.* Последний костёр. Стихотворения. – М.: ИМГРЭ, 2005.
6. *Геология – жизнь моя...* Сборники выпусков. – М.: 2000–2011.
7. *Геология и судьбы: геологи МГУ курса 1951–1956 гг. о времени и о себе* / Отв. ред. М.Е.Раменская. – М.: Университетская книга, 2006.
8. *Геологическая служба Якутии.* Геологическое картирование, открытия, разведка, персоналии (1957–2010 годы). – М.: Научный мир, 2012.
9. *Герасимов Н.Н.* А гора остаётся горю. Научно-литературный альманах // Смирновский сборник. 2012.

10. *Горный вестник Камчатки* // Региональный информационно-аналитический журнал. Вып. 1(11). – Петропавловск-Камчатский, 2010.
11. *Давиденко И.В.* Вечные итоги. Поэтический конспект. – М.: ЭкоПресс-2000, 2006.
12. *Живём мы в нескольких мирах* // Сборник стихов сотрудников ИГЕМ РАН. – М.: типография ООО «Репро-Полиграф», 2005
13. *Зайонц И.* Не отводи от жизни взгляд. – М.: ЗАО «ГИДЭЖ», 2003.
14. *Истархов В.А.* Удар Русских Богов. – Краснодар: «Советская Кубань», 2001.
15. *Коломиец А.М.* Хочу успеть. Сборник стихов. – Нижний Новгород: «Вертикаль. XXI век», 2005.
16. *Кому близки и формула, и речь...* Сборник стихов геофизиков России. – Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2008.
17. *Курчаков А.М.* Не прячьте глаз. – М., 2008.
18. *Марченко В.В.* Истоки, пути, встречи (записки пожилого геолога). – М., 1999.
19. *Мешков П.И.* Искры костра: рассказы, стихи. – Нижний Новгород, 2001.
20. *Мешков П.И.* Дороги судьбы. – Нижний Новгород, 2004.
21. *Молотком и пером* // Геолого-лирический альманах. Юбилейное издание к 70-летию Государственного Геологического Предприятия «ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ». – М., 2004.
22. *Молоток-6.* Поэтический агломерат. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997.
23. *Негаснущий костёр.* Стихи. 2-е изд. перераб., доп./ Под ред. В.И.Власюка – М.: ЗАО «Информмарк», 1998.
24. *«Не счесть алмазов в каменных пещерах».* Вып. 2. Антология геологических стихов. – Миасс: «Геотур», 2010.
25. *Николаева Л.А.* Цнигрида. Второе дополненное издание / А.Н.Некрасова, Л.В.Шатилова, С.В.Яблокова, О.Б.Рыжков – М.: ЦНИГРИ, 2000.
26. *Норильск Геология* / Под ред. М.Я.Важнова. – М.: ИП Просеков, 2010.
27. *Основные результаты сотрудничества Министерства геологии СССР с зарубежными странами* / Е.А.Спирова, М.А.Коржихин, М.Е.Величко // Под ред. М.И.Никульшина, Е.Н.Исаева, М.А.Коржихина. – В/О «ЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ», 1988.
28. *Павловский Е.Н.* Поэзия, наука и учёные. – М.–Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1958.
29. *Пройденные маршруты.* Альманах. Вып. первый. – СПб.: Изд-е Благотворительного Фонда «Дом геолога».
30. *Профессия – геолог.* Люди. События. Факты // Сборник статей (ЦК профсоюза работников геологии, геодезии и картографии РФ, Российское геологическое общество). – М., 2005.
31. *Путешествие в страну поэзия.* В двух книгах. Кн. 2. Издание третье, исправленное и дополненное / Составители: Л.А.Соловьева и Д.А.Семичев. – Л.: Лениздат, 1976.
32. *Русинова С.* Стихи, переводы, хайку. – М., 2006.
33. *Саврасов Д.И.* Года далёкие... – Новосибирск: Изд-во «Сибтехнорезерв», 2003.
34. *Сафонов В.Г., Масленников В.В., Ежихин Н.Я.* Геологи рассказывают. – М.: ОАО «Типография «Новости», 2009.
35. *Тереценок В.Г.* Чай вдвоём. Стихи. – Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 2002.
36. *Тереценок В.Г.* Перед фронтом оледенения. Стихи. – Улан-Удэ: Бурятское книжное издательство, 2003.
37. *Туманова М.П.* Моя жизнь. – Казанский государственный университет. Геологический факультет. Воспоминания выпускников / Отв. ред. А.С. Борисов. – Казань, 2006. С. 180–190.
38. *Халезова Е.Б.* Воспоминания о маршрутах 1948–1950 гг. – Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова // Тр. VII Всероссийской Ферсмановской научной сессии, посвящённой 80-летию Кольского НЦ РАН (Апатиты, 2–5 мая 2010 г.) и Областной конференции, посвящённой 75-летию историко-краеведческого музея г. Кировска (22–23 апреля 2010 г.) / Ред. Ю.Л.Войтеховский. – Апатиты: Изд-во К & М., 2010. С. 226–230.
39. *Шабашев В.Я.* Зов Земли. Стихи и песни. – М., 1997.
40. *Шабалин Л.И.* Рисуем камнеграфии вместе с природой. – Новосибирск: СНИИГТиМС, 2011.
41. *Эфрос Б.Д.* Не отстрани проснувшееся чувство... Стихи разных лет. – Апатиты: Изд-во К & М, 2010.
42. *Ярмолюк В.В., Коляжнов А.А.* Советские геологи за рубежом (международная деятельность геологической службы СССР). 1931–1991. – М.: Изд-во «Лориен», OZGEO, 1997.

90-летие Лидии Александровны Николаевой

24 февраля 2016 года исполнилось 90 лет Лидии Александровне Николаевой – доктору геолого-минералогических наук, заслуженному деятелю науки, лауреату премии Правительства Российской Федерации, участнику обороны блокадного Ленинграда, одному из лидеров отечественной научной школы исследований самородного золота.

Л.А.Николаева проработала в НИГРИЗолото–ЦНИГРИ 60 лет. За это время ею исследовано золото не только России, но и ближнего и дальнего Зарубежья.

Богатый опыт полевых исследований, научной и практической работы позволил Лидии Александровне создать новое научное направление – использование типоморфизма самородного золота для прогнозирования поисков и оценки месторождений золота. Разработанные ею методы широко применяются при изучении и освоении золотых месторождений Ленского района, Бурятии, Урала, Якутии, Дальнего Востока и Средней Азии, ряда золоторудных объектов Болгарии, Кубы, Северной, Центральной и Южной Америки, Африки, Монголии, Афганистана, а также в криминалистической практике. Ее ученики работают в Якутии, Иркутской области, на Северо-Востоке Российской Федерации, в Узбекистане, Австралии, Канаде.

Л.А.Николаева руководила созданием уникального банка данных по типоморфизму самородного золота 1500 россыпей. Эта информация в концентрированном виде отражена на карте «Экзогенной золотоносности и платиноносности РФ», удостоенной премии Правительства Российской Федерации за 2000 год.

В атласе «Самородное золото рудных и россыпных месторождений России» (2003; 2-е издание, 2015), составленном Л.А.Николаевой вместе с последователями и учениками, обобщен огромный материал по минералогии золота основных месторождений; изданы методические рекомендации «Типоморфизм самородного золота» (2003) и «Изучение самородного золота при экспертно-криминалистических исследованиях» (2002).

Л.А.Николаева – достойный представитель поколения отечественных геологов, создавших крупнейшую минерально-сырьевую базу золота.



Она удостоена званий «Почетный разведчик недр» и «Отличник разведки недр», награждена медалью «За доблестный труд», знаком «300 лет геологической службы», дипломами ВДНХ и отраслевыми грамотами. Ею опубликовано более 180 работ, в том числе 6 монографий. Хорошо известна литературная одаренность Л.А.Николаевой, талантливый популяризатор научных знаний, создателя своеобразной поэтической летописи ЦНИГРИ. В сборниках «ЦНИГРИАДА – 1996», «ЦНИГРИАДА – 2000», «Юбилей... юбиляры... 2010» тонко, ярко, с любовью отражены будни и праздники института.

Поздравляем Лидию Александровну с юбилеем, желаем доброго здоровья и творческого долголетия.

*Ученый совет ФГУП ЦНИГРИ
Редколлегия журнала
Друзья и коллеги*

К 105-летию со дня рождения Александра Леонидовича Яншина

З.А.БЕССУДНОВА (Государственный геологический музей им. В.И.Вернадского Российской академии наук (ГГМ РАН); 125009, г. Москва, Моховая ул., д. 11, стр. 11)

Бессуднова Зоя Антоновна



z.bessudnova@sgm.ru

28 марта исполнилось 105 лет со дня рождения Александра Леонидовича Яншина – академика, учёного-энциклопедиста, выдающегося геолога, общественного деятеля и организатора науки, талантливого человека с большой силой воли и активной гражданской позицией.

Именно благодаря ему в первое воскресенье апреля мы в этом году в 50-й раз будем отмечать профессиональный праздник всех отечественных геологов – День геолога! Главным инициатором обращения ученых-геологов в 1966 г. в Президиум Верховного Совета СССР об учреждении праздника был академик А.Л.Яншин.

Среди геологов второй половины 20 века он является одной из наиболее ярких личностей. Александр Леонидович – единственный среди академиков, кто не смог получить высшее образование, хотя после окончания 10-летней опытно-показательной школы при педагогическом факультете Смоленского университета в 1928 г. успешно сдал экзамены в Московский университет. Стать студентом и даже вольнослушателем ему не разрешили из-за непротетарского происхождения – папа был юристом. Вопреки запрету, лекции в университете он все-таки посещал вместе с В.А.Вахрамеевым и П.Л.Безруковым [2], где и заинтересовался геологией. Одновременно А.Л.Яншин поступил на курсы коллекторов при Научном институте по удобрениям (НИУ), по окончании которых в 1929 г. работал в горно-геологическом отделе НИУ вначале коллектором, младшим геологом, геологом, а с 1931 г. – начальником партии. В 1930–1932 гг. он слушал лекции в Московском геологоразведочном институте (МГРИ), но учебу не завершил. Зато приобрел большой практический опыт полевых работ на Южном Урале и в Приаралье, где вел поиски фосфоритов, бокситов, артезианских вод. Позднее ректорат МГРИ принял решение считать А.Л.Яншина окончившим институт в 1932 г. [10].

В 1930-е годы научные интересы Александра Леонидовича касались проблем региональной геологии, стратиграфии, литологии, палеогеографии, тектоники, гидрогеологии, выяснения генезиса полезных ископаемых. В 1934 г. А.Л.Яншин совместно с П.Л.Безруковым опубликовал первую монографию «Юрские отложения и месторождения бокситов на Южном Урале».

В 1936 г. академик А.Д.Архангельский пригласил А.Л.Яншина в Геологический институт АН СССР на должность старшего научного сотрудника и поручил ему руководить экспедиционными исследованиями в Северном Приаралье. На следующий год А.Л.Яншину

присудили ученую степень кандидата геолого-минералогических наук без защиты диссертации, по совокупности опубликованных научных работ.

В начале Великой Отечественной войны А.Л.Яншин, уйдя добровольцем в народное ополчение, рыл окопы под Малоярославцем, но вскоре его направили заниматься поиском и оценкой месторождений полезных ископаемых, организацией их разведки и эксплуатации. Он выполнял задания руководства страны по обеспечению промышленности минеральным стратегическим сырьем, решал проблему артезианского водоснабжения ряда железнодорожных станций. Участвовал А.Л.Яншин в годы войны и в организации нескольких крупных геологических учреждений, вошедших в состав министерств геологии, угольной и нефтяной промышленности [10].

На страницах «Новой газеты» в 1994 г. А.Л.Яншин вспоминал «о роли сурков и сусликов в разведке стратегического сырья»: в самом конце 1942 г. ему поручили «немедленно провести поиски пригодного для быстрой эксплуатации месторождения писчего мела – мелко молотый мел особой чистоты применялся в качестве наполнителя в резиновой промышленности. Выбрал участок в 560 километров – от Кандагача до Гурьева. Стал «сканировать» участок шириной по километру в одну и другую сторону от железной дороги. И так, метр за метром... Вдруг смотрю: совсем рядом с полотном нора сурка, и в куче вырытой им земли – «чертов палец», белемнит того вида, который встречается только в слоях писчего мела. Вырыл шурф. На метровой глубине – чистый белый мел. В первые же дни 1943 г. там появились саперы, а уже через месяц – промышленный карьер...». В 1944 г. А.Л.Яншин получил за открытие месторождения писчего белого мела первый свой орден – Трудового Красного Знамени. Историю этого ордена вновь напомнил в 2006 г., в связи с 95-летием ученого, журналист К.Смирнов [7]. В 1945 г. А.Л.Яншина наградили орденом «Знак Почета» за достижения в развитии науки и промышленности.

В послевоенные годы А.Л.Яншин открыл в Приаралье Кокбулакское месторождение оолитовых железных руд, а консультируя гидрогеологов, способствовал открытию нескольких артезианских бассейнов с пресной водой в пустынной зоне Казахстана.

Исследуя в 1949 г. один из разведочных шурфов на Кокбулакском месторождении, Александр Леонидович

из-за обрыва троса рухнул вместе с бадьей от самой поверхности на 24-метровую глубину. Получив тяжелейшие переломы, он избежал ампутации ноги лишь благодаря помощи К.И.Сатпаева, в то время Президента Академии наук Казахской ССР, за что был благодарен ему до конца своих дней [2, кн. 1, с. 135]. Впоследствии легкая хромота, ортопедическая обувь, тяжелый травматический сахарный диабет сопровождали его всю жизнь. Долгое пребывание в больнице он использовал для перевода с французского языка трудов по геологии и написания монографии «Геология Северного Приаралья», которая стала предметом защиты его докторской диссертации в 1952 г. и через год была опубликована в виде монографии. За этот труд, ставший классическим, Президиум АН СССР в 1953 г. присудил А.Л.Яншину Премию им. А.П.Карпинского.

28 марта 1958 г. А.Л.Яншина избрали действительным членом АН СССР (минуя ступень в иерархии Академии – звание члена-корреспондента АН) на вакансию вновь созданного Сибирского отделения Академии наук СССР (СО АН СССР). Он переехал из Москвы в Новосибирск, и стал вместе с академиком А.А.Трофимуким одним из организаторов, а затем заместителем директора Института геологии и геофизики СО АН СССР. Почти четверть века А.Л.Яншин успешно работал там, занимаясь развитием научного и производственного потенциала Сибири и прилегающих территорий, за что был удостоен звания Героя Социалистического Труда (1981), награжден орденами и медалями [5]. Все эти годы в Новосибирске бок о бок с А.Л.Яншиным работал академик Б.С.Соколов, который считал Яншина крупнейшим геологом страны, эрудитом, борцом и активистом на многих фронтах, обладавшим великолепной памятью и образованностью, демократизмом и старомодностью, редкостным книголюбом, академической всезнательностью [8].

За свою долгую жизнь в геологии А.Л.Яншин открыл не одно месторождение полезных ископаемых. Важнейшим его достижением стало теоретическое обоснование прогноза, а затем и открытие одного из крупнейших в мире калиеносных бассейнов на Сибирской платформе [3]. С 1967 г. А.Л.Яншин многие годы руководил Советско-Монгольской геологической экспедицией, вел совместные исследования с геологами ГДР.

Коллектив геологов под руководством и при участии А.Л.Яншина за составленную «Тектоническую карту Евразии» (1966) и написанную ими монографию «Тектоника Евразии» (1966) был удостоен в 1969 г. Государственной премии. Еще одну Государственную премию А.Л.Яншин (вместе с авторским коллективом) получил в 1978 г. за руководство

работой по составлению и изданию уникальной 15-томной монографии «История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока» (1964–1976). В 1973 г. за совокупность работ в области геологии А.Л.Яншина наградили Золотой медалью им. А.П.Карпинского.

В 1982 г., в связи с избранием вице-президентом АН СССР, А.Л.Яншин возвратился в Москву. На этом посту он работал до 1988 г., одновременно был директором Института литосферы АН СССР, в котором развивал учение об эволюции геологических процессов.

А.Л.Яншин был одним из первых, кто считал необходимым проведение экологической экспертизы крупных народнохозяйственных проектов индустриализации страны и преобразования природы. Он входил в состав ряда комиссий, проводивших эколого-экономическую экспертизу таких проектов. Благодаря его активному вмешательству и тщательной подготовке теоретически обоснованных возражений, удалось предотвратить осуществление многих экологически спорных «проектов века»: переброску части стока северных и сибирских рек на юг, строительство канала Волга–Чограй, Катунской ГЭС и Крымской АЭС [1, с. 58], угрожающих экологическими катастрофами, как и загрязнение озера Байкал строящимися на его берегах заводами. В 1993 г. А.Л.Яншин стал одним из организаторов и первым президентом Российской Экологической академии.

Еще в 1937 г. А.Л.Яншин вступил в Московское общество испытателей природы (МОИП) – старейшее естественнонаучное общество России, созданное при Московском университете в 1805 г. С 1967 по 1999 гг. Александр Леонидович был президентом и председателем редакционного совета МОИП, активно участвовал в многогранной деятельности общества.

А.Л.Яншин интересовался и занимался историей науки, написал очерки о В.А.Варсановьевой (1970), Н.С.Шатском (1986) и других геологах, цикл статей о научном значении творчества В.И.Вернадского. Он



Фото З.А.Бессудновой, публикуется впервые



Юбилейная медаль «Академик А.Л.Яншин»

немало способствовал изданию научных биографий отечественных и зарубежных ученых. В издательстве «Наука» А.Л.Яншин около 40 лет возглавлял редакционную коллегию серии «Научно-биографическая литература», основанную в 1959 г. при его участии. В этой серии при жизни Александра Леонидовича было опубликовано 550 книг [9].

Занимался А.Л.Яншин и педагогической деятельностью. В 1971–1982 гг. он заведовал кафедрой общей геологии и геологии СССР на геологическом факультете Новосибирского университета. В 1993–1995 гг. А.Л.Яншин читал специальный курс лекций «Глобальные экологические проблемы» на экологическом факультете Российского университета дружбы народов им. П.Лумумбы и на геологоразведочном факультете Государственной академии нефти и газа им. И.М.Губкина (в настоящее время Российский государственный университет нефти и газа им. И.М.Губкина).

С 1985 г. А.Л.Яншин руководил Комиссией по разработке научного наследия академика В.И.Вернадского, а в 1990 г. основал многотомную «Библиотеку трудов академика В.И.Вернадского» и был ее главным редактором. Огромную работу по расшифровке и подготовке к печати дневников В.И.Вернадского проделал доктор геолого-минералогических наук В.П.Волков, которого сподвиг к этой работе А.Л.Яншин.

В апреле 1999 г., по случаю 100-летия со дня рождения академика Каныша Имантаевича Сатпаева, в ГГМ им. В.И.Вернадского РАН прошла выставка и состоялось торжественное заседание Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук Российской академии наук. Выступившего на заседании А.Л.Яншина чествовала делегация Института геологических наук им. К.И.Сатпае-

ва Национальной академии наук Республики Казахстан (см. фото).

Список проблем геологии, по которым работал и, которые решал А.Л.Яншин, огромен, как и список его научных трудов, как и перечень его наград и званий. Заслуги Александра Леонидовича были высоко оценены и признаны в России и за ее пределами. Последняя российская награда – орден «За заслуги перед Отечеством» 3-й степени (1996). Среди иностранных – орден «Трудовой Славы» (Монголия, 1974), медаль «Советско-китайская дружба» (1960), серебряная медаль имени Бубнова Германского общества геологических наук (1975), медаль Чехословацкого Геологического общества (1983).

А.Л.Яншин участвовал с научными докладами во многих конференциях, совещаниях, сессиях геологического конгресса, активно сотрудничал как с отечественными, так и с зарубежными геологами, был членом иностранных академий и научных обществ, председателем или членом многих отечественных научных и общественных советов и комиссий. И всегда был неравнодушным Человеком и Гражданином.

А.Л.Яншин боролся за спасение музеев от всяких нападков и угроз уничтожения их ценных коллекций. Он активно помогал в организации Музея Мирового океана в Калининграде, в Москве принял деятельное участие в судьбе наследия семьи Рерихов и создании Международного центра-музея имени Н.К.Рериха, писал письма в защиту Дарвиновского музея [1, с. 58–59]. Много времени и сил отдал Александр Леонидович в 1987 г. спасению музеев МГРИ и созданию на их базе Государственного геологического музея им. Вернадского, с 1994 г. входящего в состав Российской академии наук.

К 100-летию со дня рождения академика А.Л.Яншина

в Дарвиновском музее совместно с ГГМ им. В.И.Вернадского РАН была развернута выставка «Бороться и искать, найти и сохранить».

А в Государственном геологическом музее им. В.И.Вернадского 28 марта 2011 г. состоялось торжественное заседание, которое вел вице-президент РАН академик Н.П.Лаверов. К юбилею приурочили и открытие выставки, посвященной А.Л.Яншину. Среди экспонатов были и образцы из первых экспедиций Александра Леонидовича, хранящиеся в фондах ГГМ РАН, и подлинные вещи и документы из архива семьи Яншиных [11].

Академия горных наук к 100-летию со дня рождения Александра Леонидовича учредила юбилейную медаль «Академик А.Л.Яншин», которая вручается деятелям науки и культуры, внесшим большой вклад в развитие наук о Земле (см. фото).

На протяжении нескольких десятилетий верным другом и помощником А.Л.Яншина была его жена Фидан Тауфиковна [6]. Она активно помогала Александру Леонидовичу не только в научной работе, занимаясь разработкой наследия В.И.Вернадского, но и неустанно заботилась о его здоровье. Благодаря ее усилиям к 100-летию со дня рождения А.Л.Яншина были изданы его «Избранные труды» (2011), а в 2005 г. опубликован 2-х томник воспоминаний об А.Л.Яншине его учеников и коллег, включивший в себя много интересных фактов из жизни ученого, страны и истории геологии. В том же году вышла в свет книга иностранного члена РАН, действительного члена Национальной академии наук Беларуси Р.Г.Гарецкого – ученика и друга А.Л.Яншина, работавшего с ним несколько десятилетий в поле и в лаборатории. Книга Р.Г.Гарецкого на основе личных впечатлений раскрывает многогранную личность замечательного ученого [4].

«Самое главное, что объединяет эти очень разнообразные по стилю воспоминания, относящиеся к разным периодам и конкретным эпизодам его жизни, – это восхищение его многогранным талантом, необыкновенно широкой эрудицией в сочетании с феноменальной памятью, огромной работоспособностью, исключительными человеческими качествами» [3].

В Новосибирске на здании Объединенного института геологии, геофизики и минералогии Сибирского отделения РАН и в Москве на здании, где размещался

Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН (в 2004 г. вошел в состав Геологического института РАН), установлены мемориальные доски в честь А.Л.Яншина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н.А., Чесноков В.С. Академик Александр Леонидович Яншин. К 100-летию со дня рождения // Экология человека. 2011. № 9. С. 52–60.
2. Академик Александр Леонидович Яншин. Воспоминания, материалы. В 2 книгах / Отв. ред. Б.С.Соколов, редакторы-составители З.К.Соколовская, В.И.Соколовский, Ф.Т.Яншина. – М.: Наука, 2005.
3. Выдающийся ученый-энциклопедист / Н.Л.Добрецов, А.Э.Конторович, В.В.Ревердатто и др. // Наука в Сибири. № 12 (2797). 24 марта 2011.
4. Гарецкий Р.Г. Академик Яншин – дорогой мой учитель и друг / Отв. ред. Ф.Т.Яншина. – М.: Наука, 2005.
5. Куперитох Н.А. Сибирский период биографии академика А.Л.Яншина: к 100-летию со дня рождения ученого // Гуманитарные науки в Сибири. 2011. № 2. С. 63–67.
6. Некролог Фидан Тауфиковны Яншиной // Наука в Сибири. № 38 (2823). 22 сентября 2011. С. 10.
7. Смирнов К. Он вернул нам Вернадского и не позволил повернуть северные реки // Новая Газета. 27 марта 2006. № 22.
8. Соколов Б.С. К 100-летию Александра Леонидовича Яншина. Из архива. Наброски // Природа. 2011. № 5. С. 74–75.
9. Соколовская З.К., Яншин А.Л. К 40-летию серии РАН «Научно-биографическая литература» // Вопросы истории естествознания и техники. 1999. № 4. С. 124–133.
10. Соловьев Ю.Я., Бессуднова З.А., Пржедецкая Л.Т. Яншин Александр Леонидович (1911–1999) // Отечественные действительные и почетные члены Российской академии наук XVIII–XX вв. Геология и горные науки. – М.: Научный мир, 2000. С. 275–280.
11. Черненко В.В., Миронов Ю.В. Многогранный, но единый. Штрихи к портрету А.Л.Яншина // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академии наук Республики Башкортостан. 2011. № 17. С. 37–39.
12. Яншин А.Л. Академик Николай Сергеевич Шатский: (К 90-летию со дня рождения) // Вестник АН СССР. 1986. № 1. С. 110–126.
13. Яншин А.Л. Вера Александровна Варсанофьева: (К 80-летию со дня рождения) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1970. Т. 45. № 4. С. 9–15.

Порядок оформления статей, представляемых в журнал «Отечественная геология»

Настоящий порядок вводится в соответствии с рекомендациями ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации и унификацией для Научной Электронной Библиотеки (НЭБ)

Образец оформления статьи:

УДК.....

© О.К.П.Комаров, П.С.Егоров, 2016

Геологическое строение Кольского полуострова

К.П.КОМАРОВ, П.С.ЕГОРОВ (Место работы и адрес)

Аннотация (на русском языке, не более 5–7 строк).....

.....

Ключевые слова (на русском языке, не более 5–7 слов).....

.....

Фамилия, имя и отчество (полностью), e-mail

Перевод названия статьи на английский язык (полужирным шрифтом)

К.Р.КОМАРОВ, P.S.EGOROV

Аннотация (на английском языке, не более 5-7 строк).....

.....

Key words (не более 5-7).....

.....

Адрес для переписки - почтовый, телефон, e-mail:.....

Далее

ТЕКСТ СТАТЬИ (см. требования к авторам статей).....

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....

Требования к авторам статей

1. Рукопись статьи подготавливается в соответствии с образцом оформления и представляется с установленными сопровождающими документами: письмом (разрешением на опубликование) руководителя учреждения и экспертным заключением о возможности публикации в открытой печати. В конце статьи ставятся подписи всех авторов. В том случае, если автор не один, то указать фамилию автора, с которым будет вестись переписка.

2. К материалам, направляемым в редакцию, должна быть приложена справка об авторе (авторах) с указанием: фамилии, имя, отчества, ученой степени, звания, должности, места работы, адреса для переписки (почтового), телефона, e-mail каждого автора.

3. Научные статьи, поступившие в редакцию, подлежат обязательному рецензированию с целью их экспертной оценки:

а) при первичной экспертизе рассматриваются сопроводительные документы, оценивается соответствие научной статьи профилю журнала, правилам оформления и требованиям, предъявляемым к авторам статей, установленным в редакции;

б) главный редактор направляет поступившую статью на рецензирование специалисту, доктору или кандидату наук, который является признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и имеет в течение 3-х лет публикации по тематике рецензируемой статьи;

в) формы рецензирования статей: научное рецензирование внештатными рецензентами; оценка статей письменными заключениями членов редколлегии; стороннее рецензирование (автор прилагает к статье

рецензию, написанную рецензентом, не связанным с местом работы авторов статьи, оформленную и заверенную в установленном порядке), при этом редакция оставляет за собой право на проведение дополнительного рецензирования; рецензирование проводится конфиденциально; г) сроки рецензирования определяются главным редактором по каждому конкретному случаю отдельно;

д) если рецензия положительная, но содержит замечания, пожелания и рекомендации по исправлению статьи, то статья направляется автору на доработку; переработанная авторами статья повторно направляется на рецензирование;

е) в случае отклонения статьи (отрицательная рецензия) редакция направляет авторам статей рецензию или мотивированный отказ за подписью главного редактора; редколлегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных статей; рукописи не возвращаются авторам и статьи, отклоненные редколлекгией, повторно не рассматриваются;

ж) после принятия редколлекгией решения о допуске статьи к публикации автор статьи информируется об этом;

з) не подлежат обязательному рецензированию: информативные сообщения и объявления, интервью, репортажи с круглых столов, конференций и др.;

4. В журнале не публикуются статьи, излагающие обобщения и предположения, не вытекающие из публикуемого оригинального фактического материала; серийные и излагающие отдельные этапы исследований, не представляющих общего интереса.

5. Объем статьи не должен превышать 20 страниц, включая таблицы и список литературы. Следует оставить поля: сверху (2 см), снизу (2 см), справа (1 см) и слева (3 см). Все страницы рукописи нумеруются. В редакцию представляются два экземпляра статьи – распечатка с принтера, а также текст на диске в Text format (*.rtf), (*.doc) с использованием шрифта Times New Roman Cyr. (размер 12, полуторный межстрочный интервал). В отдельные файлы помещаются статья, таблицы. Возможна передача статей по электронной почте: ogeo@tsnigri.ru.

6. Для набора математических формул и химических символов рекомендуется использовать Microsoft Equation 2.0.

7. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 и дается сквозной нумерацией в алфавитном порядке. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник из списка литературы приводятся соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. В список не включаются неопубликованные работы.

8. Рисунки и другие графические материалы (не более 7) в цветном и черно-белом вариантах прилагаются к статье в двух экземплярах. На обратной стороне каждого рисунка указываются его порядковый номер, фамилия автора и название статьи. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала. Текстовые и цифровые надписи на рисунках набираются на компьютере. Размер букв и цифр должен быть не менее 2 мм, толщина линий рисунка – не менее 0,2 мм. Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw (*.cdr), Encapsulated Post Script (*.eps), TIFF – только для фото (*.tif), Диаграмма Microsoft Excel (*.xls). Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице (текстовый файл, после списка литературы).

9. С целью облегчения редактирования статей следует использовать термины и понятия в значениях, отраженных в следующих изданиях:

Толковый словарь английских геологических терминов. Перевод с английского / Под ред. Н.В.Межеловского. – М.: Геокарт, 2002.

Российский металлогенический словарь / Под ред. А.И.Кривцова. – С-Пб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2003.

Термины и понятия, используемые при прогнозно-металлогенических исследованиях. – С-Пб, 1991.

10. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать название статьи, текст, рисунки.

11. Статьи, превышающие установленный объем или не отвечающие данным требованиям, возвращаются автору.