

# И РУДЫ И МЕТАЛЛЫ



научно-технический журнал

№ 3 июль – сентябрь 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

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

**Егорова И.В., Лаптева А.М.**

Прогноз добычи минерального сырья и обеспеченность мировой экономики его ресурсами

04

### SUBSOIL USE

**Egorova I.V., Lapteva A.M.**

Forecast for mineral production and mineral resource sufficiency for global economy

**Тучина М.В., Ермакова Ю.В.**

Обеспеченность запасами медьдобывающих предприятий Южного и Среднего Урала, состояние и перспективы развития их сырьевой базы

12

**Tuchina M.V., Ermakova Yu.V.**

Reserve sufficiency of South and Middle Urals copper mines, their mineral base status and prospects

### МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Божко Н.А.**

Алмазоносный магматизм в суперконтинентальных циклах

22

### PROGNOSIS, PROSPECTING AND EXPLORATION: TECHNIQUES AND METHODS

**Bozhko N.A.**

Diamond magmatism in supercontinental cycles

**Столяренко В.В., Минаков А.В.,  
Чернов Е.Е., Остапенко Л.А.,  
Минин А.Н., Рябощапко А.Г.**

Использование шлихоминералогического метода на ранних стадиях ГРП для оперативной оценки наличия крупного золота (на примере Центрально-Алданского района)

28

**Stolyarenko V.V., Minakov A.V.,  
Chernov E.E., Ostapenko L.A.,  
Minin A.N., Ryaboshapko A.G.**

Heavy concentrate analysis application at early exploration stages for the express estimation of coarse gold presence (on the example of Central Aldan area)



**Хмельков А.М., Константинов К.М.,  
Власова Э.А., Антонова Т.А.**

О магнетите как минерале-индикаторе кимберлитов

44

**Khmelkov A.M., Konstantinov K.M.,  
Vlasova E.A., Antonova T.A.**

Magnetite: kimberlite indicator mineral

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Ежков Ю.Б.,  
Рахимов Р.Р., Рустамжонов Р.Р.,  
Новикова И.В., Холиёров А.Т.**

Особенности рудно-магматической системы и перспективы медно-олово-полиметаллического (с золотом) месторождения Ташкерган, Восточный Узбекистан

52

GEOLOGY OF ORE DEPOSITS

**Yezhkov Yu.B.,  
Rakhimov R.R., Rustamjonov R.R.,  
Novikova I.V., Kholiyorov A.T.**

Features of the ore-magmatic system and prospects of the Tashkergan polymetallic (with Au) deposit, East Uzbekistan

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ  
И СВОЙСТВА ПОРОД И РУД

**Позднякова Н.Н., Ивасенко Р.Н.,  
Роднов Ю.Н., Попов Ю.В.**

Типоморфизм самородного золота рудопроявлений Берентальского рудного поля, Магаданская область

61

COMPOSITION AND PROPERTIES  
OF ROCKS AND ORES

**Pozdnyakova N.N., Ivassenko R.N.,  
Rodnov Yu.N., Popov Yu.V.**

Native gold typomorphizm at Berentalskoe ore field mineral occurrences, Magadan region

**Юричев А.Н.**

Акцессорные сульфиды и арсениды из хромитов Эргакского ультрамафитового массива, Западный Саян

71

**Yurichev A.N.**

Accessory sulphides and arsenides from chromytites of Ergaksky ultramafic massif, Western Sayany area

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ

Конкину О.М.

81

OUR CONGRATULATIONS

O.M.Konkina

ПАМЯТИ

В.И.Ваганова

82

IN MEMORIUM

V.I.Vaganov



## ПРОГНОЗ ДОБЫЧИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКИ ЕГО РЕСУРСАМИ

*Проанализирована сырьевая обеспеченность мировой экономики. Сопоставлено количество ресурсов ведущих металлических полезных ископаемых и алмазов, заключённых в эксплуатируемых и подготавливаемых к эксплуатации месторождениях, с текущим и/или проектным уровнем добычи на них. Показано, что сырьевые базы металлов в состоянии обеспечить современный и более высокий уровень добычи в течение длительного времени. Исключением являются алмазы, извлечение которых в ближайшем будущем значительно снизится, если не будут открыты и введены в эксплуатацию новые пока неизвестные месторождения.*

*Ключевые слова: сырьевая обеспеченность, ресурсы, сырьевая база, добыча, прогноз, железные руды, хромовые руды, марганцевые руды, алюминиевое сырьё, медь, никель, свинец, цинк, олово, вольфрам, молибден, титан, золото, серебро, платиноиды, алмазы.*

Важнейший параметр, характеризующий сырьевую базу любого полезного ископаемого, – её способность обеспечить устойчивое функционирование мировой, региональной или национальной экономики (в целом или по конкретным отраслям). Прогноз изменения этого параметра на обозримую перспективу позволяет оценить сырьевую обеспеченность экономики на ближайшие годы.

В основе выполненного анализа сырьевой обеспеченности лежит сопоставление количества идентифицированных ресурсов (Identified Resources=Measured+Indicated+Inferred Resources) ведущих металлических полезных ископаемых и алмазов, заключённых в эксплуатируемых и подготавливаемых к эксплуатации объектах, с текущим и/или проектным уровнем добычи на этих месторождениях [1, 6]. Источниками информации о ресурсах и добыче служили, прежде всего, отчёты горнодобывающих компаний и компаний, реализующих проекты освоения новых объектов. Если отчёты не содержали сведений о добыче в явном виде, выполнялась её оценка на основе данных о производстве товарной сырьевой продукции (концентраты и их аналоги), потерях при добыче и обогащении, коэффициенте извлечения и проч.

Собрана информация более чем по 8000 месторождений мира, включая Россию, среди которых в выборку вошли более 5000, многие из которых – комплексные. Оценены все крупные и уникальные объекты, значительная часть средних по масштабу и некоторые мелкие месторождения (особенно имеющие региональное значение), учтены практически все эксплуатируемые и подготавливаемые к эксплуатации отечественные месторождения рассматриваемых видов сырья (таблица).

### Егорова Ирина Валентиновна

кандидат геолого-минералогических наук  
заместитель заведующего отделом  
мониторинга МСБ ТПИ и недропользования  
irinaegorova31@gmail.com

### Лаптева Анна Михайловна

кандидат геолого-минералогических наук  
заведующая сектором металлических ТПИ  
отдела мониторинга МСБ ТПИ  
и недропользования  
lapteva@vims-geo.ru

ФГБУ «Всероссийский  
научно-исследовательский институт  
минерального сырья им. Н.М.Федоровского»,  
г. Москва

## СОСТОЯНИЕ МИРОВОЙ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ВЕДУЩИХ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В 2015 г.

Виды сырья	Ресурсы	Запасы	Производство концентратов и их аналогов	Добыча	Число месторождений, использованных в анализе	
					всего	в том числе ведущих
Железные руды, млрд т	660	150	2	3,4	704	55
Хромитовые руды, млрд т	6	15	0,028	0,047	63	31
Марганцевые руды, млрд т	3	11	0,053	0,085	98	44
Бокситы, млрд т	68,5			0,292	110	26
Медь, млн т	2620	770	19,1	23,8	1411	65
Никель, млн т	247	63	2,15	2,4	274	24
Свинец, млн т	331,9	90,6		4,8	324	62
Цинк, млн т	724	230		13,6	421	65
Олово, млн т	15	2,9	0,338	0,37	431	19
Вольфрам, млн т WO <sub>3</sub>	16,3	3,7	0,112	0,14–0,15	240	32
Молибден, млн т	75	25	0,237	0,36–0,37	306	43
Титан, млн т TiO <sub>2</sub>	5513	916	5,8	14	213	28
Золото, тыс. т	140	56		3,1	1600	71
Серебро, тыс. т	1856	670		27,6	800	49
Платиноиды, тыс. т	95	19	0,459	0,574	107	25
Алмазы, млрд кар	4,6	2	0,13		200	28

В качестве репера нами выбран 2015 год, при этом было сделано допущение, что в последующие годы уровень добычи на рассматриваемых эксплуатируемых месторождениях не изменится. Исключением стали предприятия, объявившие о планах по изменению производительности в сторону уменьшения или увеличения. Данный год выбран, поскольку имеющаяся в распоряжении авторов информация о состоянии мировой сырьевой базы (МСБ) в 2015 г. наиболее полна. При этом дальнейшее развитие событий показало, что это был период самых низких цен на сырьё, после чего тенденции развития мировых сырьевых рынков изменились в сторону улучшения конъюнктуры. Это, безусловно, в некоторой степени повлияет на прогнозы развития МСБ, однако, скорее всего, делает их более благоприятными. В качестве горизонта прогнозирования выбран 2030 год. Более отдалённые перспективы характеризуются значительной неопределённостью, в связи с чем не рассматривались.

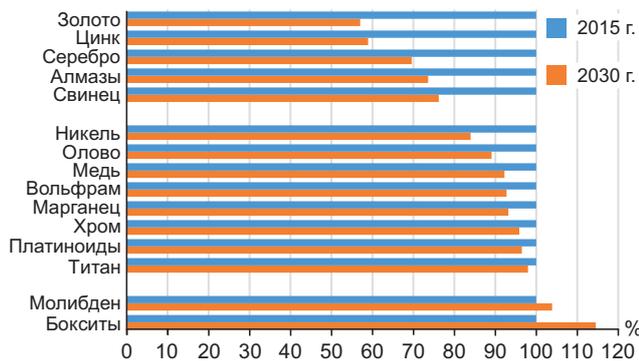
В целом, сырьевая обеспеченность горной промышленности складывается из двух составляющих: сроков деятельности действующих горных предприятий (или сроков истощения ресурсов эксплуатируемых ими месторождений) и темпов ввода в эксплуатацию новых месторождений, способных

компенсировать снижение добычи на истощающихся объектах. Влияние на ситуацию новых предприятий оценивается на основе проектных данных о добыче (включая календарные планы горных работ), в том числе ожидаемом сроке ввода в эксплуатацию, и информации о ресурсной базе месторождений.

Сопоставление количества ресурсов эксплуатируемых и осваиваемых месторождений с текущим и/или проектным уровнем добычи на них позволяет определить возможный уровень производства сырьевой продукции в каждый заданный момент времени в пределах горизонта прогнозирования, а также оценить темпы погашения текущих ресурсов и размер остаточных идентифицированных ресурсов.

Отношение прогнозируемого уровня производства сырья к ожидаемому уровню его потребления в мире показывает вероятную степень удовлетворения спроса на данное полезное ископаемое со стороны мировой экономики. При этом оценка количества его остаточных ресурсов в мире в целом или в отдельных регионах может и должна учитываться при планировании геологоразведочных работ.

Результаты проведённого авторами анализа согласуются с предположениями об исчерпании к



**Рис. 1. ПРОГНОЗИРУЕМЫЙ НА 2030 г. УРОВЕНЬ ДОБЫЧИ ВЕДУЩИХ МЕТАЛЛОВ И АЛМАЗОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ, ЭКСПЛУАТИРОВАВШИХСЯ В 2015 г. (% от уровня 2015 г.)**

2030 г. ресурсов ряда разрабатываемых в настоящее время объектов, что означает ликвидацию функционирующих на их базе рудников и соответствующее сокращение мировой добычи данного вида минерального сырья. Как видно из рис. 1, в различной степени эта тенденция затронет многие виды сырья, но есть отдельные виды, которых она не коснется. Максимальный спад добычи, обусловленный истощением ресурсов некоторых эксплуатируемых месторождений, ожидается для золота, цинка (>40% относительно уровня 2015 г.) серебра (>30%), алмазов (>25%), свинца (~25%). Для никеля, олова, меди, вольфрама, марганца, хрома, платиноидов и титана возможный спад будет значительно меньше (от 2 до 16%). Добыча молибдена и бокситов за счёт расширения мощностей действующих рудников, наоборот, может возрасти приблизительно на 4 и 15% соответственно.

**Золото и алмазы.** Истощение сырьевой базы действующих рудников и их выбывание не означает, что адекватно этому произойдёт сокращение мировой добычи. Высокая ликвидность золота и алмазов обеспечивает успешную реализацию проектов освоения новых месторождений. Несмотря на неблагоприятную конъюнктуру сырьевых рынков последних лет, ни один из подобных проектов не был закрыт по экономическим причинам, а сроки их выполнения чаще всего выдерживаются. Это, а также планируемое расширение мощностей действующих рудников может не только компенсировать ожидаемую убыль добычи в мире, но, в случае успешного воплощения, обеспечит к 2020 г.

прирост добычи золота на 15% относительно уровня 2015 г., алмазов почти на 10% (рис. 2).

Но в более отдалённой перспективе из-за выбывания действующих предприятий объёмы добываемого золота и алмазов вновь начнут уменьшаться. Причём в период до 2030 г. могут быть исчерпаны ресурсы не только разрабатываемых объектов, но и некоторых ещё не введённых в эксплуатацию. В результате в 2030 г. суммарный объём добываемого на планете золота всё равно может сократиться на 13%, алмазов – почти на 30% относительно уровня 2015 г.

Золото и алмазы также характеризуются самыми высокими темпами истощения ресурсной базы – в среднем 2,6% ежегодно для алмазов и 1,9% – для золота. Приняв количество ресурсов в мире, оценённых на конец 2015 г. за 100%, получаем, что к 2030 г. ресурсная база золота сократится почти на 30%, алмазов – на 40% (см. рис. 2, б). Однако данное утверждение окажется верным, только если за 2015–2030 гг. в мире не будет обнаружено ни одного нового проявления этих видов сырья, что маловероятно. Более того, благодаря активным геологоразведочным работам на золото, проводимым в мире, ресурсная база уже за 2015–2017 гг. успела вырасти [7].

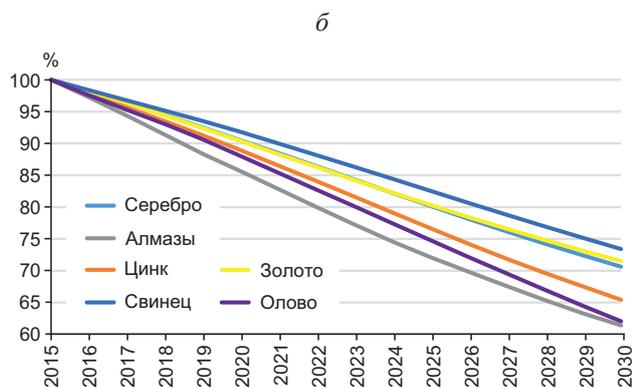
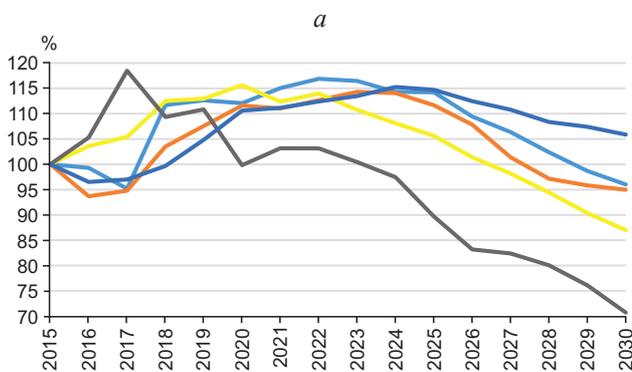
Ситуация с компенсацией истощающихся ресурсов алмазов принципиально иная. Если не считать гигантских ресурсов импактных алмазов Попигайской астроблемы в России, она достаточно ограничена. После обнаружения Канадской алмазодобывающей провинции в 1990-х годах в мире не было выявлено ни одного месторождения, сопоставимого с теми, которые в настоящее время обеспечивают основной объём производства драгоценного сырья. Однако открытие кимберлитовой трубки Бундер в индийском штате Мадхья-Прадеш, на которой компания Rio Tinto намеревалась добывать 34,2 млн кар. алмазов ежегодно, может свидетельствовать о том, что новый алмазодобывающий регион уже найден [2], а срок полного истощения сырьевой базы алмазов отодвинулся на более отдалённую перспективу.

**Серебро, цинк, свинец.** Прогнозируемая динамика добычи этих металлов в 2015–2030 гг. хорошо коррелируется, что позволило нам рассматривать их совместно.

К 2030 г. из 70 наиболее значимых месторождений цинка могут быть исчерпаны ресурсы 23 объектов, в том числе обеспечивающих функциониру-

вание крупных горнодобывающих предприятий. Это Сенчури (Австралия), рудник на котором был закрыт в 2016 г., а также Сан-Кристобаль (Боливия), Наван и Лишин (Ирландия), Восточная группа и Риддер-Сокольное (Казахстан), Чунгар (Перу) и др. Результатом этого может стать сокращение сырьевой базы цинка более чем на треть, а свинца на четверть (см. рис. 2, б).

Ожидаемое прекращение деятельности рудника на месторождении Сенчури стимулировало горнодобывающие компании осваивать новые месторождения цинка, а поскольку они, как правило, комплексные, в перспективе это должно привести к росту добычи серебра, свинца, цинка, а также золота и других попутных компонентов. Лишь



**Рис. 2. ПРОГНОЗ ДОБЫЧИ (а) И ИСЧЕРПАНИЯ (б) РЕСУРСОВ ЗОЛОТА, АЛМАЗОВ, СЕРЕБРА, ЦИНКА, СВИНЦА И ОЛОВА В 2015–2030 гг. (% от уровня 2015 г.):**

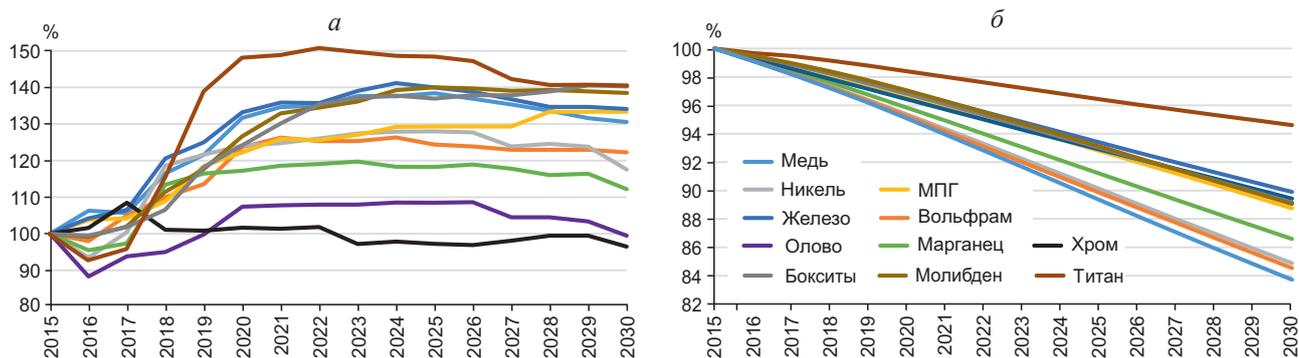
для 2016–2017 гг. показан фактический уровень добычи относительно уровня 2015 г., для последующих лет – ожидаемый уровень добычи исходя из вводного положения о сохранении добычи действующих предприятий на уровне 2015 г. с учётом планов по вводу новых мощностей

малая часть имеющихся в мире проектов освоения таких объектов была приостановлена, а в 2012–2015 гг. стали появляться новые проекты. Тем не менее в 2030 г. уровень добычи цинка и серебра может оказаться на 4–5% ниже уровня 2015 г., а свинца – всего на 5–6% выше (см. рис. 2, а).

Исчерпание сырьевых баз серебросодержащих месторождений других геолого-промышленных типов, прежде всего эпитермальных золото-серебряных, повлияет на уровень добычи серебра. В результате, при условии, что не будет найдено ни одного серебросодержащего месторождения, мировые ресурсы этого металла к 2030 г. могут составить лишь 70% показателя 2015 г.

**Олово.** Прогнозирование добычи олова, всегда сопряжённое со значительными трудностями из-за её нестабильности в Китае и Индонезии, с 2013 г. ещё больше усложнилось. Причиной стало практически мгновенное превращение Мьянмы в одного из крупнейших мировых продуцентов оловянного сырья (в 2015 г. здесь было произведено порядка 50 тыс. т олова в концентрате, тогда как в 2012 г. в 10 раз меньше). Источником металла стала территория самоуправляемой зоны Ва, для которой имеются лишь весьма приблизительные оценки количества ресурсов олова, варьирующие от 100 тыс. т до 1 млн т [3, 4]. Если исходить из минимального значения этих оценок, то при актуальном уровне добычи уже в ближайшие 1–2 года добыча в Мьянме прекратится, что может привести к некоторому снижению мировой добычи относительно уровня 2015 г. (рис. 3). В то же время, в мире реализуется не менее 15 проектов освоения месторождений олова (не считая техногенных), и их ввод в строй может не только компенсировать спад производства в Мьянме (если он случится), но и обеспечить прирост мирового показателя на 8–9%. Однако к концу рассматриваемого периода создаётся новая угроза падения добычи, связанная с полной отработкой крупного месторождения Сан-Рафаэль в Перу, что может привести к снижению количества добываемого в мире олова до уровня 2015 г.

При этом очень высоки возможные темпы исчерпания мировой сырьевой базы олова – в период до 2030 г. они превышают 2,5% в год. Следствием может стать сокращение мировых ресурсов олова к 2030 г. на 40% относительно уровня 2015 г. При таких условиях обеспеченность мировой оловодобычи ресурсами при её актуальной интенсивности составит не более 40 лет, что является од-



**Рис. 3. ПРОГНОЗ ДОБЫЧИ (а) и ИСЧЕРПАНИЯ (б) РЕСУРСОВ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД, ХРОМА, МАРГАНЦА, МЕДИ, НИКЕЛЯ, ОЛОВА, ВОЛЬФРАМА, ТИТАНА, МОЛИБДЕНА, БОКСИТОВ И ПЛАТИНОИДОВ В 2015–2030 гг. (% от уровня 2015 г.):**

для 2016–2017 гг. показан фактический уровень добычи относительно уровня 2015 г., для последующих лет – ожидаемый уровень добычи исходя из вводного положения о сохранении добычи действующих предприятий на уровне 2015 г. с учётом планов по вводу новых мощностей

ним из самых низких показателей среди твёрдых полезных ископаемых. В этом случае востребованность российской сырьевой базы олова, составляющей, по примерным оценкам, более четверти мировой, может значительно вырасти – сейчас она крайне низка из-за инфраструктурных и технологических проблем.

**Хром.** В обозримой перспективе добыча хрома будет, по-видимому, в целом стабильной, а темпы исчерпания сырьевой базы хромитов – одними из самых низких (к 2030 г. их ресурсы могут сократиться всего на 10%) (см. рис. 3, б). Основанием для таких предположений является отсутствие активности его продуцентов в сфере наращивания производства, так как большинство их ведут эксплуатацию участков Бушвельдского массива в ЮАР и обеспечены ресурсами хромитов на многие годы вперёд, а при необходимости могут нарастить объёмы своего производства.

В то же время, в 2023 г. ожидается истощение одного из крупнейших эксплуатируемых объектов Казахстана – 40 лет Казахской ССР-Молодёжное, что может вызвать спад мировой добычи хрома примерно на 5% (см. рис. 3, а). Явных возможностей компенсировать этот спад (если не считать гибкости южноафриканских продуцентов) в настоящее время нет: в мире реализуется всего семь проектов освоения новых месторождений, причём наиболее подготовлены три мелких в мировом масштабе российских месторождения – Западное, Южно-Сарановское и Аганозерское. Проекты в других

странах находятся на ранних стадиях развития с не определёнными сроками их завершения, что не позволяет учитывать их в анализе. Таким образом, сокращение предложения хрома на рынке может привести к существенному росту цен, что, в свою очередь, активизирует горнодобывающие компании в освоении новых хромитовых объектов. Одним из них может оказаться недавно открытый рудный район Ринг-оф-Файе в канадской провинции Онтарио. Его освоение пока сдерживается отсутствием необходимой транспортной инфраструктуры, но местное правительство уже заявило о согласии принять участие в решении этой проблемы [5].

Для остальных рассматриваемых видов сырья, в числе которых железные и марганцевые руды, никель, медь, вольфрам, молибден, платиноиды, бокситы и титан, даже с учётом выбывания мощностей, связанных с исчерпанием их ресурсной базы, прогнозируется существенное (не менее чем на 10%) увеличение добычи за счёт ввода в эксплуатацию новых месторождений, несмотря на то, что из-за замедления экономики Китая последних лет, повлёкшего за собой снижение спроса на сырьё, ряд проектов был приостановлен или сроки их ввода были перенесены на более позднее время.

**Марганец.** Активный ввод новых мощностей по добыче марганцевых руд начался еще до 2015 г. За 2011–2014 гг. в эксплуатацию было введено около десятка марганцевых рудников в ЮАР, Габоне, Намибии, Кот-д'Ивуаре и других странах. Хотя к 2015 г. не все из них вышли на полную мощность,

тем не менее суммарно они смогли обеспечить ~10% мировой добычи марганцевых руд. При этом в мире продолжалась реализация ещё нескольких новых проектов. Если все действующие новые рудники выйдут на проектные мощности, а проекты будут своевременно завершены, то уже в 2022 г. прирост добычи марганцевых руд относительно уровня 2015 г. может приблизиться к отметке 20%, а в 2030 г., при условии исчерпания ресурсов действующих рудников, он составит >10% (см. рис. 3, а). Однако имеющаяся на сегодняшний день ресурсная база марганцевых руд столь значительна, что к 2030 г., несмотря на существенное расширение добычи, она сократится не более чем на 13% относительно уровня 2015 г. (см. рис. 3, б).

**Железо.** Железородная отрасль пострадала из-за снижения спроса со стороны китайской промышленности больше, чем какая-либо другая. К концу 2015 г. цены на железную руду упали более чем в три раза по сравнению с максимумом, достигнутым в 2011 г., что вынудило некоторые компании закрыть проекты освоения месторождений железных руд (таких по меньшей мере 24) или отложить их реализацию на неопределённый срок. Однако многие из них находились на ранних стадиях реализации, а работы на месторождениях, близких к вводу в эксплуатацию, в большинстве своём продолжаются. Если они будут успешно и своевременно завершены, производство железорудного сырья в мире в середине следующего десятилетия может вырасти более чем на 40% относительно уровня 2015 г. К концу рассматриваемого периода за счёт естественного выбывания мощностей оно может несколько сократиться, но превышение над уровнем 2015 г. составит ~30–35%.

Несмотря на столь значительный прирост добычи, сокращение ресурсов железных руд будет идти малыми темпами, что связано с масштабностью сырьевой базы этого вида сырья. В итоге в 2030 г. актуальные ресурсы сократятся относительно уровня 2015 г. всего на 10%.

**Никель.** Бурное развитие сталелитейной промышленности в Китае в начале XX в. послужило толчком к освоению множества (не менее 50) никелевых месторождений во всём мире, как сульфидных, так и латеритных. Однако снижение спроса на никелевую продукцию в КНР, начавшееся в 2012 г., привело к затяжному падению цен на металл, в начале 2016 г. обновивших 15-летний минимум, и сделало убыточными даже многие действующие

в мире рудники; к середине 2016 г. три из них были закрыты. В 2015 г. 18 проектов освоения месторождений никеля признаны нерентабельными, среди них оказались и близкие к завершению. Тем не менее, объекты, работы на которых продолжаются, могут обеспечить рост добычи никеля к началу следующего десятилетия на четверть относительно 2015 г.

При ожидаемых темпах роста добычи текущие ресурсы никеля сократятся относительно уровня 2015 г. на 15%.

**Платиноиды.** Сокращение числа проектов освоения сульфидных никелевых месторождений сказалось на перспективах наращивания добычи платиноидов, так как на большинстве этих объектов предполагалась их попутная добыча. Тем не менее, разработка имеющихся месторождений и расширение действующих рудников могут увеличить производство металлов платиновой группы на треть по сравнению с 2015 г. Сокращение ресурсов платиноидов за счёт их погашения в ходе добычи относительно уровня 2015 г. составит ~11%.

**Вольфрам.** Монополистом по выпуску вольфрамового сырья является Китай, обеспечивающий ~80% его мировой добычи. Озабоченность потребителей практически полной зависимостью от китайских поставок обусловила проведение работ по созданию новых или реанимации старых вольфрамовых рудников в ряде стран, в числе которых Вьетнам, Великобритания, Австралия, Испания, Южная Корея, Канада. Но резкое падение цен на металл (двукратное для среднегодового показателя), произошедшее в 2015–2016 гг. и связанное с его перепроизводством, привело к закрытию некоторых рудников в Китае и за его пределами. В то же время, работы по большинству проектов продолжаются. Это вызвано или высокой экономической эффективностью проектов, сохраняющих показатели рентабельности даже в условиях низких цен, или тем, что проекты находятся на ранних стадиях развития, и компании рассчитывают на стабилизацию рынка к моменту их ввода в эксплуатацию. Тем не менее, вполне вероятно, что темпы роста производства вольфрама могут оказаться ниже ожидаемых.

К 2030 г. при ожидаемых темпах роста добычи вольфрама сокращение его ресурсов относительно уровня 2015 г. составит ~15%.

**Медь.** Число осваиваемых месторождений меди значительно. Насчитывается более двух десят-

ков крупных проектов с плановой мощностью по добыче >100 тыс. т металла в год, а на каждом из двух новых крупнейших рудников – Резольюшен в США и Удоканском в России – планируется ежегодно добывать >500 тыс. т меди. Вовлечению в эксплуатацию новых медных объектов способствует ожидаемое истощение ресурсов ряда австралийских месторождений, которое может привести к спаду производства в стране и соответствующему снижению предложения металла на рынке.

Сокращение мировых ресурсов меди в период до 2030 г. при сохранении ожидаемых нами характеристик добычи составит ~16% относительно уровня 2015 г.

**Бокситы, титан, молибден.** Эти виды минерального сырья отличаются чрезвычайно высоким приростом потенциальной добычи, которая в 2030 г. может превысить показатель 2015 г. более чем на 60% (см. рис. 3, а). В мире реализуется 15 проектов освоения бокситовых месторождений. Многие из них весьма крупные, их успешный ввод в строй может увеличить мировую добычу бокситов почти на 40% относительно уровня 2015 г., а при условии ввода в эксплуатацию второй и третьей очередей более чем на 60%. Причина высокой активности недропользователей – продолжающееся наращивание выпуска алюминия в Китае, значительная часть которого производится из импортного сырья. Вторым центром роста алюминиевой отрасли стал Ближний Восток, где всё сырьё – импортное. Всё это создаёт дефицит качественных бокситов, способствует расширению действующих рудников и строительству новых.

Недостатка титанового сырья в мире пока не наблюдается, хотя складские запасы его снижаются. Сокращение производства ильменитового концентрата, наряду с ожидающимся вводом в эксплуатацию новых заводов по производству титановых шлаков в Китае, позволяет производителям титана рассчитывать на увеличение спроса на металл. Поэтому продолжается реализация титановых проектов, в том числе очень крупных с проектной добычей >500 тыс. т  $TiO_2$  в год. Ввод в строй новых рудников уже в 2019–2020 гг. может вызвать увеличение мировой добычи титана на 65% относительно 2015 г., а к 2021 г. добавит ещё ~20%.

Молибден – попутный компонент значительного числа осваиваемых медно-порфировых месторождений, среди которых крупные и гигантские объекты, что предполагает большой рост его

добычи, не коррелирующий с динамикой спроса на металл. Это оказывает сильное давление на цены и ставит в сложное положение действующие рудники на собственно молибденовых (как правило, молибден-порфировых) месторождениях, а также проекты освоения новых объектов. В связи с этим роль собственно молибденовых объектов как источников молибдена может в значительной степени сократиться.

При этом мировая сырьевая база бокситов, титана и молибдена огромна, и даже столь значительное возможное увеличение их добычи не окажет существенного влияния на её объём. Ресурсы бокситов и молибдена к 2030 г. сократятся не более чем на 10% относительно уровня 2015 г., а сырьевая база титана уменьшится всего на 5%.

**Выводы.** Результаты проведённого анализа позволяют утверждать, что в обозримом будущем дефицит ведущих твёрдых полезных ископаемых человечеству не угрожает. Геологоразведочные работы, выполненные в предыдущие годы и ведущиеся в настоящее время, обеспечивают экономику планеты практически неисчерпаемыми ресурсами большинства видов минерального сырья в недрах, а горные компании, действующие в рыночных условиях, способны обеспечить любые потребности в них мировой экономики. В то же время ожидания исчерпания сырьевой базы отдельных видов сырья могут быть стимулом для расширения деятельности юниорных компаний, результатом которой, несомненно, будут новые открытия.

Качество руд новых объектов может оказаться хуже, чем в эксплуатируемых месторождениях, но это послужит толчком для разработки эффективных технологий добычи и переработки низкокачественного (по сегодняшним меркам) сырья. Примеры этого есть. Наиболее очевидный из них – появление и освоение большого количества гигантских медно-порфировых месторождений с бедными рудами. Это вывело на новый уровень обеспечения сырьём не только медную, но и молибденовую отрасли, а также существенно увеличило объёмы добываемого в мире золота, серебра, рения. По-видимому, подобное будет происходить и с другими видами минерального сырья. Вышеизложенное позволяет утверждать, что в недрах нашей планеты заключены практически неисчерпаемые ресурсы разнообразных видов минерального сырья, а человечество в состоянии освоить их и обеспечить себя ими на длительную перспективу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Руководство по гармонизации стандартов отчетности России и CRIRSCO*. – Москва: ФГУ «ГКЗ», Объединенный Комитет по международным стандартам отчетности о запасах (CRIRSCO), 2010.
2. *Diamonds.net*. News. Rio Tinto Abandons Indian Diamond Mining Project. 21.08.2016. URL: [www.diamonds.net/News/NewsItem.aspx?ArticleID=57779&ArticleTitle=Rio+Tinto+Abandons+Indian+Diamond+Mining+Project](http://www.diamonds.net/News/NewsItem.aspx?ArticleID=57779&ArticleTitle=Rio+Tinto+Abandons+Indian+Diamond+Mining+Project) (Дата обращения: 15.12.2018).
3. *Gardiner N.J., Sykes J.P., Trench A., Robb L.J.* Tin mining in Myanmar: Production and potential // *Resources Policy*. 2015. Vol. 46. P. 219–233.
4. *ITRI*. 2016 Report on Global Tin Resources and Reserves. URL: [www.internationaltin.org/wp-content/uploads/2018/01/ITRI-2016-Report-on-Global-Tin-Resources-and-Reserves.pdf](http://www.internationaltin.org/wp-content/uploads/2018/01/ITRI-2016-Report-on-Global-Tin-Resources-and-Reserves.pdf) (Дата обращения: 15.01.2019).
5. *Noront Resources Ltd.* Annual Report for the Year Ended December 31, 2017. URL: <http://norontresources.com/wp-content/uploads/2018/04/2017-Annual-Report.pdf> (Дата обращения: 30.01.2019).
6. *USGS*. Mineral Commodity Summaries 2019. Appendix C, Part A. URL: <http://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/mcsapp2019.pdf> (Дата обращения: 08.07.2019).
7. *World Exploration Trends*. A Special Report from S&P Global Market Intelligence for the PDAC International Convention // S&P Global Market Intelligence. March 2018. URL: [www.mch.cl/wp-content/uploads/sites/4/2018/03/2018-World-Exploration-Trends-Report-2018-SP-Global-Market-Intelligence.pdf](http://www.mch.cl/wp-content/uploads/sites/4/2018/03/2018-World-Exploration-Trends-Report-2018-SP-Global-Market-Intelligence.pdf) (Дата обращения: 15.12.2018).

## FORECAST FOR MINERAL PRODUCTION AND MINERAL RESOURCE SUFFICIENCY FOR GLOBAL ECONOMY

**I.V.Egorova, A.M.Lapteva**  
(All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M.Fedorovsky, Moscow)

*Mineral sufficiency of global economy is analyzed. The amount of top metallic mineral resources and diamonds occurring at mined and developed deposits is compared with the current and/or projected output at them. The paper shows that metal mineral bases can ensure the current or higher production level for the long term. Diamonds are an exception; their recovery will greatly decrease in the near term unless new, still unknown deposits are discovered and mined.*

*Keywords: mineral sufficiency, resources, mineral base, production, forecast, iron ores, chrome ores, manganese ores, primary aluminum, copper, nickel, lead, zinc, tin, tungsten, molybdenum, titanium, gold, silver, PGM, diamonds.*

## 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](mailto:rudandmet@tsnigri.ru)

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



## ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ЗАПАСАМИ МЕДЬДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИХ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ

*Рассмотрены состояние минерально-сырьевой базы (МСБ) существенно медных месторождений Южного и Среднего Урала в целом и ведущих медьдобывающих предприятий, распределение запасов по геолого-промышленным типам руд, их воспроизводство в период с 2005 по 2017 гг. Показана ключевая проблема региона – истощение сырьевой базы медноколчеданных месторождений. Составлен прогноз добычи меди на Урале до 2035 г. Сделаны выводы об устойчивости состояния сырьевой базы, перспективах её развития, текущих рисках, обеспеченности действующих предприятий сырьём.*

*Ключевые слова: медь, минерально-сырьевая база, добыча, запасы, воспроизводство, обеспеченность.*

Урал – один из крупнейших геолого-экономических районов Российской Федерации. Регион отличается высоким уровнем комплексного развития и устойчивой производственной инфраструктурой, обладает сложившимся горно-металлургическим комплексом, основывающемся на крупной сырьевой базе чёрных, цветных и благородных металлов. Добыча и производство меди на Урале занимают важное место в экономике нашей страны, кроме того, Россия – крупный поставщик меди и её продукции на мировой рынок. Ключевой проблемой медьдобывающей отрасли в регионе является истощение сырьевой базы действующих предприятий вследствие длительной и интенсивной разработки медных месторождений на фоне растущего из года в год потребления этого металла.

На территории региона учтены 68 месторождений с запасами меди, из них 57 существенно медные (медь – главный или один из главных полезных компонентов), остальные комплексные медьсодержащие. В 11 комплексных месторождениях медь учтена попутно, не определяет направления работ, и добыча её находится в прямой зависимости от добычи главного полезного компонента. Балансовые запасы на 01.01.2018 достигают 20 690,5 тыс. т (в том числе разведанные кат. АВС<sub>1</sub> – 16 520,6 тыс. т), что составляет 21% от общероссийских. Они располагаются в южной части Урала – Республике Башкортостан, Оренбургской и Челябинской областях, а также на Среднем Урале – в Свердловской области. Распределение запасов и добычи меди по упомянутым субъектам и их роль в структуре МСБ РФ даны в табл. 1, сравнительная характеристика этих показателей в 2005 и 2017 гг. – на рис. 1.

**Тучина  
Мария Вячеславовна**

научный сотрудник  
tuchina@tsnigri.ru

**Ермакова  
Юлия Викторовна**

научный сотрудник  
ermakova@tsnigri.ru

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

### 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛАНСОВЫХ ЗАПАСОВ И ДОБЫЧИ МЕДИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА ПО СУБЪЕКТАМ РФ ПО СОСТОЯНИЮ НА 01.01.2018 г.

Субъекты	Число месторождений	Балансовые запасы			Забалансовые запасы тыс. т	Добыча из недр за 2017 г.	
		тыс. т	% от запасов РФ	в том числе кат. АВС <sub>1</sub> , тыс. т		тыс. т	% от добычи РФ
Республика Башкортостан	21	5455,7	5,6	4686,3	673,8	61,9	7,3
Оренбургская область	10	5592,7	5,7	5024,5	280,2	123,9	14,6
Свердловская область	23	3724,3	3,8	3294,6	905,5	51,9	6,1
Челябинская область	14	5917,8	6,0	3515,2	1540,2	126,3	14,9
<b>Всего по региону</b>	<b>68</b>	<b>20690,5</b>	<b>21,1</b>	<b>16520,6</b>	<b>3399,7</b>	<b>364</b>	<b>43,0</b>

Существенно медные месторождения рассматриваемой территории принадлежат к шести геолого-промышленным типам. Основные запасы и добыча металла сосредоточены в двух из них: медноколчеданном и медно-порфировом. Значимую роль в структуре запасов региона играет ванадиево-железо-медный тип руд, представленный в РФ единственным крупным месторождением Волковское в Свердловской области (табл. 2).

Медноколчеданные руды на протяжении многих лет служат традиционным источником сырья для медьдобывающих предприятий. Помимо того, в них в промышленной концентрации присутствует цинк, который является вторым полезным компонентом. Дефицит минерального сырья испытывают медеплавильные и рафинировочные заводы. Нехватка сырья нивелируется поставками концентратов из других регионов РФ, импортируемыми концентратами (преимущественно из Казахстана), использованием вторичного и техногенного сырья. Это обусловлено истощением сырьевой базы

колчеданных месторождений Урала, ухудшением её качества, исчерпанием запасов для открытой отработки. За рассматриваемый период с открытого на более затратный подземный способ добычи с понижением производительности перешли рудники на месторождениях Юбилейное, Сафьяновское, Джусинское, Камаганское, Тарньерское; готовится к такому переходу рудник на Западно-Озёрном месторождении. Прекращена добыча ввиду полной отработки запасов на месторождениях Александринское, Шемурское, Молодёжное, Летнее, а в ближайшие пять лет будут доработаны месторождения Левобережное, Осеннее, Талганское, Учалинское и Дергамышское.

Воспроизводство МСБ медноколчеданных месторождений (рис. 2) находится на довольно низком уровне. Это вызвано тем, что Урал – один из старейших медьдобывающих регионов не только России, но и мира. История освоения медных месторождений (преимущественно колчеданных) здесь насчитывает не одну сотню лет. Территория региона

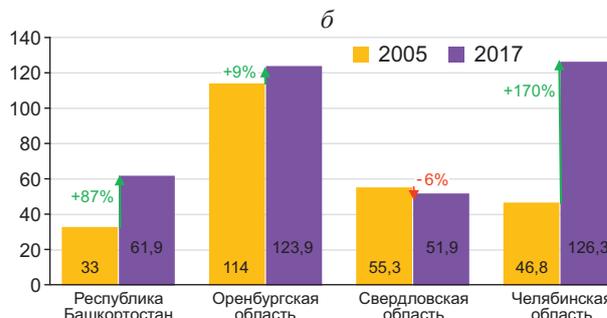


Рис. 1. СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ (а) И ДОБЫЧА (б) МЕДИ ПО СУБЪЕКТАМ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА В 2005 И 2017 гг., тыс. т

## 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСОВ МЕДИ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА ПО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫМ ТИПАМ РУД ПО СОСТОЯНИЮ НА 01.01.2018 г.

Типы	Число объектов	Балансовые запасы			Добыча	
		тыс. т	% от запасов региона	в том числе кат. АВС <sub>1</sub>	тыс. т	% от добычи региона
Существенно медные	57	20025,1	96,8	15988,3	362,5	99,6
Медноколчеданный	49	13301,6	64,3	11749,5	278,9	76,6
Медно-порфировый	3	4864,3	23,5	2584,3	73,1	20,1
Ванадиево-железо-медный	1	1746,3	8,4	1592,9	4,5	1,2
Скарновый	2	63,7	0,3	32	-	-
Медистые глины	1	45,8	0,2	26,2	1,3	0,4
Медно-кобальтовые	1	3,4	-	3,4	4,7	1,3
Комплексные	11	665,4	3,2	532,3	1,5	0,4

хорошо изучена, обнаружение новых месторождений этого типа с экономически рентабельными в настоящее время показателями, к сожалению, становится все менее вероятным, и постановка на государственный учёт медноколчеданных объектов в последние годы является редким событием. Так, с 2005 г. выявлены только два медноколчеданных месторождения – Лучистое (4,1 тыс. т) и Западно-Ащебутакское (15,2 тыс. т). Оба они относятся к мелким и поставлены на учёт после доразведки рудопроявлений, открытых геологами в 60–80 годы прошлого века. Основной прирост запасов обеспечивался эксплуатационно-разведочными рабо-

тами на разрабатываемых месторождениях, существенный вклад внесла доразведка и переутверждение запасов Ново-Учалинского месторождения в 2012 г., однако и это не покрывает ежегодной убыли. Как видно на рис. 2, за десятилетний период ежегодные приросты ни разу не обеспечили даже простого воспроизводства запасов. Фактическое значение показателя воспроизводства (отношение прироста запасов к их погашению в недрах за десятилетний период) составило только 19%, что существенно ниже целевого значения (50%), принятого в утверждённом распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г.

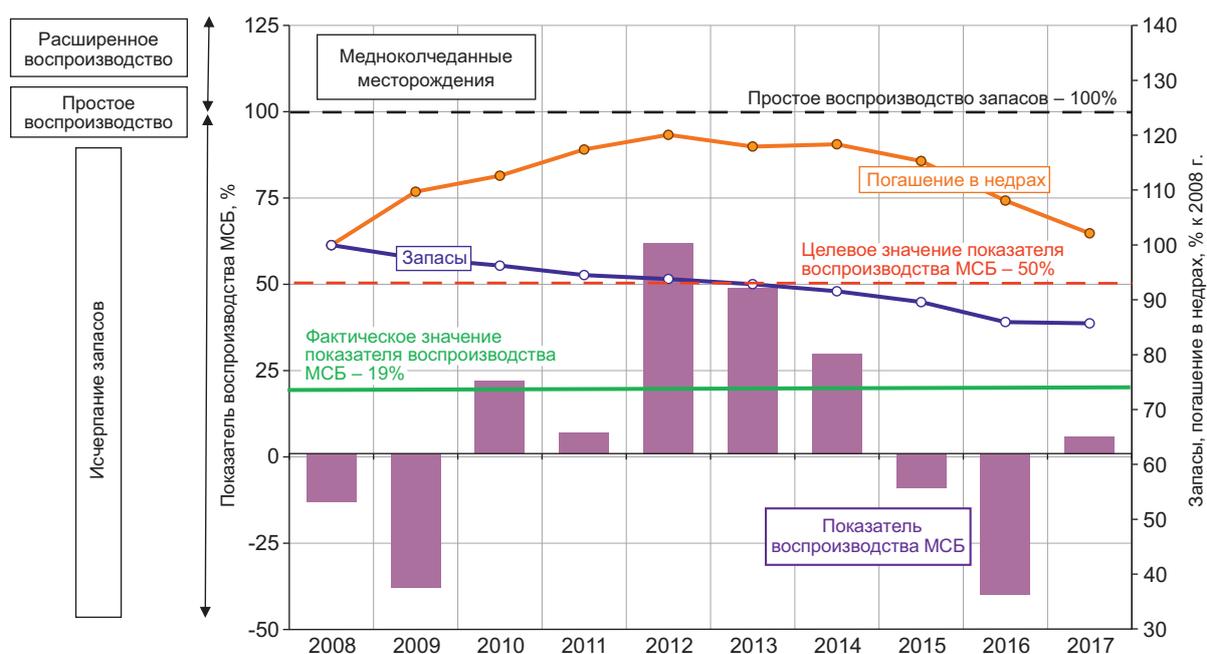
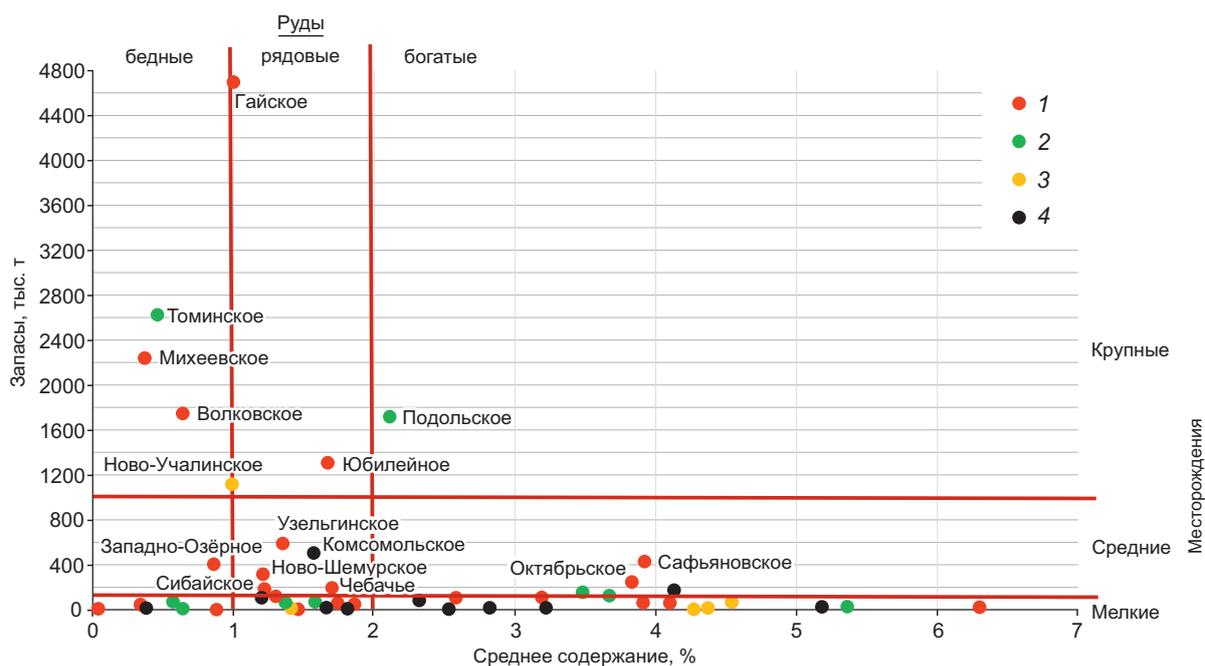


Рис. 2. ВОСПРОИЗВОДСТВО МСБ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В 2008–2017 гг.



**Рис. 3. МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА СУЩЕСТВЕННО МЕДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА ПО СОСТОЯНИЮ НА 01.01.2018 г.:**

1 – разрабатываемые; 2 – подготавливаемые к освоению; 3 – разведываемые; 4 – НРФН

№ 2914-р Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года. Это свидетельствует о постепенном исчерпании запасов данного типа. По отношению к 2005 г. запасы уменьшились в Республике Башкортостан и Свердловской области на 13%, в Оренбургской области на 22% (см. рис. 1), т. е. в тех субъектах, основу МСБ меди которых составляют исключительно медные колчеданы. Подобная тенденция сохранится и в будущем.

Медно-порфиновые проявления на Урале были известны ещё с советских времен, однако не представляли промышленного интереса на фоне расположенных рядом более богатых по содержанию меди медноколчеданных объектов, а также крупных разведанных месторождений (в том числе и медно-порфиновых) в Казахской и Узбекской ССР. В последние десятилетия интерес к объектам такого типа усилился, и на государственный баланс РФ было поставлено несколько крупных медно-порфиновых месторождений. На Урале к этому типу относятся Михеевское и Томинское месторождения, а также Биргильдинский участок с забалансовыми запасами. Увеличение запасов более чем в 2 раза в Челябинской области связано с по-

становкой на учёт этих объектов, а увеличение добычи в 1,7 раза – с запуском в 2012 г. Михеевского ГОКа, который является пилотным проектом разработки медно-порфиновых месторождений в нашей стране (см. рис. 1).

На рис. 3 приведена сырьевая база существенно медных месторождений Южного и Среднего Урала с распределением их по крупности, степени промышленного освоения и качеству руд по содержанию полезного компонента. Как видно, сейчас к крупным по запасам меди (>1000 тыс. т) можно отнести семь месторождений, из них руды только одного (Подольское) являются богатыми (среднее содержание Cu >2%), двух (Гайское, Юбилейное) рядовыми (1–2%), остальные четыре месторождения (Михеевское, Томинское, Волковское, Ново-Учалинское) характеризуются бедными рудами (<1%), требующими для получения металла больших объёмов добычи и переработки. Также следует отметить, что месторождение Юбилейное уже отрабатывается на глубине порядка 600 м, Гайское – 1100 м, Ново-Учалинское располагается на глубине 700 м, а группа Подольских месторождений – 450–800 м.

Уральские месторождения характеризуются высокой вовлечённостью в лицензирование. В ос-

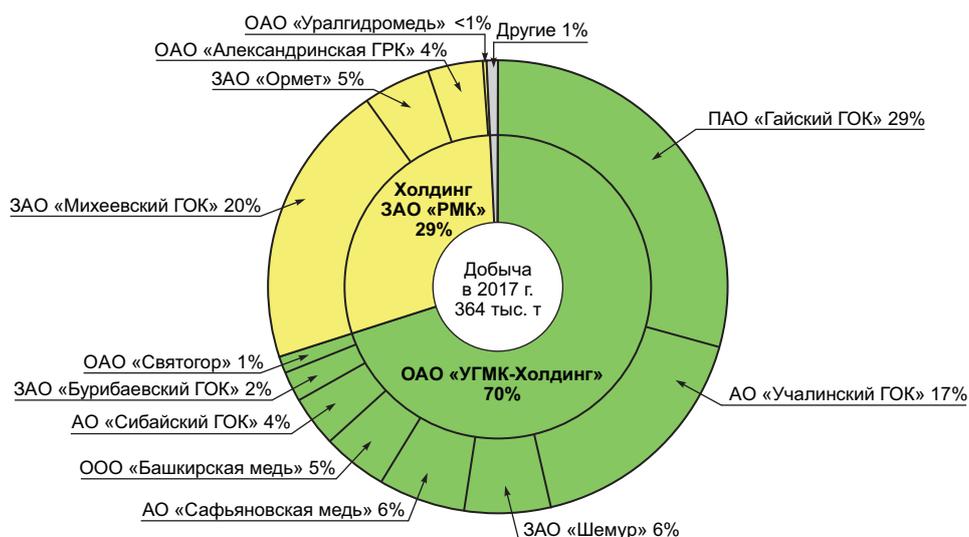


Рис. 4. СТРУКТУРА ДОБЫЧИ МЕДИ ВЕДУЩИМИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ УРАЛА В 2017 г.

воение передано 41 месторождение с 87% запасов региона. Нераспределённый фонд недр не представляет интереса для недропользователей. Среди месторождений, не переданных в освоение, выделяется среднее по запасам медноколчеданное Комсомольское (504,3 тыс. т Cu), которое неоднократно выставлялось на аукцион, но безрезультатно. Остальная часть нераспределённого фонда недр

представлена либо очень мелкими объектами, либо остаточными запасами ранее отработанных месторождений. Из них запасами меди >100 тыс. т обладают Блявинское и Левихинская группа месторождений. Однако в настоящее время карьеры и шахты этих объектов затоплены, и запасы вряд ли будут доработаны. Кроме того, в нераспределённом фонде числится большая часть запасов разра-

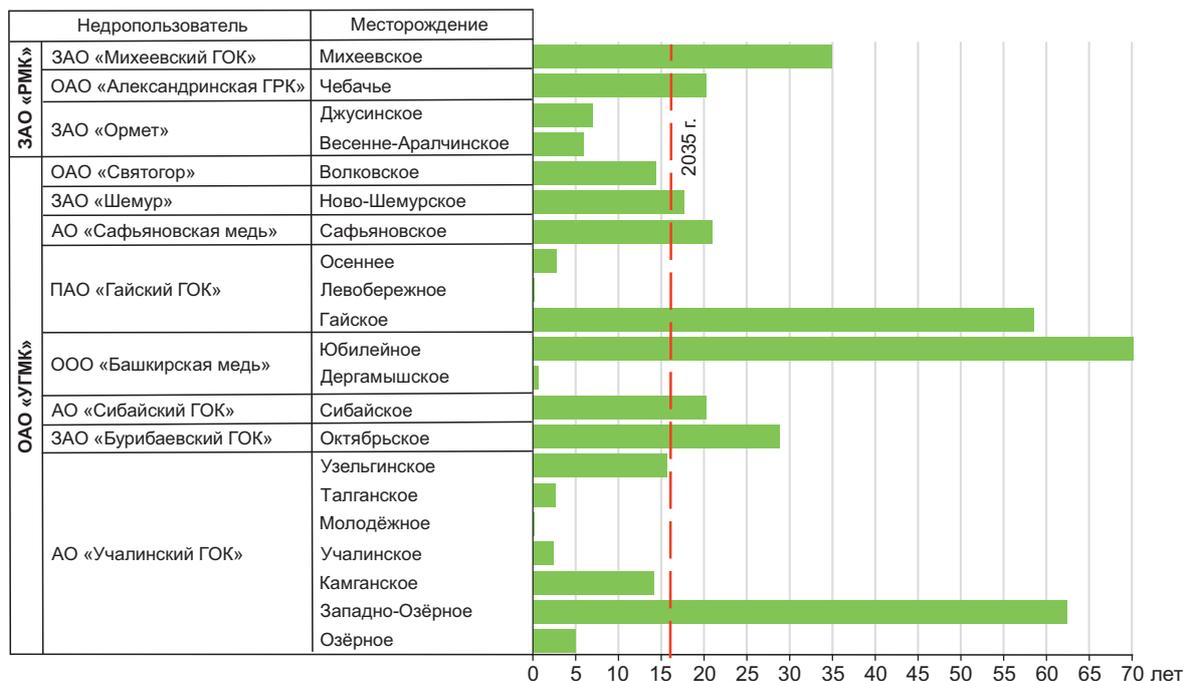


Рис. 5. ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАЛА ЗАПАСАМИ РУДЫ ПО СОСТОЯНИЮ НА 01.01.2018 г.

батываемого месторождения Волковское (Волковский, Промежуточный участки, а также глубокие горизонты Лаврово-Николаевского и Северо-Западного участков). Следует также отметить небольшое количество разведываемых объектов, все они мелкие, кроме одного – Ново-Учалинского.

В 2017 г. добыча меди в этом регионе составила 364 тыс. т металла, что на 46% больше, чем в 2005 г., и составляет 43% от общероссийской добычи. Разработку уральских месторождений, обогащение и дальнейший металлургический передел осуществляют два крупных холдинга ОАО «УГМК-Холдинг», на долю которого ежегодно приходится около 70% добычи меди в регионе, и ЗАО «Русская медная компания» (ЗАО «РМК») (29% добычи). На долю других предприятий приходится ~1% добываемой меди. Структура распределения добычи по предприятиям холдингов приведена на рис. 4. Наибольший объём добычи обеспечивают ПАО «Гайский ГОК» – 29%, АО «Учалинский ГОК» (УГМК) – 17%, ЗАО «Михеевский ГОК» (РМК) – 20%.

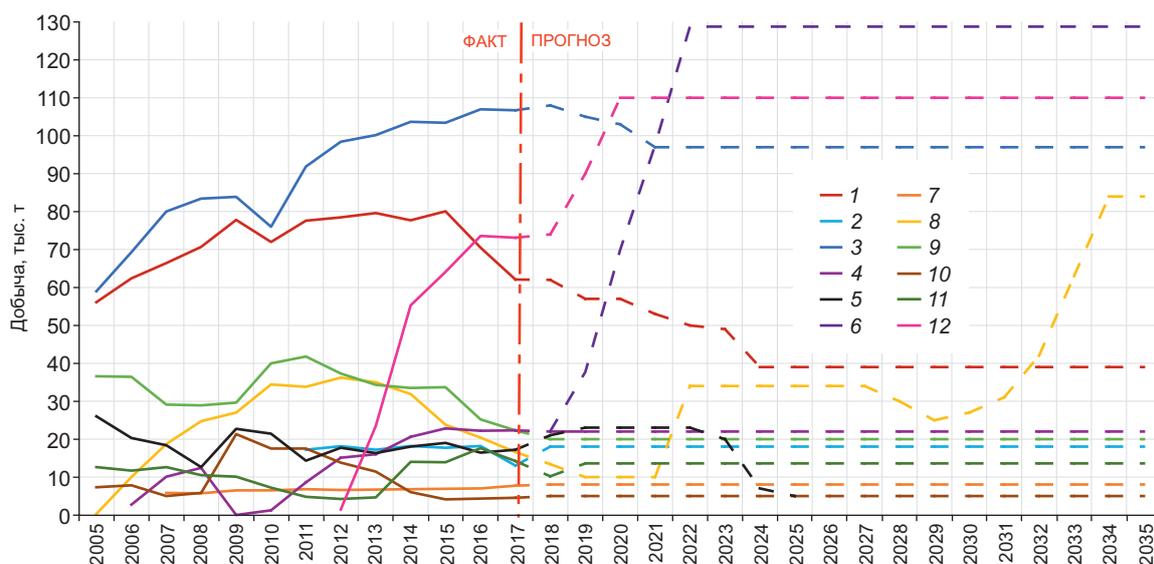
На рис. 5 показана обеспеченность добывающих предприятий холдингов запасами разрабатываемых месторождений, на рис. 6 – динамика добычи меди основными предприятиями и прогноз до 2035 г. Прогноз составлен на основе обеспеченности предприятий запасами разрабатываемых месторождений, календарных планов по вводу в эксплуатацию новых мощностей подготавливаемых к освоению объектов и выходу их на проектную мощность, а также планов предприятий по запуску новых проектов и наращиванию добычи на действующих мощностях, опубликованных в СМИ (прогноз добычи меди Учалинского ГОКа построен без учёта ввода в эксплуатацию разведываемого Ново-Учалинского месторождения, так как отсутствуют технический проект разработки месторождения и календарный план добычных работ). Краткая характеристика сырьевой базы, добычи, обеспеченности ГОКов приведена ниже.

**ОАО «УГМК-Холдинг»** – один из трёх крупнейших горно-металлургических холдингов нашей страны, занимающий второе место по добыче меди после ПАО «ГМК «Норильский никель». В его минерально-сырьевой комплекс входят следующие уральские горнодобывающие предприятия: ПАО «Гайский ГОК», АО «Сафьяновская медь», АО «Учалинский ГОК», ООО «Башкирская медь», ЗАО «Бурибаевский ГОК», АО «Сибайский ГОК», ЗАО «Шемур», а также Северный медно-цинковый рудник и Вол-

ковское месторождение в составе ОАО «Святогор». Ежегодно предприятия добывают и перерабатывают >18 млн т руды, содержащей около 250 тыс. т меди (второе место в РФ по добыче и объёмам производства рафинированной меди). Холдинг осуществляет полный цикл переработки – от добычи сырья до производства готовой продукции на его основе (медной катанки, проката, кабельно-проводниковых изделий, радиаторов).

ПАО «Гайский ГОК» разрабатывает медные месторождения в Оренбургской области, являясь на протяжении многих лет лидером среди медьдобывающих предприятий Урала (106,7 тыс. т в 2017 г.). С 2005 г. ГОК стабильно наращивал добычу на всех разрабатываемых объектах. Основу МСБ предприятия составляют медноколчеданные месторождения: крупное Гайское (балансовые запасы 4696,7 тыс. т меди), а также Осеннее (62,3 тыс. т) и Левобережное (13,8 тыс. т). Высокой обеспеченностью (58 лет) обладает только Гайское месторождение. В 2017 г. завершена отработка Летнего месторождения, в текущем году будут исчерпаны запасы Левобережного, через три года – Осеннего, что, безусловно, отразится на производительности ГОКа. В ближайшие годы Гайский ГОК планирует наращивать добычу руды на Гайском месторождении (до 9000 тыс. т к 2021 г.), что позволит частично компенсировать выбывающие мощности и, учитывая снижение среднего содержания меди в рудах с глубиной, получать около 95–100 тыс. т металла ежегодно.

АО «Учалинский ГОК» занимает второе место по добыче меди среди предприятий УГМК и Урала в целом, разрабатывая семь медноколчеданных месторождений в Республике Башкортостан – Учалинское (балансовые запасы 8,5 тыс. т), Камаганское (48,7 тыс. т), Западно-Озёрное (405,8 тыс. т), Озёрное (110,5 тыс. т) и Челябинской области – Узельгинское (589,7 тыс. т), Молодёжное (1,3 тыс. т), Талганское (31,2 тыс. т). В 2017 г. добыто 62,1 тыс. т, что ниже показателя 2016 г. (70,5 тыс. т). Предприятие находится в стадии падающей добычи последние два года, что связано преимущественно с исчерпанием запасов и снижением добычи на старом Учалинском месторождении. В настоящее время основной объём металла добывается предприятием на Узельгинском (30 тыс. т ежегодно) и Озёрном (11 тыс. т) месторождениях, остальные пять дают по 2–6 тыс. т металла. На рис. 5 показана обеспеченность Учалинского ГОКа запасами разрабатываемых месторождений. В ближайшие пять лет будут исчерпаны



**Рис. 6. ДОБЫЧА МЕДИ ВЕДУЩИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА ЗА 2005–2017 гг. И ПРОГНОЗ ДО 2035 г.:**

1 – АО «Учалинский ГОК»; 2 – АО «Сибайский ГОК»; 3 – ПАО «Гайский ГОК»; 4 – ЗАО «Шемур»; 5 – ЗАО «Ормет»; 6 – АО «Томинский ГОК»; 7 – ЗАО «Бурибаевский ГОК»; 8 – ООО «Башкирская медь»; 9 – АО «Сафьяновская медь»; 10 – ОАО «Святогор»; 11 – ОАО «Александринская ГРК»; 12 – ЗАО «Михеевский ГОК»

запасы Талганского, Молодёжного, Учалинского и Озёрного месторождений, в результате чего предполагается, что добыча меди ГОКом будет продолжаться снижаться (см. рис. 6). Для наращивания сырьевой базы предприятие ведёт разведку крупного Ново-Учалинского медноколчеданного месторождения. В соответствии с лицензионным соглашением АО «Учалинский ГОК» обязуется завершить работы и представить на экспертизу отчёт в конце текущего года, утвердить технический проект разработки месторождения в 2020 г. и ввести его в эксплуатацию в 2023 г. Сроки выхода предприятия на проектную мощность будут определены техническим проектом разработки месторождения.

АО «Сафьяновская медь» ведёт добычу на Сафьяновском медноколчеданном месторождении с богатыми рудами (среднее содержание Cu 4,07%). Месторождение разрабатывается открытым способом с 1994 г. (северная часть). За рассматриваемый период пиковые значения добычи (41,8 тыс. т меди) приходится на 2011 г., далее предприятие находится в стадии падающей добычи, что обусловлено исчерпанием запасов для открытой отработки (к 2018 г. запасы карьера практически исчерпаны, обеспеченность составляет менее одного года). В 2010 г. начато строительство подземного рудника на южном фланге месторождения для до-

бычи руды с глубоких горизонтов. Рудник эксплуатируется с 2014 г. и в 2017 г. практически вышел на проектную мощность (добыто 444 тыс. т руды, содержащей 22,3 тыс. т меди). Исходя из проектной мощности подземного рудника (500 тыс. т руды в год) в 2018–2035 гг. прогнозируется добывать около 20 тыс. т меди в год. Обеспеченность рудника высокая и составляет 21 год.

АО «Сибайский ГОК» разрабатывает подземным способом Сибайское медноколчеданное месторождение. Предприятие стабильно добывает порядка 18 тыс. т меди в год. Обеспеченность балансовыми запасами высокая – около 20 лет.

ЗАО «Шемур» осуществляет добычу медноколчеданных руд в Свердловской области. Небольшое Шемурское месторождение с рядовыми рудами отработывалось с 2010 г., давая 15–16 тыс. т меди в год. В 2014 г. предприятие наращивает добычу до 20 тыс. т, введя в эксплуатацию открытым способом среднее по запасам Ново-Шемурское месторождение (балансовые запасы 315,8 тыс. т). Прекращение работ в 2016 г. на Шемурском карьере ввиду отработки запасов до проектного положения по глубине и в плане полностью компенсировано растущей добычей на Ново-Шемурском месторождении. Рудник вышел на проектную мощность в 2017 г., в настоящее время на нём добыва-

ется 22 тыс. т меди в год. При текущем уровне добычи обеспечен запасами на 17 лет, до 2035 г.

ООО «Башкирская медь» осуществляет добычу медноколчеданных руд в Республике Башкортостан. Минерально-сырьевой базой компании являются разрабатываемые месторождения Юбилейное и Дергамышское и подготавливаемые к освоению Подольское и Северо-Подольское. Предприятие с 2014 г. находится в состоянии падающей добычи по причине завершения отработки запасов карьера Юбилейный, полностью исчерпанных в 2018 г. Подготавливаются к отработке запасы, оставшиеся в бортах и ниже дна карьера; в 2016 г. на подземном руднике уже начата добыча. Проектная мощность рудника составит 600 тыс. т руды в год (~10 тыс. т меди). Обеспеченность рудника запасами очень высокая и составляет при плановом уровне добычи >100 лет. Мелкое Дергамышское месторождение колчеданных медно-кобальтовых руд разрабатывалось компанией с 2013 г. В настоящее время запасы его практически полностью отработаны, обеспеченность рудника – один год. Компания ведёт работы по подготовке к освоению крупного Подольского, а также Северо-Подольского месторождений, которые предполагается отрабатывать как единое шахтное поле. Добычу на Северо-Подольском месторождении планируется начать не ранее 2022 г., а выход предприятия на проектную мощность 500 тыс. т руды в год – в 2023 г. Разработка Подольского месторождения начнётся в 2029 г., выход на проектную мощность 3500 тыс. т руды планируется в 2034 г. Таким образом, в настоящее время добычную базу компании будет составлять только подземный рудник Юбилейного месторождения, рост добычи ожидается после 2022 г. с вводом в эксплуатацию группы Подольских месторождений (см. рис. 6).

ЗАО «Бурибаевский ГОК» разрабатывает подземным способом Октябрьское медноколчеданное месторождение (балансовые запасы 246,3 тыс. т) в Республике Башкортостан. Предприятие стабильно добывает ~7 тыс. т меди в год. Обеспеченность балансовыми запасами руды высокая и составляет при текущем уровне добычи >28 лет.

ОАО «Святогор» – одно из предприятий металлургического комплекса УГМК с рудодобывающим, обогащающим производством и полным технологическим циклом получения черновой меди. Рудодобывающий актив предприятия составляют три месторождения – Волковское, Тарньерское и Се-

верное Третье. В настоящее время разрабатывается только Волковское месторождение, ежегодно добывается 500–600 тыс. т руды, 4–7 тыс. т меди. Добыча ведётся открытым способом на Северо-Западном участке месторождения. Обеспеченность предприятия переданными в лицензирование балансовыми запасами – 14 лет. Возможность наращивания разрабатываемых запасов у предприятия имеется, поскольку большая часть месторождения находится в нераспределённом фонде недр, а именно два участка для открытой отработки (Волковский, Промежуточный), а также запасы для подземной отработки всех четырёх участков месторождения. Тарньерское месторождение разрабатывалось открытым способом с 2004 г., ежегодно добывалось 13–15 тыс. т меди. По мере отработки запасов в контуре карьера добыча на месторождении с 2012 г. начала снижаться, а к 2014 г. запасы для открытой добычи были погашены. В настоящее время месторождение находится на сухой консервации, проект отработки оставшихся в недрах запасов (58,6 тыс. т), который сможет продлить работу предприятия на пять лет, находится на стадии согласования и утверждения. Магнетитовое месторождение Северное Третье, числящееся в группе подготавливаемых к освоению и содержащее медь в качестве попутного компонента (70,4 тыс. т), планируется к отработке не ранее 2028 г. Таким образом, в ближайшие годы увеличения добычи на ОАО «Святогор» не ожидается и прогнозируется на уровне 5–7 тыс. т меди ежегодно.

**ЗАО «Русская медная компания»** – крупный российский холдинг, предприятия которого осуществляют полный цикл переработки меди, начиная от добычи и обогащения руды и заканчивая производством продукции с высокой добавленной стоимостью (медных катодов и медной катанки). Компания занимает третье место в РФ по добыче меди (12,5%), причём доля её в общероссийской структуре год от года растёт.

ЗАО «Михеевский ГОК» – флагманское предприятие ЗАО «РМК» в Челябинской области. Это один из самых больших в России медных горно-обогачительных комбинатов по переработке руды – до 18 млн т в год. Сырьевой базой комбината является Михеевское медно-порфиговое месторождение с бедными рудами, содержащими 0,37% Cu, поэтому для эффективной работы требуются большие объёмы переработки. Балансовые запасы месторождения оцениваются в 612 млн т руды, содер-

жащей 2239,3 тыс. т меди. Разрабатывается открытым способом с 2012 г. Обеспеченность предприятия высокая и составляет при сохранении текущего уровня добычи >30 лет по общим балансовым запасам. На основании проведенных в 2014–2016 гг. на флангах и глубоких горизонтах месторождения геологоразведочных работ подтверждено наличие руд на глубине до 500 м, в результате чего запасы меди возросли на 960,8 тыс. т. ЗАО «РМК» было принято решение о расширении производства и строительстве второй очереди комбината, которое позволит увеличить максимальную производительность ГОКа до 27 млн т руды в год. Показатели измелчения руды улучшатся более чем в 2 раза, это позволит извлекать больше ценных металлов, что крайне важно для переработки бедных руд. Запуск предполагался в 2018 г. Обеспеченность предприятия рудой с учётом запуска второй очереди производства составит 23 года. Кроме того, компания планирует начать проектирование первого в России автоклавного комплекса для производства меди высокого передела на базе Михеевского ГОКа. Строительство производственной площадки может начаться уже в 2020 г. Организация автоклавного производства даст возможность повысить извлечение меди из сырья, оптимизировать транспортные издержки на доставку концентрата на переработку и выпускать сразу три продукта с высокой добавленной стоимостью. Компания занимается также расширением МСБ комбината и проводит геологоразведочные работы в пределах Новониколаевского рудного узла. Подготавливается к отработке Тарутинское скарное месторождение, находящееся в непосредственной близости от ГОКа. С учётом вышеизложенного можно заключить, что Михеевский ГОК обладает достаточной сырьевой базой для дальнейшего наращивания запасов, обеспечивающей предприятие рудой на дальнюю перспективу и позволяющей существенно увеличить добычу металла в ближайшие годы.

ЗАО «Ормет» занимается добычей и первичной переработкой медных и медно-цинковых руд в Оренбургской области, разрабатывая два медноколчеданных месторождения. Джусинское месторождение разрабатывалось открытым способом с 2004 г., добыча руды составляла порядка 750 тыс. т в год, металла – 15 тыс. т. Последние запасы карьера были отработаны в 2014 г. С 2012 г. начато строительство подземного рудника, который

позволит доработать оставшиеся запасы меди в количестве 60 тыс. т. Рудник запущен в 2017 г. При выходе его на проектную мощность 220 тыс. т руды в год добыча меди составит около 7 тыс. т. Подземная отработка месторождения продлится до 2025 г. Рудник Весенний построен на базе Весенне-Аралчинского медно-колчеданного месторождения в Домбаровском районе на границе с Казахстаном. В настоящее время он ведёт добычу открытым способом с производительностью 800 тыс. т руды в год. Планируется, что добыча на руднике будет вестись до 2024 г. Таким образом, МСБ предприятия фактически будет исчерпана к 2025 г.

ОАО «Александринская ГРК» специализируется на добыче и первичной переработке медных и медно-цинковых руд Александринского и Чебачьего (балансовые запасы 195 тыс. т) месторождений в Челябинской области. Александринское месторождение разрабатывалось подземным способом с 2004 г., производительность составляла 100 тыс. т руды в год. В 2017 г. добычные работы завершены, запасы полностью отработаны. Месторождение Чебачье с 2010 г. разрабатывается подземным способом с производительностью 550–700 тыс. т руды в год. Обеспеченность рудника запасами составляет 20 лет. У компании есть возможность нарастить добычу на руднике Чебачий до проектной мощности 800 тыс. т руды в год и частично компенсировать выбывающие мощности Александринского рудника.

АО «Томинский ГОК» – крупнейший инвестиционный проект ЗАО «РМК» и один из наиболее масштабных и высокотехнологичных проектов последних лет в горнодобывающей отрасли России. Комбинат строится в Сосновском районе Челябинской области на крупном Томинском месторождении медно-порфириновых руд. В его состав войдут Томинский и Калиновский карьеры, а также обогатительная фабрика. Инновационные технологии и оборудование, которые предполагается внедрить на Томинском ГОКе, позволят обогащать медно-порфириновую руду с содержанием Cu 0,4%. Проектная мощность комбината 28 млн т руды в год, производительность до 500 тыс. т медного концентрата. Прогноз добычи металла составлен согласно календарному плану добычных работ на месторождении, по которому начало отработки участка Томинский намечено на 2018 г., участка Калиновский – на 2023 г., выход предприятия на проектную мощность – на 2022 г.

При условии реализации крупных горнорудных проектов по повышению производительности разрабатываемых, а также запуску подготавливаемых к освоению месторождений (основные из них – вторая очередь Михеевского ГОКа, Томинский ГОК, освоение группы Подольских месторождений) добыча меди на Урале к 2035 г. может увеличиться на 45% – до 530 тыс. т в год. Выбывающие мощности в целом по региону будут компенсированы добычей руд на новых крупных объектах. На первые позиции выйдут медно-порфиновые объекты, разрабатываемые ЗАО «РМК». Немного снизится, но останется одной из ведущих роль Гайского ГОКа. В первую пятёрку медьдобывающих предприятий также будут входить АО «Учалинский ГОК» и ООО «Башкирская медь» после ввода в эксплуатацию группы Подольских месторождений. Добыча меди на других предприятиях должна остаться стабильной до конца прогнозируемого периода, за исключением ЗАО «Ормет», обеспеченного запасами только до 2025 г.

Перспективы развития МСБ действующих медьдобывающих предприятий связаны в том числе и с прогнозными ресурсами региона, которые на текущий момент составляют 5,3 млн т категории  $P_1$ , 8,8 млн т кат.  $P_2$ , 10,2 млн т кат.  $P_3$  (32% от общего количества прогнозных ресурсов, учтённых на территории РФ). В результате геологоразведочных работ 2015–2017 гг. прогнозны ресурсы меди региона значительно возросли. Прирост по кат.  $P_1$  составил 37% (почти 2 млн т), по кат.  $P_3$  – 57% (5,8 млн т). На учёт поставлено Новопетровское медноколчеданное рудопроявление в Республике Башкортостан с прогнозными ресурсами кат.  $P_1$  400 тыс. т. Остальные объекты – медно-порфиновые: шесть руд-

ных районов с прогнозными ресурсами кат.  $P_3$  и рудопроявления Салаватское (кат.  $P_1$  990 тыс. т) и Зелёный Дол (кат.  $P_1$  595 тыс. т). На дальнейшее изучение Салаватского рудопроявления в 2019 г. взята лицензия ОАО «Александринская ГРК», Новопетровского рудопроявления в 2018 г. – ОАО «Росгеология». По предварительным данным на этих объектах ожидается открытие месторождений среднего масштаба.

Обобщая вышеизложенное, можно отметить, что, несмотря на исчерпание запасов и сокращение числа разрабатываемых месторождений, практически все уральские предприятия сохраняют удовлетворительную обеспеченность сырьем до 2035 г., т. е. на период порядка 15 лет, что говорит об отсутствии острых рисков по сырьевой базе на текущий момент, за исключением мелких и дорабатываемых месторождений. Такой временной лаг может обеспечить выявление и подготовку новых месторождений при условии выделения соответствующих инвестиций заинтересованными горнорудными компаниями. На фоне постепенного исчерпания запасов медноколчеданных месторождений всё более значимую роль будут играть месторождения медно-порфинового типа, которые можно и нужно рассматривать в качестве альтернативного источника сырья. Поэтому особенно важным представляется дальнейшее развитие сырьевой базы медно-порфинового типа руд, включающее современную оценку и переоценку известных с советских времён, но недостаточно изученных проявлений, проведение прогнозно-металлогенических исследований для выделения перспективных площадей разного ранга и постановки дальнейших геологоразведочных работ.

## RESERVE SUFFICIENCY OF SOUTH AND MIDDLE URALS COPPER MINES, THEIR MINERAL BASE STATUS AND PROSPECTS

M.V.Tuchina, Yu.V.Ermakova (FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

*The paper reviews mineral base status of essentially copper deposits within the South and Middle Urals generally and for top copper mines, reserves distribution by geological and economic ore types, and their reproduction in 2005–2017. Depletion of copper pyrite deposit mineral base is a key regional problem. Copper production in the Urals until 2035 is forecasted. Conclusions are made on mineral base stability, its development prospects, current risks and operating mines' mineral sufficiency.*

*Keywords: copper, mineral base, production, reserves, reproduction, sufficiency.*



## АЛМАЗОНОСНЫЙ МАГМАТИЗМ В СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ЦИКЛАХ

*Рассмотрены особенности проявления алмазоносного магматизма в свете суперконтинентальной цикличности. На основании обобщения современных мировых данных выявлены различия в степени таких проявлений на различных стадиях и фазах суперконтинентального цикла. Выделены временные интервалы в геологической эволюции, характеризующиеся различным потенциалом алмазоносного магматизма, что может быть использовано при прогнозировании.*

*Ключевые слова: алмазоносный магматизм, кимберлиты, лампроиты, суперконтиненты, суперконтинентальный цикл, фазы интеграции, деструкции, фрагментации (распада), конвергенции (сборки), интервалы алмазоносного магматизма.*

Структурно-тектоническим факторам локализации месторождений алмазов посвящено сравнительно большое число работ. Значительно меньше исследований связано с оценкой роли различных временных интервалов в истории Земли в плане их алмазоносности.

В настоящее время установлена временная связь между формированием многих типов полезных ископаемых и сборкой или распадом суперконтинентов [9 и др.]. Эта тема затрагивалась и в отношении алмазоносных кимберлитов и лампроитов [11, 12, 15 и др.].

Данная проблема изучалась автором в свете разработанной им суперконтинентальной цикличности с периодом 400 млн лет [3]. Представленная статья развивает эти исследования, но не затрагивает проблему пространственного размещения алмазоносных магматитов. По мнению автора, их формирование, в основном на стабильных кратонах, следует «правилу Клиффорда» с существенными отклонениями от него [2].

Под термином «суперконтинентальный цикл» (СЦ) подразумевается кругооборот процессов в литосфере, приводящих в начале к объединению всех или большинства существующих на Земле разобщённых континентальных масс в единый суперконтинент, а на заключительных этапах – к его распаду и последующей сборке нового суперконтинента.

В первой стадии различается фаза *интеграции* (агломерации) с тенденцией продолжающегося слияния, «спекания» частей только что новообразованного суперконтинента и присоединения к нему единичных неприсоединённых фрагментов континентальной коры. За ней следует фаза *деструкции* (раскалывания), намечающегося распада в виде проявлений континентального рифтогенеза.

Первая фаза второй стадии – фрагментация, соответствующая распаду суперконтинента, характеризуется быстрыми спредингами в новообразованных океанах, вторая фаза – конвер-

### Божко Николай Андреевич

доктор геолого-минералогических наук  
профессор  
bozhko@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Московский государственный  
университет им. М.В.Ломоносова»,  
г. Москва

## 1. СТРУКТУРА СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНОГО ЦИКЛА

Суперконтинентальный цикл 400 млн лет				
Стадия	Фаза	Главные палеогеодинамические индикаторы	Млн лет	
Межконтинентальная (континенты и молодые океаны)	<i>Конвергенция (сборка суперконтинента)</i> Образование коллизионных складчатопокровных (орогенических) поясов	Субдукционные и коллизионные осадочные, магматические и метаморфические комплексы	165	250
	<i>Фрагментация (распад суперконтинента)</i> Новообразование океанов, формирование пассивных окраин континентов	Офиолиты и комплексы пассивных окраин континентов. Формирование крупных внутриплатформенных впадин, интенсивное развитие плюмового магматизма	85	
Суперконтинентальная (слипный суперконтинент)	<i>Деструкция (раскалывание суперконтинента)</i> Континентальный рифтогенез	Породные комплексы континентальных рифтов, траппы, дайки, расслоенные интрузии	60	150
	<i>Интеграция (агломерация)</i> Слияние, «спекание» собранных континентальных масс и присоединение единичных сиалических фрагментов к уже сформированному суперконтиненту	Коры выветривания, континентальные и субаэральные осадочные комплексы, анорогенный магматизм	90	

генция, соответствующая сборке, – замедленными спредингами или их отсутствием и активными субдукциями, приводящими к коллизиям и закрытию океанов. Каждой из выделенных фаз свойствен свой набор литодинамических комплексов: внутриплитных, рифтовых, пассивных и активных окраин, океанических, субдукционных, коллизионных (табл. 1). Следовательно, построенная цикличность может быть проверена палеотектоническим анализом.

В схеме структуры СЦ с периодом 400 млн лет продолжительность стадии слитного суперконтинента оценивается соответственно в 150 млн лет с фазой агломерации (90 млн лет) и фазой деструкции (60 млн лет). Продолжительность стадии расчленённого суперконтинента составляет 250 млн лет и складывается из фаз распада (85 млн лет) и сборки (165 млн лет), что позволяет выделить в течение последних 3 млрд лет истории Земли восемь СЦ и суперконтинентов, при этом пять «общепринятых» из них вписались в данную цикличность [3] (табл. 2). Представленная цикличность проверена временем и принципиально не противоречит мировым фактическим данным.

Ниже рассмотрено содержание отдельных фаз СЦ в плане алмазоносного магматизма исходя из

имеющегося фактического материала, начиная с наиболее древнего обоснованного позднеархейского суперконтинента Кенорленд (ия) (Пангея 0) на уровне 2,7 млрд лет.

**Алмазоносный магматизм континентальных стадий (слипного суперконтинента) различных циклов.**

**Фазы интеграции.** С ними связано минимальное количество датированных кимберлитов. В *Родинии* этой фазе (1120–1030 млн лет) соответствуют кимберлиты Кайл кратона Сьюпириор (1076 млн лет), лампроиты Маджгаван кратона Бандельканд (1075 млн лет) [21], кимберлиты Восточного Дарвара (1100 млн лет) [17]; в *Паннотии* (720–630 млн лет) – кимберлиты Рено Канады (640 млн лет), Гуанамо Южной Америки (712 млн лет) и в *Пангее* (320–230 млн лет) – кимберлиты Джваненг (235 млн лет) [21] почти на границе с фазой деструкции.

**Фазы деструкции.** В *Пангее* эта фаза находится в интервале 230–170 млн лет. К ней относятся кимберлиты Докалвао кратона Каапвааль Южной Африки (203 млн лет), Каролина Амазонского кратона Южной Америки (230 млн лет), Тимбер Крик и Оррору блоков Кимберли и Голер Австралии (180 и 170 млн лет), Канады (172 млн лет) [21], Сибирской платформы (235–220 млн лет) [6, 8]. В *Паннотии* к

## 2. СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ И СУПЕРКОНТИНЕНТЫ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

Начало фазы, млн лет	Фазы СЦ	СЦ и суперконтиненты
85	Конвергенция	
170	Фрагментация	
230	Деструкция	Пангея
320	Интеграция	
485	Конвергенция	
570	Фрагментация	
630	Деструкция	Паннотия
720	Интеграция	
885	Конвергенция	
970	Фрагментация	
1030	Деструкция	Родиния
1120	Интеграция	
1285	Конвергенция	
1370	Фрагментация	
1430	Деструкция	Готия
1520	Интеграция	
1685	Конвергенция	
1770	Фрагментация	
1830	Деструкция	Колумбия
1920	Интеграция	
2085	Конвергенция	
2170	Фрагментация	
2230	Деструкция	Ятулия
2320	Интеграция	
2485	Конвергенция	
2570	Фрагментация	
2610	Деструкция	Кенорленд (ия)
2720	Интеграция	

данной фазе (630–570 млн лет) относятся кимберлиты Брауна Южной Америки (630 млн лет), Джордж Крик (600 млн лет) и Чикен Парк (614 млн лет) Северной Америки [14, 21], Урикско-Ийского грабена Сибирской платформы (650–540 млн лет) [8], Каави-Куопио Финляндии (626–589 млн лет) [16]; в *Готии* к фазе деструкции (1430–1370 млн лет) – лампроиты Боби и Тубатуко в Айвори Кост (1429 млн

лет) [21]. К фазе деструкции *Ятулии* (2230–2170 млн лет) приурочено внедрение кимберлитов в кратоне Йилгарн Австралии (2188 млн лет) [13].

Как видно, большинство алмазонасных кимберлитов приурочены ко второй половине стадии слитного суперконтинента – фазе деструкции (континентального рифтогенеза), на границе с фазой распада.

**Алмазонасный магматизм межконтинентальных стадий (молодых океанов и континентов).** Фазы фрагментации (распада) суперконтинента. При распаде *Пангеи* эта фаза составляет интервал 170–85 млн лет. Кимберлиты данного возраста на кратоне Каапвааль Южной Африки группируются в возрастные интервалы 114–144 и 84–95 млн лет [21]. Их количество – 60 тел, в числе которых кимберлиты Клипспрингер, Далструм, Вурспод, Финч Ньюленд, Орапа, Летлакейн, Летсенг и др. В Западной Африке к этому ряду относятся кимберлиты кратона Мэн (139–153 млн лет), а в Центральной – кратона Касаи в Анголе (120–125 млн лет). Аналогичную позицию в данном суперконтинентальном цикле занимают кимберлиты Канастра кратона Сан Франсиску Южной Америки (120 млн лет), Форт а ля Корн фундамента Саскачевана Канады (100 млн лет) [21], Центральной Канады (103–94 млн лет) [22], Южной Индии (90 млн лет) [18], Сибирской платформы (160–150 млн лет) [6]. При распаде *Паннотии* в интервале 570–485 млн лет формировались промышленные кимберлиты Венетиа, Мурова, Оакс, Колоссус Южной Африки и Зимбабве (500–540 млн лет), Снеп Лейк Канады (523 млн лет) [21]. К распаду *Готии* (1370–1285 млн лет) приурочено внедрение трубок Лерала в восточной Ботсване с возрастом 1333 млн лет [21]. Кимберлиты Кимозеро Карелии с возрастом 1764 млн лет [7] формировались в фазу распада суперконтинента *Колумбия* (1770–1685 млн лет).

Фазы конвергенции (сборки) суперконтинента. Сборка *Пангеи* (485–320 млн лет) сопровождалась формированием основной массы кимберлитовых тел Сибирской платформы в интервалах 419–407 и 370–344 млн лет [6]. Данному интервалу соответствует возраст трубки Гриба в Архангельской провинции (372 млн лет) [5], кимберлитов Терского Берега Кольского полуострова (465 млн лет) [4], трубок Кисли Лейк и Слоган США (380–390 млн лет), Фуксян и Шенгли Китая (475 млн лет) [21], кимберлитов с возрастом 450 и 408 млн лет Канады и США [14]. Сборке *Паннотии* (885–720 млн лет) отвечают кимберлиты Арис и Сеппелт Австралии (800 млн лет)

[21]. Со сборкой *Родинии* (1285–1120 млн лет) совпадает внедрение кимберлитов трубки Премьер в Южной Африке (1180 млн лет), а также лампроитов Аргайл в Австралии (1177 млн лет), трубки Сальвадор Южной Америки (1150 млн лет) [21], кимберлитов и лампроитов Кухмо-Лентира-Костомукша Карелии (1230 млн лет) [20] и Присяянья (~1268 млн лет) [8].

К фазе сборки (2085–1920 млн лет) суперконтинента *Колумбия 1* (Пангея 1) могут относиться лампроиты и кимберлиты южной окраины Сибирского кратона (2,1–1,8 млрд лет) [8], кимберлиты Наберру и Брокман Австралии (1900 млн лет) [21].

Переходное положение к началу формирования будущего суперконтинента, по-видимому, занимают кимберлиты Икати Канады и Мвадуи Танзании с возрастом 52 млн лет, а также лампроиты Иллендейл Австралии (22 млн лет) [21], кимберлиты Кунделунгу [10].

Анализ имеющихся данных о времени формирования кимберлитов и лампроитов на фоне указанной цикличности обнаруживает различную предрасположенность отдельных фаз суперконтинентального цикла к проявлению алмазоносного магматизма. Образование кимберлитов и лампроитов протекало неравномерно, резко активизируясь в фазы сборки и распада, значительно затухая в собственно суперконтинентальную стадию, концентрируясь только в фазу деструкции – господства в суперконтиненте континентального рифтогенеза. Это же относится и к промышленной алмазоносности, которая может формироваться как в течение фазы распада суперконтинента, так и во время его сборки. Так, все экономически важные коренные месторождения алмазов Сибирской платформы приурочены к среднепалеозойскому интервалу 350–370 млн лет, что соответствует фазе сборки *Пангеи*. В Южной Африке такой магматизм происходил в возрастных рамках 114–144 и 84–95 млн лет, т. е. в эпоху распада этого суперконтинента.

На основании проведенного анализа, опирающегося на современные данные по проявлениям алмазоносного магматизма, в различных фазах СЦ можно выделить:

- интервалы активного алмазоносного магматизма (млн лет), соответствующие фазам **распада** – 1770–1685, 1370–1285, 570–485, 170–85 и **сборки** – 2085–1920, 1285–1120, 885–720, 485–320, <85 суперконтинента. В качестве возможных аналогичных интервалов (млн лет) можно

предположить фазы распада (2610–2570, 2230–2170, 1030–970) и сборки (2485–2320, 1685–1520), в рамках которых на сегодняшний день не зафиксированы проявления проявления алмазоносного магматизма;

- интервалы умеренного или незначительного алмазоносного магматизма (**фазы деструкции суперконтинента**) – 2230–2170, 1430–1370, 630–570, 230–170 млн лет. Возможные подобные интервалы – 2610–2570, 1830–1770, 1030–970 млн лет;
- интервалы отсутствия или незначительного алмазоносного магматизма (фазы интеграции новообразованного суперконтинента): 2720–2610, 2320–2230, 1920–1830, 1520–1430, 1120–1030, 720–630, 320–230 млн лет. В дальнейшем не исключено обнаружение единичных проявлений в фазах трёх последних суперконтинентов.

Выявленное распространение во времени алмазоносного магматизма по фазам суперконтинентального цикла в целом коррелируется с установленным ранее автором непрерывно-дискретным характером проявлений основного–ультраосновного магматизма [1].

Из сказанного следует, что алмазоносные магматиты формируются в фазы СЦ различных геодинамических обстановок, поскольку суперконтинентальная цикличность, контролировавшая алмазоносный магматизм, сочетает проявления механизмов тектоники литосферных плит и тектоники мантийных плюмов.

Можно предположить, что в стадию слитного суперконтинента, когда исчезают главные зоны выделения земного тепла в виде срединно-океанических хребтов, возникает теплоизоляционный экран, под которым накапливается мантийное тепло и нарастает процесс глубинного плюмообразования. Этот процесс начинает реализовываться в форме алмазоносных интрузий в фазе деструкции, прогрессируя в последующей фазе фрагментации, тогда как в первую фазу агломерации ещё продолжается становление теплового экрана. Во время сборки суперконтинента, по-видимому, вступают в силу другие благоприятные факторы, связанные с влиянием зон субдукции на мантийную динамику ниже континентальной литосферы, такие как привнос в мантию полезных для алмазообразования компонентов. При этом можно предположить и проявление механизма «неглубокого»

плюмообразования, связанного с перемещением субдуцирующего слэба вдоль границы 670 км далеко за пределы плит.

Непрерывно-дискретное распространение во времени алмазоносного магматизма, связанное с суперконтинентальной цикличностью, происходило на фоне чёткой направленности – увеличения числа его проявлений в геологическом времени [11–13, 19 и др.]. Так, ~95% датированных кимберлитов оказываются моложе 750 млн лет, большая часть их являются мезозойскими. На рубеже около 1,2–1,1 млрд лет имел место скачок в проявлении кимберлитового магматизма, сопровождавшийся образованием первого промышленного месторождения Премьер. Представляется важным то обстоятельство, что данное явление совпало с временем образования и распада суперконтинента Родиния, когда обособилась Гондвана, а в последующем Лавразия – мегаконтиненты несоизмеримо более значительного размера по сравнению с континентами предыдущих циклов. Примечательно, что первое появление, хотя и незначительных, алмазоносных магматитов в фазе интеграции СЦ отмечается в суперконтиненте Родиния. Таким образом, общие изменения, события, происходящие в эволюции алмазоносного магматизма, синхронизируются с изменениями в ходе суперконтинентальной цикличности.

В заключение отметим следующее.

Алмазоносный магматизм в истории Земли контролировался суперконтинентальной цикличностью, проявляясь неравномерно на стадиях и фазах суперконтинентального цикла.

Наиболее масштабно проявление кимберлитового и лампроитового магматизма происходило в межсуперконтинентальную стадию СЦ, в фазы распада и сборки суперконтинентов. Это же относится и к промышленной алмазоносности, которая может возникать в течение каждой из этих фаз. На стадии существования слитных суперконтинентов отмечается значительно меньшее количество датированных алмазоносных кимберлитов и лампроитов, приуроченных в основном к её заключительной фазе, на границе со стадией распада.

На основе выявленного распределения алмазоносных кимберлитов и лампроитов в фазах суперконтинентальных циклов впервые намечены интервалы в истории Земли, отличающиеся различным потенциалом алмазоносного магматизма, что в сочетании с факторами его структурной ло-

кализации может быть использовано при прогнозировании.

Распространение во времени алмазоносного магматизма, связанное с суперконтинентальной цикличностью, происходило на фоне прогрессивного увеличения его масштаба в геологическом времени с резким скачком и появлением промышленных месторождений алмазов в позднем мезопротерозое, что коррелируется с изменениями в ходе суперконтинентальной цикличности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Божко Н.А. Внутриплитный базит-ультрабазитовый магматизм во времени и в аспекте суперконтинентальной цикличности // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2010. № 3. С. 10–25.
2. Божко Н.А. Геотектонические факторы локализации алмазоносных кимберлитов в свете современных данных // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, 2003. С. 360–365.
3. Божко Н.А. Суперконтинентальная цикличность в истории Земли // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 13–27.
4. Гавриленко Б.В. Минерагения благородных металлов и алмазов северо-восточной части Балтийского щита: Автореф. дисс... д-ра геол.-минер. наук. – М., 2003.
5. Изотопные исследования во ВСЕГЕИ. Перспективы использования результатов в целях прогноза и поисков месторождений алмазов / С.С.Шевченко, К.И.Лохов, С.А.Сергеев и др. // Мат-лы Науч.-практ. конф. «Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (Алмазы-50)». СПб., 2004, 383–387.
6. Новые данные о возрасте кимберлитов Сибирского кратона: результаты U-Pb датирования кимберлитовых цирконов / В.Г.Мальковец, Е.А.Белоусова, И.Г.Третьякова и др. // Мат-лы VI Всеросс. науч.-практ. конф. «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». Якутск, 1917. С. 329–333.
7. Раннепротерозойские алмазоносные кимберлиты Карелии и особенности их формирования / В.Н.Устинов, А.К.Загайный, К.Б.Смит и др. // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 9. С. 963–977.
8. Этапы кимберлитового магматизма Сибирской платформы и их продуктивность: закономерности формирования и особенности прогнозирования коренных месторождений алмазов различных генетических типов, новые перспективные регионы / Н.П.Похиленко, В.П.Афанасьев, Н.В.Соболев и др. // Проблемы минерагении России. М., 2012. С. 265–285.

9. *Barley M.E., Groves D.I.* Supercontinent cycle and the distribution of metal deposits through time // *Geology*. 1992. Vol. 20. P. 291–294.
10. *De Wit M.C.J., Jelsma H.A.* A Review of the Kimberlites of the Democratic Republic of Congo // *Geology and Resource Potential of the Congo Basin, Regional Geology Reviews*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. P. 361–369.
11. *Evolution of kimberlite magmatism on the dynamic Earth / S.Tappe, R.Smart, R.Stern et al.* // 11-th International Kimberlite Conference. Extended Abstract. No. 11IKC-4542. 2017.
12. *Geodynamics of kimberlites on a cooling Earth: Clues to plate tectonic evolution and deep volatile cycles / S.Tappe, S.Katie, T.Torsvik et al.* // *Earth and Planetary Science Letters*. 2018. Vol. 484. P. 1–14.
13. *Gurney J.J., Helmstaedt H.H., Richardson S.H., Shirey S.B.* Diamonds through time // *Economic Geology*. 2010. Vol. 105. P. 689–712.
14. *Heaman L.M., Kjarsgaard B.A., Creaser R.A.* The timing of kimberlite magmatism in North America: implications for global kimberlite genesis and diamond exploration // *Lithos*. 2003. Vol. 71 (2–4). P. 153–184.
15. *Jelsma H., Barnett W., Richards S., Lister G.* Tectonic setting of kimberlites // *Lithos*. 2009. Vol. 112S. P. 155–165.
16. *Lehtonen M.L.* Kimberlites in Finland: Information about the mantle of the Karelian Craton and implications for diamond exploration. Academic dissertation. – University of Helsinki, Finland. 2005.
17. *Rao C.N.V., Creaser R.A., Lehmann B., Panwar B.K.* Re-Os isotope study of Indian kimberlites and lamproites: implications for mantle source regions and cratonic evolution // *Chemical Geology*. 2013. Vol. 353. P. 36–47.
18. *Rao N.V.C., Dongre A., Wu Fu-Yuan, Lehmann B.A.* Late Cretaceous (ca. 90 Ma) kimberlite event in southern India: Implication for sub-continental lithospheric mantle evolution and diamond exploration. *Gondwana Research*. 2016. Vol. 35. P. 378–389.
19. *Stern R.J., Leybourne M.I., Tsujimori T.* Kimberlites and the start of plate tectonics // *Geology*. 2016. Vol. 44 (10). P. 799–802.
20. *Ustinov V.N., O'Brien H., Lukyanova L.I., Peltonen P.* Diamond-bearing kimberlites of Northern Europe // 9-th International Kimberlite Conference. Extended Abstracts. No. 9IKC-A-00112. 2008.
21. *Wit Mike de.* Identification of Global Diamond metallogenic clusters to assist Exploration // *The 4th Colloquium on Diamonds – Source to Use*. SAIMM. 2010. P. 15–38.
22. *Wu Fu-Yuan, Yang Yue-Heng, Mitchell R.H., Zhang Yan-Bin.* In situ U-Pb age determination and Nd isotopic analysis of perovskites from kimberlites in southern Africa and Somerset Island Canada // *Lithos*. 2010. Vol. 115 (1). P. 205–222.

## DIAMOND MAGMATISM IN SUPERCONTINENTAL CYCLES

**N.A.Bozhko**  
(FSBEI M.V.Lomonosov Moscow State University, Moscow)

*Diamond magmatism features as part of supercontinental cycles are discussed. Based on current global data synthesis, differences in such manifestations intensity at various stages of a supercontinental cycle are recognized. Time intervals in geological evolution are distinguished; they are characterized by various potential of diamond magmatism which could be used in forecasting.*

*Keywords: diamond magmatism, kimberlites, lamproites, supercontinents, supercontinental cycle, stages of integration, destruction, fragmentation (disintegration), convergence, diamond magmatism intervals.*





## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛИХО- МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА НА РАННИХ СТАДИЯХ ГРР ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ НАЛИЧИЯ КРУПНОГО ЗОЛОТА (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНО-АЛДАНСКОГО РАЙОНА)

*На примере Томмот-Эльконской зоны рудоносных разломов Центрально-Алданского района, для которой характерны рудопроявления и месторождения золота различного морфологического типа – залежи, субвертикальные зоны дробления и золотосодержащие дайки, рассмотрена проблема оперативной оценки наличия крупного золота, влияющего на достоверность опробования руд традиционными методами. Показано присутствие крупного золота как в протолочных, так и в шлиховых пробах, отобранных из разборного плотика, что позволяет использовать шлихоминералогический метод на ранних стадиях ГРР для надёжной оценки соотношения различных классов золота в изучаемых золоторудных объектах.*

*Ключевые слова: гранулометрический состав самородного золота, шлихоминералогический метод, достоверность опробования.*

### **Столяренко Владимир Валентинович**

кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник<sup>1</sup>  
ptersto@yandex.ru

### **Минаков Алексей Викторович**

главный геолог<sup>2</sup>  
min.aldan@mail.ru

### **Чернов Евгений Евгеньевич**

кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник<sup>3</sup>  
harbaatar@mail.ru

### **Остапенко Людмила Анатольевна**

кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник<sup>3</sup>  
lud-ost@mail.ru

### **Минин Алексей Николаевич**

старший специалист<sup>3</sup>  
totalrez@mail.ru

### **Рябошапка Алексей Геннадьевич**

инженер 1-ой категории<sup>1</sup>  
shapka\_88@mail.ru

<sup>1</sup> ФГБУ Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва

<sup>2</sup> Алданское ОП, г. Алдан

<sup>3</sup> ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского», г. Москва

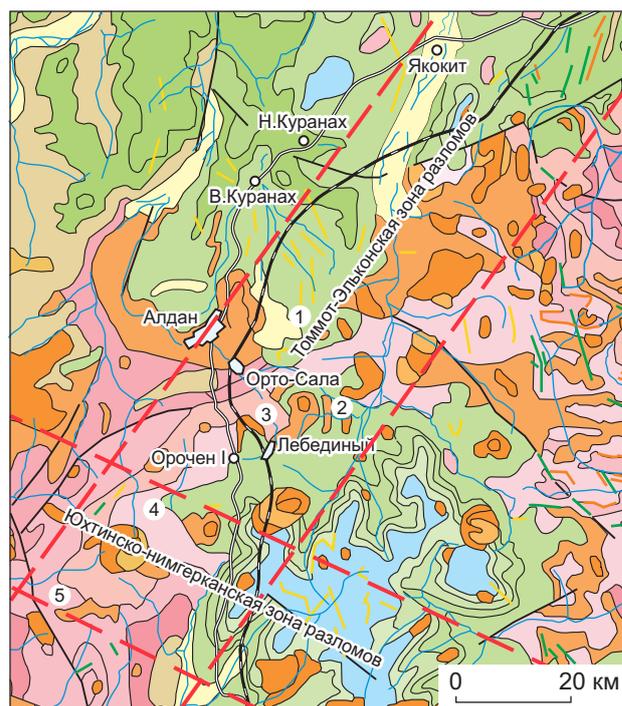
Центрально-Алданская металлогеническая зона объединяет месторождения и рудопроявления, связанные общностью происхождения – с мезозойской тектоно-магматической активизацией, сопровождавшейся широким проявлением субщелочного, кислого и отчасти мафит-ультрамафитового магматизма. В пределах зоны известны один мафит-ультрамафитовый и >20 крупных полифациальных щелочных и субщелочных массивов – штоков, лакколитов, кольцевых вулcano-плутонических массивов. Массивы сопровождаются проявлениями золота и иногда платиноидов. Распространённой формой более мелких магматических тел являются силлы, дайковые пояса и поля. Наиболее крупные ареалы развития субщелочных и щелочных пород – Центрально-Алданский, Тыркандинский (или Джелтулинский), Верхнеамгинский и Ломамский, выделяемые в качестве одноимённых рудных районов (РР).

Центрально-Алданский золоторудный район, в сравнении с остальными рудными районами Центрально-Алданской металлогенической зоны, имеет наиболее высокий металлогенический потенциал в связи с его расположением в исключительно благоприятной структурной обстановке – ядерной части Алданской радиально-концентрической системы структур. Столь характерные структурные условия способствовали возникновению в данном районе мезозойского магматического очага с разноглубинными источниками генерации магматических образований и постмагматических гидротермальных растворов, что в сочетании с интенсивной зоной дизъюнктивной тектоники, проявленной в ви-

де Томмот-Эльконской зоны рудоносных разломов северо-восточного простирания, определило основные перспективы района. Эта зона контролирует и вмещает значительную часть месторождений и проявлений рудного золота золото-сульфидно-кварцевой и золото-порфировой рудных формаций. В её пределах размещаются Колтыкон-Самодумовское, Малокуранахское, Гора Рудная, Орто-Сала-Верхнекуранахское, Селигдарское, Гранитное рудные поля и др., относящиеся к Лебединскому и Нимгерканскому рудным узлам. С оруденением этой металлогенической зоны связана также интенсивная россыпная золотоносность многочисленных водотоков в бассейнах рек Томмот, Селигдар, Орто-Сала, Куранах, Якокит, где добыто >42 т металла (рис. 1).

Промышленное оруденение Центрально-Алданского рудного района связано исключительно с интенсивным развитием мезозойских интрузивов и представлено лебединским, куранахским, самолазовским, рябиновым, а также выявленным в последнее время новым перспективным типом горы Рудная (месторождение Морозкинское) [2, 3]. Последний представлен линейными крутопадающими зонами прожилково-вкрапленной и жильно-прожилковой золотосодержащей пиритовой минерализации со стержневыми пирит-кварцевыми золотоносными жилами, рассекающими интрузивы монзонит-сиенит-порфиров, породы осадочного чехла и фундамента. Длина рудных зон до 1500 м, мощность до 100 м. Рудоконтролирующим фактором проявления золота данного типа являются протяжённые разломные структуры взбросо-сбросовой кинематики Томмот-Эльконской зоны рудоносных разломов. Рудные зоны сложены относительно бедными, легкообогатимыми рудами, характеризуются сложным внутренним строением с частой перемежаемостью рудных тел с прослоями некондиционных руд, содержащих извлекаемые формы золота.

Самородное золото в рудах обнаружено в трещинах катаклаза в виде мелких включений в пирите, изометрических выделений в халькопирите и кварце; оно весьма мелкое и мелкое [15], размером от 0,001 до 0,7 мм, представлено двумя генерациями. Первая генерация – тонкодисперсное золото, связанное с пиритом и халькопиритом в березитизированных сиенит-порфирах, вторая – самородное золото, образующее более крупные (до 0,7 мм) комковатые и удлинённые выделения, при-



**Рис. 1. СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ УЧАСТКОВ РАБОТ В ПРЕДЕЛАХ ТОММОТ-ЭЛЬКОНСКОЙ ЗОНЫ РУДОНОСНЫХ РАЗЛОМОВ:**

рудные поля: 1 – Колтыкон-Самодумовское, 2 – Малокуранахское, 3 – Орто-Сала-Верхнекуранахское Лебединского рудно-россыпного узла, 4 – Селигдарское потенциальное, 5 – Верхне-Нимгерканское потенциальное Нимгерканского рудно-россыпного узла

существующие в приповерхностной части зоны минерализации. Золото второй генерации даёт основные промышленные содержания (до 110 г/т) в пределах участка интенсивной гидротермально-метасоматической проработки и дробления. Средние содержания золота в рудных телах, оконтуриваемых по данным опробования, составляют 1,4–2,4 г/т (А.В.Минаков, 2015 г.).

В настоящее время актуально вовлечение в эксплуатацию крупнообъёмных золоторудных месторождений именно такого типа, характеризующихся большими объёмами руды при низких (1–4 г/т) содержаниях золота. При оценке рентабельности подобных объектов занижение среднего содержания на десятки доли грамма на тонну может быть решающим. При этом на ряде месторождений, при оценке достоверности опробования прожилково-вкрапленных руд с содержаниями золота порядка 2–5 г/т, были установлены существенные зани-

жения содержаний золота, определённых атомно-абсорбционным методом анализа [8]. Занижения были следствием наличия в рудах относительно крупного (класса +0,3 мм) самородного золота и, как следствие, неравномерностью его распределения, в результате чего стандартная исследуемая навеска становилась непредставительной. Следовательно, для объектов с повышенной крупностью золота одним из необходимых мероприятий является изменение способа пробоподготовки и методики определения содержания. Поэтому одна из основных задач при проведении ГРП – оперативное определение наличия крупного золота в пробах, обуславливающего «эффект самородка».

Отметим, что проблема представительности проб для определения содержаний благородных металлов при подсчёте запасов существует как для коренных, так и для россыпных месторождений, особенно крупных и уникальных. Бимодальный характер гистограмм гранулометрического состава в данном случае свидетельствует о наличии крупного металла, создающего «эффект самородка». Дискретное распределение крупного металла также приводит к систематическому занижению содержаний при анализе проб малого объёма [13, 14].

По данным ЦНИГРИ, занижение средних содержаний (и соответственно запасов) составляет 20–30% по рудам, в которых присутствуют крупные золотины, и 10–15% со средним и мелким золотом [5]. На Дегдеканском месторождении одна из основных причин систематического занижения результатов пробирного анализа в 3–30 раз, по мнению ряда авторов [7, 8], – наличие относительно крупного самородного золота класса 0,5 мм с крайне неравномерным его распределением внутри рудных тел. Многочисленными опытно-экспериментальными работами Н.В.Барышева, В.Г.Петрова [1, 9] и др. было установлено систематическое занижение содержаний золота пробирным методом, причём чем ниже содержания в исходной руде, тем выше погрешность. При средних значениях 1–4 г/т содержания занижались в десятки раз, а относительная погрешность достигала 100%. Столь значительные ошибки при анализах проб руд с крупным свободным золотом связаны с неравномерным распределением зёрен золота в подготовленных пробах. В результате содержание золота в аналитических пробах не соответствует таковому в исходной руде. Особенно большие ошибки возникают при анализе руд объектов с относительно низким содер-

жением золота, вовлечение в промышленную эксплуатацию которых в ближайшие годы должно обеспечивать развитие золотодобывающей отрасли.

В соответствии с рекомендациями ГКЗ для руд с крупными зёрнами золота, особенно с невысокими его содержаниями (до 5 г/т), в целях повышения надёжности определений рекомендуется применять пробирную плавку большой массы руды или гравитационное выделение свободного золота из всей массы отобранной пробы после дробления до крупности 1–2 мм [16]. Первый метод отличается большой трудоёмкостью и практически не используется [12]. Помимо этого, производятся предварительный отсев крупного золота на сите и отдельный анализ надрешётного и подрешётного продуктов (ОСТ 48-276-86). Метод используется многими лабораториями, но масса навески на ситовой анализ, как правило, ограничивается 0,5–1,0 кг, что для руд некоторых объектов недостаточно.

Крупность золота, как показано выше, для исследованных руд является основным фактором, обуславливающим погрешность химических анализов, в связи с этим целесообразно выделить пробы с преобладанием пылевидного и очень мелкого золота классов +0,001...–0,3 мм, для которых характерно равномерное распределение металла, и с преобладанием мелкого и среднего золота класса +0,3 мм. При этом для коренных месторождений необходимо уточнить понятия «мелкое» и «крупное» золото. «Крупное» – это то, которое может приводить к «эффекту самородков»; его минимальный размер у разных авторов от 0,25 до 0,5 мм [4, 6–8]. Поэтому, на наш взгляд, представляется возможным принять среднее значение этого показателя, а именно +0,3 мм.

На основании изучения данной проблемы рядом авторов [4, 6, 13 и др.] были сформулированы следующие выводы:

1. Присутствие крупного свободного золота в рудах, особенно с невысокими средними содержаниями, и его неравномерное распределение при отборе навесок для пробирного анализа значительно влияют на результаты анализа «эффекта самородка».

2. Для руд с преобладанием мелкого и тонкого золота преимущественно размером не более –0,2 мм вполне достоверны результаты пробирных анализов проб небольшой массы.

3. Для руд с большим количеством золота средних размеров (+0,3...–0,5 мм) необходимо приме-

нять либо гравитационное выделение свободного золота из всей массы отобранной пробы после дробления до крупности 1–2 мм, либо проводить предварительный мокрый отсев крупного золота на сите с отдельным анализом надрешётного и подрешётного продуктов.

Таким образом, при оценке промышленной значимости месторождений с невысокими средними содержаниями и наличием крупного золота на первое место выдвигается вопрос определения наличия металла крупных классов крупности на ранних стадиях ГРП.

Целью опытно-методических работ, выполненных в пределах Центрально-Алданского РР, являлась оценка эффективности экспрессного шлихо-минералогического метода при поисках месторождений золото-сульфидно-кварцевой формации различных структурно-морфологических типов (залей, субвертикальных минерализованных зон, жил и др.), перекрытых элювиально-делювиальными отложениями мощностью >1 м. Исследовались рудопроявления золота различных морфологических типов Лебединского и Нимгерканского рудно-россыпных узлов (РРУ), которые сформировались в эпоху мезозойской тектоно-магматической активизации Алданского щита и расположены в пределах Томмот-Эльконской структурно-металлогенической зоны, имеющей важное магмоконтролирующее значение (см. рис. 1).

В процессе работ сопоставлялись особенности самородного золота (морфологические и гранулометрические характеристики, степень окатанности, наличие сростков), полученного при шлихо-минералогическом опробовании разборного плотика, и золота, выделенного из протолочных проб, отобранных из оруденелых пород, вскрывающихся в канаве и являющихся продуцентами россыпного золота на этой площади.

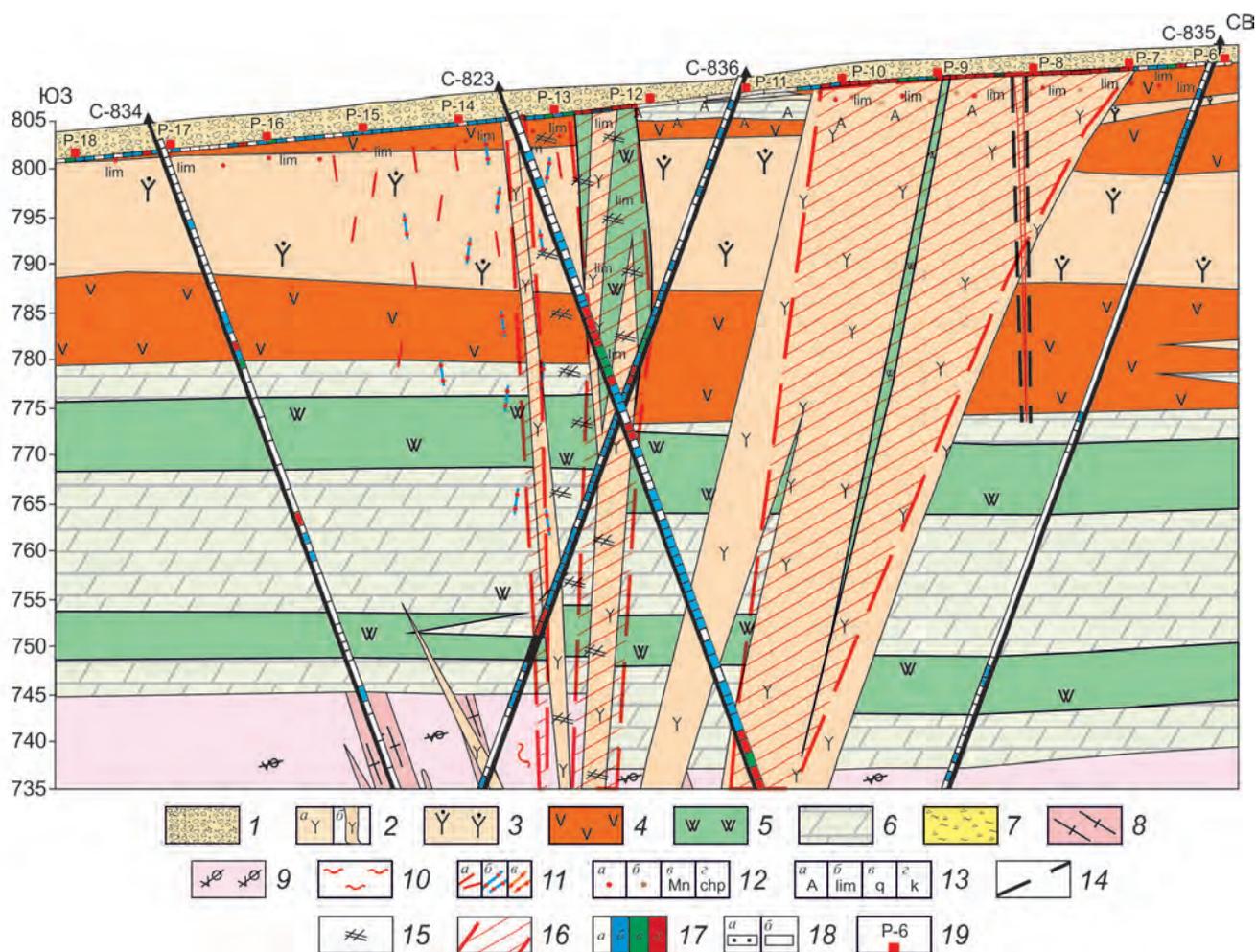
Отбор шлиховых проб из расчисток проводился из разборного плотика (элювия) объёмом одна ендовка (0,02 м<sup>3</sup>) с последующей промывкой. Протолочные пробы массой 10–12 кг отбирались на интервалах с наиболее высокими содержаниями золота определённых по данным пробирного анализа бороздовых проб предшествующих поисковых работ. Проба дробилась до 1 мм с последующей промывкой. При отмывке все пробы домывались до «серого шлиха». После просушки шлихи проходили пробоподготовку по единой схеме, включающей выделение магнитной фракции, электромаг-

нитную сепарацию, домывку в чашках до «чёрного шлиха» с предварительной расситовкой материала немагнитной фракции на сите 2 мм и выделением золотого концентрата и оперативным подсчётом количества золотин.

**Лебединский рудно-россыпной узел.** В качестве эталонной площади для работ было выбрано *Колтыкон-Самодумовское рудное поле* на севере Лебединского РРУ (см. рис. 1). Его геологическое строение типично для Лебединского РРУ: доломитовая толща усть-юдомской свиты вендского возраста мощностью до 200 м, прорванная штоками авгит-роговообманковых сиенитов, монцонитов, эгириновых сиенитов, пуласкинов, пластовыми интрузиями биотит-роговообманковых ортофинов, бостонитов, щелочных сиенит-порфинов, дайками щёлочноземельных, субщелочных сиенит-порфинов, минетт, бостонитов, субгоризонтально залегают на кристаллическом фундаменте. Золотое оруденение локализуется в пластовых телах (силлах) субщелочных пород, локализованных в толще доломитов венда и в крутопадающих зонах трещиноватости и дробления древних пород фундамента.

Колтыкон-Самодумовское рудное поле – второе по степени концентрации золоторудных тел и их промышленной значимости в пределах Лебединского РРУ. Основные наиболее крупные и богатые золоторудные объекты отработаны подземным и открытым способами в 1940–1980 гг. Тем не менее, на изучаемой площади имеются рудопроявления, требующие заверки с учётом изменившихся кондиций. Кроме того, необходимы поисковые работы на новый геолого-промышленный тип золоторудных месторождений, ранее не рассматривавшийся на территории рудного поля, – субвертикальные минерализованные зоны дробления, рассекающие как доломитовый чехол, прорванный мезозойскими интрузивами, так и породы фундамента.

Предшествующими исследованиями (В.В.Звездов, В.В.Столяренко и др., 2015 г.) наиболее значимые рудные пересечения установлены в канаве БК-126, пройденной вкрест простирания золоторудной структуры Мятажная. В итоге в канаве, в дайке рудоносных сиенит-порфинов и вмещающих ортофирах, выделены несколько рудных интервалов (рис. 2). Канавами, находящимися севернее БК-126, золоторудная зона Мятажная также вскрыта. Рудные интервалы в них с содержанием Au >1,0 г/т достигают первых десятков метров. Всё



**Рис. 2. КОЛТЫКОН-САМОДУМОВСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО БУРОВОЙ ЛИНИИ БЛ-323 (центральная часть зоны Мятажная, вскрытая канавой БК-126):**

1 – элювиально-делювиальные отложения; 2 – роговообманковые сиенит-порфиры, порфиры (а – пластовые тела, б – дайки); 3 – бостониты, бостонитовые порфиры; 4 – ортофиры, трахитовые порфиры; 5 – минетта, вогезиты, керсантиты (лампрофиры); 6 – доломиты; метаморфические породы фундамента: 7 – глинизированные доломиты, 8 – гранито-гнейсы, мигматиты, теневые мигматиты, 9 – диопсидовые, диопсид-плагиоклазовые породы, 10 – мигматиты, мигматизированные и гранитизированные породы; 11 – прожилковая минерализация пиритовая (а), пирит-кварцевая (б), пирит-кальцитовая (в); 12 – вкрапленная минерализация пирита (а), гематита (б), минералов марганца (в), халькопирита (г); 13 – объёмная минерализация (а – анкеритизация, б – лимонитизация, в – окварцевание, г – карбонатизация); 14 – разрывные нарушения; 15 – зона дробления; 16 – золоторудные зоны с прожилково-вкрапленной пирит-кварцевой минерализацией; 17 – канавы с результатами опробования; бороздовые пробы (содержание Au, г/т: а – <0,1, б – 0,1–0,5, в – 0,5–1,0, г – >1,0); 18 – проба сколковая (а), бороздовая (б); 19 – расчистки, их номера

это послужило основанием для выбора опорного профиля по канаве БК-126, в борту которой была пройдена 31 расчистка.

По зоне Мятажная прогнозные ресурсы оценивались в отдельности по рудным телам различных морфологических типов. Основным рудным телом

является мощная дайка сиенитов, прослеженная от канавы 126 на севере до долины руч. Золотой, на юге до истоков руч. Турук. По данным бороздового опробования мощность минерализованной дайки составляет 32,5 м, средневзвешенное содержание Au – 1,71 г/т. Вторые по значимости рудные объек-

ты, вскрытые в канаве, – зоны тектонической и гидротермальной разгрузки, вероятно, трассирующие маломощные дайки сиенит-порфиоров в меридиональном направлении. Мощность зон дробления 2,0–5,6 м, содержание Au 1,77–8,05 г/т. Третий тип оруденения, вскрывающийся БК-126, – рассеянное вкрапленное и прожилковое оруденение, характерно для силла ортофиоров и отчасти бостонитов, залегающего в верховьях руч. Золотой на его правом и левом бортах. В элювиально-делювиальных отложениях на площади выхода на поверхность ортофиоров и бостонитов предшественниками установлены шлиховые ореолы золота. В бульдозерной канаве 126 (2014 г.) на отдельных её отрезках средневзвешенное содержание Au составляет 2,87 г/т. Мощность силла по данным бурения 15 м.

Наибольшее количество самородного золота выделено из протолочных проб БК-126-80,0 (интенсивно сульфидизированный сиенит-порфир, слагающий мощную (~30 м) крутопадающую дайку), БК-126-85,0 (интенсивно изменённая минетта, выполняющая позднюю маломощную дайку ветвящегося строения, телескопирующую дайку сиенит-порфира), БК-126-123,0 (дроблёный, интенсивно лимонитизированный материал из тектонической зоны по минетте (?) на контакте пластовой интрузии с доломитом), БК-126-126,0 (интенсивно изменённая дайка ожелезнённых, выщелоченных сиенит-порфиоров с обилием мелких каверн выщелачивания, присыпанных рыжими охрами), БК-126-135,0 (изменённый выветрелый ортофир (?) с полосчатой лимонитизацией). Более убогая золоторудная минерализация связана с субгоризонтальным пластовым телом вогезитов, вскрытым на западном фланге канавы (БК-126-341,0). По цветовым характеристикам все выделенные в пробах знаки золота близки между собой с незначительными вариациями и смещением оттенка в сторону светло-жёлтого. Предположительно пробность золота составляет 700–800, редко до 850‰. При этом существенно отличаются их гранулометрические и морфологические характеристики.

Гранулометрические особенности шлихового золота определяются, с одной стороны, исходными размерами частиц золота, поступавших в россыпепроявление (что зависит от типа коренного источника), а с другой – динамической сортировкой кластического материала, зависящей от условий его транспортировки и аккумуляции. При этом

элювиальный металл из разборного плотика практически не окатан, т. е. основное количество золота практически не перемещалось. Следовательно, на гранулометрический состав в шлиховых пробах влияет исключительно тип коренного источника.

Опробование расчисток, вскрывающих известные рудные зоны различной морфологии, показало, что размер зёрен и агрегатов самородного золота в ряде шлиховых проб, отобранных из приплотиковой зоны, колеблется в широких пределах – от зёрен размером от 1,35 мм до тончайшей пыли, едва различимой под биноклем. Диаметр наименьших зёрен составлял 0,1–0,05 мм, что, по классификации Н.В.Петровской [10], относится к классу «очень мелкого».

Металл с аналогичными гранулометрическими характеристиками получен также из протолочных проб, взятых из оруденелых пород, являющихся продуцентами россыпного золота на площади Колтыкон-Самодумовского рудного поля, куда входит зона Мятёжная. При этом максимальный размер зёрен золота достигал 5 мм. При изучении гранулометрического состава самородного золота, выделенного из протолочных проб и шлихов, определение размера золотин и разделение их на классы крупности, ввиду малого размера навесок, проводилось под биноклярным микроскопом. Соотношение различных классов крупности оценивалось визуально (полуколичественно).

В ряде протолочных проб, отобранных из оруденелых пород, вскрывающихся в канаве и являющихся продуцентами россыпного золота на этой площади, обнаружено значимое количество (порядка 30–90%) золота «крупных» классов +0,5 мм. При этом крупность самородного золота сильно варьирует. Золото, приуроченное к кварцевым прожилкам и участкам дробления, в целом более крупное, чем локализованное в субщелочных породах (рис. 3).

В расчистках из зоны разборного плотика, содержащих преимущественно элювиальное золото, аналогичное соотношение металла данных классов, хотя класс +0,5 мм отмечался значительно реже. При этом выход золота класса +0,3 мм составляет 40–65%. Данный факт также свидетельствует о наличии крупного золота в рудах Колтыкон-Самодумовского рудного поля (рис. 4).

В ряде случаев наблюдалось несоответствие низких содержаний золота, определённых по данным пробирного анализа, и большого количества



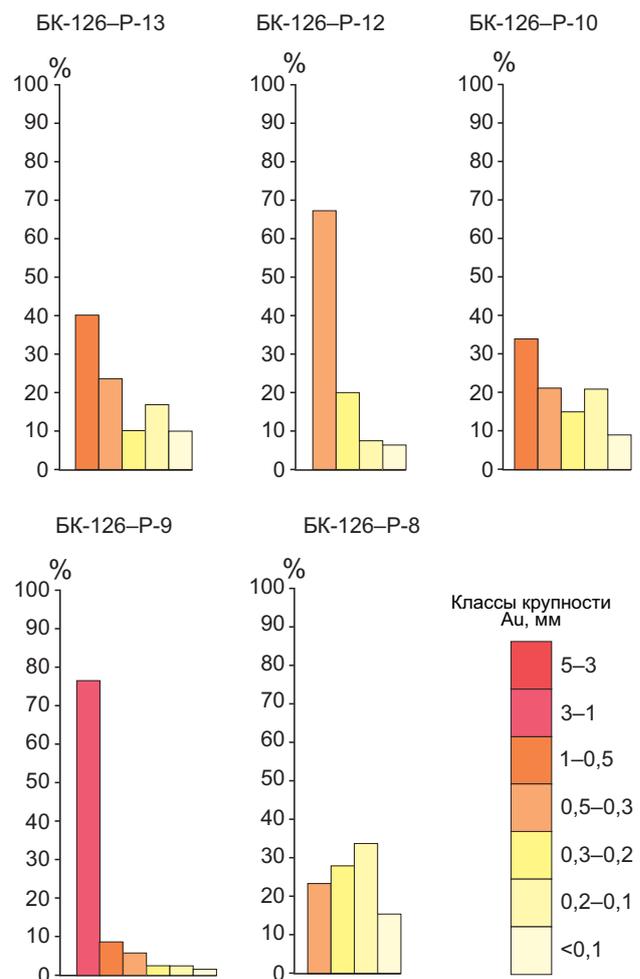


ского состава основные пики приходится на классы +0,5 мм (>50%) и -0,5...+0,3 мм (>40%). Золото отличается разнообразием морфологических разновидностей с преобладанием интерстициальной формы. Широко представлены кристаллы и их сростки, а также трещинные формы. Меньше комковидного золота.

Золото из зон дробления по дайке минетт (проба БК-126-126,0, 237 знаков) наиболее крупное (до 3,3×4,75 и 3,25×4,5 мм). На гистограмме гранулометрического состава основной пик приходится на класс +3,0 мм (>80%). Морфологически золото этой пробы наиболее разнообразное. В обломочном материале в различных соотношениях фиксируются интенсивно трещиноватый, местами полностью раздробленный кварцевый агрегат, тёмно-бурые плотные псевдоморфозы гидрогётита по пириту, рыхлые, охристые гипергенные агрегаты. Это даёт возможность предположить, что неотектоническое нарушение «прошло» по сульфидно-кварцевой жиле.

Подтверждением этого является также большое количество сростков золота с кварцем и сульфидами, полученных из шлиховых проб, отобранных из расчисток по структурному элювию над подобными зонами (расчистка 12) (рис. 5). Шлиховое золото из этой пробы характеризуется разнообразием морфологических форм с преобладанием гемиидиоморфных (комбинированных) с большой долей золота комковидной, интерстициальной и трещинно-каркасной (цементационной) морфологии с мелкопористой или ячеистой поверхностью и неровными острыми краями. Часто отмечаются кристаллы и сростки кристаллов. Более мелкие золотины имеют гладкую блестящую поверхность. По золоту отмечаются частые примазки гидроксидов железа (~10–15%). Около 10% золотин приходится на сростки с кварцем. Отмечается большое количество сростков с интенсивно лимонитизированными минералами вмещающих пород. Примерно 1–2% самородного золота относится к очень мелкому, при этом основную часть пробы составляет золото класса -5,0...+3,0 мм (>80%) (см. рис. 3).

Таким образом, гранулометрический состав золота протолочных проб, отобранных из разных типов коренных источников, показал наличие значимых количеств золота классов +0,3 и +0,5 мм, а в ряде случаев и класса +1,0 мм. Данный факт свидетельствует о неравномерном распределении самородного золота в коренном источнике,



**Рис. 5. ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЭЛЮВИАЛЬНОГО ЗОЛОТА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ОПРОБОВАНИИ РАСЧИСТОК В БК-126**

что может значительно влиять на результаты анализа «эффекта самородка» (см. рис. 3).

При просмотре шлихов, полученных из разборного элювия, установлено, что количество выделенных знаков самородного золота отличается в исследованных пробах на порядок и варьирует в пределах от десятков до сотен (>1000) (см. рис. 4, 5). Морфологические и гранулометрические параметры выделенного самородного золота контрастны. Зависимости между количеством золота и его размерами не выявлены.

Основные морфологические разновидности самородного золота во всех пробах представлены кристаллами, комковидным и губчатым золотом с ровными и неровными скруглёнными краями, до-

ля интерстициального и трещинного золота значительно ниже. Количество частиц с неровными, острыми краями, которые позволяют с высокой достоверностью оценивать степень окатанности золота, составляет 30–70%. Это обусловлено тем, что большинство из них гемиидиоморфные (комбинированные), в которых кристаллы и комковидное золото сочетаются с трещинным и интерстициальным. Выявленные морфологические особенности позволяют с высокой вероятностью говорить о незначительной степени окатанности самородного золота (в большинстве относится к 1-ому баллу). На 10–20% золотин можно допустить наличие признаков слабой и очень слабой окатанности (2 балла). Подобные признаки характерны именно для элювиальных россыпей и однозначно указывают на отсутствие перемещений подавляющего количества частиц самородного золота при формировании рыхлых отложений.

Помимо этого, необходимо отметить, что существенная доля губчатого самородного золота представляет собой полифазный минеральный агрегат, состоящий из очень мелких изометрических выделений золота и гидроксидов железа. Такие сростки, вероятно, являются результатом гипергенного преобразования пирита с густой вкрапленностью или гнездовыми скоплениями мелкой вкрапленности самородного золота. Данные образования при лёгком надавливании рассыпаются на несколько частиц и также могут свидетельствовать об отсутствии перемещения от коренного источника, т. е. об автохтонном происхождении подавляющей части полученного шлихового металла.

Гранулометрический состав элювиального золота из разборного плотика показал, что в абсолютном большинстве проб, отобранных над известными рудными телами различной морфологии, присутствует значимое количество золота класса  $-0,5...+0,3$  мм, а в ряде случаев классов  $-1,0...+0,5$  и  $-3,0...+1,0$  мм, что однозначно говорит о наличии крупных частиц самородного золота.

Аналогичные особенности гранулометрического состава элювиального золота из расчисток фиксируются также на Малокуранахском и Орто-Сала-Верхнекуранахском рудных полях Лебединского РРУ.

*Малокуранахское рудное поле* расположено в верховьях реки Большой Куранах и её притока руч. Малый Куранах. Территория рудного поля также сложена доломитами усть-юдомской свиты

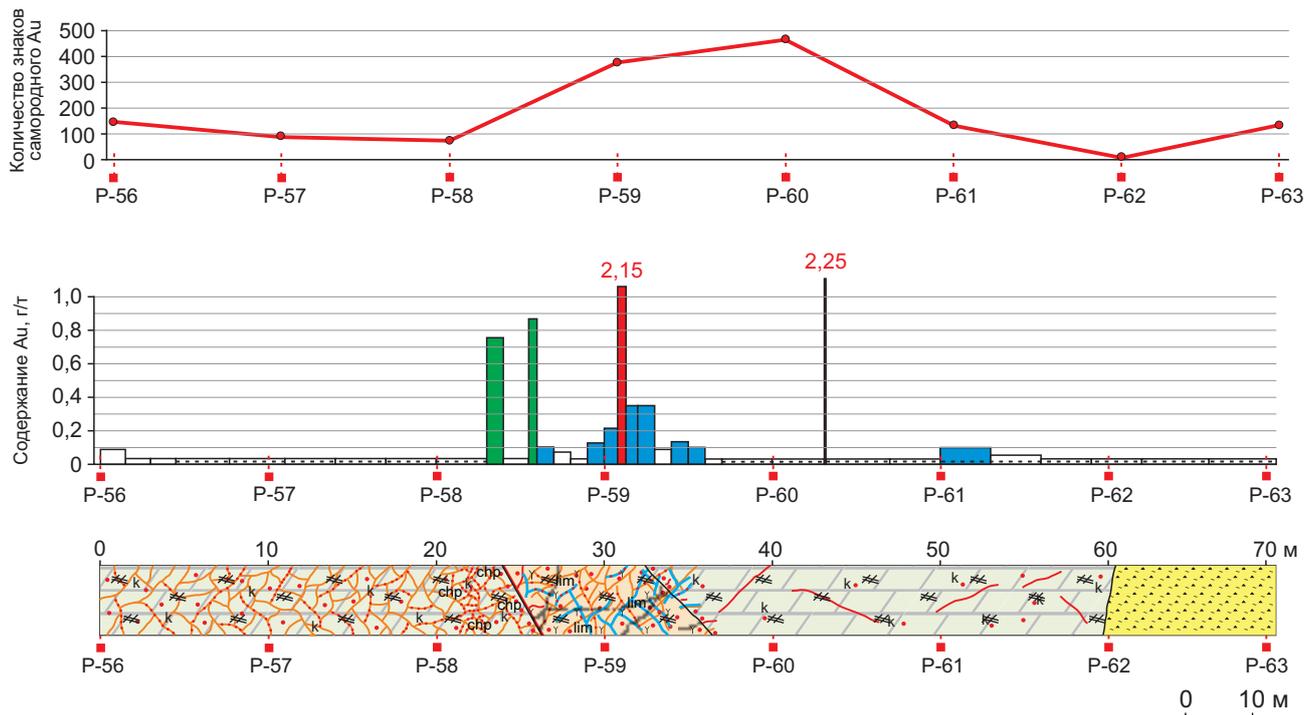
венда, субгоризонтально залегающими на размытой поверхности кристаллического фундамента. Доломиты вмещают многочисленные силлы мезозойских субщелочных магматитов.

Особенность геологического строения – широкая распространённость, наряду с горизонтально залегающими силловыми интрузиями, вертикальных магматических массивов (Турукский, Магнитный и др.), гольцовые вершины которых возвышаются над низкогорным плато. Породы чехла и фундамента прорваны также субвертикальными дайками. В южной части поля выявлены рудные жилы Натёчная, Дмитриевская, Диагональная и зона Сбросовая. Канавой БК-115 в интервале 25,2–34,5 м вскрыта золоторудная зона Сбросовая, состоящая из дайки изменённого крупнокристаллического роговообманкового сиенит-порфира, локализованной в зоне дробления. Метасоматические изменения: окварцевание, карбонатизация, сульфидизация, лимонитизация и гидрослюдизация. Бороздовое опробование на этом интервале показало содержание Au от 0,21 до 2,15 г/т.

На отметке 43 м вскрыты также субпараллельная дайка и маломощная жила пирит-лимонит-кварц-кальцитового состава, в зальбандах встречаются мелкие зёрна неокисленного и окисленного пирита. Содержание Au составило 2,25 г/т. На отметке 50 м вскрыта мелкая прожилковая минерализация с единичными тончайшими прожилками пирит-лимонит-кварц-кальцитового состава, отмечаются мелкие зёрна неокисленного и окисленного пирита. Содержание Au на 3-метровом интервале составило 0,1 г/т.

Морфологические особенности исследованного элювиального самородного золота на Малокуранахском рудном поле из зоны разборного плотика также позволяют с высокой вероятностью говорить о незначительной степени его окатанности, что однозначно свидетельствует об отсутствии перемещений подавляющего количества частиц самородного золота при формировании элювиальных отложений.

При просмотре шлихов из разборного плотика установлено, что количество выделенных знаков самородного золота отличается в изученных пробах на порядок и варьирует в пределах от десятков до сотен знаков. Наибольшее количество знаков золота получено в шлиховых пробах, отобранных в расчистках 59 (372) и 60 (467). При этом наиболее высокие содержания, определённые по



**Рис. 6. МАЛОКУРАНАХСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ. СООТНОШЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЮВИАЛЬНОГО ШЛИХОВОГО ЗОЛОТА ИЗ РАСЧИСТОК (зона разборного плотика) И СОДЕРЖАНИЙ ЗОЛОТА ПО ДАННЫМ ПРОБИРНОГО АНАЛИЗА В БК-115**

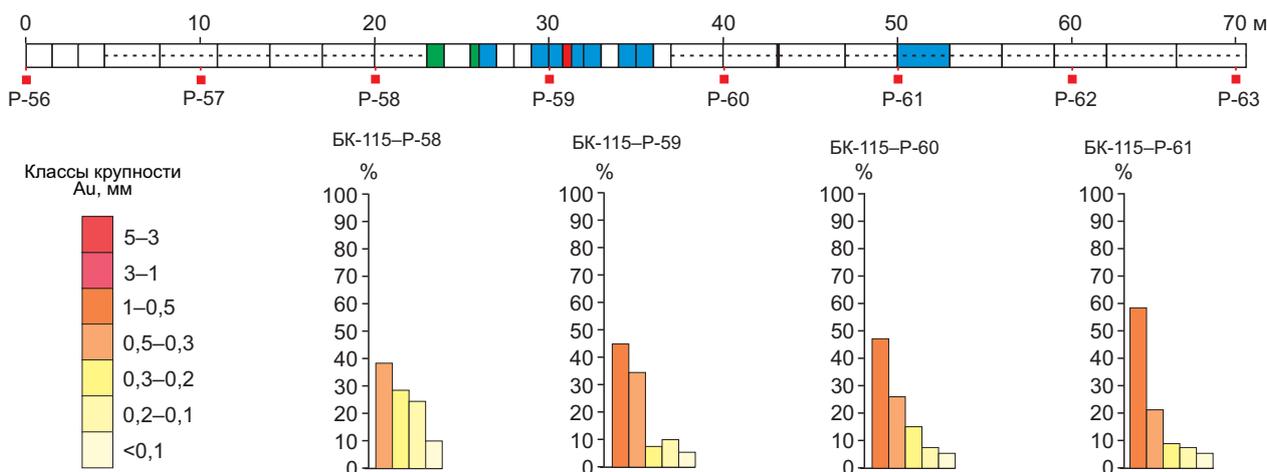
данным бороздового опробования, не всегда совпадают с высоким содержанием элювиального золота по результатам шлихового. Данное обстоятельство может свидетельствовать о занижении содержаний, обусловленных наличием в рудах относительно крупного (класса +0,3 мм) самородного золота, и, как следствие, неравномерностью его распределения (рис. 6).

Опробование по расчисткам в канаве БК-115, вскрывающей Сбросовую зону, выявило следующие особенности гранулометрического состава золота. В расчистке 58 на фланге крутопадающей зоны на класс +0,3 мм приходится 24%. В расчистке 60, расположенной в районе выхода мало мощной жилы пирит-лимонит-кварц-кальцитового состава (отметка 43 м), на класс -1,0...+0,5 приходится 23% золота, на класс -0,5...+0,3 мм – 25%. В расчистке 59 по центру вскрытой золоторудной зоны на классы -1,0...+0,5 и -0,5...+0,3 мм приходится соответственно 22 и 34%. В расчистке 61, находящейся в районе слабой прожилково-вкрапленной минерализации (отметка 50 м), на класс -1,0...+0,5 мм приходится 32%, на класс -0,5...+0,3 мм – 23% (рис. 7). То есть при наличии золоторудных тел даже с невысокими

содержаниями гранулометрический анализ элювиального золота однозначно показывает корректное соотношение различных классов крупности.

*Орто-Сала-Верхнекуранахское рудное поле* размещается в центре Томмот-Эльконской структурно-металлогенической зоны в бассейне р. Орто-Сала (см. рис. 1), наиболее изученной части Лебединского РРУ, где сконцентрированы многочисленные золоторудные жилы и ~30 рудных залежей, в том числе весьма богатые по содержанию и запасам. Жильные тела и залежи образуют сложное поле перекрёстно-линейного характера, где трудно выделить «стержневые» рудные зоны и осевые золотоносные разломы.

В пределах рудного поля для изучения особенностей гранулометрического состава самородного золота выбрана зона Косогорная, вскрытая бульдозерными канавами (БК-100, БК-101) и представленная дайкой сиенит-порфиров на контакте с интенсивно оруденелыми доломитами в тектонической зоне дробления с большим количеством кварц-лимонит-гематитового материала. Бороздовым опробованием выделен рудный интервал мощностью 21,5 м со средним содержанием золо-



**Рис. 7. ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЭЛЮВИАЛЬНОГО ЗОЛОТА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ОПРОБОВАНИИ РАСЧИСТОК В БК-115**

та 1,44 г/т. Максимальные содержания золота по скважине, пройденной по этой зоне, зафиксированы в интервале 91,0–98,2 м и достигают 18,35 г/т, средневзвешенное на данном отрезке – 4,7 г/т.

Морфологические особенности элювиального золота из зоны Косогорная также позволяют говорить о незначительной степени его окатанности и, следовательно, об отсутствии перемещений подавляющего количества частиц самородного золота при формировании элювиальных отложений.

При просмотре шлихов из разборного плотика выяснено, что количество выделенных знаков самородного золота отличается в исследованных пробах на порядок и варьирует в пределах от десятков до сотен знаков. Наибольшее количество знаков золота (290) получено в шлиховых пробах, отобранных в расчистках по участкам зоны с наиболее высокими содержаниями – от 2,39 до 6,86 г/т. При этом наиболее высокие содержания по данным бороздowego опробования не всегда совпадают с высоким содержанием элювиального золота по данным шлихового опробования и, наоборот, при отсутствии содержания золота по данным пробирного анализа пробы-протоочки и шлиховые пробы по элювию показывают наличие золота (рис. 8).

Опробование по расчисткам в канаве БК-100, вскрывающей зону, выявило следующие особенности гранулометрического состава золота. В расчистках 38, 39, расположенных в центральной части крутопадающей зоны, на класс +0,3 мм приходится 15 и 35% металла соответственно. В про-

толочных пробах, отобранных здесь же, на класс +0,2 мм приходится ~35% (рис. 9).

На продолжении зоны Косогорная (юго-восточный фланг) канавой БК-101 в доломитах вскрыты две разобшённые зоны дробления, лимонитизации и анкеритизации мощностью не более 3–4 м. В расчистке 64 на фланге подобной зоны дробления 58% золота приходится на класс +0,3 мм, а в протолочной пробе, отобранной из полотна канавы, получено золото класса +0,5...-1,0 мм. При этом сколковое опробование в этой части зоны не показало наличие золота (см. рис. 9). Данные факты также свидетельствуют о резком занижении содержания, обусловленных наличием в рудах относительно крупного (класса +0,3 мм) самородного золота и, как следствие, неравномерностью его распределения.

**Нимгерканский рудно-россыпной узел.** Строение Нимгерканского РРУ в целом аналогично строению Лебединского. Тектоническое строение площади, как и всего Центрального Алдана, характеризуется наличием двух структурных этажей: нижнего, представленного сложодислоцированными породами докембрийского кристаллического фундамента, и верхнего, сложенного осадочными отложениями платформенного чехла. Широко развиты разновозрастные разрывные нарушения различной ориентировки, которые определяют блоковую структуру района, а также контролируют размещение магматических образований, продуктов метасоматоза и проявлений полезных ископаемых. В пределах узла были обнаружены многочисленные проявления и пункты минерализации

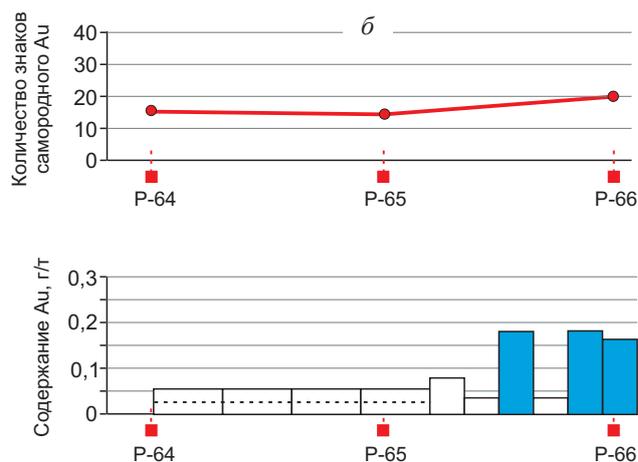
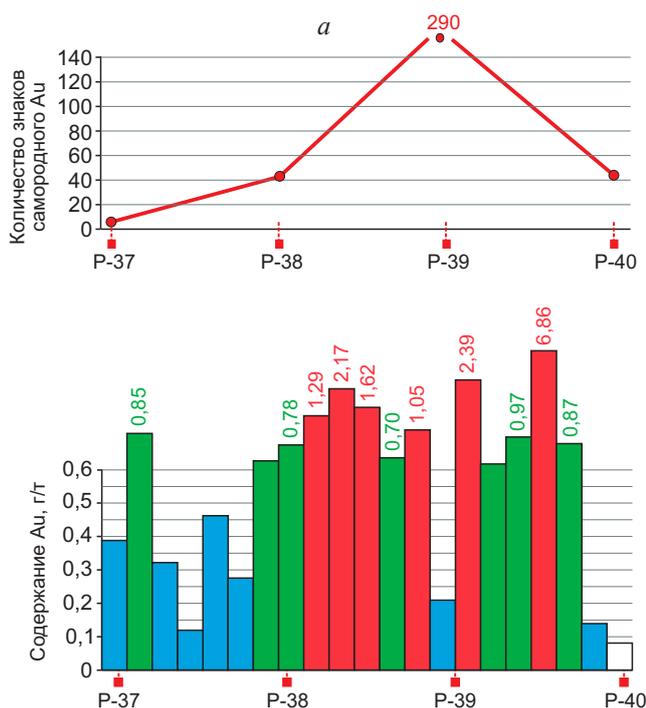


Рис. 8. ОРТО-САЛА-ВЕРХНЕКУРАНАХСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ. СОТНОШЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЮВИАЛЬНОГО ШЛИХОВОГО ЗОЛОТА ИЗ РАСЧИСТОК (зона разборного плотика) И СОДЕРЖАНИЙ ЗОЛОТА ПО ДАННЫМ ПРОБИРНОГО АНАЛИЗА В БК-100 (а) И БК-101 (б)

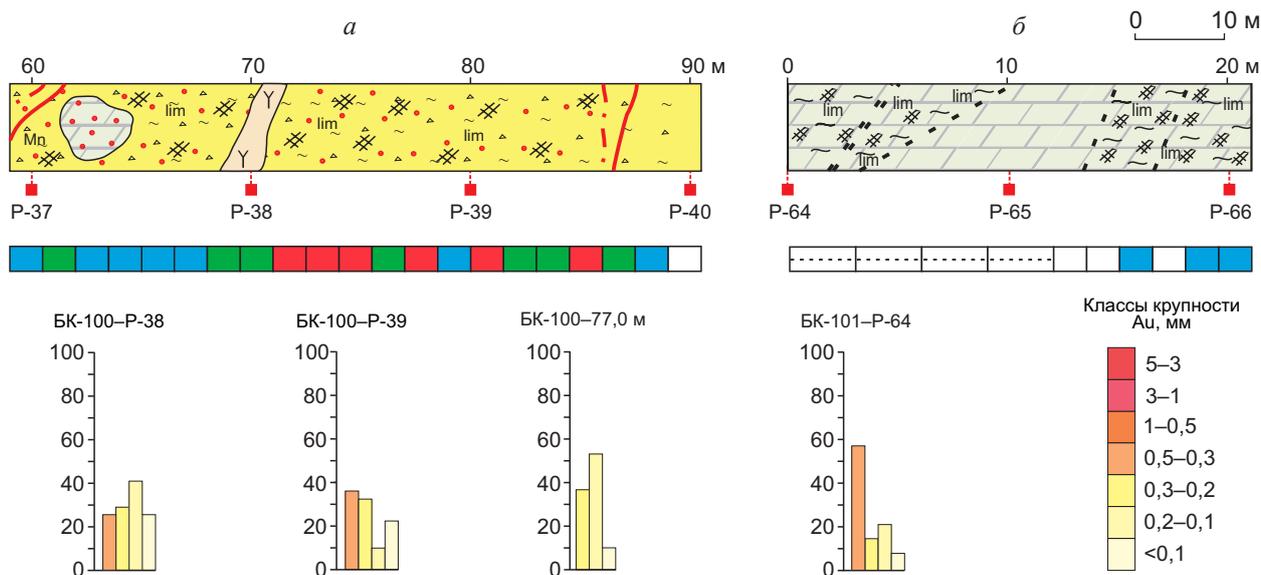
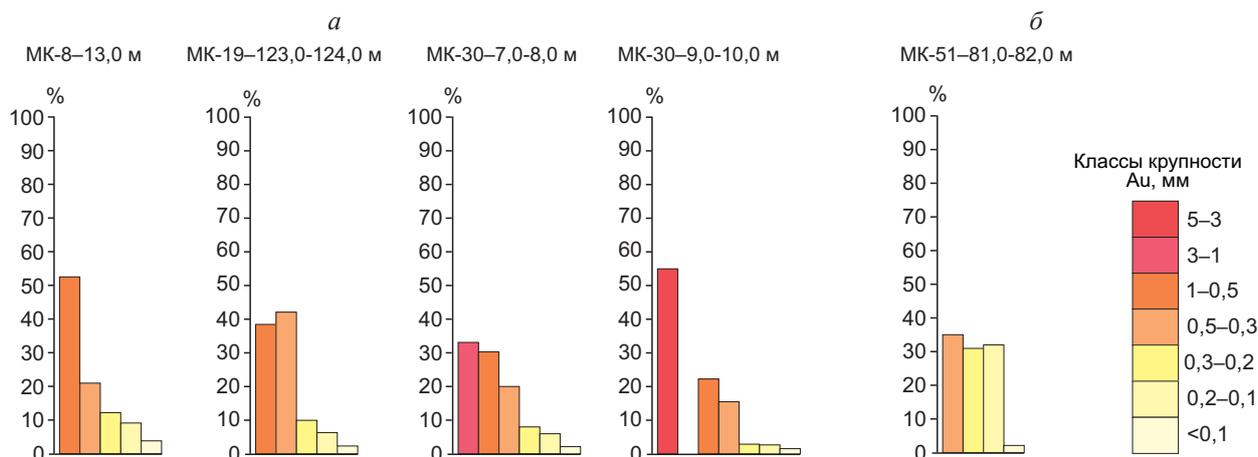


Рис. 9. ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА САМОРОДНОГО ЗОЛОТА, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ ПРОТОЛОЧНЫХ ПРОБ И ЭЛЮВИАЛЬНОГО ЗОЛОТА ИЗ ЗОНЫ РАЗБОРНОГО ПЛОТИКА В БК-100 (а) И БК-101 (б)

золотого и золото-серебряного оруденения различных типов: лебединского, рябинового и нимгерканского.

Особенностью Нимгерканского РРУ является широкое распространение на его площади кор выветривания, поэтому рудные тела различной морфологии в коренном залегании в большинстве

своём опробовались по ним. Элювиальные отложения по минерализованным зонам состоят из плохо отсортированных смесей щебня, дресвы, песка, глин и представляют собой разрыхлённую массу, вещественный состав которой обусловлен подстилающими материнскими породами. При этом здесь происходит более существенная концен-



**Рис. 10. ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА САМОРОДНОГО ЗОЛОТА, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ ПРОТОЛОЧНЫХ ПРОБ ПО РУДОПРЯВЛЕНИЯМ СЕЛИГДАРСКОГО (а) И ВЕРХНЕ-НИМГЕРКАНСКОГО (б) РУДНЫХ ПОЛЕЙ**

трация золота, чем на северо-западном фланге Томмот-Эльконской зоны, где в основном сохранился только структурный элювий.

Работы проводились на Селигдарском и Верхне-Нимгерканском потенциальных рудных полях. Отбор шлиховых и протолочных проб и их обработка осуществлялись по той же методике, что и на Лебединском РРУ. Однако из-за отсутствия на момент отбора проб аналитических данных опробование проводилось по интервалам, где минерализованные зоны выделялись визуально (сульфидизация, интенсивная лимонитизация, окварцевание и проч.).

В пределах *Селигдарского потенциального рудного поля* на ряде участков были вскрыты минерализованные зоны различной морфологии. Канавой МК-30 на интервале 7,0–13,0 м вскрыта субгоризонтальная оруденелая зона дробления на контакте доломитов и сиенит-порфиров селигдарского комплекса, представленная залежью интенсивно окисленных кварц-анкерит-сульфидных руд лебединского типа. Содержания Au по данным штучного опробования составляют 5–9 г/т. Канавой МК-8 вскрыты пять минерализованных зон, приуроченных к мощной дайке ортофиоров (по другим данным – кварц-полевошпатовых метасоматитов протерозойского возраста) и её контактам. Минерализация представлена прожилково-вкрапленным типом. Канавой МК-19 вскрыты минерализованные зоны, приуроченные к субвертикальной зоне дробления в пределах штока шонкинитов и контакта шонкинитов и дайки сиенит-порфиров. На интерва-

ле 100,0–106,0 м шонкиниты интенсивно передроблены, лимонитизированы, окварцованы (вплоть до появления обломочного материала с фрагментами кварцевых прожилков). По некоторым обломкам отмечаются кубические реплики пирита. В шлихо-минералогической пробе, отобранной из структурного элювия по зоне дробления на контакте шонкинитов на отметке 102,0 м, получено самородное золото в количестве 110 знаков максимальным размером 0,55 мм. На интервале 101,0–102,0 м отобра на протолочная проба, в которой найдено 43 знака максимальным размером 0,6 мм. На интервале 123,0–124,5 м вскрыт контакт шонкинитов и дайки сиенит-порфиров. В зоне контакта шонкиниты интенсивно передроблены, лимонитизированы, окварцованы. Дайка сиенит-порфиров также интенсивно издроблена, лимонитизирована. Повсеместно наблюдаются чёрные плёнки вторичных минералов марганца. В шлихоминералогической пробе из структурного элювия по зоне дробления на контакте шонкинитов и дайки сиенит-порфиров с отметки 124,0 м выявлено самородное золото (13 знаков максимальным размером 0,35 мм). На интервале 123,0–124,0 м отобра на протолочная проба, в которой было 39 знаков максимальным размером 0,6 мм (рис. 10).

Весьма характерным примером неравномерного распределения золота в бороздовых пробах служит проба (канавка МК-13), отобранная из минерализованной зоны дробления по сиенит-порфирам с отметки 73,0–74,0 м. В стандартной пробе-протолочке массой 10–12 кг после дробления и от-

мывки получено только два знака самородного золота, при этом максимальный размер наиболее крупной золотины 0,45 мм.

На *Верхне-Нимгерканском потенциальном рудном поле* опробование проводилось на участке Гранитный (см. рис. 1), где канавой МК-51 на интервале 63,0–83,0 м вскрыта крутопадающая минерализованная зона трещиноватости и дробления (мощностью ~20 м) в интрузии метасоматически изменённых гранитов протерозоя с пирит-кварцевой прожилково-линзовой минерализацией (кварц-ортоклазитовые метасоматиты). Данный тип оруденения – золото-пирит-кварцевый, иногда серебросодержащий – впервые выделен как самостоятельный «нимгерканский» тип в начале 70-х годов прошлого столетия (А.Н.Угрюмов, 1974 г.) одновременно с Верхне-Нимгерканским потенциально золотоносным рудным полем.

По данным бороздowego опробования содержание Au составляет 0,16–10,6 г/т, среднее 1,18 г/т на 24,0 м мощности. В шлихоминералогических пробах, отобранных из структурного элювия по зоне дробления, развитой по метасоматически изменённым гранитам с пирит-кварцевой прожилково-линзовой минерализацией, с отметок 64,0, 67,0, 76,5, 81,0 м получено самородное золото в количестве 10–36 знаков максимальным размером до 0,55–0,6 мм. На интервалах 67,0–68,0 и 81,0–82,0 м взяты протолочные пробы, в которых получены 14 и 28 знаков соответственно максимальным размером 0,3–0,35 мм (см. рис. 10).

На гистограммах гранулометрического состава золота из протолочных проб, отобранных в пределах Селигдарского и Верхне-Нимгерканского рудных полей, видно, что существенное количество золота (от 35 до 82%) приходится на класс +0,3 мм. При этом иногда значимое количество металла (до 55%) относится к классу -1,0...+0,5 мм, а некоторые протолочные пробы содержат единичные знаки Au класса +3,0 мм. Данный факт однозначно свидетельствует о неравномерном распределении самородного золота в коренных источниках различных морфологических типов в пределах изученных рудных полей, что может значительно влиять на результаты анализа «эффекта самородка».

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Промышленное оруденение района связано исключительно с интенсивным развитием мезозойских интрузивов и представлено рудопроявлениями

и месторождениями золота различных морфологических типов – залежи, субвертикальные зоны дробления, золотосодержащие дайки. Некоторые рудопроявления и месторождения этих типов содержат в рудах относительно крупное (класса +0,3 мм) самородное золото, что приводит к неравномерному его распределению и влияет на достоверность опробования руд традиционными методами. Сходство геологических обстановок в ряде рудных районов Центрально-Алданской металлогенической зоны позволяет с большой долей уверенности рассчитывать на обнаружение месторождений с неравномерным распределением золота тех типов, которые представлены в Центрально-Алданском районе.

2. Гистограммы гранулометрического состава самородного золота, полученного из протолочных проб, однозначно показывают наличие значимых количеств металла крупных классов. На золото класса +0,5 мм иногда приходится 30–90%.

3. Сопоставимый выход самородного золота класса +0,5 мм получен из шлиховых проб, отобранных из разборного плотика (элювия). Выход золота класса +0,3 мм составляет 40–65%. То есть гранулометрический состав элювиального шлихового золота из зоны разборного плотика также даёт достаточно надёжные результаты для определения значимых содержаний класса +0,3 мм.

4. Использование экспрессного шлихоминералогического метода опробования элювия над минерализованными зонами позволяет на ранних стадиях достаточно надёжно оценить соотношение различных классов золота в изучаемых золоторудных объектах и при наличии крупного неравномерно распределённого золота рекомендовать предварительную обработку проб с выделением из них крупного металла, которая снизит влияние неравномерности его распределения.

5. При наличии крупного золота необходимо опробовать борозду сечением 10×5 см, так как в проекте «Рекомендации к управлению и контролю...» [11] указано, что при равномерном оруденении сечение борозды должно быть (5×3)–(10×5), а для золота с неравномерным распределением – не менее 10×5. Там же отмечается, что масса пробы должна быть ~20 кг, т. е. при длине борозды 1 м для набора такой массы сечение должно быть более 10×5 см. Эти «Рекомендации...» протоколом № 6 МПР от 10.02.2015 г. рекомендованы к практическому использованию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышев Н.В. Точность анализа проб, используемых для подсчета запасов: Материалы по методам разведки и подсчету запасов. – М.: Госгеоллиздат, 1948.
2. Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н., Дорожкина Л.А. Золоторудные и золото-урановые месторождения Центрального Алдана // Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Стратегические виды рудного сырья. М.: 2006. Т. 2. С. 215–240.
3. Ветлужских В.Г., Казанский В.И., Кочетков А.Я., Яновский В.М. Золоторудные месторождения Центрального Алдана // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44. № 6. С. 467–499.
4. Домарев В.С. Опыт сравнения результатов ковшевой промывки проб рудного золота с данными химических анализов // Золотодобыча. 2012. № 161. С. 45–48.
5. Захваткин В.А., Савосин М.Н., Саклаков В.А. Временное методическое руководство по обработке геологических проб золоторудных месторождений с предварительным извлечением металла. – М.: ЦНИГРИ, 1975.
6. Кавчик Б.К. Схема обработки проб с предварительным извлечением крупного золота // Золотодобыча. 2013. № 177. С. 27–30.
7. Литвиненко И.С., Цымбалюк Н.В. О достоверности оценки крупнообъемных кварцево-сульфидных месторождений золота в углеродисто-терригенных толщах на Северо-Востоке России // Руды и металлы. 2005. № 2. С. 57–63.
8. Оценка достоверности опробования руд на крупнообъемных золоторудных месторождениях в терригенных толщах на примере Дегдеканского месторождения / Л.А.Остапенко, С.Ф.Стружков, О.Б.Рыжов и др. // Руды и металлы. 2004. № 2. С. 42–55.
9. Петров В.Г. Крупнообъемное опробование при геохимических исследованиях на золото. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1982.
10. Петровская Н.В. Самородное золото. – М.: Наука, 1973.
11. Рекомендации к управлению и контролю качеством рядового опробования месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). Проект. – М.: ГКЗ, 2013.
12. Романчук А.И., Жарков В.В., Богомолов В.А. Оценка методов определения Au в рудах с крупным золотом // Руды и металлы. 2013. № 4. С. 61–68.
13. Столяренко В.В. Минералого-геохимические критерии прогноза, поисков и оценки иридино-платиновых россыпей (на примере месторождения Кондер): Автореф. дисс... канд. геол.-минер. наук. – М., 1993.
14. Столяренко В.В. Учет гранулометрии самородной платины одного из россыпных месторождений Востока СССР при выборе методики разведки // Ускоренная геолого-экономическая оценка месторождений благородных металлов. М., 1987. С. 112–118. (Тр. ЦНИГРИ, вып. 221).
15. Типоморфизм самородного золота / Л.А.Николаева, А.М.Гаврилов, А.Н.Некрасова и др. – М.: ЦНИГРИ, 2010.
16. Требования к обоснованию достоверности опробования рудных месторождений (Утверждены Председателем ГКЗ В.М.Толкачевым 23.12.1992) // Сборник нормативно-методических документов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых. М.: ГКЗ РФ, 1992.

## HEAVY CONCENTRATE ANALYSIS APPLICATION AT EARLY EXPLORATION STAGES FOR THE EXPRESS ESTIMATION OF COARSE GOLD PRESENCE (ON THE EXAMPLE OF CENTRAL ALDAN AREA)

V.V.Stolyarenko<sup>1</sup>, A.V.Minakov<sup>2</sup>, E.E.Chernov<sup>3</sup>, L.A.Ostapenko<sup>3</sup>, A.N.Minin<sup>3</sup>, A.G.Ryaboshapko<sup>1</sup> (<sup>1</sup> Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow; <sup>2</sup> Aldanskoye OP, Aldan; <sup>3</sup> All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M.Fedorovsky, Moscow)

*The problem of express estimation of coarse gold presence, affecting the accuracy of traditional ore sampling discussed on the example of Tommot-Elkon metalliferous fault zone (Central Aldan area). Gold deposits and occurrences of various morphology – lodes, mineralized fault zones, metalliferous dykes are typical for this area. Presence of coarse gold in heavy concentrates from bedrocks and eluvium samples is shown. That permit the application of heavy concentrate analysis at early exploration stages for the accurate assessment of proportion of different classes of native gold in the studying gold-ore objects.*

*Keywords: native gold granulometric composition, mineral concentrate study method, sampling reliability.*



## О МАГНЕТИТЕ КАК МИНЕРАЛЕ- ИНДИКАТОРЕ КИМБЕРЛИТОВ

*С помощью современных физико-минералогических методов изучены состав и физические свойства магнетита из кимберлитовой трубки Бабые Лето Западно-Укукитского поля Якутской алмазоносной провинции, по внешней морфологии зёрен очень сходного с пикроильменитом. Выяснено, что минерал содержит в различных соотношениях изоморфные примеси и по составу отвечает титаномагнетиту. Высказано предположение о первичном (протомагматическом) генезисе титаномагнетита. Показано, что при определённых условиях титаномагнетит (магнетит) может рассматриваться в качестве минерала-индикатора кимберлитов и родственных им пород.*

*Ключевые слова: титаномагнетит, минералы-индикаторы кимберлита, микрозонд, термомагнитный анализ, кимберлиты.*

Среди кимберлитовых минералов магнетит не является редкостью и распространён повсеместно в кимберлитах Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) [10, 15]. В основном он находится в виде мелких выделений (сотые доли миллиметра), тонко распылённых в массе породы [9]. Отмечаются и более крупные скопления магнетита неправильной формы размером до нескольких миллиметров [12, 13]. Так, в трубках Верхне-Мунского поля встречаются целые прожилки магнетита мощностью до 1 см, а в трубке Зарница Далдынского поля – крупные одиночные кристаллы или целые друзы из кристаллов октаэдрического габитуса размером до 3–5 см. Все эти выделения магнетита гидротермального генезиса и практически не содержат примесей Cr, Ti, Ni при минимальной примеси Mg [8, 10, 15].

Магнетит в кимберлитах, как правило, вторичного происхождения [6, 10]. Специальные исследования показали, что он образуется при относительно низких термобарических параметрах среды в постмагматическую стадию изменения пород [9]. Нередко магнетит (титаномагнетит) развивается по пикроильмениту в виде каём по периферии зёрен. Данное замещение имеет реакционный генезис [1, 7]. Не исключается и ксеногенная природа магнетита, причём в качестве источников предполагаются породы как корового субстрата, так и более глубокие эклогитового парагенезиса [6].

Следует подчеркнуть, что среди кимберлитовых тел нередко встречаются трубки с довольно высоким содержанием магнетита [2]. Особенно высокими его концентрациями отличаются трубки Бабые Лето, Галенитовая, Рока Западно-Укукитского кимберлитового поля ЯАП (несколько десятков килограмм на 1 т [21]). В трубке Бабые Лето в бороздовой пробе объёмом 20 л содержится до 10–12 тыс. зёрен минерала. Отличительная особенность магнетита из вышеназванных тел – то, что он представлен крупными изометрическими выделениями размером до 1 см, внешне

### **Хмельков Александр Михайлович**

кандидат геолого-минералогических наук<sup>1</sup>  
ветеран АК «АЛРОСА» (ПАО)  
st\_56@mail.ru

### **Константинов Константин Михайлович**

доктор геолого-минералогических наук<sup>2</sup>  
заведующий лабораторией<sup>3</sup>  
KonstantinovKM@alrosa.ru

### **Власова Эльвира Александровна**

геолог II категории<sup>1</sup>  
KulaninaEA@alrosa.ru

### **Антонова Татьяна Анатольевна**

научный сотрудник<sup>2</sup>  
AntonovaTA@alrosa.ru

<sup>1</sup> Вилуйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО),  
пос. Айхал

<sup>2</sup> Научно-исследовательское  
геологическое предприятие  
АК «АЛРОСА» (ПАО),  
г. Мирный

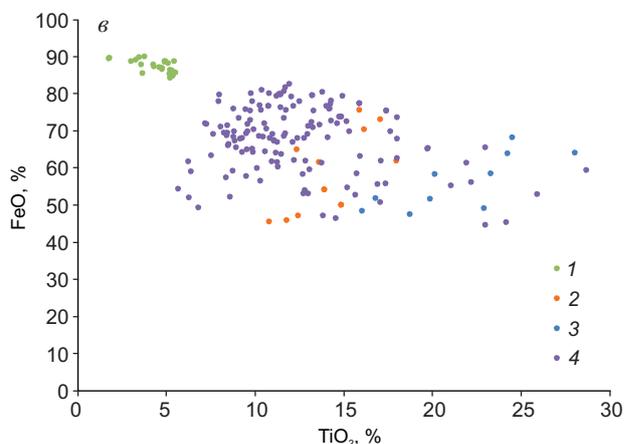
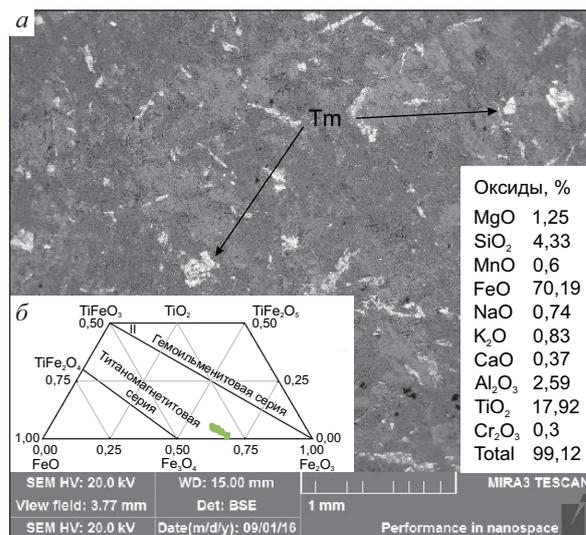
<sup>3</sup> ФГБУН Институт земной коры СО РАН,  
г. Иркутск



**Рис. 1. МАГНЕТИТ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ БАБЬЕ ЛЕТО (класс -8+4 мм)**

очень сходными с пикроильменитом (рис. 1). Значительная часть зёрен имеет первичную преимущественно матированную поверхность, аналогичную микрорельефу, развивающемуся на зёрнах пикроильменита. Примечательно, что в полевых условиях магнетит от пикроильменита часто можно отличить лишь по магнитным свойствам (по вращению стрелки компаса). В отдельных телах (трубка Галенитовая) магнетит – преобладающая минеральная фаза в тяжёлой фракции шлихов, помимо которого установлены лишь единичные зёрна пикроильменита.

Внешняя морфология и топография поверхности зёрен изучались с помощью оптической системы для визуализации и качественной обработки изображений макро- и микроморфологии минералов, включая фотографирование зёрен. Названная система состоит из бинокля Leica MZ16A (Германия), укомплектованного моторизованным штативом, видеокамеры Leica DFC-490 (8 Мп) и рабочей станции с программным комплексом («ImageScore M», «ImageScore Archive», «Leica Application Suite»). Химический состав магнетитов из трубки Бабье Лето исследован электронным микронзондом. Большинство анализов выполнено в ИГАБМ СО РАН г. Якутска, несколько зёрен проанализированы в ОЛО ГРР (ЦАЛ) НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) г. Мирного. Кроме того, в ЦАЛ на современной электронно-зондовой системе «Superprobe JXA-8800R» фирмы «JEOL» (Япония), объединяющей возможности растрового электронного микроскопа высокого разрешения, анализатора изображений и высокочувств-



**Рис. 2. СРАВНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТИТАНОМАГНЕТИТОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ БАБЬЕ ЛЕТО С БАЗИТАМИ ЯАП [11, 12, 23]:**

а – электронно-микроскопические изображения наноструктур и химический состав титаномagnetитов из долеритов Широного разлома; б – диаграмма Акимото [22]; в – титаномagnetиты (1 – трубка Бабье Лето, 2 и 3 – дайки Вилуйско-Мархинского пояса соответственно Широного и Ботуобинского разломов, 4 – силлы долеритов катангского и кузьмовского интрузивных комплексов, перекрывающих трубку Комсомольская)

вительного микроанализатора, более детально исследована внутренняя часть одного из зёрен магнетита (строение, фазовый и химический составы). По результатам электронно-зондового анализа пересчитан минеральный состав магнетитов. Расчёт сделан с учётом возможного совместного существования ульвошпинелевой и ильменитовой фаз.

Полученные данные сопоставлялись с результатами исследования химического состава титаномагнетитов из разновозрастных базитов ЯАП (рис. 2, а) на автоэмиссионном электронном микроскопе высокого разрешения серии TESCAN MIRA 3 LMU (TESCAN, Чехия) [19]. Для электронной микроскопии поверхность образцов напылялась тонким углеродным слоем толщиной 5–15 нм. Условия проведения анализа: ускоряющее напряжение 10–20 кВ, ток зонда 3300 пА, программное обеспечение Aztec 3.0. Дополнительно применялся детектор BSE (отражённые электроны) в режиме ГЛУБИНА (DEPTH) в целях получения изображений высокого разрешения рельефных образцов.

Термомагнитный анализ основан на эффекте изменения ферромагнитных свойств минералов в результате теплового движения атомов кристаллической решетки. Он позволяет определять точки Кюри ферромагнетиков по графикам зависимости индуцированной намагниченности от температуры:  $J_i = f(T)$ . Исследования проведены в лаборатории петрофизических методов НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) г. Мирного на анализаторе магнитной фракции (производство магнитной обсерватории ИФЗ РАН, пос. Борок, РФ) по нескольким зёрнам магнетита. Процедура изучения температурной зависимости индуцированной намагниченности  $J_i$  предусматривает двойной или тройной цикл нагрева от комнатной температуры до 730°C. Точки Кюри определялись по максимумам на дифференциальных кривых второй производной  $d^2J_i/dt^2$  [4]. Отметим, что термомагнитному анализу подвергались именно те зёрна, которые были исследованы на микрозонде в ЦАЛ, в том числе и внутреннее строение одного из них.

В кимберлитовых телах Западно-Укукитского поля магнетит представлен всеми гранулометрическими классами, от -8+4 до -0,5 мм. В трубке Бабье Лето преобладают зёрна класса -8+4 мм (>50%) при подчинённом количестве зёрен класса -4+0,3 мм (см. рис. 1). Форма зёрен угловатая и угловато-округлая. Большинство магнетитов колотые с плоскораковистым изломом. Часть сколов являются первичными с тонкоматированным рельефом. На некоторых зёрнах наблюдается иризация в виде розовато-синего отлива на свежих сколах. На значительной части зёрен, как правило, менее колотых, прослеживаются первичные поверхности. В основном это матированная поверхность, от тонко- до грубоматированной, которая хорошо

проявлена на отдельных зёрнах. Реже отмечаются мелкошероховатая и бугорчатая поверхности.

Химический состав магнетитов из трубки Бабье Лето приведён в табл. 1. Для них характерна устойчивая примесь магния, хрома и титана. Содержание MgO от 1,33 до 2,11%, составляя в среднем 1,67%, что сопоставимо с количеством магния в обычных кимберлитовых магнетитах низкотемпературного гидротермального генезиса [10, 15]. В то же время несколько повышено по сравнению с гидротермальным магнетитом содержание TiO<sub>2</sub> (в среднем 4,39%), понижено – MnO (в среднем 0,19%) и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в среднем 0,04%). Кроме того, в отдельных магнетитах повышено содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – до 2,61%. Это значение считается высоким даже для кимберлитовых пикроильменитов. Таким образом, по составу данный минерал более соответствует титаномагнетиту.

Пересчёт минерального состава показал, что преобладающим компонентом является магнетитовый (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), содержание которого варьирует в отдельных зёрнах от 73,8 до 86,5% (в среднем 77,4%). Помимо этого, отмечается относительно высокое содержание ульвошпинелевого (Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>) и магнезиоферритового (MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) миналов (в среднем 12,4 и 8,5% соответственно). В виде незначительной примеси присутствуют (%) магнезиохромит (MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> до 3,86), яacobсит (MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> до 0,99), в отдельных зёрнах вюстит (FeO до 1,76), шпинель (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> до 0,39). При этом полностью отсутствуют ильменитовая и гематитовая составляющие. Шпинелевый минал зафиксирован только в зёрнах с примесью глинозёма (см. табл. 1).

Одно зерно магнетита из трубки Бабье Лето более детально исследовано на микрозонде от края к краю через центр зерна (табл. 2). В частности, изучено его внутреннее строение и выполнено шесть определений состава по диаметру зерна (через 150 мк). При просмотре изображения зерна в отражённых электронах в режиме фазового контраста выяснено, что оно гомогенное, имеет однородное строение, иные минеральные фазы или структуры распада твёрдого раствора в нём отсутствуют. По составу зерно практически ничем не отличается от других зёрен, анализы которых приведены в табл. 1, особенно от анализов 21–27. Особенностью данного зерна является лишь наличие минимальной примеси хрома. Изученное зерно отличается постоянством состава. Едва заметно выражена зональность по содержанию Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> и

## 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МАГНЕТИТОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ БАБЬЕ ЛЕТО

№№ п/п	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>общ.</sub>	Total
1	0,15	0,64	1,67	0,10	0,02	5,34	33,23	58,22	85,62	93,54
2	0,13	0,54	1,69	0,09	0,07	5,19	33,08	58,63	85,84	93,54
3	0,16	0,96	1,61	0,02	0,00	5,17	32,69	57,59	84,51	92,44
4	0,15	0,42	1,65	0,00	0,03	5,13	32,73	58,63	85,49	92,87
5	0,29	0,02	1,46	0,00	0,00	1,74	30,09	66,34	89,79	93,30
6	0,20	0,01	1,35	0,00	0,00	2,96	31,45	63,87	88,92	93,44
7	0,18	0,02	1,59	0,03	0,06	4,56	32,66	60,79	87,36	93,80
8	0,17	0,07	1,66	0,02	0,00	5,15	33,03	59,60	86,66	93,74
9	0,19	0,02	1,33	0,05	0,00	4,26	32,66	61,00	87,55	93,40
10	0,16	0,12	1,57	0,10	0,00	4,70	32,91	60,27	87,15	93,79
11	0,16	0,02	1,55	0,00	0,00	4,21	32,43	61,74	87,99	93,94
12	0,15	0,27	1,73	0,04	0,05	5,34	33,01	58,64	85,78	93,36
13	0,21	0,07	1,49	0,03	0,00	3,54	31,76	62,62	88,10	93,44
14	0,15	0,91	1,68	0,07	0,05	5,30	33,04	57,83	85,07	93,24
15	0,17	0,06	1,60	0,00	0,00	4,70	32,58	60,26	86,81	93,35
16	0,31	2,61	1,90	0,00	0,00	3,59	31,21	60,49	85,64	94,04
17	0,17	0,23	1,41	0,00	0,00	3,23	31,91	63,76	89,28	94,32
18	0,19	0,01	1,59	0,02	0,00	5,27	33,16	59,24	86,47	93,56
19	0,28	0,02	1,36	0,00	0,00	1,69	30,13	66,21	89,71	93,07
20	0,16	0,68	1,64	0,02	0,12	5,45	33,41	58,32	85,89	93,96
21	0,24	0,00	2,11	н. о.	0,11	4,85	32,84	62,33	88,92	96,22
22	0,20	0,00	2,00	н. о.	0,07	4,85	32,90	62,01	88,70	95,82
23	0,19	0,04	1,92	н. о.	0,08	4,89	33,14	61,99	88,92	96,04
24	0,18	0,05	1,86	н. о.	0,08	3,41	31,85	64,76	90,13	95,71
25	0,16	0,15	1,49	н. о.	0,18	5,37	34,34	60,67	88,93	96,27
26	0,17	0,00	2,10	н. о.	0,07	5,05	32,96	61,67	88,45	95,83
27	0,19	0,03	1,96	н. о.	0,07	3,70	32,12	64,64	90,28	96,22
Мин.	0,13	0,00	1,33	0,00	0,00	1,69	30,09	57,59	84,51	
Макс.	0,31	2,61	2,11	0,10	0,18	5,45	34,34	66,34	90,28	
Ср.	0,19	0,29	1,67	0,03	0,04	4,39	32,49	61,19	87,55	

Примечание. Анализы 1–20 выполнены в ИГАБМ СО РАН, аналитик С.К.Попова; 21–27 – в ЦАЛ, аналитик А.С.Иванов (заокисное и окисное железо расчётные).

## 2. СОСТАВЫ МАГНЕТИТА В ТОЧКАХ ПО ДИАМЕТРУ ЗЕРНА

№№ п/п	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO <sub>общ.</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total	Примечание
1	0,06	3,86	1,97	0,06	0,10	0,08	0,22	90,81	32,36	64,95	97,16	Край
2	0,01	3,74	1,96	0,06	0,08	0,06	0,20	89,68	32,05	64,05	95,79	Край
3	0,00	3,65	1,87	0,06	0,09	0,03	0,20	90,41	32,32	64,55	96,31	Центр
4	0,00	3,77	2,03	0,04	0,08	0,06	0,22	90,34	32,25	64,56	96,53	Центр
5	0,00	3,80	2,01	0,09	0,08	0,05	0,20	90,38	32,34	64,50	96,62	Центр
6	0,00	3,78	1,81	0,02	0,11	0,07	0,18	90,12	32,52	64,01	96,08	Край

MgO: в центральной части зерна этих примесей меньше, но незначительно.

На диаграмме Акимото FeO–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TiO<sub>2</sub> [22] фигуративные точки составов титаномагнетитов из кимберлитовой трубки Бабье Лето занимают про-

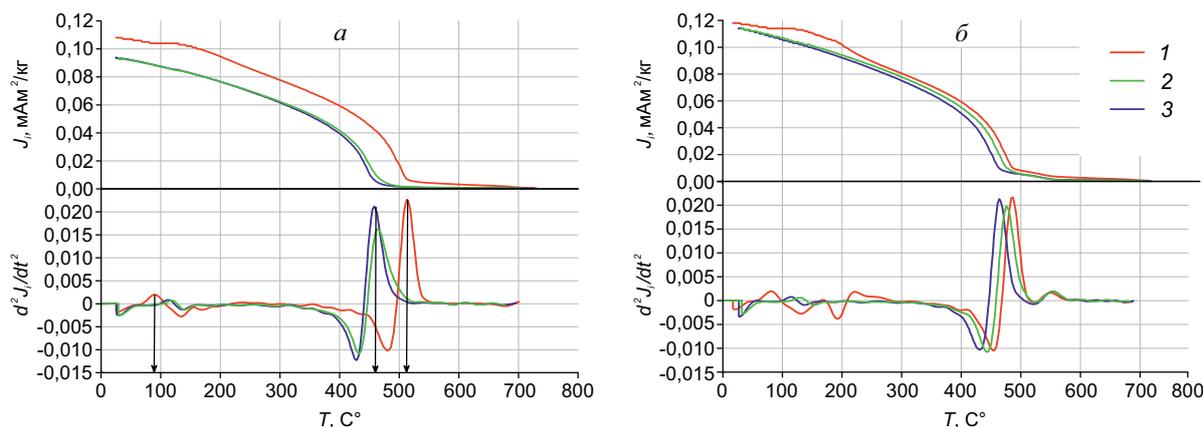
межуточное положение между титаномагнетитовой и гематитовой сериями твёрдых растворов (см. рис. 2, б). В них по сравнению с титаномагнетитами из разновозрастных базитов ЯАП более низкое содержание титана (TiO<sub>2</sub> <7%) и по-

вышенное суммарного железа ( $\text{FeO} > 85\%$ ) [11, 16, 23] (см. рис. 2, в).

Несколько зёрен магнетита из трубки Бабые Лето (см. табл. 1, анализы 21–27) были подвергнуты термомагнитному анализу. Наиболее характерные термомагнитные кривые представлены на рис. 3. Температура Кюри магнетитов колеблется в пределах  $480\text{--}520^\circ\text{C}$ . Данная температура существенно отличается от температуры Кюри чистого стехиометрического магнетита ( $578^\circ\text{C}$ ) [5, 14]. В то же время температура Кюри магнетитов из трубки Бабые Лето отличается от таковой и для обычного (вторичного) кимберлитового магнетита ( $560\text{--}570^\circ\text{C}$ ), приближаясь к температуре трапповых титаномагнетитов ( $500\text{--}520^\circ\text{C}$ ) [11, 17]. Известно, что точка Кюри, как и размеры элементарной ячейки, зависит от состава твёрдого раствора [18]. Смещение точки Кюри в область более низких температур, по-видимому, объясняется наличием ульвошпинелевой фазы в составе минерала. Кроме того, на термомагнитной кривой первого нагрева выделяются дополнительные характеристические участки в области  $80\text{--}220$  (см. рис. 3, а, б) и  $480\text{--}520^\circ\text{C}$  (см. рис. 3, б). Дополнительные участки могут служить отличительным признаком кимберлитовых титаномагнетитов от трапповых, и их появление обусловлено присутствием различных изоморфных примесей в кристаллической структуре минерала [10], в первую очередь хрома. Незначительная амплитуда этих участков может свидетельствовать о невысоком содержании изоморфных примесей, что подтверждается данными микрозондового анализа. При более значительном их содержании дополнительные характеристические участки лучше выражены. На относительное «загрязнение» магнетита также указывает не резкий, а расплывчатый спад намагниченности в области температуры Кюри. На рис. 3 видно, что термомагнитная кривая, приближаясь к температурной оси в области температуры Кюри, не касается её, а на каком-то отрезке располагается как бы параллельно на небольшом расстоянии (обычно до  $700^\circ\text{C}$ ). Эта особенность титаномагнетитов говорит о том, что они не являются абсолютными ферримагнетиками и в их структуре присутствует парамагнитная составляющая [4]. Наличие «парамагнитного фона» часто наблюдается и у трапповых титаномагнетитов и может быть отличительной особенностью титаномагнетитов от относительно чистого магнетита, в том числе кимберлитового (вторичного).

Таким образом, мнение о том, что кимберлитовый магнетит отличается от траппового титаномагнетита по точкам Кюри [17], справедливо лишь в отношении вторичного (гидротермального) магнетита без существенных изоморфных примесей в его структуре. Как показано выше, в кимберлитах могут присутствовать выделения магнетита с различным содержанием изоморфных примесей, по составу отвечающих титаномагнетитам, точка Кюри которых будет такой же, как и у трапповых. Отличительной особенностью кимберлитового титаномагнетита от траппового в этом случае может служить наличие дополнительных характеристических участков на термомагнитных кривых (см. рис. 3). Однако, не следует забывать, что существенные примеси могут содержать и трапповые титаномагнетиты. К примеру, в пикритовых габбродолеритах из дифференцированных интрузий Норильского рудного района титаномагнетиты содержат до  $4\% \text{Cr}_2\text{O}_3$  [20]. Отличить такие титаномагнетиты от кимберлитовых по физическим свойствам, по-видимому, практически невозможно. В этом случае отличительными особенностями титаномагнетитов из кимберлитов могут служить их морфологические особенности, в первую очередь размер зёрен, а также наличие первичных поверхностей. Для траппов не характерны крупные выделения данного минерала, тем более наличие магматогенных поверхностей.

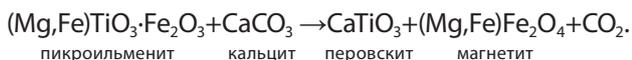
Следует подчеркнуть, что содержание своеобразных крупных выделений магнетита в столь высоких концентрациях в кимберлитах, по составу и физическим свойствам отвечающим титаномагнетиту, – явление не совсем обычное. Наличие первичных поверхностей свидетельствует о глубинном (магматическом) происхождении. Большое сходство крупных выделений титаномагнетитов по внешней морфологии зёрен с пикроильменитом создаёт впечатление о их образовании за счёт последнего. Нами не раз наблюдались в составе реакционных каём новообразованные фазы от магнетита до ферришпинелей сложного состава. Развитие магнетита и титаномагнетита по зёрнам пикроильменита отмечалось и другими исследователями [1, 5, 7, 8, 15]. В общем развитие реакционных каём по периферии зёрен пикроильменита – явление достаточно распространённое и осуществляется в позднемагматическую стадию в связи с неустойчивостью минерала в кимберлитовом расплаве. По оценкам некоторых исследователей [1,



**Рис. 3. ТИПИЧНЫЕ ТЕРМОМАГНИТОГРАММЫ ИНДУЦИРОВАННОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ( $J$ ) И ГРАФИКИ ВТОРОЙ ПРОИЗВОДНОЙ ( $d^2J/dt^2$ ) ТИТАНОМАГНЕТИТОВ ИЗ ТРУБКИ БАБЬЕ ЛЕТО:**

1, 2, 3 – этапы нагрева

21], для образования магнетита по пикроильмениту, прежде всего, необходимы высокий потенциал кальция и температура  $>900^\circ\text{C}$ . Реакция происходит по следующей схеме:



Примечательно, что в новообразованном магнетите (титаномагнетите) содержание оксида хрома, как правило, существенно выше, чем в пикроильмените. Можно, конечно, допустить, что при достаточной интенсивности процесса замещения в определённых условиях пикроильменит полностью замещается вторичными продуктами, в том числе и титаномагнетитом. Нечто подобное наблюдалось на пикроильменитах из трубки Хоркич (Эвенкия), когда неизменённый пикроильменит присутствовал лишь в центральной части зерна или в виде небольших участков по всей площади. Такое интенсивное замещение, пожалуй, возможно лишь при длительном становлении кимберлитовых тел и постепенном снижении  $P$ - $T$  параметров. Но длительное нахождение минерала в условиях высоких температур привело бы к распаду твёрдого раствора в его структуре. Как уже отмечалось (см. табл. 2), титаномагнетиты имеют однородное строение и других минеральных фаз в его структуре не зафиксировано. Не исключено, что титаномагнетит в данном конкретном случае имеет первичное протоматическое происхождение, и его кристаллизация из кимберлитового расплава происходила в условиях повышенного окисли-

тельного потенциала среды минералообразования и высокой фугитивности кислорода. При достаточно высоких значениях данных параметров и возрастании роли  $\text{Fe}^{3+}$  в системе магнетит может преобладать над пикроильменитом. Не исключено, что при дальнейшем повышении данных параметров может остаться лишь одна окисная фаза – магнетит, при полном отсутствии пикроильменита. Учитывая, что первичный гипогенный магнетит возникает при температуре  $>1200^\circ\text{C}$  [9], образование титаномагнетита в этом случае также должно происходить при достаточно высоких температурах.

Любая из рассмотренных схем образования титаномагнетита крайне неблагоприятна для сохранности алмазов, поскольку именно при таких условиях в наибольшей степени проявляются процессы окисления алмазов (растворение или полное сгорание). Поэтому повышенное содержание в кимберлитах магнетита (титаномагнетита) магматического генезиса (протоматического или реакционно-магматического) является отрицательным фактором алмазоносности.

Бесспорно, что для выяснения условий, места и времени образования магнетитов в кимберлитах, подобных титаномагнетиту из трубки Бабые Лето, необходимы специализированные, более глубокие исследования. Следует лишь отметить, что при некоторых условиях титаномагнетит может использоваться в качестве минерала-индикатора кимберлитов при поисках кимберлитовых или родственных тел. К примеру, в ореолах и потоках

рассеяния от кимберлитовых тел с незначительным содержанием традиционных глубинных минералов может фиксироваться только магнетит [21]. Кроме этого, обладая хорошей устойчивостью к химическому выветриванию, превышающей химическую устойчивость гранатов, магнетит должен хорошо сохраняться и в промежуточных коллекторах. Таким образом, появляется дополнительная потенциальная возможность использования данного минерала при поисках по древним ореолам рассеяния в качестве нетрадиционного минерала-индикатора кимберлитов. Отличительные особенности первичного (магматического) магнетита (титаномагнетита) кимберлитового генезиса – его повышенная гранулометрия и наличие первичных поверхностей на слабо изношенных зёрнах. Для первичных магнетитов нередко характерны изоморфные примеси, которые по результатам более экспрессного и дешёвого термомагнитного анализа будут наблюдаться в виде дополнительных характеристических участков на термомагнетограммах  $J_i$ . Учитывая наличие первичных поверхностей, к магнетиту вполне применима такая же шкала сохранности, как и для обычных минералов-индикаторов кимберлитов. Обладая почти одинаковой твёрдостью с пикроильменитом, он будет подвергаться примерно тем же механогенным изменениям в процессе формирования ореолов, а распределение титаномагнетита относительно коренного источника будет подчиняться тому же экспоненциальному закону [3].

При поисковых работах в пределах Западно-Укукитского кимберлитового поля магнетит довольно часто использовался в качестве минерала-индикатора кимберлитов, путём прослеживания которого осуществлялся выход на отдельные тела. Как правило, это трубки с бедным содержанием традиционных глубинных минералов (трубки Рока, Галенитовая, Аномалия 205/78 и др.). На склонах ниже данных тел, кроме магнетита, другие кимберлитовые минералы в ореолах шлихами не фиксировались и только при выходе в место расположения кимберлитового тела, непосредственно в элювии над трубкой, встречались единичные зёрна пикроильменита или хромшпинелида, иногда пиропы. В пределах Западно-Укукитского поля при заверке аэромагнитных аномалий по магнетиту оконтурено несколько ореолов кимберлитовой природы (аэромагнитные аномалии 73/65, 188/78, 119/78, 131/78, 154/78 и др.).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Амшинский А.Н.* Минералы-спутники алмазов из кимберлитов Далдыно-Алаakitского района: Автореф. дисс. канд... геол.-минер. наук. – Новосибирск, 1985.
2. *Атлас коренных месторождений алмаза Якутской кимберлитовой провинции / С.И.Костровицкий, З.В.Специус, Д.А.Яковлев и др.* – Мирный: Типография ООО «МГТ», 2015.
3. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.* Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – Новосибирск: Филиал «Гео»; Изд-во СО РАН, 2001.
4. *Буров Б.В., Ясонов П.Г.* Введение в дифференциальный термомагнитный анализ горных пород. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1979.
5. *Гаранин В.К.* Состав и магнитные свойства оксидов из кимберлитов юго-западной окраины Анабарского щита // Исследования высокобарических минералов: ИФЗ АН СССР. М., 1987. С. 108–149.
6. *Геология и генезис алмазных месторождений / Б.М.Владимиров, Ю.М.Дауев, Б.М.Зубарев и др.* – М.: ЦНИГРИ, 1989. Кн. 1.
7. *Геология и генезис алмазных месторождений / Б.М.Владимиров, Б.М.Зубарев, Ф.В.Каминский и др.* – М.: ЦНИГРИ, 1989. Кн. 2.
8. *Доусон Дж.* Кимберлиты и ксенолиты в них. – М.: Мир, 1983.
9. *Зинчук Н.Н.* Постмагматические минералы кимберлитов. – М.: Недра, 2000.
10. *Зинчук Н.Н., Харьков А.Д., Мельник Ю.М., Мовчан Н.П.* Вторичные минералы кимберлитов. – Киев: Наукова думка, 1987.
11. *Константинов К.М.* Магнетизм кимберлитов и траппов зоны сочленения Вилюйской и Тунгусской синеклиз Сибирской платформы: Автореф. дисс... д-ра геол.-минер. наук. – Иркутск, 2014.
12. *Костровицкий С.И., Морикио Т., Серов И.В., Амиржанов А.А.* Изотопно-геохимическая систематика кимберлитов Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 3. С. 350–371.
13. *Костровицкий С.И., Морикио Т., Серов И.В., Ротман А.Я.* О происхождении кимберлитов // Докл. РАН. 2004. Т. 399. № 2. С. 236–240.
14. *Минералогическая энциклопедия.* Пер. с англ. / Под ред. К.Фрея. – Л.: Недра, 1985.
15. *Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии / А.П.Бобриевич, И.П.Илупин, И.Т.Козлов и др.* – М.: Недра, 1964.
16. *Петромагнитные неоднородности пермтриасовых траппов Далдыно-Алаakitского алмазоносного райо-*

- на (Западная Якутия) / К.М.Константинов, С.Г.Мишендин, М.Д.Томшин и др. // Литосфера. 2014. № 2. С. 77–98.
17. Подвысоцкий В.Т., Белов Е.Н. Состав и условия формирования древних осадочных коллекторов и россыпей алмазов. – Якутск, 1995.
  18. Природа метаморфизма / Под ред. У.С.Питчера, Г.У.Флинна. – М.: Мир, 1967.
  19. Руд С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. – М.: Техносфера, 2008.
  20. Рябов В.В., Золотухин В.В. Минералы дифференцированных траппов. – Новосибирск: Наука, 1977.
  21. Хмельков А.М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции). – Новосибирск: Изд-во АРТА, 2008.
  22. Akimoto S. Magnetic properties of FeO-Fe<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub> system as a basis of rock magnetism // Journal of the Physical Society of Japan 17 (Suppl. B-1). 1962. P. 84–97.
  23. Petro- and paleomagnetic characteristics of the structural-material complexes of the diamond mining of the Nyurbinskaya pipe (Middle Markha district, West Yakutia) / К.М.Константинов, А.А.Яковлев, Т.А.Антонова et al. // Geodynamics & Tectonophysics 8 (1). 2017. P. 135–169.

## MAGNETITE: KIMBERLITE INDICATOR MINERAL

**А.М.Хмельков<sup>1</sup>, К.М.Константинов<sup>2,3</sup>, Е.А.Власова<sup>1</sup>, Т.А.Антонова<sup>2</sup>**  
 (<sup>1</sup> JSC ALROSA Vilyui prospecting crew (PJSC), Ihal; <sup>2</sup> JSC ALROSA Research Geological Enterprise, Mirny; <sup>3</sup> FSBIS Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk)

*Modern physical and mineralogical methods helped to study composition and physical properties of magnetite (Baby Leto kimberlite pipe, Zapadno-Ukukitskoye field, Yakutian diamondiferous province), its grain morphology is very similar to picroilmenite. It was found that the mineral contains various ratios of isomorphous admixtures and its composition corresponds to that of titanomagnetite. Primary (protomagmatic) titanomagnetite genesis is suggested. The paper shows that, under certain conditions, titanomagnetite (magnetite) can be viewed as kimberlite and related rocks indicator mineral.*

*Keywords: titanomagnetite, kimberlite indicator minerals, microprobe, thermomagnetic analysis, kimberlites.*





## ОСОБЕННОСТИ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕДНО-ОЛОВО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО (С ЗОЛОТОМ) МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАШКЕРГАН, ВОСТОЧНЫЙ УЗБЕКИСТАН

*Ташкерганский гранитный интрузив образует в доломит-карбонатных породах не вскрытый эрозией выступ, формирование которого сопровождалось процессами скарнирования (эндо- и экзоскарны), грейзенизации и березитизации. Скарновые залежи несут прожилковые, вкрапленные и массивные медно-молибденово-висмут-полиметаллические руды (с золотом и серебром). Комплексные геохимические аномалии выделяют скарновую оболочку и грейзен-березитовые зоны в гранитах, с которыми и связывается расширение перспектив месторождения Ташкерган на глубину.*

*Ключевые слова: медь, молибден, золото, висмут, скарны, грейзены, березиты, зоны изоконцентраций элементов, Ташкерганский гранитный интрузив.*

В Чаткальском регионе Восточного Узбекистана в бассейне р. Пскем с помощью геолого-петрографических исследований выделен концентр гранитоидных плутонов (рис. 1), возраст которого от позднего рифея до ранней перми. Здесь известны несколько золото-редкометалльных месторождений с оруденением в над- и околоинтрузивной зоне небольших гранитных интрузий, формировавшихся в карбонатной среде [1]. Характерный пример подобных рудно-магматических систем с комплексной редкометалльной геохимической специализацией (Cu, Bi, Pb, Zn, W, Sn, F) – раннепермские лейкократовые граниты Ташкерганского интрузива в виде трубообразного выступа не вскрытой эрозией интрузивной камеры (рис. 2). Площадь сечения выступа 0,038 км<sup>2</sup> (150×350 м). Среда становления интрузива – массивные и тонкослоистые доломитовые известняки визейского яруса с прослоями битуминозных и кремнисто-глинистых разностей. Интрузив рассматривается как сателлит Майдантальского гранитного плутона (площадь 450 км<sup>2</sup>) в его ближайшей сферической оболочке.

Граниты интрузива, вскрытые штольневыми выработками, отчетливо аллотриоморфнозернистой порфиридной структуры, высококремнекислотные (73% SiO<sub>2</sub>), существенно калиевые (K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=1,3). В составе гранит-порфиров (%): кварц (35–40), микроклин (35–40), плагиоклаз (альбит-олигоклаз, 30–32), таблицы биотита (2–3). Структура связующей массы крупнозернистая гранит-аллотриоморфнозернистая.

На поверхности, в ближайшей зоне экзоконтакта Ташкерганского интрузива, выделено несколько даек гранодиорит-порфиров среднекарбонového интрузивного комплекса относительно

### Ежков Юрий Борисович

кандидат геолого-минералогических наук  
начальник отдела  
info@gpniimr.uz

### Рахимов Рахмон Рахимович

ведущий геолог  
info@gpniimr.uz

### Рустамжонов Равшан Рустамжонович

заведующий сектором  
ravjon89@gmail.com

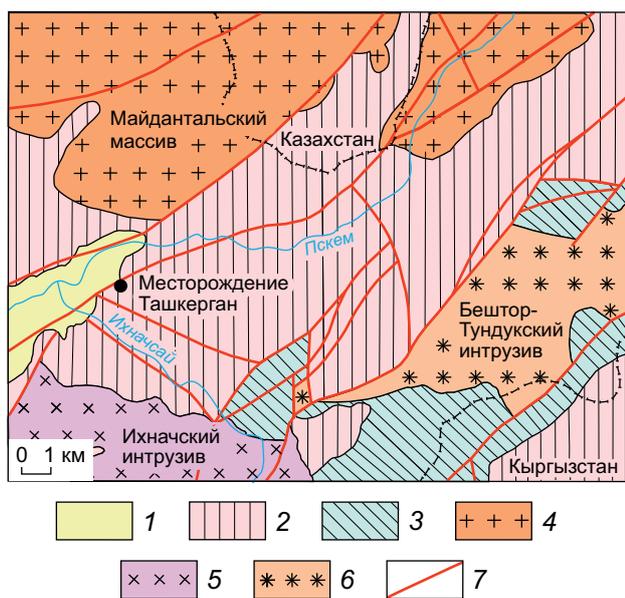
### Новикова Ирина Викторовна

ведущий геолог  
info@gpniimr.uz

### Холиёров Анвар Турсинович

ведущий геолог  
xoliyorovanvar@gmail.com

ГП «Институт минеральных ресурсов»  
Госкомгеологии РУз,  
г. Ташкент (Республика Узбекистан)



**Рис. 1. СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА БАСЕЙНА р. ПСКЕМ:**

1 – четвертичные отложения; 2 – карбонатно-терригенные отложения,  $D_3-C_1$ ; 3 – сланцы кремнисто-глинисто-углистые, алевролиты, конгломераты,  $E-O_2$ ; 4 – лейкократовые граниты,  $P_1$ ; 5 – гранодиориты Ихначского интрузива,  $C_2$ ; 6 – плагиограниты,  $R_3$ ; 7 – разломы

небольшой мощностью (1,5–2,5 м) и протяжённостью (100–150 м). Дайковые тела рассматриваются только в качестве транспортных структур для постскарново-гидротермальных растворов.

Наиболее поздним магматическим образованием в интрузиве является дайка диабазового порфирита, сложенная чёрной массивной породой с порфировой структурой. Порфировые выделения (15% породы) состоят из основного плагиоклаза (10%) и пироксена (5%). Плагиоклаз замещается серицитом и карбонатом, пироксен – зелёной слюдой и серпентином. В зоне дробления в диабазовом порфирите развиваются серпентин (15%), иддингсит (15%), кварц (5%), калишпат, сфен, карбонат и рудный минерал.

На горизонте штольни № 1 основное поле гранитов подвержено аутометаморфизму (пятнисто-прожилковая альбитизация, густая пелитизация, умеренная мусковитизация полевых шпатов, хлоритизация биотита) и апомагматическим метасоматическим процессам: мелкогнездовидно-агрегатное и микропрожилковое окварцевание (с пере-

кристаллизацией первичного кварца), мелкопрожилковая грейзенизация в виде кварц-мусковит-топазовых и кварц-мусковит-топаз-флюоритовых фаций. Позднее их сменили интенсивная серицитизация, хлорит-карбонат-эпидотовый метасоматоз с обильным ожелезнением и жильное (до халцедоновидного) окварцевание, сопровождаемое интенсивной пиритизацией (от гигантокристаллов до «пыли»), развитием арсенопирита, молибденита, висмутина и других сульфидов.

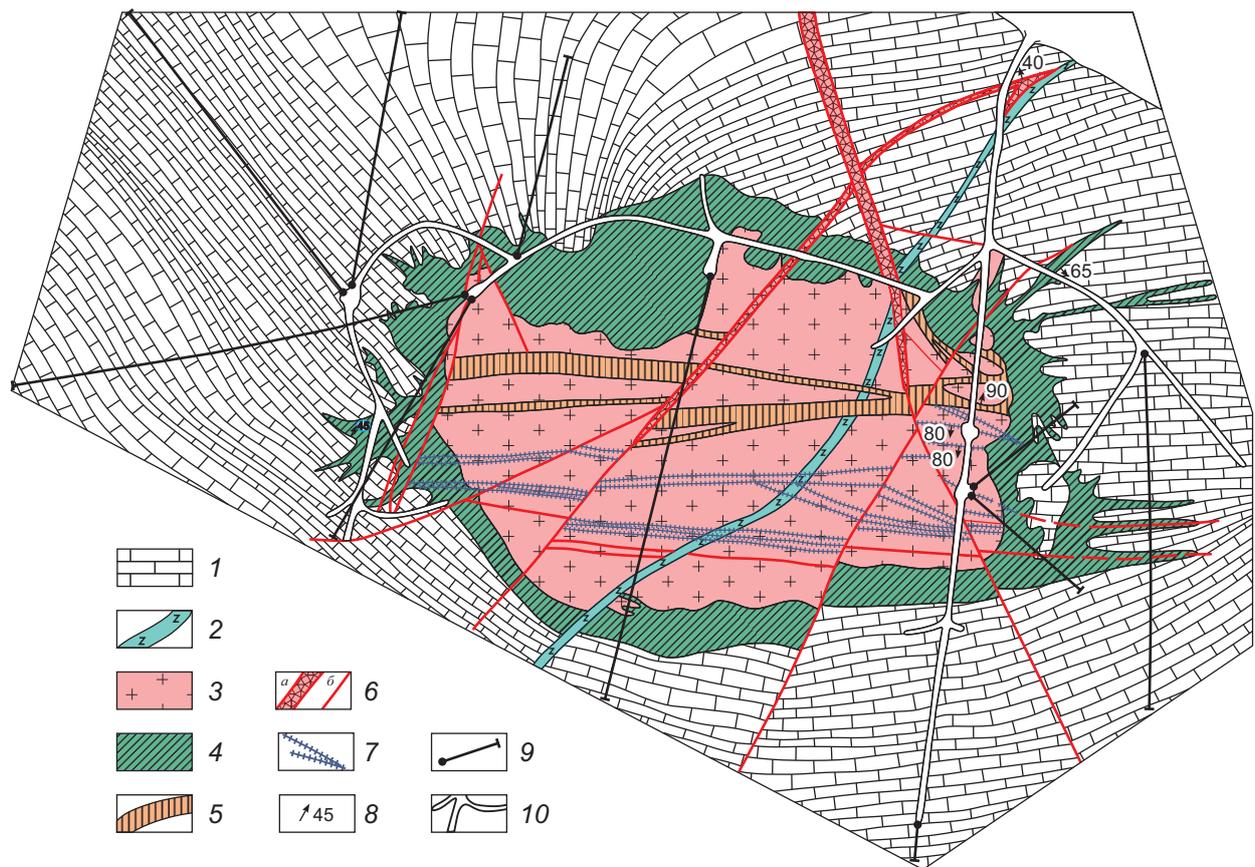
Таким образом, наряду с упоминавшимся активным скарнированием, можно уверенно говорить о преобразовании верхней части камеры Ташкерганского интрузива процессами грейзен-березитовой метасоматической фации, протекавшими при высокой активности фтора, хлора, особенно серы, а также рудных сульфурофильных и оксифильных элементов. При этом короткопромежуточный температурный интервал переходов минеральных ассоциаций обеспечивался классической сменой метасоматических стадий: от раннещелочной к кислотной, далее к позднещелочной и заключительной – нейтральной.

Высокая активность летучих компонентов в верхней части интрузивной камеры Ташкергана, транспортировавших при вертикальной миграции широкий комплекс рудогенных элементов, принципиально отличает в регионе его грейзен-березитовые фации метасоматитов от аналогичных процессов в гранитах близрасположенного бассейна р. Бештор, во многом лишённых указанных особенностей. Необходимо отметить, что грейзен-березитовые зоны Бештора вскрыты эрозией на большую глубину, тогда как у Ташкерганского интрузива надинтрузивная зона практически полностью сохранилась.

Скарновые залежи месторождения Ташкерган вскрыты в вертикальном разрезе на 300 м, облекающая с юга-востока интрузивно-купольную структуру. В надинтрузивной зоне в карбонатных породах саргардонской свиты купол отчётливо очерчен радиально-кольцевыми разломами, наследовавшими системы трещин термоконтракции.

Выделяются следующие морфогенетические типы скарнов и скарноидов на месторождении:

- реакционно-метасоматические наиболее распространены и представлены боковыми залежами;
- инфильтрационные (апомагнезиальные) скарны распространены ограниченно и размещаются



**Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА НА УРОВНЕ ШТОЛЬНЕВОГО ГОРИЗОНТА № 1 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАШКЕРГАН, м-б 1:2000:**

1 – мраморизованные массивные известняки,  $C_1$ ; 2 – диабазовые порфиры (жильные породы II этапа); 3 – неравномернoзернистые слабoпорфировидные гранит-порфиры Ташкeрганского интрузива; 4 – скарны гранатовые, гранат-волластонитовые, тремолит-гранат-волластонитовые, пироксеновые; 5 – зоны березитизации; 6 – зоны дробления в масштабе (а), вне масштаба (б); 7 – кварцевые прожилки; 8 – элементы залегания; 9 – буровые скважины; 10 – горизонт штольни № 1

главным образом в ближайших экзоконтактах интрузива по трещинам термоконтракции и ослабленным зонам, субогласным поверхностям напластования. В большинстве имеют простой состав, часто мономинеральный – пироксеновый, гранатовый или волластонитовый.

Мощность реакционно-метасоматических скарновых залежей на участке Ташкeрган достигает 8 м. Среди них фациально преобладают гранатовые (андрадитовые), распространенные на всех уровнях вертикального разреза. Полосчатые гранат-волластонитовые скарны проявлены преимущественно на горизонте штольни № 1, где достигают большей мощности по сравнению с такими на поверхности. Подобным образом ведут себя и гранат-пироксеновые скарны, хотя суще-

ственно уступают по мощности как гранатовым, так и гранат-волластонитовым.

По гранитам часто образуются пироксен-волластонит-везувиановые и везувиан-волластонит-гранатовые крупнозернистые скарны, также достигающие максимума мощности на горизонте штольни № 1. В скарнах по гранитному субстрату гранат обычно коричневого, реже зеленого оттенка, у пироксена преобладает черная окраска. В скарнах по карбонатным породам гранат зеленого, а пироксен – светло-зеленого цвета.

Из апоскарновых процессов распространены прожилковое, линзовидное и гнездовидное окварцевание, иногда с развитием аллотриоморфнозернистого кварца. Часто фиксируются пироксен-волластонит-гранат-кварцевые роговики. Также отме-

Минералы	Стадии минералообразования			
	Собственно скарновая	Гидротермальная		
		дорудная	рудная	пострудная
Гранат-I	■			
Шпинель	■			
Гранат-II	■			
Пироксен	■			
Везувиан	■			
Волластонит	■			
Магнетит	■			
Кварц-I		■		
Хлорит		■		
Пирит-I		■		
Мусковит (серицит)		■		
Кварц-II		■		
Кальцит-I		■		
Висмутин			■	
Молибденит			■	
Арсенопирит			■	
Золото			■	
Пирит-II			■	
Сфалерит			■	
Халькопирит-I			■	
Борнит			■	
Халькопирит-II			■	
Тетраэдрит			■	
Пирит-III			■	
Марказит			■	
Галенит			■	
Теннантит			■	
Висмутин-II			■	
Аляскит			■	
Устарасит			■	
Кальцит-II			■	
Флюорит			■	■

**Рис. 3. СХЕМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ТАШКЕРГАН**

чаются тремолитовые, везувиановые, хризотил-асбестовые и серпентинитовые агрегаты, кварц-флюоритовые, карбонат-флюоритовые и цеолитовые гнезда, прожилки и интерстиционные скопления.

Нередко кварц-флюоритовые продукты цементируют гранат-пироксен-волластонитовые агрегаты. Встречаются многочисленные прожилки мономинерального флюорита, реже скопления и друзы. В прожилках флюорит в основном розовый или бесцветный, а в кварц-кальцитовых агрегатах с сульфидами фиолетовый. Пик декриптограмм флюорита приходится на 200–220°C.

Таким образом, на участке Ташкерган широко представлены разнотемпературные метасоматические продукты скарнового, грейзенового и березитового процессов. Термальным источником для

их возникновения служила редкометалльная интрузия – спутник Майдантальского массива нижнепермского интрузивного комплекса. Связь с породами комплекса грейзеново-скарновой редкометалльной (Be, F, Li, REE, Sn) минерализации в бассейне р. Пскем хорошо известна.

Главные рудные минералы месторождения Ташкерган – сульфиды железа, меди, свинца, цинка, мышьяка, молибдена, а также сульфосоли с золотом, серебром, оловом (рис. 3). Руды характеризуются разнообразием текстур – прожилковые, вкрапленные, диффузионно-полосчатые, массивные.

**Пирит** в золото-редкометалльных рудах Ташкергана представлен тремя генерациями. Пирит-I – минерал ранней стадии минералообразования, заметно распространён, создаёт вкрапления кубических и тонкозернистых округлённых (агрегатных) выделений. Часто обрастает пиритом поздних генераций, образует эмульсионные включения в других сульфидах. Пирит-II часто встречается в виде одиночных мелких и крупных вкраплений (до 5 см) кубического облика, реже жил и прожилков, кристаллов ромбовидных и более сложных форм (с квадратными, гексагональными и полигональными сечениями). Прожилки пирита секут выделения магнетита. Содержит микровключения арсенопирита. Отмечается прямая зависимость между усложнением морфологии кристаллов пирита и продуктивностью изученных зон золото-редкометалльного оруденения в гранитах. Пирит-III достаточно редок. В пирите-II создаёт мелкие, вытянутые по зонам его роста, включения и узкие полоски шириной 0,01–0,05 мм. Обрастает по периферии зёрнами сфалерита или располагается в нём по микротрещинкам.

**Арсенопирит** распространён широко, но весьма неравномерно. В шлифах присутствует обычно в виде изолированных кристаллов и их сростков в различных метасоматитах. Отчётливо сростается с висмутом, образует прожилки до 1 мм вместе со сфалеритом, пиритом, халькопиритом. Сильно трещиноват. Трещины весьма тонкие, напоминают серию иголочек. Слагает агрегаты идиоморфных зёрен часто ромбической формы, образует включения в пирите, кварце (до 0,8×0,2 мм). Сечётся теннантитом, цементируется халькопиритом, образует включения в пирите. Часто сфалерит и халькопирит, редко галенит и висмутин выполняют промежуточные между зёрнами арсенопирита. Наблюдают-

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ РУДНЫХ И РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МОНОФРАКЦИЯХ ПОРОДОБРАЗУЮЩИХ  
И МИНЕРАЛОВ-РУДООБРАЗОВАТЕЛЕЙ, г/т (химический анализ)**

Элементы	Гранат (12)*	Пирит (24)	Пирротин (8)	Халькопирит (14)	Арсенопирит (21)	Молибденит (3)	Галенит (25)	Сфалерит (16)
Cu	10,1	1504,4	3500,0	>3%	506,7	30,0	2175	7750,0
Bi	26,0	557,5	350,0	>3%	3262,5		>3%	600,0
Sn	1802,4	363,9	400,0	2250,0	119,7		3000,0	775,0
Mo	10,9	75,2	17,5	35	146,2	>3%	226,2	21,3
W	160		175,0		1887,5		866,6	
Au		(5,83)**		16	22,5			
Ag	3,86	64,2 (144,5)**	195,0	2500	146,5		>1%	258,7
Pb	910,9	2969,6	2750,0	3000,0	7729,2		>3%	>1%
Zn	216,7	9856,3	10000,0	8500,0	2718,3		>3%	>3%
Cd		250,0	150,0		107,1		400,0	7000,0
In								75,0
Tl							262,5	
Te				2000,0	1500,0		4000,0	900
Ge	27,8							
As	725,0	10350		7500,0	>3%		>3%	6250,0
Sb		325		2250,0	568,2		2250,0	225,0
Ni	20,0	10,8	5,0	12,5	9,4		12,25	10,5
Co		56,2	40,0		154,1		22,7	185,0
Ba	107,2	152,1	150,0	90,0	132,8		150,0	135,0
Sr	160,0		150,0					130,0

\* – Количество монофракций.

\*\* – Пробирный анализ.

ся прожилки арсенопирита в кварце мощностью до 1–2 см. Содержит микровключения золота (0,01–0,005 мм). Из минералов мышьяка на Ташкергане также прослежен лёллингит в виде отдельных сильно трещиноватых зёрен в халькопирите.

**Халькопирит** – один из самых значимых минералов на месторождении, представлен двумя генерациями. Халькопирит-I образует выделения (2–3 мм) неправильной формы, интерстициально выполняет промежутки между другими рудными минералами, развивается в них по трещинам. Халькопирит-II образует прожилки до 0,08 мм совместно с борнитом и пиритом. Сечётся прожилками кальцита, наблюдается в виде тесных сростаний с устараситом. Является главным составляющим кварц-карбонат-олово-арсенопирит-молибденит-халькопиритовой с сульфосолями рудно-минеральной ассоциации. Среднее содержание халькопирита в рудах 0,8%.

**Сфалерит** – самый распространённый среди сульфидов в рудах Ташкергана. Фиксируется в известняках экзоконтакта гранитного интрузива и в скарнах в виде линз и вкраплений до 0,5 см. В ассо-

циации с кальцитом, пиритом и арсенопиритом образует жилы мощностью до 0,5 м. Содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита. Выполняет промежутки между зёрнами арсенопирита и пирита. Сечётся прожилками галенита, теннантита, кальцита.

**Галенит** выделен в основном в форме прожилков на участках Северный и Восточный, на участке Медный отмечается только в виде редких вкраплений в гранатовых скарнах совместно со сфалеритом. Выделения галенита приурочены к контакту интрузивных пород с известняками, где он совместно со сфалеритом образует прожилки мощностью до 2–3 см и выделения неправильной формы. По трещинам спайности замещается англезитом и ковеллином. Галенит – концентратор 11% висмута и серебра. Как представляется, подавляющая их часть присутствует в виде твёрдого раствора  $\alpha$ -матильдита с отношением висмута и серебра 1:1 (таблица). Замещение, видимо, осуществляется по обычной схеме:  $2Pb^{2+} = Ag^+ + Bi^{3+}$ . Наличие цинка, кадмия и меди объясняется имеющимися мелкими включениями сфалерита и халькопирита. Теллур – также

характерная ценная примесь галенитов скарновых руд Ташкергана (см. таблицу).

**Блеклые руды** в сульфидных скоплениях скарнов присутствуют в форме тетраэдрита, замещающего халькопирит второй генерации, и теннантита, выполняющего интерстиционные полосы в пирите. Наблюдается тесное срастание теннантита со сфалеритом и галенитом.

**Устарасит** (свинцово-висмут-сурьмяная сульфосоля) установлен на участке Медный. Характерны выделения неправильной формы и тесные срастания с халькопиритом, сфалеритом, борнитом. Прожилки устарасита секут выделения сфалерита и замещают его по периферии зёрен. Соотношение свинца и висмута 1:3 в устарасите близкое к теоретическому [3]. Важно подчеркнуть, что основные запасы свинца Ташкергана заключены не в галените, а в сульфосолях, среди которых устараситу принадлежит главная роль. Медно-висмут-сурьмяные, медно-свинцово-висмут-сурьмяные (с сурьмой) сульфосоли на месторождении представлены айкинитом, замещающим халькопирит и образующим выделения неправильной формы размером 0,8×3 мм. Приблизительно в таких же выделениях присутствуют свинцово-висмут-сурьмяные, свинцово-висмут-сурьмяные и свинцово-сурьмяные сульфосоли.

**Висмутин** описан в грейзенах и березитах по стволу штольни № 1. Висмутин-I выделен в теснейших срастаниях с молибденитом и арсенопиритом, являясь, что необычно, по отношению к ним более ранним. Часто содержит тончайшую, участками весьма плотную вкрапленность самородного висмута, реже халькопирита. Нередко в прожилках ассоциирует с галенитом. Висмутин-II по отношению к нерудным минералам в основном концентрируется в зальбандах кварцевых прожилков и прокварцованной массе метасоматитов.

**Золото** в минеральной форме предыдущими работами на месторождении обнаружено не было, хотя и отмечалось аналитически среди комплекса других химических элементов, главным образом в сульфидных концентратах. Нами впервые здесь была выявлена высокая концентрация золота (возможно, замаскированных форм) в арсенопирите, а также свободное мелкое (0,01–0,001 мм) золото в крупных микропрожилках кварц-сульфидного выполнения в грейзен-березитовых зонах лейкократовых гранитов. Какая из форм выделения золота (связанная или свободная) окажется главной – предмет дальнейших исследований.

В плане сравнения, интересные данные получены по золотоносности грейзен-березитовых зон соседней Бешторской площади, где при общей высокой доле свободного золота (как и в рудах Ташкергана) его минералом-концентратором становится пирит, который к тому же активно корродируется золотом, несёт его вкрапления и прожилки. При этом общее содержание мышьяка в рудоносных зонах Бешторской площади резко уступает таковому в зонах Ташкергана.

Рассматривая распределение элементов в гранатах скарнов и сульфидных минералах руд (см. таблицу), необходимо отметить резкое различие их геохимических спектров, в которых максимальными накоплениями элементов характеризуются сфалерит, галенит и арсенопирит. Подавляющее превосходство концентрации Sn над Mo в гранате прокомментировано ниже.

В целом представляется, что в большинстве случаев изученные геохимические спектры пороодообразующих и рудных минералов находятся под определённым воздействием материнских гидротерм и концентрируют в своей кристаллической решетке комплекс их ведущих металлов и соединений. Распределение некоторых элементов, естественно, отражает кристаллизационные закономерности, существующие в минералах, что, как правило, исключает эти элементы из набора прогнозных признаков (серебро, теллур – в галенитах, кадмий – в сфалеритах и др.).

Морфология зон изоконцентраций месторождения Ташкерган определена их эллипсоидно-концентрическими фигурами в скарновой оболочке интрузива и вытянутыми приближённо по оси эллипсоида лентовидными изоконцентрациями, выделяющими грейзен-березитовый штокверк непосредственно в гранитном поле. Дифференцировано в скарновой оболочке развиваются высококонтрастные почти изометрические изоконцентрации фтора, золота, молибдена, мышьяка и меди, фиксирующие оруденелые зоны типа рудных столбов. Анализ размещения на месторождении пространственных фигур изоконцентраций химических элементов позволяет выделить среди них несколько обособленных групп.

*Золото, фтор, кобальт.* В основном контролируются в гранитах интрузива секущими зонами грейзенизации, березитизации и скарновой оболочкой. В скарнах золото и фтор образуют области типа рудных столбов (рис. 4, а, б).

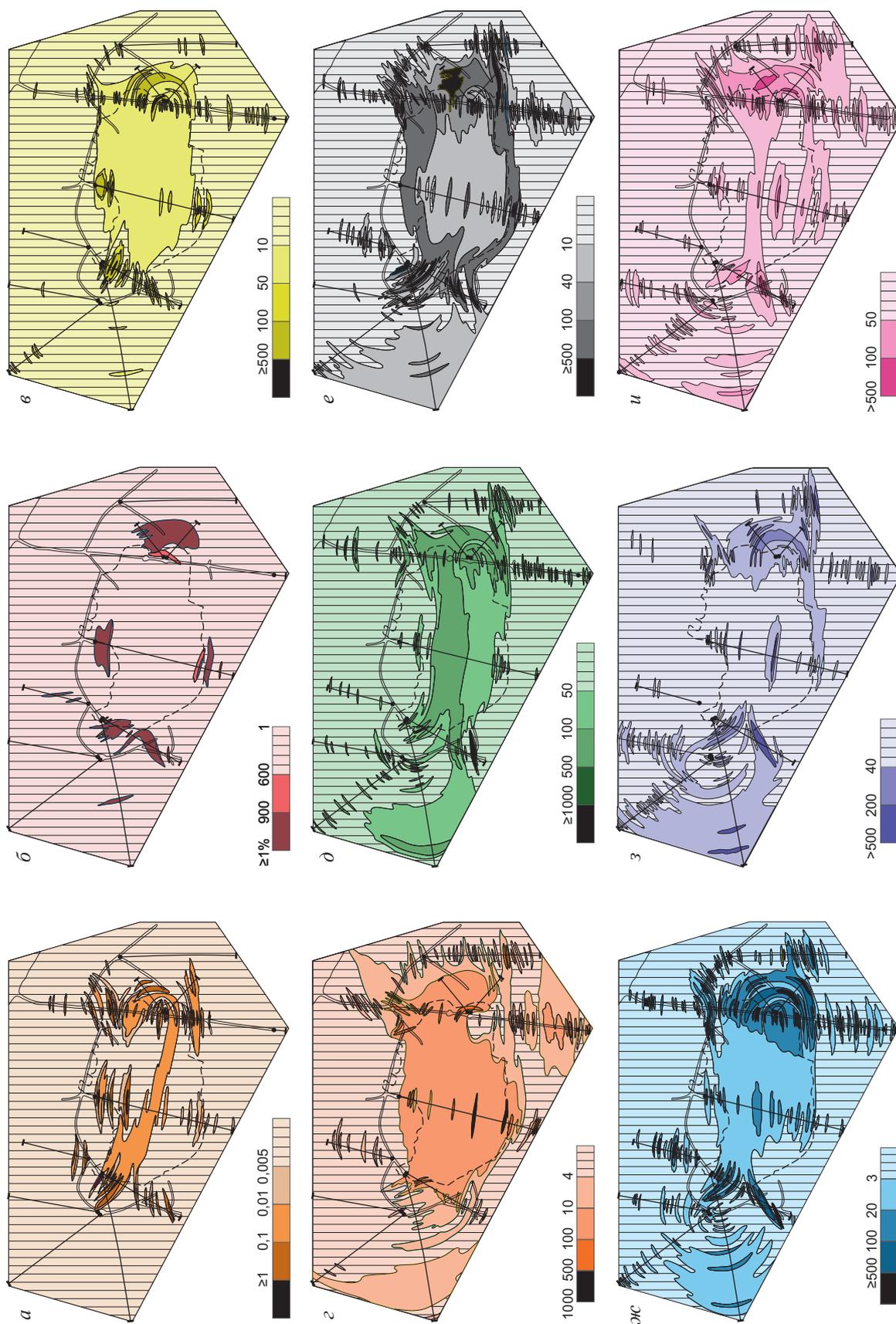


Рис. 4. СХЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗОЛОТА (а), ФТОРА (б), ВОЛЬФРАМА (в), МОЛИБДЕНА (z), МЕДИ (d), ОЛОВА (e), ВИСМУТА (ж), ЦИНКА (u) НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ТАШКЕРГАН, г/т (штрихом обозначен контур гранитного массива); остальные усл. обозн. см. рис. 2

*Вольфрам, молибден, медь, мышьяк, сурьма, серебро.* Максимум концентраций вольфрама приходится на грейзен-березитовые зоны гранитов (см. рис. 4, в). Основная масса молибдена (см. рис. 4, з) также размещается в контуре гранитной интрузии, характеризуясь, однако, отчётливой асимметричностью изоконцентрационных фигур: в северных эндо- и экзоконтактах интрузии содержание резко снижается до фоновых показателей, тогда как в южном направлении образуется широкая фронтальная область значений, соизмеримая по площади только с изоконцентром свинца.

Медь (см. рис. 4, д) в целом повторяет распределение молибдена, лишь несколько усиливая интенсивность своих изоконцентраций в оболочке скарнов. Мышьяк чётко очерчивает высокоинтенсивными вытянутыми изоконцентрациями грейзеново-березитовые зоны в гранитах, создавая наряду с этим рудный столб в восточных скарновых залежах. В экзоконтакте он образует только изолированные высокоинтенсивные зоны изоконцентраций. Распределение сурьмы во многом аналогично мышьяку, менее контрастно. Распределение серебра (во многом напоминая мышьяк) характеризуется высокой концентрацией в грейзеново-березитовых зонах и в скарнах у западной границы гранитной интрузии. В экзоконтакте оно образует лишь локальные высокоинтенсивные зоны.

*Олово, висмут, цинк, свинец.* Олово выступает как элемент-антагонист по отношению к молибдену, концентрируясь преимущественно в скарновой оболочке интрузии (см. рис. 4, е). В самих гранитах концентрация олова, в сравнении со среднемировыми данными по кислым породам, остаётся весьма высокой – 18–25 г/т. Симметрично облегающие гранитное тело изоконцентраты олова необычно широко захватывают его экзоконтакт, образуя интенсивные области в удалении от контактового шва на 80–100 м.

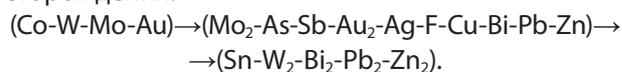
Важной генетической особенностью процесса распределения олова на месторождении является его атомарное рассеяние в основном в гранатах по граням их роста, в связи с чем расширение масштабов скарнирования влечёт за собой образование соответствующей экзоконтактной концентрации олова, хотя, как известно, олово – это типичный элемент тыловых частей областей ореолов в их стереогеохимических моделях [2, 4]. Следует также отметить и отчётливый пространственный

антагонизм молибдена (эндоzona) и олова (экзоzona), неоднократно описанный в литературе. Антагонизм этих элементов ещё резче отображён в приведённой таблице, где в изученных сульфидах содержание олова превышает содержания молибдена в сотни раз.

Висмут (см. рис. 4, ж) накапливается как в грейзеново-березитовых зонах в гранитах (в сульфидных фазах), так и в скарновой оболочке. В экзоконтакте образует достаточно интенсивные изоконцентрации, соизмеримые со свинцом и оловом по степени удаления от контактового шва интрузии.

Свинец и цинк (см. рис. 4, з, и) концентрируются как в редкометалльных секущих зонах с сульфидами в гранитах, так и, особенно, в оболочке скарнов. Иногда они образуют мощные изолированные обогащённые участки в экзоконтакте (видимо, на месте слепых зон рассеянной минерализации). Распределение цинка, в сравнении со свинцом, более контрастно.

В целом, пространственная последовательность выделенных групп элементов отвечает генеральной латеральной геохимической зональности месторождения:



Итак, проведённый ранее подсчёт запасов меди, олова, свинца и цинка на месторождении Ташкерган осуществлён в пределах скарново-рудной оболочки гранитной интрузии. Нами же, при перепробовании горных выработок и скважин с последующим детальным изучением породного материала, а также анализом большого количества монофракций сульфидов (комбинированными химико-спектральными методами), был сделан вывод, что дальнейшее расширение перспектив объекта следует связывать как с зонами эндо- и, особенно, экзоскарнов (Cu, Sn, Bi), так и с выходом гранитной интрузии (Mo, W, Co, Au, Ag, Bi). В отношении вольфрама (по ряду признаков – шеелит) это может быть связано с зонами прожилково-жильно-штокверковой минерализации.

Очень важным благоприятным фактором для дальнейшего расширения рудоносного потенциала объекта является то, что ташкерганские граниты – это единственное в Чаткальском регионе интрузивное тело, практически не вскрытое эрозией, сохранившее надинтрузивную зону и апикально рудоносную часть камеры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежков Ю.Б., Волейшо С.А., Рахимов Р.Р. Рудно-метасоматическая зональность золото-серебро-редкометалльного оруденения в Восточном Узбекистане // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1989. № 12. С. 82–91.
2. Ежков Ю.Б., Рахимов Р.Р. Основные минералого-геохимические признаки гранатов скарново-рудных объектов Чаткальской подзоны (УзССР) // Зап. Узб. отд. ВМО. 1988. Вып. 41. С. 55–58.
3. Костов И., Минчаева-Стефанова И. Сульфидные минералы. Кристаллохимия, парагенезис, систематика. – М.: Мир, 1984.
4. О формах нахождения олова в гранатах и сульфидах скарново-рудных тел Ташкергана (Западный Тянь-Шань) / В.Б.Шувалов, Ю.А.Волков, Т.М.Мацонкина-Воронич и др. // Узб. Геол. Журн. 1977. № 3. С. 22–26.

## FEATURES OF THE ORE-MAGMATIC SYSTEM AND PROSPECTS OF THE TASHKERGAN POLYMETALLIC DEPOSIT, EAST UZBEKISTAN

**Yu.B.Yezhkov, R.R.Rakhimov, R.R.Rustamjonov, I.V.Novikova, A.T.Kholiyorov**  
(SE «Institute of Mineral Resources» of the State Committee on Geology of the Republic of Uzbekistan, Tashkent)

*The Tashkergan granite intrusion forms a protrusion (0,04 km<sup>2</sup>) in dolomite-carbonate rocks not exposed to erosion; its formation was accompanied by skarning (endoskarn and exoskarns), greisenization and berezitzation. Skarn deposits host vein, disseminated and massive copper-molybdenum-bismuth-polymetallic ores (with Au and Ag). Complex geochemical anomalies distinguish the skarn shell and greisen-berezite zones in granites, which suggest potential for the Tashkergan deposit depth extension.*

*Keywords: copper, molybdenum, gold, bismuth, skarns, greisens, berezites, zones of element isoconcentration, Tashkergan granite intrusion.*

## АВТОРАМ

1. Статьи направляются на e-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru. К тексту прилагаются сведения об авторе (авторах) – имя, отчество, фамилия, место работы, должность, учёная степень, учёное звание, телефон, e-mail. В конце статьи ставятся подписи всех авторов.
2. Плата с авторов за публикацию не взимается. Автор, подписывая статью и направляя её в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».
3. Обязательно наличие УДК, аннотации (500–600 знаков) и ключевых слов на русском и английском языках.
4. Максимальный объём статьи – 20 страниц в редакторе MS Word, включая таблицы, графику, список литературы. Таблицы и рисунки помещаются в отдельные файлы (их максимальный размер 23×16 см).
5. Иллюстративные материалы (не более 5–7) представляются в цветном или чёрно-белом вариантах в одном из следующих форматов: CDR для векторной графики, JPG, BMP, TIFF для фотографий, диаграмма MS Excel. Подписи прилагаются на отдельной странице после списка литературы.
6. Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или же намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.

## ТИПОМОРФИЗМ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА РУДОПРОЯВЛЕНИЙ БЕРЕНТАЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ

*На основании анализа особенностей морфологии самородного золота, его внутреннего строения, вариаций химического состава, взаимоотношений с другими минералами в рудах Берентальского рудного поля выделены пять генетических групп золота, установлена последовательность их формирования, связь с минеральными ассоциациями и различными уровнями эрозионного среза. Типоморфизм золота свидетельствует о многократном его отложении и эпикристаллизационных преобразованиях. Наличие нескольких групп золота на разных рудопроявлениях Берентальского рудного поля говорит о сложной истории перераспределения золота в течение единого длительного рудного процесса.*

*Ключевые слова: самородное золото, типоморфизм, морфология, внутреннее строение, элементы-примеси, минеральные ассоциации, зональность месторождения золота.*

Вследствие истощения запасов россыпного золота Северо-Востока России наращивание ресурсной базы коренного золота является актуальной задачей. В частности, перспективы связываются с проявлениями в гранитных плутонах золото-редкометалльно-кварцевой рудной формации, широко представленной в Яно-Колымском золотоносном поясе [2, 3, 8]. К числу таких объектов принадлежит прогнозируемое Берентальское рудное поле, относящееся к Мякит-Хурчанскому рудно-россыпному узлу Нерегинского рудного района. На протяжении юры–палеогена геологические структуры Северо-Восточного региона РФ формировались в несколько тектоно-магматических этапов, каждый из которых характеризовался определённым геодинамическим режимом и своеобразным магматизмом. Золотое оруденение Яно-Колымского золотоносного пояса, к которому относится рассматриваемый рудный район, связано главным образом с позднеюрским и меловым коллизионным гранитоидным магматизмом [3], а определяющим фактором его локализации выступают сопряжённые с магматизмом структурные формы. Это обусловило разнообразие присутствующих на территории рудных формаций и сложную историю перераспределения золота.

В пределах Берентальского рудного поля (в ходе поисковых и поисково-оценочных работ, проведённых ООО «Золотодобывающая корпорация» с участием авторов в 2012–2015 и 2016–2018 гг.) изучены пять различных по строению и характеру минерализации рудопроявлений (рис. 1), находящихся в приконтактовых зонах гранитоидного штока Берентал-Мякитского массива. Рудные тела локализованы в гранитах позднеюрского басугуньинского комплекса (150±1,6 млн лет [20]) и вмещающих осадочных поро-



**Позднякова  
Наталья Николаевна**

кандидат геолого-минералогических наук  
научный сотрудник<sup>1</sup>  
natali-silver@rambler.ru

**Ивасенко  
Руслан Николаевич**

аспирант<sup>2</sup>  
геолог<sup>3</sup>  
rivassenko@sfedu.ru

**Роднов  
Юрий Николаевич**

главный геолог<sup>3</sup>  
rodnovun@yandex.ru

**Попов  
Юрий Витальевич**

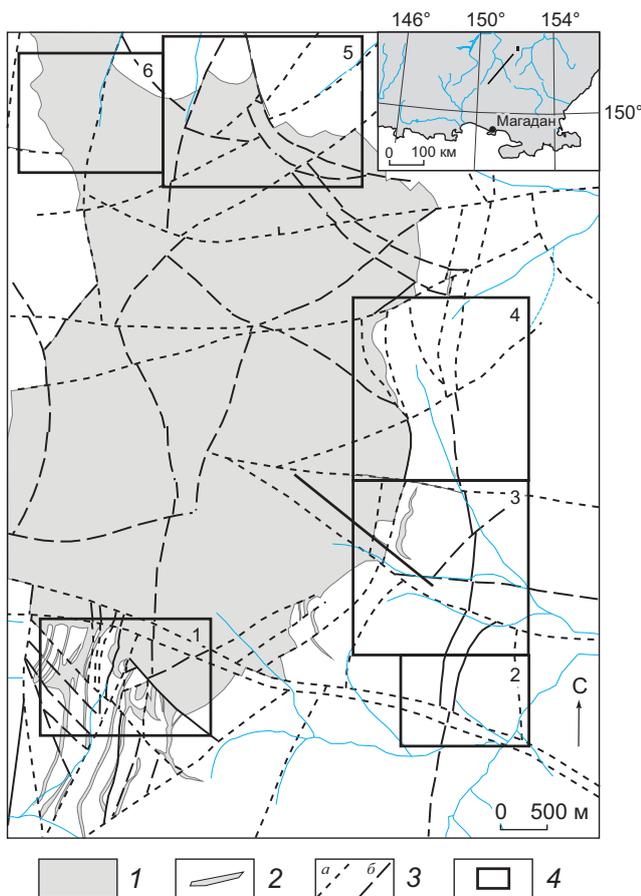
кандидат геолого-минералогических наук  
доцент кафедры месторождений  
полезных ископаемых,  
руководитель ЦКП «Центр исследований  
минерального сырья и состояния  
окружающей среды»<sup>2</sup>  
popov@sfedu.ru

<sup>1</sup>ФГБУ «Центральный  
научно-исследовательский  
геологоразведочный институт  
цветных и благородных металлов»,  
г. Москва

<sup>2</sup>ФГБУН Южный федеральный университет,  
г. Ростов-на-Дону

<sup>3</sup>ООО «Золотодобывающая корпорация»,  
г. Магадан





**Рис. 1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА БЕРЕНТАЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ:**

1 – Берентальский шток, граниты басугуньинского комплекса; 2 – малые интрузии, гранит-порфиры басугуньинского комплекса; 3 – разрывные нарушения (*a* – достоверные, *б* – предполагаемые); 4 – границы рудопроявлений (1 – Фронт, 2 – Кункуйское, 3 – Плацдарм, 4 – Палатка, 5 – Берентал-Северный, 6 – Глобус)

дах нижнетриасовой толщи. В породах магматического комплекса они представлены зонами гидротермально-метасоматической проработки с убогим сульфидно-кварцевым прожилкованием мощностью первые метры в апикальной части гранитного штока (рудопроявление Берентал-Северный) и в гранит-порфирах его силлообразных апофиз (рудопроявления Фронт, Глобус). Рудопроявления Кункуйское, Палатка и Плацдарм находятся в восточном пологом осадочном экзоконтакте штока гипсометрически близко к положению рудопроявлений в пределах интрузива; рудные тела пред-

ставлены жилами и зонами сульфидно-кварцевого прожилкования, контролируемые протяжёнными минерализованными зонами дробления.

Весьма информативным при изучении золоторудных проявлений является анализ типоморфных особенностей золота, которые могут быть использованы для оценки условий рудообразования, а результаты исследований получить широкое применение на всех стадиях геологических работ [1, 4, 9, 10, 11, 17, 19]. К основным характеристикам золота относятся гранулометрический состав, морфология, особенности поверхности зёрен, их внутреннее строение и степень неоднородности, пробность, состав элементов-примесей, плёнок на поверхности золотин, а также золоторудных минеральных ассоциаций.

Опубликованные ранее фрагментарные данные об особенностях рудного и шлихового золота из сопряжённых аллювиальных отложений рудопроявлений Берентальского рудного поля (Берентал-Северный, Фронт, Плацдарм) указывают на различия строения и состава его выделений в пределах поля [5–7, 12, 13, 15, 18]. При этом для каждого из рудопроявлений типично наличие нескольких разновидностей золота. На рудопроявлении Берентал-Северный в протолочках найдены единичные зёрна рудного золота пробностью 591‰ с примесью Sb (0,05%), Pb (0,045%) и Cu (0,03%) [5]. В пробах из реликтов зоны окисления руд рудопроявления Берентал отмечаются две разновидности золота – монолитное преобладающее и пористое пробностью 450–500, 600–650, 700–750, 900–950‰ [6]. В россыпи руч. Берентал описаны золотины пробностью 580–670‰ [5]. Из руд участка Фронт также выделены две разновидности золота – монолитное средне-высокопробное с примесями Cu, Te, Hg и весьма высокопробное ветвисто-пористое с оксидами висмута [18]. На участке Плацдарм в аллювии одноимённого ручья самородное золото разделяется по пробности на две группы – 350–650‰ (35% измерений) и 650–980‰ (60% измерений приходится на интервал 650–800‰) [15]. Золото шлиховых проб из элювиальных развалов жил имеет пробность 815–824‰, из рудных проб – 716–900‰ [7].

Нами изучено самородное золото из рудопроявлений Берентальского рудного поля (11 шлиховых проб из протолочек и 15 аншлифов, изготовленных из образцов). Исследования выполнены в лабораториях ФГУП ЦНИГРИ, ИГЕМ РАН и ЦКП

«ЦИМС» ЮФУ с использованием комплекса прецизионных методов. Морфология золота устанавливалась методами растровой электронной и оптической микроскопии, внутреннее строение – методом многократного последовательного (до четырёх раз) структурного травления полированных срезов монтированных золотин раствором  $\text{CrO}_3$  в  $\text{HCl}$ . Состав золота (183 измерения) определялся микрорентгеноспектральным анализом (МРСА) в ГЕОХИ (аналитик Н.Н.Кононова) – Camebax Sx 1000 фирмы Самеса и в ЦКП «ЦИМС» ЮФУ (аналитики Ю.В.Попов, С.И.Шевцова) с помощью волнодисперсионного микроанализатора INCA Wave 700 (на базе растрового электронного микроскопа VEGA II LMU) и в ИГЕМ РАН (аналитик Е.В.Ковальчук) с помощью электронно-зондового микроанализатора JXA-8200 (JEOL), оснащённого пятью волновыми и одним энергодисперсионным спектрометрами. Состав поверхности образцов самородного золота анализировался в ФГУП ЦНИГРИ (аналитик Ю.В.Щегольков) методом электронной оже-спектроскопии на аппаратуре LAS-3000 фирмы Riber, оснащённой анализатором оже-электронов типа «цилиндрическое зеркало».

В результате исследования в материале из рудопроявлений Берентальского рудного поля выявлено весьма мелкое и тонкое золото класса  $-0,25+0,1$  мм и менее, а также встречены зёрна размером  $-1+0,5$  мм. По морфологии в пределах рудного поля выделяются три разновидности золота (рис. 2).

*Золото-а* жёлтого цвета, обмятое, представлено округлёнными несовершенными кристаллами, сростками пластинчатых кристаллов, гемиидиоморфными уплощёнными частицами, иногда чешуйчатыми формами. Поверхность золотин бугорчатая с заглаженными (своеобразного «оплавленного» вида) выступами, местами ямчато-бугорчатая или выровненная, с локальными плёнками гидроксидов железа и редкими кварцевыми включениями. Золото-а в пробах рудопроявлений Фронт, Глобус, Плацдарм составляет не более 1% от общего количества исследованного металла.

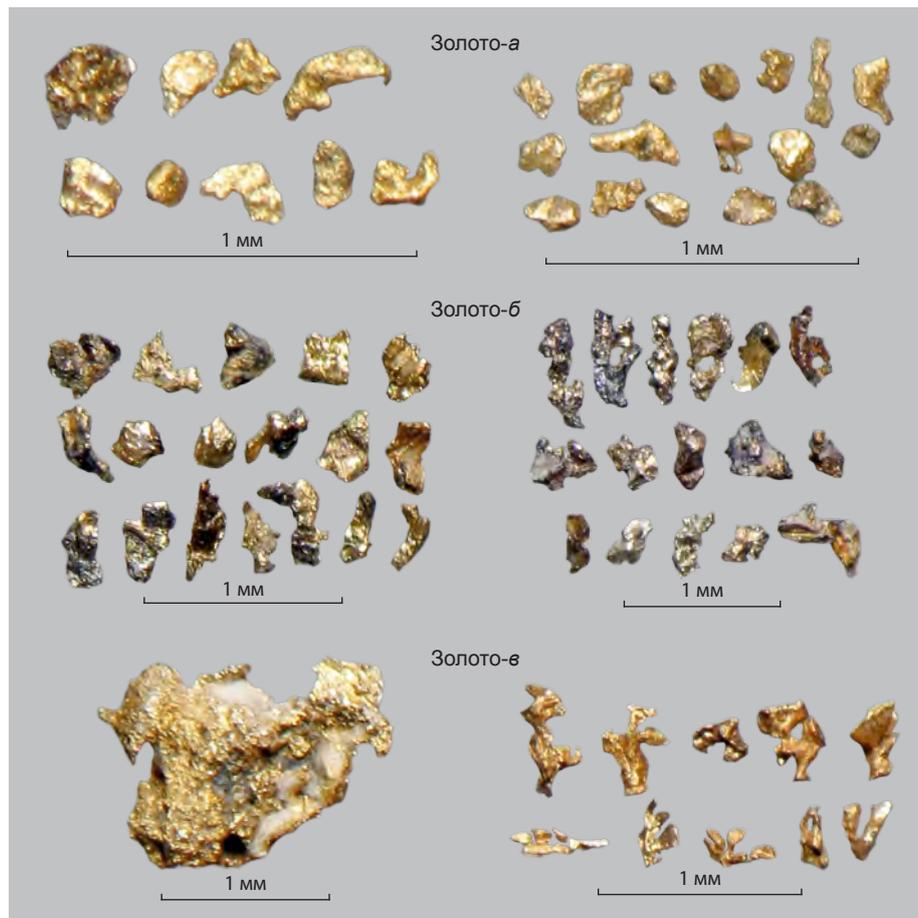
*Золото-б* «рудного» облика, зеленовато-жёлтого цвета, объёмное, часто удлинённой гемиидиоморфной, трещинно-прожилковидной, интерстициальной и комковидно-цементационной форм. Поверхность золотин блестящая ямчато-бугорчатая, реже ячеистая, со скульптурными отпечатками вмещающих пород, иногда с налётом тонкозер-

нистых сульфидных агрегатов серого цвета с побелостью. Часто (10–100%) наблюдается сростание золота с тёмноцветными рудными минералами или в единичных случаях с мелкокристаллическим кварцем. Анализ золота методом оже-спектроскопии показал присутствие в составе его приповерхностных участков повышенных содержаний Ag до ~9 ат. % и примесей Si, S, Bi, что позволяет говорить о наличии на поверхности некоторых зёрен плёнки сульфида серебра (акантита). Имеющееся на поверхности части золотин железо при относительно низких содержаниях серы и высоких содержаниях кислорода обусловлено окислением сульфидов, контактирующих с золотом (рис. 3). Золото-б преобладает на рудопроявлениях Фронт, Плацдарм, Глобус, Берентал-Северный.

*Золото-в* насыщенного ярко-жёлтого цвета, представлено сложными друзовидными, веточковидными, проволоковидными, скипетровидными и дендритовидными сростками кристаллов со ступенями роста и кристаллическими завершениями, с ровной поверхностью. Тонкие трещинно-прожилковидные выделения имеют мелкоямчатую или губчатую поверхность. Редко отмечаются гемиидиоморфные и интерстициальные золотины. Иногда в зёрнах наблюдаются сквозные отверстия из-за выкрашивания вмещающих минералов. Состав ультратонких плёнок на низкопробном золоте характеризуется повышенной концентрацией Ag (до 70%) (см. рис. 3). Золото-в составляет около 20% от всего установленного золота и встречается в основном в пробах из рудопроявлений Плацдарм и Кункуйское.

При изучении химического состава и внутреннего строения зёрен данных морфологических разновидностей золота Берентальского рудного поля были выделены пять групп самородного золота [12].

Для *золота-а* характерны группы золота **Au-1** и **Au-2**. К первой группе (Au-1) относится средневысокопробное (800–950‰) золото, характеризующееся зернистым строением (рис. 4, а). По данным рентгеноспектрального анализа в нём отмечаются повышенные содержания (%) Cu (0,21–0,34), Hg (0,30–0,45), присутствуют Te (до 0,21), Bi (до 0,28). В эту группу входит также среднепробное пористое «медистое» золото (Cu до 1,13%) с петельчатой текстурой (см. рис. 4, б), образовавшейся в результате распада твёрдого раствора, и с уплотнённой каймой по периферии, сформировавшейся в



**Рис. 2. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗНОВИДНОСТИ ЗОЛОТА РУДОПРЯВЛЕНИЙ БЕРЕНТАЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ**

*верхний ряд* – золото-а жёлтого цвета обмятое: гемиидиоморфное, трещинно-прожилковидное, объёмные и пластинчатые кристаллы, их сростки, с локальными железистыми плёнками, единичными сростаниями с кварцем;  
*средний ряд* – золото-б «рудного» облика зеленовато-жёлтого цвета: кристаллические сростки, гемиидиоморфное, интерстициальное, трещинно-прожилковидное и цементационное, с блестящей ямчатой, местами гладкой поверхностью, в сульфидных и железистых плёнках, находящееся в интенсивном сростании с тёмными рудными минералами и белым прозрачным кварцем;  
*нижний ряд* – золото-в неокатанное ярко-жёлтого цвета: трещинно-прожилковидное с мелкоямчатой поверхностью в сростании с молочно-белым непрозрачным кварцем и сложные сростки кристаллов (друзовидные, веточковидные, дендритовидные) с локальными плёнками гидроксидов железа

процессе твёрдофазной перекристаллизации. Золото первой группы обнаружено на проявлениях Фронт, Глобус, Плацдарм и входит в состав сульфидно-кварцевой ассоциации, главные минералы которой – арсенипирит, лёллингит, второстепенные и аксессуарные – пирит, висмутин, самородный висмут.

Ко второй группе (Au-2) также относится высоко- и среднепробное (850–900‰) золото. В структуре Au-1 выявлены признаки его дезинтеграции и последующего отложения в нём Au-2 (см. рис. 4, в).

Как и в первой группе, в составе Au-2 присутствуют Cu, Hg и Te, но в меньших концентрациях. Au-2 встречается в единичных пробах (аншлифах) в пределах рудопроявлений Фронт и Плацдарм и входит в состав той же минеральной ассоциации, что и золото первой группы.

Большая часть *золота-б* связана с золотом третьей группы (Au-3). Для него характерны вариации пробности от 750 до 945‰. Золото средней пробности отличается неяснозернистым строением, наличием диффузионных зон более высокопробно-

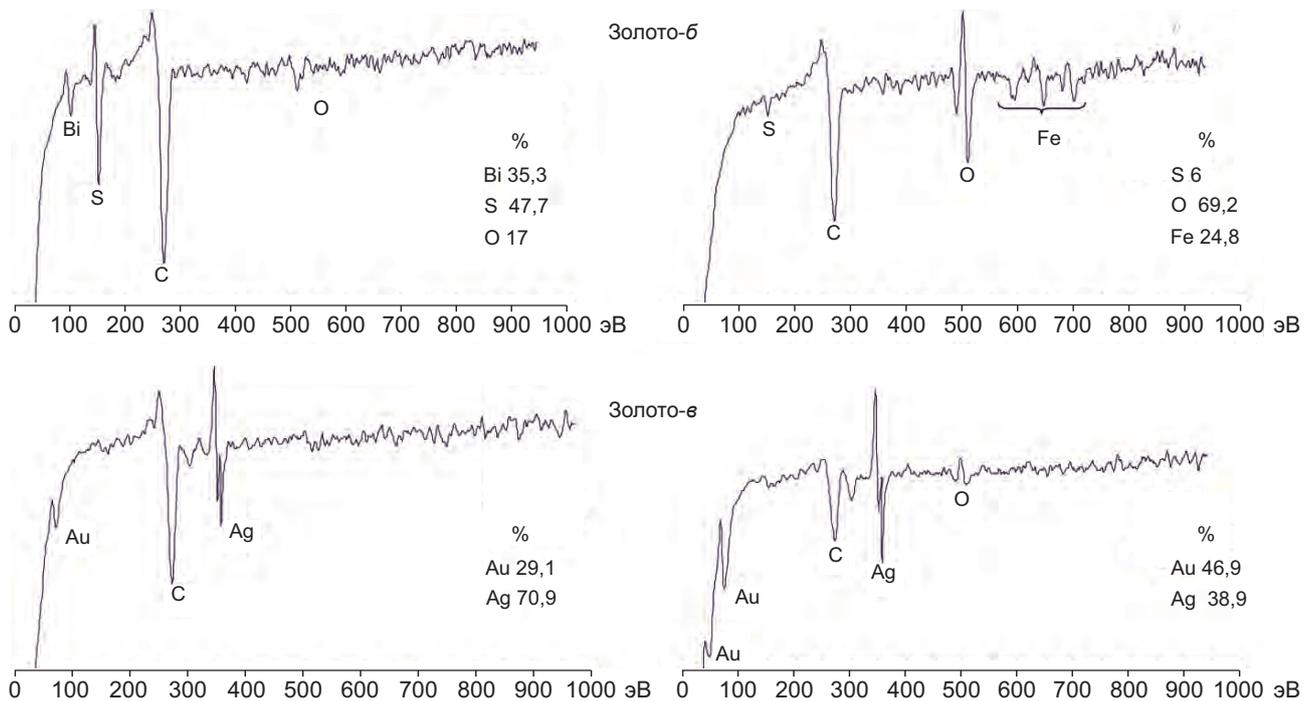


Рис. 3. ОЖЕ-СПЕКТРЫ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ЗОЛОТА РУДОПРОЯВЛЕНИЙ БЕРЕНТАЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

го состава различной ширины или сохраняется в виде реликтов в высокопробном золоте (см. рис. 4, з, д). Встречается также высокопробное золото, в котором дальнейший вынос серебра приводит к образованию пористой текстуры (см. рис. 4, д). Au-3 характеризуется относительно высокими содержаниями (%) Bi (0,09–0,21), W (до ~0,08) и Te (до 0,09), в переменных количествах в нём отмечается Sn (0,01 до 0,14). Золото третьей группы обнаружено на рудопроявлениях Фронт и Плацдарм, входит в состав арсенид-теллуридной минеральной ассоциации (с арсенопиритом, пиритом, пирротинном, сфалеритом, халькопиритом, теллуридами висмута или галеновисмутитом) (см. рис. 4, е).

Следующие две группы (**Au-4** и **Au-5**) морфологически представлены *золотом-б* (частично) и *золотом-в*. Для них характерны выделения сложной формы с преобладанием комковидно-цементационных частиц с мелкоямчато-бугорчатой поверхностью и присутствием тонких трещинно-прожилковидных выделений с губчатой поверхностью.

Золото четвертой группы (**Au-4**) пробностью 620–740‰, пятнисто-неоднородного строения с признаками диффузионного преобразования, дезинтеграции и межзерновыми промежутками, залеченными более низкопробным золотом (см. рис. 4,

ж–к). На нём встречаются тонкие коррозионные высокопробные плёнки. В эту группу также входит относительно низкопробное золото («коллоидное») тонкопористого, эмульсионно-глобулярного строения, тесно ассоциирующее с зёрнами арсенопирита разной размерности (от 0,1 мм до дисперсных выделений), образовавшееся, вероятно, в результате неполной раскристаллизации золото-мышьяковистых гелей (см. рис. 4, и, к). В золоте постоянно присутствуют (%) Te (0,06–0,17), Bi (0,05–0,14 до 0,33), As (0,03–0,11) и Pt (0,03–0,23). Au-4 распространено на рудопроявлениях Плацдарм, Берентал-Северный, Кункуйское и Глобус, входит в состав арсенопирит-галеновисмутитовой минеральной ассоциации (арсенопирит с включениями галеновисмутита, самородного висмута, серебра, золота вместе с пиритом и сфалеритом).

Золото пятой группы (**Au-5**) высокосеребристое (электрум пробностью 400–560‰), наиболее однородно по структуре, неясно- и слабовыраженного зонального строения (см. рис. 4, л). На поверхности зёрен при глубоком многократном травлении отчётливо прослеживается тонкая коррозионная оболочка пробностью >950‰ (см. рис. 4, м). За счёт неё средняя пробность отдельных золотинок-в, при определении пробирными иглами, оказалась

## ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА

Характеристики золота	Группы и разновидности золота	
	Au-1	Au-2
	Золото-а	
Форма	Кристаллы округлённые, несовершенные; сростки пластинчатых кристаллов, гемиидиоморфные уплощённые и чешуйчатые золотины	
Цвет	Жёлтый	
Характер поверхности	Бугорчатая, местами выровненная	
Сростки и плёнки	Плёнки локальные гидроксидов железа, редко включения кварца	
Окатанность	Обмятое, выступы заглаженные «оплавленные»	
Доля от изученного, %	≤1	
Внутреннее строение	Зернистое, у «медистого» золота пористое с петельчатой текстурой и уплотнённой каймой по периферии	Заполняет межзерновые промежутки при дезинтеграции Au-1
Пробность, ‰ (по данным МРСА)	800–950 (средне-высокопробное и среднепробное «медистое»)	850–900 (средне-высокопробное)
Элементы-примеси, % (по данным МРСА)	Постоянно Cu (0,21–0,34, иногда до 1,13), Hg (0,30–0,45), спорадически Te (до 0,21), Bi (до 0,28)	Cu, Hg, Te, но в меньших концентрациях, чем в Au-1
Минеральная ассоциация (на основании ранее рассмотренных аншлифов)	Сульфидно-кварцевая (арсенопирит, лёллингит, второстепенные и аксессуарные – пирит, висмутин, самородный висмут)	
Последовательность отложения золота и глубина формирования	Наиболее раннее; нижние части рудного интервала	Частичное растворение и замещение Au-1; нижние части рудного интервала
Рудопроявления	Фронт, Глобус, Плацдарм	

равной 630–665‰, что приводит к её повышению на 150–200‰. Au-5 при дезинтеграции золота четвертой группы выполняет прожилки между микроблоками «коллоидных» золотинок (см. рис. 4, к), трещины в сульфидах или цементирует их, а также отмечается в арсенопирите (пробностью в среднем 543‰), гидроксидах железа и кварце, в единичных случаях – в сростках с акантитом и сульфидами висмута. Золото пятой группы содержит относительно высокие примеси (%) Te (0,10–0,23), W (0,02–0,10), иногда As (до 0,13), Pb (до 0,09), Bi (до 0,13), Sb (до 0,04), Pd (0,04–0,07). Au-5, широко развитое в пределах рудопроявлений Берентал-Северный, Кункуйское, частично Плацдарм, связано с золото-серебряной ассоциацией, ведущими ми-

нералами которой являются пирит, сфалерит, галенит, акантит и самородное серебро, преимущественно локализовано в пирите в ассоциации с микрофазами пирротина, галенита, пираргирита.

По результатам изучения особенностей самородного золота (таблица) предполагается такая последовательность его отложения. Наиболее ранним золотом, формировавшимся в нижних частях рудного интервала, следует рассматривать золото первой группы. Посткристаллизационные преобразования, сопровождающиеся изменением физико-химического состояния среды, привели к частичному растворению Au-1 и его замещению золотом второй группы. Золото третьей группы связано с поступлением новых порций растворов

## РУДОПРОЯВЛЕНИЙ БЕРЕНТАЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

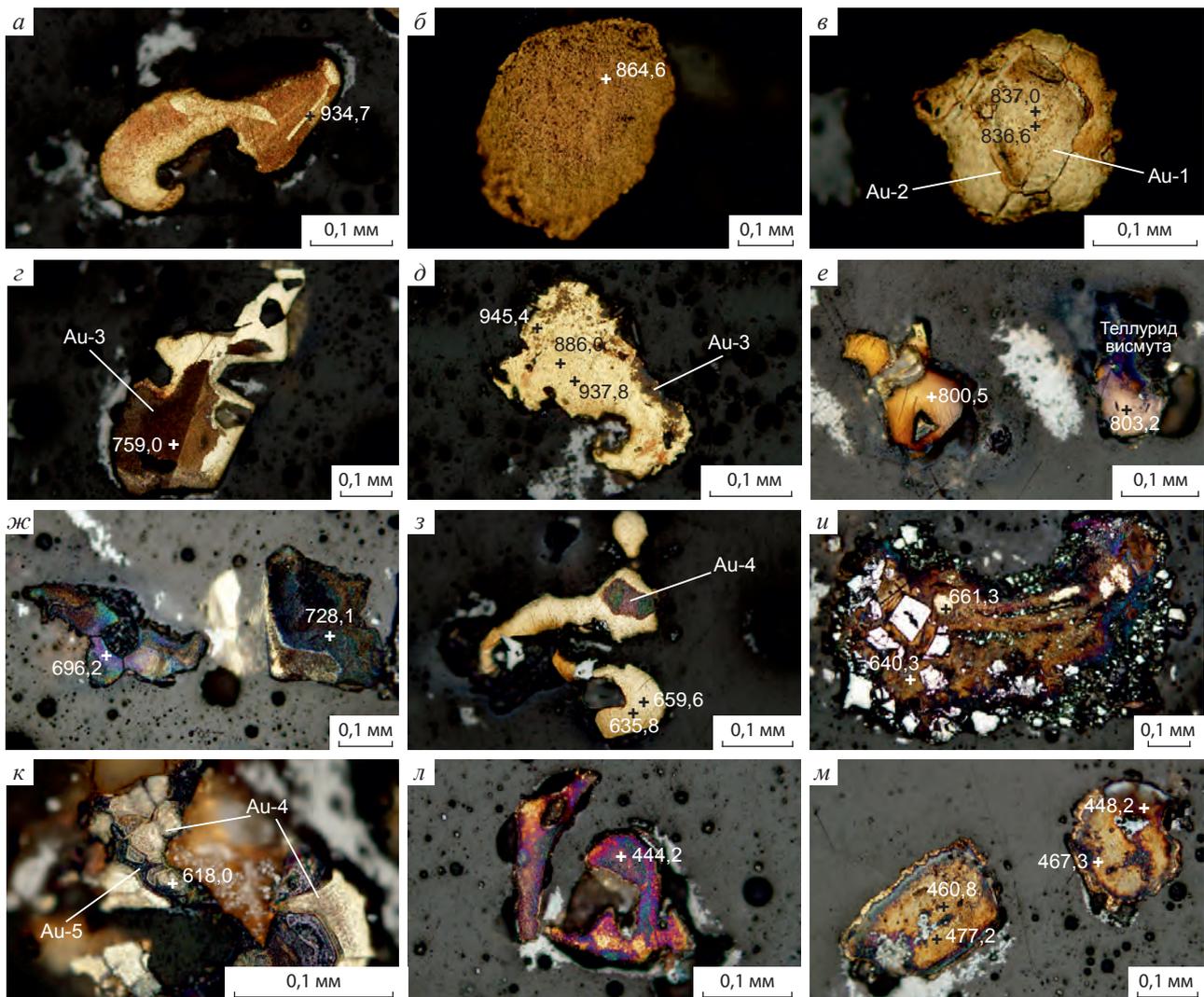
Группы и разновидности золота		
Au-3	Au-4	Au-5
Золото-б		Золото-в
Гемиидиоморфные, трещинно-прожилковидные, интерстициальные, комковидно-цементационные золотины		Сложные сростки кристаллов (друзовидные, веточковидные, проволоковидные, скипетровидные и дендритовидные), тонкие трещинно-прожилковидные, редко гемиидиоморфные и интерстициальные золотины
Зеленовато-жёлтый, иногда серый с побежалостью		Ярко-жёлтый
Блестящая ямчато-бугорчатая, иногда ячеистая, со скульптурными отпечатками вмещающих пород		Ровная, мелкоямчатая или губчатая, иногда со ступенями роста
Плёнки гидроксидов железа и сульфидные, сростания (10–100%) с рудными минералами, редко с кварцем		Плёнки ультратонкие высокосеребристые, редко сростания с мелкозернистым кварцем
Неокатанное		Неокатанное
~80		~20
Неяснозернистое с диффузионными зонами более высокопробного состава или в виде реликтов в высокопробном золоте, имеющем пористое строение	Пятнисто-неоднородное с признаками дезинтеграции, диффузионными зонами, межзерновыми промежутками, залеченными более низкопробным золотом (Au-5). Тонкие коррозионные высокопробные плёнки. Тонкопористое, эмульсионно-глобулярное строение золота с зёрнами арсенипирита	Неясно и слабо выраженное зональное. Отчётливая тонкая коррозионная оболочка (>950‰). Заполняет прожилки при дезинтеграции Au-4, трещины в сульфидах, гидроксидах железа, кварце. В сростках с акантитом и сульфидами висмута
750–945 (относительно низкопробное до высокопробного)	620–740 (низкопробное до относительно низкопробного)	400–560 (высокосеребристое или электрум)
Постоянно Bi (0,09–0,21), Te (до 0,09), W (до ~0,08), спорадически Sn (до 0,14)	Постоянно Te (0,06–0,17), Bi (0,05–0,14 до 0,33), As (0,03–0,11), Pt (0,03–0,23)	Постоянно Te (0,10–0,23), W (0,02–0,10), спорадически As (до 0,13), Pb (до 0,09), Bi (до 0,13), Sb (до 0,04), Pd (0,04–0,07)
Арсенид-теллуридная (арсенипирит, пирит, пирротин, сфалерит, халькопирит, теллуриды висмута или галеновисмутит)	Арсенипирит-галеновисмутитовая (арсенипирит, пирит, сфалерит, галеновисмутит, самородный висмут, серебро)	Золото-серебряная (пирит, пирротин, галенит, пираргирит, сфалерит, акантит, самородное серебро)
Позже Au-1 и Au-2, при поступлении новых порций растворов; нижние и средние части рудного интервала	Поздняя генерация; верхние части рудного интервала	
Фронт, Глобус, Плацдарм, Берентал-Северный		Плацдарм, Берентал-Северный, Кункуйское

существенно иного состава, чем при образовании Au-1 и Au-2. Для него характерны значительные диффузионные преобразования с выносом серебра. Au-4 – следующая генерация золота с повышенным содержанием изоморфной примеси серебра, о неравновесных условиях отложения которой свидетельствуют диффузионные преобразования, присутствие слабо раскристаллизованных золото-мышьяковистых гелей и «залечивание» дезинтегрированного золота четвёртой группы более поздним высокосеребристым Au-5.

Таким образом, особенности морфологии и внутреннего строения выделений самородного золота, изменчивый химический состав, взаимоотношения с другими минералами свидетельствуют о

многократном отложении золота и его эпикристаллизационных преобразованиях. Наличие нескольких групп золота на различных рудопроявлениях Берентальского рудного поля говорит о сложной истории перекристаллизации золота.

Выявленные характерные признаки золота указывают на пост- или интарудные преобразования [16], сопровождающиеся многократным перераспределением золота. При этом сохраняется свойственное объектам с вертикальной зональностью повышение пробности с глубиной и типичное для поздних генераций обогащение Pb, Bi и Te [9]. Так, для более глубокого уровня эрозийного среза (рудопроявление Фронт) характерно присутствие Au-1, Au-2 и Au-3 в золото-висмутиновой и золото-



**Рис. 4. ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА ГЕНЕРАЦИЙ ЗОЛОТА РУДОПРОЯВЛЕНИЙ БЕРЕНТАЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ И ИХ ВЗАИМО-ОТНОШЕНИЯ (монтированный полированный шлиф, травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ ):**

*а* – зернистое высокопробное Au-1; *б* – пористое «медистое» Au-1 со структурами распада и твёрдофазной перекристаллизацией по периферии; *в* – дезинтеграция среднепробного Au-1 с межзерновыми промежутками, заполненными высокопробным Au-2; *г* – Au-3 относительно низкой пробности с диффузионной каймой более высокого состава; *д* – высокопробное пористое Au-3 с реликтами Au-3 средней пробности; *е* – монозёрна Au-3 средней пробности в сростании с теллуридами висмута; *ж* – относительно низкопробное Au-4 со следами дезинтеграции и диффузионной границей более высокопробного состава; *з* – относительно низкопробное Au-4 с реликтами более низкопробного Au-4; *и* – относительно низкопробное Au-4 с включениями кристаллов арсенипирита; *к* – неоднородное «коллоидное» относительно низкопробное Au-4 со следами дезинтеграции и заполненными высоко-серебристым Au-5 прожилками; *л* – неяснозональное низкопробное Au-5; *м* – электрум неяснозонального строения с тонкой коррозионной высокопробной оболочкой

теллуридной минеральной ассоциациях, причём наибольшей продуктивностью обладает золото третьей группы.

На средних горизонтах (рудопроявления Глобус, Плацдарм), где развита золото-галеновисму-

титовая минеральная ассоциация, более высокопробное Au-4 и Au-2 не выявлено, главную роль играют Au-3 и более низкопробное золото четвёртой группы. Au-4 преобладает на верхних горизонтах эрозионного среза в областях развития золото-

серебряной минеральной ассоциации (рудопоявления Берентал, Кункуйское), однако на этом уровне распространено и низкопробное золото (электрум) пятой группы.

Первичное отложение Au-1 и Au-2 в пределах Берентальского рудного поля происходило в гранитах в результате их метасоматической переработки. Дальнейшее изменение параметров метасоматическо-гидротермальной системы сопровождалось перераспределением средне- и высокопробного золота (рекристаллизация, диффузионные процессы) с частичным обособлением высокопробного Au-3, отлагавшегося в составе сульфидно-теллуридной ассоциации, которая на более высоких уровнях эрозионного среза сменялась сульфидно-висмутовой (с галеновисмутитом, сульфидами и сульфотеллуридами висмута, самородным

висмутом). Выделение этих ассоциаций не противоречит ранее выявленным в пределах рудного поля (но без разделения на две вышеупомянутые) сульфотеллуридно-висмутовой [3] или мальдонит-золото-сульфотеллуридной [18].

На верхнем (наиболее низкотемпературном) уровне формировались низкопробное Au-4 и Au-5, локализованные в тектонически ослабленных зонах в северной части интрузива и во вмещающих осадочных породах. Предполагается, что при образовании золота четвертой группы имели место как процессы осаждения из коллоидных растворов, так и разложения золото-серебряных сульфидов [6] или мальдонита [18].

В целом, описанная зональность соответствует общепринятой [14] схеме зональности плутогенных гидротермальных месторождений золота.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амосов Р.А., Васин С.Л. Онтогенез самородного золота России. – М.: ЦНИГРИ, 1995.
2. Гамянин Г.Н., Гончаров В.И., Горячев Н.А. Золото-редкометалльные месторождения Северо-востока России // Тихоокеанская геология. 1998. № 3. С. 94–103.
3. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998.
4. Зеленов В.И. Методика исследования золото- и серебродержащих руд. – М.: Недра, 1989.
5. Кузнецов В.М., Горячев Н.А., Жигалов С.В., Савва Н.Е. Структура и рудоносность Мякит-Хурчанского рудно-россыпного узла // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2011. № 4. С. 37–51.
6. Литвиненко И.С., Шилина Л.А. Типоморфизм самородного золота золото-редкометалльного рудопоявления Берентал (Северо-Восток России) // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии. Благовещенск, 2018. Т. 1. С. 122–125.
7. Литвиненко И.С., Шилина Л.А. Типоморфизм самородного золота рудопоявления Плацдарм (Северо-Восток России) // Чтения памяти акад. К.В.Симкова. Мат-лы докл. Всеросс. науч. конф. Магадан, 2017. С. 91–93.
8. Месторождение золота в гранитоидном штоке Бутарный (Северо-Восток России) / А.В.Волков, Н.В.Черепанова, В.Ю.Прокофьев и др. // Геология рудных месторождений. 2013. № 3. С. 214–237.
9. Николаева Л.А. Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. – М.: Недра, 1978.
10. Николаева Л.А. Методическое руководство по изучению самородного золота при геологоразведочных работах. – М.: ЦНИГРИ, 1985.
11. Петровская Н.В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). – М.: Наука, 1973.
12. Позднякова Н.Н. Внутреннее строение самородного золота Берентальского рудного поля (Яно-Колымский золотоносный пояс) // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения). Мат-лы минералогического семинара с междунар. участием. Сыктывкар, 2016. С. 54–55.
13. Попов Ю.В., Ивасенко Р.Н. Опыт изучения типоморфных особенностей золота (Берентальское рудное поле, Магаданская область) // Инновационные перспективы Донбасса. Мат-лы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. Донецк, 2018. С. 10–14.
14. Рундквист Д.В., Нежинский И.А. Зональность эндогенных рудных месторождений. – Л.: Недра, 1975.
15. Савва Н.Е., Парфенов М.И., Комина В.И. Генетическая природа бимодального распределения пробности шлихового золота россыпи руч. Плацдарм (южные отроги Мякитского интрузива) // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики. Магадан, 2003. Т. 3. С. 132–135.
16. Савва Н.Е., Прейс В.К. Атлас самородного золота Севера-Востока СССР. – М.: Наука, 1990.

17. *Самородное золото рудных и россыпных месторождений России. Атлас / Отв. ред. Б.К.Михайлов. – Москва: Акварель, 2015.*
18. *Соломенцева Л.А., Литвиненко И.С. Типоморфизм самородного золота золото-редкометалльного рудного проявления Фронт (Северо-восток России) // Вестн. Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2015. № 2. С. 28–39.*
19. *Типоморфизм самородного золота. Методические рекомендации для геологоразведочных работ / Л.А.Николаева, А.М.Гаврилов, А.Н.Некрасова и др. – М.: ЦНИГРИ, 2003.*
20. *U-Pb-SHIMP-возраст гранитоидов Главного Батолитового пояса (Северо-Восток Азии) / В.В.Акинин, А.В.Прокопьев, Х.Торо и др. // Докл. РАН. 2009. Т. 426. № 2. С. 216–221.*

## NATIVE GOLD TYPOMORPHISM AT BERENTALSKOYE ORE FIELD MINERAL OCCURRENCES, MAGADAN REGION

N.N.Pozdnyakova<sup>1</sup>, R.N.Ivasenko<sup>2,3</sup>, Yu.N.Rodnov<sup>3</sup>, Yu.V.Popov<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow; <sup>2</sup> FSBIS Southern Federal University, Rostov-on-Don; <sup>3</sup> LLC Gold Mining Corporation, Magadan)

*Based on native gold morphology features analysis, its internal structure, chemical composition variations and relationships with other minerals in Berentalskoye field ores, five genetic gold groups are distinguished, their formation sequence, and relation to mineral associations and various levels of erosional truncation were defined. Gold typomorphism suggests its multiple deposition and epicrystallization transformations. Presence of several gold groups at various Berentalskoye ore field mineral occurrences indicates complex gold redistribution history within a single prolonged mineralization process.*

*Keywords: native gold, typomorphism, morphology, internal structure, admixture elements, mineral associations, gold deposit zoning.*



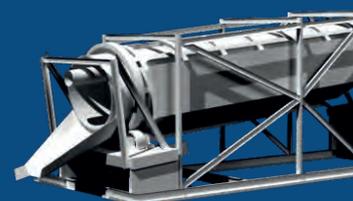
## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СОВЕЩАНИЕ НЕДРА СИБИРИ -2019

Дата проведения: **4-5 декабря**  
Место проведения: **г.Иркутск**

*На совещание приглашаются предприятия, ведущие добычу драгоценных металлов и алмазов из россыпных месторождений.*



**Темы совещания:** Обработка техногенных месторождений  
Обработка труднопромывистых песков россыпных месторождений  
Добыча и переработка песков россыпных месторождений дражным способом  
Обогатительное оборудование



## АКЦЕССОРНЫЕ СУЛЬФИДЫ И АРСЕНИДЫ ИЗ ХРОМИТИТОВ ЭРГАКСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА, ЗАПАДНЫЙ САЯН

*Объект исследования – акцессорная минерализация (сульфиды, сульфоарсениды и арсениды), обнаруженная в массивных хромититах Эргакского ультрамафитового массива, являющегося северо-восточным фрагментом Куртушибинского офиолитового пояса Западного Саяна. Выделены три парагенетические ассоциации рудных минералов, связанные с различными процессами становления и преобразования вмещающих их хромититов. Охарактеризованы типоморфные и химические особенности рудных минералов.*

*Ключевые слова: Западный Саян, Эргакский массив, ультрамафиты, хромититы, акцессорные сульфиды и арсениды, химизм, генезис.*

Ультрамафиты офиолитовых комплексов, являющиеся составной частью мафит-ультрамафитовых поясов складчатых областей, привлекают повышенное внимание исследователей как с позиции генезиса, учитывая их мантийную природу образования и связь с ранними этапами развития складчатых сооружений, так и с позиции рудоносности – своими промышленной хромитоносностью с включением минералов ЭПГ, асбестоносностью и никеленосностью латеритного типа (коры выветривания).

Из рудной минерализации, отмечаемой в реститовых ультрамафитах, только минералогия шпинелидов и минералов ЭПГ к настоящему времени наиболее хорошо изучена. Другие, встречающиеся здесь же, акцессорные рудные минералы (самородные фазы, сульфиды, сульфоарсениды, арсениды) в публикациях освещены значительно слабее.

Основные сложности при поиске и интерпретации акцессорных рудных минералов в реститовых ультрамафитах связаны с их крайне малыми размерами (5–20 мкм, редко до 2 мм), а также с незначительным содержанием в породах – от 0,01 до 0,2%. С помощью рентгеноспектрального микроанализа изучены акцессорные сульфиды, сульфоарсениды и арсениды в хромититах Эргакского ультрамафитового массива, входящего в состав Куртушибинского офиолитового пояса Западного Саяна.

*Геологическое строение.* Эргакский ультрамафитовый массив представляет собой крайний северо-восточный фрагмент Куртушибинского офиолитового пояса, выделенного ранее в северо-восточной части Западного Саяна [6, 7]. В плане он имеет овальную форму размером 14×8 км и вытянут в субмеридиональном направлении (рис. 1). Тектоническим нарушением субширотного простираения массив разделён на два блока с индивидуальными внутренним строением и петрографическим составом: южный – Лысанский (~75 км<sup>2</sup>) и северный – Малоэргакский (~10 км<sup>2</sup>), кото-

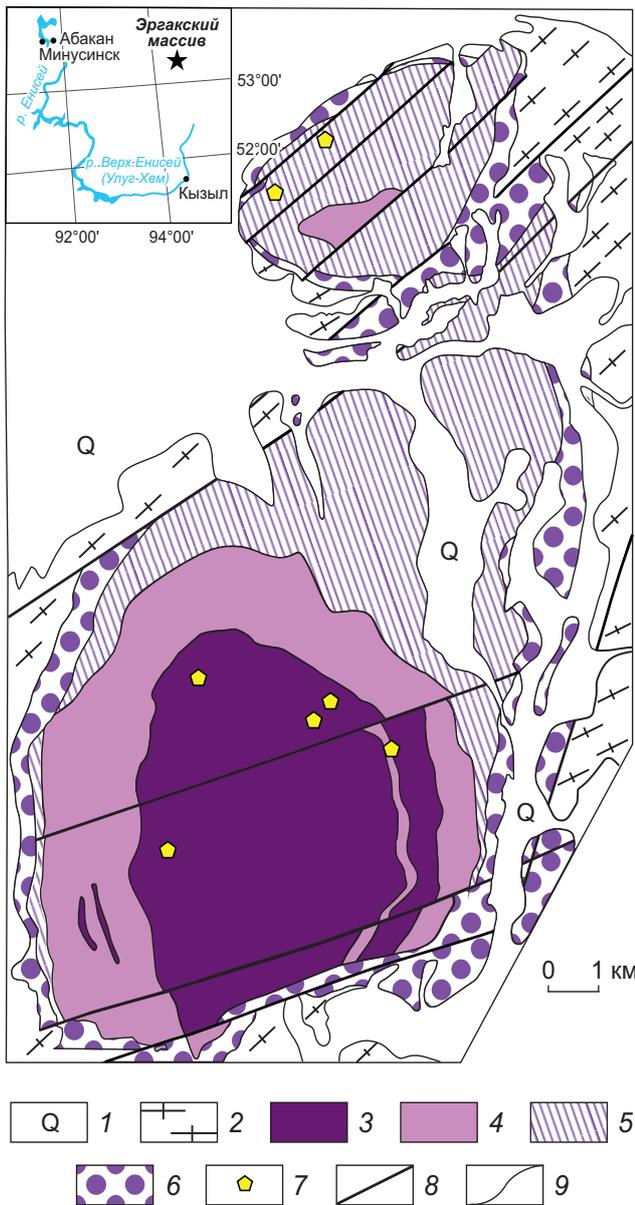


**Юричев  
Алексей Николаевич**

кандидат геолого-минералогических наук  
доцент кафедры петрографии,  
старший научный сотрудник лаборатории  
геохронологии и геодинамики  
juratur@sibmail.com

Национальный исследовательский  
Томский государственный университет,  
г. Томск





**Рис. 1. СХЕМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ЭРГАКСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (по [4, 10] с корректировками автора):**

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – венд-нижнекембрийская чингинская серия, V-Є<sub>1</sub>chп (базальты, трахибазальты, глинисто-кремнистые, углеродисто-глинисто-кремнистые, хлорит-кремнистые сланцы, микро-кварциты, прослои и линзы метаалевролитов, метапесчаников, метагравелитов, метакогломератов); 3 – гарцбургиты; 4 – дуниты, оливиниты; 5 – серпентиниты, серпентинизированные ультрамафиты нерасчленённые; 6 – серпентиновый меланж; 7 – рудопроявления хромититов; 8 – разрывные нарушения, разломы; 9 – геологические границы

рые по периферии охвачены тектоническим серпентинитовым меланжем. В строении Лысанского блока участвуют ультрамафиты реститового дунит-гарцбургитового полосчатого комплекса. Он сложен ритмично переслаивающимися дунитами и гарцбургитами, претерпевшими интенсивные пластические деформации [9]. В Малоэргакском блоке дуниты и гарцбургиты нередко преобразованы в регенерированные серпентин-оливиновые мета-ультрамафиты и оливиниты. По периферии блоков широко распространены серпентиниты. Рудопроявления хромититов выявлены в обеих частях массива, и в большинстве своём характеризуются от густовкрапленной до сливной текстурами. Они приурочены преимущественно к дунитам и оливинитам и контролируются полосчатой внутренней структурой массива. По химическому составу хромшпинелиды соответствуют алюмохромитам и хромитам [10].

Эргакский ультрамафитовый массив входит в состав Верхнеамыльского потенциально хромитоносного района, перспективы которого неоднократно рассматривались в работах предшественников [2–4, 10, 13]. При этом в выявленных хромититах также нередко отмечаются содержания минералов ЭПГ [3, 4].

*Методика исследования.* В соответствии с задачами настоящего исследования был использован традиционный подход к минераграфическому изучению рудных минералов с определением химического состава фаз рентгеновским микроанализом, применением метода растровой электронной микроскопии [15]. Последний включал исследование отдельных зёрен сульфидов, сульфоарсенидов, арсенидов и их агрегатов на сканирующем электронном микроскопе с последующими энергодисперсионным и волнодисперсионным микроанализами. Использовалась аппаратура: электронные микроскопы TESCAN Vega 3 SBH, Tescan Vega II LMU с энергодисперсионной (с детектором Si(Li) Standard) INCA Energy 350 и волнодисперсионной INCA Wave 700 приставками. Перед исследованием из отобранных образцов дунитов и хромититов изготавливались плоскопараллельные шлифы толщиной 3–4 мм с последующим напылением на их изучаемые поверхности слоя углерода (~25–30 нм). Измерения проводились на вольфрамовом катоде при ускоряющем напряжении 20 кВ, текущем токе 15 нА и времени набора спектра 120 с. Диаметр пучка зонда ~2 мкм. Эталонами сравнения служи-

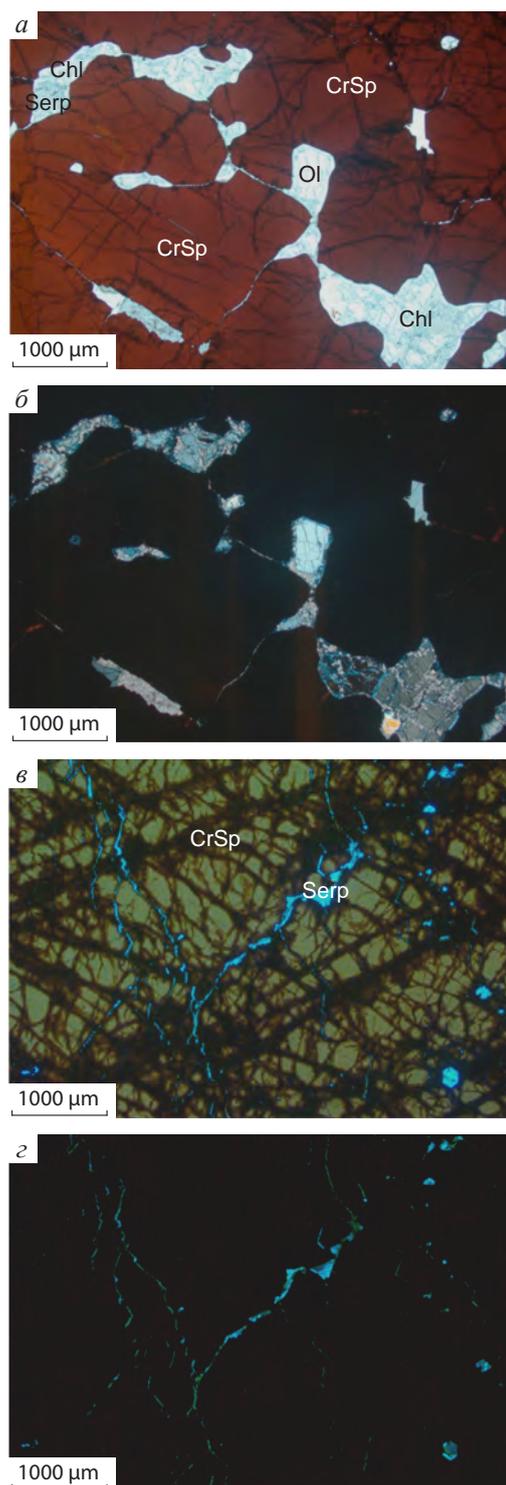
ли стандарты МАС (55 standard Universal Block Layout+F/Cup № 6835). Все анализы выполнены в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (аналитик Е.В.Корбовяк). Расчёты химических составов проводились по программе INCA-Issue 18b и дополнительным авторским программам.

**Анализ полученных результатов.** Исследование акцессорной минерализации выполнено в массивных хромититах Эргакского массива, сложенных в основном хромшпинелидами и по текстурным особенностям разделяемых на густовкрапленные и сливные (рис. 2). Первые состоят на 70–80% из мелко-среднезернистого (0,5–3,0 мм) агрегата зёрен хромшпинелидов и сопровождаются небольшим количеством силикатов, представленных реликтами оливина, серпентином, хромсодержащим хлоритом – киммереритом с примесью талька; вторые – на ~95–97% из мелкозернистого (0,5–2 мм) преимущественно сплошного агрегата хромитовых зёрен при незначительном содержании силикатов в его пределах. Густовкрапленные и сливные хромититы характеризуются близким гомогенным составом. Они умеренно-высокохромисты ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ~47–62%) и высокомагнезиальны ( $\text{MgO}$  ~13–15%).

Выявление акцессорной минерализации в отобранных образцах массивных хромититов стало возможно только путём их детального изучения под микроскопом. В ходе диагностики установлены сульфиды – пентландит  $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$ , кобальтпентландит  $(\text{Ni,Co,Fe})_9\text{S}_8$ , миллерит  $\text{NiS}$ , мышьяк содержащий миллерит  $\text{Ni(S,As)}$ , железистый миллерит  $(\text{Ni,Fe})\text{S}$ , хизлевудит  $\text{Ni}_3\text{S}_2$ , железистый хизлевудит  $(\text{Ni,Fe})_3\text{S}_2$ , галенит  $\text{PbS}$ , акантит  $\text{Ag}_2\text{S}$ , пирит  $\text{FeS}_2$ , халькозин  $\text{Cu}_2\text{S}$ , железистый халькозин  $(\text{Cu,Fe})_2\text{S}$ , халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ , стибнит  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ , сульфоарсениды – герсдорфит  $\text{NiAsS}$  и арсениды – маухерит  $\text{Ni}_{11}\text{As}_8$ , никелин  $\text{NiAs}$ .

**Сульфиды.** Наиболее распространённая и широко представленная по разновидностям группа минералов. Они встречаются в виде мелкозернистых (~5–20 мкм) или агрегативных выделений (до 0,15 мм) как в интерстициях зёрен хромшпинелидов, так и внутри их.

**Пентландит** (роль Ni возрастает до 43%) наблюдается преимущественно в силикатных интерстициях, намного реже внутри хромшпинелидов. Если в последних он формирует только единичные обособленные мелкие зёрна (до 20 мкм), то в интерстициях также представлен агрегативными выделе-



**Рис. 2. МАССИВНЫЕ ХРОМИТИТЫ ИЗ ЭРГАКСКОГО УЛЬТРА-МАФИТОВОГО МАССИВА:**

*a, б* – густовкрапленный хромитит; *в, з* – сливной хромитит. Фото шлифов в проходящем свете без анализатора (*a, в*) и с анализатором (*б, з*). CrSp – хромшпинелид; Ol – оливин; Serp – серпентин; Chl – хлорит (киммерерит)

ниями неправильной формы размером до 0,1 мм, по которым активно развивается миллерит (рис. 3, а–в). Нередко вокруг обособленных зёрен пентландита фиксируются каёмки замещения магнетитом. Такие зёрна характеризуются округлым обликом с корродированными границами.

В виде изоморфной примеси в химическом составе никелистых пентландитов постоянно присутствует кобальт (до 4,7%). Выявлено единичное зерно с содержанием Co ~15,3%, которое автором отнесено к кобальтпентландиту (табл. 1).

**Миллерит** – второй по распространению сульфид, развит повсеместно. Содержится преимущественно в виде самостоятельных округлых или удлинённых зёрен размером до 10 мкм, реже в виде зернистых агрегативных выделений размером до 0,15 мм, которые образуются по пентландиту или «залечивают» трещинки в зёрнах хромшпинелидов (см. рис. 3, в–д). Выделения характеризуются корродированными границами и неправильной формой.

По особенностям химического состава минерала автором выделяются железистая (с содержанием Fe до 13,5%) и мышьяксодержащая (As до 4,4%) разновидности. При этом железистый миллерит отмечается только в виде включений в зёрнах хромшпинелидов, в своём химическом составе имеет примесь Co до 5,9% (см. табл. 1) и часто находится в тесной ассоциации с сульфоарсенидами ЭПГ (см. рис. 3, е).

**Хизлеводит** встречается в виде мелких (до 0,02 мм) зернистых агрегативных выделений неправильной формы как в силикатах интерстиций, так и в хромитовом цементе (см. рис. 3, ж, з). В его химическом составе постоянно диагностируется примесь железа (до 2,5%). Образцы с повышенным содержанием железа (до 11%) отнесены автором к железистой разновидности (см. табл. 1).

**Галенит** распространён достаточно широко и отмечается в виде мелких (до 0,01 мм) обособленных зёрен округлой, неправильной формы в неоднородностях зёрен хромшпинелидов (рис. 4, а, б; см. рис. 3, и). Его химический состав близок к стехиометрическому и практически стерилен. Исключением является редкое присутствие в составе примеси железа (до 1,4%) (табл. 2).

**Акантит** близок по распространению к галениту и также в основном связан с неоднородностями в хромитовом цементе. Минерал содержится в виде мельчайших (до 5 мкм) агрегативных выде-

лений неправильной формы, часто в тесной ассоциации с самородным серебром (см. рис. 4, в–д). Последнее обстоятельство, наряду с малыми размерами акантита, усложняет диагностику его собственного химического состава из-за «заражения» серебром.

Остальные выявленные сульфиды (пирит, халькозин и его железистая разновидность, халькопирит, стибнит) распространены крайне редко. Они обнаружены и изучены на примере нескольких мелких (~5–10 мкм) самостоятельных проявлений, локализованных преимущественно в зонах трещиноватости хромитовых зёрен (см. рис. 3, б, рис. 4, е, ж). Данная группа сульфидов характеризуется беспримесными «чистыми» составами, близкими к стехиометрическим (см. табл. 1, 2). Халькозин часто ассоциирует с миллеритом, а его железистая разновидность (содержание Fe до 11,1%) – с железистым миллеритом и никелистым пентландитом (см. рис. 3, б).

**Сульфоарсениды.** Имеют крайне ограниченное распространение. Изучены на примере одного зерна субизометрической формы размером ~0,6 мкм, включённого в зерно хромшпинели. По химическому составу выявленный сульфоарсенид соответствует герсдорфиту с примесью кобальта (~0,71%), железа (~0,07%) и сурьмы (~1,84%) (см. табл. 2). Первые два элемента, очевидно, изоморфно замещают в формуле никель, а последний – мышьяк.

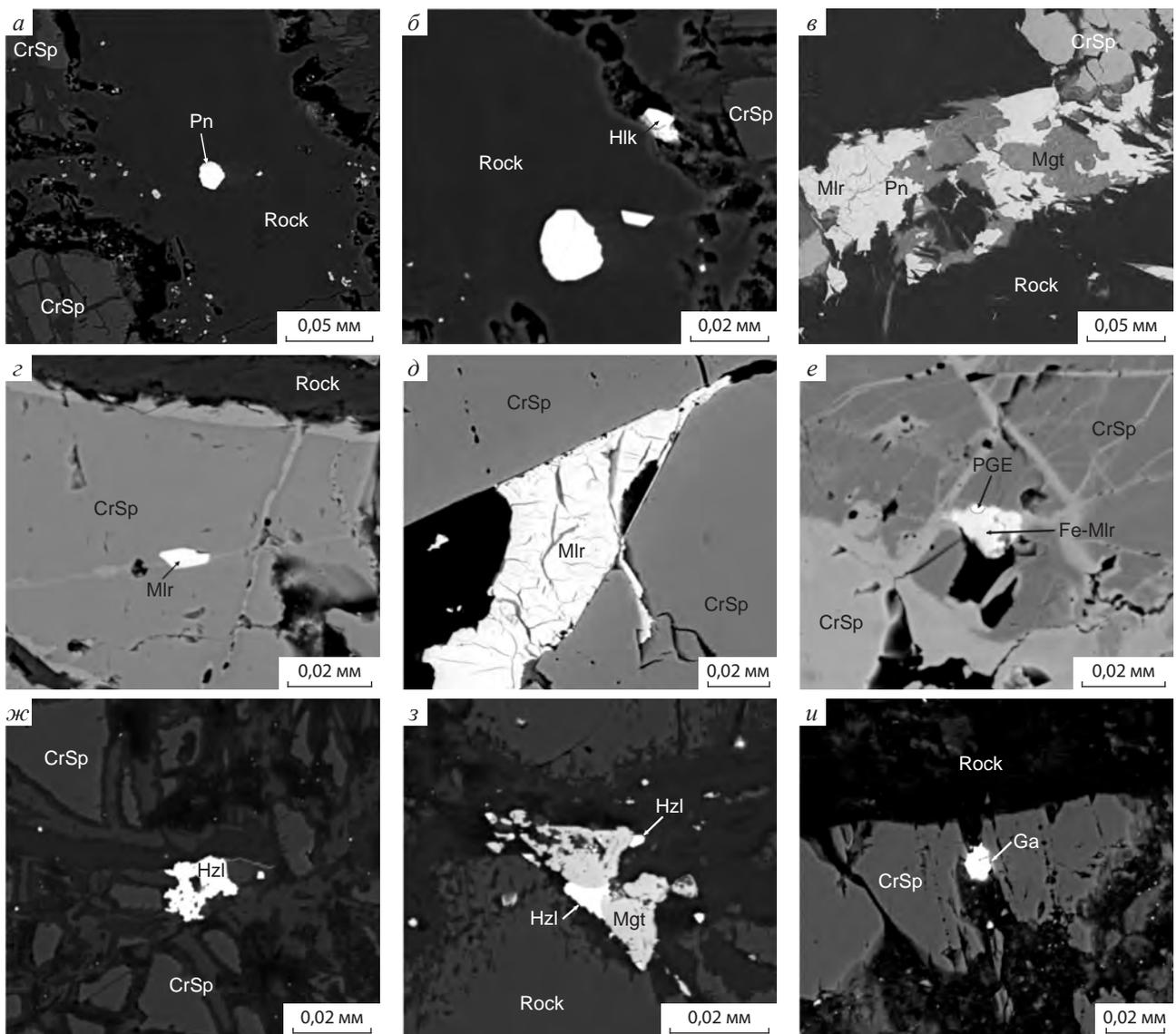
**Арсениды.** Являются второй группой по распространённости после сульфидов в хромититах Эргакского массива и представлены маухеритом и никелином.

**Маухерит** присутствует в виде мелких (до 4 мкм) обособленных субизометрических зёрен четырёхгранного или пятигранного облика внутри зёрен хромшпинелидов (см. рис. 4, з, и). Химический состав минерала близок к стехиометрическому, в качестве изоморфной примеси в нём постоянно присутствует сурьма (до 1,02%) (см. табл. 2).

**Никелин** установлен единожды в хромитовом цементе в виде мелкого (~4–5 мкм) округлого выделения-сростка с брейтгауптитом (NiSb). Химический состав минерала близок к стехиометрическому (см. табл. 2).

В заключение сделаем следующие выводы.

Акцессорная минерализация (сульфиды, сульфоарсениды, арсениды) в реститовых ультрамафитах Куртушибинского офиолитового пояса Запад-



**Рис. 3. АКЦЕССОРНАЯ СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ИЗ ХРОМИТИТОВ ЭРГАКСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (режим BSE):**

Pn – пентландит; Mlr – миллерит; Fe-Mlr – железистый миллерит; Hzl – хизлевудит; Hlk – халькозин; Ga – галенит; PGE – сульфоарсенид ЭПГ; CrSp – хромшпинелид; Mgt – магнетит; Rock – силикатные интерстиции

ного Саяна практически не изучена. Ранее при проведении тематических исследований данных массивов на хромитовое оруденение ей не уделялось должного внимания несмотря на то, что входящие в её состав рудные минералы служат источником уникальной информации об условиях формирования вмещающих их ультрамафитов [5, 11, 12, 14]. Настоящее исследование даёт новые данные по минералогии и распределению акцессорной сульфидной, сульфоарсенидной и арсенидной минерали-

зации в массивных подиформных хромититах Эргакского ультрамафитового массива.

Полученные результаты показывают, что преобладающими акцессорными минералами являются сульфиды при резко подчинённой роли сульфоарсенидов и арсенидов. По химическому составу, типоморфным особенностям и взаимоотношению друг с другом изученную акцессорную минерализацию можно разделить на три генерации (или парагенетические ассоциации), связанные с различ-

**1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АКЦЕССОРНЫХ СУЛЬФИДОВ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЙ  
ИЗ МАССИВНЫХ ХРОМИТИТОВ ЭРГАКСКОГО МАССИВА, %**

Минералы	Ni	Co	Fe	Cu	S	As	Сумма	Формула
Пирит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	–	–	44,66	–	55,18	–	99,84	Fe <sub>0,93</sub> S <sub>2,07</sub>
	–	–	45,52	–	54,63	–	100,15	Fe <sub>0,96</sub> S <sub>2,04</sub>
Халькопирит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	–	–	29,49	34,02	35,79	–	99,31	Cu <sub>0,96</sub> Fe <sub>0,95</sub> S <sub>2,09</sub>
Пентландит	Самостоятельные зёрна в интерстициях							
	42,92	2,19	21,30	–	33,59	–	100	(Ni <sub>5,59</sub> Co <sub>0,29</sub> Fe <sub>2,92</sub> ) <sub>8,80</sub> S <sub>8,20</sub>
	43,07	2,19	21,66	–	33,08	–	100	(Ni <sub>5,69</sub> Co <sub>0,29</sub> Fe <sub>3,01</sub> ) <sub>8,99</sub> S <sub>8,01</sub>
	41,51	1,25	23,64	–	33,60	–	100	(Ni <sub>5,40</sub> Co <sub>0,16</sub> Fe <sub>3,23</sub> ) <sub>8,79</sub> S <sub>8,21</sub>
	41,31	2,57	23,20	–	32,92	–	100	(Ni <sub>5,48</sub> Co <sub>0,34</sub> Fe <sub>3,23</sub> ) <sub>9,05</sub> S <sub>7,95</sub>
	40,92	2,99	22,84	–	33,25	–	100	(Ni <sub>5,38</sub> Co <sub>0,39</sub> Fe <sub>3,16</sub> ) <sub>8,93</sub> S <sub>8,07</sub>
	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	37,79	4,69	24,37	–	33,14	–	99,99	(Ni <sub>4,98</sub> Co <sub>0,62</sub> Fe <sub>3,38</sub> ) <sub>8,98</sub> S <sub>8,02</sub>
45,05	3,10	18,24	–	32,61	–	99,00	(Ni <sub>6,04</sub> Co <sub>0,41</sub> Fe <sub>2,57</sub> ) <sub>9,02</sub> S <sub>7,98</sub>	
Кобальтпентландит	Самостоятельные зёрна в интерстициях							
	36,97	14,30	16,06	–	32,67	–	100	(Ni <sub>4,94</sub> Co <sub>1,90</sub> Fe <sub>2,26</sub> ) <sub>9,10</sub> S <sub>7,90</sub>
Миллерит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	63,25	–	0,26	–	36,30	–	99,82	(Ni <sub>0,95</sub> Fe <sub>0,01</sub> ) <sub>0,96</sub> S <sub>1,04</sub>
	64,20	–	–	–	35,29	–	99,49	Ni <sub>1,00</sub> S <sub>1,00</sub>
	63,14	–	0,76	–	36,26	–	100,16	(Ni <sub>0,95</sub> Fe <sub>0,01</sub> ) <sub>0,96</sub> S <sub>1,04</sub>
	Самостоятельные зёрна и агрегативные выделения в интерстициях							
	63,68	–	–	–	35,78	–	99,46	Ni <sub>0,97</sub> S <sub>1,00</sub>
	66,04	–	–	–	33,45	–	99,49	Ni <sub>1,07</sub> S <sub>0,93</sub>
	60,95	1,23	1,33	–	36,59	–	100,11	(Ni <sub>0,91</sub> Co <sub>0,02</sub> Fe <sub>0,02</sub> ) <sub>0,95</sub> S <sub>1,05</sub>
	62,40	–	1,34	–	35,15	–	98,89	(Ni <sub>0,97</sub> Fe <sub>0,02</sub> ) <sub>0,99</sub> S <sub>1,01</sub>
	Включения в интерстициях, замещение по пентландиту							
63,33	–	1,31	–	35,36	–	100	(Ni <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,02</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,00</sub>	
62,10	–	0,91	–	34,48	–	97,49	(Ni <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,02</sub> ) <sub>1,00</sub> S <sub>1,00</sub>	
Железистый миллерит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	45,55	5,91	12,17	–	36,59	–	100,21	(Ni <sub>0,68</sub> Co <sub>0,09</sub> Fe <sub>0,19</sub> ) <sub>0,96</sub> S <sub>1,04</sub>
	52,04	–	13,45	–	33,42	–	98,92	(Ni <sub>0,85</sub> Fe <sub>0,23</sub> ) <sub>1,08</sub> S <sub>0,92</sub>
	51,06	3,14	11,09	–	33,18	–	98,47	(Ni <sub>0,84</sub> Co <sub>0,05</sub> Fe <sub>0,19</sub> ) <sub>1,08</sub> S <sub>0,92</sub>
	61,18	–	3,78	–	34,28	–	99,24	(Ni <sub>0,97</sub> Fe <sub>0,06</sub> ) <sub>1,03</sub> S <sub>0,97</sub>
61,12	–	4,03	–	34,52	–	99,67	(Ni <sub>0,97</sub> Fe <sub>0,06</sub> ) <sub>1,03</sub> S <sub>0,97</sub>	
Мышьяк-содержащий миллерит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	61,88	–	0,88	–	32,22	4,38	99,35	(Ni <sub>0,99</sub> Fe <sub>0,01</sub> ) <sub>1,00</sub> (S <sub>0,94</sub> As <sub>0,06</sub> ) <sub>1,00</sub>
	Агрегативные выделения в интерстициях							
56,20	1,68	5,69	–	33,32	3,11	100	(Ni <sub>0,89</sub> Co <sub>0,02</sub> Fe <sub>0,09</sub> ) <sub>1,00</sub> (S <sub>0,96</sub> As <sub>0,04</sub> ) <sub>1,00</sub>	
Хизлевудит	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	71,67	–	0,74	–	27,59	–	100	(Ni <sub>2,84</sub> Fe <sub>0,03</sub> ) <sub>2,87</sub> S <sub>2,13</sub>
	71,71	–	0,78	–	27,51	–	100	(Ni <sub>2,85</sub> Fe <sub>0,03</sub> ) <sub>2,88</sub> S <sub>2,12</sub>
	70,42	–	1,79	–	27,32	–	99,53	(Ni <sub>2,82</sub> Fe <sub>0,08</sub> ) <sub>2,90</sub> S <sub>2,10</sub>
	Агрегативные выделения в интерстициях							
	70,35	–	2,59	–	27,06	–	100	(Ni <sub>2,84</sub> Fe <sub>0,11</sub> ) <sub>2,95</sub> S <sub>2,05</sub>
69,70	0,54	1,84	–	27,56	–	99,64	(Ni <sub>2,76</sub> Co <sub>0,02</sub> Fe <sub>0,08</sub> ) <sub>2,86</sub> S <sub>2,14</sub>	
69,96	–	1,20	–	27,16	–	98,32	(Ni <sub>2,82</sub> Fe <sub>0,05</sub> ) <sub>2,87</sub> S <sub>2,13</sub>	
Fe-хизлевудит	Агрегативные выделения в интерстициях							
62,40	–	10,92	–	26,63	–	99,95	(Ni <sub>2,56</sub> Fe <sub>0,47</sub> ) <sub>3,03</sub> S <sub>1,97</sub>	
Халькозин	Тонкозернистые агрегативные выделения в интерстициях							
–	–	2,84	76,61	20,20	–	99,65	(Cu <sub>1,91</sub> Fe <sub>0,08</sub> ) <sub>1,99</sub> S <sub>1,01</sub>	
Fe-халькозин	Включения в зёрнах хромшпинелидов							
	–	–	11,11	66,97	21,26	–	99,34	(Cu <sub>1,59</sub> Fe <sub>0,30</sub> ) <sub>1,89</sub> S <sub>1,11</sub>
	–	–	4,27	74,22	21,42	–	99,91	(Cu <sub>1,75</sub> Fe <sub>0,12</sub> ) <sub>1,87</sub> S <sub>1,13</sub>

**2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АКЦЕССОРНЫХ СУЛЬФИДОВ, СУЛЬФОАРСЕНИДОВ И АРСЕНИДОВ  
ТРЕТЬЕЙ ПАРАГЕНЕТИЧЕСКОЙ АССОЦИАЦИИ, ОТМЕЧАЕМЫХ В ВИДЕ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЗЁРНАХ ХРОМШПИНЕЛИДОВ  
ИЗ МАССИВНЫХ ХРОМИТИТОВ ЭРГАКСКОГО МАССИВА, %**

Минералы	Ni	Co	Fe	Pb	Ag	Sb	S	As	Сумма	Формула
Галенит	–	–	–	85,84	–	–	13,43	–	99,27	$Pb_{0,99}S_{1,01}$
	–	–	–	85,56	–	–	13,67	–	99,23	$Pb_{0,97}S_{1,03}$
	–	–	–	86,02	–	–	13,69	–	99,71	$Pb_{0,97}S_{1,03}$
	–	–	0,31	86,39	–	–	13,60	–	100,29	$(Pb_{0,98}Fe_{0,01})_{0,99}S_{1,01}$
	–	–	–	86,32	–	–	13,71	–	100,03	$Pb_{0,98}S_{1,02}$
	–	–	1,41	84,42	–	–	13,71	–	99,55	$(Pb_{0,95}Fe_{0,05})_{1,00}S_{1,00}$
	–	–	–	86,37	–	–	13,75	–	100,12	$Pb_{0,97}S_{1,03}$
	–	–	–	85,47	–	–	13,75	–	99,22	$Pb_{0,96}S_{1,04}$
Акантит	–	–	–	–	86,74	–	13,44	–	100,18	$Ag_{1,92}S_{1,08}$
	–	–	–	–	89,39	–	10,03	–	99,42	*
	–	–	–	–	88,92	–	10,46	–	99,38	*
	–	–	2,64	–	87,26	–	10,16	–	100,06	*
Стибнит	–	–	–	–	–	72,27	27,87	–	100,14	$Sb_{2,04}S_{2,96}$
Герсдорфит	32,66	0,71	0,07	–	–	1,84	18,88	45,24	99,39	$(Ni_{0,95}Co_{0,02})_{0,97}(As_{1,02}Sb_{0,02})_{1,04}S_{0,99}$
	51,67	–	–	–	–	0,90	–	47,34	99,91	$Ni_{1,01}(As_{7,90}Sb_{0,09})_{7,99}$
Маухерит	50,95	–	–	–	–	0,90	–	47,02	98,87	$Ni_{10,94}(As_{7,97}Sb_{0,09})_{8,06}$
	51,41	–	–	–	–	1,02	–	46,99	99,42	$Ni_{11,02}(As_{7,88}Sb_{0,10})_{7,98}$
Никелин	43,82	–	–	–	–	–	–	56,12	99,94	$Ni_{1,00}As_{1,00}$

Примечание. \* – «заражение» химического состава минерала присутствием механической примеси самородного серебра.

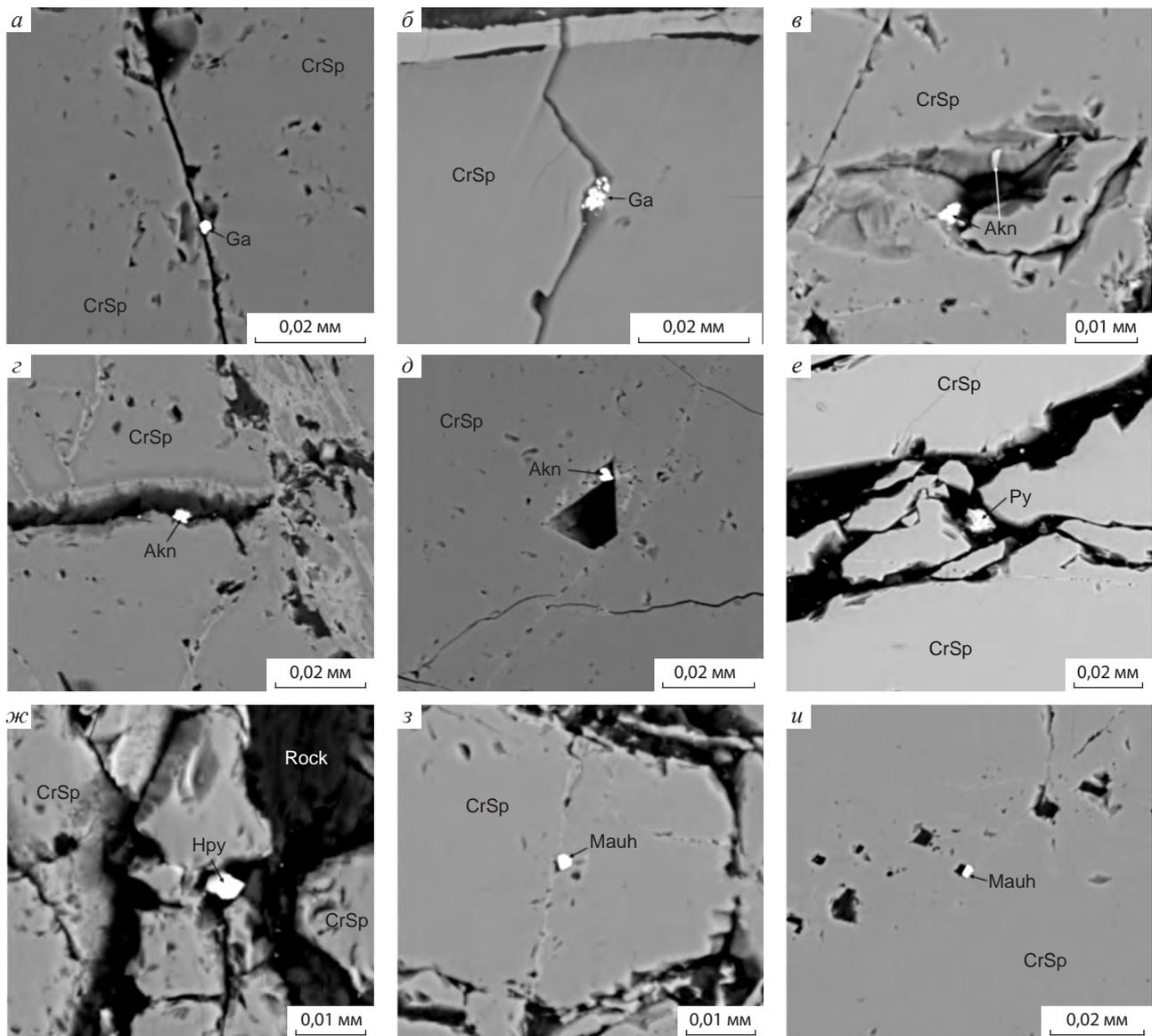
ными процессами становления и преобразования вмещающих их хромититов.

К первой генетической группе, по-видимому, относятся «первично мантийные» рудные минералы. Из хромититов Эргакского массива автором к ней причислены пирит и халькопирит, отмечаемые в виде мелких обособленных включений в зёрнах хромшпинелидов и характеризующиеся стерильными составами, близкими к стехиометрическим. Наличие халькопирита в составе первой парагенетической ассоциации, наряду с ранее полученными выводами по минерализации ЭПГ (не выявлено ни одного включения металлического твёрдого раствора системы Os–Ir–Ru при постоянном присутствии дисульфидов ряда лаурит–эрликманит) [3, 4], может свидетельствовать о высоком парциальном давлении серы на момент формирования эргакских хромититов.

Акцессорные рудные минералы второй парагенетической ассоциации представлены наиболее широко и встречаются как в силикатных интерстициях, так и в основной хромитовой матрице. К данной группе отнесены исключительно сульфиды (пентландит, кобальтпентландит, миллерит и его железистая разновидность, хизлевудит и его желе-

зистая разновидность, халькозин и его железистая разновидность). Их формирование автор склонен связывать с массовой лизардитизацией хромититов и включающих их дунитов во время регрессивного регионального метаморфизма [11, 14], когда высвобождавшиеся при серпентинизации оливинов никель и кобальт соединялись с серой гидротермальных растворов и кристаллизовались преимущественно в виде сульфидов системы Fe–Ni–Co–S. Характерная особенность данной минеральной ассоциации – присутствие в ней в основном сульфидов никеля и железа с высокой изоморфной примесью кобальта и развитием процессов взаимодиффузии компонентов, что приводит к образованию редких разновидностей сульфидных минералов (никелистого и кобальтистого пентландитов, железистых разновидностей миллерита, хизлевудита, халькозина), и почти полное отсутствие медьсодержащих сульфидов. Исключением является только халькозин, который, вероятно, формировался по первичному халькопириту.

Сульфиды второй парагенетической ассоциации (железистые миллериты) в хромититах Эргакского массива часто находятся в тесной ассоциации с сульфоарсенидами ЭПГ. Ранее подобная связь



**Рис. 4. АКЦЕССОРНАЯ СУЛЬФИДНАЯ И АРСЕНИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ИЗ ХРОМИТИТОВ ЭРГАКСКОГО УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА (режим BSE):**

Ga – галенит; Akn – акантит; Py – пирит; Hpy – халькопирит; Mauh – маухерит; CrSp – хромшпинелид; Rock – силикатные интерстиции

отмечалась в реститовых ультрамафитах Урала [1, 5, 8], что, очевидно, указывает на одновременное (или близкое по времени) формирование сульфидов данной парагенетической ассоциации и вторичных сульфидов и сульфоарсенидов ЭПГ, а также на их возможную связь с едиными процессами регрессивного регионального метаморфизма.

Третья парагенетическая ассоциация представлена сульфидами (галенитом, акантитом, стибни-

том), сульфоарсенидом (герсдорфитом) и арсенидами (маухеритом, никелином). Для неё характерно накопление редких «нетипичных» для реститовых ультрамафитов элементов (Pb, Ag, Sb, As), которые выступают не в качестве примесей, а становятся минералообразующими. Появление данной ассоциации автор предположительно связывает с процессом ремобилизации элементов под воздействием просачивающихся более поздних наложен-

ных флюидов, богатых летучими (S, As) и цветными элементами.

Выделенный в отдельную разновидность мышьяксодержащий миллерит (As до 4,4%), особен-

ность которого состоит в замещении части серы мышьяком, очевидно, является переходной разновидностью от второй парагенетической ассоциации к сульфоарсенидным фазам третьей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дистлер В.В., Крячко В.В., Юдовская М.А. Условия образования оруденения платиновых металлов в хромитовых рудах Кемпирсайского рудного поля // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45. № 1. С. 44–74.
2. Забияка А.И. Верхнеамыльский хромитоносный район // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. Красноярск, 2008. Вып. 9. С. 314–324.
3. Кривенко А.П., Подлипский М.Ю., Агафонов Л.В. Рудная минерализация гипербазитов Эргакского массива и перспективы его хромитоносности // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. Кызыл, 2005. Вып. 8. С. 32–44.
4. Кривенко А.П., Подлипский М.Ю., Кубышев А.И., Катанов С.Г. Перспективы хромитоносности и платиноносности гипербазитов Верхнеамыльского района в Западном Саяне // Минеральные ресурсы Красноярского края. Красноярск, 2002. Кн. 1. С. 314–324.
5. Макеев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. – СПб.: Наука, 1992.
6. Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна) / В.С.Соболев, Н.Л.Добрецов, Ю.Е.Молдаванцев и др. – Новосибирск: Наука, 1977.
7. Подвижность редких элементов при субдукционном метаморфизме (на примере глаукофановых сланцев Куртушибинского хребта, Западный Саян) / Н.И.Волкова, С.И.Ступаков, Г.А.Бабин и др. // Геохимия. 2009. № 4. С. 401–414.
8. Савельев Д.Е., Сергеев С.Н., Блинов И.А. Акцессорная минерализация в хромититах мантийного разреза офиолитов Крака // Вестн. Академии наук Республики Башкортостан. 2018. Т. 29. № 4. С. 63–72.
9. Чернышов А.И., Кичеева А.В., Подлипский М.Ю. Петроструктурные неоднородности ультрамафитов Эргакского хромитоносного массива (Западный Саян) // ЗРМО. 2016. Т. 145. № 5. С. 25–38.
10. Чернышов А.И., Лоскутов И.Ю., Кичеева А.В., Подлипский М.Ю. Потенциальная хромитоносность ультрамафитов Эргакского массива, северо-восток Западного Саяна // Руды и металлы. 2018. № 1. С. 47–53.
11. Юричев А.Н. Акцессорные сульфиды из реститовых ультрамафитов // Руды и металлы. 2015. № 2. С. 29–35.
12. Юричев А.Н. Акцессорные сульфиды Кемпирсайского ультрамафитового массива, Южный Урал // Руды и металлы. 2018. № 4. С. 67–75.
13. Юричев А.Н. Калнинский ультрамафитовый массив Западного Саяна: рудная минерализация и ее генетическая природа // Изв. Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 2. С. 61–69.
14. Economou M.I., Naldrett A.J. Sulfides associated with podiform bodies of chromite at Tsangli, Ermetria, Greece // Miner. Deposits. 1984. Vol. 19. № 4. P. 289–297.
15. Reed S.J.B. Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology. – N.Y.: Cambridge University Press, 2005.

## ACCESSORY SULPHIDES AND ARSENIDES FROM CHROMYTITES OF ERGAKSKY ULTRAMAFIC MASSIF, WESTERN SAYANY AREA

A.N.Yurichev (Tomsk State University, Tomsk)

The study focus is on accessory mineralization (sulphides, sulphoarsenides and arsenides) found in massive chromitites of Ergaksky ultramafic massif, which is a north-eastern fragment of Kurtushibinsky ophiolite belt of the Western Sayany area. Three paragenetic associations of ore minerals associated with various processes of formation and transformation of chromitites hosting them are identified. Typomorphic and chemical features of ore minerals are characterized.

Keywords: Western Sayany area, Ergaksky massif, ultramafites, chromitites, accessory sulphides and arsenides, chemistry, genesis.



РОССИЯ 2019

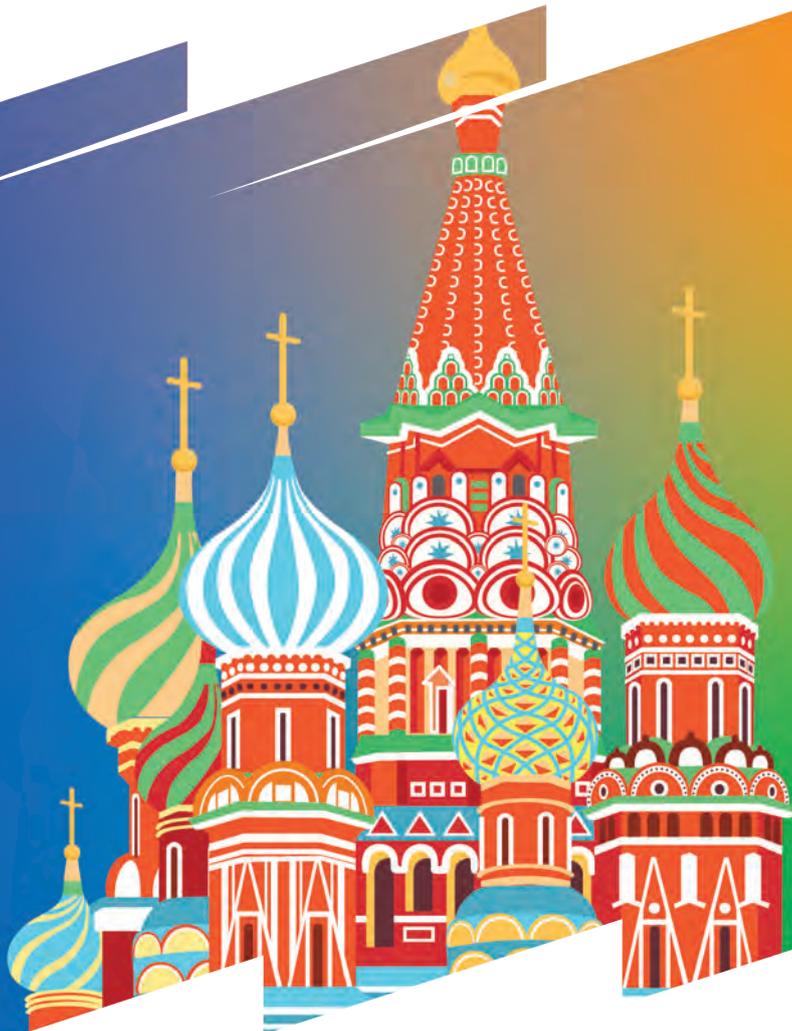
ФОРСАЙТ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ  
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

15

ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ МАЙНЕКС РОССИЯ

8-10 ОКТЯБРЯ – МОСКВА

[www.minexrussia.com](http://www.minexrussia.com)



**Москва – Россия**

Тел/Факс: +7 495 128 3577  
Тел: +7 915 482 92 84  
E-mail: [ru@minexforum.com](mailto:ru@minexforum.com)

**Нур-Султан – Казахстан**

Тел/Факс: +7 7172 696 836  
Тел: +7 7172 911 395  
E-mail: [kz@minexforum.com](mailto:kz@minexforum.com)

**Лондон – Великобритания**

Тел: + 44 1923 822 861  
Email: [uk@minexforum.com](mailto:uk@minexforum.com)



11 августа 2019 г. исполнилось 75 лет **Конкиной Ольге Михайловне**, кандидату геолого-минералогических наук, заведующей лабораторией месторождений благородных металлов, никеля, кобальта отдела анализа и мониторинга минерально-сырьевой базы ЦНИГРИ.

О.М.Конкина пришла в ЦНИГРИ в 1968 г. после окончания геологического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. Работала сначала в должности инженера, затем младшего научного сотрудника отдела минералогии в секторе месторождений никеля, во главе которого стоял М.Н.Годлевский. В 1978 г. защитила кандидатскую диссертацию.

О.М.Конкина – высококвалифицированный специалист в области геологии, прогноза и поисков месторождений никеля и металлов платиновой группы. В течение многих лет занималась изучением никеленосного магматизма Норильского района и Карело-Кольского региона, закономерностей распределения и форм нахождения металлов платиновой группы в медно-никелевых месторождениях. Участвовала в работах по созданию методического пособия по оценке прогнозных ресурсов и геолого-поисковых моделей месторождений никеля, платины и палладия, прогнозных карт никеленосности и платиноносности России м-ба 1:5 000 000. Основное направление исследований Ольги Михайловны – мониторинг минерально-сырьевых баз меди, никеля, МПГ, проведение экспертизы территориальных программ лицензирования, участие в научно-методическом сопровождении ГРП на никель и МПГ, в формировании годовых программ геологоразведочных работ. Она является экспертом ЦНИГРИ, выполняющим работы по оценке прогнозных ресурсов никеля и МПГ.

Научно-практическая деятельность О.М.Конкиной характеризуется тщательностью и глубиной проработки проблем, а её результаты отражены в многочисленных публикациях, отчётах и докладах на совещаниях и конференциях разного уровня.

За успешное и активное участие в деятельности института О.М.Конкина награждена Почётной грамотой Федерального агентства по недропользованию, Дипломом Российского геологического общества, знаками «Отличник разведки недр» и «Почётный разведчик недр».

Ольга Михайловна – дружелюбный и оптимистически настроенный человек, готовый прийти на помощь друзьям и коллегам в трудной ситуации, пользуется заслуженным уважением в коллективе.

Поздравляем Ольгу Михайловну Конкину с юбилеем, желаем доброго здоровья, дальнейшей плодотворной работы, успехов в различных сферах деятельности.

*Учёный совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала*



17 июля 2019 г. ушёл из жизни ветеран ЦНИГРИ, доктор геолого-минералогических наук **Ваганов Валерий Иванович**.

В.И.Ваганов родился 16 апреля 1947 г. в г. Паневежис (Литовская ССР). После окончания геологического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова в 1970 г. и аспирантуры на кафедре петрографии МГУ защитил кандидатскую диссертацию. С 1973 г. работал в ЦНИГРИ, где прошёл путь от младшего научного сотрудника до заведующего отделом алмазов. В 1990 г. ему была присуждена учёная степень доктора геолого-минералогических наук.

Валерий Иванович был ведущим специалистом в области геологии, генезиса, методов прогноза и поисков месторождений алмазов различных генетических типов. Им разработаны научно-методические и геолого-генетические основы прогноза и поисков этих месторождений, используемые в настоящее время в геологоразведке.

В.И.Ваганов, изучив уникальное Попигайское месторождение технических алмазов (Красноярский край), выявил зависимость алмазоносности от состава пород, что позволило обосновать и реализовать эффективную систему разведки объекта и подсчёт запасов.

С 1984 по 1996 гг. возглавлял отдел алмазов ЦНИГРИ. В этот период им было разработано научное обоснование прогноза алмазных месторождений лампроитового типа на территории России. Коллективом под его руководством внесён большой вклад в обоснование прогноза алмазоносности Восточно-Европейской платформы, составлена первая научно обоснованная карта прогноза данной территории. В конце 80-х годов В.И.Вагановым разработано положение о том, что алмазоносные трубки месторождения им. М.В.Ломоносова (Архангельская область) – промежуточный тип между кимберлитами и лампроитами. Это положение подтверждено работами ИГЕМ РАН лишь в начале XXI века. Неоценим вклад Валерия Ивановича в оценку перспектив алмазоносности центральных районов России. Фактически под его руководством начаты работы по локализации перспективных площадей и дальнейшей их разбраковке по степени перспективности.

С 1996 по 2013 гг. В.И.Ваганов работал в должности главного научного сотрудника отдела алмазов. Одним из значимых достижений в этот период было проведение в 2008 г. анализа состояния минерально-сырьевой базы алмазов России с указанием негативных тенденций в её развитии. В.И.Вагановым лично и в соавторстве составлен ряд методик и методических руководств по прогнозу, поискам и количественной оценке прогнозных ресурсов месторождений алмазов. В различные годы в качестве эксперта он работал в Мозамбике, Монголии, США и Китае.

Результаты исследований Валерия Ивановича отражены более чем в 100 печатных работах, опубликованных в нашей стране и за рубежом, в том числе в восьми монографиях, среди которых «Взрывные кольцевые структуры щитов и платформ» (1985), «Термобарометрия ультраосновных парагенезисов» (1988), «Алмазные месторождения России и мира (основы прогнозирования)» (2000). Последняя в настоящее время является практически настольной у геологов-алмазников. Данный труд отмечен дипломом лауреата Всероссийского конкурса, проведённого РОСГЕО.

На протяжении многих лет В.И.Ваганов был ведущим экспертом Мингео СССР (в последующем МПР РФ) по алмазам, одним из руководителей всероссийских научно-производственных программ, членом бюро Межведомственного Совета по алмазам, членом-корреспондентом Международной академии минеральных ресурсов, членом Учёного совета и Специализированного совета по защите диссертаций ЦНИГРИ, членом редакционных коллегий журналов «Отечественная геология» и «Руды и металлы». Он подготовил пять кандидатов наук.

За высокие научные достижения В.И.Ваганов награждён знаком «Отличник разведки недр» (1988 г.), медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (1996 г.).

Валерий Иванович пользовался заслуженным уважением коллег. Высокий профессионализм, преданность своему делу, широчайшая эрудиция и энциклопедические знания в области алмазной геологии, исключительная внимательность и отзывчивость, терпимость, доброжелательное отношение к окружающим его людям навсегда останутся в нашей памяти.

*Учёный совет ЦНИГРИ  
Редколлегия журнала  
Коллеги, друзья*



СЕЙМАРТЕК

9 ОКТЯБРЯ  
2019 ГОДА

RADISSON BLU



# SEYMARTEC WATER

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

БУДЕМ ИСКАТЬ ОТВЕТЫ НА ИНТЕРЕСУЮЩИЕ ВСЕХ ВОПРОСЫ, ТАКИЕ КАК  
"Проблемы перехода на НДТ",  
"Проблемы связанные с получением КЭР",  
"Поиск и устранение утечек",  
"Уменьшение затрат на транспортировку воды",  
"Организация мониторинга сбросов".

В ходе мероприятия будут презентованы решения с помощью докладов, также в рамках фокус выставки будет возможность ознакомиться с оборудованием представленном на стендах.

### УЧАСТНИКИ



Северсталь

EVRAZ

НОРНИКЕЛЬ



GRUNDFOS

Voorsprong in watertechniek

ENVIROCHEMIE



ЭКОЛОГИЯ

Контакты: +7 499 638-23-29 | [info@seymartec.ru](mailto:info@seymartec.ru) | <https://seymartec.ru>



СЕЙМАРТЕК

22-23 ОКТЯБРЯ  
2019 ГОДА

RADISSON BLU



# SEYMARTEC MINING

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ

БУДЕМ ИСКАТЬ ОТВЕТЫ НА ИНТЕРЕСУЮЩИЕ ВСЕХ ВОПРОСЫ, ТАКИЕ КАК

- "Интеллектуальный карьер": опыт и перспективы цифровой трансформации;
- Инновационные меры повышения производственной и промышленной безопасности;
- Мониторинг состояния опасных объектов;
- Особенности обогащения бедных руд;
- Консервация и рекультивация техногенных территорий.

В ходе мероприятия будут презентованы решения с помощью докладов, также в рамках фокус выставки будет возможность ознакомиться с оборудованием представленном на стендах. Основной акцент мероприятия на обмене опытом и совместном обсуждении наболевших вопросов. Масса возможностей для кулуарного, предметного разговора!"

### УЧАСТНИКИ



Северсталь

EVRAZ

СПб  
ГИПРОШАХТ



Геотехнология  
Научно-Технический Центр



НИИБТМЕТ



Санкт-Петербургский  
государственный  
университет

Контакты: +7 499 638-23-29

| [info@seymartec.ru](mailto:info@seymartec.ru)

| <https://seymartec.ru>

# МСБ алмазов, благородных и цветных металлов **ОТ ПРОГНОЗА К ДОБЫЧЕ**

К участию приглашаются студенты, аспиранты, молодые учёные и специалисты в возрасте до 35 лет, а также доктора наук до 40 лет

В рамках научных направлений конференции планируется проведение кратких лекционных курсов и семинаров ведущими специалистами

Предусматривается выдача сертификатов участникам

Сборник тезисов конференции будет включен в базу данных РИНЦ. Избранные доклады будут опубликованы в журналах «Отечественная геология» и «Руды и металлы»

## НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ



Металлогения, минерагения и рудогенез



Прогноз, поиски, оценка и разведка месторождений полезных ископаемых



Разработка прогнозно-поисковых и геолого-генетических моделей месторождений твёрдых полезных ископаемых



Методы изучения вещественного состава пород и руд



Физико-химические условия минералообразования



Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и участков недр



Использование геоинформационных технологий и пространственных данных в геологической отрасли



Современные технологии добычи и переработки минерального сырья



**2 сентября 2019 г.**

начало регистрации и приёма тезисов на сайте [www.tsnigri.ru](http://www.tsnigri.ru)

**2 декабря 2019 г.**

окончание приема тезисов

**23 декабря 2019 г.**

окончание рассмотрения тезисов

**15 января 2020 г.**

окончание регистрации



email: [tsnigri@tsnigri.ru](mailto:tsnigri@tsnigri.ru)  
[www.tsnigri.ru](http://www.tsnigri.ru)



8(495)313-18-18



г. Москва, Варшавское шоссе,  
д. 129 к. 1

# Х МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

14–17  
АПРЕЛЯ  
2020

МОСКВА  ЦНИГРИ

## ЦЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ

- Развитие научно-методических основ прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов (АБЦМ)
- Определение направлений работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы АБЦМ

## ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- Минерагеня АБЦМ
- Приоритетные направления прогнозных и поисковых работ на АБЦМ
- Актуальные вопросы лицензирования недр
- Перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий
- Опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на объектах АБЦМ разной степени изученности, в том числе на участках, подлежащих лицензированию по «заявительному принципу»
- Научно-методические основы комплексирования геологических, геохимических, геофизических методов прогноза, поисков и оценки месторождений АБЦМ
- Использование комплексных моделей месторождений для целей прогноза, поисков, оценки и разведки АБЦМ
- Разработка и реализация инновационных методов, методик и технологий ГРП на АБЦМ

ФГБУ «ЦНИГРИ» приглашает представителей территориальных органов Роснедр, геологоразведочных предприятий, компаний недропользователей, научно-исследовательских отраслевых, академических институтов и вузов принять участие в X Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов»

Официальные языки конференции — русский и английский

По итогам конференции планируется публикация ключевых докладов в журналах «Руды и металлы» и «Отечественная геология»

## ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

- Пленарное заседание
- Устные доклады
- Стендовые доклады
- Геологические экскурсии на золоторудные или полиметаллические месторождения России (участие в экскурсии платное)

117545, Москва, Варшавское шоссе,  
д. 129, корп. 1, ФГБУ «ЦНИГРИ»  
conference@tsnigri.ru, тел. (495) 315-28-10

[conf2020.tsnigri.ru](http://conf2020.tsnigri.ru)