



РУДЫ и МЕТАЛЛЫ



научно-технический журнал

2

2019

РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



научно-технический журнал

№ 2 март – июнь 2019

Учредитель

ФГБУ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов Роснедра Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Свидетельство о регистрации средства массовой информации № 01919 от 21 декабря 1992 г.

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации журнал включён в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук»

Москва ЦНИГРИ 2019

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Иванов Анатолий Иннокентьевич

главный редактор
доктор геолого-минералогических наук,
научный руководитель ЦНИГРИ

Черных Александр Иванович

зам. главного редактора
кандидат геолого-минералогических наук,
генеральный директор ЦНИГРИ

Жаркова Вера Сергеевна

зам. главного редактора
заведующая редакционно-издательской группой ЦНИГРИ

Вартанян Сергей Серопович

кандидат геолого-минералогических наук,
член Учёного совета ЦНИГРИ

Волчков Алексей Гордеевич

кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий научно-методическим отделением ЦНИГРИ

Голубев Юрий Конкордьевич

кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом алмазов ЦНИГРИ

Горячев Николай Анатольевич

доктор геолого-минералогических наук, член-корр. РАН,
главный научный сотрудник Северо-Восточного Комплексного научно-исследовательского института (СВКНИИ) ДВО РАН

Звездов Вадим Станиславович

кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом металлогении ЦНИГРИ

Кременецкий Александр Александрович

доктор геолого-минералогических наук,
советник генерального директора Института минералогии,
геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ)

Кряжев Сергей Гаврилович

доктор геолого-минералогических наук,
заведующий отделом минералогии
и изотопной геохимии ЦНИГРИ

Кузнецов Владимир Вениаминович

кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом цветных металлов ЦНИГРИ

Наумов Евгений Анатольевич

кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом благородных металлов ЦНИГРИ

Похиленко Николай Петрович

доктор геолого-минералогических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник Института геологии и минералогии
им. В.С.Соболева (ИГМ) СО РАН

Проскурнин Василий Фёдорович

доктор геолого-минералогических наук,
заведующий отделом Всероссийского научно-исследовательского
геологического института им. А.П.Карпинского (ВСЕГЕИ)

Седельникова Галина Васильевна

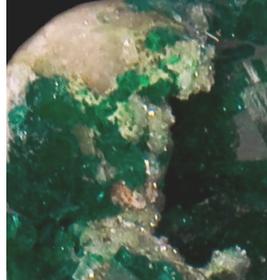
доктор технических наук,
директор геолого-технологического центра АО «Росгео»

Толстов Александр Васильевич

доктор геолого-минералогических наук,
директор Научно-исследовательского
геологического предприятия (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО)

Фридовский Валерий Юрьевич

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
директор Института геологии алмаза
и благородных металлов (ИГАБМ) СО РАН



СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

НОВОСТИ, ИНФОРМАЦИЯ

«Легенда геологической отрасли». Е.А.Козловскому – 90 лет

04

NEWS, INFORMATION

«Legend of the geological industry». E.A.Kozlovsky – 90-th anniversary

Итоги IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов»

08

Results of IX International scientific and practical conference «Scientific and methodical basics of diamond, precious and base metal deposit prediction, prospecting and evaluation»

ПРИКЛАДНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ

Алимов Ш.П., Крикунова Л.М., Хафизов У.А., Мирхамдамов М.М.

Перспективы обнаружения промышленных концентраций редкоземельных элементов в нижнемеловых осадочных толщах гор Кульджуктау, Узбекистан

18

APPLIED METALLOGENY

Alimov Sh.P., Krikunova L.M., Khafizov U.A., Mirkhamdamov M.M.

Prospects of detecting economic concentrations of rare-earth elements in lower mesozoic sedimentary strata of Kuldzhuktau mountains, Uzbekistan

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Агашев А.М., Серов И.В., Орихаши Ю., Толстов А.В., Николенко Е.И., Похиленко Н.П.

U-Pb датирование цирконов из аллювия рек и вторичных коллекторов Якутской алмазоносной провинции

23

PROGNOSIS, PROSPECTING AND EXPLORATION: TECHNIQUES AND METHODS

Agashev A.M., Serov I.V., Orihashi Yu., Tolstov A.V., Nikolenko E.I., Pokhilenko N.P.

U-Pb zircon dating from river alluvium and secondary collectors of Yakutian diamondiferous province

Афанасьев В.П., Угапьева С.С., Елисейев А.П., Громилов С.А., Павлушин А.Д.

Якутиты – импактные алмазы Попигайской астроблемы

30

Afanasiev V.P., Ugapieva S.S., Yeliseyev A.P., Gromilov S.A., Pavlushin A.D.

Ykutites are impact diamonds of the Popigai astrobleme

Голенев В.Б., Куликов Д.А.
Определение количества прогнозных ресурсов прямыми способами

38

Golenev V.B., Kulikov D.A.
Inferred resource estimation by direct methods

Куликов Д.А., Рогизный В.Ф., Черемисин А.А., Карпухина М.В.
Сопоставление вариантов оценочных работ с использованием поверхностных и подземных скважин колонкового бурения на примере рудопроявления серебра Хачакчан, Республика Саха (Якутия)

47

Kulikov D.A., Rogizny V.F., Cheremisin A.A., Karpukhina M.V.
Comparison of estimation options using surface and underground core holes: example from Khachakchan silver occurrence, Republic of Sakha (Yakutia)

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Иванов Д.В., Толстов А.В., Иванов В.В.
Структурно-тектонические критерии поисков кимберлитовых тел в Алакит-Мархинском поле

55

GEOLOGY OF ORE DEPOSITS

Ivanov D.V., Tolstov A.V., Ivanov V.V.
Structural and tectonic criteria of search for kimberlite bodies in Alakit-Markha field

Инякин А.В.

Литолого-петрографические особенности вулканогенно-осадочных пород и колчеданно-полиметаллические руды Салаирско-Каменушинского рудного поля, Салаирский кряж

61

Inyakin A.V.

Lithological and petrographic features of volcanosedimentary rocks and pyrite-polymetallic ores of Salair-Kamenushinskoye ore field, Salair ridge

Несис В.Н., Мотов А.П., Бутняков А.В.
Золотообогащённые колчеданные Саумское и Галкинское месторождения, Северный Урал

73

Nesis V.N., Motov A.P., Butnyakov A.V.
Gold-rich pyrite Saumskoye and Galkinskoye deposits, North Urals

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОРОД И РУД

Округин В.М., Шишканова К.О., Философова Т.М.
Минералого-геохимические особенности руд месторождения Кумроч, Восточная Камчатка

84

COMPOSITION AND PROPERTIES OF ROCKS AND ORES

Okrugin V.M., Shishkanova K.O., Philosophova T.M.
Mineralogical-geochemical ore features for Kumroch deposit, Eastern Kamchatka

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ

В.В.Кузнецова
К.М.Минькина

97

OUR CONGRATULATIONS

V.V.Kuznetsov
K.M.Min'kin

Уважаемый Евгений Александрович!

От всей души поздравляю Вас с Днём рождения, с блестящей датой – 90 лет! Такой рубеж по силам преодолеть только человеку такого масштаба, таких жизненной энергии и мужества, какими наделены Вы.

Ваш трудный жизненный путь – великий пример того, как подросток из белорусского села, испытавший на себе все тяготы войны, благодаря усердию, трудолюбию и настойчивости стал крупным государственным деятелем – министром геологии СССР.

Уже на первых этапах производственной работы Вы проявили себя как талантливый профессионал – прирождённый геологоразведчик и руководитель. Особо хочется отметить Вашу плодотворную деятельность на посту министра геологии СССР. Именно в эти годы стало уделяться повышенное внимание комплексному анализу минерально-сырьевой базы страны, перспективам развития отрасли, широкому привлечению науки и планомерному техническому перевооружению геологоразведочного производства. Резко увеличились объёмы и производительность работ, широко внедрялись новые формы организации процесса. Грамотная стратегия развития отрасли способствовала резкому росту новых геологических открытий.

Большой широтой отличаются Ваши научные интересы. Среди них – проблемы минерально-сырьевых ресурсов нашей страны и мира, пути их развития и использования, методика и технология разведки полезных ископаемых, в том числе на основе привлечения новых принципов геолого-экономического моделирования.

Существенный вклад внесён Вами в организацию проходки уникальной Кольской сверхглубокой скважины. При Вашем содействии создан мощный, хорошо оснащённый флот отрасли. Получила путёвку в жизнь новая система исследования недр «Космос – воздух – земля – скважина».

Истинный патриот родной земли, мастер с величайшими организованностью, чёткостью, принципиальностью в принятии решений и требовательностью в их исполнении – Вы и сегодня являетесь лидером отечественной и мировой геологии.

Желаю Вам, уважаемый Евгений Александрович, сохранить свой огромный заряд жизненной энергии, крепкого здоровья, счастья и больших творческих успехов!

Министр природных ресурсов
и экологии Российской Федерации

Д.Н.Кобылкин

Уважаемый Евгений Александрович!

От имени Федерального агентства по недропользованию и от меня лично примите самые тёплые и сердечные поздравления по случаю Вашего 90-летия!

Вы входите в плеяду выдающихся геологов России. Период Вашего руководства Министерством геологии СССР по праву относят к «золотому веку геологии», а Вас называют «легендой геологической отрасли». С Вашим именем связаны интенсивное развитие минерально-сырьевой базы СССР, геологической науки, масштабный научно-технический прогресс в отрасли и техническое перевооружение геологоразведочного производства.

Вы лично принимали участие в открытии месторождений таких важнейших видов минерального сырья, как нефть в Западной Сибири, алмазы близ Архангельска, олово на Дальнем Востоке России. При Вашем участии был основан мощный, хорошо оснащённый флот отрасли, базу которого сформировали на Чёрном море, в Мурманске и Владивостоке.

По Вашей инициативе на правительственном уровне утвердили научно-практическую систему исследования недр «Космос – воздух – земля – скважина», которая подняла изучение недр на новый научный уровень. Благодаря применению принципиально новой отечественной технологии, научных методов управления и организации работ оказалась возможной проходка уникальной Кольской сверхглубокой скважины. Успешно решая производственные и научные проблемы, Вы заслуженно завоевали известность и славу талантливого организатора.

Ваш высокий авторитет в геологии и в обществе основан на огромном жизненном опыте, объективности, честности и смелости суждений, твёрдой гражданской позиции, бескорыстном служении Родине. Ваш постулат о смысле профессии геолога – «знать о прошлом и прекрасно понимать будущее» – наказ поколениям, которые выберут эту профессию, и повод задуматься тем, кто уже работает в отрасли и принимает ответственные решения.

Ваша научная, организационная и общественная деятельность заслуженно отмечена орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, «За заслуги перед Отечеством» IV и III степеней, званиями лауреата Ленинской премии, двух Государственных премий Российской Федерации, Заслуженного геолога Российской Федерации и другими высокими наградами.

В этот замечательный день позвольте выразить Вам, Евгений Александрович, своё уважение и пожелать крепкого здоровья, бодрости духа, счастья и благополучия!

Заместитель Министра природных ресурсов
и экологии Российской Федерации –
руководитель Федерального агентства по недропользованию

Е.А.Киселев

«ЛЕГЕНДА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ». Е.А.КОЗЛОВСКОМУ – 90 ЛЕТ



Евгений Александрович Козловский родился 7 мая 1929 г. в селе Довск Журавичского района Могилёвского округа Белорусской ССР. Прошёл суровую школу жизни в период Великой Отечественной войны, участвовал в партизанском движении в Белоруссии. Страшные военные годы прошли косой по семье подростка: расстреляны шесть родственников, повешен дядя-партизан, погиб на фронте отец. После окончания в 1948 г. Минского артиллерийского училища и в 1953 г. МГРИ им. С.Орджоникидзе трудился в геологических организациях Дальнего Востока в качестве рабочего, затем заведующего буровыми работами и главного инженера Гаринской экспедиции (Амурская область), гидрогеологической экспедиции, главного инженера и начальника Комсомольской экспедиции (Хабаровский край), заместителя начальника геологического отдела Дальневосточного территориального геологического управления. При его участии в Хабаровском крае был выявлен и в рекордные сроки подготовлен к промышленному освоению Комсомольский оловорудный район, за что ему в числе других геологов была присуждена Ленинская премия. Активная производственная деятельность Евгения Александровича сочеталась с научными изысканиями в области технико-технологического обеспечения геологических исследований. Данные собственных исследований легли в основу кандидатской диссертации.

В 1965 г. Е.А.Козловский назначается на должность начальника Технического управления Министерства геологии РСФСР, а в 1970 г. утверждается членом коллегии Министерства. С его приходом изменились подходы к осуществлению научных исследований: разрабатывается и претворяется в жизнь обширная программа тематических работ и научно-технического прогресса при проведении геологоразведочных работ.

В 1973 г. Е.А.Козловский успешно защищает докторскую диссертацию, становится директором ВИЭМС. Он делает всё возможное для поднятия роли института в отрасли, оживления его научной деятельности, укрепления организационного начала. В 1974 г. назначается заместителем, а в декабре 1975 г. – министром геологии СССР. В этой должности он проработал почти 15 лет. Это была эпоха великих преобразований, укрепления системы стратегического исследования недр, обеспечения экономики различными видами минерального сырья, выдвигения на первое место научно-производственной сферы деятельности, роста престижа геологии и роли геолога в стране. Не зря геологи окрестили этот период «золотым веком геологии», а своего министра – «легендой горной промышленности»! Ярко проявились гражданская позиция Евгения Александровича, государственный подход к решению проблем геологии. Особое внимание уделялось анализу минерально-сырьевой базы и перспективам её развития, геологической науке, научно-техническому прогрессу, техническому перевооружению геологоразведочного производства, социальным вопросам жизни трудовых коллективов. Увеличились объёмы и производительность геологоразведочных работ, началось широкомасштабное строительство жилья и объектов соцкультбыта для геологов и членов их семей. Применялись новые формы организации труда, в значительных объёмах велись геологоразведочные работы за рубежом, расширялись международные контакты.

В этот период были открыты крупнейшие месторождений нефти и газа в Западной и Восточной Сибири, алмазов в Архангельской области, цветных, редких, благородных металлов, уранового сырья и других полезных ископаемых. Геология стала одной из важнейших отраслей народного хозяйства страны.

За период пребывания Е.А.Козловского на посту министра произошли существенные измене-

ния. В 12-й пятилетке (по сравнению с 8-й) увеличились: прирост запасов по всем видам минерального сырья в 2 раза; объёмы ГРП в 3,8 раза (при этом за счёт капвложений в 7,1 раза), бурения на нефть и газ в 2,6 раза, строительно-монтажных работ в 4,8 раза, временного строительства и обустройства в 5,1 раза, реализации промышленной продукции в 3,7 раза, основных производственных фондов в 4,5 раза.

На правительственном уровне была утверждена новая научно-практическая система исследования недр «Космос – воздух – земля – скважина». Е.А.Козловским создана научная школа, положившая начало новым подходам к системе управления, в том числе технологическими процессами и разведкой месторождений на основе геолого-экономического моделирования. Данным вопросам посвящены монографии «Кибернетические системы в разведочном бурении» (1985), «Геолого-экономическая модель: новые принципы разведки и организации работ» (1989), «Управление геологоразведочным производством. Кибернетический аспект» (1990) и др.

Научная деятельность Е.А.Козловского характеризуется широким диапазоном исследований, среди которых выделяются три главных направления: проблемы минерально-сырьевых ресурсов СССР и мира; методика и технология разведки полезных ископаемых; экологические проблемы. Он сформулировал принципы развития и использования минерально-сырьевой базы. Успешно осуществлял руководство Межведомственным научным советом по проблемам изучения недр Земли и сверхглубокого бурения Государственного комитета СССР по науке и технике (ГКНТ). Проходка уникальной Кольской сверхглубокой скважины оказа-



лась возможной благодаря применению принципиально новой отечественной технологии, научных методов управления и организации работ, чему способствовал и личный вклад Е.А.Козловского.

Будучи президентом XXVII сессии Международного геологического конгресса, он осуществил огромную работу по подготовке и проведению в 1984 г. в Москве этого крупнейшего форума геологов, получившего высочайшую оценку советских и зарубежных участников.

Значительное внимание Е.А.Козловский уделял подготовке научных кадров. Под его руководством защищены 30 кандидатских и пять докторских диссертаций. В конце 80-х годов он организовал в МГРИ новую кафедру оптимизации геологоразведочных процессов, в начале 90-х избирается президентом Ассоциации геологических организаций, затем генеральным директором Института геолого-экономических проблем, вице-президентом РАЕН, назначается членом коллегии Роснедра,

членом Высшего горного совета России. Долгие годы был председателем, заместителем председателя, членом ряда Научных советов и Комиссий Президиума Совета Министров СССР, ГКНТ, Академии наук СССР, Академии народного хозяйства СССР, Президиума Госсовета РФ, Учёных советов МГРИ-РГГРУ, Санкт-Петербургского горного института, ВИЭМС. Е.А.Козловский избран академиком МАМР, МАН ИПТ, Почётным доктором ряда отечественных и зарубежных университетов.

Е.А.Козловский являлся научным руководителем международного проекта ЮНЕП/ЮНЕСКО/СССР «Охрана литосферы как компонента окружающей среды». Под его руководством с участием учёных СССР, Франции, США, ЧССР, ВНР, Греции и Нидерландов подготовлена двухтомная монография «Гидрогеологические основы охраны подземных вод». Он был главным редактором изданий «Геология СССР», «Горная энциклопедия» (в пяти томах), монографии «Кольская сверхглубокая», книги «Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых» (в десяти томах), Справочника инженера по разведочному бурению (в двух томах) и др. Всего им опубликовано более 600 научных работ, в том числе 40 монографий и книг. Изданы труды «Россия: минерально-сырьевая политика и национальная безопасность», «Минерально-сырьевая база топливно-энергетического комплекса России» (в соавторстве), «Российская угольная энциклопедия» (в трёх томах), «Дальний Восток – зона притяжения», «Глубинные исследования недр Земли», «Российская геологическая энциклопедия» (в трёх томах), «Минерально-сырьевые ресурсы в экономике мира и России».

Е.А.Козловский – обладатель многочисленных отечественных и зарубежных наград (семь орденов и 30 медалей), почётных званий Герой Социалистического труда, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, Заслуженный геолог России, лауреат Ленинской и Государственных премий, «Почётный разведчик недр», «Почётный нефтяник», «По-



чётный работник газовой промышленности», «Почётный работник угольной промышленности», «Человек года», «Легенда горной промышленности». Он – первооткрыватель ряда месторождений, автор более 40 изобретений.

Е.А.Козловский был депутатом Верховного Совета СССР ряда созывов (1976–1989 гг.), членом ЦК профсоюза рабочих геологоразведочных работ. В настоящее время – советник ректора МГРИ, почётный президент Ассоциации геологических организаций, вице-президент РАЕН, член Высшего горного совета России.

Исключительная душевность, серьёзность восприятия и понимание коллег – отличительные черты выдающегося Учёного и Человека. Его жизненная позиция является ярким примером служения делу и Отечеству!

Представители ЦНИГРИ поздравили юбиляра на торжествах, прошедших в Министерстве природных ресурсов и экологии РФ, пожелали ему доброго здоровья, неиссякаемой творческой энергии, благополучия, счастья, дальнейших трудовых успехов.

Печатается по материалам, опубликованным в журнале «Отечественная геология» №2/2014.



ИТОГИ IX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ»

17–19 апреля 2019 г. при поддержке Федерального агентства по недропользованию, Российской академии наук и Российского геологического общества в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов состоялась IX Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов».

На конференции зарегистрировались 293 участника, представлено 199 докладов (из них 110 устных, 50 стендовых, 39 заочных) 84 организаций Роснедра, РАН, вузов, недропользователей, зарубежных стран.

В рамках конференции прошли Пленарное заседание, Круглый стол «Проведение ГРП по заявительному принципу: опыт, состояние, перспективы», Секция благородных металлов, Секция цветных металлов, Секция алмазов, Стендовая сессия.

В начале конференции с приветствиями выступили А.И.Черных, С.А.Аксёнов, В.П.Орлов, В.И.Таракановский, Н.Н.Крук, Н.А.Горячев, Ю.П.Панов, Н.П.Похиленко, Г.П.Ковтонюк.

Пленарное заседание открыл С.А.Аксёнов (Роснедра). В своём сообщении он рассмотрел основные тенденции ГРП по производству минерально-сырьевой базы (МСБ) твёрдых полезных ископаемых и особенности государственного регулирования ГРП на современном этапе, в частности новую стадийность ГРП, направленную на оптимизацию геологоразведочного процесса, увеличение поискового задела, повышение уровня ликвидности фонда недропользования. В качестве наиболее важных задач государства в среднесрочной перспективе названы: совершенствование механизма информационного обеспечения недропользования, проведение прогнозно-минерагенических работ в целях увеличения площадей для лицензирования по заявительному принципу, создание благоприятного инвестиционного климата для развития юниорных компаний, поддержка крупного и среднего бизнеса в освоении месторождений и воспроизводстве МСБ, в первую очередь, в регионах опережающего развития.

В докладе А.И.Черных с соавторами (ЦНИГРИ) проанализированы состояние и качество минерально-сырьевой базы благородных металлов Российской Федерации, приведено её сравнение с мировой МСБ, рассмотрена роль в запасах и добыче золота и се-



Н.П.Похиленко (ИГМ СО РАН), Б.К.Михайлов (АО «Росгеология»), А.И.Черных (ФГБУ «ЦНИГРИ»), В.П.Орлов (РосГео), С.А.Аксёнов (Роснедра), В.И.Таракановский («Союз старателей России»), В.П.Полеванов (ФГКУ «Росгеоэлкспертиза»), Н.А.Горячев (СВКНИИ ДВО РАН), А.И.Иванов (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

ребра собственно золоторудных, комплексных и россыпных месторождений. Отмечены проблемы воспроизводства МСБ и предложены возможные пути их решения. Выделены следующие направления – усиление роли профессиональных знаний в практике ГРП, увеличение финансирования и принятие нормативных документов, направленных на стимулирование недропользования.

Н.Н.Крук с соавторами (ИГМ РАН) отметил, что текущая ситуация в минерально-сырьевом секторе России характеризуется неуклонным снижением количества и качества объектов, пригодных для промышленного освоения, уменьшением прироста запасов по целому ряду стратегических полезных ископаемых. Одной из причин этого является несоответствие существующих прогнозно-поисковых методик современному научному уровню. Основой нового методического подхода, по предложению авторов, могут стать разработка на основе комплексных исследований серии генетических моделей месторождений, включающих всю совокупность геологических и аналитических данных, и создание систем баз данных, обеспечивающих хранение и обработку информации.

Т.А.Головина (АО «Полиметалл УК») рассказала, как на практике функционирует горнорудная компания «Полиметалл УК». Основные направления развития ГРП в компании – поиск и разработка новых участков на действующих месторождениях, создание централизованных предприятий по переработке руды из различных источников (хабов), поиск «с нуля» новых крупных месторождений.

Доклад *В.Л.Лося* (AMP РК, Казахстан), *И.С.Гольдберга* (Interresources Pty Ltd, Австралия) касался вопроса о необходимости модернизации прогнозирования рудных объектов. Предложена прогнозно-поисковая технология IONEX, которая основана на высокоточных анализах пород и может применяться на открытых и частично открытых территориях. В Казахстане с помощью данной технологии выявлены новые закономерности в размещении рудных объектов, выделены перспективные на золото, медное и полиметаллическое оруденение площади, предложена концепция изучения недр и цифрового прогнозирования рудных полезных ископаемых.

Ю.К.Голубев (ЦНИГРИ) оценил современное состояние МСБ алмазов Российской Федерации, её развитие на период до 2040 г., подчеркнул актуальность открытия новых месторождений алмазов, рентабельных для отработки, с прогнозными ресурсами (ПР) не менее 400 млн кар.

В.В.Кузнецов (ЦНИГРИ) ознакомил с направлениями работ по укреплению МСБ цветных металлов РФ. Выдвинул на первый план необходимость создания резервной МСБ меди за счёт объектов медно- и золото-медно-порфирирового типов в Дальневосточном регионе; проведения поисковых работ в районах действующих горнодобывающих предприятий на Южном Урале, Рудном Алтае, Восточном Забайкалье и Салаире в целях выявления ПР категорий P_2 и P_1 для вовлечения их в оценочную стадию; проведения опережающих поисково-регистрационных, прогнозно-минералогических работ



Т.А.Головина (АО «Полиметалл УК»),
А.И.Иванов (ФГБУ «ЦНИГРИ»)



Генеральный директор ФГБУ «ЦНИГРИ»
А.И.Черных

в известных металлогенических зонах Среднего Урала, Енисейского кряжа, Тывы, Приморья для выделения новых площадей с оценёнными ПР кат. Р₃ медно-колчеданного, медно-порфирового и колчеданно-полиметаллического типов в качестве поискового задела; ускоренного ввода в строй разведанных месторождений взамен выбывающих предприятий с истощённой МСБ меди.

На заседании **Круглого стола «Проведение ГРР по заявительному принципу: опыт, состояние, перспективы»** приведены доклады, в которых отражены актуальные вопросы, связанные с лицензированием недропользования, оценкой эффективности применения заявительного принципа в российских условиях.

В сообщении *А.И.Иванова, А.И.Черных* (ЦНИГРИ) отмечена необходимость минимизации рисков получения отрицательных результатов при проведении ГРР, в связи с чем важен анализ всех имеющихся геологических, геофизических, геохимических, ландшафтно-геоморфологических и других материалов при разработке оптимальной методики ведения работ. Рассмотрены типичные сложности и риски, возникающие при ГРР поисковой стадии, а также направления действий для их сокращения: установление на начальной стадии работ вероятных геолого-промышленных и формационных типов оруденения в целях составления прогнозно-поисковой модели потенциального месторождения и определения прогнозно-поискового комплекса; проведение прогнозных исследований для выделения рудоносных структур; адаптация прогнозно-поискового комплекса к конкретным ланд-

шафтным условиям; мониторинг выполняемых ГРР, своевременная корректировка их направления.

Доклад *В.И.Таракановского* (Союз старателей России) посвящался проблемам золотодобычи из «техногенных» месторождений. Отмечалось, что в условиях истощённой сырьевой базы решающее значение для успешной работы золотодобывающих предприятий малого и среднего бизнеса имело бы вовлечение в отработку техногенных россыпей, однако несовершенство «Закона о недрах» в части определения «техногенных запасов» является сдерживающим фактором. «Союз старателей России» предлагает следующие пути решения возникших вопросов: предоставлять недропользователям техногенные россыпи и участки без проведения аукционов и конкурсов на основании рассмотрения заявок предприятий комиссиями с участием представителей Роснедр и органов исполнительной власти; разрешить недропользователям проводить добычу драгоценных металлов из техногенных россыпей в границах предоставленного лицензии горного отвода без геологического изучения недр; отменить требование проведения государственной экспертизы техногенных запасов; упростить процедуру продления лицензий на отработанные месторождения для освоения техногенных запасов.

Т.С.Волоковых (Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области) рассказала об отсутствии воспроизводства МСБ алмазов при растущих объёмах их добычи на территории Архангельской области. Предлагаемые ею меры поддержки алмазодобы-

вающей отрасли в регионе включают: стабильное финансирование из средств бюджета РФ прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ; финансовое стимулирование результативности работ; внедрение и развитие государственно-частного партнёрства; увеличение максимальной площади участка недр, предоставляемого для геологического изучения, поисков и оценки месторождений алмазов, до 1500 км²; сокращение сроков аренды лесных участков при проведении ГРП на алмазы; предоставление возможности геологического изучения особо охраняемых природных территорий с последующим выведением из их границ выявленных месторождений.

Доклады сотрудников ФГКУ «Росгеоэкспертиза» были посвящены правовому регулированию и администрированию процесса лицензирования. *Д.Л.Никишиным* рассмотрены существующий порядок предоставления участков недр для геологического изучения, направления модернизации системы лицензирования и законодательные инициативы по совершенствованию законодательства о недрах. *Л.Е.Ламбево* определены основные проблемы при проектировании по заявительному принципу и охарактеризованы нормативные изменения в связи с последними приказами Минприроды России.

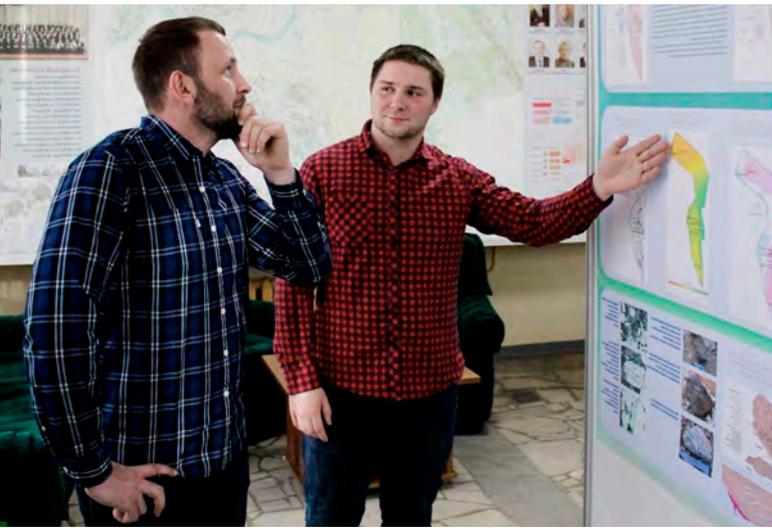
С.Т.Гумадеев (ООО Артель старателей «Золотой Полюс») поделился опытом работы компании «Золотой Полюс» по заявительному принципу, отметил сложности отведения лесных участков для целей геологического изучения, разведки и добычи полезных ископаемых в Забайкальской области. Предложил упростить процедуру оформления лесных участков для работы, привести в соответствие с приказами Минприроды нормативные документы регионального уровня, разработать чёткий алгоритм предоставления в аренду лесных территорий при наличии в их пределах особо охраняемых участков.

В рамках заседаний **Секции благородных металлов** заслушаны доклады, касающиеся актуальных проблем прогноза, поисков и оценки месторождений благородных металлов и связанных с ними вопросов фундаментальной и прикладной геологии.

Доклад *Ю.Г.Сафонова* (ИГЕМ РАН) был посвящён оценке современного состояния научно-методических основ прогнозирования золоторудных месторождений на территории России. Автором под-

нимались общие методологические вопросы в теории и практике разномасштабного металлогенического прогнозирования и приводились конкретные примеры результативности прогнозов.

В следующих докладах освещались не менее важные проблемы. *И.А.Чижова* рассказала о разработанной в ИГЕМ РАН оригинальной методике компьютерной экспресс-оценки и выбора перспективных золоторудных объектов для постановки поисковых работ. *Е.Н.Афанасьева* (ВСЕГЕИ) привела оценку перспектив выявления золоторудных объектов в Куолярвинском рудном узле (Северная Карелия). *Р.М.Багатаев* (ДГУНХ) доложил аудитории о результатах проведённых поисковых работ на рудное золото в черносланцевых толщах Горного Дагестана. *А.В.Молчанов* ознакомил с новыми данными, полученными сотрудниками ВСЕГЕИ, о золотоносности Алдано-Становой металлогенической провинции и перспективах локализации новых площадей для постановки среднemasштабных геолого-минерагенических работ. *В.А.Ванин* (ИЗК СО РАН) сделал доклад о возможностях прогноза золотого оруденения с помощью геологоструктурных методов (на примере месторождения Голец Высочайший в Северном Забайкалье). *В.И.Безруков* (ВСЕГЕИ) озвучил основные направления и предварительные результаты прогнозирования золоторудных месторождений в восточной (русской) части Балтийского щита. Представитель частного бизнеса *О.А.Наталевич* (ООО «Верданди») в докладе продемонстрировала подход к прогнозу локализации «слепого» оруденения на основе 3D модели структурной схемы строения месторождения. *Н.А.Бакшеев* (СНИИГГиМС) сообщил о выявленном наборе признаков и критериев поиска промышленных скоплений золота в Егорьевском рудно-россыпном районе (Салаирский кряж). *А.В.Волков* с соавторами (ИГЕМ РАН) поднял важную тему об исследовании геодинамических обстановок формирования месторождений золота и других стратегических металлов в Арктической зоне России. *М.П.Брысин* (ЦНИГРИ) представил интересные и весьма перспективные результаты применения нового ионно-сорбционного метода геохимических поисков для выявления эпitherмального золото-серебряного оруденения на примере Каларского рудного поля в Горной Шории. В докладе *Е.М.Шемакиной* (МГУ им. М.В.Ломоносова) рассматривались инновационные методы прогнозирования оруденения, возможности использования



в целях прогноза материалов дистанционного зондирования Земли из космоса.

Сообщение *Б.С.Петрушкова* и *В.Ф.Проскурнина* (ВСЕГЕИ) посвящалось характеристикам золотосодержащего медно-молибден-порфирирового пояса Таймыра и Северной Земли и перспективам выявления крупного золоторудного месторождения в пределах Светлинской площади Северо-Восточного Таймыра. Большой интерес вызвало сообщение *А.С.Вяльцева* (АО «Полиметалл УК») о современном подходе к оценке ресурсов в компании «Полиметалл». *Ж.Ж.Мовланов* (ИМР, Республика Узбекистан) рассказал о критериях прогнозной оценки территории Северный Нуратау на золото. *Г.П.Кимом* (ИМГРЭ) были рассмотрены важные вопросы о задачах разномасштабных геохимических работ при реализации стратегии развития МСБ РФ до 2035 г. *В.П.Хворостов* (ПАО «Высочайший») осветил в своих двух выступлениях проблемы выделения (с прогнозом месторождений мирового класса Au-Ag и Au-Cu порфирирового типа) перспективных площадей Prabhu Hills, Songkang магматической дуги Сунда-Банда на о-ве Ломбок (Индонезия) и прогноза перспективных на тип «HS» золоторудных площадей на Камчатке с использованием КА «Терра» и мультиспектрометра ASTER (на примере Ветроваямской, Малетойваямской, Сеэроваяямской и других площадей Корякского нагорья). *А.М.Вахрушев* (ЦНИГРИ) поднял актуальный вопрос об использовании Государственной Системы Координат (ГСК-2011) при работах геологической отрасли, о формировании единого информационного пространства и требований к функционалу ГИС. *Д.А.Куликов* (ЦНИГРИ)

доложил о разработке методического руководства по оценке прогнозных ресурсов АБЦМ.

С докладом о золоторудных месторождениях Якутии выступил *В.Ю.Фридовский* (ИГАБМ СО РАН). Им были представлены новые ранее неопубликованные данные, полученные сотрудниками института. О проблемах генезиса золоторудных месторождений сообщил также *Б.Б.Дамдинов* (ГИН СО РАН). *Л.И.Дементеев* (ГП «Центральная ГГЭ», Республика Узбекистан) представлены данные по рудному участку Бабатаг, расположенному в Южном Узбекистане, а *Ю.Н.Николаевым* (МГУ им. М.В.Ломоносова) – о промышленных перспективах Олойской металлогенической зоны. Неподдельный интерес у присутствующих на секции геологов вызвали закончившиеся дискуссией доклады, посвященные проблемам образования серебряных руд на примере месторождения Кимпиче, Якутия (*В.В.Аристов*, ИГЕМ РАН) и построению геолого-генетической модели золоторудного месторождения Ветреное, Магаданская область (*Н.В.Бондаренко*, ЦНИГРИ).

Особенный интерес для академической аудитории представляли доклады о современных проблемах исследования рудных месторождений и новых и нетрадиционных методах изучения рудного вещества. Так, с докладом о роли хромита в процессах платинометалльного рудообразования выступила *М.А.Юдовская* (ИГЕМ РАН). Она осветила проблему образования скрещенных типов платинометалльного оруденения – хромит-сульфид-ЭПГ минерализации. Оживлённую дискуссию вызвал доклад *В.Д.Абрамовой* (ИГЕМ РАН) о результатах исследования микропримесей в сульфидах с помощью новейшей методики изучения вещества (ЛА-ИСП-МС). Были представлены данные методических и аналитических работ с галенитом, пиритом, сфалеритом, арсенопиритом, пирротинитом, молибденитом, пентландитом и халькопиритом. *А.А.Савичевым* (ООО «Норильскгеология») рассмотрены оригинальные методики оценки фертильности гранитных интрузивов на основе изучения типоморфных особенностей породообразующих и акцессорных минералов гранитоидов. Доклад, также касающийся новейших методик исследования рудного вещества, сделан *Е.А.Наумовым* (ЦНИГРИ). Им с помощью рентгеновской микротомографии были получены новые сведения об особенностях распределения золота в сульфидах и силикатной матрице.

Новые и оригинальные материалы о роли органического вещества при концентрации и пере-



распределении рудных компонентов представлены *А.Е.Будяком* (ИГХ СО РАН). Доклад *С.Г.Кряжева* (ЦНИГРИ) был посвящён вопросам изотопно-геохимической зональности золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах. *А.Н.Барышевым* (ЦНИГРИ) сделан обзорный доклад, касающийся актуальных проблем металлогении, построения прогнозно-поисковых моделей. *В.Д.Конкин* (ЦНИГРИ) ознакомил с перспективами выявления благороднометалльного оруденения в пределах Прибайкальского региона.

В целом, хотелось бы отметить высокий уровень докладов. Обращает на себя внимание намечающийся прогресс в развитии продуктивного сотрудничества между организациями различной ведомственной принадлежности с вузами и частными компаниями (как недропользовательскими, так и сервисными, предоставляющими услуги при геологоразведочных и поисковых работах). Как правило, в результате такого взаимодействия появляются наиболее интересные результаты. Примером могут служить доклады *А.А.Савичева* с соавторами (совместная работа ООО «Норильскгеология» и ИГМ СО РАН), *Е.М.Шемякиной* и *П.А.Починалина* (МГУ им. М.В.Ломоносова и ООО «Иннотер») и др.

Тематика докладов, представленных на **Секции цветных металлов**, охватывала широкий спектр вопросов, касающихся прогноза и поисков месторождений меди, свинца, цинка, никеля, кобальта, редких элементов в пределах металлогенических

провинций России – Алтая, Урала, Салаира, Енисейского края, Забайкалья и др.

В докладе *Т.В.Сервиной* (ЦНИГРИ) приведены приоритетные направления прогнозно-металлогенических и поисковых работ на месторождениях свинца и цинка в терригенно-карбонатных комплексах (типа Sedex). К перспективным регионам, заслуживающим постановки поисковых работ на данный тип оруденения, относятся Приаргунская (Забайкальский край), Ангаро-Большепитская (Красноярский край), Центрально-Новоземельская (Архангельская область), Кыллахская (Республика Саха (Якутия)), Прибайкальская (Иркутская область), Омулёвская и Приколымская (Магаданская область) металлогенические зоны.

Доклад *В.В.Кузнецова* (ЦНИГРИ) посвящён другому широко распространённому типу месторождений свинца и цинка – колчеданно-полиметаллическому в вулканогенных породах (VMS – месторождения рудноалтайского и нойон-тологойского типов), для которых разработан прогнозно-поисковый комплекс для выделения разноранговых площадей, где необходима постановка прогнозно-металлогенических и поисковых работ.

В ряде докладов сотрудников ЦНИГРИ рассмотрены научные аспекты геологии месторождений Рудного Алтая: геодинамические условия формирования колчеданно-полиметаллического оруденения (*Н.Г.Кудрявцева*), его связи с кремнекислыми вулканитами и петрохимические особенности (*Л.К.Филатова*), генетические вопросы (обнаружение труб палеозойских «курильщикова» в гидротермальных постройках Захаровского месторождения Рубцовского рудного района) (*С.В.Кузнецова*).

Прогнозно-поисковые работы на золото-колчеданно-полиметаллическое оруденение проводятся и на Салаирском кряже. Основные черты размещения оруденения в пределах Салаирской металлогенической зоны отражены в докладе *О.В.Мурзина* и *Н.М.Мурзиной* (СНИИГГиМС, АО «Росгео»), а условия локализации золото-колчеданно-полиметаллического оруденения Салаирско-Каменушинского рудного поля – в докладе *А.В.Инякина* (ЦНИГРИ). В них описаны прогнозно-поисковая модель и поисковые критерии и признаки обнаружения данного типа оруденения, с помощью которых дан прогноз на поиски новых рудных тел на флангах и глубоких горизонтах известных месторождений, а также новых объектов в пределах Салаирской минарагенической зоны.



Свинцово-цинковые месторождения Енисейского кряжа относятся к трём геолого-промышленным типам: свинцово-цинковому стратиформному в карбонатных комплексах, колчедансодержащему цинково-свинцовому в кремнисто-карбонатных комплексах и колчеданно-полиметаллическому в терригенных комплексах. Петрохимические особенности рудовмещающих отложений трёх типов оруденения рассмотрены в докладе *М.Н.Зайцевой* и *М.М.Хачатурова* (ЦНИГРИ). Для каждого типа оруденения *М.Н.Зайцевой* и *А.В.Инякиным* (ЦНИГРИ) приведены также поисковые признаки, основанные на составлении эталонных моделей месторождений. К первому типу оруденения (по данным *А.А.Стороженко* с соавторами, ЦНИГРИ) относится выявленное Ангарской экспедицией Сухопитское свинцово-цинковое проявление, которое по результатам проведённых поисковых работ отвечает крупному перспективному объекту.

Состояние минерально-сырьевой базы Восточного Забайкалья, специализированной на золото-серебро-полиметаллическое оруденение, охарактеризовала *Д.А.Корчагина* (ЦНИГРИ). Из её сообщения следует, что уровень прироста запасов свинца и цинка с попутным золотом и серебром не воспроизводится; обеспеченность действующих добычных предприятий прогнозными ресурсами полиметаллических руд недостаточна. Для решения проблем по воспроизводству и наращиванию МСБ свинца и цинка необходимо проведение поисковых и прогнозно-металлогенических работ в целях выявления новых и переоценки известных перспективных площадей, которые были начаты в последние годы силами ОСП «Читагеологоразведка» и сотрудниками ЦНИГРИ. Главный геолог ОСП «Чи-

тагеологоразведка» *А.И.Брель* поделился опытом проведения и результатами геологоразведочных работ на полиметаллических золото-серебросодержащих объектах Юго-Восточного Забайкалья. При этом он затронул широкий круг вопросов от МСБ до конкретных поисковых работ, приведших к открытию рудопоявлений Талман и Кодак. В докладе *Т.В.Сервиной* с соавторами показано, что в Приаргунской минерагенической зоне развиты два типа полиметаллического оруденения – колчеданно-полиметаллический в осадочно-вулканогенных (нойон-тологийский) и свинцово-цинковый колчеданный в терригенно-карбонатных (приаргунский) породах, даны их характерные геологические и минералого-геохимические особенности. Перспективам обнаружения серебро-полиметаллического оруденения нойон-тологийского типа в пределах Александрово-Заводского рудного узла уделено внимание в докладе *Н.Н.Богославца*, а свинцово-цинкового приаргунского типа в пределах Кадаинского рудного узла – в докладе *С.В.Алеко* и *А.А.Петухова*.

М.В.Тучина (ЦНИГРИ) с соавторами осветила состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы медных предприятий Южного и Среднего Урала. Поскольку приросты запасов колчеданных месторождений не существенны и не обеспечивают воспроизводство цветных металлов, значительную роль на Урале в связи с этим стали играть медно-порфиоровые месторождения (Михеевское, Томинское). Прогнозно-поисковые работы проводятся на Южно-Подольском колчеданном рудопоявлении (*Ю.В.Никешин* и др., ЦНИГРИ) и Сибайском рудном поле, где выделены и количественно оценены два уровня оруденения, что позволило рекомендовать перспективный объект для поисков руд (*Н.И.Татарко*, ЦНИГРИ).

Часть докладов посвящены проблемам прогноза и поисков медно-порфиорового оруденения. В сообщении *И.Ф.Мигачёва*, *В.С.Звездова*, *Т.А.Чуриловой* (ЦНИГРИ) проанализированы строение и металлогения андезитовидных и базальтоидных вулканоплутонических поясов, контролирующих размещение медно-порфиоровых месторождений, влияние структурных условий формирования медно-порфиоровых штокверков на морфологию и строение последних. Целенаправленно рассмотрены обстановки формирования крупных и сверхкрупных медно-порфиоровых месторождений в вулканоплутонических поясах. Даны рекомендации по исполь-

зованию выявленных критериев в целях прогноза и поисков особо значимых соответствующих рудных объектов.

В докладах *М.М.Гирфанова, О.В.Авиловой, А.В.Андреева, И.А.Старостина* (ЦНИГРИ) представлены разработанная геолого-поисковая модель медно-порфириновых объектов Кызыкчадрского рудного поля Республики Тыва и имеющая важное значение для прогноза и поисков оруденения схема рудно-метасоматической зональности рудопроявления Кызык-Чадр. Отмечается лентовидная в плане форма минерализованной зоны. Установлена минерализация двух сопряжённых рудно-формационных типов: золотосодержащего Мо-Си-порфирикового и золото-сульфидно-кварцевого жильно-прожилкового.

Интерес у слушателей вызвали доклады о геохимических и геофизических методах поисков. Это доклады *С.А.Миляева, С.Г.Кряжева* (ЦНИГРИ) «Поисково-геохимические особенности наложенных ореолов рассеяния скрытых полиметаллических месторождений и *В.С.Сенкевича* (ООО «Сибгеоконсалтинг») «Глубинные геохимические поиски на флангах Мулинской впадины (Забайкальский край)». Поиски должны проводиться с использованием шнекового бурения, бурения малоглубинных скважин по профилям в совокупности с бурением глубоких скважин.

Доклад *Ю.В.Воробьёва, А.Д.Кузовенкова* (ООО СЗГК «Геокомплекс») посвящён геофизическим методам поисков (электроразведка, гравиразведка, магниторазведка, спектрометрия, сейсморазведка), которые успешно применяются при поисках колчеданного оруденения на Урале (Уткинское месторождение) и полиметаллического оруденения на Новой Земле (Павловское месторождение).

На Секции цветных металлов также были озвучены доклады по другим видам минерального сырья. Это доклады *К.В.Лобанова, Д.В.Жирова, М.В.Чичерова* (ИГЕМ РАН, ГИ КНЦ РАН) о рудоносных структурах Печенгского рудного района, в пределах которых развиты месторождения медно-никелевых, железистых кварцитов, радиоактивных руд, МПГ-минерализация и др.; *В.А.Истомина* (ЦНИГРИ) «Литий – цветной металл XXI века»; *А.В.Лаломова* (ИГЕМ РАН) «Факторы формирования редкометалльных россыпей ближнего сноса и создание компьютерной системы прогноза россыпного потенциала».

На Секции алмазов было представлено 54 доклада, затрагивающих различные проблемы вос-

производства МСБ алмазов: выделение новых площадей под поисковые работы; методические подходы, применяемые при прогнозировании алмазоперспективных площадей; совершенствование и апробация поисковых методов; геологическое изучение месторождений алмазов; изучение вещественного состава алмазоносных пород, минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) и алмазов, а также общие проблемы, связанные с алмазообразованием.

Выделению новых площадей под поисковые работы посвящены два устных сообщения. *Ю.К.Голубевым* с соавторами (ЦНИГРИ) представлены результаты анализа материалов геолого-геофизической изученности территории Архангельской области за 2018 г., на основании которых для проведения поисковых работ на коренные источники алмазов рекомендованы Ручьёвская, Рочевская и Плесецкая площади. Отмечена необходимость количественной переоценки прогнозных ресурсов кат. Р₃ в сторону уменьшения, что обусловлено высокой степенью изученности одних площадей, где уже маловероятно обнаружение крупных месторождений, и существенной недоизученностью других. Последнее требует постановки на ряде площадей прогнозно-минерагенических работ.

Е.В.Проценко и *А.В.Толстов* (НИГП АК «АЛРОСА») рекомендовали вовлечь в опоскование перспективные на выявление алмазоносных кимберлитовых полей территории Сибирской платформы, обрамляющие Патомско-Вилуйский авлакоген: фланги Вилуйско-Мархинской зоны, в пределах которых выделены Юлегирская и Верхнемурбайская площади, а также Чаро-Синскую минерагеническую зону, контролирующую новые прогнозируемые кимберлитовые поля. Предложена стадийность ГРР.

Методические подходы, применяемые при прогнозировании алмазоперспективных площадей, рассматривались в пяти устных докладах. В сообщении *Н.А.Прусаковой* с соавторами (ЦНИГРИ) показаны возможности выделения по комплексу глубинных геофизических факторов (с привлечением данных изучения ксенолитов из кимберлитов) в литосфере Лапландско-Беломорского гранулитогнейсового пояса (являющегося исключением из «правила Клиффорда») алмазоносной деплетированной литосферной мантии архейского возраста, что позволило положительно оценить перспективы на коренную алмазоносность как самого пояса, так и отдельных его участков. В результате в пределах

Зимнего Берега установлен ряд участков, где возможно обнаружение новых алмазоносных тел, не охваченных опосредованно в настоящее время.

О прогнозировании кимберлитового магматизма на территории Якутской алмазоносной провинции с использованием глубинных геолого-геофизических критериев рассказал *Ф.В.Мясников*. Им выделены долгоживущие кимберлитоконтролирующие структуры мантийного заложения – Далдыно-Оленёкская, Котуйканская и Мархинская, которые отнесены к минерагеническим зонам с возможной локализацией в их пределах перспективных площадей на обнаружение среднепалеозойского алмазоносного магматизма.

Е.В.Проценко и *Н.И.Горевым* (НИГП АК «АЛРОСА») указаны структурно-тектонические критерии прогнозирования площадей в пределах Вилюйско-Мархинской минерагенической зоны, в заочном докладе *М.В.Мальцева* (ВГРЭ АК «АЛРОСА») – структурно-тектонические критерии локализации кимберлитов в пределах Слюдякарской площади.

Использование дистанционных методов при прогнозе и выделении разноранговых таксонов кимберлитового магматизма – тема доклада *Ю.Н.Серокурова* (ООО «Институт дистанционного прогноза руд»).

Н.П.Похиленко с соавторами (ИГМ СО РАН) рассмотрены проблемы алмазообразования в Якутской алмазоносной провинции на основе изучения включений в алмазах и минералов-индикаторов кимберлитов. Сделан вывод о продуктивности на коренную алмазоносность кимберлитов исключительно среднепалеозойского возраста.

В докладе *Е.В.Щукиной* с соавторами (ИГМ СО РАН, ООО «Проекс-сервис») на основании изучения пиропов из южной части Архангельской области сделан вывод о потенциальной возможности обнаружения здесь алмазоносных кимберлитов.

Совершенствованию и апробации различных поисковых методов, в том числе при работе на эталонных объектах (месторождениях) и новых площадях, повышению эффективности работ посвящён ряд докладов.

Геофизическим методам поисков кимберлитов, эффективности аэромагнитной съёмки и электро-разведочных технологий (метода переходных процессов (АМПП)) уделено внимание в двух докладах *П.С.Бабаянца* с соавторами (ГНПП «Аэрогеофизика»). Были изучены возможности применения различных аэрогеофизических методов при поисках

алмазных месторождений. Отмечена необходимость апробации метода АМПП для поисковых работ в Архангельской области. Данный метод показал высокую эффективность его использования в Якутии и Африке. Вероятность применения метода при поисках алмазных месторождений в Архангельской области, а также эффективность электро-разведки в целом, рассматриваются в докладах *И.И.Микоева* и *М.М.Лантева* (ЦНИГРИ).

В сообщении *А.Д.Кузовенкова* с соавторами (ООО СЗГК «Геокомплекс») описаны электроразведочные работы методом ВП (вызванной поляризации), который был апробирован на трубке Катока в Анголе. Показаны возможности оценки потенциальной алмазоносности с помощью этого метода.

Н.Ф.Скопенко с соавторами (ЗАО КЦ «РОСГЕОФИЗИКА») рассмотрел применение нейтронной съёмки на эталонных трубках Зимнебережного района Архангельской области. Метод регистрации свободных нейтронов используется в комплексе с геоэлектрическими методами и газовой съёмкой.

П.А.Игнатов (МГРИ-РГГРУ) с соавторами на примере изучения керна поисковых скважин в пределах нового Слюдякарского кимберлитового поля привёл данные о структурных особенностях локализации кимберлитовых тел, выявлении минерализации во вмещающих породах, связанной с воздействием траппов и кимберлитов.

В заочных докладах сотрудников АК «АЛРОСА» представлены геофизические методы поисков, эффективные при поисковых работах: метод радиоволновой геоинтроскопии межскважинного пространства, применяющийся в Западной Якутии и эффективный в условиях мощных неоднородных перекрывающих кимберлитовые трубки отложений; аудиомагнитотеллурическое зондирование, используемое при решении структурно-картировочных задач, выделении высокоомных узлокальных зон, отождествляемых с разрывными нарушениями, контролирующими кимберлитовые тела.

В нескольких сообщениях охарактеризованы особенности геологического строения коренных месторождений алмазов. Доклад *Р.Н.Пенделяка* с соавторами (АО «АГД Даймондс») посвящён трубке им. В.Гриба (Архангельская область). Были показаны её отражение в геофизических полях, особенности её вскрытия поисковыми скважинами. *Ф.В.Каминский* (ГЕОХИ РАН) доложил о строении месторождения алмазов Гуаниамо (штат Боливар, Венесуэла),

представленного кимберлитовыми силлами позднепротерозойского возраста. В докладе *С.М.Саблукова* с соавторами (ООО ИНПК «РУСГЕО») рассмотрены строение и вещественный состав кор выветривания на кимберлитах Накынского месторождения алмазов. В заочном докладе *В.Т.Подвысоцкого* (ЖГТУ, Украина) дана информация о позднепротерозойских алмазоносных конгломератах района Диамантина (штат Минас-Жейрас, Бразилия).

Часть докладов в той или иной мере освещали проблемы происхождения алмазов из северных россыпей Якутии. *В.П.Афанасьев* (ИГМ СО РАН) рассмотрел распределение алмазов V–VII разновидностей в северных россыпях и сделал вывод об их возможном переотложении из протерозойских коллекторов. *А.И.Дак* (СНИИГиМС) привёл данные о широком распространении в северной части Западной Якутии однотипных по составу пикроильменитов, которые могут быть связаны с неизвестными источниками. В заочном докладе *И.Н.Богуш* с соавторами (НИГП АК «АЛРОСА») сообщено об алмазах II разновидности, встречающихся в россыпях северо-восточной части Сибирской платформы, которые предположительно могут быть связаны с неизвестным типом коренных источников на территориях Среднеолёнского и Куонамского алмазоносных районов.

Проблеме оценки алмазоносности месторождений и потенциальной алмазоносности источников на основании изучения вещественного состава МИК посвящены доклады *Ю.Б.Стегницкого*, *А.С.Иванова*, *О.В.Тарских* с соавторами (НИГП АК «АЛРОСА»), *И.В.Ащепкова* с соавторами (ИГМ СО РАН), *С.К.Симакова* (ООО «АДАМАНТ», резидент Сколково, Санкт-Петербург). *Ю.Ю.Голубева* (ЦНИГРИ) предложила использовать валовый вещественный состав кимберлитов при оценке их алмазоносности.

Ряд докладов посвящались изучению алмазов и минералов-индикаторов кимберлитов из месторождений и проявлений алмазоносного магматизма. Результаты изучения алмазов из трубки Удачная представлены в докладе *Д.В.Коногоровой* с соавторами (МГУ им. М.В.Ломоносова); МИК из трубок Зимнебережного поля – *Е.А.Торбуновой* (МГУ им. М.В.Ломоносова), из аптских образований Воронежской антеклизы – *А.В.Черешинским* (ВГУ). Методика исследования МИК с помощью ИК-Фурье микроскопа и возможности этого метода при диагностике минералов рассмотрены *Г.К.Хачатрян* (ЦНИГРИ).



Общим вопросам алмазообразования посвящены доклады: *Н.А.Божко* (МГУ им. М.В.Ломоносова) проанализировал распространение алмазоносного кимберлитового и лампроитового магматизма во времени и связь усиления магматической активности с суперконтинентальной цикличностью – с фазами распада и сборки суперконтинентов; *В.А.Кривицкий* (МГУ им. М.В.Ломоносова) рассмотрел вещественную составляющую тепловой энергии, сопутствующую геотектоническим процессам, в частности геохимическим, которые сопровождают подъём плюма – образование лёгких химических элементов (водорода, гелия, углерода, азота, кислорода), возможность использования лёгких элементов при нейтронной съёмке; *Н.И.Горев* (НИГП АК «АЛРОСА») изучил вопросы механизма внедрения кимберлитовой магмы.

По итогам заслушанных докладов, а также последующей дискуссии было констатировано следующее:

- в ближайшее время в РФ неизбежно произойдёт падение добычи алмазов, в первую очередь из наиболее рентабельных месторождений; данная проблема особенно рельефно отражена во внепрограммном сообщении *С.И.Митюхина* (ООО «Алмазінтех»);
- необходима переоценка прогнозных ресурсов кат. P₃ на основании создания прогнозных карт с учётом современных представлений о локализации алмазоперспективных площадей;
- при дефиците площадей под постановку поисковых работ необходимо проведение опережающих геолого-геофизических исследований в рамках прогнозно-минерагенических работ, нацеленных на обоснование новых алмазоперспективных площадей.



ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОСАДОЧНЫХ ТОЛЩАХ ГОР КУЛЬДЖУКТАУ, УЗБЕКИСТАН

Рассматриваются перспективы выявления редкометалльно-редкоземельного оруденения в мезозойских толщах гор Кульджуктау. Основными концентраторами редкоземельных элементов в мезозойских толщах служат каолиновые глины, графитовые коры выветривания и горизонты ожелезнённых песчаников. В результате систематизации аналитических данных выделено более 40 перспективных участков с повышенным суммарным содержанием редкоземельных элементов. В большинстве случаев в обогащённых участках преобладает цериевая специализация редких земель.

Ключевые слова: каолиновые глины, коры выветривания, редкоземельные элементы, церий.

Одно из важных достижений геологической отрасли Республики Узбекистан за 27 лет независимости – коренное изменение политики собственного обеспечения редкометалльным и редкоземельным сырьём, в том числе для создания государственного резерва редких металлов и их внутреннего рынка [1]. Известны более ста областей применения редкоземельных элементов, и количество их неуклонно растёт. Традиционные и наиболее ёмкие сферы использования – катализ и крекинг нефти, металлургическая, стекольная, керамическая и атомная промышленность. В металлургии редкие земли, обычно в виде мишметалла, востребованы в качестве десульфураторов, раскислителей, дегазаторов в производстве высокопрочного чугуна, стали и сплавов, а также в качестве пирофорных материалов.

Повышение эффективности поисков редкоземельных элементов возможно благодаря применению современных методик и технологий проведения геологоразведочных работ с помощью высокотехнологичной горно-буровой техники, высокоточной аналитической аппаратуры. Очевидно, что освоить и реализовать всё это способна только современная энергичная кадровая структура, обладающая соответствующей профессиональной подготовкой. Таким образом, жизненно необходимо активное комплексное государственное регулирование проблемы обеспечения редкоземельными металлами (РЗМ) как основы постановки масштабных исследований для определения ресурсного потенциала РЗМ, его последовательного увеличения и освоения.

На сегодняшний день в стране редкоземельные элементы являются нетрадиционным, промышленно невостребованным видом сырья, хотя содержания и запасы иттрия (месторождение Руд-

Алимов Шамсиддин Пахриддинович

кандидат геолого-минералогических наук
директор
alimov-shamsiddin@yandex.ru

Крикунова Лариса Михайловна

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий сектором геологии
чёрных и цветных металлов
Krikunova.1944@mail.ru

Хафизов Уктам Акрамович

учёный секретарь
u.khafizov@mail.ru

Мирхамдамов Мирализ Мираваз угли

геолог 2-й категории сектора геологии
чёрных и цветных металлов
Mirkhamdamov.1988@mail.ru

ГП «Институт минеральных ресурсов»,
г. Ташкент, Узбекистан

ное) достойны внимания. Тем не менее, известны и начинают изучаться перспективные позиции возможного редкоземельного рудоконцентрирования. Для оценки генетических особенностей этого процесса и перевода перспективных позиций в разряд реально рудоносных, а также исходя из слабой изученности геохимического потенциала мезозойских осадочных пород, поставлены исследования по определению перспектив выявления комплексного редкометалльно-редкоземельного оруденения и других рудных полезных ископаемых в мезозойских толщах Центральных Кызылкумов [3].

До недавнего времени в Узбекистане при поисках редкометалльного (в том числе редкоземельного) оруденения основное внимание уделялось магматическим породам (карбонатитам, гранитоидам, интрузивным образованиям щелочного состава, пегматитам и др.), хотя в сводной работе по редкоземельным элементам [2] приводятся данные о повышенных концентрациях РЗМ в хемогенно-органогенных осадочных формациях (в обогащённых фосфором прослоях до 0,48%).

В 2012–2015 гг. в ходе научно-исследовательских работ по комплексному изучению чёрных, цветных и благородных металлов на территории Узбекистана в пробах, отобранных из обогащённых железом осадочных меловых пород на юге хр. Кульджуктау, масс-спектрометрическим методом установлены повышенные концентрации редкоземельных элементов. Были обследованы разрезы меловых отложений на склонах хребта на участках Аяк-Гужумды, Шурук, Джаманьяр, Дженгельды, Актосты-Шайдораз, Западный Кынгыртау и Юго-Западный Бельтау. В результате систематизации данных спектрального полуколичественного и оптико-эмиссионного анализов, полученных к настоящему периоду, выявлены закономерности распределения повышенных концентраций редкоземельных элементов в различных типах осадочных пород раннемелового возраста.

Площадь Аяк-Гужумды. Первоочередное изучение площади обусловлено тем, что в процессе съёмки м-ба 1:50 000 в пределах хр. Кульджуктау попутными поисковыми работами в палеозойских породах были обнаружены аномальные концентрации редкоземельных элементов – лантана, церия, иттрия и др. (Я.Б.Айсанов и др., 1984 г.) Площадь расположена в северной и северо-западной частях южного мелового обрамления палеозойских

пород, слагающих хребет. На севере площади отмечаются крупные коренные выходы интенсивно графитизированных известняков и линзы чистого рыхлого тонкодисперсного переотложенного графита, в правом борту малого сая пересечённые дайкой. Южнее на протяжении 200–250 м по обоим бортам мелкого меридионального сая обнажаются коренные выходы песчано-глинистых, глинистых отложений раннемелового возраста. В северной части площади в линзе лимонитовых охр выявлены близкие к промышленным суммарные содержания редкоземельных элементов (ΣTR) – 323,62 г/т. Кроме того, здесь же в рыхлых графитовых меловых корах выветривания мощностью от 2,5 до 3 м в коренном обнажении отобраны ещё три пробы с повышенными ΣTR , г/т – 415,58 (из них Y 215), 350,09 (из них Y 122), 323,62 (из них Y 176).

Таким образом, на данной площади наиболее высокие концентрации редкоземельных элементов отмечаются в переотложенных линзах чистого графита, возможно, за счёт его ионно-сорбционных свойств. Общая площадь участков с повышенными концентрациями редкоземельных элементов составляет 2 км².

Площадь Шурук. Юго-Западный участок площади находится в 8,5 км к югу от станции Ботаника и в 0,5–1 км к юго-западу от пос. Шурук. На участке в нескольких крупных и мелких саях обнажаются коренные породы. По обоим бортам крупного Каттасая обследованы и опробованы нижнемеловые отложения. Нижние подстилающие горизонты сложены в основном рыхлыми, в различной степени ожелезнёнными песчано-глинистыми отложениями с редкими конкрециями бурых железняков, линзами и прослоями плотных слабо ожелезнённых песчаников и линзами переотложенного графита. Средние горизонты разрезов – в различной степени ожелезнённые, слабо запесоченные глины с мелкими редкими линзами чёрных плотных бурожелезняковых песчаников. Перекрывающие горизонты представлены рыхлыми песчаниками с примесью глинистого материала. В нижних горизонтах отложений из прослоев каолиновых глин мощностью 0,3–0,5 м, протяжённостью по простиранию в коренных выходах 35–40 м отобраны пять проб с ΣTR от 442,49 до 701,3 г/т (Ce 143–312 г/т).

Западный участок расположен в 5 км к юго-западу от ст. Ботаника и в 10–12 км к западу от пос. Шурук. На севере он граничит с южным окончанием площади Аяк-Гужумды. На площади Шурук деталь-

но обследованы небольшие возвышенности, сложенные довольно однообразными нижнемеловыми осадочными породами. В разрезе нижнемеловых отложений на протяжении 1,5 км с юга на север развита маломощная монотонная толща ожелезнённых песчано-глинистых пород от желтоватого до бордового цвета, рыхлых, без видимой слоистости с линзами каолиновых глин от голубовато-серого до белого цвета. Мощность толщи 1,5–3 м, протяжённость по простиранию 60 м, по падению в коренных выходах 15–18 м. Повышенные концентрации редкоземельных элементов установлены в четырёх пробах (ΣTR от 344,38 до 457,19 г/т). Необходимо подчеркнуть, что в отличие от предыдущей площади, характеризующейся иттриевой специализацией редкоземельных элементов, на Западном участке отмечается цериевая специализация, а содержания иттрия не превышают 38 г/т. Все пробы с повышенными содержаниями редкоземельных элементов отобраны из каолиновых глин.

На Восточном участке площади обследованы и опробованы нижнемеловые отложения в восточной и северо-восточной его частях. Они слагают протяжённые возвышенности с коренными выходами, представлены мощной (10–15 м) толщей рыхлых песчано-глинистых отложений белёсого цвета с редкими линзами белых каолиновых глин, местами в различной степени ожелезнённых, а также плотных, грубоплитчатых, реже гравийных песчаников мощностью от 0,5 до 1–1,5 м. Между горизонтами песчаников имеются линзовидные прослои интенсивно ожелезнённых песчано-глинистых пород, реже каолинсодержащих глин. В результате опробования этих горизонтов выявлены повышенные концентрации ряда элементов, г/т: Ва до 3970, Ве до 13,3, Со до 510, Сг до 112, Cs до 16, Си до 1350, Ga до 65, Li до 617, Nb до 19, Ni до 775, Sc до 18,7, Sr 2060, Th до 28, Zn до 1810, Zr до 153.

В этих же отложениях установлены стабильно повышенные концентрации редкоземельных элементов, при этом в одной пробе из ожелезнённых плотных песчаников определены повышенные, до промышленно значимых, концентрации РЗМ лёгкой (цериевой) группы (проба 311 – ΣTR 383,77 г/т, в том числе Се 131 г/т, проба 26 – ΣTR 486,3, Се 221, проба 324 – ΣTR 1073,3, Се 459) и иттриевой группы (проба 339 – ΣTR 945,7, Се 131, проба 340 – ΣTR 790, Се 140). В линзовидном горизонте каолиновых, слабо запесоченных глин ΣTR составляет 295,33 г/т, Се – 97,1 г/т.

Юго-Восточный участок расположен в 18–23 км к юго-востоку от пос. Шурук. На 1,5 км с юга на север протягивается возвышенность с коренными выходами нижнемеловых отложений. Подстилающие горизонты повсеместно сложены линзовидными слоями каолиновых глин, перекрывающие – слабо ожелезнёнными песчаниками, плотными, грубослоистыми, разлинзованными. В результате обследования и опробования горизонтов нижнемеловых отложений выявлены повышенные концентрации, г/т: Ag до 1,58, Ва до 618, Си до 105 (в пробах с Au), Ga до 35, Li до 107, Nb до 19,1, Ni до 63, Rb до 682, Sc до 27,2, Sr 555, Th до 27,3, V до 156, Zn до 161, Zr до 128.

Следует подчеркнуть, что на этом участке почти во всех пробах отмечаются слабые (1–1,5 г/т) концентрации серебра. Кроме того, в проанализированных оптико-эмиссионным методом пробах повышены концентрации редкоземельных элементов, однако они ниже, чем на двух вышеописанных участках. В одной пробе, отобранной из рыхлых каолиновых глин, ΣTR составляет 631 г/т, в остальных – колеблется от 34 до 442,8 г/т [4].

Площадь Джаманъяр (размером 3,5 км²) находится в 39 км к западу от пос. Дженгельды. Здесь широко распространены разнообразные коренные выходы нижнемеловых горизонтов различного состава. Так, в западной её части верхние горизонты сложены рыхлыми слабо ожелезнёнными песчано-глинистыми отложениями мощностью от 5–7 до 15–20 м. Такие же горизонты фиксируются по всему северному борту площади. Средние горизонты мощностью 0,5–2 м представлены линзовидными прослоями каолиновых глин, иногда перекрытыми маломощными (0,2–0,3 м) линзами бурожелезняковых песчаников чёрного цвета. Подстилающие горизонты на северо-западе площади сложены плотными, грубоплитчатыми песчаниками светло-серого цвета мощностью до 1,5–2 м. В северной части Джаманъярской площади в трёх пробах, отобранных из бурожелезняковых песчаников конкреционного типа, обнаружены повышенные концентрации РЗМ (ΣTR 361,51, 502,29 и 262,3 г/т).

Площадь Дженгельды расположена в 45–50 км к западу от ст. Ботаника. Здесь нижнемеловые отложения образуют отдельные невысокие возвышенности протяжённостью от 300 до 500 м, сложенные в западной части рыхлыми глинисто-песчанистыми горизонтами, маломощными линзовидными прослоями слабо ожелезнённых песчаников.

В левом южном борту сая на всём его протяжении обследованы коренные выходы горизонтов плотных, ожелезнённых песчаников, грубослоистых буровато-коричневых с мелкими вкрапленниками чёрного цвета (возможно, графита). На северном окончании возвышенности в интенсивно ожелезнённых песчаниках мощностью 0,4 м выявлены редкие земли со средним содержанием 282 г/т. В толще рыхлых песчано-глинистых пород ΣTR составляет 775 (Ce 373 г/т).

Площадь Актосты-Шайдораз размещается в 28–30 км к западу от ст. Ботаника. На участке отмечаются невысокие возвышенности с коренными выходами нижне- и верхнемеловых отложений. Обследованы коренные выходы по обоим бортам сая в направлении с северо-востока на юго-запад на протяжении 1,5–2 км. Проведён комплекс полевых работ с отбором геохимических проб из всех разновидностей пород, слагающих коры выветривания палеозойских магматических и терригенно-карбонатных пород, а также из нижнемеловых осадочных толщ, состоящих из переотложенных продуктов предмеловых кор выветривания. Коры выветривания палеозойских сланцев сложены рыхлым интенсивно ожелезнённым глинистым, слабо запесоченным материалом коричневатого цвета.

Далее при обследовании площади Актосты-Шайдораз на протяжении 400 м прослеживаются нижнемеловые осадочные отложения, представленные переотложенными продуктами предмеловых кор выветривания – в основном запесоченными глинами в разной степени ожелезнёнными и каолинизированными с прослоями песчаников на железистом цементе. Как в остаточных корах выветривания палеозойских пород, так и в нижнемеловых породах отмечаются повышенные концентрации, г/т: Ba до 512, Be до 13,4, Cr до 315, Cs до 11, Cu до 418, Ga до 51, Li до 203, Nb до 11, Rb до 1130, Sc до 18, Sr до 2970, V до 139, Zr до 275. В результате опробования всех разновидностей пород в северо-восточной части площади из горизонта запесоченных, ожелезнённых каолиновых глин отобрана одна проба с ΣTR 345 г/т (Ce 136 г/т) [4].

Площадь Кынгыртау расположена в 35 км к востоку от ст. Ботаника и в 30 км от пос. Шурук. На ней обследовано несколько участков. На юго-восточном участке в 800 м к северо-востоку от колодца Кынгыр в правом борту сухого мелкого сая обнажаются коренные выходы разреза нижнемеловых

отложений. Их верхние горизонты мощностью до 2–5 м сложены рыхлыми слабо ожелезнёнными песчаниками с линзами более плотных, местами сильно ожелезнённых, грубоплитчатых песчаников и образуют ряд возвышенностей. Подстилающий горизонт мощностью 1,5–2 м и протяжённостью 23–25 м представлен смесью белых каолиновых глин и глин бордового цвета. В двух пробах, взятых из эти глин, ΣTR составляет 320,49 г/т (Ce 158 г/т) и 447,27 г/т (Ce 118 г/т).

На Северо-Восточном участке площади в 850 м к северо-востоку от Юго-Восточного участка нижнемеловые отложения образуют холмистые возвышенности. Верхние их горизонты мощностью от 1,5–2 до 10–15 м сложены рыхлыми песчано-глинистыми отложениями с редкими линзами плотных песчаников. В подстилающем горизонте мощностью от 0,1 до 0,5–0,8 м практически во всех коренных выходах встречается слой плотных тонкослоистых глин от светлого до тёмно-серого цвета, местами ожелезнённых. В пробе, отобранной из этого горизонта, выявлены высокие концентрации редкоземельных элементов – ΣTR 1363,02 г/т (Ce 461 г/т).

Поскольку в процессе предыдущих исследований (Я.Б.Айсанов и др., 1984 г.) в палеозойских породах южного обрамления хр. Кульджуктау были выделены и изучены проявления высоких концентраций редкоземельных элементов, источником их повышенных концентраций в переотложенных продуктах кор выветривания могли быть грейзенизированные граниты. Что касается форм нахождения рудного вещества, то минералогические исследования на данном этапе изученности не проводились.

На основании проведённых исследований и полученных лабораторных данных можно сделать вывод, что повышенные концентрации редкоземельных элементов отмечаются в основном в центральной и юго-восточной частях района работ в каолиновых глинах, тонкодисперсном, пылевидном графите, реже в бурожелезняковых песчаниках. Окончательная систематизация аналитических данных позволит решить вопрос о распределении повышенных концентраций редкоземельных элементов на площадях.

В заключение стоит отметить, что выявление редкоземельной геохимической специализации в меловых осадочных толщах стало возможным благодаря применению оптико-эмиссионного ме-

тогда анализа геохимических проб. Систематизация аналитических данных показала, что основные концентраторы редкоземельных элементов на изученных площадях – каолиновые и каолин-содержащие глины в нижних подстилающих горизонтах нижнемеловых отложений. Реже высокие

концентрации редкоземельных элементов фиксируются в графитовых корках выветривания и горизонтах ожелезненных песчаников. В большинстве случаев в обогащенных участках преобладает цериевая специализация редкоземельных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежков Ю.Б., Рахимов Р.Р., Панасюченко В.К., Новикова И.В. Редкие элементы Узбекистана. – Ташкент: ГП «НИИМР», 2013.
2. Ежков Ю.Б., Рахимов Р.Р., Новикова И.В. Редкоземельные элементы. Геохимия, минералогия, месторождения. – Ташкент: ГП «НИИМР», 2013.
3. Крикунова Л.М., Ежков Ю.Б., Рахимов Р.Р. Новые данные о геохимической специализации нижнемеловых осадочных песчано-глинистых отложений Центральных Кызылкумов на редкометалльные и редкоземельные элементы // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Узбекистана «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан». Ташкент, 2016.
4. Крикунова Л.М., Хафизов У.А., Мирхамдамов М.М., Зияев Н.М. Новые данные о выявлении промышленных концентраций редкоземельных элементов в каолиновых глинах, графите и ожелезненных песчаниках нижнемеловых горизонтов на южных склонах хребта Кульджуктау // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Узбекистана «Uzgeoscience 2018. Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан». Ташкент, 2018.

PROSPECTS OF DETECTING ECONOMIC CONCENTRATIONS OF RARE-EARTH ELEMENTS IN LOWER MESOZOIC SEDIMENTARY STRATA OF KULDZHUKTAU MOUNTAINS, UZBEKISTAN

Sh.P.Alimov, L.M.Krikunova, U.A.Khafizov, M.M.Mirkhamdamov
(Institute of Mineral Resources, Uzbekistan)

Prospects of rare-metall and rare-earth mineralization identification in Mesozoic strata of Kuldzhuktau mountains are considered. The main concentrators of rare-earth elements in Mesozoic strata are kaolinic clays, graphite crust of weathering and the horizons of ferruginous sandstones. As a result of analytical data systematization, more than 40 prospective sites with the elevated total concentration of rare-earth elements are revealed. In most cases, ceric specialization of rare-earth elements prevails at the enriched sites.

Keywords: kaolinic clays, crust of weathering, rare-earth elements, cerium.

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

Журнал «Руды и металлы» приглашает к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов

По вопросам размещения рекламы или издания целевого номера, посвящённого вашему предприятию, организации, её продукции и услугам обращаться по телефону 8 (495) 315-28-47 или электронной почте rudandmet@tsnigri.ru

Реклама по заказам отраслевых организаций и высших учебных заведений выполняется по льготным расценкам

U-Pb ДАТИРОВАНИЕ ЦИРКОНОВ ИЗ АЛЛЮВИЯ РЕК И ВТОРИЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

На арктических территориях Якутии известно много россыпей с высокими содержаниями алмазов, но коренные источники последних до сих пор неизвестны, поэтому остро стоит проблема коренной алмазности Якутской Арктики. Уровень алмазности кимберлитовых тел северо-востока Сибирской платформы крайне низкий, и они не могут быть основными поставщиками алмазов в древние и современные россыпи. В рамках поисков решения данной проблемы были изучены выборки цирконов из аллювия рек Эбеях, Чимидикян, Лена, Муна и Молодо, а также из гравелитов карнийского яруса триаса участка Булкур. Полученные данные по U-Pb датированию помогают воссоздать историю, характер и последовательность проявления кимберлитового магматизма и путей миграции кимберлитового материала и алмазов.

Ключевые слова: циркон, U-Pb возраст, Якутия, Арктика, кимберлит, алмаз.

Циркон – уникальный минерал, который благодаря стабильной кристаллической структуре не изменяется с течением времени и поэтому хранит информацию о событиях, происходивших в геологической истории Земли, включая её раннюю эволюцию, древнейшие эрозии, эпохи и циклы образования и распада суперконтинентов.

Магматические породы подвержены разрушению и эрозии и являются источником для формирования осадочных комплексов. Датирование цирконов из осадочных, в том числе аллювиальных, коллекторов позволяет получить гораздо более достоверную информацию о магматических процессах в исследуемом регионе, чем датирование развитых здесь магматических комплексов. Циркон, в отличие от других индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), обладает высокой абразивной устойчивостью и может транспортироваться вместе с алмазами на большие расстояния. Это свойство позволяет использовать его в качестве трассёра при реконструкции путей миграции алмазов от первоисточников в современные россыпи.

Датировка цирконов, ассоциированных с аллювиальными алмазами, в свою очередь, даёт возможность определить возраст первичного источника алмазов россыпей, что может быть использовано при поисковых работах на коренные источники алмазов. В частности, это позволит локализовать поисковые работы с учётом стратиграфии, поскольку значительная часть Сибирского кратона покрыта мощным слоем осадочных формаций, и планировать рациональное поисковое бурение. Возможность применения цирконов для поисковых работ на алмазы впервые опробована на выборке объёмом 30 зёрен из вторичного коллектора р. Блюфиш [11]. По результатам датирования выборки был обна-



Агашев Алексей Михайлович¹

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
agashev@igm.nsc.ru

Серов Илья Викторович²

кандидат геолого-минералогических наук
начальник отдела поисковой геологии
SerovIV@alrosa.ru

Орихаши Юджи³

профессор
oripachi@hirosaki-u.ac.jp

Толстов Александр Васильевич⁴

доктор геолого-минералогических наук
директор
TolstovAV@alrosa.ru

Николенко Евгений Игоревич^{1,4}

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
nevgeny@igm.nsc.ru

Похиленко Николай Петрович¹

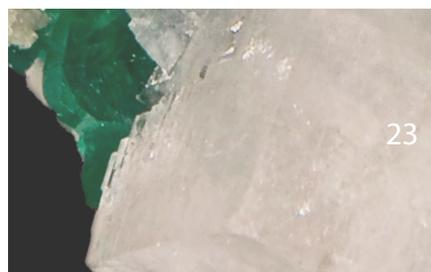
доктор геолого-минералогических наук
академик РАН
научный руководитель
cheif@igm.nsc.ru

¹ ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, г. Новосибирск

² АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

³ Department of Earth and Environmental Sciences, Hirosaki University, Hirosaki, Japan

⁴ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный



ружен кимберлитовый циркон юрского возраста, соответствующий времени внедрения трубки Джериго.

Кимберлитовый магматизм на Сибирской платформе представлен четырьмя этапами, отвечающими силурийскому, девонскому, триасовому и юрскому возрастам [3–5]. Все промышленно значимые кимберлиты имеют девонский возраст и расположены на юге Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). Несмотря на активные поиски в пределах ЯАП, новые месторождения со значительными ресурсами за последние 10 лет не были обнаружены. В настоящее время на территории, приуроченной к кимберлитоконтролирующей Вилюйско-Мархинской зоне глубинных разломов, выделены отдельные, перспективные для поисков, локальные участки, перекрытые, как правило, морскими, терригенными отложениями и терригенно-осадочными образованиями трапповой формации [8, 9]. На арктических территориях Якутии (север Сибирской платформы) известны многочисленные россыпи с высокими содержаниями алмазов. На многих из них ведётся промышленная добыча, но коренные источники алмазов до сих пор не установлены. В связи с этим сейчас остро стоит проблема коренной алмазоносности данной территории, которая представляет собой как научный, так и практический интерес. Уровень алмазоносности кимберлитовых тел северо-востока Сибирской платформы крайне низкий, и они не могут быть основными поставщиками алмазов в древние и современные россыпи. Исключение составляет единственная раннемезозойская трубка Малокуонапская, расположенная в юго-восточной части Лено-Анабарской субпровинции в верховьях р. Малая Куонамка [10].

В работах С.А.Граханова и др. [1, 2] приведены сведения о возрасте цирконов из аллювиальных проб Лено-Анабарского междуречья. Подавляющее большинство полученных датировок соответствует мезозойским этапам кимберлитового магматизма, на основании чего авторами сделан вывод о триасовом возрасте коренных источников алмазных россыпей северо-востока Сибирской платформы. Единичные цирконы позднедевонского возраста обнаружены в аллювии р. Улахан-Уэттах, верховьях р. Биллях и в осадочных породах нюччаюринской свиты.

В настоящей работе изучена выборка цирконов из аллювия нескольких рек и одного вторичного коллектора ЯАП в целях разработки и апроба-

ции методики применения циркона как индикатора дальнего переноса алмазов и выявления их коренного источника. Проанализированы выборки цирконов из аллювия рек Эбелях, Чимидикян, Лена, Муна и Молодо, а также из гравелитов карнийского яруса триаса участка Булкур. Для датирования отбирались только крупные цирконы (размером >0,5 мм, большинство из них >1 мм) так называемой кимберлитовой морфологии (зёрна неправильной, часто с закруглёнными (оплавленными) гранями, формы, характерной для мантийных цирконов из кимберлитов).

Ближайшие к россыпям р. Эбелях кимберлитовые поля Старореченское, Орто-Ыаргынское и Эбеляхское (рис. 1) юрского возраста. Поля триасового возраста расположены значительно южнее, вдоль долины р. Малая Куонамка и на левом берегу р. Эбелях. Последняя протекает в кембрийских осадочных породах, хотя на водораздельных участках присутствуют реликты гравелитов, содержащих алмазы предположительно каменноугольного возраста. По некоторым данным [1], в гравелитах присутствуют цирконы триасового и пермского возрастов.

Наиболее близко к местам опробования р. Чимидикян размещается Верхне-Мунское кимберлитовое поле девонского возраста. В бассейне реки сохранились юрские осадочные отложения. Вблизи точек отбора проб на р. Муна расположены Чомурдахское и Севернэйское, а в верховьях её – Верхне-Мунское кимберлитовые поля. Они имеют среднепалеозойский возраст (S–D). Дельта р. Лена и гравелиты триаса находятся на северо-восточной окраине Сибирской платформы, а ближайшее к ним Хорбусуонское поле – на расстоянии примерно 150 км. Триасовые кимберлитовые поля на Оленёкском поднятии пока не выявлены, все известные кимберлитовые поля данного возраста приурочены к восточному склону Анабарского щита.

Аналитические работы выполнены на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой в Токийском Университете (Япония). Для точечного опробования цирконов использовалась лазерная абляция с диаметром луча 30 мкм. Качество анализов контролировалось по международному стандарту циркона 91 500. Детально аналитические методы описаны в работе [15]. Большинство зёрен цирконов были проанализированы в одной точке, что вкпе с низкими содержаниями U и Pb в ман-

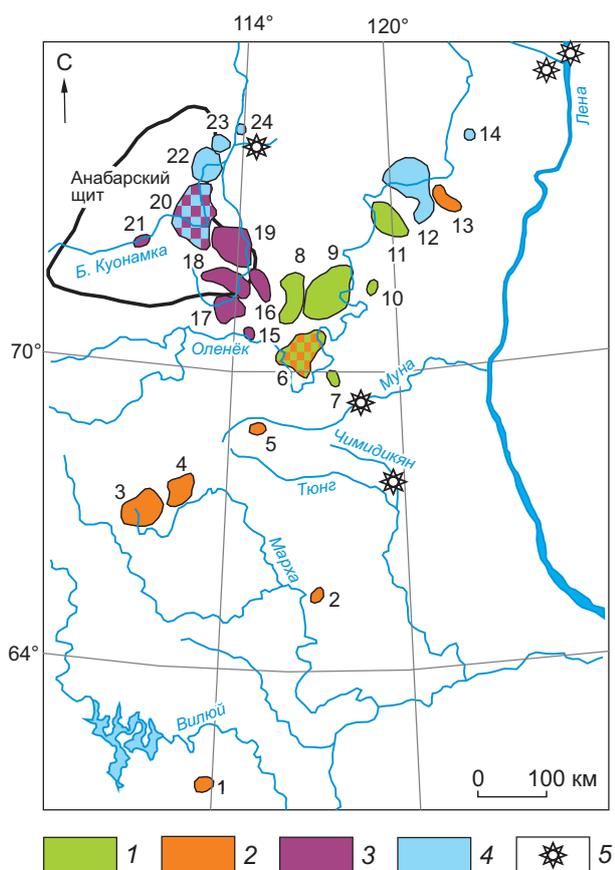


Рис. 1. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ ЯКУТСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ПРОВИНЦИИ И ТОЧЕК ОТБОРА ЦИРКОНОВ:

кимберлитовые поля: 1 – силурийского, 2 – девонского, 3 – триасового, 4 – юрского возрастов (1 – Мирнинское, 2 – Накынское, 3 – Алакитское, 4 – Далдынское, 5 – Верхне-Мунское, 6 – Чомурдахское, 7 – Севернэйское, 8 – Западное Укукитское, 9 – Восточное Укукитское, 10 – Верх-Моторчунское, 11 – Мерчимденское, 12 – Куойско-Молодинское, 13 – Толуопское, 14 – Хорбусуонское, 15 – Усть-Селигирское, 16 – Лучаканское, 17 – Куранахское, 18 – Беригиндинское, 19 – Дюкенское, 20 – Ары-Мастаское, 21 – Верхне-Куонамское, 22 – Старо-Реченское, 23 – Орто-Ыаргыньское, 24 – Эбеляхское); 5 – точки опробования на цирконы

тийных цирконах даёт сравнительно большое стандартное отклонение при определении возраста. Однако для данного исследования этого вполне достаточно. Несколько цирконов проанализированы в четырёх и более точках, и рассчитанные по ним конкордантные возрасты в целом совпадают с основными пиками возрастов, полученными при обработке всех данных.

Алмазоносная россыпь р. Эбелях. Цирконы из россыпи по результатам U-Pb датирования представлены триасовыми и юрскими популяциями. Триасовые цирконы составляют около 1/3 популяции с пиком распределения возрастов ~230 млн лет (рис. 2). Цирконы юрского возраста имеют основной пик распределения возрастов в районе 170 млн лет и поздний возраст с пиком 150 млн лет. Сходные результаты приведены в работе [1]: из 10 цирконов три триасового возраста, семь – юрского. Небольшая выборка цирконов из россыпи р. Эбелях также датирована [14], установлен исключительно триасовый возраст. При этом цирконы девонского возраста, соответствующие основному этапу алмазоносного кимберлитового магматизма Сибирской платформы, в выборке из россыпи р. Эбелях не были обнаружены. Разновозрастные популяции цирконов отличаются по химическому составу. В частности, отношения U/Th в юрских цирконах в пределах 0,7–1,6, в триасовых – >2–5.

Исходя из полученного распределения возрастов, предполагается, что источником поступления материала в район р. Эбелях в основном служили кимберлитовые поля мезозойского возраста, локализованные западнее р. Анабар (см. рис. 1). Возможен также привнос цирконов из Куойско-Молодинского поля. В качестве второстепенного источника сноса могут быть кимберлитовые поля триасового возраста, расположенные на восточном склоне Анабарского щита значительно южнее р. Эбелях.

Аллювий р. Чимидикян. Популяция цирконов из аллювия реки представлена почти исключительно цирконами юрского возраста с двумя максимумами распределения возрастов 170 и 194 млн лет (см. рис. 2). Возраст молодой группы юрских цирконов соответствует средневзвешенному возрасту юрских цирконов из россыпи р. Эбелях. Четыре циркона имеют доюрский возраст, из них только одно зерно – триасовый, одно – пермский (285 млн лет). Близкий возраст (276–292 млн лет) имеют пять цирконов из алмазоносных конгломератов р. Ырас-Юрях (левобережье р. Эбелях) [1], одно зерно – ордовикский (465 млн лет), одно – среднепротерозойский (1300 млн лет).

Цирконы девонского возраста, соответствующего основному этапу алмазоносного кимберлитового магматизма Сибирской платформы, в выборке из аллювия р. Чимидикян не были обнаружены. Полученные результаты свидетельствуют о

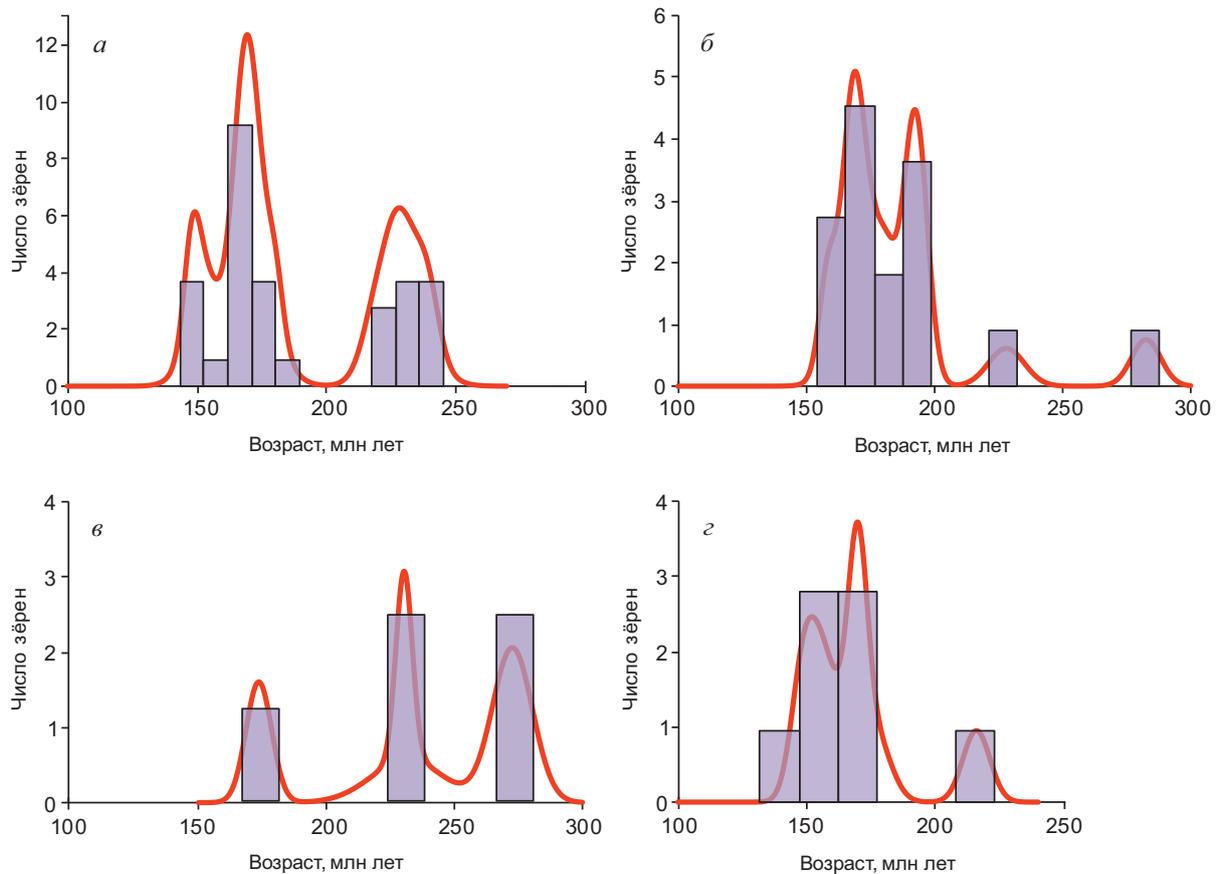


Рис. 2. ГИСТОГРАММЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТОВ ЦИРКОНОВ ИЗ АЛЛЮВИЯ РЕК ЭБЕЛЯХ (а), ЧИМИДИКЯН (б), МУНА (в) И ДЕЛЬТЫ р. ЛЕНА (г)

том, что основной источник поступления кимберлитовых цирконов в аллювий реки – юрские кимберлиты, расположенные значительно севернее. При этом привнос материала (в частности, цирконов) из близлежащего Верхне-Мунского кимберлитового поля не наблюдается. Возможным источником цирконов данной россыпи являются осадочные породы юрского возраста, развитые в нижнем и среднем течении р. Чимидикян.

Аллювий в дельте р. Лена. В пробе из аллювия среди популяции цирконов очень мало зёрен кимберлитового облика. Всего изучено 10 зёрен. Два имеют раннепротерозойский возраст (~1,85 млрд лет), отвечающий времени амальгамации Сибирского кратона и характерный для большей части коровых цирконов Сибирской платформы [12], одно – триасовый (см. рис. 2), а все остальные – юрский с пиками 170 и 150 млн лет, соответствующими максимумам распределения юрских цирконов россыпи р. Эбелях. Раннеюрские цирконы, харак-

терные для аллювия р. Чимидикян, здесь не найдены. Отсутствуют и цирконы среднепалеозойского возраста, соответствующего основному этапу алмазоносного кимберлитового магматизма Сибирской платформы. Полученные данные указывают на Оленёкское поднятие как на возможный источник сноса кимберлитового материала в современный аллювий нижнего течения р. Лена.

Аллювий рек Муна и Молодо. Из аллювия р. Муна проанализированы только пять зёрен цирконов кимберлитового облика. Одно зерно юрского возраста, два – триасового и два – пермского. Следует отметить, что по одному зерну цирконов пермского возраста было отобрано в аллювии р. Чимидикян и в гравелитах карнийского яруса триаса. По такой небольшой выборке говорить об источниках сноса преждевременно. Цирконы продуктивного девонского цикла кимберлитового магматизма в аллювии р. Муна, как и в предыдущих объектах, пока не обнаружены. Из алмазоносной россы-

пи р. Молодо были изучены два зерна цирконов: одно имеет кембрийский возраст, другое – пермский (300 млн лет). Подчеркнём, что это уже пятое зерно циркона пермского возраста, найденное в аллювии рек и вторичных коллекторах севера Сибирской платформы.

Карнийский ярус триасового периода, участок Булкур. Популяция кимберлитовых цирконов из гравелитов карнийского яруса представлена цирконами триасового и пермского возрастов (рис. 3). Средневзвешенный возраст данной популяции составляет 237 ± 3 млн лет, что на семь миллионов лет больше средневзвешенного возраста триасовых цирконов алмазоносной россыпи р. Эбелях. Последнее обусловлено наличием цирконов с возрастными, примерно соответствующими границе пермского и триасового периодов, и нередко немного древнее возраста внедрения сибирских траппов 248–251 млн лет [16]. Триасовые цирконы имеют два пика возрастов 232 и 244 млн лет. Только три зерна из проанализированной выборки древнее основной популяции: одно пермского возраста (280 млн лет), два – позднепротерозойского (630 и 870 млн лет). В работе Е.Ф.Летникова и др. [7] триасовые цирконы из гравелитов карнийского яруса отнесены к этапу трахитового вулканизма. Практически во всех триасовых цирконах карнийского яруса отношения U/Pb находятся в интервале 2–5, как и в цирконах того же возраста из россыпи р. Эбелях. Цирконы среднепалеозойского возраста, соответствующего основному этапу алмазоносного кимберлитового магматизма Сибирской платформы, в гравелитах карнийского яруса не обнаружены. Полученные результаты указывают на то, что в триасовое время снос континентального материала из района Прианабарья происходил в северном и северо-восточном направлениях.

По результатам U-Pb датирования цирконов кимберлитового облика из аллювия рек севера ЯАП и гравелитов карнийского яруса можно сделать следующие выводы об истории развития и источниках сноса кимберлитового материала. Доминирующее большинство цирконов из аллювия рек имеют юрский возраст (рис. 4). Распределение возрастов юрских цирконов указывает на три цикла активности кимберлитового магматизма в течение юрского времени: 150, 170 и 193 млн лет с преобладающим этапом ~170–172 млн лет, который проявлен на всех изученных объектах. Главным тектоническим процессом, определившим ши-

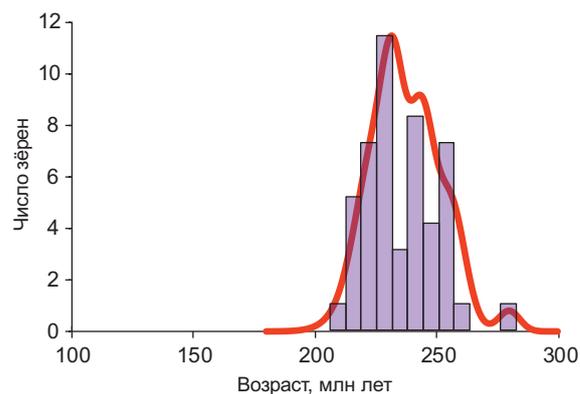


Рис. 3. ГИСТОГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТОВ ЦИРКОНОВ ИЗ ГРАВЕЛИТОВ КАРНИЙСКОГО ЯРУСА ТРИАСА, УЧАСТОК БУЛКУР

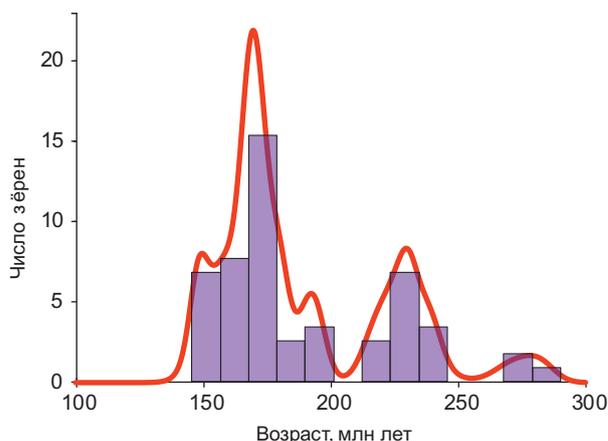


Рис. 4. СУММАРНЫЙ ГРАФИК РАСПРЕДЕЛЕНИЯ U-Pb ВОЗРАСТОВ ЦИРКОНОВ ПО ИЗУЧЕННЫМ АЛЛЮВИАЛЬНЫМ ОБЪЕКТАМ СЕВЕРА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (без учёта цирконов из гравелитов карнийского яруса)

рокий разнос кимберлитового материала и алмазов в юре по окраинам Сибирской платформы, было восходящее движение земной коры в районе Оленёкского поднятия. Трансгрессия моря в юрское время и сопутствующая эрозия обеспечивали перемещение кимберлитового материала во все стороны от Оленёкского поднятия, в том числе алмазов эбеляхского типа, которые диагностированы в протяжённой полосе юрских осадочных пород от названного поднятия до среднего течения р. Тюнг [2].

Данные авторов по возрасту цирконов подтверждают эти выводы, а также то, что источни-

ком поступления цирконов в современный аллювий р. Чимидикян являются юрские осадочные породы. Преобладающий источник привноса материала в район р. Эбелях – кимберлитовые поля мезозойского возраста, расположенные западнее р. Анабар. Можно предполагать поступление цирконов из Куойско-Молодинского поля. Второстепенный источник сноса – кимберлитовые поля триасового возраста на восточном склоне Анабарского щита южнее р. Эбелях. Цирконы, как и алмазы, прошли через несколько этапов переотложения во вторичных коллекторах, прежде чем попасть в современный аллювий р. Анабар и её притоков.

Главным тектоническим процессом в триасовое время, определяющим снос кимберлитового материала на севере Сибирской платформы, было воздымание в районе Анабарского щита. Сопутствующая ему эрозия обеспечила масштабный снос кимберлитового материала, преимущественно в северном и восточном направлениях, о чём свидетельствует резкое преобладание цирконов триасового возраста в гравелитах карнийского яруса на северной окраине континента. В пределах Оленёкского поднятия триасовые кимберлиты пока не диагностированы, но, принимая во внимание слабую изученность кимберлитов этого района (кроме Беенчима-Куойского поля), их присутствие нельзя исключать на данном этапе изучения.

По мнению ряда исследователей [2], источниками алмазов и цирконов в гравелитах карнийского яруса могут быть неизвестные кимберлитовые поля триасового возраста, расположенные в акватории моря Лаптевых и на погребённом архейском массиве в дельте р. Лена. Зарубежные учёные связывают формирование отложений карнийского яруса с плювиальным событием (резкий и сравнительно кратковременный смыв терригенного материала с континентов в результате наводнения, вызванного обильными осадками). Такие отложения зафиксированы по окраинам континентов во многих регионах земного шара [13].

Во всех рассмотренных объектах отсутствуют цирконы продуктивного девонского цикла кимберлитового магматизма, который проявлен на юге ЯАП. Это позволяет сделать вывод о том, что алмазы северных россыпей и карнийского яруса имеют местный источник, и кимберлитовый материал с юга ЯАП на север в последевонское время не поступал. Последнее, учитывая ограниченность изученной выборки цирконов, не исключает при-

сутствие среднепалеозойских кимберлитов на севере ЯАП. Так, датированное включение рутила в алмазе из россыпи р. Эбелях [6] имеет возраст 356 млн лет. По одному зерну циркона девонского возраста было обнаружено [1] в верховьях р. Биллях и в гравелитах нючаюрягинской свиты Кютюнгдинского грабена.

В аллювии рек Муна, Чимидикян и Молодо, а также в гравелитах карнийского яруса найдены пять зёрен цирконов пермского возраста. На основании этого можно предполагать проявление на Сибирской платформе ранее неизвестного этапа кимберлитового магматизма. Кроме того, в популяции цирконов из гравелитов карнийского яруса присутствуют цирконы с возрастом границы перми и триаса, т. е. они чуть древнее периода внедрения Сибирских траппов. Возможно, именно кимберлиты данного этапа магматизма были источником алмазов карнийского яруса.

Итак, полученные данные по U-Pb датированию помогают воссоздать историю, характер и последовательность проявления кимберлитового магматизма, тектонических процессов и путей миграции кимберлитового материала и алмазов на Сибирском кратоне в пределах Якутской кимберлитовой провинции. Всё это диктует необходимость более детального и масштабного изучения цирконов из аллювия рек, вторичных коллекторов и алмазоносных россыпей всей территории Сибирского кратона.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-70064 и по государственному заданию ИГМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Граханов С.А., Зинчук Н.Н., Соболев Н.В. Возраст прогнозируемых коренных источников алмазов на северо-востоке Сибирской платформы // Докл. АН. 2015. Т. 465. № 6. С. 715–719.
2. Граханов С.А., Смелов А.П. Возраст прогнозируемых коренных источников алмазов на севере Якутии // Отечественная геология. 2011. № 5. С. 56–64.
3. Дэвис Г.Л., Соболев Н.В., Харьков А.Д. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутии, полученные уран-свинцовым методом по цирконам // Докл. АН СССР. 1980. Т. 254. № 1. С. 175–179.
4. Зайцев А.И., Смелов А.П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции. – Якутск: ООО РИЦ «Офсет», 2010.

5. *Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской алмазоносной провинции / А.М.Агашев, Н.П.Похиленко, А.В.Толстов и др. // Докл. РАН. 2004. Т. 399. № 1. С. 95–99.*
6. *Палеозойский U-Pb-возраст включения рутила в алмазе V–VII разновидности из россыпей северо-востока Сибирской платформы / В.П.Афанасьев, А.М.Агашев, Ю.Орихашаи и др. // Докл. РАН. 2009. Т. 428. № 2. С. 228–232.*
7. *Позднетриасовый этап магматической активности высококалийного трахитового вулканизма Северо-востока Сибирской платформы: Свидетельства в осадочной летописи / Е.Ф.Летникова, А.Э.Изох, Е.И.Николенько и др. // Докл. РАН. 2014. Т. 459. № 3. С. 1–5.*
8. *Проценко Е.В., Горев Н.И. Тектонические особенности размещения кимберлитовых тел и их использование при прогнозировании (на примере кимберлитовых полей Западной Якутии) // Руды и металлы. 2017. № 4. С. 62–69.*
9. *Проценко Е.В., Толстов А.В., Горев Н.И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. 2018. № 4. С. 14–23.*
10. *Уникальные особенности состава вкрапленников оливина посттрапповой алмазоносной кимберлитовой трубки Малокуонапская, Якутия / Н.В.Соболев, А.В.Соболев, А.А.Томиленко и др. // Докл. РАН. 2015. Т. 463. № 5. С. 587.*
11. *Цирконы из осадочного коллектора долины реки Блюфиш (Северо-Западные территории Канады) и возможный возраст кимберлитового магматизма площади Лена-Вест / А.М.Агашев, С.С.Кулигин, Ю.Орихашаи и др. // Докл. РАН. 2008. Т. 421. № 1. С. 76–79.*
12. *Age, provenance and Precambrian evolution of the Anabar shield from U-Pb and Lu-Hf isotope data on detrital zircons, and the history of the northern and central Siberian craton / J.L.Paquette, D.A.Ionov, A.M.Agashev et al. // Precambrian Research. 2017. Vol. 301. P. 134–144.*
13. *Arche A., López-Gómez J. The Carnian Pluvial Event in Western Europe: New data from Iberia and correlation with the Western Neotethys and Eastern North America–NW Africa regions // Earth-Science Reviews. 2014. Vol. 128. P. 196–231.*
14. *Mantle sources of kimberlites through time: A U-Pb and Lu-Hf isotope study of zircon megacrysts from the Siberian diamond fields / J.Sun, S.Tappe, S.I.Kostrovitsky et al. // Chemical Geology. 2018. Vol. 479. P. 228–240.*
15. *Orihashi Y., Nakai S., Hirata T. U-Pb age determination for seven standard zircons using inductively coupled plasma-mass spectrometry coupled with frequency quintupled Nd-YAG ($\lambda=213$ nm) laser ablation system: Comparison with LA-ICP-MS zircon analyses with a NIST glass reference material // Resource Geology. 2008. Vol. 58. P. 101–123.*
16. *Siberian Traps large igneous province: evidence for two flood basalt pulses around the Permo-Triassic boundary and in the Middle Triassic, and contemporaneous granitic magmatism / A.V.Ivanov, H.He, L.Yan et al. // Earth-Science Reviews. 2013. Vol. 122. P. 58–76.*

U-Pb ZIRCON DATING FROM RIVER ALLUVIUM AND SECONDARY COLLECTORS OF YAKUTIAN DIAMONDIFEROUS PROVINCE

A.M.Agashev¹, I.V.Serov², Yu.Orihashi³, A.V.Tolstov⁴, E.I.Nikolenko^{1,4}, N.P.Pokhilenko¹
 (¹V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk; ²«ALROSA JSC», Mirny; ³Department of Earth and Environmental Sciences, Hirosaki University, Hirosaki, Japan; ⁴NIGP «ALROSA JSC», Mirny)

Arctic Yakutia territories contain many diamondiferous placers but primary diamond sources are unknown so far; therefore, the problem of Yakutia Arctic region is pressing. Kimberlite bodies of the northeastern Siberian platform have extremely low diamond content and they cannot be main diamond suppliers to old and present-day placers. As part of this problem solution, zircon samples from Ebelyakh, Chimidikyan, Lena, Muna and Molodo rivers as well as from Carnian Triassic gravel gritstones of Belkur area were studied. The U-Pb dating data obtained help to reconstruct kimberlite magmatism history, pattern and occurrence sequence and migration paths of kimberlite material and diamonds.

Keywords: zircon, U-Pb age, Yakutia, Arctic region, kimberlite, diamond.





ЯКУТИТЫ – ИМПАКТНЫЕ АЛМАЗЫ ПОПИГАЙСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ

Приводятся результаты сравнительного анализа коренных импактных алмазов месторождения Скальное и якутитов из россыпей рек Эбелях и Догой. Исследования проводились в целях выявления основных особенностей импактного образования алмазов в Попигайской астроблеме. Методами оптической микроскопии, рентгенографии, КР-спектроскопии установлено, что якутиты и алмазы из тагамитов характеризуются схожим фазовым составом, включающим алмаз и лонсдейлит при подчинённом количестве последнего, имеют импактную природу и являются параморфозами по графиту пород мишени – архейских гнейсов. Различия между ними обусловлены местом их происхождения. Якутиты возникли в эпицентре взрыва и были выброшены за пределы кратера в радиальных направлениях, а из вертикального выброса вернулись на территорию кратера. В тагамитах импактные алмазы образовались одновременно с плавлением породы за счёт ударной волны. Наличие на поверхности якутитов плёнки силикатного стекла свидетельствует об их закалке после выброса из кратера. Алмазы в тагамитах достаточно долго отжигались по мере охлаждения расплава, что привело к агрегированию структурной примеси азота. В якутитах агрегированные формы азота отсутствуют. Якутиты за пределами кратера представляют собой самостоятельную минеральную фракцию и встречаются в россыпном состоянии вкупе с обычными алмазами и прочим обломочным материалом. В пределах кратера они генетически связаны с зювитами – туфогенной составляющей импактитов и поступают в россыпи на территории кратера за счёт физического выветривания зювитов. Алмазы из тагамитов практически не обнаруживаются в россыпях на территории кратера, поскольку тагамит – очень прочная порода, и при отсутствии химического выветривания они не могут высвободиться.

Ключевые слова: алмаз, якутиты, россыпи, Сибирская платформа, генезис, минералогия.

Якутиты впервые найдены З.В.Бартошинским в 1966 г. при разведке алмазной россыпи р. Эбелях (приток р. Анабар на северо-востоке Сибирской платформы) в ходе применения жирового метода обогащения. Данный метод использован в связи с наличием в россыпи большого количества алмазов, не светящихся или слабо светящихся в рентгеновских лучах. Наряду с несветящимися алмазами V и VII разновидностей по классификации Ю.Л.Орлова [12] в концентрате обогащения оказались тёмные выделения неправильной формы, которые при рентгеновском исследовании диагностировались как поликристаллические алмазы типа карбонадо. Первая публикация о них появилась в газете «Геолог Якутии» в 1968 г. [14]. Тип их коренного источника не был известен. Таким образом, якутиты выявлены ещё до открытия импактных алмазов Попигайской астроблемы В.Л.Масайтисом в 1972 г. [11], но импактная природа их была определена значи-

Афанасьев Валентин Петрович¹

доктор геолого-минералогических наук
главный научный сотрудник
morpho@igm.nsc.ru

Угапьева Саргылана Семёновна²

кандидат геолого-минералогических наук
научный сотрудник
sargylana-ugapeva@yandex.ru

Елисеев Александр Павлович¹

доктор физико-математических наук
ведущий научный сотрудник
elishev.ap@mail.ru

Громилов Сергей Александрович³

доктор физико-математических наук
главный научный сотрудник
grom@niic.nsc.ru

Павлушин Антон Дмитриевич²

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
a.d.pavlushin@diamond.ysn.ru

¹ ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, г. Новосибирск

² ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск

³ ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В.Николаева СО РАН, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

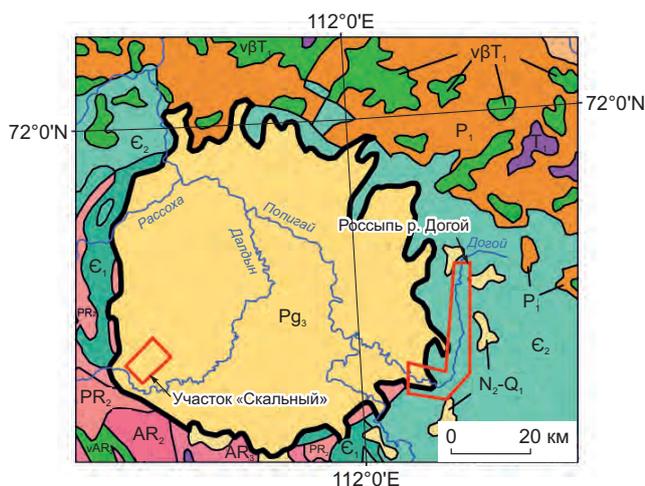


Рис. 1. ПОПИГАЙСКАЯ АСТРОБЛЕМА. МЕСТА ОТБОРА ПРОБ (р. Догой и месторождение Скальное)

тельно позднее. Якутиты выделены в классификации Ю.Л.Орлова в качестве самостоятельной разновидности алмазов (XI), которая рассматривалась как «карбонадо с лонсдейлитом» [12].

Попигайская астроблема (метеоритный кратер) образовалась на восточной окраине Анабарского щита 35,7 млн лет назад из-за удара о поверхность Земли космического тела диаметром несколько километров. Её диаметр ~100 км [1]. В породах мишени – архейских гнейсах – содержалось большое количество графита, который в результате шокового метаморфизма мартенситным путём (твёрдофазная перекристаллизация) перешёл в смесь высокобарических фаз – алмаза и лонсдейлита. Сохранились остатки исходного графита. В момент импактного события якутиты были выброшены за пределы кратера на расстояние более 550 км. Другая часть графита за счёт ударной волны перекристаллизовалась в высокобарические фазы непосредственно в породах мишени одновременно с их плавлением, и эти импактные алмазы (ИА) остались в них после остывания расплава.

После открытия ИА в импактных породах внутри метеоритного кратера основное внимание уделялось алмазам из коренных пород – тагамитов (переплавленные породы мишени), а якутиты оставались слабо изученными. Между тем, сравнение якутитов с коренными ИА из тагамитов (в основном алмазами из месторождения Скальное, выделенными на обогатительной фабрике в пос. Хатанга) даёт важные сведения для постижения

импактного алмазообразования в Попигайском кратере и открывает новые технологические возможности использования импактных алмазов.

В данной работе сопоставлены результаты исследований коренных импактных алмазов месторождения Скальное, расположенного на юго-западном фланге кратера, и якутитов из россыпей рек Эбелях и Догой, находящихся соответственно за пределами кратера и на юго-восточной его границе. Размер выделений якутита 2–13 мм по длинной оси при массе от 0,1 до 4,0 кар. Места отбора проб показаны на рис. 1.

Якутиты и импактные алмазы из тагамитов изучались одним комплексом методов, включающим морфологические методы – сканирующую электронную микроскопию с анализом химического состава поверхностных образований, спектроскопию комбинационного рассеяния (КР-спектроскопию), определение изотопного состава углерода, рентгеновскую дифрактометрию.

Распространённость якутитов. Якутиты найдены на обширной территории северо-востока Сибирской платформы к востоку и югу от Попигайской астроблемы. Наиболее удалённые их находки – в бассейне р. Келимьяр по северному обрамлению Оленёкского поднятия на расстоянии ~550 км от кратера [5–7]. Содержание якутитов в россыпях может составлять до 1 кар/м³.

Морфологические особенности якутитов. Якутиты представляют собой образования неправильной формы, иногда гексагональных очертаний, nasledующие форму кристаллов графита (рис. 2) [3]. В работе [13] при описании якутитов из россыпи р. Эбелях выделено четыре основных морфологических типа: массивно-зернистые, таблитчатые, параллельно-шестоватые и спутанно-волокнистые (рис. 3). Фактически они различаются лишь внешне, а реально отражают исходную морфологию выделений графита в архейских гнейсах. При детальном изучении микроморфологии их поверхности с помощью электронной микроскопии отмечался ряд общих черт. Одна из них – наличие интерстиционных пустот субмикронных размеров между границами субиндивидов в зёрнах. Как правило, многочисленные пустоты ориентированы в одном направлении. Субиндивиды обычно имеют пластинчатый облик в таблитчатых и волокнистоподобный в параллельно-шестоватых якутитах. На свежих сколах и в естественных пустотах под электронным микроскопом ясно прослеживается во-

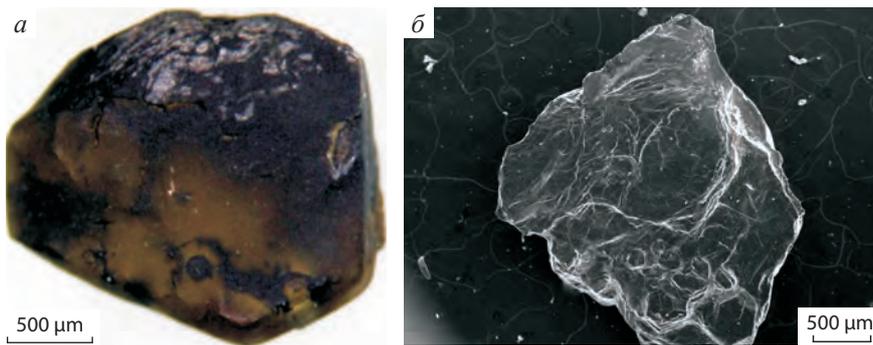


Рис. 2. ГЕКСАГОНАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МОРФОЛОГИИ ЯКУТИТОВ:

a – гексагональное выделение якутита – параморфоза по гексагональному выделению графита; *б* – гексагональный элемент морфологии на поверхности якутита (россыпь р. Догой)

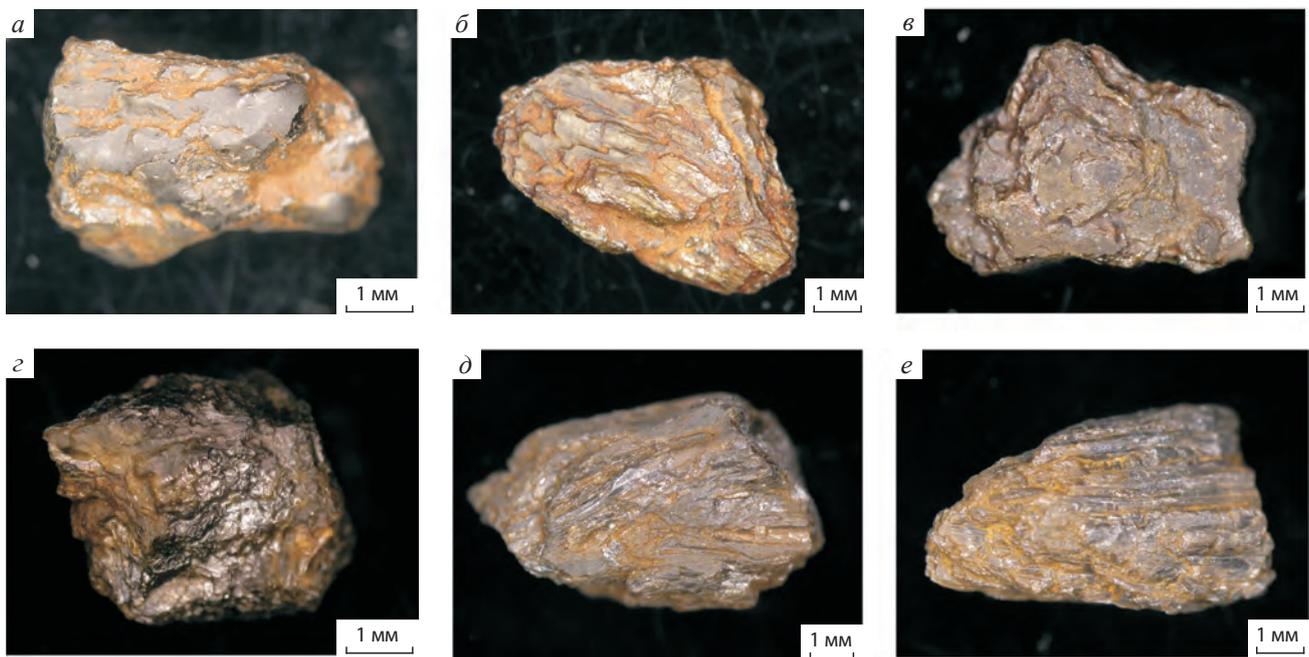


Рис. 3. МОРФОЛОГИЯ ЯКУТИТОВ ИЗ РОССЫПИ р. ЭБЕЛЯХ:

a, б – таблитчатые; *в, г* – массивные; *д* – спутанно-волокнистый; *е* – параллельно-шестоватый

локнистое микрофибрилярное строение спутанно-волокнистых образцов. Микрофибры и микропластины алмаза характерны для всех выделенных морфологических типов.

Якутиты окрашены в коричневый с оттенками красного, реже тёмно-серый до чёрного цвет. Нужно учитывать, что в россыпях на поверхности зёрен могут развиваться корочки глинистых седиментологических продуктов, изменяющих реальный цвет. Фотолюминесценция слабая в кирпично-красных и оранжевых тонах или отсутствует. Из-за морфологических особенностей (непохожести на обычные алмазы) и очень слабой люминесценции их диагностика и извлечение из россып-

ного материала весьма затруднительны, поэтому во многих случаях они упускаются.

Импактные алмазы, извлечённые из тагамитов, существенно отличаются по морфологии. Прежде всего, они представлены только в мелких гранулометрических классах (<1 мм, главным образом 200–400 мкм). Подавляющее большинство из них – осколки более крупных зёрен (рис. 4), лишь на некоторых зёрнах, главным образом крупнее 200–300 мкм, могут сохраняться фрагменты корродированных тагамитовым расплавом поверхностей (см. рис. 4, б). В осколках значительно лучше, чем в якутитах, выражена слоистость, унаследованная от исходных зёрен графита (см. рис. 4, а). Для вы-

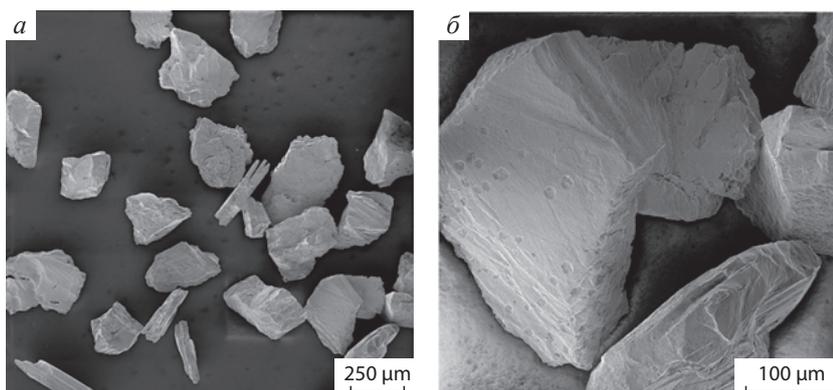


Рис. 4. Морфология импактных алмазов, извлечённых из тагамитов месторождения Скальное:

a – общий вид зёрен; *б* – детали морфологии, видны ямки магматической коррозии

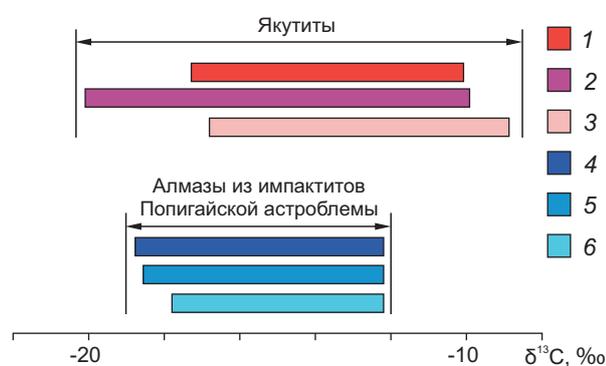


Рис. 5. Сравнение изотопного состава углерода якутитов и алмазов из импактитов Попигайской астроблемы по данным:

1 – [13] (россыпи Анабарского алмазоносного района); 2 – [8] (р. Эбелях); 3 – [7, 9] (Оленёкское поднятие); 4 – [8, 10]; 5 – [5]; 6 – [9]

яснения образования оскольчатой формы зёрен необходимо учитывать, что для их извлечения тагамит, будучи очень прочной породой, подвергается дроблению до размера обломков <2 мм, при этом дробятся и зёрна импактных алмазов. Поэтому можно полагать, что исходный размер импактных алмазов в тагамите был значительно больше и соответствовал, возможно, размерам якутитов.

Изотопный состав углерода якутитов. Анализ изотопного состава углерода якутитов выполнен в Лаборатории стабильных изотопов Дальневосточного геологического института ДВО РАН [13]. Были изучены одиночные осколки агрегатов, отделённые механическим способом в стерильных условиях, массой 0,5–0,8 мг (рис. 5). Погрешность анализа при определении количества изотопа δ¹³C со-

ставляла ±0,2–0,05‰. Изотопный состав углерода в якутитах в целом соответствует таковому ранее изученных якутитов из россыпей р. Эбелях (-9,9...-15,9‰, среднее -12,6‰) [8] и Оленёкского поднятия (-9,9...-20,1‰, среднее значение -15,0‰) [9], а также импактных алмазов из тагамитов Попигайского кратера (-12,3...-17,8‰, среднее -15,0‰) [8, 10]. Эти значения отвечают изотопному составу графитов из архейских гнейсов (-12,0...-17,3‰, среднее -14,6‰) [5, 8].

Рентгенография. Дифракционные картины от неподвижных образцов (лауэграммы) якутитов и импактных алмазов из тагамитов характеризуются набором уширенных дифракционных пятен или хорошо заполненными дифракционными кольцами (рис. 6). Заполненность колец свидетельствует о поликристаллическом строении образцов с наноразмерными кристаллитами.

Рентгенофазовым анализом установлено, что содержание лонсдейлита в якутитах изменяется от 0 до 12% [20]. Более широкие исследования, проведённые на образцах импактных алмазов из тагамитов, показывают содержание лонсдейлита от 0 до 50% и более. В целом, данные дифрактометрии говорят о практически полной аналогии импактных алмазов и якутитов. Отличие заключается в отсутствии графита в последних. Это подтверждает данные, приведённые в работе [13], в которой при изучении ряда якутитов из россыпей Анабарского алмазоносного района графит также не обнаружен.

Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР-спектроскопия). Спектры КР получены для 30 образцов якутитов при возбуждении 325 нм (He-Cd лазер) на конфокальном микрораман-спектрометре LABRAM с криостатом OXFORD при температуре

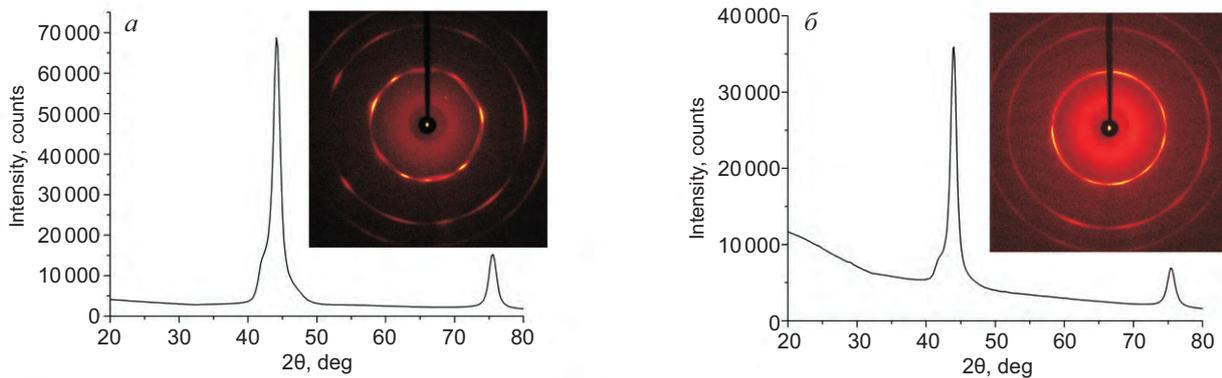


Рис. 6. ДИФРАКТОГРАММЫ ОБРАЗЦОВ ИМПАКТНОГО АЛМАЗА ИЗ ТАГАМИТА (а) И ЯКУТИТА (б):

на вставках показаны характерные дифракционные картины (лауэграммы) от неподвижных образцов (МоК_α-излучение, $2\theta_d=0^\circ$, $d=40$ мм)

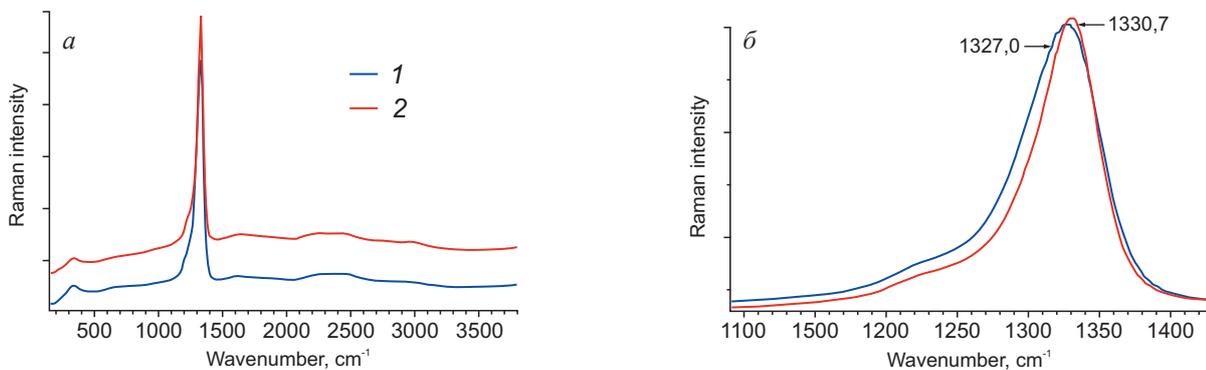


Рис. 7. КР-СПЕКТРЫ АЛМАЗНЫХ ОБРАЗЦОВ (а), УВЕЛИЧЕННАЯ ЧАСТЬ УЗКОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ (б):

1 – образец якутита из россыпи р. Эбелях; 2 – образец тагамита из импактного кратера Попигай

80 К (разрешение 0,1 нм), причём измерения проведены в пяти-шести точках для каждого. Спектры, как правило, сходные для разных точек. Типичные спектры КР представлены на рис. 7. В большинстве образцов наблюдается основная линия 1332 см^{-1} , характерная для кубического алмаза. Линия значительно уширена: её ширина на уровне полувысоты FWHM равна 25 см^{-1} . Для монокристаллов кимберлитового алмаза FWHM составляет $\sim 1\text{--}2\text{ см}^{-1}$. Это указывает на сильную деформацию в структуре якутитов. В некоторых образцах значения FWHM достигают 70 и даже 90 см^{-1} . У двух образцов максимум основной линии смещается к 1330 и далее к 1325 см^{-1} , наблюдаемый спектр интерпретируется как сумма спектров от кубического алмаза и трёх пиков, относящихся к лонсдейлиту: $1338\text{ (E}_{1g}\text{)}$, $1280\text{ (A}_{1g}\text{)}$ и $1224\text{ (E}_{2g}\text{)}$ [15, 20]. Смеще-

ние линии в низкоэнергетическую сторону, уширение и ослабление пика характерны для случаев углеродной sp^3 -структуры, где разупорядочение обусловлено наноразмерами структурных единиц. Низкоэнергетическая полоса $335\text{--}340\text{ см}^{-1}$ связывается с дополнительными углеродными (?) фазами. Широкая полоса в области $2200\text{--}2450\text{ см}^{-1}$ интерпретируется как спектр второго порядка для алмаза и лонсдейлита. Спектры якутита и ИА из кратера очень похожи (см. рис. 7).

Силикатные плёнки на якутитях. На поверхности якутитов из россыпи р. Эбелях (закратерные якутиты) присутствуют плёнки силикатного стекла (рис. 8, а). На якутитях из россыпи р. Догой (на границе кратера) такие плёнки либо отсутствуют, либо тонкие, фрагментарно развитые. Плёнки, растрескавшиеся, как на вулканической бомбе

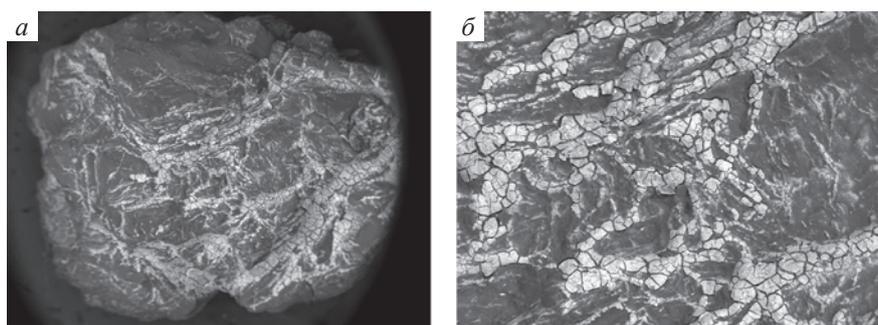


Рис. 8. СИЛИКАТНАЯ ПЛЁНКА НА ПОВЕРХНОСТИ ЯКУТИТА ИЗ РОССЫПИ р. ЭБЕЛЯХ. РАЗМЕР ЗЕРНА 1,5 мм:

а – общий вид; *б* – детали строения силикатной плёнки

(трещины усадки) (см. рис. 8, б). Состав плёнок нескольких образцов изучен на растровом сканирующем электронном микроскопе с ЭДС системой химического анализа MIRA₃LMU (рис. 9). Составы определялись с естественной поверхности образцов, фрагменты которой по-разному наклонены по отношению к детектору, из-за чего сумма элементов сильно различается, и полученные результаты дают лишь общее представление о составе плёнок. Основные элементы – железо, кремний из окружающего силикатного вещества. По данным [20], в ряде ИА и якутитов из россыпи р. Догой отмечаются зёрна кварца.

В обсуждении результатов исследования якутитов и сравнительного анализа их с ИА важны два аспекта: сходство и отличие якутитов и ИА из тагамитов внутри кратера. Основным критерий сходства – фазовый состав: и те и другие имеют в составе кубическую (алмаз) и гексагональную (лонсдейлит) фазы при подчинённом количестве второй [1,

2, 4, 5, 15, 16, 18, 19 и др.]. Кроме того, аналогична внутренняя структура: и те и другие представляют собой поликристаллы с наноразмерными зёрнами агрегата [1, 4 и др.]. И те и другие являются параморфозами по графиту пород мишени и обладают слоистой текстурой, унаследованной от исходного графита. Одинаковы изотопные составы углерода [1, 5, 7, 8, 10]. Близки физические свойства якутитов и импактных алмазов из тагамитов как отражение фазового состава и структурных особенностей [1, 2, 4, 5, 15–17, 19 и др.]. Признаки сходства якутитов и ИА из тагамитов определяют их генетическое родство и связь якутитов с Попигайской астроблеймой [2].

Весь комплекс различий якутитов и импактных алмазов из тагамитов обуславливается местом их образования в пределах кратера. Якутиты появились в эпицентре взрыва при ударе космического тела и были выброшены из кратера наряду с переплавленным материалом пород мишени и их обломками. Импактные алмазы в тагамитах, в частности месторождения Скальное на юго-западном фланге кратера, возникли из графита за счёт ударной волны, пришедшей со стороны эпицентра взрыва, т.е. при заведомо более низких динамических параметрах. Якутиты при выбросе были закалены, на них остались корочки расплава, тогда как внутрикратерные алмазы достаточно долго отжигались в тагамитовом расплаве по мере его остывания. Отжиг привёл к тому, что в тагамитовых алмазах развита агрегированная форма азота N3V (в кубической фазе), тогда как в якутитовых она отсутствует. При сходстве фазовых составов якутитов и тагамитовых алмазов существуют и различия. Среди последних выделяются два сорта – светлые с резким преобладанием кубической фазы и тёмные, в которых, наряду с кубической, присутствуют гексагональная фаза и графит. В якутитовых следы

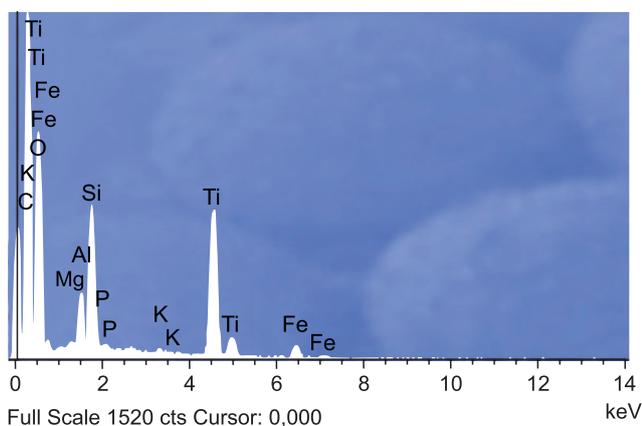


Рис. 9. ХАРАКТЕРНЫЙ СПЕКТР СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА НА ПОВЕРХНОСТИ ЯКУТИТА

графита отмечаются КР-спектроскопией, при рентгеновских исследованиях он, по-видимому из-за крайне малого содержания, не обнаруживается. На наш взгляд, это связано с тем, что якутиты образовались в эпицентре взрыва при максимальных динамических параметрах, в результате чего практически весь графит перешёл в высокобарические фазы, тогда как тагамитовые алмазы возникли при меньших параметрах, и сохранилось достаточно много графита. Помимо прочего, характер фазового состава якутитов позволяет отвергнуть гипотезу о том, что в момент удара формируется лонсдейлит, который по мере отжига переходит в кубическую фазу [5]. Якутиты не отжигались, наоборот, они были закалены, но в них сочетаются кубическая и гексагональная фазы, что указывает на одновременность их образования.

Якутиты распространены к востоку и югу относительно кратера на расстоянии >550 км [5]. Однако нужно помнить, что они были обнаружены при обогащении россыпи обычных алмазов на р. Эбелях к востоку от кратера и впоследствии их находили как попутный продукт только там, где производилось крупнообъёмное опробование на обычные алмазы. Поэтому можно с высокой долей уверенности говорить о возможности их обнаружения и к западу на территории Красноярского края. Таким образом, логично предполагать радиальный разброс якутитов относительно Попигайской астроблемы.

В заключение отметим следующее.

Якутиты и импактные алмазы из тагамитов имеют импактную природу и представляют собой параморфозы по графиту архейских гнейсов, образовались мартенситным путём в результате шокового метаморфизма в момент Попигайского импактного события. Этим определяется их генетическое родство. Вместе с тем, между ними имеются различия, обусловленные местом их образования.

В связи с выбросом якутиты за пределами кратера представляют собой самостоятельную фракцию и встречаются в россыпном состоянии наряду с обычными алмазами и прочим обломочным материалом. В пределах кратера они генетически связаны с зювитами – туфогенной составляющей импактитов и поступают в россыпи на территории кратера за счёт физического выветривания зювитов. Алмазы из тагамитов практически отсутствуют в россыпях на территории кратера, поскольку тагамит – очень прочная порода, и при отсутствии

химического выветривания алмазы не могут вывободиться.

Размер импактных алмазов обоих типов можно оценивать по диапазону размеров якутитов: нижний предел ~0,5 мм, верхний может достигать сантиметров. То что алмазы из тагамитов мелкие, определяется дроблением породы при обогащении, в результате которого исходные зёрна разрушаются.

Полученные результаты по сравнению якутитов и импактных алмазов из тагамитов совершенно новые, вносят существенный вклад в понимание природы импактного алмазообразования и показывают пути дальнейших исследований импактогенеза.

Данное исследование выполнено в рамках грантов РФФИ №№18-05-70063/18, 18-45-140011 ра, 16-05-00873а, ИГАБМ СО РАН (проект 0381-2019-0003) и по государственному заданию ИГМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алмазоносные импактиты Попигайской астроблемы / В.Л.Масайтис, М.С.Мащак, А.И.Райхлин и др. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998.*
2. *Афанасьев В.П., Елисеев А.П. Сравнительная характеристика «якутитов» и импактных алмазов Попигайской астроблемы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. 2015. С. 42–43.*
3. *Афанасьев В.П., Ефимова Э.С., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Атлас морфологии алмазов России. – Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГМ, 2000.*
4. *Вальтер А.А., Ерёмченко Г.К., Квасница В.Н., Полканов Ю.А. Ударно-метаморфогенные минералы углерода. – Киев: Наук. думка, 1992.*
5. *Вишневский С.А., Афанасьев В.П., Аргунов К.П., Пальчик Н.А. Импактные алмазы: их особенности, происхождение и значение. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997.*
6. *Граханов С.А. Алмазы импактного генезиса в россыпях северо-востока Сибирской платформы // Вестн. Воронежского ун-та. 2001. № 12. С. 236–238.*
7. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М.: Недра, 2003.*
8. *Изотопный состав и особенности кристаллической структуры природных поликристаллов алмаза с лонсдейлитом / Э.М.Галимов, И.М.Ивановская, Ю.А.Клюев и др. // Геохимия. 1980. № 4. С. 533–539.*
9. *Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов из россыпей Северо-Востока Сибирской платформы в связи с про-*

- блемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений. Дисс... канд. геол.-минер. наук (в форме доклада). – Новосибирск: ИМП СО РАН, 1994.
10. Масайтус В.Л. Импактные алмазы Попигайской астроблемы: основные свойства и практическое применение // ЗРМО. Ч. СХЛII. 2013. № 2. С. 1–10.
 11. Масайтус В.Л., Футергендлер С.И., Гневушев М.А. Алмазы в импактиках Попигайского кратера // Зап. ВМО. 1972. № 101. Вып. 1. С. 108–113.
 12. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. – М.: Наука, 1984.
 13. Угапьева С.С., Заякина Н.В., Павлушин А.Д., Олейников О.Б. Результаты комплексного минералогического исследования якутитов из россыпей Анабарского алмазоносного района // Отечественная геология. 2010. № 5. С. 37–44.
 14. Чумак М.А., Бартошинский З.В. Якутит – новая разновидность алмаза // Геолог Якутии. 1968. № 27. С. 29–38.
 15. *Luminescence* of natural carbon nanomaterial: Impact diamonds from the Popigai crater / A.Yelisseyev, A.Khrenov, V.Afanasyev et al. // *Diamond and Related Materials*. 2015. Vol. 58. P. 69–77.
 16. *Mineralogical* and crystallographic features of polycrystalline yakutite diamond / H.Ohfuji, M.Nakaya, A.P.Yelisseyev et al. // *Journal of mineralogical and petrological sciences*. 2017. № 112. Vol. 1. P. 46–51.
 17. *Natural* occurrence of pure nano-polycrystalline diamond from impact crater / H.Ohfuji, T.Irifune, K.D.Litasov et al. // *Scientific Reports*. 1 October 2015. Vol. 5. Article number 14702.
 18. *Optical* properties of impact diamonds from the Popigai astrobleme / A.Yelisseyev, G.S.Meng, V.Afanasyev et al. // *Diamond and Related Materials*. 2013. Vol. 37. P. 8–16.
 19. *Raman* identification of lonsdaleite in Popigai impactites / S.V.Goryainov, A.Y.Likhacheva, S.V.Rashchenko et al. // *Raman spectroscopy*. 2014. № 45. P. 305–313.
 20. *Yakutites*: are they impact diamonds from the Popigai crater? / A.P.Yelisseyev, V.P.Afanasyev, A.V.Panchenko et al. // *Lithos*. 2016. Vol. 265. P. 278–291.

YAKUTITES ARE IMPACT DIAMONDS OF THE POPIGAI ASTROBLEME

V.P.Afanasyev¹, S.S.Ugap'eva², A.P.Yelisseyev¹, S.A.Gromilov³, A.D.Pavlushin²
 (¹ V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk; ² Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk; ³ Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk)

The results of the comparative analysis of the primary impact diamonds from the Skal'noye deposit and yakutites from two placers of the Ebelyakh and the Dogoy rivers are presented. Studies were conducted to identify the main features of the impact diamonds formation in the Popigai astrobleme. Yakutites and diamonds from tagamites have impact nature. They are paramorphs on graphite of target rocks of the Archean gneisses. Differences between them are determined by the place of their formation. Yakutites were formed in the explosion epicenter and were thrown out of the crater at a distance of over 500 km in radial directions, and from the vertical ejection they got back to the crater. In tagamites, impact diamonds were formed simultaneously with the rock melting due to the shock wave that came from the epicenter.

Keywords: diamond, yakutites, placers, the Siberian platform, genesis, mineralogy.





ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ ПРЯМЫМИ СПОСОБАМИ

Рассмотрена методика подсчёта прогнозных ресурсов цветных и благородных металлов с выделением рудных тел прямыми способами, основанными на приёмах подсчёта запасов геологическими блоками. Приведены особенности применения этих способов в зависимости от категории прогнозных ресурсов (P_1 или P_2). Указаны основные ошибки количественной оценки прогнозных ресурсов цветных и благородных металлов прямыми способами, выявленные при апробации.

Ключевые слова: прогнозные ресурсы, прямые способы оценки, локализация, оценочные параметры, содержание полезного компонента, рудное тело.

При определении количества прогнозных ресурсов допускается использование разнообразных способов и приёмов – от экспертных оценок до прямых расчётов. Их выбор зависит от уровня изученности соответствующих площадей и полноты исходной геологической информации. Методы обработки и анализа того или иного вида информации, ограничения применения способов подсчёта достаточно полно рассмотрены в различных изданиях [3–5, 7]. В настоящей статье рассмотрены наиболее предпочтительные прямые способы количественной оценки прогнозных ресурсов цветных и благородных металлов.

Прогнозные ресурсы оцениваются прямыми способами в случае, если геологическая изученность объекта прогнозирования позволяет выделить рудные тела, которые могут быть: полностью представленными рудами, отвечающими требованиям оценочных параметров, или с прерывистым распределением руд с промышленными концентрациями полезного компонента, которое (распределение) учитывается применением коэффициента рудоносности. Прямые способы применяются для определения количества прогнозных ресурсов категории P_1 и P_2 по новым рудопроявлениям и рудным полям, а также на флангах и глубоких горизонтах месторождений и рудных тел за контурами запасов кат. C_2 .

Оценка производится [6] укрупнёнными блоками, соответствующими конкретным геометризованным рудным телам, последовательным определением их подсчётных параметров, а при невозможности геометризации тел статистически в обобщённом контуре сближенных рудных интервалов (минерализованной зоне, залежи, пласте, горизонте и т.д.) с использованием коэффициента рудоносности, как правило линейного. Коэффициент рудоносности по площади применяется в виде исключения, как правило, для прогнозных ресурсов кат. P_2 . Расположение, количество, расстояние между точками наблюдений, рациональное комплексирование различных видов работ, методы опробования и исследований, принципы экстраполяции данных определяются геолого-

Голенев Владимир Борисович

доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
golenev_vb@mail.ru

Куликов Данила Алексеевич

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий отделением
минерально-сырьевой базы
kulikov@tsnigri.ru

ФГБУ Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва

промышленным типом, предполагаемой группой сложности геологического строения прогнозируемого месторождения (кат. P_1), категорией прогнозных ресурсов. Последняя обуславливает различие подходов к оценке прогнозных ресурсов прямыми способами.

Категория P_1 . В основе оценки – данные о количестве, размерах, условиях залегания рудных тел, содержании основного и попутных полезных компонентов, полученные в результате горных и буровых работ, различных видов опробования, лабораторного изучения и в меньшей степени геологических, геофизических, геохимических и других исследований и аналогии. Методика подсчёта прогнозных ресурсов по новым и известным рудным телам на флангах и глубоких горизонтах разведанных (разрабатываемых) месторождений различна.

По *новым рудным телам* прогнозные ресурсы кат. P_1 оцениваются следующими прямыми способами:

- геологическими блоками, в качестве которых выступают отдельные рудные тела, их сближенные группы при подсчёте с коэффициентом рудоносности или участки крупных тел, отвечающие требованиям к однородности распределения свойств полезного ископаемого (в основном по технологическим типам руд и способам разработки);
- горизонтальными или вертикальными разрезами.

Применение геостатистических методов при подсчёте прогнозных ресурсов возможно, но менее эффективно по сравнению с традиционными способами по следующим основным причинам:

- не обеспечивают достаточную достоверность оценки прогнозных ресурсов в условиях редких поисковых сетей (для двухмерного моделирования должно быть не менее нескольких десятков пересечений, для трёхмерного – не менее первых сотен проб при расстоянии между пересечениями не более двух радиусов корреляции экспериментальной вариограммы, иначе не достигается повышение точности оценки подсчётных параметров по сравнению с традиционными способами, и применение геостатистических методов теряет смысл);
- не обеспечивают достаточную достоверность оценки прогнозных ресурсов в условиях прерывистого распределения промышленных руд

(при традиционных способах используется коэффициент рудоносности) при любой плотности сети, а при коэффициенте рудоносности $<0,5$ получить достоверную оценку прогнозных ресурсов геостатистическими методами невозможно;

- плотность поисковой сети не позволяет выделить однородные подсчётные блоки по критериям, которые используются при подсчёте запасов геостатистическими методами;
- систематические ошибки подсчёта, возникающие из-за неоднозначности (многовариантности) и отсутствия критериев выбора и оценки структуры, параметров и качества экспериментальной вариограммы, размеров элементарных ячеек блочной модели, размеров и ориентировки осей поискового эллипсоида, количества проб, учитываемых при интерполяции исходных данных в элементарные ячейки модели и т. д., порождают неоднозначность выбора параметров, многовариантность геостатистического моделирования, различие результатов подсчёта прогнозных ресурсов в одном и том же контуре рудного тела по вариантам моделей в 1,5–2,0 раза и более;
- применение методов недостаточно детально регламентировано инструкциями, методическими руководствами и рекомендациями, что не обеспечивает воспроизводимость результатов подсчёта различными исполнителями и приводит к систематическим погрешностям оценки;
- необходимость сравнения в обязательном порядке результатов подсчёта с применением геостатистических методов и традиционными способами (не менее чем для 30% прогнозных ресурсов, подсчитанных с использованием геостатистических методов).

Способы оценки прогнозных ресурсов полностью соответствуют аналогичным способам подсчёта запасов месторождений цветных и благородных металлов. Выбираются и реализуются способы оценки прогнозных ресурсов так же, как и при подсчёте запасов. Реализация подсчёта прогнозных ресурсов на основе компьютерных технологий значительно облегчает все вычислительные операции и подготовку табличных и графических приложений.

Блоки прогнозных ресурсов кат. P_1 выделяются на новых рудопроявлениях, новых участках место-

рождений по результатам поисковых работ, проведенных:

- на поверхности канавами и на глубину отдельными скважинами. Расстояние между канавами составляет 20–120 м, а отдельные скважины пересекают рудное тело на глубине до 100–250 м в зависимости от геолого-промышленного типа и предполагаемой группы сложности геологического строения прогнозируемого месторождения. Все расстояния указаны в плоскости прогнозируемого рудного тела;
- на поверхности канавами, пройденными через 20–120 м в зависимости от геолого-промышленного типа, предполагаемой группы сложности геологического строения прогнозируемого месторождения;
- скважинами (при отсутствии выходов рудных тел на поверхность) по сети, плотность которой в 2–4 раза более редкая, чем обычно применяется для запасов кат. C_2 на месторождениях прогнозируемого геолого-промышленного типа. Например, сеть наблюдений (160–240)х(80–160) м с отдельными выработками до глубины 250 м для золоторудных штокерков 2–3-й групп сложности геологического строения, (100–200)х(200–400) м для золотоносной коры выветривания 2–3-й групп сложности на всю мощность коры, но не более 200 м.

Подземные горные выработки для оценки прогнозных ресурсов кат. P_1 на поисковой стадии по новым объектам, как правило, не применяются.

На месторождениях с запасами блоки прогнозных ресурсов кат. P_1 выделяются как подвеска к запасам кат. C_2 по известным рудным телам или самостоятельными блоками по новым рудным телам. В отличие от поисковых работ на новых объектах на месторождениях возможно применение подземных горных выработок. Плотность сети более редкая (в 2–4 раза), чем на том же месторождении для запасов кат. C_2 .

При построении блоков прогнозных ресурсов для подтверждения величины ограниченной и неограниченной экстраполяции обязательно учитываются и в большем объеме, чем для запасов кат. C_2 , результаты геологического картирования, геофизических и геохимических работ, геолого-структурных, минералогических и других исследований закономерностей локализации промышленных руд, бороздового или штуфного опробования коренных выходов руд на поверхности (при нали-

чии таковых), наличие шлиховых ореолов полезного ископаемого и его элементов спутников и т. д.

Параметры прогнозных ресурсов кат. P_1 в геометризованном объеме (блоке) устанавливаются по результатам [6] геологической документации, опробования, геофизических и геохимических исследований руд в естественных обнажениях, горных выработках и скважинах с использованием методов, принципов, подходов и приёмов, применяемых при подсчёте запасов кат. C_2 месторождений того же геолого-промышленного типа. При этом учитывается более редкая и неравномерная сеть наблюдений с разрежением не более чем в 2–4 раза (2 – расстояние между пересечениями, 4 – площадь ячейки сети) в зависимости от предполагаемой сложности геологического строения прогнозируемого месторождения. Применение каких-либо повышающих или понижающих качество и количество прогнозных ресурсов коэффициентов (за исключением коэффициентов рудоносности и дайконосности) не рекомендуется.

Оценка прогнозных ресурсов кат. P_1 прямыми способами проводится в такой последовательности:

- создаётся компьютерная база данных (целесообразно применение компьютерных технологий – горно-геологических информационных систем и отдельных программ – для подсчёта прогнозных ресурсов, создания табличных и графических приложений);
- на картах, разрезах и планах отражается геологическое строение рудопроявления (месторождения) с выделением элементов, контролируемых размещением новых рудных тел с прогнозными ресурсами (и известных рудных тел с запасами);
- обосновываются оценочные параметры для локализации прогнозных ресурсов;
- обосновывается способ определения количества прогнозных ресурсов (геологическими блоками на соответствующей залегающей рудного тела проекции, горизонтальными или вертикальными разрезами, с применением геостатистических методов);
- оконтуриваются рудные интервалы по пересечениям, согласно принятым оценочным параметрам и методикам, применяемым при подсчёте запасов;
- принимается решение о проведении оценки прогнозных ресурсов геометризованными руд-

- ными телами или статистически в обобщённом контуре сближенных рудных интервалов с учётом линейного коэффициента рудоносности. Если рудные интервалы в поисковых выработках единичные или достаточно разобъённые, увязываются между собой достаточно однозначно, то прогнозные ресурсы оцениваются геометризованными рудными телами. Если рудных интервалов много, они сближены, увязать их между пересечениями однозначно в рудные тела не удаётся, то прогнозные ресурсы оцениваются в обобщённом контуре, включающем сближенные рудные интервалы, с применением линейного коэффициента рудоносности, величина которого по рудному телу (блоку) не должна быть $<0,1$. Рудные интервалы в этом случае объединяются в пересечения с установлением границ рудного тела (обобщённого контура) по мощности по методике, применяемой при подсчёте запасов;
- в рудные тела увязываются рудные пересечения, определяются условия залегания, форма и размеры рудных тел;
 - на графических приложениях (вертикальная, горизонтальная или продольная проекции рудного тела, горизонтальные или вертикальные разрезы), согласно выбранному способу подсчёта прогнозных ресурсов, оценочным параметрам, точкам наблюдений, геологическим, геофизическим, геохимическим и другим данным, глубине подсчёта и методам экстраполяции, отстраиваются контуры блоков прогнозных ресурсов с учётом требований к их однородности и с соблюдением всех правил оконтурирования и экстраполяции (ограниченной и неограниченной) по падению и простиранию рудных тел;
 - по имеющимся данным опробования горных выработок, скважин и геологических наблюдений вычисляются среднее содержание основного полезного компонента и попутных компонентов (при наличии), средняя мощность рудного тела, объёмная масса, линейный коэффициент рудоносности (при необходимости) и другие необходимые для оценки количества прогнозных ресурсов параметры в соответствии с методиками, традиционно принятыми при подсчёте подходящим способом (геологическими блоками, разрезами или с применением геостатистических методов);
 - выявляется и анализируется возможное влияние «ураганных проб» на количество и качество прогнозных ресурсов основного и попутных компонентов. Предпочтение следует отдавать ограничению по способу Когана;
 - определяется количество прогнозных ресурсов по каждому блоку, рудному телу и суммарное по объекту, согласно общепринятым методикам, в зависимости от способа подсчёта геологическими блоками, разрезами или с применением геостатистических методов;
 - проверяется соответствие обоснованности прогнозных ресурсов кат. P_1 требованиям Классификации ... [2] и сложившейся практике прогнозной оценки.
- В комплексных рудах количество прогнозных ресурсов попутных компонентов оценивается в контурах прогнозных ресурсов основного полезного ископаемого кат. P_1 по той же методике.
- На флангах и глубоких горизонтах месторождений* прогнозные ресурсы кат. P_1 оцениваются за контурами запасов кат. C_2 известных рудных тел при наличии характерных геофизических и геохимических аномалий, геологических, структурно-тектонических, литолого-стратиграфических, магматических, петрологических, минералогических, палеогеографических и других признаков, подтверждающих вероятное присутствие промышленных руд. Параметры прогнозных ресурсов в этом случае устанавливаются на основании геологической экстраполяции результатов, полученных на тех же месторождении и рудном теле при подсчёте запасов (по данным разведки или эксплуатации) с учётом всех известных геологических, геофизических, геохимических и других данных, морфологии рудных тел, минеральных и технологических типов руд, тенденций в изменении параметров количественной оценки на фланги и глубину, и находятся в прямой зависимости от:
- протяжённости по простиранию и глубины распространения промышленного оруденения на перспективном участке рудного тела;
 - подобия геологического строения перспективных флангов и глубоких горизонтов геологической обстановке нахождения балансовых запасов рудного тела или участка месторождения.
- Оценка прогнозных ресурсов кат. P_1 на флангах и глубоких горизонтах месторождений и рудных тел за пределами контуров запасов кат. C_2 по

аналогии осуществляется в следующей последовательности [3]:

- в контуре подсчитанных (эксплуатируемых) балансовых запасов анализируются данные о параметрах рудных тел и о всех возможных геологических факторах, обуславливающих особенности изменения этих параметров по латерали и вертикали, определяются минерало-геохимическая, метасоматическая и другие необходимые и возможные типы зональности и её влияние на параметры рудных тел, глубина эрозионного среза месторождения и рудного тела, оценивается характер отражения промышленных руд в различных геофизических и геохимических полях;
- анализируются геологическое строение и структура месторождения (участка), составляются схемы геофизических и геохимических полей, распределения минеральных ассоциаций, отдельных минералов, метасоматитов, выделяются зоны (участки, горизонты, пачки, пласты и т. д.), в различной степени благоприятные для локализации рудных тел, производится дифференциация зон (участков и т. д.) по качеству (уровню содержания основного и попутных компонентов и вредных примесей при их наличии), минеральным и технологическим типам руд, морфологии и условиям залегания рудных тел;
- определяется возможная суммарная протяжённость предполагаемых рудных тел (по разведочным, геологическим, геофизическим, геохимическим и другим данным) с учётом различия их по морфологии, условиям залегания, качеству руд и содержанию полезного компонента;
- рассчитываются по параметрам балансовых запасов средние показатели (содержание полезного компонента, мощность, объёмная масса и т. д.) на единицу длины и 1 м глубины рудных тел различных по морфологии, условиям залегания, качеству руд и содержанию полезного компонента;
- корректируются полученные средние показатели (уменьшаются или, реже, увеличиваются) с учётом подобия геологических обстановок нахождения и наличия фактических пересечений по участкам подсчёта прогнозных ресурсов на флангах и глубоких горизонтах месторождения или рудного тела;
- экстраполируются средние показатели на возможную суммарную длину предполагаемых рудных тел, подсчитывается общее количество полезного компонента на 1 м глубины с учётом технологических типов руд, морфологии и условий залегания прогнозируемых рудных тел;
- определяется возможная глубина распространения промышленных руд с учётом их рудно-формационного и геолого-промышленного типов, аналогии с более детально изученными месторождениями тех же рудно-формационного и геолого-промышленного типов, вертикальной зональности распределения признаков промышленного оруденения, уровня эрозионного среза, структурно-поисковых скважин, геолого-структурных, геофизических, геохимических и других методов исследований;
- подсчитываются прогнозные ресурсы полезного компонента на флангах и глубоких горизонтах месторождения (рудного тела) исходя из их количества на 1 м глубины по суммарной протяжённости предполагаемых рудных тел и принятой возможной глубины распространения промышленных руд.
Количество и содержание основного и попутных компонентов (для комплексных руд) являются главными критериями оценки промышленного значения прогнозных ресурсов кат. P_1 , оценённых на флангах и глубине. Эти показатели для кондиционных прогнозных ресурсов не должны быть хуже тех, которые имеют балансовые запасы кат. C_2 того же месторождения. Промышленные концентрации полезного компонента в контурах прогнозных ресурсов должны быть подтверждены отдельными пересечениями в горных выработках и (или) скважинах.

Категория P_2 . В основе оценки – данные о количестве, размерах, условиях залегания рудных тел, содержании основного и попутных полезных компонентов, полученные в результате геологических, геофизических, геохимических и других исследований, штучного опробования естественных обнажений и аналогии, подтверждённые ограниченными объёмами горных и буровых работ. При этом количественная оценка прогнозных ресурсов кат. P_2 прямыми способами основывается на критериях и признаках, сходных с используемыми для оценки прогнозных ресурсов кат. P_1 . Основное их отличие заключается в степени достовер-

ности, определяемой различными представительностью и объёмом исходной информации в связи с более ранними стадиями геологоразведочных работ, меньшими поисковой изученностью и объёмами горно-буровых работ.

Прямые способы применяются при целевых поисковых работах м-ба 1:10 000 (1:25 000) и реже при проведении прогнозно-поисковых, геологосъёмочных и поисковых работ м-ба 1:50 000.

В основе количественной оценки прогнозных ресурсов кат. P_2 лежат представления о форме, размерах, условиях залегания, геологическом строении рудных тел, минеральном и элементном составе, качестве и возможных технологических свойствах руд, полученных по комплексу прямых и косвенных признаков, по данным опробования, а также по аналогии с известными месторождениями того же геолого-промышленного и рудно-формационного типов. Обязательным условием является привязка прогнозных ресурсов к конкретным рудным телам.

Блоки прогнозных ресурсов кат. P_2 укрупнённые, представляют рудное тело целиком и выделяются по результатам поисковых работ, включающих проходку магистральных канав (шурфов) на поверхности, бурение отдельных структурно-поисковых скважин на глубине, геологические, геофизические, геохимические и другие методы поисков. При оконтуривании прогнозных ресурсов учитываются все возможные прямые и косвенные критерии и признаки, указывающие на наличие оруденения, по свойствам отвечающего принятым оценочным параметрам.

Не допускается локализация прогнозных ресурсов кат. P_2 как подвеска по падению и простираю рудного тела к прогнозным ресурсам кат. P_1 . Если имеются объективные геолого-структурные, геофизические, геохимические, минералогические и другие предпосылки и признаки, прямо или косвенно указывающие на возможное наличие оруденения в подвеске, то такая подвеска должна быть включена в контур прогнозных ресурсов кат. P_1 с соблюдением правил неограниченной экстраполяции. Если же предпосылки и признаки оруденения в подвеске отсутствуют, то нет оснований и для локализации прогнозных ресурсов кат. P_2 .

Количество прогнозных ресурсов кат. P_2 устанавливается по результатам буровых и горных работ, геологических, геофизических, геохимических и других видов исследований, рядового опробо-

вания с учётом способа и предельно допустимой глубины разработки прогнозируемого месторождения определённых геолого-промышленного и рудно-формационного типов. Широко применяется коэффициент рудоносности линейный и (или) в меньшей степени по площади в связи с ограничением возможности геометризации рудных тел со сплошными кондиционными рудами по редкой поисковой сети.

Оценка количества прогнозных ресурсов кат. P_2 проводится в такой последовательности:

- на картах, разрезах и планах отражается геологическое строение рудного поля (рудопроявления) с выделением геолого-структурных элементов, контролирующих размещение рудных тел;
- обосновываются оценочные параметры для локализации прогнозных ресурсов;
- оконтуриваются рудные интервалы в пересечениях (канавах, естественных обнажениях, скважинах) по методике, применяемой при подсчёте запасов;
- по результатам оконтуривания рудных интервалов принимается решение – проводить оценку прогнозных ресурсов геометризованными рудными телами или с применением коэффициента рудоносности в обобщённом геологическом или условном контуре сближенных рудных интервалов. Границы оценки прогнозных ресурсов по мощности рудных тел выделяются по той же методике, которая использовалась для кат. P_1 и запасов;
- увязываются рудные интервалы (пересечения) в рудные тела и определяются границы оценки прогнозных ресурсов по простираю и падению с применением экстраполяции (как правило, неограниченной);
- количество прогнозных ресурсов благородных металлов (P , кг) определяется по формуле:

$$P=(L \cdot H \cdot M \cdot K_{\text{пл}} \cdot K_{\text{пл}} \cdot d \cdot C \cdot K) / 1000, \quad (1)$$

где L – средняя протяжённость рудного тела по простираю, м; H – средняя протяжённость рудного тела по падению, м; M – средняя мощность рудного тела, м; $K_{\text{пл}}$ – линейный коэффициент рудоносности; $K_{\text{пл}}$ – коэффициент рудоносности по площади; d – объёмная масса сухой руды, т/м³; C – среднее содержание полезного компонента, г/т; K – коэффициент надёжности прогноза;

- количество прогнозных ресурсов цветных металлов (P, τ) определяется по формуле:

$$P=(L \cdot H \cdot M \cdot K_{\text{пл}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot d \cdot C \cdot K) / 100, \quad (2)$$

где C – среднее содержание полезного компонента, %;

- рассматривается соответствие обоснованности прогнозных ресурсов кат. P_2 требованиям Классификации ... [2] и сложившейся практике прогнозной оценки.

Ниже приведены рекомендации по определению параметров для количественной оценки прогнозных ресурсов цветных и благородных металлов кат. P_2 .

Протяжённость рудного тела по простиранию устанавливается графически на плане поверхности или соответствующего горизонта. Контур рудного тела в плане отстраивается согласно правилам экстраполяции. При различной длине рудного тела по простиранию на разных горизонтах протяжённость рассчитывается как средняя арифметическая величина исходя из количества горизонтов.

Протяжённость рудного тела по падению определяется графически: для пологих рудных тел на плане, для наклонных на разрезах в плоскости рудного тела или на продольной проекции, для крутопадающих на разрезах по вертикали или на вертикальной проекции. Контур рудного тела по падению отстраивается на разрезах или на проекции рудного тела по правилам экстраполяции. При различной длине рудного тела по падению на разрезах принимается средняя арифметическая её величина с учётом всех разрезов.

Средняя мощность рудного тела в контуре оценки прогнозных ресурсов определяется в соответствии с методикой, применяемой при подсчёте запасов геологическими блоками. При этом вводятся все необходимые поправки для приведения наблюденной мощности к горизонтальной (тела крутого падения), истинной (наклонные тела) или вертикальной (субгоризонтальные, пологие тела). Мощность рудного тела в отдельном пересечении устанавливается по результатам геологической документации и рядового бороздowego (канавы, естественные обнажения) и кернового (скважины) опробования в полном соответствии с принятыми оценочными параметрами, методикой оконтуривания рудных интервалов в пересечениях. Для рудных тел изометрической формы и с близкими размерами по трём направлениям вместо мощности

используется ширина рудного тела, которая определяется по результатам оконтуривания рудных интервалов в канавах, естественных обнажениях с учётом при необходимости: контуров геофизических, геохимических аномалий, связанных с рудным телом; результатов геологического картирования с прослеживанием коренных выходов рудного тела и гидротермально изменённых вмещающих пород с прямыми и косвенными признаками оруденения до их выклинивания естественного или в связи с геолого-структурными элементами строения рудного поля (рудопроявления); наличия шлиховых ореолов в рыхлых отложениях и протолочках из коренных пород; результатов отбора штучных и бороздowych проб в естественных обнажениях и т. д.

Линейный коэффициент рудоносности определяется как отношение суммы длины рудных интервалов в пересечениях (естественные обнажения, канавы, скважины) по мощности к сумме длины рудного тела по тем же пересечениям. Если оценка проводится без линейного коэффициента рудоносности, то его величина в формулах (1 и 2) принимается равной 1. Минимальная величина линейного коэффициента рудоносности по рудному телу (блоку) не должна быть $<0,1$.

Коэффициент рудоносности по площади определяется как отношение числа пересечений с параметрами, отвечающими требованиям оценочных параметров (минимальное содержание в оконтуривающей выработке, а при отсутствии этого параметра – минимальное содержание по объекту, минимальная мощность рудного тела или соответствующий метрограмм (метропроцент (произведение минимальной мощности рудного тела на минимальное содержание в оконтуривающей выработке или на минимальное содержание по объекту)), к общему количеству пересечений в контуре прогнозных ресурсов кат. P_2 . Если оценка проводится без коэффициента рудоносности по площади, то его величина в формулах (1 и 2) принимается равной 1. Минимальный коэффициент рудоносности по площади рудного тела (блока) не должен быть $<0,5$.

Объёмная масса сухой руды принимается по аналогии с рудами тех же рудно-формационного и геолого-промышленного типов на известных месторождениях или реже по результатам лабораторного определения в образцах. Порядок расчётов объёмной массы такой же, как и при подсчёте

запасов геологическими блоками. Не допускается использование вместо объёмной массы плотности руд.

Среднее содержание полезного компонента в контуре прогнозных ресурсов определяется в соответствии с методиками, применяемыми при подсчёте запасов геологическими блоками. Данные штучного опробования используются только при отсутствии бороздовых или керновых проб. В этом случае содержание в порядке исключения может быть также принято равным минимальному содержанию по объекту прогноза согласно оценочным параметрам. Штуфы должны быть отобраны из коренных пород, а не из развалов, смещённых по склону неизвестно откуда. На рудных полях с промышленными месторождениями среднее содержание для прогнозных ресурсов может быть принято по аналогии с содержанием в разведанных или эксплуатируемых подобных рудных телах или равным минимальному промышленному содержанию в блоке по разведочным кондициям. Содержание по отдельным пересечениям оценивается по данным рядового бороздового опробования редких канав и естественных обнажений рудного тела, кернового опробования скважин. Выделение рудных интервалов по пересечениям производится в соответствии с принятыми оценочными параметрами и методикой оконтуривания, применяемой при подсчёте запасов.

Коэффициент надёжности прогноза принимается экспертно для новых слабо изученных рудных полей с единичными пересечениями рудных тел горными выработками и скважинами, а также для новых рудных полей, выделенных на площади слабо изученных на оцениваемый полезный компонент рудных узлов и районов без рудных месторождений. Его величина, как правило, равна 0,5.

В комплексных рудах оценка прогнозных ресурсов попутных компонентов проводится в контурах оценки прогнозных ресурсов основного компонента кат. P_2 по тем же формулам (1 и 2), но в которых вместо среднего содержания основного компонента – среднее содержание попутного компонента.

При апробации прогнозных ресурсов цветных и благородных металлов довольно часто выявляются следующие недостатки их количественной оценки [1] прямыми способами.

1. Игнорирование требований к качеству геологоразведочных работ:

- не учитываются систематические ошибки определения (обычно в сторону завышения) содержания полезного компонента при аналитических работах, обнаруженные внешним геологическим контролем;
- необоснованно вводятся повышающие содержание полезного компонента коэффициенты без проведения соответствующих исследований (на аналитические работы без арбитражного контроля, на наличие крупного золота, возможно, не попадающего в аналитические навески, выведенные по результатам методически некорректных опытных работ, без учёта гнездового неравномерного характера распределения металла в рудах) и внесения изменений в методику аналитических работ или в схему обработки проб, которые полностью устраняют причины возникновения ошибок при определении содержания полезного компонента, и в связи с чем необходимость введения коэффициентов отпадает;
- необоснованно используются скважины, некондиционные по углу встречи с рудным телом и выходу керна, но с высоким содержанием полезного компонента, которым при выводе подсчётных параметров придаётся большее значение, чем горным выработкам;
- при определении содержания полезного компонента количественным методом неправомерно используются данные менее точного полуколичественного метода, если последний показывает более высокое содержание;
- оценка некорректно проводится по штучному опробованию развалов горных пород, смещённых по склону, если оно показывает более высокое содержание полезного компонента, чем полученное при выполнении по объекту горно-буровых работ;
- при наличии нескольких линий опробования для оценки необоснованно используются данные только линии с более высокими параметрами рудного тела, даже если её положение не отвечает особенностям геологического строения объекта, например отобрана по простиранию рудного тела по обогащённому прослою и не вскрывает рудное тело на полную мощность.

2. Применение приёмов расчётов, завышающих содержание и количество прогнозных ресурсов полезного компонента:

- не учитывается неравномерность сети поисковых пересечений;
- для одной пробы лабораторией выполняется до четырёх определений содержания полезного компонента, но при оценке учитывается не среднее, а максимальное значение из всех определений;
- выборочное использование пересечений с высокими содержанием полезного компонента, мощностью рудного тела и полное игнорирование пересечений с низкими подсчётными параметрами;
- завышение коэффициентов рудоносности, надёжности прогноза, приведение содержания попутных компонентов в комплексных рудах к условному содержанию основного полезного компонента;
- использование при подсчёте прогнозных ресурсов вместо объёмной массы плотности руд, последний показатель на 10–30% выше значения объёмной массы.

3. Неполный учёт всех полезных компонентов комплексных руд через приведение их содержания к содержанию условного основного полезного компонента. Нередко без учёта всего комплекса полезных ископаемых геолого-экономическая оценка по укрупнённым показателям показывает, что объект не имеет перспектив для промышленного освоения.

4. Для комплексных руд подсчитываются прогнозные ресурсы условного компонента. Например, на апробацию представляются прогнозные ресурсы условного золота, вычисленные с учётом наличия в рудах золота, серебра, меди, свинца и цинка. Правильнее оценить отдельно прогнозные ресурсы золота, серебра, меди, свинца и цинка, а не условного золота.

5. На месторождениях с запасами при оценке прогнозных ресурсов на флангах и глубоких горизонтах не учитываются закономерности измене-

ния подсчётных параметров с глубиной и по простиранию. Как правило, значения параметров в этих направлениях снижаются.

6. Использование результатов ГРП предшествующих стадий (15–20 лет тому назад и более) без корректировки рудных интервалов в соответствии с новыми оценочными параметрами. Это приводит к завышению содержания полезного компонента и снижению мощности рудных интервалов, поскольку на предыдущих стадиях учитывалось, как правило, более высокое бортовое содержание.

7. В качестве рудных тел представляются, по сути, минерализованные зоны и перспективные площади с крайне низкими коэффициентами рудоносности ($0,0n-0,00n$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *К итогам апробации состояния ресурсного потенциала алмазов, благородных и цветных металлов на 2016 г. по результатам поисковых работ* / В.Б.Голенев, Ю.В.Ермакова, О.М.Конкина и др. // Руды и металлы. 2017. № 2. С. 7–16.
2. *Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых*. Утверждена приказом МПР РФ от 11.12.2006 г. № 278.
3. *Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых*. Вып. I–XV, 1986. Вып. I–V, 1989. – М.: ВИЭМС, ВИМС, ВНИИгеолнеруд, ВСЕГЕИ, ИМГРЭ, ЦНИГРИ, 1989.
4. *Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых*. Вып. VI (Дополнение). – М.: Роскомнедра, ЦНИГРИ, 1992.
5. *Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов*. Методическое руководство. Изд. 3-е. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
6. *Принципы, методы и порядок оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых* / Под ред. А.И.Кривцова. – М.: ЦНИГРИ, 2010.
7. *Российский металлогенический словарь* / Гл. ред. А.И.Кривцов. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2003.

INFERRED RESOURCE ESTIMATION BY DIRECT METHODS

V.B.Golenev, D.A.Kulikov (FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

Base and precious metal inferred resource estimation technique revealing orebodies by direct methods based on reserve estimation by geological blocks is discussed. Features of direct methods use depending on inferred resource category (indicated or potential) are presented. Major errors in estimating base and precious metal inferred resources by direct methods found in approval are reviewed.

Keywords: inferred resources, direct estimation methods, localization, estimation parameters, mineral content, orebody.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ВАРИАНТОВ ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ СКВАЖИН КОЛОНКОВОГО БУРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СЕРЕБРА ХАЧАКЧАН, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)

Рассмотрены варианты оценочных геологоразведочных работ путём бурения скважин из подземных горных выработок, проходимых малогабаритным самоходным оборудованием, и практикуемая технология бурения скважин с поверхности. Затраты на ГРП по этим вариантам показывают преимущества бурения скважин из подземных выработок при переводе ресурсов кат. P_2 в запасы кат. C_1+C_2 . Стоимость разведки 1 т металла в его цене незначительно увеличивается, повышается качество разведочных материалов, сокращаются сроки проведения ГРП, а также обеспечивается возможность ускоренного перехода к опытно-промышленным работам на объекте.

Ключевые слова: методы ГРП, проходка выработок, мобильное горнопроходческое оборудование, бурение скважин из подземных выработок, скорости бурения скважин, ускорение сроков ГРП.

Один из основных принципов оценки рудопроявлений – выполнение работ с наименьшими затратами финансов и времени, чему способствует рациональная организация разведочного процесса, а также внедрение новейших достижений науки и техники [2, 3]. Нами на примере оценочных работ на рудопроявлении Хачакчан в Республике Саха (Якутия), наряду с традиционным бурением скважин с поверхности, рассмотрен вариант бурения скважин из подземных горных выработок, проходимых высокопроизводительным малогабаритным оборудованием, и проведено их сравнение. Применение горно-бурового метода оценочных работ обусловлено, с одной стороны, суровым климатом района, приводящим к низкой эффективности использования буровых станков при поверхностных работах, с другой – относительно благоприятным рельефом местности для проходки штолен.

Хачакчанское рудное поле расположено в пределах Аллара-Сахского сереброносного рудного узла Верхояно-Колымской металлогенической провинции, сложенной терригенными алевро-песчаниковыми породами Верхоянского комплекса позднепермского и раннетриасового возрастов. В региональном плане оно находится на северном окончании Южно-Верхоянского синклинория, представленного переклинальным замыканием Аллара-Сахской антиклинали северо-западного простирания, осложнённой разрывными нарушениями. Предполагается, что позиция Хачакчанского рудного поля определяется его приуроченностью



Куликов Данила Алексеевич

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий отделением
минерально-сырьевой базы
kulikov@tsnigri.ru

Рогизный Валерий Фёдорович

кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник
rogizny@tsnigri.ru

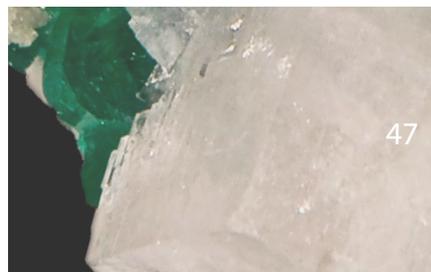
Черемисин Алексей Аркадьевич

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
cheremisin@tsnigri.ru

Карпухина Мария Викторовна

ведущий научный сотрудник
karpukhina@tsnigri.ru

ФГБУ Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва



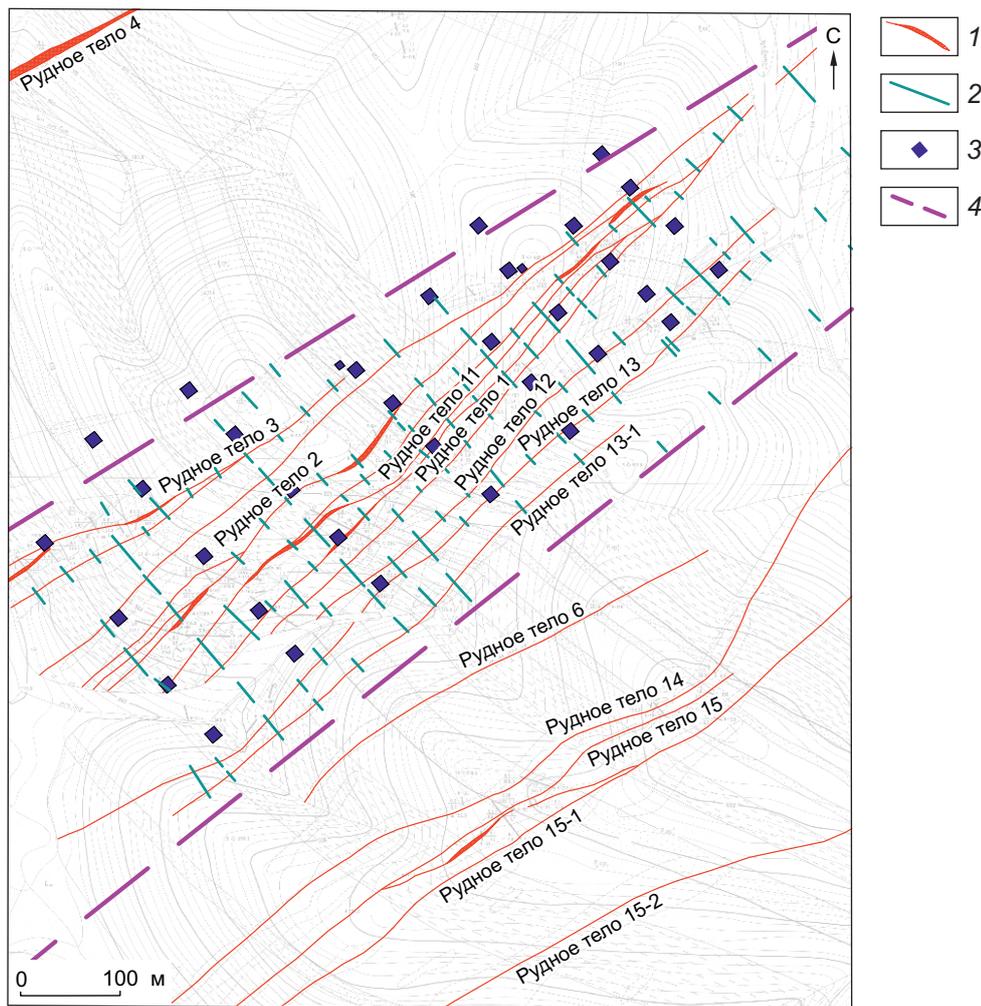


Рис. 1. ПЛАН МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЫ III И СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ БУРОВЫХ ПЛОЩАДОК И КАНАВ НА ПОВЕРХНОСТИ (вариант 1):

1 – рудные тела; 2 – проектные открытые горные работы (канавы, траншеи); 3 – буровые площадки на поверхности; 4 – границы минерализованной зоны

к области надинтрузивной зоны нескрытого гранитоидного массива с большой глубиной залегания. С разломами северо-восточной ориентировки в северо-западной части рудного поля связываются все основные перспективы.

Рудные тела Хачакчанского рудопроявления группируются в минерализованные зоны (пять зон) протяжённостью от 1000–1400 до 2500–3000 м при мощности от 200 до 400 м, расстояние между которыми в центральной части проявления от 350 до 600, на флангах 850–950 м. В минерализованных зонах выявлено от одного до восьми рудных тел протяжённостью 540–1250 м, мощностью 0,3–2,33 м при средних содержаниях Ag от 114,5 до

2265,15 г/т. Содержание сульфидов от первых процентов до 5%.

Исследования проводились в минерализованной зоне III рудопроявления серебра Хачакчан, прогнозные ресурсы которого соответствуют месторождениям средних масштабов нераспределённого фонда недр. Согласно протоколу № 4 ФГБУ «ЦНИГРИ» от 20.12.2011 г., на данном рудопроявлении апробировано 2030 т серебра по категории P₂ со средним содержанием Ag 600 г/т. Минерализованная зона III северо-восточного простирания шириной от 200 до 450 м, протяжённостью 1600 м вмещает восемь субпараллельных крутопадающих рудных тел, согласных простиранию зоны (рис. 1).

1. РЕСУРСЫ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЫ III

Показатели	Предполагаемые рудные тела								Всего
	2-1	3	11	1	1-1	12	13	13-1	
Руда, тыс. т	446,7	110,8	455,6	396,1	148,9	177,4	199,8	183,7	2118,9
Содержание серебра, г/т	922,0	946,1	919,0	852,4	689,4	689,4	638,7	689,4	794,2
Серебро, т	342,5	104,9	418,6	337,6	102,7	122,3	127,6	126,7	1682,7

Авторские данные по прогнозным ресурсам этой зоны приведены в табл. 1.

Рудопроявление размещается на севере Томпонского улуса, где продолжительность периода с температурой воздуха ниже 0°C составляет 242 дня при средней -28,6°C, причём температура наиболее холодной пятидневки -51°C. Среднегорный рельеф позволяет вскрывать минерализованные зоны штольневыми выработками. Для проходки горных выработок и сооружения камер предлагается использовать комплекс малогабаритного оборудования, включающий бурильную установку и погрузочно-доставочную машину (ПДМ), приспособленный для проходки разведочных штолен сечением 5,2 м². При последующей отработке запасов подземным способом планируется использовать систему разработки подэтажными штреками: при мощности рудных тел ≥1–3 м – традиционный вариант с групповой подготовкой спаренных блоков наклонными съездами и с плоским днищем; при мощности ≤1 м – подэтажно-щелевая разработка.

Ввиду сложных климатических условий региона методика оценочной стадии ГРП включает геологическое и экономическое сопоставление двух вариантов: 1) изучение канавами и скважинами колонкового бурения с поверхности; 2) изучение канавами с поверхности и скважинами колонкового бурения из буровых камер подземных выработок, проходка которых производится малогабаритным оборудованием. Второй вариант рассматривается в целях уменьшения влияния климатических условий региона на сроки выполнения работ.

Методика и объёмы работ по изучению рудных тел минерализованной зоны III с поверхности канавами в обоих вариантах одинаковы. Различия объёмов ГРП и сроков их выполнения обусловлены методикой буровых работ: в первом варианте с поверхности, во втором – из подземных горных выработок (штольни). Изучение сближенных крутопадающих рудных тел минерализованной зоны предполагается в течение двух лет в интервале длиной 980 м, в пределах которого намечено восемь буровых профилей. В обоих вариантах параметры создаваемой сети скважинных пересечений рудных тел примерно одинаковы и составляют (45–60)х(25–40–60) м. Однако во втором варианте рудные тела пересекаются скважинами при больших углах, а в горных выработках осуществляются непрерывное прослеживание одного рудного тела и вскрытие расщелками параллельных рудных тел.

Вариант 1. Бурение скважин с поверхности выполняется станками Атлас Копко CS10 (глубина бурения до 400 м; стоимость станка 20 300 тыс. руб.). Для создания необходимой сети пересечений проходятся скважины глубиной от 100 до 360 м (средняя глубина 234 м). Общий объём бурения 58 960 пог. м, количество скважин 266, буровых площадок 35. Расположение поверхностных скважин на разведочных линиях юго-западной части минерализованной зоны III проиллюстрировано на рис. 2.

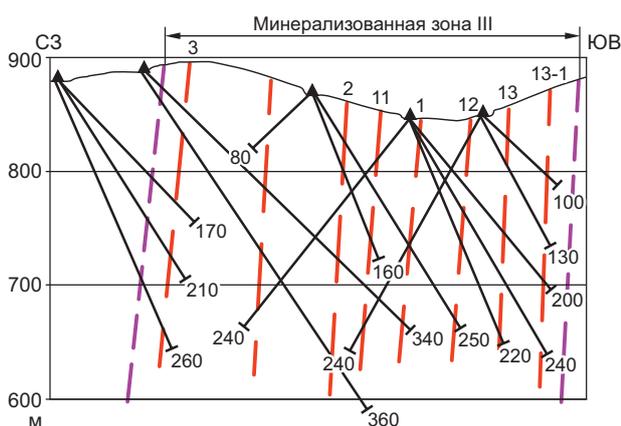


Рис. 2. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ СКВАЖИН И ИХ ГЛУБИНА (м) НА РАЗВЕДОЧНЫХ ЛИНИЯХ:

треугольниками обозначены буровые площадки; остальные усл. обозн. см. рис. 1

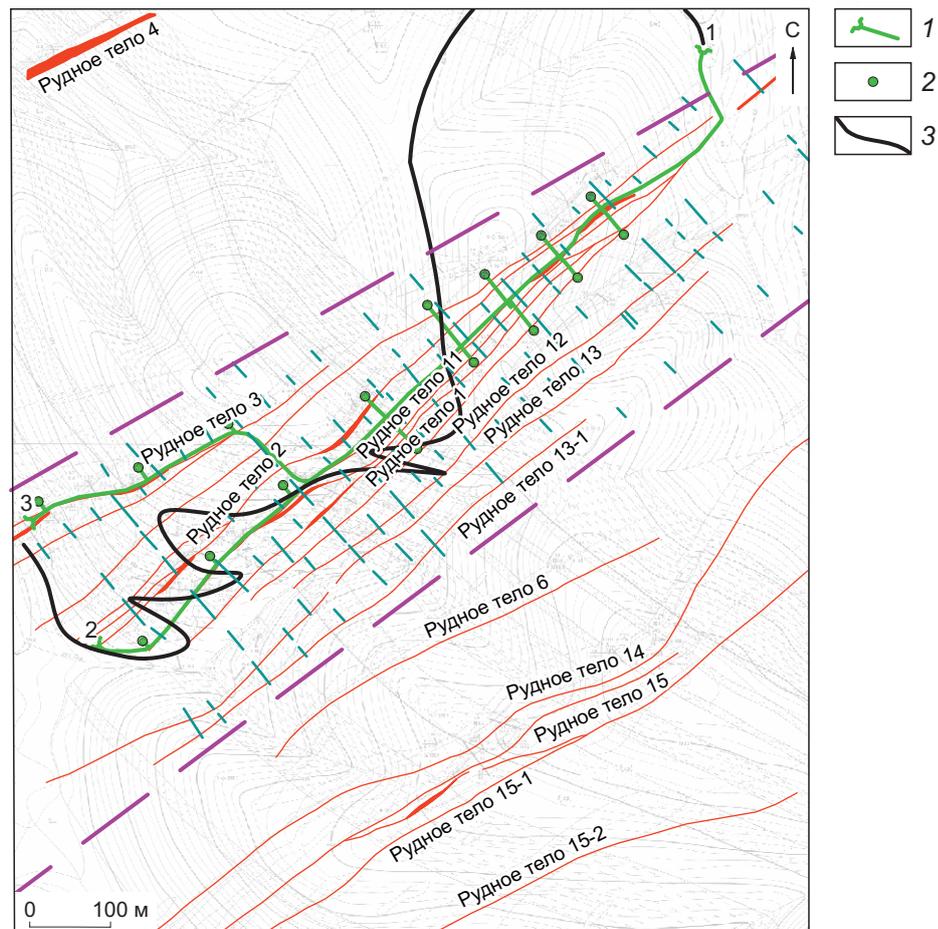


Рис. 3. ПЛАН МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЫ III И СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ КАНАВ, ШТОЛЕН С РАССЕЧКАМИ И БУРОВЫХ КАМЕР (вариант 2):

1 – штольни, порталы и их номера; 2 – буровые камеры; 3 – дорога; остальные усл. обозн. см. рис. 1

Для проходки скважин с поверхности, учитывая рельеф местности и кустовое бурение, требуется создание буровых площадок (по 4–5) на профиле, с которых разбуриваются рудные тела на нескольких разведочных линиях, расположенных в 40–60 м от основного профиля. Расстояние между буровыми профилями с буровыми площадками 80–100 (до 150) м. На рис. 1 показаны буровые площадки и канавы, проходимые буровзрывным способом с зачисткой полотна вручную.

Техническая производительность станка, по данным изготовителя, составляет 9–15 м/ч, при этом обеспечивается проходка 1,6 тыс. пог. м/мес. или 11,2 тыс. пог. м/год на один станок. Производительность одного станка за два года с учётом сезонности 19,2 тыс. пог. м. В связи с переездом на новые площадки (35 площадок) и сезонностью ра-

бот (шесть месяцев в году) для выполнения расчётного объёма бурения (58 960 пог. м) в течение двух лет потребуются три станка Atlas Copco CS10.

Вариант 2. Бурение колонковых скважин из подземных выработок штольневых горизонтов ведётся из буровых камер, заложенных в рассечках длиной 60–80 м, пройденных из штольни по восьми разведочным линиям через 80–120 (до 200) м. Всего планируется сооружение 16 буровых камер (рис. 3).

Штольня проходится на горизонте 800 м по рудному телу 11 с ответвлением на юго-западе к рудному телу 3 одним комплектом малогабаритного оборудования в составе электрогидравлической бурильной установки Muki FF с гидроперфоратором ($B \times H = 1,05 \times 1,90$ м) и ПДМ LH201D ($B \times H = 1,05 \times 2,05$ м; грузоподъёмность ковша 1 т; фирма Sand-

2. ОБЪЁМ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ РАЗВЕДКИ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ЗОНЫ III (см. рис. 3)

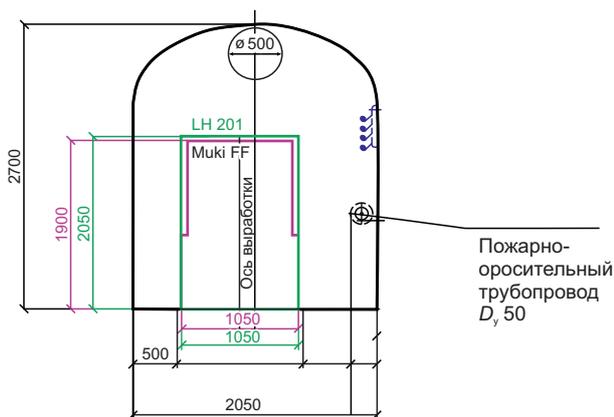


Рис. 4. СЕЧЕНИЕ РАЗВЕДОЧНОЙ ШТОЛЬНИ $S=5,2 \text{ м}^2$

vik, Финляндия). Сечение штольневых выработок, равное $5,2 \text{ м}^2$, показано на рис. 4. При этом формируются три портала штольни: один на северо-востоке и два на юго-западе. Все порталы на горизонте 800 м связаны технологической дорогой на поверхности (см. рис. 3), позволяющей переезжать самоходному оборудованию между забоями при проходке. Благодаря этому обеспечивается многозабойная работа комплекса: бурильная установка Muki FF+ПДМ LH201D+машина вспомогательного назначения. Положение штолен показано на рис. 3.

Оценка минерализованной зоны III, включающей сближенные рудные тела (1, 2, 3, 11, 12, 13), на-

Наименование выработок	Длина, м	Сечение, м^2	Объём м^3
Горизонт 800 м			
Разведочная штольня по 11 р. т.	1430	5,2	7488
Разведочный квершлаг 11-3 р. т.	120	5,2	624
Рассечки (16 шт.)	480	5,2	2496
Буровые камеры (16 шт.)			1120
Итого	2040		11 728

мечаются колонковыми скважинами, проходимыми из буровых камер. Схема расположения скважин подземного бурения и их протяжённость, которые обеспечивают такую же сеть пересечений рудных тел, как в примере бурения станками с поверхности, представлена на рис. 5.

Для контроля достоверности кернового опробования предполагаются проходка и опробование сопряжённых с горизонтальными скважинами горных выработок (рассечек). Горные выработки, вскрывающие рудные тела, используются для отбора разведочных технологических проб, а также валовых для определения объёмной массы в целиках. В штреках опробуются забои через 4 м. В рассечках и квершлагах бороздовые пробы отбираются по двум стенкам выработок.

Бурение колонковых скважин выполняется станками Атлас Копко Diames U4, которые позволяют бурить в любом направлении (360°). Производительность станка 15–18 м/ч. При работе из подземных буровых камер месячная производительность оценивается в 2,4 тыс. пог. м/мес., а годовая – в 26,4 тыс. пог. м/год на один станок. Стоимость станка, по сведениям поставщика, составляет ориентировочно 15 400 тыс. руб. Веерное бурение из камеры осуществляется по двум-трём разведочным профилям (по основному и параллельному ему).

В проекциях рудных тел на продольную вертикальную плоскость создаётся сеть пересечений $(40-60) \times (40-60) \text{ м}$, на отдельных участках расстояние между пересечениями сокращается до 10 м. В табл. 2 рассчитан объём подземных выработок сечением $5,2 \text{ м}^2$ с рассечками и камерами для буровых станков, которые проходятся малогабаритным оборудованием.

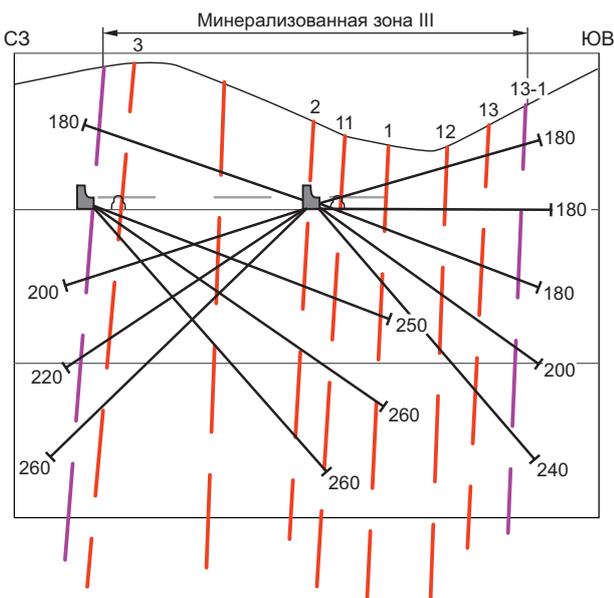


Рис. 5. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО БУРЕНИЯ НА ОСНОВНЫХ РАЗВЕДОЧНЫХ ЛИНИЯХ

3. СТОИМОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ, ПРОВОДИМЫХ КАНАВАМИ И СКВАЖИНАМИ С ПОВЕРХНОСТИ И ИЗ ПОДЗЕМНЫХ БУРОВЫХ КАМЕР ПРИ ПЕРЕВОДЕ РЕСУРСОВ КАТ. P₂ В ЗАПАСЫ КАТ. C₁+C₂, тыс. руб

№№ п/п	Наименование работ и затрат	Варианты оценки	
		Канавы и скважины с поверхности	Канавы и скважины из подземных выработок
I	Основные затраты	765 545	826 722
A	<i>Собственно геологоразведочные работы</i>	715 640	790 966
1	Предполевые работы и проектирование (2,5% от полевых работ)	13 292	14 960
2	Полевые работы	531 668	598 398
	В том числе:		
	2.1 Горноразведочные работы	3 113*	209 997**
	2.2 Разведочное бурение с ГИС	495 808	356 813
	2.3 Опробование	10 249	9 088
	2.4 Топографо-геодезические работы (1,5% от пп. 2.1, 2.2)	7 500	7 500
2.5 Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования (3% от пп. 2.1, 2.2)	15 000	15 000	
3	Организация и ликвидация полевых работ (5,4% от полевых работ)	28 710	32 313
4	Лабораторные и технологические исследования	52 649	44 764
5	Камеральные, картосоставительские, издательские тематические и опытно-методические работы (11,8% от полевых работ)	62 737	70 611
6	Прочие собственно геологоразведочные работы (5% от п. 2)	26 583	29 920
B	<i>Сопутствующие работы и затраты</i>	49 905	35 756
II	Косвенные затраты (содержание АУП, охрана, проч.) (10% от п. I)	76 554	82 672
III	Прибыль (5% от пп. I-II)	42 105	45 470
IV	Компенсируемые затраты	127 384	140 792
V	Подрядные работы	0	0
VI	Резерв на непредвиденные расходы (6% от пп. I-V)	60 695	65 739
VII	Всего (пп. I+II+III+IV+V+VI)	1 072 283	1 161 395
VIII	Налог на добавленную стоимость (20%)	214 457	232 279
	Всего по объекту	1 286 739	1 393 674

* Канавы.

** Канавы + подземные горные выработки.

Общая протяжённость горизонтальных выработок составляет 2040 м, расчётные темпы их проходки в многозабойном (2–3 забоя на комплект) режиме оцениваются в 200 пог. м/мес. Срок проходки горизонтальных выработок 10,2 мес., а с учётом строительства камер размером 10,2х1,25 м – 12,75 мес. При этом начало бурения колонковых скважин возможно через 2–4 мес. после начала проходки штольни.

Объём бурения колонковых скважин из подземных буровых камер оценён в 46 950 пог. м, количество скважин 282, количество буровых камер 16. Средняя глубина скважин подземного бурения

201,1 м. При средней месячной производительности колонкового бурения 2400 м/мес., с учётом переездов в новые подземные буровые камеры и 11 рабочих месяцев в году, для выполнения рассчитанного объёма бурения одним станком потребуется 19,5 мес., или 1,63 года, а с учётом задержки начала буровых работ из-за подготовки горных выработок (≈0,3 года) общая продолжительность ГРП составит 1,9 года.

Для рассмотренных выше двух вариантов до-разведки минерализованной зоны III в целях перевода ресурсов кат. P₂ в промышленные запасы кат. C₁+C₂ (с поверхности и из подземных вырабо-

4. СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ ПРИ ПЕРЕВОДЕ РЕСУРСОВ КАТ. P₂ В ЗАПАСЫ КАТ. C₁+C₂

№№ п/п	Наименование показателей	Варианты оценки	
		Канавы и скважины с поверхности	Канавы и скважины из подземных буровых камер
1	Стоимость геологоразведочных работ при переводе ресурсов кат. P ₁ +P ₂ в запасы кат. C ₁ +C ₂ , млн руб.	1287	1394
2	Ожидаемое количество разведанных запасов кат. C ₁ +C ₂		
	Руда, тыс. т	2119	2119
	Серебро, т	1683	1683
3	Стоимость разведки 1 т ресурсов, руб./т		
	Руда	607	658
	Серебро	764706	828283
4	Цена 1 т серебра, руб./т	33400000	33400000
5	Удельный вес стоимости разведки 1 т серебра в цене на серебро, %	2,3	2,5
6	Стоимость оборудования, необходимого для проведения ГРП, млн руб.	113,7*	89,9**
7	Время проведения разведки, год	2	1,9
8	Продолжительность проведения ГРП в году, мес.	6	12
9	Продолжительность проходки подземных горных выработок, мес.	-	12,75
10	Количество и тип буровых станков, шт.	CS10 – 3	Diamec U4 – 1

* Три буровых станка и вспомогательное оборудование.

** Один буровой станок, бурильная установка, ПДМ и вспомогательное оборудование.

ток) была дана их качественная оценка, а также рассчитаны экономические результаты. При этом в анализируемых вариантах определялись объёмы керна бурения, обеспечивающие примерно одинаковое количество пересечений рудных тел.

Преимущества и недостатки каждого варианта доразведки перечислены ниже.

1. При бурении с площадок на поверхности используются станки, которые могут бурить под углами >75°, поэтому для обеспечения одинакового количества пересечений рудных зон (266 скважин с поверхности и 282 подземных) объём бурения в этом варианте увеличивается на 25%, а количество площадок для бурения на поверхности примерно вдвое больше, чем буровых камер под землей.

2. Скорость бурения станком CS10 с поверхности составляет (в среднем по оценке изготовителя) 12 м/ч, а у подземного станка Diamec U4 – 16,5 м/ч, т. е. на 35% выше. При этом из-за суровых климатических условий буровые станки на поверхности работают только шесть месяцев в году, а подземные станки в штольнях – 11–12. По этим причинам для выполнения рассчитанных объёмов колонко-

вого бурения в течение двух лет в первом варианте требуются три станка, во втором – один.

3. При бурении с поверхности существенно больше пересечений рудных тел происходит под острыми углами, что снижает качество разведочных материалов поверхностных скважин по сравнению с подземными, которые вскрывают рудные тела под большими углами.

4. Разведка скважинами из горных выработок позволяет получить большее количество запасов высокой категории, чем при разведке только скважинами с поверхности, а степень изученности рудных тел на горизонтах горных выработок увеличивается за счёт прослеживания части рудных тел горными выработками.

5. Доразведка из подземных буровых камер естественным образом трансформируется в подземные опытно-промышленные работы.

Результаты экономических расчётов стоимости ГРП при переводе ресурсов кат. P₂ в запасы кат. C₁+C₂ приведены в табл. 3 для двух вариантов оценки – поверхностной и с использованием подземных выработок, а сравнение их результатов – в табл. 4.

Итак, полученные данные стоимости ГРП при переводе ресурсов кат. Р₂ в запасы кат. С₁+С₂ на удалённых от баз снабжения рудопоявлениях, с учётом проходки подземных разведочных выработок малогабаритным самоходным оборудованием и применения колонкового бурения скважин из подземных буровых камер, свидетельствуют лишь о незначительном повышении удельного веса стоимости разведки 1 т металла в его цене (с 2,3 до 2,5%) и существенных преимуществах в качестве разведочных материалов, а также о возможности ускоренного перехода к опытно-промышленным работам на объекте с использованием пройденных разведочных выработок для целей эксплуатации и вскрытия нижерасположенных горизонтов наклонными съездами.

Рассмотренные вопросы и пути их решения являются составными частями развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации за счёт «актуализации методического обеспечения геологоразведочных работ с учётом современного научно-технического уровня» [1]. В случае жильно-прожилкового крутопадающего оруденения целесообразна его доразведка из подземных выработок, проходка которых упрощается с использованием малогабаритной бурильной и погрузоч-

но-доставочной техники. При положительных результатах изучения и переводе ресурсов в запасы промышленных категорий естественным образом реализуется переход к подземной разработке с организацией опытно-промышленных работ на основе имеющегося оборудования, с обогащением руды на модульных фабричных установках [4]. В итоге общие сроки ГРП на удалённом объекте в труднодоступном районе сокращаются, а полнота его исследования увеличивается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стратегия* развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.12.2019 г. № 2914-р.
2. Карпенко И.А., Петраш Н.Г. Резервные золоторудные месторождения России, перспективы и пути повышения инвестиционной привлекательности // Руды и металлы. 2005. № 1. С. 71–75.
3. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Т. 1. – Москва: Госгеолтехиздат, 1960.
4. Романченко А.А. Модульные золотоизвлекающие фабрики // Золото и технологии. 2017. № 1. С. 26–27.

COMPARISON OF ESTIMATION OPTIONS USING SURFACE AND UNDERGROUND CORE HOLES: EXAMPLE FROM KHACHAKCHAN SILVER OCCURRENCE, REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

D.A.Kulikov, V.F.Rogizny, A.A.Chermisin, M.V.Karpukhina
(FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

The paper discusses exploration estimate options by drilling holes from underground workings sunk by under-sized self-propelled machinery compared with drilling holes from surface. In terms of exploration costs, drilling holes from underground workings is a better option in upgrading potential resources to indicated reserves. Exploration cost per 1 t of metal increases insignificantly (from 2,3% to 2,5%) compared to its price, however, exploration material quality improves, exploration periods decrease and it is possible to speed up transition to pilot works at the deposit.

Keywords: exploration methods, sinking of mine workings, mobile mining machinery, underground hole drilling, hole drilling rates, exploration period acceleration.

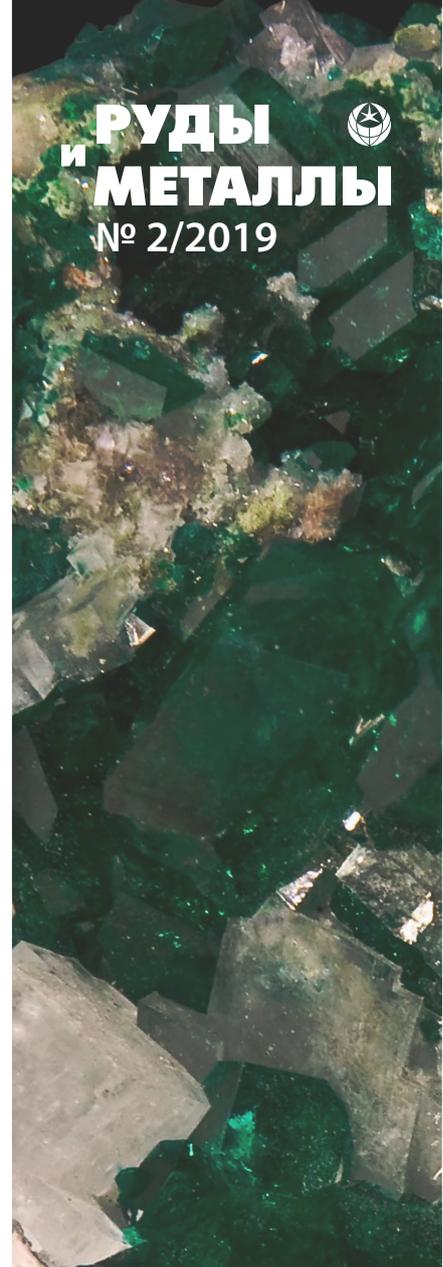
СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОИСКОВ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ В АЛАКИТ-МАРХИНСКОМ ПОЛЕ

Охарактеризованы структурно-тектонические критерии поисков кимберлитовых тел, являющиеся одними из наиболее важных в Алаakit-Мархинском кимберлитовом поле. Главнейшие элементы критериев, определяющие структуру кимберлитовых полей и размещение кимберлитовых тел, – разрывные нарушения различных порядков. В качестве наиболее перспективных рассматриваются области, в которых разнонаправленные разрывные нарушения образуют тектонические узлы, ассоциирующие с контрастными ореолами рассеяния минералов-индикаторов кимберлита (ИМК). Описаны методики, применяемые для картирования дизъюнктивных нарушений. Приведены закономерности размещения кимберлитовых тел в пределах основных рудовмещающих разломов.

Ключевые слова: Алаakit-Мархинское поле, кимберлит, тектоника, разломы.

Прогнозирование и поиски месторождений алмазного сырья основаны на ряде прогнозно-поисковых критериев и предпосылок, важнейшим из которых является структурно-тектонический контроль кимберлитового магматизма. Накопленный за время изучения Якутской алмазоносной провинции многолетний опыт [3, 5, 9, 11, 13] показывает, что к главнейшим элементам, определяющим структуру кимберлитовых полей и размещение кимберлитовых тел, относятся разрывные нарушения различных порядков. Большинство исследователей считают, что кимберлитоконтролирующие нарушения – отражение на земной поверхности глубинных разломов первого порядка, которые в осадочном чехле разветвляются в разрывные нарушения второго-третьего порядков, постепенно переходя в зоны повышенной трещиноватости и дробления [3, 7, 8, 11].

Ввиду слабой проявленности этих дизъюнктивных нарушений в физических полях и незначительной амплитуды смещения основным их признаком является приуроченность к ним кимберлитовых тел, которые локализованы вдоль основных или оперяющих разломов. Согласно существующим представлениям, Алаakit-Мархинское кимберлитовое поле (АМКП) расположено на пересечении Вилюйско-Котуйской зоны северо-западного простиранья и мощной Далдыно-Оленёкской зоны северо-восточного простиранья. В структурно-тектоническом плане АМКП увязывается с Далдыно-Оленёкской кимберлитовмещающей зоной и, наряду с Далдынским кимберлитовым полем, по комплексу поисковых признаков и предпосылок (минералогических, геохимических) оценивается высоким и средним потенциалом алмазоносности [1, 6, 10, 14–17].



**Иванов
Дмитрий Вячеславович¹**

заместитель начальника ОГРП
Вилюйской ГРЭ
ivanovdv@alrosa.ru

**Толстов
Александр Васильевич²**

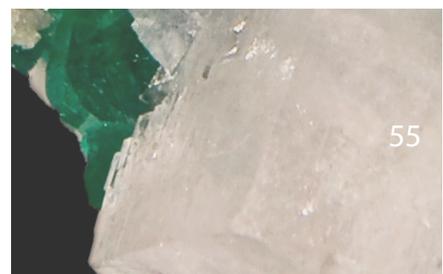
доктор геолого-минералогических наук
директор
tolstovAV@alrosa.ru

**Иванов
Вячеслав Викторович¹**

кандидат геолого-минералогических наук
главный специалист
геологического отдела Вилюйской ГРЭ
ivanovvv@alrosa.ru

¹ ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО),
пос. Айхал

² НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО),
г. Мирный



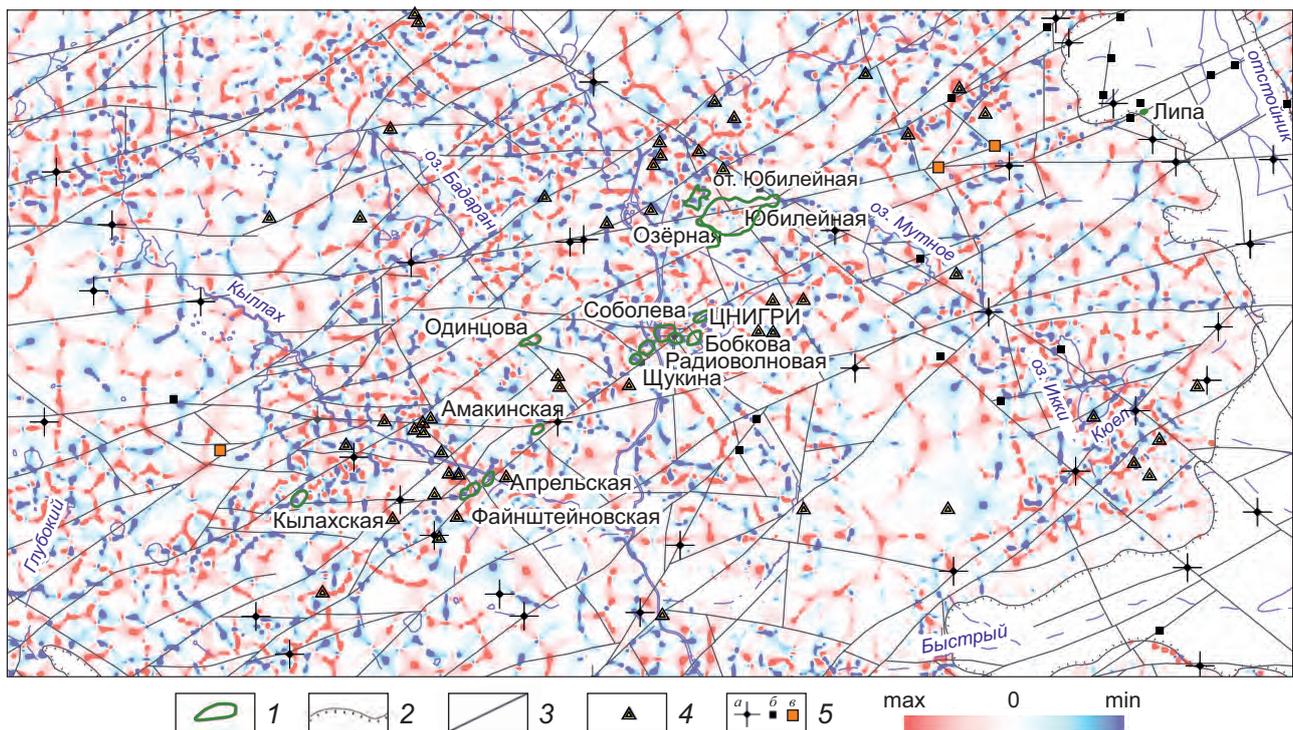


Рис. 1. ПРИМЕР КАРТИРОВАНИЯ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ ПО КАРТЕ ЭКСТРЕМУМОВ ИЗОМОЩНОСТЕЙ ДОЛЕРИТОВЫХ ИНТРУЗИЙ В ПЕРЕКРЫВАЮЩИХ ОБРАЗОВАНИЯХ, м-б 1:5000:

1 – кимберлитовые трубки; 2 – граница распространения на дневной поверхности карбонатных пород раннего палеозоя; 3 – разрывные нарушения по геолого-геофизическим данным; 4 – точки наблюдения с установленными зонами тектонического брекчирования и дробления в перекрывающих образованиях (по данным первичной и ГИС документации ИСИХОГИ Амакинской ГРЭ); 5 – точки наблюдения (для протяжённых элементов – эпицентры) на сейсморазведочных профилях, в которых определены разрыв сплошности горизонта КВ (а), нарушения достоверные (б), нарушения предполагаемые (в)

Структурно-тектонические критерии прогнозирования кимберлитовых проявлений на территории АМКП используются в практике геологоразведочных работ давно и весьма успешно [2–4, 9, 13]. Многочисленными исследователями данного поля в качестве наиболее перспективных рассматриваются области, в которых разнонаправленные разрывные нарушения образуют тектонические узлы, ассоциирующие с контрастными ореолами рассеяния минералов-индикаторов кимберлита.

Для картирования дизъюнктивных деформаций на территории АМКП применяются различные подходы, в том числе [12, 13]:

- точки наблюдения на сейсморазведочных профилях, в которых установлены нарушения сплошности горизонта КВ, сейсморазведочные аномалии трубчатого типа, говорящие о наличии здесь тектонических нарушений;

- результаты анализа гравиметрических данных, включающие сводную карту поля силы тяжести Δg АМКП, карту локальной составляющей поля силы тяжести Δg , карту полного градиента Δg , а также карты коэффициента корреляции изомощностей долеритовых интрузий с различными частотными составляющими гравитационного поля. Карты отстраивались по материалам наземных гравиразведочных работ, выполненных на площади АМКП в последнее десятилетие;
- карты экстремумов изомощностей долеритовых интрузий в перекрывающих образованиях. Картирование разрывных нарушений может проводиться как по минимальным (синий цвет), так и максимальным (красный цвет) показателям мощностей долеритов (рис. 1). Отчётливо выраженная линейность минимумов

изомощностей, которые отмечают, как правило, так называемые «межтраповые коридоры», отражает, по мнению многих исследователей, дизъюнктивные нарушения в кимберлитовмещающем цоколе. При построении этих карт, как и карт анализа гравиметрических данных, для локализации дизъюнктивных нарушений рекомендуется использовать точки наблюдений, в которых прослеживаются нарушения сплошности горизонта КВ, а также данные первичной документации буровых скважин и ГИС, непосредственно фиксирующие зоны тектонической трещиноватости и дробления, что, безусловно, позволит резко повысить эффективность картирования тектонических нарушений;

- карты изомощностей долеритовых интрузий в породах карбонатного цоколя, отстроенные по данным бурения, и сопутствующие им геологические разрезы. Пространственные ограничения многих силлов в кимберлитовмещающем цоколе имеют отчётливо линейную форму, что

может свидетельствовать о наличии здесь широко проявленных тектонических нарушений, как и наблюдаемые по латерали выклинивание, расщепление и т. п. пластовых интрузий основного состава (рис. 2);

- зоны повышенной трещиноватости, дробления, брекчирования и закарстования пород, выделенные по результатам прямых геологических наблюдений в обнажениях, поверхностных горных выработках и скважинах.

Все вышеперечисленные методики, бесспорно, обладают разной степенью информативности, вместе с тем их комплексное использование позволяет с высокой степенью достоверности картировать разрывные нарушения различного ранга.

Анализ положения разрывных нарушений, обнаруженных с учётом всего комплекса прогнозно-поисковых критериев, наглядно показывает, что в пределах АМКП в разной степени проявлены разнонаправленные системы нарушений. Наиболее выражена система дизъюнктивных нарушений се-

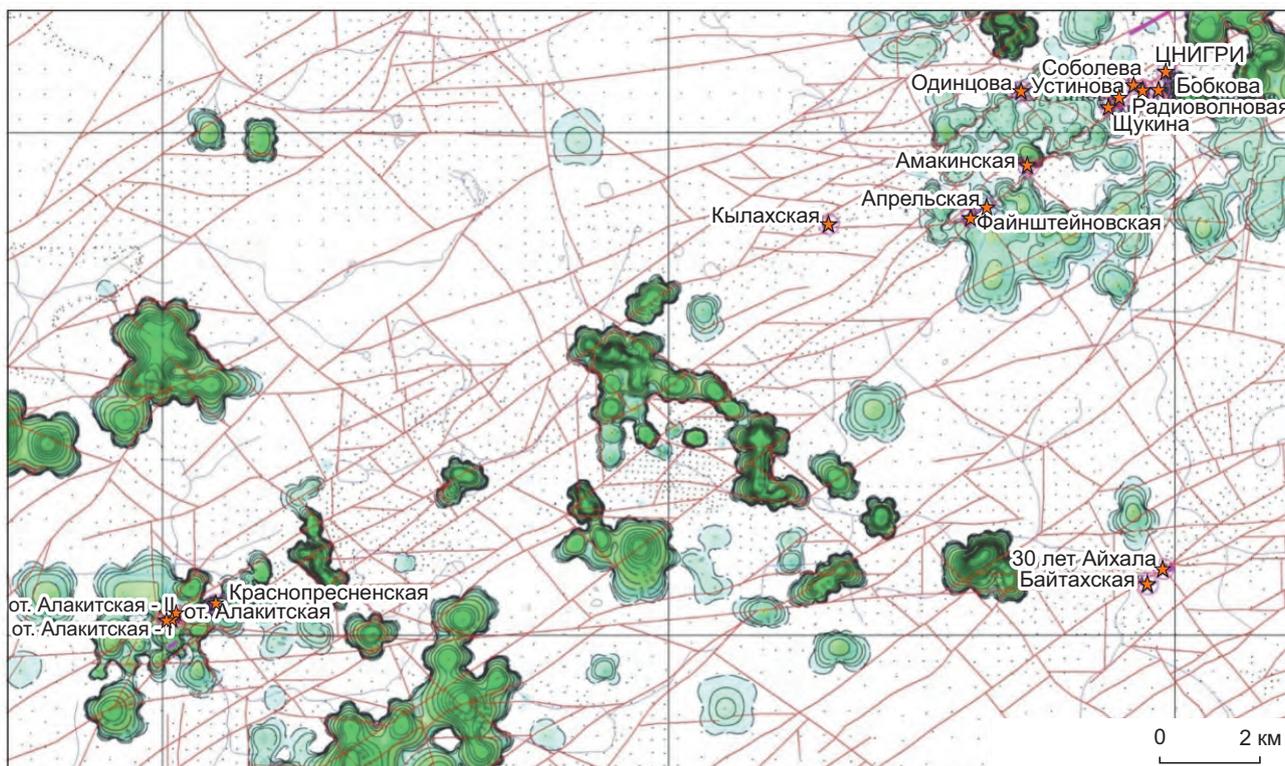


Рис. 2. ПРИМЕР ОТРАЖЕНИЯ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ НА КАРТЕ ИЗОМОЩНОСТЕЙ ДОЛЕРИТОВЫХ ИНТРУЗИЙ В ПОРОДАХ КАРБОНАТНОГО ЦОКОЛЯ:

коричневые линии – разрывные нарушения; звёздочки – кимберлитовые тела, их названия

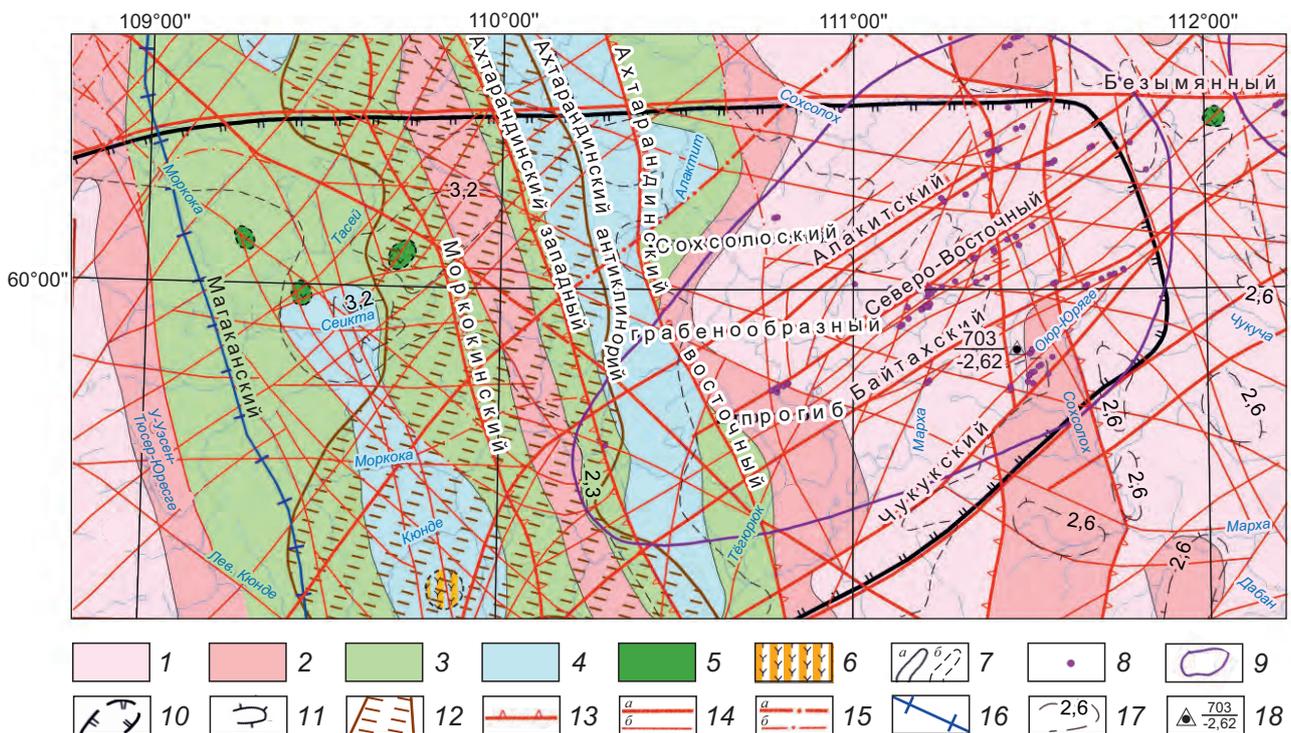


Рис. 3. СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СХЕМА АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ, м-б 1:400000:

структурно-вещественные комплексы фундамента (Анабарский мегаблок, АР): 1 – преимущественно слабомагнитные и немагнитные разности кристаллических пород (аналоги гранулитов хапчанского комплекса), 2 – средне- и слабомагнитные разности кристаллических пород (аналоги гранулитов верхнеанабарского и хапчанского комплексов), 3 – средне- и высокомагнитные разности кристаллических пород (аналоги гранулитов верхнеанабарского комплекса), 4 – высокомагнитные разности кристаллических пород (аналоги гранулитов далдынского и верхнеанабарского комплексов); 5 – интрузивные массивы основного состава; 6 – массивы центрального типа щелочно-ультраосновного и карбонатитового составов, предполагаемые по комплексу геолого-геофизических данных; 7 – контуры массивов магматических пород, закартированных на дневной поверхности (а), выделенных по геофизическим данным (б); 8 – кимберлиты; 9 – Алаakit-Мархинское кимберлитовое поле; 10 – рифтоподобные и рифтогенные структуры (грабены, грабенообразные прогибы); 11 – структуры III порядка (поднятия, выступы, горсты); 12 – зоны тектоно-термальной переработки пород архейского фундамента, заложенные в раннем протерозое; 13 – складчатые разломы фундамента, контролирующие крупные антиклинории и синклинории Анабарского мегаблока; 14 – текущие разломы, проявленные в фундаменте и в нижних горизонтах осадочного чехла (а – региональные, б – второстепенные); 15 – секущие разломы, трассируемые дайками долеритов (а – региональные, б – второстепенные); 16 – пограничные разломы складчато-блоковых структур I порядка в пределах Анабарского мегаблока; 17 – изогипсы кровли фундамента, км; 18 – скважины, вскрывшие фундамент (числитель – номер скважины, знаменатель – абсолютная отметка кровли фундамента, км)

веро-восточной ориентировки. Именно этими тектоническими нарушениями Далдыно-Оленёкской системы глубинных разломов ограничивается и контролируется пространственное размещение большинства кимберлитовых тел АМКП.

Следует подчеркнуть, что значительная часть кимберлитовых тел АМКП в пределах рудовмещающих разломов приурочена к структурным узлам, представляющим собой участки пересечения (сочленения) нескольких различно ориентированных

тектонических нарушений, т. е. к участкам с наибольшей проницаемостью земной коры. По результатам интерпретации данных наземных геофизических исследований, осуществлённых в последние годы на территории поля, наиболее часто такими «структурными узлами» являются зоны сочленения известных рудовмещающих разломов северо-восточной ориентировки с субширотными разрывными нарушениями более низкого порядка. Кроме достоверно установленных кимбер-

литоконтролирующих разломов, по геолого-геофизическим данным выделены и предполагаемые кимберлитовмещающие разрывные нарушения.

Формирование дизъюнктивных нарушений связывается с системами глубинных разломов северо-восточного простирания, в частности с Безымянным и Мерчимденским, ограничивающими соответственно с севера и юга Сохсолохский грабенообразный прогиб с амплитудой 250 м, в пределах которого локализованы известные на сегодняшний день кимберлитовые проявления АМКП (рис. 3). Ось грабена ориентирована ортогонально простиранию региональных структур фундамента [6]. По данным А.В.Герасимчука [3], в гравитационном поле грабену по морфологии соответствует минимум ($\sim 4,5 \cdot 10$ м/сек²). Относительное понижение интенсивности гравитационного поля обусловлено, вероятно, не только прогибанием кровли кристаллического основания, но и разуплотнением пород верхних горизонтов фундамента в диапазоне глубин 3–20 км [3], что может быть связано с очагом проявления кимберлитового магматизма. С кимберлитовыми проявлениями могло быть связано или могло им предшествовать интенсивное развитие мелких дислокаций (разрывных и пликтивных) в пределах грабена.

Как следует из структурно-тектонической схемы Алакит-Мархинского кимберлитового поля (см. рис. 3), внутреннее строение Сохсолохского прогиба отличается от строения прилегающих структурных блоков преимущественным развитием пликтивных и разрывных дислокаций северо-восточного простирания. Большая часть кимберлитовых тел, в том числе трубок, жил и отторженцев (частей кимберлитовых тел, отторгнутых траппами от материнских пород и смещённых по горизонтали относительно них), приурочена к северо-восточному воздыманию прогиба и находится на склонах сложно построенных локальных депрессий – Айхальской, Байтахской, Центральной и Алакитской.

Помимо основных тектонических нарушений северо-восточного и северо-западного простирания, выделяются также субширотные и субмеридиональные разломы, формирование которых связывается с Безымянным глубинным разломом, ограничивающим с севера Сохсолохский грабенообразный прогиб (см. рис. 3).

Таким образом, роль структурного контроля в локализации кимберлитовых тел несомненна. На сегодняшний день установлено, что известные ким-

берлитовые тела АМКП расположены в зонах динамического влияния выявленных и прогнозируемых рудовмещающих разломов. Эти структуры подчёркиваются линейно-цепочечным расположением кимберлитовых тел, ориентировкой длинных осей трубок и жил (СВ 50–75°).

В пределах АМКП закартирована серия рудовмещающих разломов протяжённостью от 8 до 35 км, основными из которых являются – Безымянный, Алакитский, Северо-Восточный, Байтахский, Чукукский, Мерчимденский (см. рис. 3). Все они входят в состав Далдыно-Оленёкской кимберлитоконтролирующей зоны и имеют северо-восточное простирание. Для поисков новых источников алмазного сырья наиболее перспективны пересечения рудовмещающих разломов с векторами сноса ближайших, не идентифицированных с известными кимберлитовыми телами, ореолов индикаторных минералов кимберлитов.

Выяснена закономерность расположения алмазоносных тел в пределах кимберлитовмещающих разломов. Установлено, что кимберлитовые тела располагаются на расстоянии от 1,5 до 4 км друг от друга. Исходя из этого, с учётом шлихоминологического критерия можно прогнозировать обнаружение новых коренных источников алмазного сырья.

В качестве наиболее информативных структурно-тектонических критериев локального прогноза в пределах АМКП можно рассматривать потенциально кимберлитовые структурные узлы, представляющие собой зоны пересечения северо-восточных нарушений с северо-западными и субширотными, реже с субмеридиональными. С ними могут быть связаны основные перспективы выявления новых промышленно значимых кимберлитовых тел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Василенко В.Б., Толстов А.В., Кузнецова Л.Г., Минин В.А.* Петрохимические критерии оценки алмазоносности кимберлитовых месторождений Якутии // *Геохимия*. 2010. № 4. С. 366–376.
2. *Геологические* и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии / П.А.Игнатов, К.Ю.Бушков, Я.И.Штейн и др. // *Руды и металлы*. 2006. № 4. С. 59–67.

3. Герасимчук А.В. Математическое моделирование – основной метод повышения надёжности локализации кимберлитовых полей по геофизическим данным // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. Мирный, 1998. С. 244–246.
4. Горев Н.И., Герасимчук А.В., Проценко Е.В., Толстов А.В. Тектонические аспекты строения Вилюйско-Мархинской зоны, их использование при прогнозировании кимберлитовых полей // Наука и образование. 2011. № 3. С. 5–10.
5. Иванов Д.В., Толстов А.В., Иванов В.В. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитового тела Январское (Далдыно-Алакитский алмазоносный район) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2018. № 5. С. 39–43.
6. Лапин А.В., Толстов А.В., Василенко В.Б. Петрогеохимические особенности кимберлитов Средне-Мархинского района в связи с проблемой геохимической неоднородности кимберлитов // Геохимия. 2007. № 12. С. 1292–1304.
7. Мальцев М.В., Толстов А.В., Старкова Т.С., Иванов А.С. Особенности вещественного состава кимберлитов Сюльдюкарского поля (Западная Якутия) // Наука и образование. 2017. № 4 (88). С. 37–43.
8. Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер. Геология. 2016. № 3. С. 86–94.
9. Милашев В.А. Структуры кимберлитовых полей. – Л.: Недра, 1979.
10. Новое тело высокоалмазоносных кимберлитов в Накынском поле Якутской алмазоносной провинции / А.В.Толстов, В.А.Минин, В.Б.Василенко и др. // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 3. С. 227–240.
11. Проценко Е.В., Толстов А.В., Горев Н.И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. 2018. № 4. С. 14–23.
12. Салихов Р.Ф. Дополнительные критерии прогноза кимберлитовых полей // Мат-лы Региональной науч.-практ. конф. «Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии». Мирный, 2014. С. 195–198.
13. Салихов Р.Ф., Иванюшина Е.Н., Иванов Д.В. Структурные критерии при крупномасштабном и локальном прогнозировании кимберлитов на закрытых территориях // Геология и минерагения Северной Евразии. Мат-лы совещания, приуроченного к 60-летию Института геологии и геофизики СО АН СССР. 2017. С. 205–206.
14. Симоненко В.И., Толстов А.В., Васильева В.И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. 2008. № 4–5. С. 108–112.
15. Age of Mirny field kimberlites (Siberia) and application of rutile and titanite for U-Pb Dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS / A.M.Agashev, N.P.Pokhilenko, A.V.Tolstov et al. // Geochemical Journal. 2016. Т. 50. № 5. P. 431–438.
16. Unique compositional peculiarities of olivine phenocrysts from the post flood basalt diamondiferous Malokuo-napskaya Kimberlite Pipe, Yakutia / N.V.Sobolev, A.A.Tomilenko, A.V.Tolstov et al. // Doklady Earth Sciences. 2015. Т. 463. № 2. С. 828–832.
17. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Minin V.A., Tolstov A.V. Evaluating the diamondiferous potential of unaltered kimberlites by the population models of their composition // Geochemistry International. 2012. Т. 50. № 12. С. 988–1006.

STRUCTURAL AND TECTONIC CRITERIA OF SEARCH FOR KIMBERLITE BODIES IN ALAKIT-MARKHA FIELD

D.V.Ivanov¹, A.V.Tolstov², V.V.Ivanov¹
(¹ VGRE «ALROSA JSC», ² NIGP «ALROSA JSC», Mirny)

This paper presents the description of the structural-tectonic prospecting criteria of kimberlite bodies which are among the most important ones for the Alakit-Markha kimberlite field. The key criteria elements determining the kimberlite fields' structure and kimberlite bodies' location are dislocations with a break in continuity of various orders. The most prospective areas considered are those where multidirectional dislocations with a break in continuity make up tectonic knots associated with the contrast diamond indicator mineral (DIM) dispersion haloes. The paper also describes the methods that are used for disjunctive dislocations mapping and cites the list of ore-bearing faults as well as patterns of kimberlite bodies' location within their bounds.

Keywords: Alakit-Markha field, kimberlite, tectonics, faults.

ЛИТОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ПОРОД И КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РУДЫ САЛАИРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, САЛАИРСКИЙ КРЯЖ

Рассмотрены литолого-фациальные разности рудовмещающих вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород Салаирско-Каменушинского рудного поля, их особенности, вещественный и литолого-петрографический состав, характер метасоматических преобразований. Рудная минерализация показана на примере рудной зоны Первомайское, которая приурочена к интенсивно рассланцованным, метасоматически изменённым породам промежуточных фаций и представлена золотоносными кварц-барит-колчеданными и кварц-барит-колчеданно-полиметаллическими рудами пластообразной и линзовидной форм. На основе разработанной прогнозно-поисковой модели Салаирско-Каменушинского рудного поля проанализированы объекты Салаирского кряжа, перспективные на колчеданно-полиметаллическое оруденение и выявлено сходство по большшинству характеристик Салаирско-Каменушинского рудного поля с менее изученным Огнево-Заимковским.

Ключевые слова: колчеданно-полиметаллические руды, Салаирско-Каменушинское рудное поле, обстановки локализации, жерловая, околожерловая, промежуточная и удалённая фации, изотопные исследования, метасоматиты.

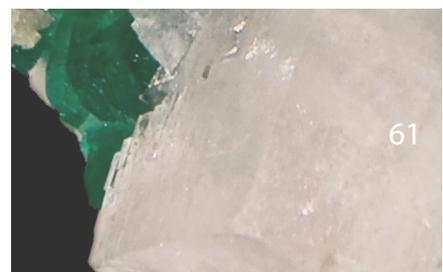
В пределах Салаирского кряжа (Салаирской минерагенической зоны) известно множество колчеданно-полиметаллических и медно-колчеданных месторождений, рудопроявлений и точек минерализации. На данный момент основные изученные и промышленно значимые объекты размещаются в Салаирском рудном районе. Оруденение вмещают вулканогенно-осадочные породы ранне-среднекембрийского возраста печеркинской свиты [4, 7], отлагавшиеся в период вулканической активности в два этапа [10] с перерывом, во время которого накапливались преимущественно терригенно-карбонатные отложения. Подстилающие породы – известняки и в меньшей степени туфогенно-терригенные отложения гавриловской свиты в виде прослоев и линз. Известняки сложены преимущественно биогенным материалом с остатками археоциат и водорослей. Они образовались в раннем и среднем кембрии и являлись рифогенными постройками крупных размеров. В районе Салаирско-Каменушинского рудного поля известняки не только подстилают, но и находятся в одном фациальном ряду с рудовмещающими породами. Выходы перекрывающих отложений по отношению к вмещающим породам расположены юго-западнее и представлены туфогенно-терригенно-карбонатными разностями анчешевской свиты с преобладанием известняков.



**Инякин
Алексей Валерьевич**

научный сотрудник
lelik0302@mail.ru

ФГБУ «Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов»,
г. Москва



Салаирско-Каменушинское рудное поле, сформированное на позднем этапе вулканической активности, представляет собой палеовпадины, выполненные вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями (рис. 1) контрастной базальт-риолитовой формации [6] и в последующем подвергшиеся складчатой деформациям.

Проведённый ранее литолого-фациальный анализ вулканогенно-осадочных толщ, слагающих Салаирско-Каменушинскую структуру [6, 10], позволил выделить различия пород по степени удалённости их от центров вулканизма. Было определено, что к жерловым фациям относятся породы кислого состава – крупновкрапленные риолиты, риодациты и дациты, реже основного – габбродолериты, околожерловым – грубообломочные туфы риолитов, риодацитов и андезитов, а также лавобрекчии, промежуточным – лавы риолитов, риодацитов, ан-

дезитов и их мелкообломочные туфы. Удалённые фации – это преимущественно осадочные породы: алевролиты, песчаники, туффиты, известняки, часто чередующиеся с туфами кислого и основного составов, туфоалевролитами, туфопесчаниками. Значительную роль среди пород удалённых фаций играют известняки.

Породы жерловой фации. Риолиты – породы белёсо-серого цвета с порфировой структурой. Порфировые выделения представлены единичными фенокристаллами кварца и плагиоклаза размером от 1,0–2,0 до 10 мм. Вокруг фенокристаллов кварца обычно наблюдается каёмка из венчиков мутноватого вторичного кварца. Плагиоклазы образуют гломеропорфировые сростки. Основная масса мелкозернистая кварц-полевошпатового состава с ясно выраженной сферолитовой текстурой. Породы повсеместно изменены: преимущественно

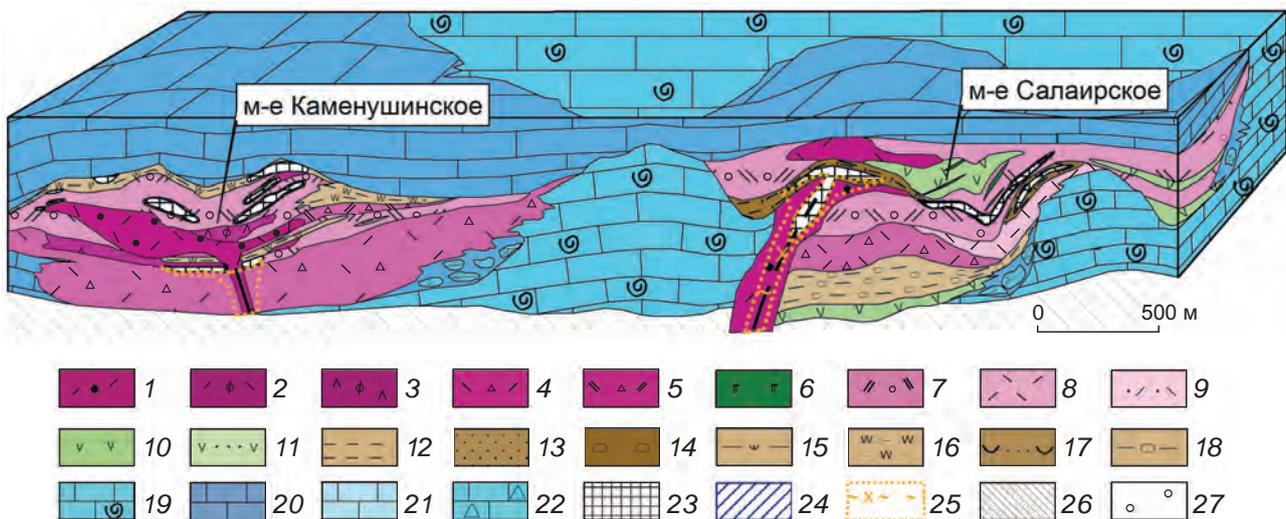


Рис. 1. ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЯ САЛАЙРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ:

фации пород жерловой и околожерловой зон вулканизма: 1 – риолиты и риодациты крупновкрапленные, включающие лавобрекчии, кластолавы и грубообломочные туфы риодацитового состава, 2 – афировые риолиты, 3 – афировые дациты, 4 – лавобрекчии риолитов, 5 – лавобрекчии риодацитов, 6 – габбродолериты и долериты; фации пород промежуточной зоны вулканизма: 7 – чередование горизонтов лав кислого состава, туфов риодацитового состава от мелко- до грубообломочной размерности и туфов разного состава мелко- и среднеобломочной размерности; 8 – лавы риолитов, 9 – туфы мелко- и среднеобломочные риолитового состава, 10 – лавы андезитов, 11 – туфы мелко- и среднеобломочные андезитового состава; фации пород удалённой зоны вулканизма: 12 – алевролиты с незначительной примесью туфогенного материала, 13 – песчаники, 14 – конгломераты, 15 – туфоалевролиты, 16 – углеродистые алевролиты, 17 – туфопесчаники, 18 – чередование алевролитов, песчаников, гравелитов, конгломератов с примесью туфогенного материала, 19 – рифогенные известняки гавриловской свиты, 20 – известняки, 21 – чередование известняков с известковистыми алевролитами, 22 – брекчии обрушения в известняках; 23 – рудные зоны колчеданно-полиметаллических с золотом и серебром руд; 24 – прогнозируемые зоны, содержащие колчеданно-полиметаллическую с золотом и серебром рудную минерализацию; 25 – зоны интенсивного развития кварц-серицит-хлоритовых, серицит-хлорит-кварцевых, кварц-хлорит-серицитовых пород; 26 – метаморфический комплекс основания, R₃–Є₁; 27 – надрудные породы, Є₂₋₃

окварцованы, в меньшей степени хлоритизированы, серицитизированы, содержат вкрапленность пирита. Когда в риолитах появляются выделения топаза, то они классифицируются как онгониты (по В.И.Коваленко), хотя высокая степень изменения пород не позволяет с полной уверенностью проводить такое разделение.

Риодациты – породы светло-серого цвета, промежуточного состава между риолитом и дацитом. Характеризуются также порфировой структурой, обусловленной наличием крупных (размером 1,0–5,0 мм) фенокристаллов плагиоклаза, калиевого полевого шпата и небольшого количества кварца. Основная масса мелко-тонкозернистая, состоит из полевых шпатов и кварца, альбитизированная, обладает флюидальной текстурой.

Дациты – породы зеленовато-серого цвета с порфировой структурой. Фенокристаллы представлены плагиоклазом и кварцем размером от 0,2 до 8,0 мм, составляющими 5–10% от объёма породы. Содержание кварца не более 5% от массы породы. Кроме того, отмечаются гломеропорфиновые сростки плагиоклаза. Основная масса состоит из микролитов плагиоклаза размером 0,1–0,2 мм, промежутки между которыми выполнены хлоритизированным стеклом. Структура основной массы микролит-фельзитовая. Дациты интенсивно альбитизированы, в меньшей степени окварцованы, хлоритизированы, содержат вкрапленность пирита.

Габбродолериты – породы от серо-зелёного до тёмно-зелёного цвета, среднезернистой, «диабазовой» структуры, массивной текстуры. Состоят из призм пироксена размером 0,5–1,5 мм и идиоморфных лейст плагиоклаза размером 0,5–1,0 мм. Пироксены часто замещены роговой обманкой. В промежутках между плагиоклазами и пироксенами развиты хлорит и рудный минерал. Структура породы призматически-зернистая. Акцессорные минералы – апатит, сфен. Габбродолериты карбонатизированы, хлоритизированы.

Породы околожерловой и промежуточной фаций. Околожерловые фации представлены грубообломочными туфами риолитового, риодацитового и андезитового составов, промежуточные – мелкообломочными туфами того же состава (хорошо наблюдаются в шлифах), а также лавами риолитов, риодацитов, андезитов.

Туфы кислого состава – породы светло-серого цвета, обломочной текстуры. Обломки угловатой

или окатанной формы составляют от 50 до 70% от объёма породы. Представлены обломками кристаллов (кварца, плагиоклаза, калиевого полевого шпата размером от 1,0 до 2,0 мм) и пород (кремнистых алевролитов, лав кислого состава размером до 4,0 мм). Обломки полевых шпатов интенсивно альбитизированы, серицитизированы. Цементирующая тонко-мелкозернистая кварц-полевошпатового состава масса также изменена: окварцована, хлоритизирована, серицитизирована. Чешуйки серицита и хлорита образуют лентовидные выделения, подчёркивающие флюидальную структуру основной массы. Породы содержат вкрапленность пирита. Классифицируются как литокристаллические туфы кислого состава (риолитов или риодацитов).

Туфы андезитов – породы серовато-зелёного цвета, обломочной текстуры. Обломки составляют от 20 до 40% от общей массы породы и представлены кристаллами плагиоклаза размером 0,3–0,2 мм, разложенного цветного минерала, замещённого хлоритом и редко кварцем. Плагиоклазы и связующая стекловатая основная масса альбитизированы, серицитизированы, калишпатизированы, иногда слабо окварцованы. Структура основной массы флюидальная. Породы содержат вкрапленность сульфидов, а также акцессорные минералы – апатит, сфен.

Лавы кислого состава – породы светло-серого цвета, часто порфировой структуры. Фенокристаллы составляют не более 15–20% от объёма породы и представлены кварцем и альбитом размером 1,0–2,0 мм. Альбит, развитый по плагиоклазу, образует гломеропорфиновые сростки. Основная масса состоит из мельчайших микролитов кварца, плагиоклаза, часто со сферолитовой или флюидальной структурой. Породы окварцованы, серицитизированы. В зависимости от состава плагиоклаза лавы кислого состава соответствуют риолитам или риодацитам.

Лавы андезитов – породы серовато-зелёного цвета, порфировой структуры. Вкрапленники составляют 10–15% от объёма породы и представлены плагиоклазами размером от 0,3 до 1,0 мм. Плагиоклазы также образуют гломеропорфиновые сростки размером 1,0×1,0 мм. Основная масса тонко-мелкозернистая, состоит из микролитов альбитизированного и хлоритизированного плагиоклаза. Структура основной массы пилотакситовая. В породе в небольшом количестве (до 5%) отмеча-

ются кварц и вкрапленность пирита. Акцессорные минералы – апатит, сфен.

Породы удалённых фаций. Под понятием «удалённые фации» подразумеваются шельфовые и прибрежно-морские фации. Самыми распространёнными породами на Салаирско-Каменушинском рудном поле, приуроченными к удалённым зонам вулканизма, являются алевролиты, туфогенные алевролиты, песчаники, туфопесчаники, туффиты, известняки.

Алевролиты – породы от светло-серого до зеленовато-серого цвета, псаммито-алевролитовой структуры. Псаммиты составляют 10–15% от массы породы, представлены мелкими обломками кварца и плагиоклаза. На материал, состоящий из частиц алевролитовой размерности (0,01–0,1 мм), приходится 80–85%. Часто в породе прослеживается полосчатая текстура, обусловленная чередованием полос разного состава или различной зернистости. По составу встречаются кремнистые, глинисто-кремнистые, известковистые, углеродсодержащие алевролиты. Почти все их разновидно-

сти изменены: окварцованы, серицитизированы, хлоритизированы, карбонатизированы, интенсивно рассланцованы, содержат вкрапленность пирита. Иногда в алевролитах обломки кварца и плагиоклаза составляют до 50% от объёма породы, в этом случае они отвечают алевропесчаникам. Когда в алевролитах присутствует туфогенный материал в количестве 15–20% от объёма породы, то они классифицируются как туфоалевролиты.

Песчаники – породы зеленовато-бурого цвета, мелко-среднезернистой структуры, обломочной текстуры. Обломки неправильной или угловатой формы размером от 0,1–0,2 до 0,5–0,7 мм. Представлены кварцем и полевым шпатом. Цемент тонкозернистый, кварц-полевошпатового состава, обычно серицитизированный, хлоритизированный. В цементе часто имеется пирокластический материал (5–10% от массы породы). Такие породы классифицируются как туфопесчаники.

Туффиты – породы тёмно-серого с буроватостью цвета, криптозернистой структуры, обломочной текстуры. В них содержится до 50% пироклас-

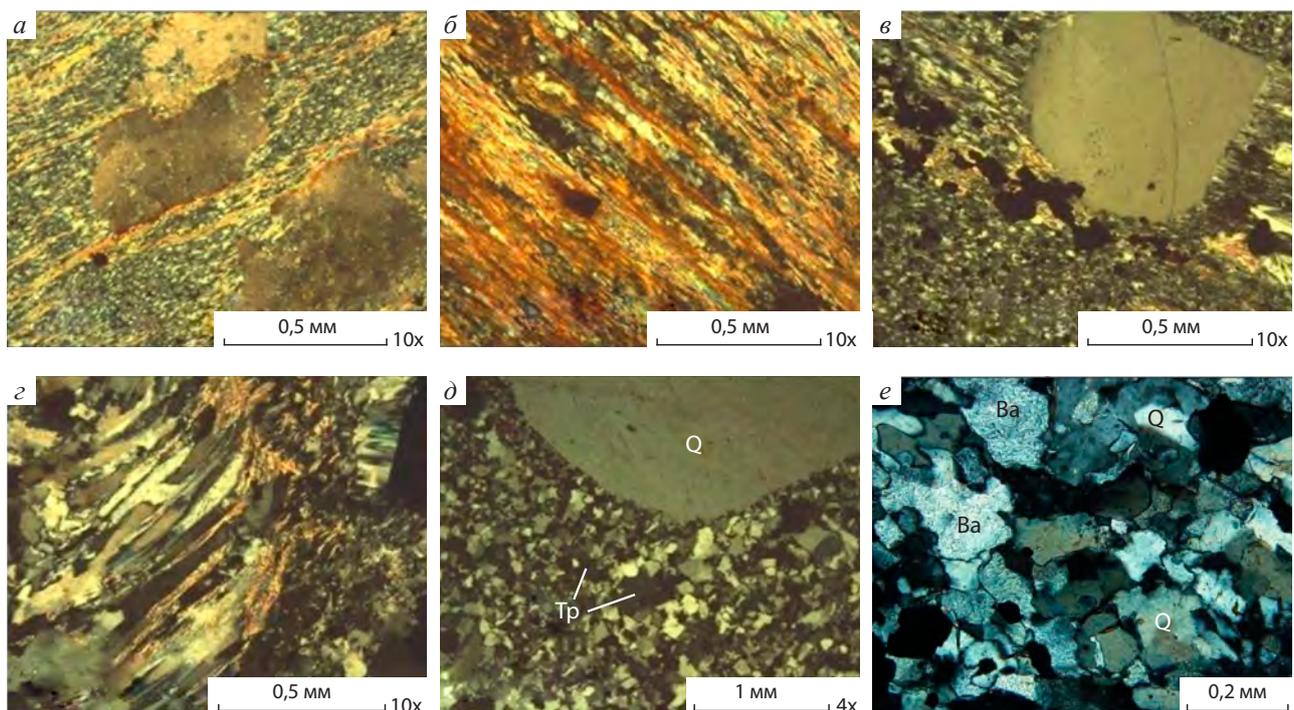


Рис. 2. МЕТАСОМАТИТЫ ГИПОГЕННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ:

кварц-серицитовый метасоматит рассланцованный, развитый по риолиту (а) и алевролиту (б); в – кварц-серицит-хлоритовый метасоматит по риолиту; г – кварцит-серицит-хлоритовый рассланцованный метасоматит с пиритом; д – кварцит, развитый по онгониту; е – барит-кварцевая порода с включением рудных минералов; николи скрещены

тического материала. Состоят из мелких обломков кварца и полевых шпатов, погружённых в кремнистый цемент. Породы обычно окварцованы, хлоритизированы, серицитизированы с тонкой вкрапленностью пирита.

Известняки – породы от светло-серого до серого цвета, мелко-среднезернистой структуры, массивной или полосчатой текстуры. Последняя обусловлена чередованием полос разной зернистости или различного состава. Известняки состоят из 90–95% кальцита, 5–10% кварца и полевого шпата. Иногда в промежутках между кальцитами развит доломит. Такие породы отвечают доломитовым известнякам. В известняках содержатся многочисленные остатки фауны.

Околорудные изменённые породы. Колчеданно-полиметаллические месторождения Каменушинское и Салаирское и их рудные зоны (Кварцитовая сопка, Первомайское, Александровское и др.) повсеместно сопровождаются околорудно-изменёнными породами, которые формируются в процессе кислотного выщелачивания и соответствуют кварц-серицитовой формации, выделенной В.А.Жариковым и Б.И.Омельяненко [5]. По характеру ведущих процессов различаются метасоматиты гипогенного выщелачивания, осаждения и малоинтенсивного гидролитического разложения [11].

Метасоматиты гипогенного выщелачивания. Распространены практически во всех рудных зонах Салаирско-Каменушинского рудного поля. Представлены кварцитами, кварц-серицитовыми и кварц-серицит-хлоритовыми породами. Состав продуктов выщелачивания в существенной степени определяется составом вмещающих пород. По породам кислого состава (риолитам, лавам, туфам риолитов) образуются кварциты и кварц-серицитовые метасоматиты, по породам основного (долеритам, лавам и туфам андезитов) – кварц-серицит-хлоритовые, реже кварц-серицит-хлорит-карбонатные.

Метасоматиты гипогенного выщелачивания в результате динамометаморфизма рассланцованы, преобразованы и нередко превращены в кварц-серицитовые и кварц-серицит-хлоритовые сланцы. На таких месторождениях в распределении продуктов выщелачивания, в поперечном к рудоносным структурам направлении, проявляется зональность, выраженная в развитии в центральной зоне кварцитов и кварц-серицитовых пород, а во внешней – серицит-хлорит-(карбонатно)-кварце-

вых. На месторождениях, сохранивших первичную структуру, продукты гипогенного выщелачивания приурочены к подводющему каналу, где концентрируются обычно кварциты и кварц-серицитовые метасоматиты, а за его пределами – кварц-серицит-хлоритовые. Метасоматиты выщелачивания почти всегда содержат рассеянную сульфидную вкрапленность.

Кварц-серицитовые метасоматиты – породы светло-серого цвета, лепидогранобластовой структуры. Состоят из кварца и серицита, количество которых колеблется с преобладанием то одного, то другого минерала. Рудный минерал (пирит) составляет 10–15% от объёма породы. Когда кварц-серицитовая порода развита по риолиту или онгониту, то в ней сохраняются единичные порфиновые выделения плагиоклаза, которые частично или полностью замещены серицитом и кристаллами топаза (рис. 2, а). Когда кварц-серицитовый метасоматит развит по туфу кислого состава, то в нём просматривается обломочная текстура с обломками кварца и полностью изменёнными плагиоклазами. При замещении туфогенного алевролита кварц-серицитовым метасоматитом в нём сохраняются следы полосчатой текстуры, в направлении которой породы рассланцованы (см. рис. 2, б).

Кварц-серицит-хлоритовые породы, развитые по туфам кислого состава, зеленовато-серого цвета, состоят из кварца (10–15%), серицита (30–35%), хлорита (45–55%), пирита (5%). Обломочная текстура обусловлена сохранившимися обломками кварца. Если кварц-серицит-хлоритовый метасоматит замещает риолит, то в нём отмечается реликтовая порфировая структура (см. рис. 2, в). Кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты, развитые по алевролитам, состоят из кварца (10%), серицита (40%), хлорита и рудного минерала (50%). Количество серицита и хлорита колеблется: то преобладает хлорит, то серицит. Породы обычно рассланцованы (см. рис. 2, г).

Существенно окварцованные породы (кварциты) мелко-среднезернистые, от светло-серого до практически белого цвета, состоящие из кварца (85–90%), серицита (10%), хлорита (5%). Часто рудные минералы в кварците составляют до 50%. При развитии кварцита по онгониту сохраняются единичные фенокристаллы кварца и кристаллики топаза (см. рис. 2, д). Кварциты наиболее широко распространены в пределах рудной зоны Кварцитовая сопка. Здесь вблизи рудных тел в них отмеча-

ются жильно-метасоматические проявления барита, кварца и карбоната, в результате чего формируются кварц-баритовые, барит-кварцевые, барит-кварц-карбонатные породы с рудными минералами.

Кварц-баритовые и барит-кварцевые породы (см. рис. 2, е) белого и желтовато-белого цвета, средне-крупнозернистой структуры. Состоят из кварца и барита, количество которых варьирует. Кристаллы барита размером 2,0–4,0 мм хорошо выделяются на фоне кварца. Рудные минералы (галенит, сфалерит, пирит) составляют от 10%, иногда до 50–60% от объёма шлифа. Кристаллы пирита часто окружены чешуйками хлорита, кварца или серицита.

Кварц-барит-карбонатные породы светло-серого с желтоватостью цвета, равномернозернистые. Состоят из кварца, барита, карбоната, небольшого количества серицита и рудных минералов (пирита, сфалерита, галенита). Породы часто рассланцованы. Направление рассланцевания подчёркивается вытянутыми кристаллами кварца, барита, карбоната. Даже пятнистые выделения рудных минералов ориентированы по направлению рассланцевания.

Метасоматиты осаднения. Процесс гипогенного выщелачивания сопровождается выносом и переотложением основных компонентов из вмещающих пород, вследствие чего формируются метасоматиты осаднения – хлоритовые, серицитовые, хлорит-карбонатные. На колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая эти породы образуют крупные метасоматические тела и линзы длиной от 50–100 до 500 м при мощности от 0,5 до 100 м [8], приуроченные непосредственно к рудным телам. На Салаирско-Каменушинском рудном поле в связи с интенсивным динамометаморфизмом и рассланцеванием метасоматиты осаднения сохраняются в усечённом виде. Здесь сформированы только компактные серицитовые, хлоритовые линзочки и жилы небольших размеров, с которыми ассоциируют кварц, барит, сульфиды.

Метасоматиты малоинтенсивного гидролитического разложения. Данные метасоматиты наиболее распространены по сравнению с метасоматитами гипогенного выщелачивания и отложения. По составу продукты малоинтенсивного гидролитического разложения близки к таковым в периферических зонах околорудных метасоматитов гипогенного выщелачивания. В зависимости от со-

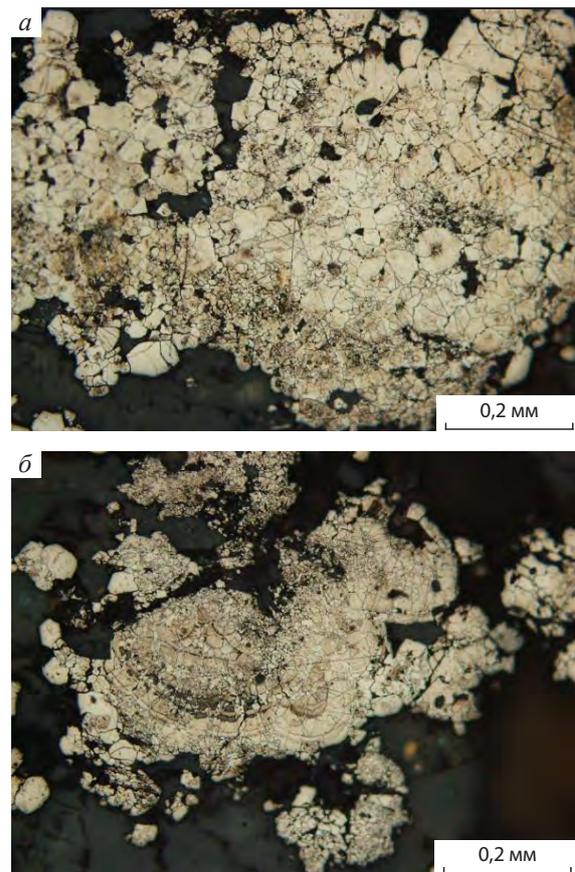


Рис. 3. ТРАВЛЕНИЕ ПИРИТА КОНЦЕНТРИРОВАННОЙ АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ:

а – гранобластовая структура пирита с реликтами почковидной; *б* – концентрически-зональная, почковидная структура пирита, участками видно начало превращения в гранобластовый агрегат

става вмещающих пород преимущественно развиты ассоциации кварца, серицита, хлорита, альбита (по вулканитам кислого состава и осадочным породам) или серицита, хлорита, карбоната, альбита (по вулканогенным породам среднего и основного составов). Такие новообразования в виде пятнисто-вкрапленных скоплений составляют не более 20–25% от объёма пород. Ореолы продуктов малоинтенсивного гидролитического разложения прослеживаются на расстояние от 300–500 м до нескольких километров от рудных зон, они фиксируют не только месторождения, но и рудные поля.

Рудная минерализация. По данным А.Л. Дергачёва [2], в геологической истории Земли выделяются четыре основных относительно коротких периода колчеданообразования с пиком активно-

сти в кембрии–ордовике. В это время сформировались главные колчеданосные провинции мира, в том числе Салаирская. Важнейшими факторами образования колчеданных руд являются формационный (связь с контрастными или последовательно дифференцированными вулканогенными формациями, что было показано выше), близость источника рудного вещества, наличие структур, благоприятствовавших накоплению и быстрому захоронению крупных рудных тел, а также большая продолжительность процессов рудообразования на фоне палеовулканического режима [3]. Стратиформные рудные тела Салаирско-Каменушинского рудного поля пространственно и парагенетически тесно связаны с контрастной базальт-риолитовой формацией и приурочены к промежуточным или удалённым фаціальным зонам [10].

Особенности состава и строения руд Салаирско-Каменушинского рудного поля ранее рассматривались Г.С.Лабазиным, А.С.Лапуховым, К.Р.Ковалёвым и другими исследователями. Новые данные по минеральному составу стратиформных руд и стадийности их образования получены при изучении рудной зоны Первомайская, которая приурочена к интенсивно расланцованным и метасоматически изменённым вулканогенно-осадочным породам промежуточной фаціальной зоны. В пределах рудной зоны чередуются горизонты лав кислого состава, их туфов и туфов разного состава мелко- и среднеобломочной размерности с падением в западном направлении под углом $\sim 70^\circ$.

Золотосодержащие кварц-барит-колчеданные и кварц-барит-колчеданно-полиметаллические рудные тела характеризуются пластообразной и линзовидной формами. Главные рудные минералы – пирит, марказит, сфалерит, блеклая руда, галенит, аксессуарные – халькопирит, золото, электрум, аргентит, сульфосоли серебра. Структуры руд коллоидная, гранобластовая, идиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, метазернистая, интерстиционная, эмульсионная, коррозионная, структуры дробления, замещения, перекристаллизации. Текстуры руд прожилково-гнездово-вкрапленная, густовкрапленная до массивной, полосчатая, пятнистая, брекчиевидная.

Фактический материал свидетельствует о двухэтапном процессе рудообразования. На первом этапе сформировались основные рудные залежи в результате гидротермально-осадочного процес-

са и (или) придонного метасоматического замещения слаболитифицированного осадка, на втором, метаморфогенном, они подверглись интенсивному дислокационному и контактовому метаморфизму.

Наиболее ранними минералами в составе ассоциаций, отвечающих первому этапу, являются пирит-1 и марказит, которые встречаются в виде массивных аллотриоморфных скоплений, а также сфалерит-1. В скоплениях пирит разбит многочисленными трещинами, участками сильно раздроблен. Как правило, он имеет гранобластовое строение (рис. 3, а), однако при диагностическом травлении концентрированной азотной кислотой были установлены и реликты концентрически-зонального, почковидного строения (см. рис. 3, б). На фото видны как реликты зонального строения в гранобластах, так и начало (неполное) превращения первичных почек в гранобластовый агрегат. Близкоодновременно с пиритом выделялся сфалерит-1, который образовался раньше других полиметаллов. При травлении сфалерита в парах царской водки обнаруживается его двойниковое строение.

На гидротермально-метасоматической стадии отлагались сфалерит-2, галенит, развивающийся в интерстициях и вдоль границ зёрен сфалерита, затем блеклая руда, замещающая и цементирующая другие сульфиды (рис. 4, а). Полиметаллы образуют структуры интерстициальные, цементации, коррозионные. Хотя блеклая руда и галенит постоянно ассоциируют со сфалеритом-2, откладывались они несколько позднее.

Наличие реликтов концентрически-зонального, почковидного строения пирит-марказитового агрегата свидетельствует о первичном гидротермально-осадочном происхождении ранних минералов. Формирование сфалерита-2 и других полиметаллов, которые цементируют и корродируют ранние минералы в массивных рудах, а также образуют самостоятельные пунктирно-вкрапленные полосчатые и вкрапленные руды, происходит гидротермально-метасоматическим путём, когда новые порции вещества поступали в слаболитифицированный осадок.

Выделяются два минеральных типа руд – кварц-барит-колчеданно-полиметаллический и колчеданно-полиметаллический с преобладанием колчеданной составляющей.

Руды колчеданно-полиметаллические с преобладанием колчеданной составляющей обычно мас-

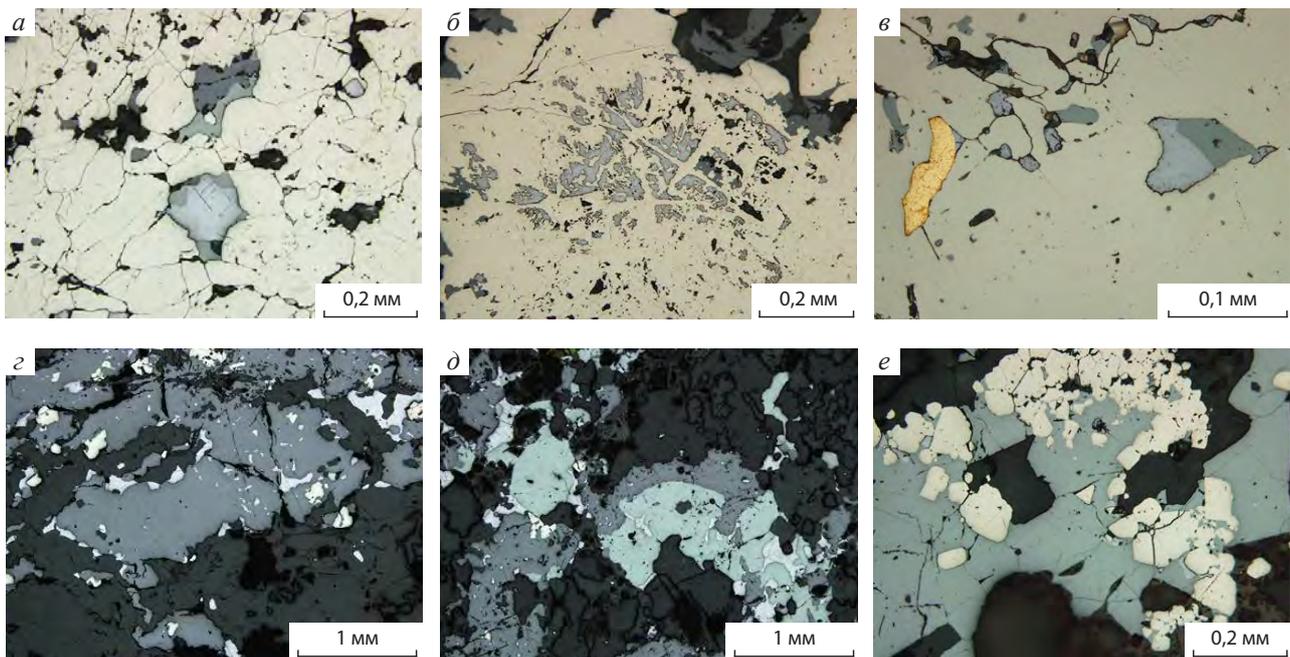


Рис. 4. РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ:

а – замещение галенита и сфалерита блеклой рудой во включениях в пирите; *б* – включения галенита в пирите; *в* – морфология выделения золота в пирите: включения в пирите галенита (голубоватый), блеклой руды (серая) и сфалерита (тёмно-серый); *г* – вытянутые выделения сфалерита (тёмно-серый) с вростками галенита (голубоватый) и реликтами пирита (белый); *д* – морфология выделений сульфидов; *е* – блеклая руда (серая) цементирует пирит

сивные или плотновкрапленные. Главные минералы – пирит-1 и марказит, находящиеся в тесном прорастании и образующие крупные аллотриоморфные выделения, цементируемые кварц-баритовым агрегатом. Пирит и марказит интенсивно раздроблены, часто превращены в гранобластовый агрегат. В некоторых случаях наблюдается регенерация зёрен пирита. Сфалерит-1 ассоциирует с пиритом, изометричен, разбит трещинами.

По пириту развиваются сфалерит-2, блеклая руда и галенит, замещая его. Размер их выделений 0,1–0,4 мм, иногда до нескольких миллиметров. Кроме того, эти минералы развиваются в интерстициях зёрен пирита и зон его роста в виде мелкой вкрапленности и ветвящихся скелетных выделений. На некоторых участках вкрапленность может быть очень насыщенной (см. рис. 4, б). В ней также иногда встречается халькопирит.

Золото и электрум наблюдаются в качестве включений в пирите вместе с блеклой рудой или сфалеритом-2 (см. рис. 4, в). Золотины размером 0,02–0,1 мм располагаются в интерстициях зёрен пирита, образуя сростания с блеклой рудой или

сфалеритом. Форма золотин обычно угловатая, изометрическая, иногда отмечаются золотины вытянутой, округлой форм в зависимости от формы интерстиции.

Кварц-барит-колчеданно-полиметаллические руды гнездово-вкрапленные, плотновкрапленные, пунктирно-вкрапленные полосчатые, прожилковидные. Наиболее часто фиксируются пунктирно-вкрапленные руды, в которых сульфиды располагаются тонкими полосами (1–2 мм) в кварце. Полосы состоят из вытянутых пунктирных выделений сульфидов, среди которых чаще всего преобладает сфалерит-2 (иногда большую роль играет блеклая руда), образующий зёрна до 1,5 мм (см. рис. 4, г–д). Эмульсионная вкрапленность в сфалерите отсутствует. Другие сульфиды тесно прорастают в сфалерит. Пирит-2 находится в сфалерите в виде включений (скоплений) изометрических гипидиоморфных и аллотриоморфных зёрен размером 0,1–0,3 мм. Пирит цементируется и корродируется сфалеритом и блеклой рудой (см. рис. 4, ж). Блеклая руда и галенит сростаются со сфалеритом-2, при этом блеклая руда и галенит корродируют сфалерит и обра-

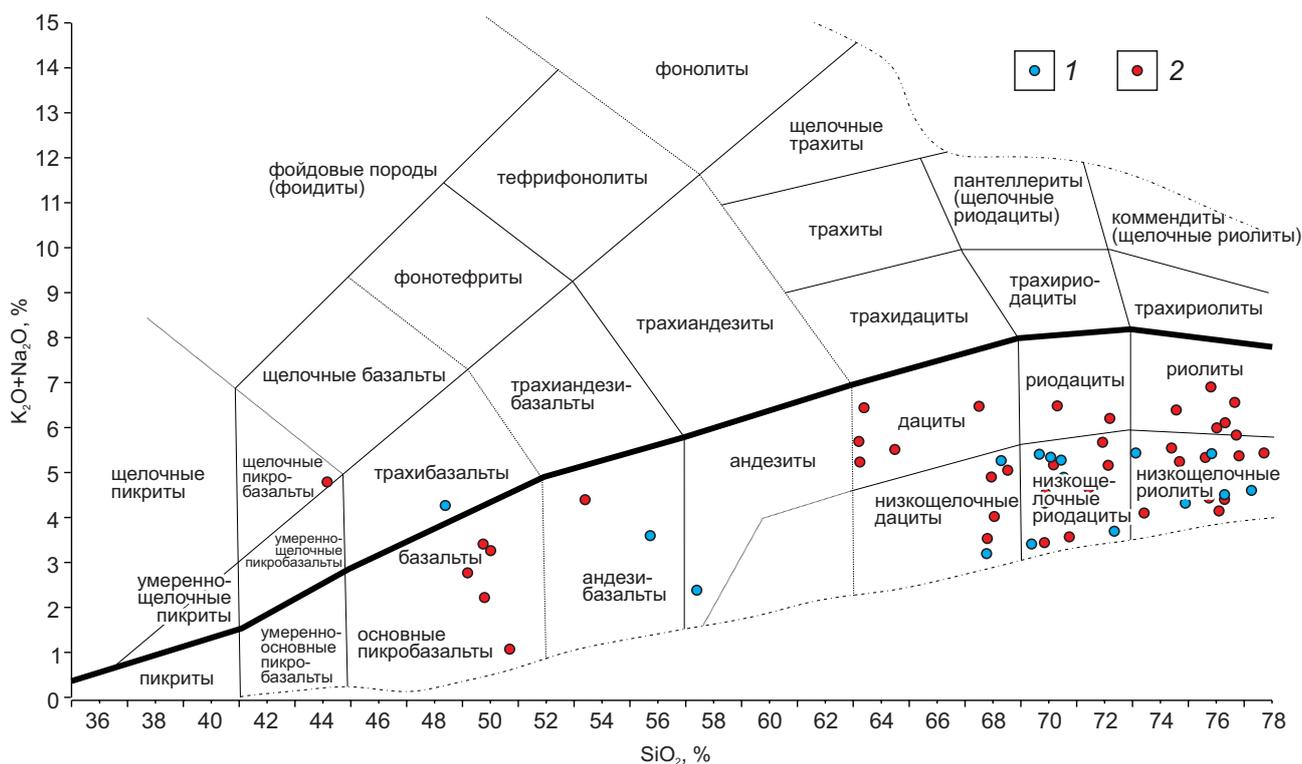


Рис. 5. СОСТАВ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД В КООРДИНАТАХ $SiO_2-(K_2O+Na_2O)$ ОГНЕВО-ЗАЙМКОВСКОГО (1) И САЛАЙРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО (2) РУДНЫХ ПОЛЕЙ

зуют вrostки в интерстициях сфалерита. В галените изредка наблюдаются включения очень близкого по виду минерала, слабоанизотропного, с рельефом ниже, чем у галенита, предположительно акантита.

На метаморфогенном этапе руды подверглись метаморфическим воздействиям, деформации, дроблению и перекристаллизации, в некоторых случаях регенерации, о чём, в частности, свидетельствует выполнение барит-колчеданно-полиметаллическими рудами ядерных частей мелких складок, где колчеданно-полиметаллическая руда находится во внутренней части ядра, а внешняя его зона выполнена кварц-баритовым агрегатом.

Изотопные исследования показали, что сульфидная сера в рудах месторождения Первомайское существенно обогащена изотопом $\delta^{34}S$ (+2,3... +7,2‰), что говорит об участии в рудообразовании изотопно-«тяжёлого» сульфата морской воды [1]. Известно [9], что среди всего ряда вулканогенных колчеданных месторождений подобными наиболее высокими значениями $\delta^{34}S$ (от +5±1 до +7±1‰) характеризуются золото-колчеданно-полиметал-

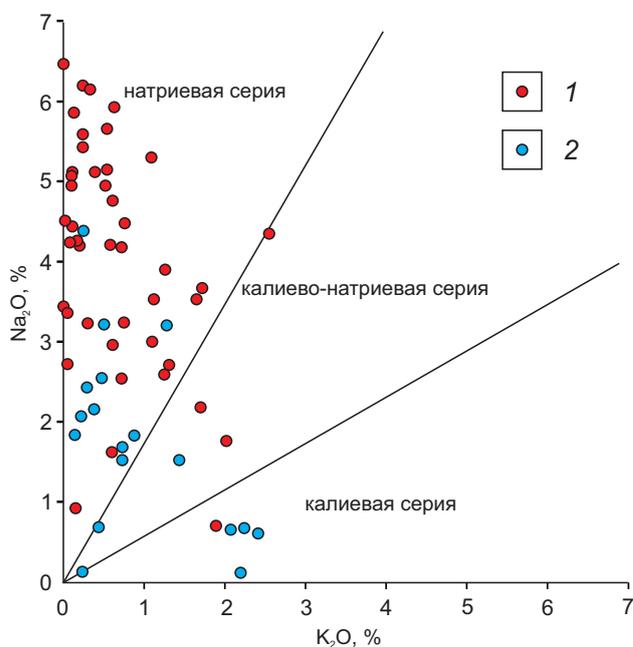


Рис. 6. ДВУМЕРНАЯ ДИАГРАММА (K_2O-Na_2O) ДЛЯ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД ОГНЕВО-ЗАЙМКОВСКОГО (1) И САЛАЙРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО (2) РУДНЫХ ПОЛЕЙ

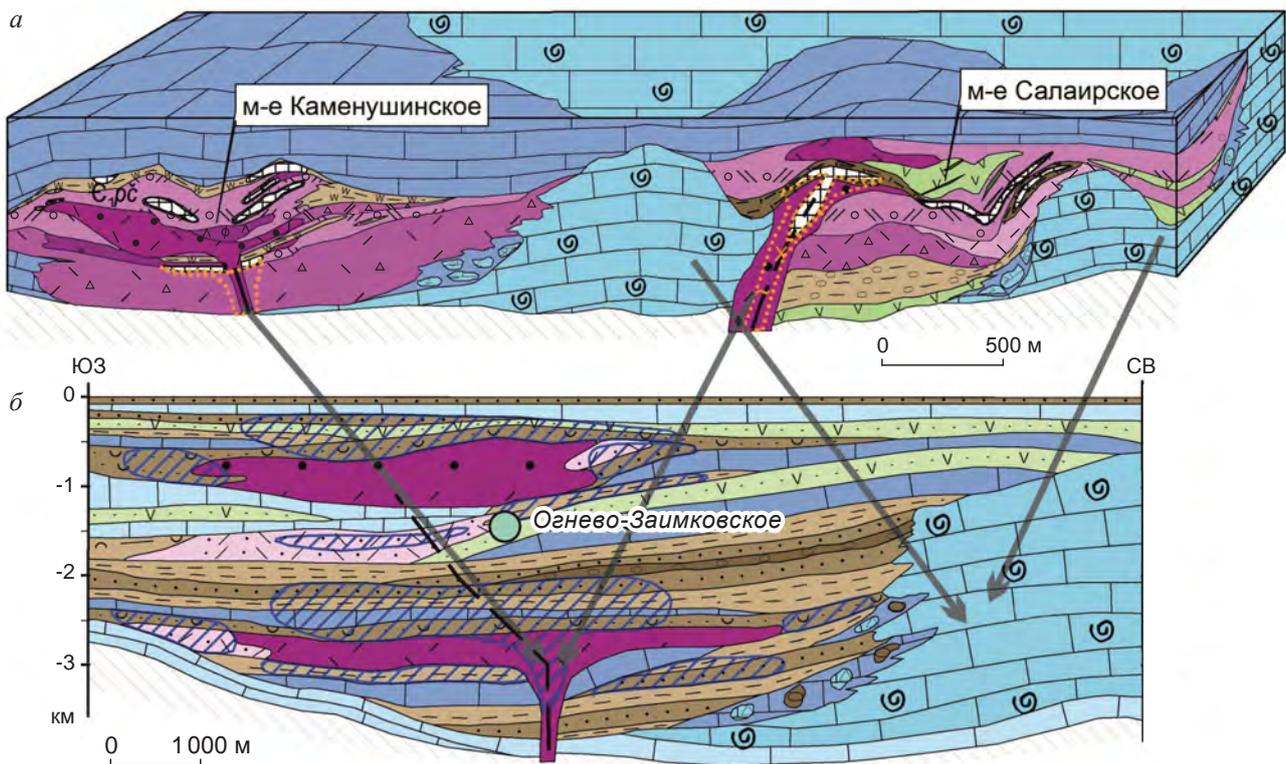


Рис. 7. СОПОСТАВЛЕНИЕ ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЙ ИЗУЧЕННОГО САЛАЙРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (а) И ПОТЕНЦИАЛЬНО РУДОВМЕЩАЮЩЕЙ ОГНЕВО-ЗАЙМКОВСКОЙ ПЛОЩАДИ (б):

усл. обозн. см. рис. 1

личные месторождения типа Куроко (в том числе рудноалтайские). Над рудными телами (в зоне развития гематита) $\delta^{34}\text{S}$ пирита резко снижается. Обоснована модель, согласно которой в рудообразовании участвовала исключительно сера морской воды, а изотопно-геохимическая зональность связана с ростом окислительного потенциала среды от нижней части рудообразующей системы к верхней. Как следует из полученных данных, в изученном разрезе месторождения Первомайское показатели изотопов серы аналогичны таковым месторождений типа Куроко, что служит дополнительным подтверждением вулканогенно-гидротермально-осадочного происхождения сульфидных залежей.

На основе вышеприведённого фактического материала по вещественному составу рудоносных вулканогенно-осадочных пород, зон околорудных метасоматитов и руд в совокупности с ранее разработанной [6, 10] прогнозно-поисковой моделью (см. рис. 1) проведена прогнозная оценка Салаир-

ского, Еловско-Которовского, Пуштулимского и Огнево-Романовского рудных районов Салаирской минерагенической зоны. В результате выделен ряд перспективных площадей на обнаружение колчеданно-полиметаллических месторождений салаирского типа. Наиболее перспективна Огнево-Займковская площадь, которая пока недостаточно изучена.

В тоже время, результаты анализа литолого-фациальной и геологической обстановок Огнево-Займковского рудного поля подтверждают наличие печеркинского уровня локализации оруденения и развитие потенциально рудоносных фаций вулканогенно-осадочных пород. Аналогичные породы в пределах Салаирского рудного поля вмещают полиметаллическую рудную минерализацию.

Петрохимический анализ вулканогенных пород Огнево-Займковского и Салаирско-Каменушинского рудных полей выполнен на базе диаграмм в координатах $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$, $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$, $\text{CaO}-(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)-\text{MgO}$, по которым также можно судить о схо-

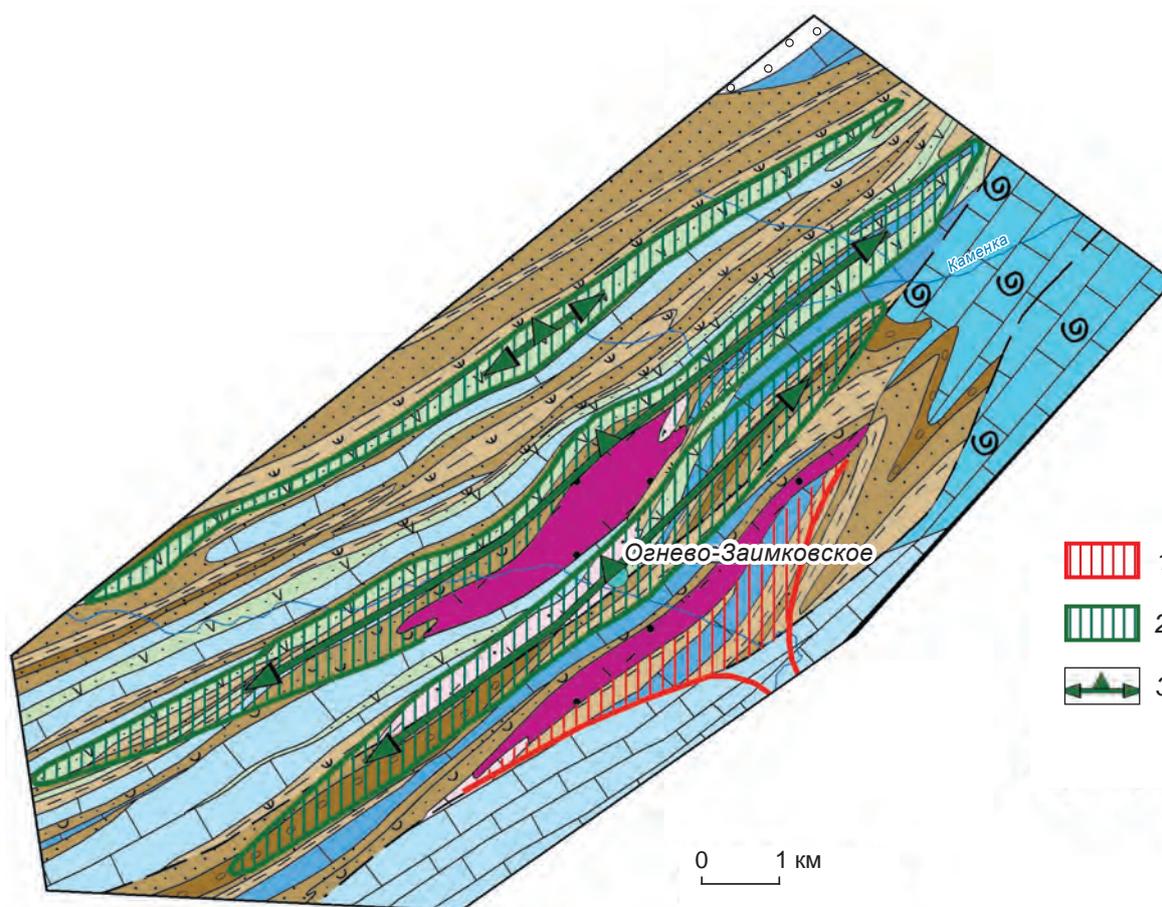


Рис. 8. ПРОГНОЗНАЯ КАРТА ОГНЕВО-ЗАИМКОВСКОЙ ПЛОЩАДИ НА ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНОЙ ОСНОВЕ:

1 – прогнозируемая рудная минерализация в зоне подводящего канала штокверкового типа; 2 – прогнозируемая стратифицированная рудная зона; 3 – положение рудоносного уровня в пределах выделенных перспективных площадей (стрелки показывают направление склонения и падения рудоносных отложений); остальные усл. обозн. см. рис. 1

жести рассматриваемых объектов. Из диаграмм в координатах $\text{SiO}_2\text{--}(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ (рис. 5) видно, что большинство анализов находятся в поле кислых пород и соответствует низкощелочному ряду. Они представлены низкощелочными риолитами, низкощелочными риодацитами, низкощелочными дацитами. Лишь единичные образцы попадают в поле основных и средних пород – базальтов, андезибазальтов, андезитов, щелочных пикробазальтов, трахибазальтов. Из диаграмм в координатах $\text{K}_2\text{O--Na}_2\text{O}$ (рис. 6) видно, что породы характеризуются резким преобладанием Na_2O над K_2O и относятся к натриевой серии. Незначительная часть пород попадает в область калиевой и калиево-натриевой серий. Тройные диаграммы $\text{CaO--}(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)\text{--MgO}$ показали, что большинство образцов соответству-

ют областям с преобладанием железа, железа и магния, железа и кальция.

Для вулканитов Огнево-Заимковского рудного поля характерны преобладание пород кислого состава над основными, повышенные содержания в них железа, магния, кальция, отношение к натриевой серии, хотя часть пород попадают в поле калиевой серии.

Анализ распространения жерловых, околожерловых, промежуточных и удалённых фаций вулканогенно-осадочных пород показал, что в пределах крупной вулcano-тектонической депрессии, соответствующей Огнево-Романовскому рудному району, выделяются две более мелкие вулканические впадины (западная – Романовская и восточная – Огнево-Заимковская), которые определяют поло-

жение рудных полей с продуктами рудовмещающей базальт-риолитовой формации. К данной формации по аналогии с Салаирским рудным районом приурочен верхний уровень колчеданно-полиметаллического оруденения.

С учётом выявленной по многим характеристикам (рис. 7; см. рис. 5, 6) принадлежности Огнево-Заимковской площади к салаирскому типу полиметаллического оруденения составлена её прогнозная карта на литолого-фациальной основе (рис. 8) и рекомендуется продолжение поисков полиметаллов в данном районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гриненко В.А., Гриненко Л.Н.* Геохимия изотопов серы. – М.: Наука, 1974.
2. *Дергачев А.Л., Дергачев А.А., Ерёмин Н.И.* Эпохи свинцово-цинкового рудообразования в геологической истории Земли // Вестн. Московского университета. Сер. 4. Геология. 2015. № 3. С. 62–72.
3. *Дергачев А.Л., Ерёмин Н.И.* Вулканогенное колчеданно-полиметаллическое и эксгальационно-осадочное свинцово-цинковое оруденение в истории Земли // ДАН. 2008. Т. 423. № 1. С. 89–91.
4. *Дистанов Э.Г.* Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977.
5. *Жариков В.А., Омеляненко Б.И.* Некоторые проблемы изучения изменений вмещающих пород в связи с металлогеническими исследованиями // Изучение закономерностей размещения минерализации при металлогенических исследованиях. М., 1965. С. 119–194.
6. *Инякин А.В.* Геолого-структурная позиция и обстановки локализации колчеданно-полиметаллических руд Салаирско-Каменушинского рудного поля, Салаирский кряж // Руды и металлы. 2018. № 2. С. 66–76.
7. *Колчеданные месторождения СССР / С.Н.Иванов, Г.А.Твалчрелидзе, Н.С.Скрипченко и др.* – М.: Наука, 1983.
8. *Кудрявцева Н.Г.* Гидротермально измененные породы колчеданно-полиметаллических месторождений северо-западной части Рудного Алтая и их поисковое значение // Тез. докл. VIII Науч.-практ. конф. (16–18 апреля 2018 г., Москва, ЦНИГРИ). С. 13.
9. *О полигенности рудноалтайских колчеданно-полиметаллических месторождений по данным изотопного состава серы / А.С.Лапухов, Е.Ф.Доильницын, А.А.Каныгин и др.* // Изотопные исследования процессов рудообразования. Новосибирск, 1991. С. 41–56.
10. *Серавина Т.В., Инякин А.В., Кузнецов В.В.* Особенности и условия накопления вулканогенно-осадочных отложений нижнего кембрия (Салаирский кряж) // Отечественная геология. 2017. № 2. С. 22–30.
11. *Чекваидзе В.Б.* Околорудные метасоматиты колчеданно-полиметаллических месторождений и их поисковое значение. – М.: Недра, 1981.

LITHOLOGICAL AND PETROGRAPHIC FEATURES OF VOLCANOSEDIMENTARY ROCKS AND PYRITE-POLYMETALLIC ORES OF SALAIR-KAMENUSHINSKOYE ORE FIELD, SALAIR RIDGE

A.V.Inyakin

(FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

Lithological and facial differences of ore-hosting volcanogenic and volcanosedimentary rocks of Salair-Kamenushinskoye ore field, their features, mineral and lithological-petrographic composition and metasomatic transformation pattern are discussed. Ore mineralization is exemplified by Pervomayskaya ore zone confined to highly sheeted metasomatic intermediate rocks and represented by gold-bearing quartz-barite-pyrite and quartz-barite-pyrite-polymetallic sheet-like and lenticular ores. Based on Salair-Kamenushinskoye ore field predicting-prospecting model, Salair ridge deposits prospective for pyrite-polymetallic mineralization are analyzed; Salair-Kamenushinskoye ore field was found to be similar to less studied Ognevo-Zaimkovskoye ore field by many characteristics.

Keywords: pyrite-polymetallic ores, Salair-Kamenushinskoye ore field, localization settings, vent, circumvent, intermediate and remote facies, isotope studies, metasomatites.

ЗОЛОТОБОГАЩЁННЫЕ КОЛЧЕДАННЫЕ САУМСКОЕ И ГАЛКИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СЕВЕРНЫЙ УРАЛ

Колчеданные месторождения с относительно высокими содержаниями золота в рудах выделены [6, 18] в группу золотообогащённых колчеданных месторождений. Некоторые характерные их особенности изучены на примере месторождений Саумское и Галкинское. Геологоразведочные данные по названным объектам получены в результате современных оценочных работ, осуществлённых горными кампаниями АО «Полиметалл УК». По каждому из них были прослежены в 3D объёме особенности пространственной локализации концентраций Au, Cu и Zn рудного уровня ($Au \geq 1$ г/т, $Cu \geq 1\%$, $Zn \geq 1\%$), выявлены геохимические и технологические отличия золотообогащённых и не обогащённых золотом разностей колчеданных руд, отмечены тенденции поведения химических элементов при их окислении. Статья может быть интересна геологам, проводящим поисково-оценочные работы на коренное золото в районах проявления золотообогащённых колчеданных месторождений, и технологам, создающим технологический регламент поставки руд на перерабатывающую фабрику с месторождений подобного типа.

Ключевые слова: золотообогащённые колчеданные месторождения, поисково-оценочные работы, технология переработки колчеданных руд, геохимия первичных и окисленных руд, Урал.

В последнее десятилетие особое внимание уделяется колчеданным месторождениям, в рудах которых содержание золота варьирует от грамм до первых десятков грамм на 1 т. Такие месторождения названы «золотообогащёнными колчеданными месторождениями» [6, 18]. Они интересны не только по геологической природе их образования, но и с точки зрения практики освоения колчеданных руд с богатыми содержаниями золота. Под руководством АО «Полиметалл УК» было разведано несколько подобных месторождений, локализованных в вулканогенно-осадочных толщах павдинской, шемурской, красноуральской и кабанской свит ордовик-силурийского возраста [5, 10, 12], слагающих осевую часть Тагильского синклиория (рис. 1). Их формирование связывают с завершающими стадиями эпиконтинентального рифтогенеза и переходом к островодужному режиму [16, 19].

В восточной половине Тагильского синклиория распространены гранитоиды петропавловского, арбатского, северо-рудничного и других комплексов силур-девонского возраста, сформировавшихся в коллизонный этап геологического развития Северного Урала. Считается [4, 8, 9, 14], что этот этап сопровождался образованием золоторудной минерализации, в том числе на месторождениях Воронцовское и Тамуньер. При этом на Тамуньерском месторождении, помимо прожилковой золоторудной минерализации, обнаружены рудные тела более ранних массивных



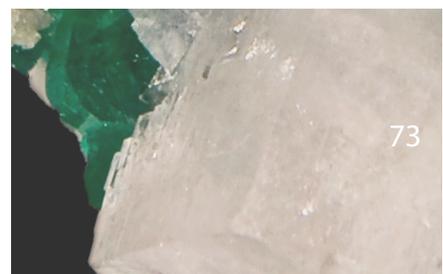
**Несис
Виталий Натанович¹**
генеральный директор

**Мотов
Андрей Павлович¹**
кандидат геолого-минералогических наук
главный специалист
дирекции развития бизнеса
motovAP@polymetal.ru

**Бутняков
Андрей Васильевич²**
заместитель директора
по минерально-сырьевой базе

¹ АО «Полиметалл УК»,
г. Санкт-Петербург

² УФ Полиметалл УК,
г. Екатеринбург

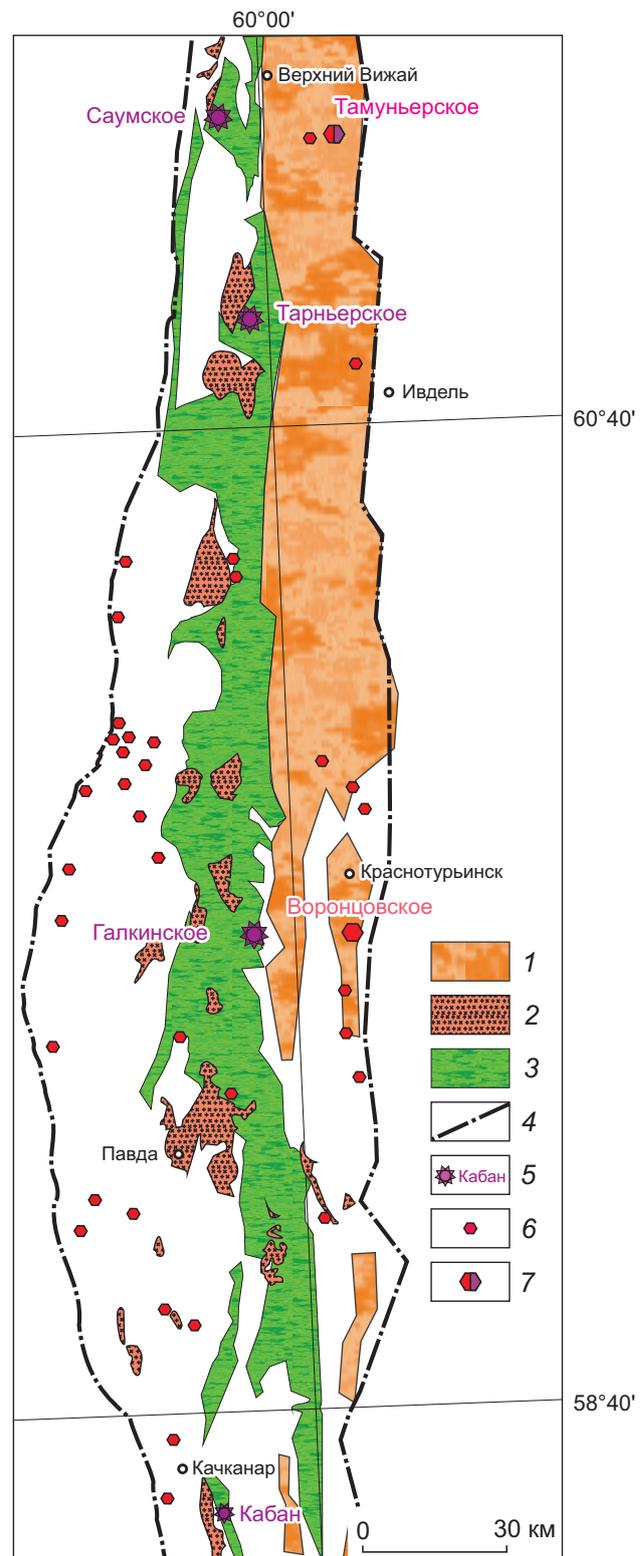


стратифицированных медно-цинковых руд с наложенной прожилковой золоторудной минерализацией [8, 14]. То же самое ранее отмечалось и на других уральских колчеданных месторождениях, например Галкинском [11, 13] и Муртыкты [15].

В табл. 1 приведены данные по месторождениям Саумское и Галкинское, полученные в ходе современных геологоразведочных работ.

Саумское месторождение размещается в пределах одноимённой вулкано-тектонической депрессии, выполненной породами шемурской свиты (S, šm). Последние представлены афировыми и мелкопорфировыми базальтами, андезидацитами с прослоями кремнистых пород, гравелитов и конгломератов, иногда известняков, прорываемых субвулканическими интрузиями риолитов, которые нередко переходят в плагиограниты и гранодиориты петропавловского комплекса габбро-плагиогранитовой формации. На площади месторождения широко развиты гидротермально-метасоматические образования с переменным содержанием серицита, хлорита, кварца, альбита, преобладанием пирит-серицит-кварцевых разновидностей. Гидротермалиты протягиваются в виде полосы шириной ~1,5 км с северо-востока (от Саумского рудопоявления) на юго-запад на расстояние 4 км. Месторождение на поверхности надёжно фиксируется локальной положительной гравиметрической аномалией интенсивностью до 0,75 мгал и аномалией ВП интенсивностью до 7%, а также комплексной геохимической аномалией меди, цинка, свинца, серебра. Колчеданно-полиметаллическая минерализация наиболее ярко представлена рудным телом 1, достигающим по падению 250 м, по простиранию 140–150 м. Золото-полиметаллические руды проявлены прожилково-вкрапленной минерализацией.

Рис. 1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ ТАГИЛЬСКОГО СИНКЛИНОРИЯ В СООТВЕТСТВИИ С ЕГО ГРАНИЦАМИ НА ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ ПОСЛЕДНЕГО ПОКОЛЕНИЯ м-ба 1:1000000 (P-40, 41, O-40, 41):



1 – вулканические и осадочные толщи сосвинской, перевозеской, вогранской свит, D; 2 – гранитоиды петропавловского, арбатского, северо-рудничного комплексов, S–D; 3 – вулканогенно-осадочные толщи павдинской, шемурской, красноуральской, кабанской свит, O–S; 4 – граница Тагильского синклинория; 5 – золотообогащённые колчеданные месторождения; 6 – золоторудные проявления и месторождения; 7 – золоторудное месторождение с проявлением медно-цинковых колчеданных руд

1. ФАКТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ИЗУЧЕННЫМ МЕСТОРОЖДЕНИЯМ

Месторождения	Период работ, гг.	Количество скважин	Глубина бурения, м	Лабораторно-аналитическое обеспечение
Саумское	2014–2017	140	14 095	Лаборатория ЗАО «Золото Северного Урала», пробирный анализ Au и Ag; атомно-абсорбционный анализ на Cu, Zn, Pb; спектральный анализ на Fe, Mg, Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, W, Nb, Sb, Bi, As, Sn, Ge, Ga, Be, Sc, Y, Yb, P, Ba
Галкинское	2006–2007, 2016–2018	396	27 500	
Итого		536	41 595	

Главные компоненты руд месторождения – медь, цинк, золото и серебро. Выделяются собственно медные, цинковые, смешанные медно-цинковые с низким содержанием золота и золотообогащённые медно-цинковые руды. Представления о характере залегания рудных концентраций Cu, Zn и Au в пространстве месторождения получены в программе Datamine оконтуривания ореолов распределения элементов по следующим пороговым значениям их содержания: Au ≥ 1 г/т, Cu $\geq 1\%$, Zn $\geq 1\%$. Пространственное распределение ореолов Ag не анализировалось, его средние содержания приведены в табл. 2. Установлено, что форма ореолов концентрации Cu и Zn субпластовая плащеобразная, а ореолов Au линейная с крутым падением (рис. 2).

Геохимические различия необогащённых и золотообогащённых медно-цинковых руд следующие. В медно-цинковых рудах с низким содержанием Au средняя его концентрация составляет десятые доли грамма на 1 т, а Ag – граммы на 1 т (см. табл. 2). Рудные элементы образуют тесные корреляционные связи с другими химическими элементами (рис. 3). Согласно И.В.Викентьеву [20], золото в таких колчеданных рудах наноразмерное и присутствует:

- в виде субмикроскопических включений в сульфидах – арсенопирите, халькопирите, пирите, сурьмяных и мышьяковистых разностях тенантита;
- в гетеровалентных изоморфных структурно связанных формах AuAsS;
- в сорбированных на поверхности кристаллов пирита формах, где количество металла прямо пропорционально удельной поверхности кристаллов сульфидов и обратно пропорционально их размерам [7];
- в составе комплексов с S, H, Fe, As, Te.

В золотообогащённых медно-цинковых рудах среднее содержание Au достигает целых грамм на

1 т, а Ag – десятков грамм на 1 т. Золото образует или не образует слабые корреляционные связи с другими химическими элементами (см. рис. 3).

Испытаниями технологических свойств колчеданно-полиметаллических руд, проведёнными ЗАО «Полиметалл Инжиниринг», выявлено, что при переработке руд с низким содержанием золота, оно обладает упорными свойствами извлечения. В золотообогащённых полиметаллических рудах часть его (15–25%) приобретает свойства свободного, легко переходящего на золотую головку при гравитации, золота.

Галкинское месторождение расположено в пределах вулканотектонической структуры, имеющей субконцентрическое и зональное строение. В её центральной части выделены характерные для жерла вулканоструктуры грубообломочные вулканические породы с брекчиевой текстурой. Края вулканоструктуры сложены лавами и туфами. Вмещающие породы месторождения относятся к контрастной базальт-риолитовой формации. Колчеданно-полиметаллическая минерализация локализована в агломератовых и крупнообломочных туфах фельзитов, спёкшихся туфах смешанного состава тёмно-серого, серого и светло-серого цвета. Текстура пород брекчиевидная, обломочная. Обломочный материал угловато-округлой формы, размером до 5–12 см содержит фельзиты 85–90% от массы породы. Агломератовые туфы отличаются от крупнообломочных только размером обломков (1–3 см). Обломочный материал слабо гематитизирован. Цементирующая масса в значительной степени карбонатизирована, количество карбоната достигает 10–15%. Субвулканические породы представлены дайками и малыми телами диоритовых порфириров. Вулканические породы аргиллизированы, окварцованы, участками березитизированы. Гидротермально-метасоматические минералы – смектит, ректорит, гидромусковит, каолинит, иллит, кварц, пирит, кальцит, цеолит, хлорит.

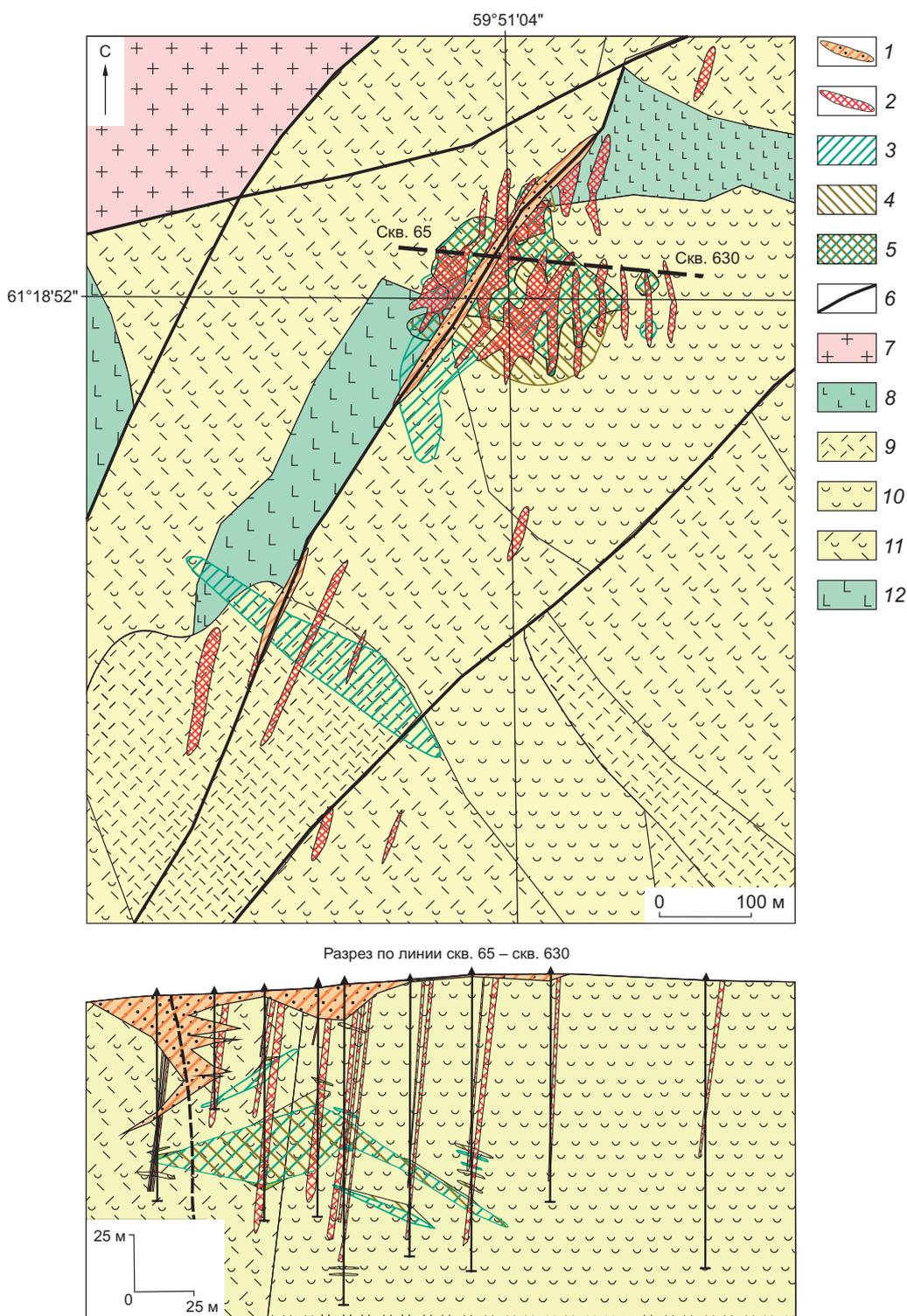


Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА-СХЕМА И РАЗРЕЗ САУМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:

1 – наиболее глубоко проникающая (до 40 м) зона окисления первичных руд; ореолы рудного уровня с содержанием главных рудных компонентов: 2 – Au ≥ 1 г/т, 3 – Cu $\geq 1\%$, 4 – Zn $\geq 1\%$, 5 – Cu ≥ 1 и Zn $\geq 1\%$; 6 – тектонические нарушения; 7 – плагиограниты, S₁; 8 – долериты пироксен-порфириновые, S₁; вулканогенно-осадочные толщи шемурской свиты, S₁; 9 – риодациты, 10 – туфопесчаники и туфоконгломераты риодацитового состава, 11 – пемзовые туфы риодацитового состава, 12 – базальты плагиопорфириновые

2. СОДЕРЖАНИЕ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЕРВИЧНЫХ НЕ ОБОГАЩЁННЫХ И ОБОГАЩЁННЫХ ЗОЛОТОМ РУДАХ ИЗУЧЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Параметры содержаний	Au, г/т	Ag, г/т	Cu, %	Zn, %	Au	Ag	Cu	Zn
					Коэффициент парной корреляции и химический элемент, коррелирующий с рудным элементом			
САУМСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ								
Медная руда								
<i>Не обогащённая золотом (23 пробы)</i>								
Среднее арифметическое	0,12	5,58	1,72	0,06	77 Yb	86 Zn		
Минимальное	0,001	0,005	0,95	0,001	68 Ag	Yb 78	78 Sn	45 Yb
Максимальное	0,4	53	4,02	0,5	60 Mo	59 Mo		
					53 Sc	Ga 46		
<i>Золотообогащённая (149 проб)</i>								
Среднее арифметическое	1,73	27,01	3,68	0,29				
Минимальное	0,46	2,5	0,95	0,001		51 Zn		49 Cr
Максимальное	20,5	101	14,96	0,74				
Цинковая руда								
<i>Не обогащённая золотом (90 проб)</i>								
Среднее арифметическое	0,22	12,63	0,09	2,08				
Минимальное	0,1	2,5	0,01	0,95	51 Ag	79 As		
Максимальное	0,48	101	0,38	5,29	48 As	67 Sb		
						63 Fe		
<i>Золотообогащённая (238 проб)</i>								
Среднее арифметическое	1,75	40,05	0,15	5,38				
Минимальное	0,46	2,5	0,008	0,99		65 Pb		
Максимальное	10,7	391	0,63	38		59 Zn		
ГАЛКИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ								
Медно-цинковая руда								
<i>Не обогащённая золотом (24 пробы)</i>								
Среднее арифметическое	0,19	32,73	2,29	3,54				90 Ge
Минимальное	0,05	2,5	0,95	0,05	57 Ga	95 Cu	46 Fe	89 Ni
Максимальное	0,4	234	10,2	22,4		50 Fe		87 Mg
								87 Mn
								86 As
								46 Sb
								46 V
<i>Золотообогащённая (127 проб)</i>								
Среднее арифметическое	5,14	141,91	3,41	15,82				
Минимальное	0,54	16,7	0,96	1,33	61 Ag	75 Zn	52 Bi	51 Pb
Максимальное	82,2	1269	9,5	51,9		66 Pb		
Цинковая руда								
<i>Не обогащённая золотом (179 проб)</i>								
Среднее арифметическое	0,11	4,51	0,09	1,37				
Минимальное	0,05	2,5	0,05	0,86	52 As		58 Zn	46 Ge
Максимальное	0,43	15,5	0,32	3,6				
<i>Золотообогащённая (38 проб)</i>								
Среднее арифметическое	0,85	29,43	0,19	2,06				
Минимальное	0,46	6,4	0,05	0,85	79 Ag	53 Mo	56 Bi	57 Cu
Максимальное	3,9	113	0,39	6				

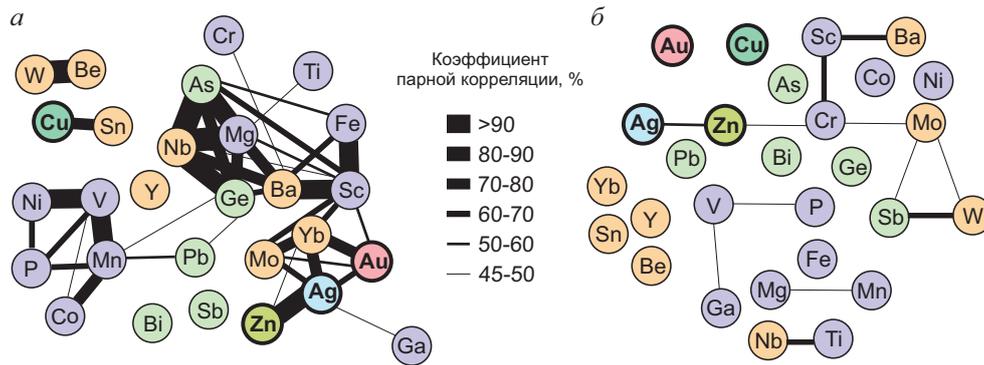


Рис. 3. СХЕМЫ КОРРЕЛЯЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЫБОРКАХ ПРОБ НЕОКИСЛЕННЫХ МЕДНЫХ РУД С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ Au (а) И ЗОЛОТООБОГАЩЁННЫХ РУД (б) САУМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



Рис. 4. КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКАЯ РУДА С МЕТАКОЛЛОМОРФНОЙ ПОЛОСЧАТОЙ ТЕКСТУРОЙ:

рудные минералы – халькопирит, сфалерит, пирит, марказит, галенит, теннантит

Колчеданно-полиметаллическим залежам присущи пласто- и плащеобразная морфология, согласная с залеганием вмещающих пород, и многоярусный характер залегания. На месторождении выявлены две крупные колчеданно-полиметаллические залежи (верхняя и нижняя) и 12 мелких тел. Верхняя рудная залежь прослежена по простиранию на 1030 м при ширине 230 м в западной части и 550 м в восточной. Текстуры руд массивная, полосчатая, пятнистая; структуры – глобулярная, сферолитовая, колломорфно-зональная, коррозионная прожилково-петельчатая, эмульсиевидная (рис. 4).

Жильно-штокверковые золото-полиметаллические руды приурочены к метасоматическим ореолам серицит-кварцевого и аргиллизитового (ил-



Рис. 5. ЗОЛОТООБОГАЩЁННАЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКАЯ РУДА С ПРОЖИЛКОВО-ВКРАПЛЕННОЙ ТЕКСТУРОЙ

лит-сметитового) составов. Прожилки различной направленности с сетчатым рисунком могут располагаться субпараллельно или перпендикулярно друг к другу, веером расходиться из одного узла. Имеют кварцевый, кварц-серицитовый, кварц-плагиоклазовый, баритовый и карбонатный составы с включениями агрегатов пирита, сфалерита, галенита, халькопирита, самородного золота. По составу ведущих рудных минералов выделяются медно-цинковые, цинковые и собственно золотые руды. Текстуры руд прожилковые и прожилково-брекчиевые (рис. 5).

Как и в случае с Саумским месторождением, особенности залегания рудных концентраций Cu, Zn и Au в пространстве Галкинского месторождения определены путём оконтуривания ореолов

распределения элементов в тех же пороговых значениях. Ореолы концентрации Cu и Zn на месторождении субпластовые плащеобразные, а ореолы Au имеют узкую линейную форму и крутое падение (рис. 6). Статистически представительные данные о геохимических особенностях руд месторождения собраны по не обогащённым и обогащённым золотом медно-цинковым и цинковым рудам (см. табл. 2).

Испытания руд Галкинского месторождения, проведённые в АО «СЖС Восток Лимитед» в 2018 г, показали, что технологические свойства золота в не обогащённых и обогащённых золотом колчеданных рудах сходны с таковыми в аналогичных рудах Саумского месторождения. В колчеданно-полиметаллических рудах с низким содержанием золота, оно имеет упорные свойства извлечения при переработке руд. В золотообогащённых полиметаллических рудах часть его (15–25%) приобретает свойства свободного, легко переходящего на золотую головку при гравитации, золота.

Для всех колчеданных месторождений Урала характерно проявление процессов окисления первичной минерализации [1–3, 17], в том числе для месторождений Саумское и Галкинское (см. рис. 2, 6). Наиболее представительный материал по вертикальной зональности окисления первичных руд собран по золотообогащённым цинк-медно-колчеданным рудам и собственно золотым рудам Саумского месторождения.

Вертикальный профиль окисления золотообогащённых цинк-медных руд. Визуальные признаки окисления золотообогащённых цинк-медных руд выявлены при картировании керн в диапазоне глубин от 1,1 до 65 м. В верхней части профиля руды представляют собой бурый дресвяно-щебенисто-глинистый материал. С увеличением глубины среди этого материала появляются участки с пиритовыми сыпучками, фрагментами окисленных руд, состоящими не только из гематита и гётита, но и из малахита, азурита, куприта, церрусита, ярозита и других минералов, характерных для зоны окисления. Выделяются две зоны окисленных руд: верхняя (глубина 1,1–38 м) и нижняя (38–65 м). В верхней зоне накапливаются серебро и медь, в нижней – медь. Содержание золота в окисленных разностях медно-цинковых руд практически не изменяется, тогда как содержание цинка – самого подвижного элемента профиля окисления сульфидных месторождений [17] – заметно падает (табл. 3).

3. СРЕДНЕЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ ЗОЛОТО-СЕРЕБРО-ЦИНКОВО-МЕДНОЙ И ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОЙ РУД

Au, г/т	КК Au	Ag, г/т	КК Ag	Cu, %	КК Cu	Zn, %	КК Zn
<i>Золотообогащённые цинк-медные руды</i>							
Верхняя зона окисления, глубина 1,1–38 м (29 проб)							
2,65	1,10	89,12	1,92	4,80	1,43	1,48	0,33
Нижняя зона окисления, глубина 38–65 м (26 проб)							
2,35	0,97	45,72	0,98	5,38	1,60	1,90	0,42
Первичные руды (305 проб)							
2,41	1,00	46,45	1,00	3,36	1,00	4,47	1,00
<i>Собственно золотые руды</i>							
Верхняя зона окисления, глубина 0,3–13 м (139 проб)							
4,25	2,26	47,42	1,87	0,06	0,46	0,05	0,45
Средняя зона окисления, глубина 13–27 м (131 проба)							
7,60	4,05	68,64	2,71	0,09	0,72	0,03	0,31
Нижняя зона окисления, глубина 27–53 м (47 проб)							
3,02	1,61	125,62	4,96	0,15	1,28	0,02	0,22
Первичные руды (99 проб)							
1,88	1,00	25,35	1,00	0,12	1,00	0,11	1,00

Примечание. КК – коэффициент концентрации рудного элемента в зоне окисленных руд по сравнению со средним его содержанием в первичных рудах.

Сопоставление корреляционных матриц химических элементов в выборках проб, характеризующих первичные золотообогащённые медно-цинковые руды, с матрицами по рудам нижней и верхней зон окисления показывает следующее. В первичных слабо окисленных рудах нижней зоны золото слабо коррелирует только с серебром, в сильно окисленных, кроме серебра, – с As, Sb, Pb, Ni, Ge, Bi, Fe (рис. 7, а–в).

Увеличение ассоциативности и усиление корреляционных связей химических элементов по мере повышения степени окисления сульфидных руд можно объяснить преобразованием сульфидов в сложные минеральные агрегаты, которые, согласно С.С.Смирнову [17], представлены гидросульфатами (молибдатами, вольфраматами, хроматами) в сростании с оксидами и гидроксидами Fe, Mn, Pb,

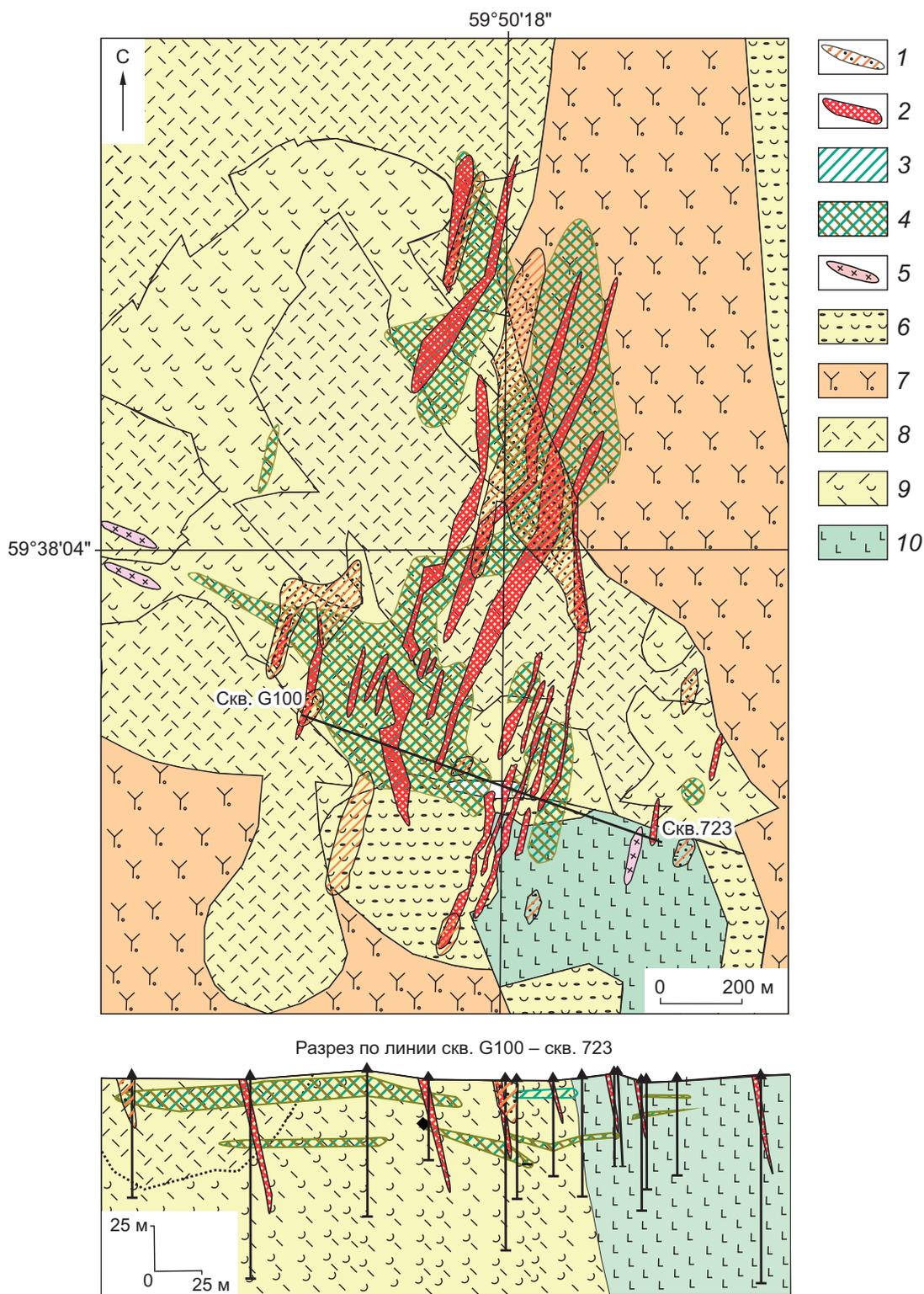


Рис. 6. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА-СХЕМА И РАЗРЕЗ ГАЛКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:

1 – наиболее глубоко проникающая (до 25 м) зона окисления первичных руд; ореолы рудного уровня с содержанием главных рудных компонентов: 2 – Au ≥ 1 г/т, 3 – Cu ≥ 1%, 4 – Cu ≥ 1 и Zn ≥ 1%; вмещающие породы: 5 – диоритовые порфиры, 6 – туфопесчаники и туфоконгломераты, 7 – дацит-порфиры, 8 – фельзиты массивные, 9 – туфы агломератовые, 10 – андезибазальты

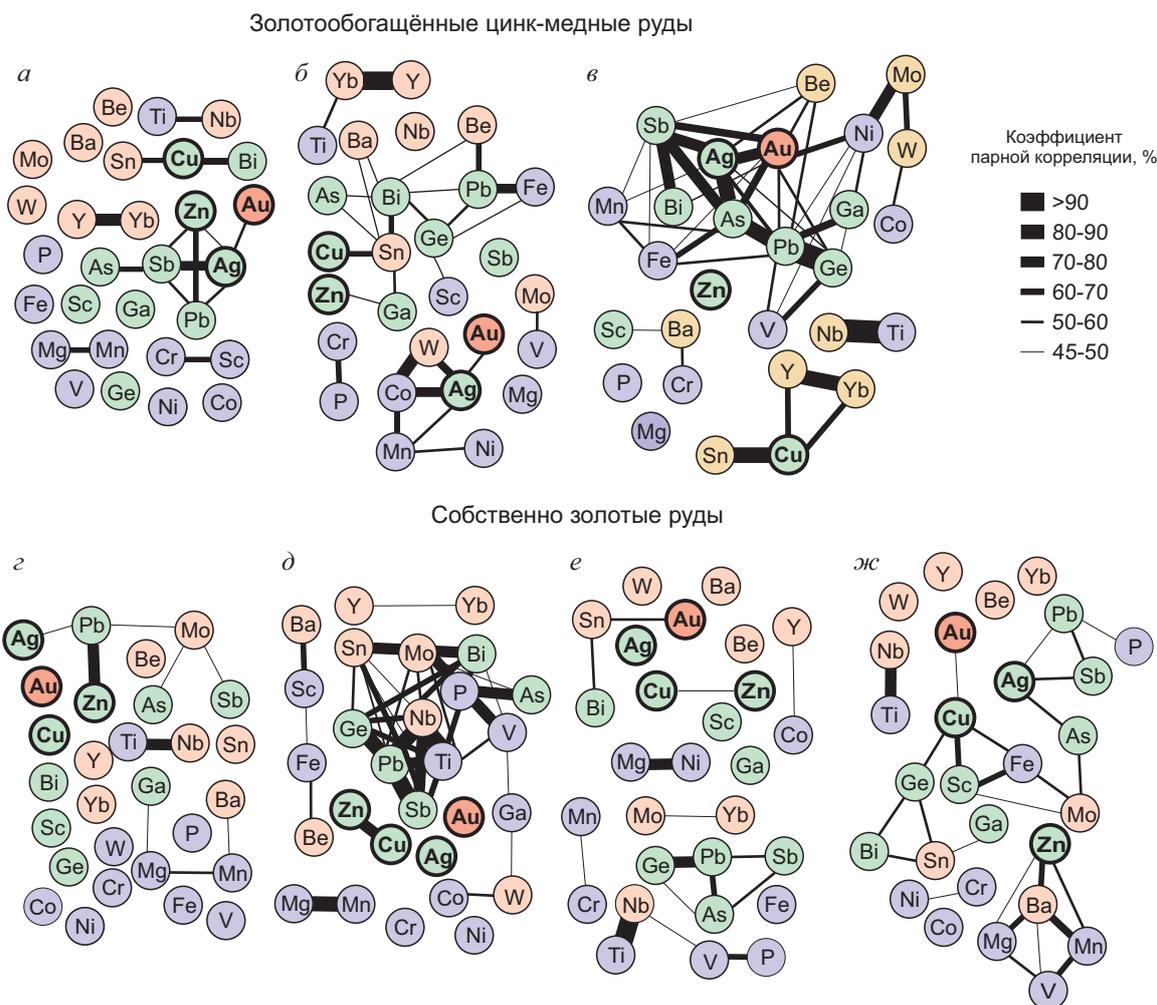


Рис. 7. СХЕМЫ КОРРЕЛЯЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЫБОРКАХ ПРОБ ИЗ ЗОН ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ОКИСЛЕНИЯ РУД САУМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:

золотообогащённые цинк-медные руды: а – первичные, б – нижней зоны окисления (глубина 38–65 м), в – верхней зоны окисления (1,1–38 м); собственно золотые руды: г – первичные, д – нижней зоны окисления (27–53 м), е – средней зоны окисления (13–27 м), ж – верхней зоны окисления (1–13 м)

As (лимонитом, гематитом, сурьмяными охрами, вульфенитом, скородитом).

Процесс окисления первичных сульфидных руд существенно влияет на их технологические свойства. Цинк выносится, первичные медные минералы замещаются вторичными, что приводит к утрате флотационных свойств медных минералов. Только золото в окисленных рудах остаётся товарным рудным компонентом, извлекаемым прямым цианированием.

Вертикальный профиль зоны окисления собственно золотых руд. Прослежен в интервале глубин

0,3–53 м. В нём выделены три зоны окисления. Наиболее богатая по содержанию золота средняя зона находится на глубине 13–27 м (см. табл. 3). Местоположение наиболее обогащённой золотом средней зоны соответствует классическим представлениям о расположении зоны вторичного обогащения – ниже «железной шляпы» и выше начального фронта окисления первичных руд [2, 17].

Сопоставление корреляционных матриц химических элементов в выборках проб, характеризующих первичные золотые руды, с выборками проб вертикального профиля окисления показывает, что

в первичных золотых рудах золото не коррелирует с другими химическими элементами. Такая же картина наблюдается и в слабо окисленных рудах нижней, фронтальной, зоны окисления. В более сильно окисленных рудах верхней зоны окисления золото слабо коррелирует с медью, а в средней зоне с оловом (см. рис. 7, з–ж).

Итак, на основании анализа распределения концентраций Cu, Zn и Au рудного уровня на месторождениях Саумское и Галкинское выявлено, что ореолы накопления Cu и Zn имеют субпластовую плащеобразную морфологию, тогда как ореолы накопления Au характеризуются линейной и секущей по отношению к напластованию вмещающих пород морфологией. Форму ореолов концентрации Au легче всего объяснить приуроченностью их к тектоническим нарушениям, рассекающим цинк-медные колчеданные залежи. Линейные ореолы концентрации Au установлены и за пределами оре-

олов концентрации Zn и Cu. Можно предположить, что тектонические нарушения, контролирующие расположение линейных ореолов концентрации Au внутри колчеданных месторождений, за пределами колчеданных месторождений перспективны на обнаружение самостоятельной золоторудной минерализации.

В медно-цинковых рудах с низким содержанием Au подавляющая часть золота находится в трудно извлекаемой форме и не поддается простому цианированию. В золотообогащенных медно-цинковых рудах, помимо трудно извлекаемого золота, содержится легко извлекаемое обычным цианированием.

Большое влияние на технологические свойства руд оказывают процессы окисления. Из руд выносятся цинк, изменяются минеральные формы концентрации меди, упорная форма концентрации золота сменяется свободной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранников А.Г., Азовская О.Б. Золотоносные объекты гипогенно-гипергенного типа на Урале. Конвергентность признаков их отличия от рудоносных кор выветривания // Изв. Уральского Государственного Горного Университета. 2017. № 2 (46). С. 13–22.
2. Белогуб Е.В. Минералогия гипергенеза сульфидных месторождений Южного Урала // Мат-лы XI съезда РМО «Современная минералогия: от теории к практике». СПб., 2010. С. 142–144.
3. Блинов И.А., Бутняков А.В. Минералы зоны окисления Кабанского колчеданного месторождения (Средний Урал) // Металлогения древних и современных океанов. 2017. № 23. С. 70–74.
4. Воронцовское золоторудное месторождение. Геология, формы золота, генезис / И.В.Викентьев, Е.А.Тюкова, В.В.Мурзин и др. – Екатеринбург: Форт Диалог-Итсеть, 2016.
5. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Сер. Среднеуральская. Лист Р-40-XXX. Объяснительная записка / С.Г.Пестрецов, А.М.Курбацкий, В.П.Ульянова и др. – Свердловск: Уралгеология, 1989.
6. Гусев А.И., Гусев Н.И. Петрология магматических систем золото-обогащенных колчеданных объектов Рудного Алтая и Салаира // Природные ресурсы Горного Алтая. Геология, геофизика, гидрогеология, геоэкология, минеральные и водные ресурсы. 2015. № 19. Вып. 1–2. С. 68–78.
7. Зависимость концентрации микроэлементов от размера кристаллов в пробе / В.Л.Таусон, Д.Н.Пастушкова, Д.Н.Бабкин и др. // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 7. С. 981–992.
8. Замятина Д.А., Мурзин В.В. Источники вещества и флюида при формировании золото-сульфидного оруденения Ауэрбаховского вулканоплутонического пояса на Северном Урале // Литосфера. 2016. № 1. С. 169–177.
9. Знаменский С.Е. Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала: Автореф. дисс... д-ра геол.-минер. наук. – М.: МГУ, 2008.
10. Контарь Е.С. Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы). – Екатеринбург: УГГУ, 2013.
11. Мотов А.П., Валеев О.К., Малах Ю.Е. Некоторые признаки преобразования колчеданных руд // Мат-лы конф. «Месторождение стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования». М., 2015. С. 327–328.
12. Несис В.Н., Мотов А.П. Не вскрытые ресурсы колчеданной минерализации Тагильского и Магнитогорского синклиория // VII Чтения памяти член-корр. РАН С.Н.Иванова. Мат-лы Всеросс. науч. конф., посвященной 70-летию основания Уральского отделения

- Российского минералогического общества. Екатеринбург, 2018. С. 127–129.
13. Новое Галкинское золото-полиметаллическое месторождение / И.В.Викентьев, В.Л.Русинов, О.В.Русинова и др. // Мат-лы науч. конф. «Новые горизонты в изучении процессов магмо- и рудообразования». М., 2010. С. 215–216.
 14. Нохрина Д.А., Мурзин В.В., Молошаг В.П., Егоров С.А. Вещественный состав метасоматитов и руд Тамуньерского месторождения (Северный Урал) // Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 157. Месторождения полезных ископаемых. 2010. С. 234–236.
 15. Пучков В.Н. Палеодинамика Южного и Среднего Урала. – Уфа: ГИЛЕМ, 2000.
 16. Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Полев Ю.А. Месторождение золота Урала. – Екатеринбург: УГГА, 2001.
 17. Смирнов С.С. Зональность сульфидных месторождений. – Ленинград: Красный Печатник, 1936.
 18. Dube B., Gosselin P., Hannington M., Galley A. Gold-rich volcanogenic massive sulphide deposits // Mineral Deposits of Canada: a synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. Special Publication. 2007. №. 5. P. 75–94.
 19. Puchkov V.N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why // Ore Geology Reviews. Journal for Comprehensive Studies of Ore Genesis and Ore Exploration. 2016. P. 1–26.
 20. Vikentyev I.V. Precious metal and large volcanic-hosted massive sulfide deposits in the Urals // Mineralogy and Petrology. Austria, 2006. Vol. 87 (3). P. 305–326.

GOLD-RICH PYRITE SAUMSKOYE AND GALKINSKOYE DEPOSITS, NORTH URALS

V.N.Nesis¹, A.P.Motov¹, A.V.Butnyakov²

(¹ JSC «Polymetal Management Company», St.Petersburg, ² Ural Branch of JSC «Polymetal Management Company», Yekaterinburg)

Pyrite deposits hosting relatively high-grade gold ores are presented as a group of gold-rich pyrite deposits. Some of their features were studied for Saumskoye and Galkinskoye deposits. Exploration data on these deposits resulted from advanced estimates made by JSC Polymetal mining companies. Works at both deposits included 3-D tracing of spatial localization for ore-level Au, Cu and Zn concentrations ($Au \geq 1$ g/t, $Cu \geq 1\%$, $Zn \geq 1\%$), geochemical and technological differences in gold-rich and gold-free pyrite ores are defined, chemical element oxidation trends are noted. The paper may be of interest to geologists engaged in prospecting for primary gold and its estimation in areas hosting gold-rich pyrite deposits, and technologists who develop technological regulations of ore supply to a processing plant from such deposits.

Keywords: gold-rich pyrite deposits, prospecting and estimation, pyrite ore processing technology, primary and oxide ore geochemistry, Urals.





МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУМРОЧ, ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА

Месторождение Кумроч относится к наиболее перспективным рудным объектам Камчатского края. Оно расположено в центральной части Восточно-Камчатского вулканического пояса и относится к сложным полигенным с золото-серебряной (LS типа) и медно-порфировой минерализацией. В работе приведены первые результаты комплексных минералого-геохимических исследований золото-серебряного оруденения. На месторождении установлены три типа руд: золото-кварц-адуляровые, золото-полиметаллические и медно-порфировые. Детально изучены текстурно-структурные особенности, минеральный и химический составы, формы нахождения благородных и цветных металлов и некоторые особенности генезиса руд. С помощью современных методов локального физико-химического анализа охарактеризованы типоморфные особенности сульфидов Zn, Fe, Pb, блеклых руд и теллуридов Au, Ag. Выделены минеральные ассоциации: кварц-сфалерит-пиритовая, сфалерит-блекловорудная, сфалерит-галенитовая, кварц-пиритовая, пирит-халькопирит-блекловорудная, золото-пиритовая, золото-кварцевая. Оценены температуры и состав рудообразующих растворов.

Ключевые слова: золото-серебро-полиметаллическое месторождение Кумроч, рудообразование, Восточная Камчатка, сфалерит, пирит, блеклые руды.

Месторождение Кумроч – одно из крупнейших и наиболее перспективных в Центрально-Камчатском горнорудном районе – находится на востоке Камчатского полуострова в 350 км от г. Петропавловск-Камчатский. Балансовые запасы (C_1+C_2) – 30 т золота, 51,6 т серебра [4]. Основу геоморфологического строения Восточной Камчатки составляет ряд кулисообразно расположенных складчато-глыбовых хребтов: Ганальский (1500–2059 м) с вулканом Бакенинг (2277 м), Тумрок (1200–2092 м) с вулканом Кизимен (2485 м) и Кумроч с вулканом Шиш (2346 м) [6]. Хребет Кумроч с голоценовым вулканом Шиш (55°45' с. ш., 161°10' в. д.), в пределах которого размещается рудное поле Кумроч площадью до 30 км², прорезан широтной долиной р. Камчатка [13]. Сведения о геологии и полезных ископаемых района приведены в работах В.П.Мокроусова, Б.В.Ковалёва, Б.И.Сляднева, В.А.Ермакова, С.И.Федоренко, Б.А.Марковского, М.Е.Бояриной, Н.Н.Матюшкина, М.Н.Шапиро, Б.В.Олейника, И.В.Мелекесцева и др. [1, 2, 10].

В основу данной статьи положены результаты многолетних исследований лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН (2007–2010, 2014, 2017 гг.) и материалы, предоставленные сотрудниками ЗАО «Быстринская горная компания», ОАО «Золото Камчатки». ОАО «Золото Камчатки», входящее в группу компаний «Ренова», – ведущее золотодобывающее предприятие Камчатского края. Ему принадлежат Агинский, Асачинский, Аметистовый

Округин Виктор Михайлович

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий лабораторией
вулканогенного рудообразования¹,
доцент кафедры географии,
геологии и геофизики²
okrugin@kscnet.ru

Шишканова Ксения Олеговна¹

научный сотрудник
lvod@kscnet.ru

Философова Татьяна Михайловна¹

научный сотрудник
zond@kscnet.ru

¹ ФГБУН Институт вулканологии
и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский

² ФГБОУ ВО «Камчатский государственный
университет им. Витуса Беринга»,
г. Петропавловск-Камчатский

горно-обогатительные комбинаты. В 2020 г. планируется ввод в эксплуатацию четвёртого ГОКа «Кумроч» с годовой производительностью до 3500–4500 кг золота [15].

Методы исследования каменного материала (образцы из канав, траншей, керны буровых скважин): оптическая микроскопия, рентгенофлуоресцентный (РФА), рентгенофазовый анализы, спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП), рентгеноспектральный микроанализ, сканирующая электронная микроскопия, термобарогеохимия. Аналитические исследования проводились в лабораториях Аналитического центра Института вулканологии и сейсмологии РАН (г. Петропавловск-Камчатский), Аналитического сертификационного испытательного центра Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ, п. г. т. Черноголовка). При минералого-петрографических исследованиях применялись прецизионные автоматизированные микроскопы Axioskop 40, SteREO Discovery.V12 (Carl Zeiss), Eclipse LV 100 pol (Nikon). Количественное определение Si, Al, Fe, P, Mg, Ca, K, Na, Ti, Mn и общей серы в диапазоне концентраций от 0,01% выполнялось на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре S4 PIONEER (Bruker) [8]. Для рентгенофазового анализа использовался прибор XRD-7000 MAXima (Shimadzu). Содержания Li, B, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba в образцах определялись методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой с помощью ICP-спектрометра ICAP-61 (Thermo Jarrell Ash). Концентрации Li, Be, B, Al, P, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Nb, Ru, Rh, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th и U в пробах анализировались методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре X-7 ICP-MS (Thermo Elemental). Химический состав минералов определялся с помощью рентгеноспектрального с электронным зондом микроанализатора Camebax 244 с четырьмя волновыми и одним энергетическим (X-max с электрическим охлаждением, рабочей площадью 80 мм², Oxford Instruments) спектрометрами. Условия съёмки: тонко сфокусированный пучок электронов (1,5–5,0 мкм), ускоренных до 25 кэВ, суммарный ток 25–50 нА. Микроморфология, микроструктура, степень однородности-неоднородности минералов исследовались

на приборе Vega 3 Tescan с энергодисперсионным и волновым спектрометрами X-max с площадью кристалла 50 мм². Измерения проводились при высоком вакууме 2,9–0,9^{e-005} мбар, фокусном расстоянии 15 мм, ускоряющем напряжении 20 кВ, токе пучка 917 пА. Для анализа использовалось программное обеспечение AZtec Oxford Instruments версии 3.1. Флюидные включения в кварце и сфалерите изучались с использованием поляризационного микроскопа Eclipse LV 100 pol (Nikon) в комплекте с термокриостатом THMSG 600 (Linkam), позволяющим осуществлять измерения в интервале температур -196... +600°C.

Месторождение Кумроч расположено на левом берегу р. Быстрая (рис. 1). Вместе с рудопоявлениями Круча и Водопадное образует Кумрочское рудное поле, приуроченное к центральной части палеоцеон-миоценовой Быстринской вулканотектонической структуры Восточно-Камчатского вулканоплутонического пояса. Формирование вулканитов связано с деятельностью голоценового вулкана Шиш, сложенного лавами андезитов и андезидацитов [6].

В геологическом строении района участвуют породы двух структурных комплексов: рудовмещающего и пострудного [5, 11]. Рудовмещающий комплекс объединяет мел-палеоценовые вулканогенно-осадочные образования хапицкой свиты (лавы андезитов, крупнообломочные туфы, туффиты с прослоями мелкообломочных вулканогенно-кремнистых пород) и терригенно-осадочные отложения дроздовской, в составе которой преобладают мелко- и среднезернистые песчаники. Пострудный комплекс сложен плейстоценовыми вулканогенно-осадочными породами основного и среднего составов (базальты, андезиты, их туфы) и современными голоценовыми отложениями.

Интрузивные образования, развитые достаточно широко в пределах месторождения, представлены тремя комплексами: миоцен-плиоценовым, плиоценовым и четвертичным. По форме залегания это, прежде всего, субвулканические тела и дайки базальтов, андезитов, диоритов. В бассейнах ручьёв Прямой и Фирновый распространены тела диатремовых брекчий, которые отнесены к рудовмещающим [14].

Преобладающий миоцен-плиоценовый комплекс (Быстринский интрузивный) сложен породами нормального и субщелочного рядов – габбродиоритами, диоритами, кварцевыми диоритами.

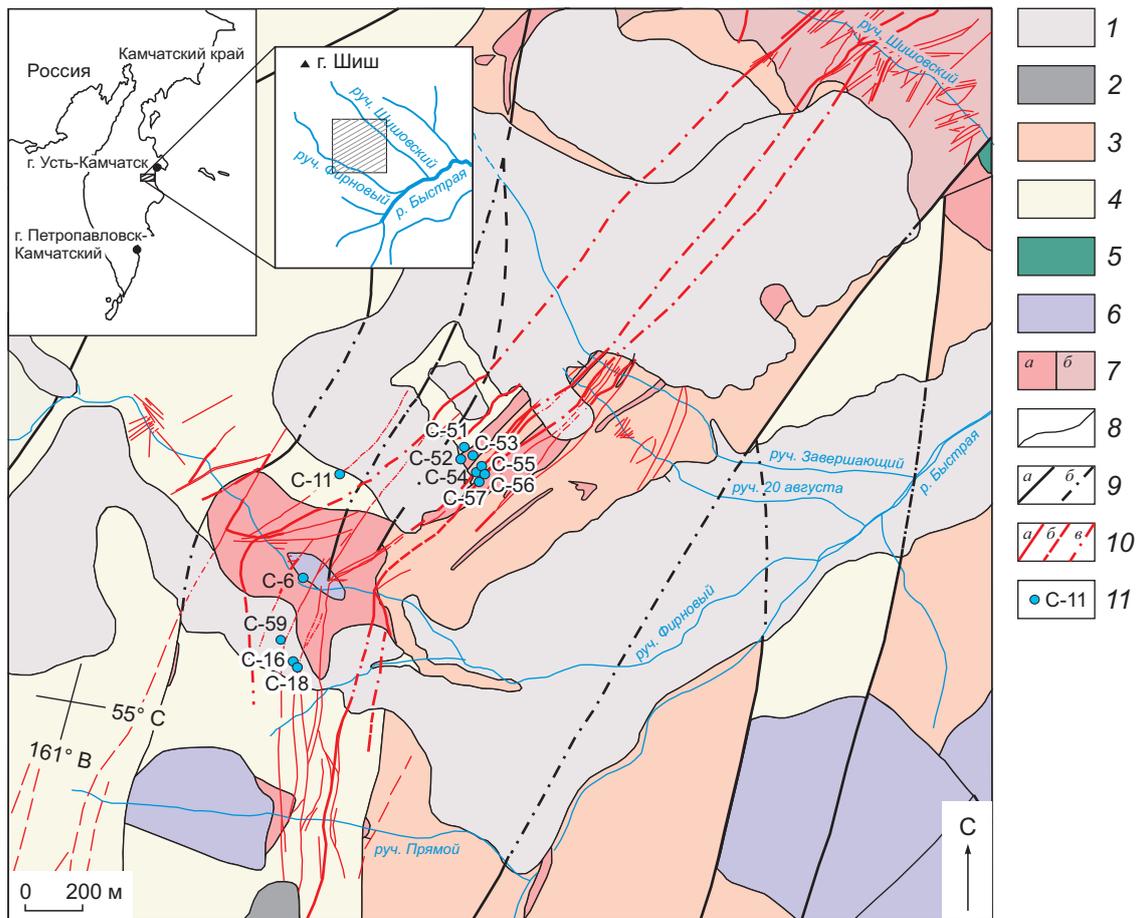


Рис. 1. ФРАГМЕНТ СХЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ РУДНОГО ПОЛЯ КУМРОЧ (по данным ЗАО «Быстринская горная компания»):

пострудный комплекс: 1 – аллювиальные галечники, пески; делювиально-пролювиальные глыбы, щебень, валунники, галечник; делювиальные глыбы, щебень, ледниковые глыбы, валуны, супеси, щебень, водно-ледниковые валунники, галечники, пески, Q_{III-IV}; 2 – базальты, туфы; андезиты, андезидациты, дациты, туфы дацитовые, андезидацитовые, Q_{I-II}; *рудовмещающий комплекс:* 3 – дроздовская свита, P_{1dr} (песчаники, туфопесчаники), 4 – хапицкая свита, K₂-P_{1hr} (туфы андезитовые, андезибазальтовые, туфопесчаники, туфоалевролиты); 5 – базальты, Q_{II}; 6 – андезиты, N₂; 7 – диоритовые порфиры, дл₁ (а), гранодиорит-порфиры, үдл₂ (б), N₁₋₂; 8 – геологические границы; 9 – разломы установленные (а), скрытые под вышележащими образованиями (б); 10 – рудоносные зоны достоверные (а), предполагаемые (б), скрытые под четвертичными образованиями (в); 11 – скважины, их номера

Кварцевые диориты наиболее распространены. Это полнокристаллические с массивной текстурой, светло-серые, лейкократовые породы (табл. 1). Главные породообразующие минералы – плагиоклазы (альбит-олигоклаз), КПШ (ортоклаз, до 7,1% Ва), кварц; второстепенные – биотит, пироксен, роговая обманка, эпидот, хлорит; аксессуарные – магнетит, ильменит, сфен, апатит (F до 3,47, Cl до 1,15%), циркон, карбонаты, барит, пирит, сфалерит (табл. 2). Выделяются ранне-среднемиоценовая, средне-позднемиоценовая, позднемиоцен-плиоценовая инт-

рузивные фазы магматизма. С проявлением последней фазы связывается формирование эпитептермального оруденения [14].

Плиоценовый комплекс объединяет штокообразные тела диоритов, дайки андезитов, андезибазальтов. К четвертичному комплексу относятся мелкие экструзии, дацитовые и андезибазальтовые дайки.

Широко развиты разрывные нарушения. Выделяются четыре системы разломов: северного, восточного, северо-западного и субширотного на-

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КВАРЦЕВЫХ ДИОРИТОВ ПО ДАННЫМ РФА

Оксиды	Содержание, %	Элементы	Содержание, г/т
SiO ₂	60,90	Sc	14,0
TiO ₂	0,59	V	151,0
Al ₂ O ₃	17,80	Cr	148,0
Fe ₂ O ₃	3,97	Ni	<1,6
FeO	1,18	Cu	19,0
MnO	0,23	Zn	135,0
CaO	4,33	As	49,0
MgO	3,28	Rb	57,0
Na ₂ O	3,86	Sr	298,0
K ₂ O	3,37	Y	17,0
P ₂ O ₅	0,13	Zr	74,0
п.п.п.	0,13	Nb	<0,9
Σ	99,77	Mo	<3,0
S	0,23	Ba	1439,0
		La	<4,5
		Ce	59,0
		Pb	5,0
		Th	<1,2
		U	<1,5

Примечание. Анализы выполнены в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский, аналитики Н.Ю.Курносова, В.М.Пагулина).

правлений (см. рис. 1) [14]. Важную роль в локализации оруденения играет система тектонических нарушений северного и восточного простирания.

В пределах месторождения (площадь 12 км²) выявлено >20 жил. Самая крупная рудоносная структура – прожилково-жильная линейная зона, представленная системой сближенных субпараллельных со сложной морфологией кварцевых, адуляр-кварцевых жил, протяжённостью более 3,5 км, мощностью не менее 400 м. Состав отдельных жил по простиранию резко изменяется от кварцевого до кварц-сульфидного [14]. На данной стадии геологической изученности месторождение рассматривается в качестве объекта с двумя разновидностями продуктивной минерализации: эпитермальной золото-серебряной (типа *LS – low sulphidation*) и медно-порфировой [10, 14]. Результаты проведённых геологоразведочных работ указывают на то, что в настоящее время промышленную ценность объекта определяет эпитермальная золото-серебряная минерализация.

Сведения о возрасте приводятся по результатам геолого-съёмочных работ М.Е.Бояриновой и

др. в районе хребта Кумроч [2]. Возраст палеовулкана Шиш соответствует эоплейстоцену, однако не исключается и более позднее время его формирования – поздний плейстоцен [2]. Абсолютный возраст базальтов хапицкой свиты, определённый K-Ar методом, составляет 86–68 млн лет [1], что отвечает позднему мелу.

Золото-серебряная минерализация представлена микрокварцитами с убогой вкрапленностью рудных минералов, количество которых редко превышает 2–3%. В табл. 3 приведён химический состав руд. Максимальные значения, ppm: Au (27,6), Ag (152), Cu (118 398), Zn (332 150), Pb (291 825), As (1933) зафиксированы в полисульфидных разностях.

Рудам свойственно значительное разнообразие текстур и структур. Текстуры – прожилково-сетчатая, прожилково-вкрапленная, друзовидная с элементами брекчиевидной и крустификационно-полосчатой, брекчиевая, массивная – отличаются резкой невыдержанностью рисунка даже в одном небольшом штуде (рис. 2). Прожилково-сетчатая текстура характеризуется наличием взаимно перпендикулярных прожилков кварц-галенит-сфалеритового состава с убогой вкрапленностью пирита мощностью до 2–4 мм (см. рис. 2, а). Прожилково-вкрапленная отличается сочетанием прожилковой и гнездово-вкрапленной текстур. Разноориентированные пересекающиеся кварцевые, кварц-сфалеритовые прожилки имеют мощность от одного до нескольких миллиметров среди линз и гнезд со сфалеритом, пиритом, галенитом и халькопиритом (см. рис. 2, б). Друзовидная текстура обусловлена присутствием идиоморфных прозрачных кристаллов кварца или кварц-сульфидного (преимущественно сфалеритового) агрегата, выполняющих микрополости в жильной массе. Брекчиевая текстура характеризуется наличием остроугольных обломков гидротермально изменённых пород, погружённых в кварц-адуляр-сульфидный цемент (см. рис. 2, в). Её разновидность – брекчиевидная, которая отличается более сглаженными, размытыми контурами рудовмещающих горных пород. Руды массивной текстуры имеют галенит-сфалеритовый, иногда халькопиритовый состав, общее количество рудных минералов не превышает 75% от площади жильного гидротермального цемента (см. рис. 2, д).

Наиболее распространённые структуры руд: кристаллически-зернистые – аллотриоморфно-зернистая, гипидиоморфнозернистая, пойкилито-

2. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ КВАРЦЕВЫХ ДИОРИТОВ

Главные	Второстепенные	Акцессорные
Плагиоклазы (альбит) $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 60%	Биотит $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$	Магнетит Fe_3O_4 Титаномагнетит $(\text{Fe}, \text{Ti})\text{Fe}_2\text{O}_4$
Калиевые полевые шпаты KAlSi_3O_8 (Ba до 7,11%) 20%	Пироксены $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$	Ильменит $\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$
Кварц SiO_2 15%	Амфиболы $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})_7[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$	Сфен $\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$
	Эпидот $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{SiO}_4]\text{O}(\text{OH})$	Апатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$ (F до 3,47, Cl до 1,15%)
	Хлориты $(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Al}, \text{Si}]_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 3(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{OH})_2$	Цирконы ZrSiO_4
		Карбонаты (кальцит) CaCO_3
		Барит BaSO_4
		Пирит FeS_2
Сфалерит ZnS		

3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУД ПО ДАННЫМ РФА (% ррт), ИСП (ppm)

№№ п/п	Оксиды, элементы	Образцы					
		1	2	3	4	5	6
1	SiO_2	38,80	38,20	27,80	74,60	52,60	24,70
2	TiO_2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
3	Al_2O_3	0,55	0,25	0,68	2,48	0,66	0,79
4	Fe_2O_3	3,99	12,80	12,60	2,43	0,02	6,77
5	FeO			4,66		1,20	
6	MnO	0,07	0,05	0,02	0,13	0,02	0,19
7	CaO	0,02	0,01	6,00	0,06	0,02	0,03
8	MgO	0,59	0,26	0,55	1,36	0,19	1,65
9	Na_2O	7,50	3,84	0,72	0,88	0,28	7,79
10	K_2O	0,26	0,13	0,02	0,91	0,16	0,05
11	P_2O_5	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04
12	S	15,00	17,10	15,90	2,03	4,24	18,30
13	F	0,17	0,24	0,23	0,02	0,08	0,25
14	п. п. п.	10,20	7,20	0,21	2,00	3,01	12,40
15	Σ	77,21	80,14	69,44	86,95	62,55	72,98
16	Cu	11587	93355	118398	1229	1671	20863
17	Zn	324119	153296	150,00	29527	17596	332150
18	Pb	2102	1768	405,00	14132	291825	197,00
19	As	1933	652,00	362,00	<0,20	<0,20	164,00
20	Ag	32,10	152,00	36,30	31,30	124,00	67,60
21	Au	20,20	10,20	0,08	27,60	18,40	13,60

Примечание. Анализы 1–19 выполнены в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский, Н.И.Чеброва, А.О.Садовникова (РФА)), 20, 21 – в ИПТМ РАН (п. г. т. Черноголовка, В.К.Карандашев (ИСП)); оксиды, S, F, п. п. п. в %, остальные – в ррт; для обр. №№ 1, 2, 4, 6 – значения $\text{Fe}_{\text{общ}}$.

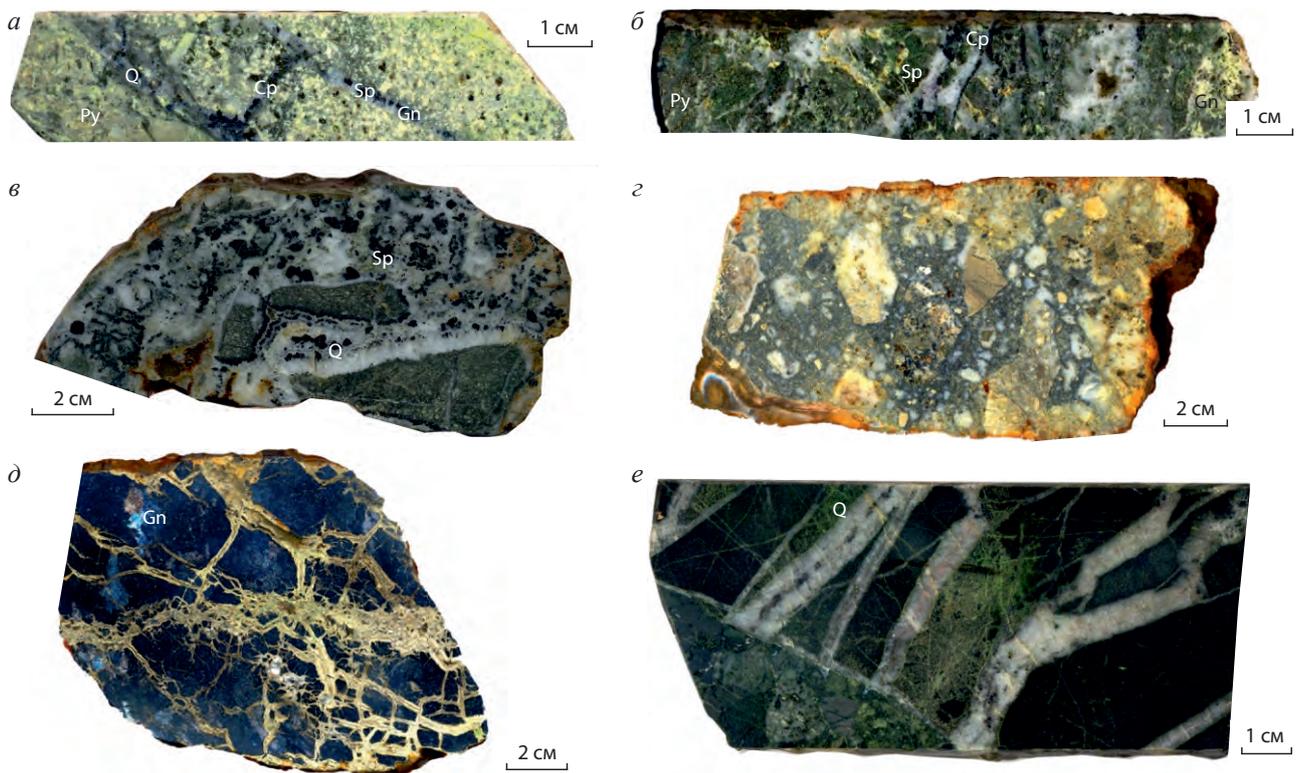


Рис. 2. КОМБИНИРОВАННЫЕ ТЕКСТУРЫ РУД (полированные штуфы):

а – прожилково-сетчатая (скв. 51, глубина 128,6 м); *б* – прожилково-гнездово-вкрапленная (скв. 51, глубина 143,7 м); *в* – друзовидная с элементами брекчиевидной и крустификационно-полосчатой; *г* – брекчиевая; *д* – массивная; *е* – прожилково-брекчиевая (скв. 6, глубина 10,6 м); Q – кварц, Gn – галенит, Sp – сфалерит, Py – пирит, Cp – халькопирит

вая. Степень идиоморфизма сульфидов зависит от формы, размера и характера срастания кристаллических зёрен. Встречаются эмульсионные структуры распада твёрдых растворов (микровключения халькопирита в сфалерите). Структура эндогенных краевых каёмок относится к числу редких. Зёрна сфалерита окаймлены кружевами халькозина.

Руды обладают сложным минеральным составом (табл. 4). Главные рудные минералы – сфалерит, галенит, второстепенные – пирит, халькопирит (рис. 3). К редким отнесены блеклые руды (теннантит, тетраэдрит), самородное золото, гессит, петцит, сильванит, алтаит, халькозин, борнит. Жильные минералы – кварц, карбонаты, адуляр, хлорит, серицит. Гипергенные минералы – сульфаты свинца, цинка, тенорит, хризоколла, оксиды железа.

Сульфиды (пирит, сфалерит, галенит, халькопирит) широко развиты среди рудных минералов. *Сфалерит* (см. рис. 3) образует единичные зёрна, агрегаты размером от 0,05 до 2–3 мм и гнезда 1–

2 см, прожилки и линзы мощностью от 0,1 до 2,0 см. Его цвет – тёмно-коричневый до чёрного (преимущественно марматит). В отражённом свете наблюдаются яркие внутренние рефлексии. Минералогическими, минераграфическими и методами рентгеноспектрального микроанализа обосновано выделение четырёх разновидностей сфалерита.

Сфалерит I составляет основу кварц-сфалерит-пиритовой минеральной ассоциации. Встречается в виде отдельных зёрен или образует тесные срастания с пиритом и отличается практически повсеместным развитием структуры распада твёрдых растворов. Она обусловлена наличием эмульсионной вкрапленности микрочастиц халькопирита, ориентированных по зонам роста сфалерита. Кроме халькопирита, сфалерит I содержит включения блеклых руд, пирита II, кварца. Часто по краям зёрен сфалерит обрастает халькозином.

Сфалерит II совместно с галенитом образует сфалерит-галенитовую минеральную ассоциацию. Фор-

4. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД

Минералы	Гипогенные		Гипергенные
	Рудные	Жильные	
Главные	Сфалерит ZnS Галенит PbS	Кварц SiO ₂	Сульфаты свинца, цинка Тенорит Хризоколла Оксиды железа
Второстепенные	Пирит FeS ₂ Халькопирит CuFeS ₂	Кальцит CaCO ₃	
Редкие	Блеклые руды (теннантит Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃ , тетраэдрит Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃) Самородное золото Au Гессит AgTe Петцит Ag ₃ AuTe ₂ Сильванит AuAgTe ₄ Алтаит PbTe Халькозин Cu ₂ S Борнит Cu ₅ FeS ₄	Адуляр KAlSi ₃ O ₈ Хлорит (Mn, Al) ₈ (OH) ₈ (Si, Al) ₂ Серицит KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	

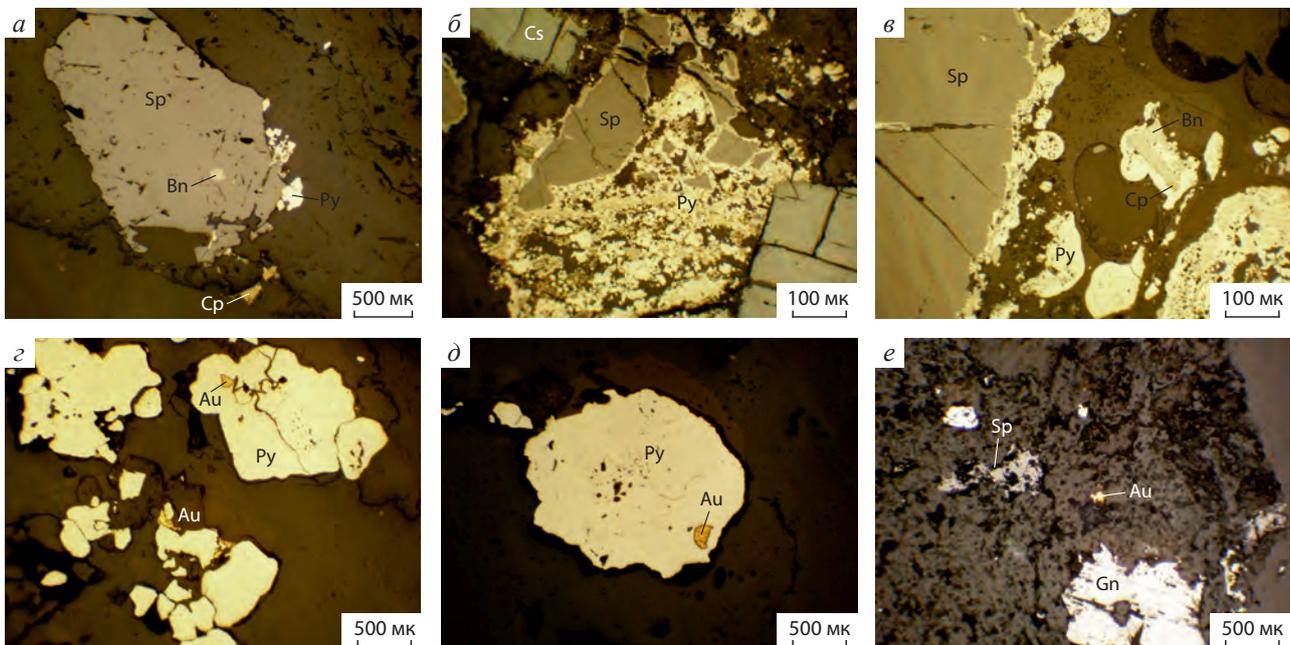


Рис. 3. МИКРОФОТОГРАФИИ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ОТРАЖЁННОМ СВЕТЕ:

a – скв. 56, глубина 50,8 м; *б, в* – скв. 56, глубина 51,9 м.; *г, д* – скв. 55, глубина 37,1 м; *е* – скв. 51, глубина 103,7 м; Bn – блеклые руды, Au – самородное золото, Cs – халькозин; остальные усл. обозн. см. рис. 2

ма, размер, структура выделений сфалерита схожи с таковыми первой разновидности. Для него характерны образования совместно с галенитом и кварцем. Он корродирует пирит II и разъедается кварцем, сечётся прожилками блеклых руд или халькопирита. Как правило, контакты сфалерита II и галенита ровные. Данная разновидность отличается от первой отсутствием эмульсионной вкрапленности халькопирита.

Сфалерит III ассоциирует с блеклыми рудами и представлен изометрическими зёрнами, размеры и структура которых сопоставимы с первой разновидностью. Нередко содержит включения галенита, пирита и корродируется кварцем. Отличается разнообразием сростаний с блеклыми рудами и халькопиритом. Сфалерит IV проявлен в виде отдельных изометрических зёрен, гнёзд и скоплений в кварцевом субстрате (0,1–2,0 мм).

5. ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫЕ МИКРОЗОНДОВЫЕ АНАЛИЗЫ СФАЛЕРИТА, %

№№ п/п	S	Mn	Fe	Zn	Cd	Hg	Cu	Σ	Кристаллохимические формулы	Разновидность
1	33,52	0,39	1,26	64,83	0,09	0,16	н.о.	100,25	$(Zn_{0,96}Fe_{0,02}Mn_{0,01})_{0,99}S_{1,01}$	Клейофан
2	34,32	0,48	0,33	63,00	н.о.	н.о.	н.о.	98,13	$(Zn_{0,94}Fe_{0,01}Mn_{0,01})_{0,96}S_{1,04}$	Клейофан
3	32,65	н.о.	2,00	66,25	0,40	н.о.	н.о.	101,30	$(Zn_{0,98}Fe_{0,04})_{1,02}S_{0,98}$	Маложелезистая
4	36,27	н.о.	7,64	55,12	0,29	н.о.	н.о.	99,32	$(Zn_{0,80}Fe_{0,13})_{0,93}S_{1,07}$	Маложелезистая
5	34,15	0,08	1,01	63,41	н.о.	0,30	н.о.	98,95	$(Zn_{0,94}Fe_{0,02})_{0,96}S_{1,04}$	Клейофан
6	33,64	0,18	3,34	58,97	0,02	0,09	3,46	99,70	$(Zn_{0,87}Fe_{0,06}Cu_{0,05})_{0,98}S_{1,02}$	Маложелезистая
7	34,88	0,21	3,54	59,96	0,24	0,02	2,90	101,75	$(Zn_{0,87}Fe_{0,06}Cu_{0,04})_{0,97}S_{1,03}$	Маложелезистая

Примечание. н.о. – не обнаружено; здесь и в табл. 6–8 анализы выполнены в лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН (SEM Tescan Vega).

Химический состав сфалерита месторождения представлен в табл. 5. Для него характерно неоднородное строение в связи с неравномерным распределением концентраций изоморфных примесей химических элементов в пределах отдельных зёрен.

По наличию железа выделены две разновидности: безжелезистая – клейофан (Fe от 0,00–1,26%) и маложелезистая с концентрациями Fe до 7,64% (см. табл. 5). При этом для крупных выделений характерны наиболее высокие содержания железа, для мелких – низкие, центральные части более обогащены железом по сравнению с краевыми.

Вторые по распространению изоморфные примеси – кадмий и марганец, но их количество не превышает 0,40 и 0,48% соответственно (см. табл. 5). Микропримеси меди обусловлены наличием микровключений халькопирита. Обнаружение ртути – одна из редких находок для сфалеритов Восточной Камчатки. Она установлена в единичных зёрнах, и её количество не превышает 0,30%.

Пересчёт на формульные единицы результатов химических анализов минерала показал, что формульный коэффициент серы варьирует в пределах теоретического значения, равного 1 (см. табл. 5).

Галенит – второй по распространённости рудный минерал. Выявлены две его разновидности. Галенит I встречается в основном в сфалерит-галенитовой минеральной ассоциации, образует неправильные выделения (до 2 мм), гнёзда (до 1 см) и прожилки мощностью до 5 мм. Отдельные зёрна нередко катаклазированы. Галенит II относится к кварц-пиритовой ассоциации. Представлен редкими включениями от сотых долей до 0,5 мм в пирите.

Пирит – главный из группы второстепенных рудных минералов. Размеры зёрен варьируют от 0,2 до 3,0 мм. Образует четыре разновидности, которые отличаются взаимоотношениями с кварцем, сфалеритом, халькопиритом, блеклыми рудами, самородным золотом. В небольшом количестве пирит входит в состав сфалерит-галенитовой и сфалерит-блекловорудной минеральных ассоциаций.

Пирит I встречается в кварц-пиритовой минеральной ассоциации в виде единичных кристаллов, отдельных неправильных зёрен размерами от сотых долей до 2–3 мм, их агрегатов в форме гнёзд, линз, тонких прожилков. Иногда просматриваются кристаллы дендритовидной структуры. Пирит II обнаружен в форме неправильных зёрен размером от долей до 2–3 мм в кварц-сфалерит-пиритовой минеральной ассоциации. Часто образует скопления в форме гнёзд, линз в сростании со сфалеритом и кварцем.

Пирит III – мелкие кристаллы и зёрна неправильной формы, отнесён к пирит-халькопирит-блекловорудной минеральной ассоциации. Размеры выделений варьируют от десятых долей до 1–2 мм. Он ассоциирует с халькопиритом и блеклыми рудами, иногда содержит мелкие включения сфалерита, галенита. Пирит IV присутствует в золото-пиритовой ассоциации в виде неправильных образований размером 1–2 мм в кварце вместе с самородным золотом (см. рис. 3).

По особенностям химического состава (табл. 6) установлены две разновидности пирита: стехиометрический и содержащий примесь мышьяка (до 6,79%). Характерной чертой пиритов месторождения служит их зональное строение, обусловленное локальным концентрированием мышьяка по

отдельным микрозонам. Такое строение выявлено благодаря применению методов аналитической сканирующей электронной микроскопии. Пересчёт на формульные единицы результатов химических анализов минерала показал небольшие отклонения от стехиометрии. В отдельных разновидностях отмечается дефицит серы (см. табл. 6).

Халькопирит образует неправильные ксеноморфные выделения (0,1–0,7 мм) в агрегатах с пиритом, блеклыми рудами, сфалеритом, кварцем. По распространённости уступает пириту, но встречается практически во всех ассоциациях. Основная его масса приурочена к пирит-халькопирит-блекловорудной ассоциации. Повсеместно присутствует в виде эмульсионной вкрапленности в сфалерите I. При изучении его химического состава каких-либо элементов-примесей на уровне чувствительности локального микрозондового анализа обнаружено не было.

Блеклые руды отнесены к числу редких, но тем не менее фиксируются повсюду во всех выделенных минеральных ассоциациях как в виде мелких включений (до 1 мм) в сфалерите, галените, пирите, тонких прожилков, каёмок, главным образом вокруг сфалерита, так и в форме неправильных сростаний с халькопиритом (см. рис. 3). В некоторых случаях блеклые руды формируют более крупные скопления со сфалеритом III, реже кварцем, а также с пиритом, халькопиритом, сфалеритом III.

В отражённом свете цвет изменяется от оливкового до светло-серого. Изучение блеклых руд с помощью сканирующего электронного микроскопа позволило выявить внутреннее неоднородное (зональное) строение, обусловленное локальным концентрированием мышьяка, сурьмы, серебра, цинка, кадмия. Названия блеклых руд приводятся согласно классификации, предложенной Н.Н.Мозговой, А.И.Цепиным, Э.М.Спиридоновым [9, 12]. Выделены несколько минеральных видов, меж- и внутривидовых разновидностей: теннантит (As до 3,80 формульных единиц), тетраэдрит (Sb 3,50 формульных единиц) и промежуточные члены – теннантит-тетраэдрит. К внутривидовым отнесены Zn-теннантиты, Fe-теннантиты, Zn-Fe-теннантиты, Zn-тетраэдриты, серебросодержащие Zn-тетраэдриты, Zn-тетраэдрит-теннантиты, серебросодержащие тетраэдрит-теннантиты, серебросодержащие Zn-тетраэдрит-теннантиты (табл. 7).

Широкие вариации концентрации цинка (от 1,22 до 14,35%, что соответствует от 0,29 до 3,36

6. ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫЕ МИКРОЗОНДОВЫЕ АНАЛИЗЫ As-СОДЕРЖАЩЕГО ПИРИТА, %

№№ п/п	Fe	S	As	Σ	Кристаллохимические формулы
1	46,41	52,98	2,02	101,40	(Fe _{0,99} As _{0,03}) _{1,02} S _{1,98}
2	49,42	44,12	6,05	99,87	(Fe _{1,13} As _{0,10}) _{1,23} S _{1,77}
3	43,74	49,54	6,35	100,08	(Fe _{0,97} As _{0,11}) _{1,08} S _{1,92}
4	45,57	52,45	1,85	99,94	(Fe _{0,99} As _{0,03}) _{1,02} S _{1,98}
5	43,43	50,37	6,79	101,15	(Fe _{0,96} As _{0,11}) _{1,07} S _{1,93}
6	45,27	52,45	3,27	101,10	(Fe _{0,98} As _{0,05}) _{1,03} S _{1,97}
7	45,85	52,38	2,28	100,51	(Fe _{0,99} As _{0,04}) _{1,03} S _{1,97}
8	45,08	51,28	5,43	101,80	(Fe _{0,98} As _{0,09}) _{1,07} S _{1,93}
9	45,57	50,70	3,95	100,46	(Fe _{1,00} As _{0,06}) _{1,06} S _{1,94}

формульных единиц) – характерная особенность тетраэдритовой составляющей (см. табл. 7). Повсеместно присутствует железо в количестве от 0,39 до 6,59% (или от 0,11 до 1,76 формульных единиц); более одной формульной единицы обнаружено в Fe- и Zn-теннантитах.

Серебро – типоморфный элемент блеклых руд. Его содержания не превышают 4,38% (тетраэдрит-теннантиты: Ag 0,65, Sb 2,21, As 1,31 формульных единиц). Следует отметить, что для серебросодержащих разновидностей с высоким его содержанием характерны повышенные концентрации изоморфных металлов – цинка и железа, сумма которых обычно составляет около или более двух формульных единиц (см. табл. 7).

Кадмий – один из редких химических элементов блеклых руд. Обнаружен в Zn-теннантитах в концентрациях, не превышающих 0,09%.

Самородное золото образует комковидные, округлые и интерстициальные выделения, реже – индивидуальные обособления (см. рис. 3). Размеры колеблются от 0,001 до 1 мм. На микроуровне выявлено сложное пористое, губчатое, скелетное строение. Цвет золотин от золотисто-жёлтого, зеленовато-жёлтого до красновато-жёлтого, что обусловлено вариациями примесей серебра и меди (Ag 7,20–17,38%) (табл. 8). Оно ассоциирует с кварцем, пиритом, реже с теллуридами.

Теллуриды представлены гесситом, петцитом, сивьянитом. Гессит – мелкие включения (до десятых долей миллиметра) в кварце и халькопирите, иногда микровкрапленность в пирите, совместно

7. ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫЕ МИКРОЗОНДОВЫЕ АНАЛИЗЫ БЛЕКЛЫХ РУД, %

№№ п/п	Ag	Cu	Fe	Zn	Cd	Sb	As	S	Σ	Кристаллохимические формулы	Минеральные виды и разновидности
1	0,00	41,18	5,89	1,52	0,00	7,1	14,75	29,06	99,50	$[Cu^{+}_{9,69}Zn_{0,35}Fe_{1,58}]_{1,93}Sb_{0,87}As_{2,95}S_{13,56}$	Fe-теннантит
2	0,00	41,12	6,59	1,30	0,00	7,07	14,19	29,32	99,59	$[Cu^{+}_{9,64}Zn_{0,30}Fe_{1,76}]_{2,05}Sb_{0,86}As_{2,82}S_{13,62}$	Fe-теннантит
3	0,11	35,27	1,19	14,35	0,00	7,93	10,26	28,62	97,73	$[(Cu^{+}_{8,51}Ag_{0,02})_{18,53}(Zn_{1,36}Fe_{0,33})_{3,69}Sb_{1,00}As_{2,10}]_{3,10}S_{13,69}$	Zn-теннантит
4	0,00	42,94	3,91	4,51	0,00	0,16	19,61	29,48	100,61	$[Cu^{+}_{9,81}(Zn_{1,00}Fe_{1,02})_{2,02}]_{11,83}Sb_{0,02}As_{3,80}S_{13,35}$	Zn-Fe-теннантит
5	0,17	37,44	0,58	9,43	0,00	23,27	1,99	26,59	99,47	$[(Cu^{+}_{9,53}Ag_{0,03})_{19,56}(Zn_{2,33}Fe_{0,17})_{2,50}]_{12,06}(Sb_{3,09}As_{0,43})_{3,52}S_{13,42}$	Zn-тетраэдрит
6	0,14	38,21	0,39	6,92	0,00	26,24	0,98	27,07	99,95	$[(Cu^{+}_{9,75}Ag_{0,02})_{17,77}(Zn_{1,72}Fe_{0,11})_{1,83}]_{11,60}(Sb_{3,49}As_{0,21})_{3,70}S_{13,69}$	Zn-тетраэдрит
7	1,02	37,84	0,59	6,62	0,00	25,63	0,21	26,08	97,99	$[(Cu^{+}_{9,90}Ag_{0,16})_{10,06}(Zn_{1,68}Fe_{0,18})_{1,86}]_{11,92}(Sb_{3,50}As_{0,05})_{3,55}S_{13,53}$	Серебросодержащий Zn-тетраэдрит
8	0,70	38,29	1,00	8,43	0,00	22,55	2,12	25,53	98,62	$[(Cu^{+}_{9,90}Ag_{0,11})_{10,01}(Zn_{2,12}Fe_{0,29})_{2,41}]_{12,42}(Sb_{3,04}As_{0,46})_{3,50}S_{13,08}$	Серебросодержащий Zn-тетраэдрит
9	1,39	39,55	1,62	6,24	0,00	23,11	3,27	26,16	101,34	$[(Cu^{+}_{9,98}Ag_{0,21})_{10,18}(Zn_{1,53}Fe_{0,46})_{1,99}]_{12,17}(Sb_{3,04}As_{0,70})_{3,74}S_{13,08}$	Серебросодержащий Zn-тетраэдрит
10	0,00	39,34	5,22	3,01	0,00	13,20	9,47	28,21	98,45	$[Cu^{+}_{9,58}(Zn_{0,71}Fe_{1,45})_{2,16}]_{11,74}(Sb_{1,68}As_{1,96})_{3,64}S_{13,62}$	Тетраэдрит-теннантит
11	1,57	39,62	5,74	1,22	0,00	15,87	7,81	28,77	100,6	$[(Cu^{+}_{9,56}Ag_{0,22})_{19,78}(Zn_{0,29}Fe_{1,58})_{1,86}]_{11,64}(Sb_{2,00}As_{1,60})_{3,59}S_{13,76}$	Серебросодержащий тетраэдрит-теннантит
12	1,52	39,66	3,14	3,23	0,00	20,45	4,92	27,21	100,13	$[(Cu^{+}_{9,91}Ag_{0,22})_{10,13}(Zn_{0,78}Fe_{0,89})_{1,67}]_{11,80}(Sb_{2,67}As_{1,04})_{3,71}S_{13,48}$	Серебросодержащий тетраэдрит-теннантит
13	0,00	39,04	1,82	6,52	0,00	19,43	4,97	27,06	98,84	$[Cu^{+}_{9,81}(Zn_{1,59}Fe_{0,52})_{2,11}]_{11,92}(Sb_{2,55}As_{1,06})_{3,61}S_{13,47}$	Zn-тетраэдрит-теннантит
14	0,00	38,96	0,82	9,14	0,00	12,79	9,03	28,17	98,91	$[Cu^{+}_{9,50}(Zn_{2,17}Fe_{0,23})_{2,40}]_{11,90}(Sb_{1,63}As_{1,87})_{3,50}S_{13,61}$	Zn-тетраэдрит-теннантит
15	4,38	34,66	2,52	9,41	0,09	16,81	6,13	26,06	100,06	$[(Cu^{+}_{8,75}Ag_{0,65})_{19,40}(Zn_{2,31}Fe_{0,72}Cd_{0,01})_{3,04}]_{12,44}(Sb_{2,21}As_{1,31})_{3,52}S_{13,03}$	Серебросодержащий Zn-тетраэдрит-теннантит
16	2,35	37,28	1,78	9,12	0,00	17,56	6,19	26,18	100,46	$[(Cu^{+}_{9,33}Ag_{0,35})_{19,88}(Zn_{2,22}Fe_{0,51})_{2,73}]_{12,41}(Sb_{2,29}As_{1,31})_{3,60}S_{12,99}$	Серебросодержащий Zn-тетраэдрит-теннантит

с самородным золотом. Теллуриды золота (петцит, сильванит) присутствуют в виде незначительных выделений (0,01–0,50 мм) неправильной формы, а также сростков с пиритом, блеклыми рудами и самородным золотом.

Кристаллы *халькозина* и *борнита* образуют плотные зернистые агрегаты (до 5 мм), тонкие прожилки. Минералы встречаются в сростаниях со сфалеритом и в виде включений в галените. Часто такие агрегаты корродированы, а включения галенита окаймлены минералами меди.

Жильные минералы – кварц, кальцит, адуляр, хлорит, серицит. *Кварц* распространён практически во всех минеральных ассоциациях (особенно в кварц-пиритовой, кварц-пирит-сфалеритовой). Как правило, это единичные агрегаты размером 1–2 мм и кристаллы, наиболее крупные из которых достигают 5–7 мм в сечении. Выделено несколько разновидностей.

Кварц I (кварц-пиритовая ассоциация) отмечается совместно с пиритом I. Макроскопически он серовато-белый, светло-серый и характеризуется аллотриоморфнозернистой и гипидиоморфнозернистой структурами, размер зёрен 1–2 мм.

Прозрачный кварц II отличается аллотриоморфнозернистой структурой. Кристаллы этой разновидности имеют вытянутую форму и размеры от 2 до 7 мм. Кварц II относится к кварц-пирит-сфалеритовой ассоциации и встречается с пиритом II и сфалеритом I. Кварц I и кварц II тесно связаны друг с другом и отнесены к продуктивному типу, слагающему основную массу рудных тел.

Кварц III и IV схожи по характеристикам с кварцем II. Как правило, это мелкозернистые образования. Кварц III ассоциирует с галенитом I и сфалеритом II, а кварц IV – с халькопиритом, блеклыми рудами, сфалеритом III.

Карбонаты (кальцит) принадлежат к группе второстепенных жильных минералов. Макроскопически их цвет белый, реже с желтоватым оттенком. Это единичные кристаллы и агрегаты крупно- и среднезернистого строения. Кальцит ассоциирует с кварцем, обнаруживает неоднородное строение, обусловленное зональным распределением марганца и железа.

Адуляр распространён в подчинённом количестве. Его кристаллы характеризуются довольно мелкими размерами, порядка 0,09 мм, имеют ромбическую и ромбовидную формы. Встречается в ассоциации с кварцем и пиритом. Ромбические

8. ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫЕ МИКРОЗОНДОВЫЕ АНАЛИЗЫ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА, %

№№ п/п	Ag	Au	Σ
1	14,31	86,44	100,75
2	16,43	85,12	101,91
3	16,59	82,14	98,73
4	16,62	85,77	102,39
5	15,34	84,87	100,21
6	7,20	94,66	101,86
7	16,68	85,43	102,11
8	16,74	82,18	98,92
9	17,21	82,18	99,39
10	17,38	80,71	98,08
11	16,98	83,47	100,46

кристаллы отличаются зональным неоднородным строением за счёт обогащения отдельных микронзон барием в количестве до 8,97%.

Гипергенные минералы – сульфаты свинца и цинка, тенорит, хризокolla, оксиды железа – развиты повсеместно.

Газово-жидкие включения изучались в образцах руд с наибольшим количеством рудных минералов и с хорошо раскристаллизованным кварцем. Среди них в соответствии с классификацией Н.П.Ермакова выделены первичные, мнимо вторичные, вторичные включения [3, 7]. По фазовому составу – это двухфазные газово-жидкие, однофазные газовые и многофазные разности. Размеры включений изменяются от 2–3 до 30 мкм.

Прозрачные идиоморфные кристаллы кварца II содержат представительное количество первичных, вторичных и мнимо вторичных газово-жидких и газовых включений. Для первичных включений характерны широкие вариации размеров и объёмов газовой фазы (от 25–30 до 90–100%). Среди вторичных, мнимо вторичных встречаются расшнурованные включения размером до 30 мкм, которые располагаются преимущественно вдоль трещин. Коэффициент заполнения вакуолей вторичных включений составляет 40–50%. Мнимо вторичные приурочены к микротрещинам кристаллов кварца. Эта группа включений имеет «негативную» форму с мелкими размерами до 5 мкм. Температуры гомогенизации варьируют от 110 до 290°C. Концентрация солей в растворах включений составляет ~2 масс. % NaCl-экв.

Итак, месторождение Кумроч является одним из перспективных вулканогенных гидротермальных золото-серебро-полиметаллических объектов Восточной Камчатки. Оно отличается наличием двух типов руд: классических эпитермальных (типа LS – кварц-адуляр-карбонатные) и медно-порфировых (халькопирит-борнит-халькозиновых). В настоящее время промышленную ценность месторождения определяет эпитермальное золото-серебряное оруденение. Текстуры руд комбинированные с преобладанием прожилково-сетчатой, прожилково-вкрапленной, друзовидной с элементами брекчиевидной и крустификационно-полосчатой, брекчиевой, массивной.

Собственно эпитермальное оруденение представлено зонами жильной и прожилково-вкрапленной минерализации. Руды отличаются сложным минеральным составом с неравномерным распределением рудных и жильных фаз: от массивных свинцово-цинковых до убого вкрапленных кварц-адуляр-карбонатных и прожилково-сетчатых халькопирит-борнит-халькозиновых разностей. Выделяются несколько различных продуктивных минеральных ассоциаций: кварц-сфалерит-пиритовая, сфалерит-блекловорудная, сфалерит-галенитовая, кварц-пиритовая, пирит-халькопирит-блекловорудная, золото-пиритовая, золото-кварцевая.

Главный рудный минерал – сфалерит – содержит железо, кадмий, марганец, медь, ртуть. Первые два элемента распределены в сфалерите сравнительно равномерно. Выявлены незначительные вариации в распределении железа, зависящие от размеров и микроструктурной позиции минерала.

В результате комплексных минералого-геохимических исследований с применением современных аналитических методов получены данные о формах нахождения важных в промышленном отношении химических элементов: золото – самородное золото, петцит, сильванит; серебро – блеклые руды, электрум, гессит, петцит, сильванит; теллур – гессит, петцит, сильванит, алтаит; медь – сфалерит, халькопирит, блеклые руды, халькозин, борнит; свинец – галенит, алтаит; цинк – сфалерит, блеклые руды; кадмий – сфалерит, блеклые руды, халькозин, борнит; токсичные элементы: мышьяк – пирит, блеклые руды; ртуть – сфалерит.

В продуктивном кварце обнаружены газово-жидкие включения слабоминерализованных гидротермальных растворов с температурами гомогенизации 110–290°C.

Текстурно-структурные особенности руд, разнообразие минерального состава, наличие мышьяк-содержащего пирита, барийсодержащего адуляра указывают на сложный многостадийный процесс формирования месторождения, который происходил в приповерхностных условиях и сопровождался брекчированием.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ДВО К2009_РЗ_ГрВ_С08, РФФИ 12-05-31369.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН В.В.Куликову, В.Ф.Лунькову, А.А.Платонову – помощь в обработке каменного материала, Р.Н.Куликовой – изготовление шлифов, пластинок; Аналитического центра ИВиС ДВО РАН А.О.Садовниковой, Н.И.Чебровой, АСИЦ ИПТМ РАН В.К.Карандашеву – выполнение аналитических работ; геологам ЗАО «Быстринская горная компания» и лично Н.М.Большакову, Л.А.Безруковой – предоставление каменного материала и возможность использования геологических данных; Oxford Instruments В.В.Козлову – полезные рекомендации в расчётах формул минералов; рецензентам – за ряд ценных замечаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Корякско-Камчатская. Лист N-57 Петропавловск-Камчатский. Объяснительная записка / Отв. исполнители Б.И.Сляднев, В.Н.Шаповаленко. – СПб.: Издво СПб. картфабрики ВСЕГЕИ. 2006.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Сер. Восточно-Камчатская. Лист N-57-VI, N-58-I (гора Шиш). Объяснительная записка / Сост. М.Е.Бояринова, Н.А.Вешняков, А.Г.Коркин и др. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007.
3. Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. – М.: Недра, 1979.
4. Карпунин М.А. АО «Золото Камчатки» – ответственный природопользователь // Горный вестник Камчатки. 2017. Вып. № 2 (38). С. 21–25.
5. Краткая объяснительная записка. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализаций и ореолов рассеяния полезных ископаемых. Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1:500 000 / Гл. ред. А.Ф.Литвинов, М.Г.Патока (Камчат-

- геолком), Б.А.Марковский (ВСЕГЕИ). – Петропавловск-Камчатский: Изд-во СПб. картфабрики ВСЕГЕИ, 1999.
6. Мелекесцев И.В. Вулканизм и рельефообразование. – М.: Наука, 1980.
 7. Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н. Термобарогеохимия. – М.: Академический проспект, 2008.
 8. Методика определения основных петрогенных элементов и микрокомпонентов в геологических, минералогических и горнорудных материалах методом последовательной рентгенофлуоресцентной спектрометрии. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2006.
 9. Мозгова Н.Н., Цепин А.И. Блеклые руды (особенности химического состава и свойств). – М.: Наука, 1983.
 10. Олейник В.И. Отчет о геологической съемке и поисках полезных ископаемых масштаба 1:50 000 в пределах листов N-57-11 В, Г; N-57-12 В; N-57-23 А, Б; N-57-24 А, проведенных Кумрочской партией в 1981–1985 гг. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский ТФГИ, 1985.
 11. Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. – Петропавловск-Камчатский: СП КФ ВСЕГЕИ, 1999.
 12. Спиридонов Э.М. Виды и разновидности блеклых руд и их рациональная номенклатура // ДАН. 1984. Т. 279. № 2. С. 447–453.
 13. Федоренко С.И. Морская терраса Восточного побережья Камчатки // Бюлл. московского общества испытателей природы. Отдел геологии. Т. XL (4). 1965. С. 80–90.
 14. Шадрин А.Г. Отчет о результатах I этапа поисково-оценочных работ, проведенных на рудном поле Кумроч в 1998–2001 гг. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский ТФГИ, 2001.
 15. Шеунов Б.А. Краткий обзор текущих событий // Горный вестник Камчатки. 2017. Вып. № 3–4 (39–40). С. 7–23.

MINERALOGICAL-GEOCHEMICAL ORE FEATURES FOR KUMROCH DEPOSIT, EASTERN KAMCHATKA

V.M.Okругin^{1,2}, K.O.Shishkanova¹, T.M.Philosophova¹
 (1 Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky;
 2 Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky)

The Kumroch deposit is one of the most promising ore deposits in the Kamchatka region. It is located in the central part of the East Kamchatka volcanic belt and belongs to complex polygenic type with gold-silver (LS type) and porphyry copper mineralization. This paper presents the actual material obtained with the integrated mineralogical-geochemical study of gold-silver mineralization. There are three ore types: gold-quartz-adular, gold-polymetallic and porphyry copper. Texture-structural features, mineral and chemical composition, modes of precious and base metals occurrence and some features of ore genesis have been studied in detail. Using modern methods of local physical and chemical analysis, typomorphic features of sulfides Zn, Fe, Pb, fahlores and tellurides of Au, Ag are characterized. The following mineral associations are distinguished: quartz-sphalerite-pyrite, sphalerite-fahlore, sphalerite-galena, quartz-pyrite, pyrite-chalcopyrite-fahlore, gold-pyrite, gold-quartz. The temperatures and composition of ore-forming solutions are estimated.

Key words: Kumroch gold-silver-polymetallic deposit, ore formation, Eastern Kamchatka, sphalerite, pyrite, fahlores.



14 июня 2019 г. исполнилось 70 лет **Владимиру Вениаминовичу Кузнецову**, кандидату геолого-минералогических наук, заведующему отделом цветных металлов ФГБУ «ЦНИГРИ».

В.В.Кузнецов поступил на работу в ЦНИГРИ в 1967 г. на должность старшего техника. По окончании в 1973 г. МГРИ им. С.Орджоникидзе работал младшим, старшим и затем ведущим научным сотрудником.

До 1974 г. занимался изучением геолого-генетических особенностей месторождений Озёрное и Холоднинское. Работал на Рудном Алтае в качестве ответственного исполнителя по анализу геологической позиции золоторудных месторождений, совершенствованию поисковых критериев и признаков скрытых колчеданно-полиметаллических месторождений. В 1975 г. участвовал в составлении прогнозно-металлогенических карт Змеиногорского района, в результате чего был разработан прогнозно-поисковый комплекс для колчеданно-полиметаллических месторождений в вулканогенно-осадочных толщах и значительно увеличен прирост запасов Корбалихинского месторождения. В 1980 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме «Свинцово-цинковые месторождения Змеиногорского района (Рудный Алтай), особенности их геологического строения, минеральный состав руд и происхождение».

За эти годы В.В.Кузнецов стал высококвалифицированным специалистом в области методики поисков и прогнозирования полиметаллических месторождений, овладел методами количественной оценки прогнозных ресурсов и успешно применял их на практике. В 1994 г. назначен заведующим отделом компьютерных технологий и информации. Под его руководством разработаны компьютерные версии моделей месторождений благородных и цветных металлов, сформирован банк данных моделей металлогенических зон, рудных районов, полей и месторождений, создана и реализована система мониторинга прогнозных ресурсов, основанная на банках данных перспективных объектов и кадастре прогнозных ресурсов. В рамках научно-методического сопровождения геологоразведочных работ им создано и реализовано компьютерное программно-технологическое и компьютерно-графическое обеспечение оперативных программ и проектов ГРР.

С 2009 по 2012 гг. В.В.Кузнецов возглавлял исследования на Рудном Алтае по теме «Опережающие геолого-геофизические работы для обоснования переоценки перспектив полиметаллического оруденения Рудного Алтая (Алтайский край) с целью разработки основы для создания ведущего в РФ центра по добыче свинца и цинка». В результате были выделены перспективные участки в пределах Змеиногорского, Золотушинского и Рубцовского районов, локализованы прогнозные ресурсы. С 2013 г. по настоящее время В.В.Кузнецов руководит отделом цветных металлов. Будучи высокопрофессиональным специалистом в области металлогении, прогнозирования и методов поисков рудных (в особенности колчеданно-полиметаллических) месторождений, на протяжении многих лет успешно проводит работы по изучению закономерностей их размещения, факторов контроля оруденения (структурных, палеофациальных, литолого-стратиграфических, геохимических, вещественного состава руд) в ряде районов РФ – на Рудном Алтае, Салаире, Енисейском кряже, в Восточном Забайкалье.

В.В.Кузнецовым опубликовано более 150 научных работ, включая пять монографий в соавторстве. Последняя монография (2019) «Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая» является наиболее значимой.

В.В.Кузнецов – лауреат Премии Правительства РФ 2000 года в области науки и техники за участие в разработке комплекта карт «Экзогенная золотоносность и платиноносность Российской Федерации», лауреат Премии Правительства РФ 2007 года в области науки и техники за участие в разработке научно обоснованной, создания и реализации системы прогноза и воспроизводства минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов Российской Федерации. Награждён знаками «Отличник разведки недр», «Почётный разведчик недр», юбилейным знаком «300 лет горно-геологической службы России», медалью «В память 850-летия Москвы».

Поздравляем Владимира Вениаминовича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, долголетия, успехов.



26 мая 2019 г. исполнилось 60 лет научному сотруднику отдела научно-методического сопровождения ГРП **Минькину Константину Матвеевичу**.

К.М.Минькин – специалист в области изучения геологии золоторудных месторождений, работает в ЦНИГРИ с 1990 г. Почти десять лет исследует золоторудные месторождения Центральных Кызылкумов. За эти годы он вырос в квалифицированного специалиста, способного решать сложные задачи картирования черносланцевых толщ золоторудных месторождений региона и составления их детальных карт и разрезов.

Накопленный опыт изучения золоторудных объектов, локализованных в углеродно-терригенных комплексах, с успехом применяется К.М.Минькиным при оценке перспектив золотоносности конкретных площадей на юге России, Южном и Среднем Урале. В результате проведённых работ при участии К.М.Минькина для данных площадей подготовлены схемы структурно-формационного и металлогенического районирования в м-бах 1:50 000–1:200 000; для участков детализации построены схемы литолого-фациального строения в м-бе 1:10 000 и крупнее и разрезы к ним; разработаны критерии прогноза и поисков руд золота для конкретных геологических условий Авзянского и Учалинского рудных районов Республики Башкортостан.

Начиная с 2002 г. в рамках работ, связанных с методическим сопровождением объектов ГРП, выполняемых за счёт средств федерального бюджета и нацеленных на воспроизводство минерально-сырьевой базы РФ на твёрдые полезные ископаемые, при активном участии К.М.Минькина подготавливаются материалы по объектам перечня, которые позволят повысить эффективность геологоразведочных работ.

В составе рабочей группы К.М.Минькин подготавливал заключения по объектам ГРП в Приволжском, Уральском, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах, а также отвечал за качественную и своевременную подготовку отчётов ЦНИГРИ для представления их в Роснедра.

Многолетняя научная деятельность К.М.Минькина отмечена знаками «Отличник разведки недр», «Почётный разведчик недр», почётными грамотами.

Сердечно поздравляем **Константина Матвеевича Минькина** с юбилеем, желаем крепкого здоровья, благополучия, дальнейших творческих успехов.

*Учёный совет
Редколлегия журнала*

