

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ»  
(ФГБУ «ЦНИГРИ»)

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

XI Международная научно-практическая конференция  
(12–15 апреля 2022 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»)

Москва  
ЦНИГРИ  
2022

Агашева Е. В. <sup>1</sup> (shchukinalena@igm.nsc.ru), Агашев А. М. <sup>1</sup>, Гудимова А. И. <sup>1</sup>,  
Малыгина Е. В. <sup>1</sup>, Червяковский В. С. <sup>2</sup>, Прусакова Н. А. <sup>3</sup>, Щукин В. С. <sup>4</sup>,  
Голубев Ю. К. <sup>3</sup> (diamond@tsnigri.ru), Похиленко Н. П. <sup>1</sup>  
<sup>1</sup> ФГБУН «ИГМ СО РАН», <sup>2</sup> ФГБУН «ИГГ УрО РАН»,  
<sup>3</sup> ФГБУ «ЦНИГРИ», <sup>4</sup> ООО «Арктикгеопоиск»

## СОСТАВ И СТРОЕНИЕ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ В РАЙОНЕ СЛАБОАЛМАЗОНОСНОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ЦНИГРИ-АРХАНГЕЛЬСКАЯ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ): ДАННЫЕ ПО СОСТАВУ КСЕНОКРИСТОВ ГРАНАТОВ

*В работе выявлены основные характеристики литосферной мантии в районе слабоалмазоносной кимберлитовой трубки Цнигри-Архангельская на основании интерпретации данных по концентрациям главных и редких элементов в ксенокристаллах гранатов. Определено, что термальный режим литосферной мантии соответствовал 40–45 мВ/м<sup>2</sup>, глубина нижней границы литосферной мантии могла находиться в интервале 170–200 км, мощность «алмазного окна» могла варьироваться от 22 до 60 км на момент кимберлитового магматизма. Установлено, что характер метасоматических преобразований литосферной мантии в районе трубки ЦНИГРИ-Архангельская идентичен таковым в районе высокоалмазоносных кимберлитовых трубок им. В. Гриба и Архангельская, а низкая алмазоносность трубки не связана с масштабным проявлением высокотемпературного расплавленного метасоматоза.*

*Ключевые слова: алмазоносность, кимберлит, литосферная мантия, пироп, геохимия, мантийный метасоматоз.*

Определяющим фактором степени алмазоносности кимберлитовых трубок является состав литосферной мантии, вещество которой присутствует в кимберлите в виде ксенолитов мантийных пород и их фрагментов. Получение этой информации для участков литосферной мантии в районе трубок с разной степенью алмазоносности в пределах интересующего региона позволяет, с одной стороны, определять эталонные характеристики высокоалмазоносной литосферной мантии, а с другой выявлять причины её слабой (не) алмазоносности. В настоящей работе мы приводим данные по концентрациям главных элементов и Ni в 450 зернах гранатов и редких элементов (165 зерен), отобранных из концентрата минералов тяжелой фракции слабоалмазоносной (0,056 кар/т, [1]) трубки Цнигри-Архангельская (Кепинское поле Архангельской алмазоносной провинции, ААП), валовый состав кимберлитов которой соответствует кимберлитам умеренно-/высоко-титанистой серии (ААП) и близок к кимберлитам группы I Южной Африки [1]. Целью работы является выяснение особенностей состава и строения слабоалмазоносной литосферной мантии в ААП.

На основании концентраций CaO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с использованием диаграмм [4, 7] были выделены следующие мантийные парагенезисы гранатов: лерцолитовый / G9 (72 %; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1–14 мас.%), мегакристы / G1 (7,6 %; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 4 мас.%, TiO<sub>2</sub> = 0,7–1,2 мас.%), низкохромистый пироксенитовый / G4 (7,4 %; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 1 мас.%, CaO = 3,6–6 мас.%), деформированные лерцолиты / G11 (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 4–9 мас.%, TiO<sub>2</sub> = 0,7–1,4 мас.%), гарцбургитовый неалмазоносный / G10 (3,6 %; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 3,6–11 мас.%, CaO = 5,8–6,6 мас.%), эклогитовый / G3 (1,1 %; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 1 мас.%, CaO = 6–7 мас.%), верлитовый / G12 (0,9 %; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,3–5,6 мас.%, CaO = 6,6–9 мас.%), гарцбургитовый алмазоносный / G10D (0,4 %; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 8–11 мас.%, CaO = 3–5,4 мас.%).

На основании концентраций редких элементов и характера распределения редкоземельных элементов (РЗЭ), нормированных к хондриту, были выделены следующие геохимические группы гранатов в ассоциациях перидотитов: 1) низкокальциевые высокохромистые пиропы гарцбургитового парагенезиса с синусоидальным спектром распределения РЗЭ (Hz; 4 %, здесь и далее по тексту представлен % гранатов от общего количества зерен ассоциаций перидотитов и мегакристов, проанализированных методом LA-ICP-MS), являющихся характерным типом граната из включений в алмазах. Несмотря на то что образование таких гранатов до сих пор является дискуссионным, считается, что их обогащение легкими (Л) РЗЭ связано с влиянием С–Н–О

расплава/флюида с высоким значением отношения ЛРЗЭ к тяжелым (Т) РЗЭ, состав которого может быть близким к карбонатиту; 2) высокохромистые гранаты лерцолитового парагенезиса с синусоидальным спектром распределения РЗЭ (Lz4; 8 %), также являющиеся распространенным типом граната из включений в алмазах; наличие гранатов этого типа свидетельствует о процессах рефертилизации литосферной мантии, выраженных в обогащении гарцбургитовых гранатов СаО при сохранении синусоидального типа распределения РЗЭ, которые могут происходить под влиянием карбонатитового расплава; по концентрациям Y и Zr гранаты Hz и Lz4 соответствуют полю деплетированных пород [3] или тренду низкотемпературного метасоматоза [3] и идентичны таковым из включений в алмазах; 3) средне/высокохромистые гранаты лерцолитового парагенезиса с «горбатым» спектром распределения РЗЭ (Lz3; 3 %); часто встречаются в ксенолитах лерцолитов из кимберлитов мира; образование таких гранатов связывается с влиянием силикатного расплава, обогащенного ЛРЗЭ. Согласно опубликованным данным, гранаты этого типа не являются широко распространенным типом включения в алмазах, но тем не менее они все же встречаются. По распределению Y и Zr эти гранаты соответствуют тренду высокотемпературного мантийного метасоматоза; 4) низко/среднехромистые гранаты лерцолитового парагенезиса с плоским спектром распределения средних (С)РЗЭ-ТРЗЭ (Lz2; 29 %), являющиеся самым распространенным типом граната в ксенолитах лерцолитов из кимберлитов мира и ассоциирующие в породах с хромдиопсидом. Такие гранаты могли формироваться под воздействием высокотемпературного силикатного расплава, редкоэлементный состав которого мог быть близок к базальту; этот тип мантийного метасоматоза продуцирует самые многочисленные изменения в минералогии и геохимии перидотитов и губительно влияет на сохранность алмазов. В гранатах этой группы наблюдается положительная корреляция между Y и Zr в той или иной степени, но тем не менее полю деплетированных пород соответствуют 50 % гранатов этой группы; 5) низко/среднехромистые гранаты лерцолитового парагенезиса с фракционированным спектром от СРЗЭ до ТРЗЭ (Lz1); по концентрациям СРЗЭ гранаты этого типа представлены двумя подгруппами: с концентрациями СРЗЭ на уровне хондрита (Lz1-1; 19 %) и с обогащением в области СРЗЭ до 2–8 хондритовых единиц (Lz1-2; 23 %); по концентрациям Y и Zr гранаты Lz1-1 соответствуют полю деплетированных пород; спектры распределения РЗЭ также свидетельствуют о том, что эти гранаты могут представлять собой реститы частичного плавления с минимальным воздействием мантийного метасоматоза. Тренду высокотемпературного мантийного метасоматоза соответствует 26 % гранатов Lz1-2, полю деплетированных пород – 64 % гранатов Lz1-2; в целом гранаты Lz1-2 имеют составы, промежуточные между гранатами Lz1-1 и Lz2, и могут отражать эволюцию смены составов от деплетированных гранатов с минимальными признаками воздействия мантийного метасоматоза до гранатов, составы которых свидетельствуют об их образовании под воздействием высокотемпературных силикатных расплавов.

Абсолютно все гранаты ассоциаций перидотитов и мегакристов содержат высокие концентрации Ni (50–127 ppm). Для определения параметра  $T$  для гранатов ассоциаций перидотитов и мегакристов был использован термометр [2]. Большинство гранатов лерцолитового и гарцбургитового парагенезисов из трубки Цнигри-Архангельская соответствуют интервалам температур 1100–1200 °С (68 %) и 1200–1300 °С (30 %); гранаты ассоциаций деформированных лерцолитов и мегакристов – 1100–1300 °С (89 %), полностью соответствуя интервалу  $T$  для гранатов лерцолитового и гарцбургитового парагенезисов. Отсутствие корреляций между концентрациями Ni и TiO<sub>2</sub>, mg#, Y, Zr, Sm, свидетельствуют о том, что систематически повышенные содержания Ni в гранатах не могут быть связаны с какими-либо метасоматическими процессами, но отражают более высокие параметры  $T$  для гранатов на всем участке литосферной мантии на момент кимберлитового магматизма. Это в свою очередь предполагает более прогретый участок литосферной мантии в районе трубки Цнигри-Архангельская (40–45 мВ/м<sup>2</sup>), зону перехода графит-алмаз при параметре  $T \sim 1050$ –1200 °С, что соответствует глубине от 140–147 км; максимальную глубину нижней границы литосферной мантии – в интервале 170–200 км; мощность «алмазного окна» – от 22 до 60 км. Изученные гранаты перидотитовой ассоциации могут представлять интервал литосферной мантии от 60–80 до 170–200 км.

Результаты работы позволили установить, что характер метасоматических преобразований в литосферной мантии в районе трубки Цнигри-Архангельская идентичен таковым в районе

высокоалмазоносных кимберлитовых трубок им. В. Гриба [6] и Архангельская [5], а низкая алмазоносность трубки не связана с масштабным проявлением высокотемпературного расплавленного метасоматоза в центральной и нижней частях литосферной мантии. Породы литосферной мантии в районе трубки Цнигри-Архангельская находились при более высоких параметрах  $T$  на всем ее участке. При этом в нижней части литосферной мантии сохранились потенциально алмазоносные деплетированные породы дунит-гарцбургитового типа с минимальными признаками метасоматического обогащения и породы высокохромистой лерцолитовой ассоциации, образование которых связано с процессами рефертилизации литосферной мантии. Но мощность «алмазного окна» под трубкой Цнигри-Архангельская гораздо меньше по сравнению с таковыми в районах высокоалмазоносных трубок им. В. Гриба и Архангельская.

*Работы выполнены при поддержке Российского научного фонда, грант № 20-77-10018.*

Список литературы:

1. Голубев Ю. К., Прусакова Н. А., Голубева Ю. Ю. Кепинские кимберлиты, Архангельская область // Руды и металлы. – 2010. – № 1. – С. 38–45.
2. Canil D. The Ni-in-garnet geothermometer: calibration at natural abundances // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1999. – № 136. – P. 240–246.
3. Griffin W. L., Shee S. R., Ryan C. G., Win T. T., Wyatt B. A. Harzburgite to lherzolite and back again: metasomatic processes in ultramafic xenoliths from the Wesselton kimberlite, Kimberly, South Africa // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1999. – № 134. – P. 232–250.
4. Grütter H. S., Gurney J. J., Menzies A. H., Winter F. An updated classification scheme for mantle-derived garnet, for use by diamond explorers // Lithos. – 2004. – № 77. – P. 841–857.
5. Lehtonen M., O'Brien H., Peltonen P., Kukkonen I., Ustinov V., Verzhak V. Mantle xenocrysts from the Arkhangelskaya kimberlite (Lomonosov mine, NW Russia): Constraints on the composition and thermal state of the diamondiferous lithospheric mantle // Lithos. – 2009. – № 112. – P. 924–933.
6. Shchukina E. V., Agashev A. M., Pokhilenko N. P. Metasomatic origin of garnet xenocrysts from the V. Grib kimberlite pipe, Arkhangelsk region, NW Russia // Geoscience Frontiers. – 2017. – № 8. – P. 641–651.
7. Sobolev N. V., Lavrentyev Y. G., Pokhilenko N. P., Usova L. V. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1973. – № 40. – P. 39–52.

**Алферова В. А.<sup>1</sup>, Селиванов П. В.<sup>1</sup> (selivanov@tsnigri.ru),**

**Бондаренко Н. В.<sup>1</sup>, Бужинская Е. В.<sup>1</sup>, Ковальчук Е. В.<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> ФГБУ «ЦНИГРИ», <sup>2</sup> ФГБУН ИГЕМ РАН**

#### ЗОНАЛЬНОСТЬ ПИРИТОВ ЗОЛОТОРУДНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ШИЛГОН

*Для ряда месторождений характерно наличие невидимого золота в составе пиритов. На примере рудопроявления Шилгон будет рассмотрена зональность пиритов, обусловленная содержаниями As и Au.*

*Ключевые слова: пириты, зональность, корреляция, As, Au, стадия роста.*

Золоторудное проявление Шилгон в административном плане расположено в пределах Верхоянского и Эвено-Бытантайского районов Республики Саха (Якутия).

В геологическом строении оно приурочено к восточному флангу субширотной разрывной структуры, пересекающей свод Бутугасской антиклинали, прослеживающейся в рыхлом чехле в виде четко видной линейной депрессии. Во вторичных ореолах разрывное нарушение

сопровождается широким ореолом мышьяка с вложенной в него спорадически проявленной аномалией сурьмы.

Для ряда месторождений, в первую очередь колчеданных характерно наличие невидимого золота в составе пиритов [1], причем отмечается корреляционная связь между содержанием в пиритах мышьяка и золота. Проведенные на двух зернах зональных мышьяковистых пиритов Шилгонского рудопоя исследования так же показывают наличие невидимого золота и корреляционной зависимости As-Au.

Наблюдаемая при электронной микроскопии зональность пиритов обусловлена колебаниями содержания тяжелых примесей – мышьяка и золота. Концентрации этих элементов находятся в достаточно тесной корреляционной связи ( $r = 0,79$ ), таким образом, чем светлее участок зерна на изображении, тем в нем выше содержания As и Au.

На основании электронной микроскопии нами выделены пять зон, обозначенных от центра к краям от А до Е.

Центральная зона А весьма слабозональная, со средним фототонном. Вероятно, отображает образование центра кристаллизации в условиях умеренного пересыщения, с быстрым, но нормальным ростом.

Зона В светлая, а зональная, на срезе характеризуется обилием пустот, интерпретируемых нами как вскрытые при шлифовке первичные флюидные включения. Обилие пустот и отсутствие зональности свидетельствует о быстром скелетном росте в условиях резкого пересыщения.

Зона С относительно темная область с четко проявленной зональностью более высокого порядка. Данная область отражает спокойный рост в условиях умеренного пересыщения раствора.

Зона D весьма темная в отраженных электронах, необычайно тонкая. Вероятно, данная зона маркирует паузу в отложении рудного вещества.

Зона Е относительно темная краевая зона со слабопроявленной внутренней зональностью, отражает спокойный рост в условиях слабого пересыщения

Выводы:

1. Наиболее обогащенные As и Au зоны характеризовались быстрым, нередко скелетным ростом. Это представляется логичным в силу того, что быстрый рост способствует образованию дефектов кристаллической структуры и, следовательно, вхождения элементов-примесей. Рост в стабильных условиях при низком пересыщении, напротив, не благоприятен для вхождения Au в структуру пиритов и должен способствовать выделению Au в виде самостоятельных фаз.

2. Выделяются две стадии роста пирита, разделенные перерывом. Первая стадия началась с образования зародышевого центра, его быстрого нормального роста, сменившегося скелетным вследствие укрупнения и влияния граничного слоя. После кратковременного эпизода скелетного роста условия вернулись ближе к равновесным, что выразилось в переходе к нормальному росту. Первая стадия завершилась перерывом в росте, относительная длительность которого не вполне ясна. Возобновление роста вероятно связано с поступлением новых порций рудоносного флюида, не связанного, однако, с крупными подвижками.

Обнаруженные закономерности выявлены на небольшом количестве материала, отобранного из пробы одного рудного пересечения. Для получения более полной картины нужно продолжить исследования.

Список литературы:

1. Викентьев И. В. Невидимое и микроскопическое золото в пирите: методы исследования и новые данные для колчеданных руд Урала // Геология рудных месторождений. – 2015. – № 4. – С. 267–298.

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЗОЛОТОНОСНОСТИ РУДНО-РОССЫПНЫХ РАЙОНОВ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

*В пределах рассматриваемой территории выделены площади (в ранге рудно-россыпных районов и узлов), в пределах которых отмечается отчетливая диспропорция количественных показателей рудной и россыпной золотоносности. Осуществлен комплексный анализ количественных показателей рудной и россыпной золотоносности, на основе которого выполнена группировка рудно-россыпных районов и узлов по степени дисбаланса рудной и россыпной золотоносности. Даны рекомендации для более детального рассмотрения отдельных районов.*

*Ключевые слова: россыпи золота, золоторудные месторождения, рудно-россыпные районы (РРР), рудно-россыпные узлы (РРУ), металлогенические зоны (МЗ), рудно-формационные типы месторождений золота, коренные источники россытей.*

Наличие россыпей является прямым поисковым признаком, используемым в практике прогнозных и поисковых работ. В данном исследовании на примере рудно-россыпных районов Алтае-Саянской металлогенической зоны (за исключением территории Енисейского кряжа) выполнен комплексный анализ россыпной и рудной золотоносности на основе сопоставления их количественных показателей, включающих запасы, накопленную добычу и прогнозные ресурсы. Целью данной работы является выявление территорий с ярко выраженным дисбалансом обобщенных показателей рудной и россыпной золотоносности, а также выделение участков с россыпными объектами без установленных коренных источников для обоснования направлений дальнейших работ на коренное золото.

Исследуемая территория представляет собой обширный регион со сложным геологическим строением, неоднородностью физико-географических условий и неравномерной степенью изученности. Границы рудно-россыпных таксонов различных рангов были установлены в ходе картосоставительских работ, выполненных ЦНИГРИ: «Карта закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых территории Российской Федерации. Золото» (Звездов и др., 2019).

Для количественного анализа обобщенных показателей рудной и россыпной золотоносности была подсчитана площадная продуктивность рудных и россыпных районов и узлов по формуле:  $S_{пр} = (Д + З + УЗ) / S$ , где:

$S_{пр}$  – площадная продуктивность рудных и россыпных зон, районов и узлов (кг/км<sup>2</sup>);

$S$  – площадь рудных и россыпных зон, районов и узлов (км<sup>2</sup>);

$Д$  – накопленная добыча (кг);

$З$  – запасы категорий А, В, С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub> + забалансовые запасы (кг);

$УЗ$  – прогнозные ресурсы (кг), пересчитанные в условные запасы по формуле А. И. Кривцова [1]:  $УЗ = 0,125 \times (P_3 + 2P_2 + 4P_1)$ .

Данные для подсчета их площадной продуктивности были взяты из материалов к вышеупомянутой карты закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых (Звездов и др., 2019), также были использованы материалы отраслевых источников (Государственный баланс запасов, 2020) и опубликованных материалов [2]. Следует отметить, что наиболее достоверными можно считать данные по прогнозным ресурсам и запасам. Объемы накопленной добычи в ряде случаев носят отрывочный характер, в то же время, не претендуя на полную достоверность абсолютных значений количественных показателей, можно считать полученные соотношения достаточно корректными для оценки дисбаланса руда/россыпи и получения общей картины золотоносности.

Интерпретация расчетных данных демонстрирует высокую площадную продуктивность (20–40 кг/км<sup>2</sup>) рудной золотоносности следующих районов:

- Урско-Салаирского (39,8 кг/км<sup>2</sup>) с преобладанием золотосодержащих колчеданно-полиметаллических месторождений среднего масштаба (Кварцитовая Сопка, Белоключевское, Ново-Урское и др.);

- Хайламинского (30,1 кг/км<sup>2</sup>) в его пределах известно мелкое золото-кварц-полисульфидное месторождение Аройское, высокая площадная продуктивность которого обусловлена наличием прогнозных ресурсов и небольшой площадью района;

- Верхнеканского (22,4 кг/км<sup>2</sup>) со средними золотосодержащими сульфидно-медно-никелевыми месторождениями Верхнекингашское и Кингашское.

К РРР со средней площадной продуктивностью (10–20 кг/км<sup>2</sup>) отнесены:

- Верхнеамыльско-Сыстыг-Хемский (16,1 кг/км<sup>2</sup>) с мелким отработанным золото-сульфидно-кварцевым месторождением Октябрьское, его высокая площадная продуктивность обусловлена наличием прогнозных ресурсов и небольшой площадью района;

- Ольховско-Чибижекский (12,5 кг/км<sup>2</sup>) со средними золото-сульфидно-кварцевым Лысогорским и золото-сульфидным Константиновским месторождениями;

- Тельбесский (11,9 кг/км<sup>2</sup>) с мелкими золото-сульфидными Кочуринским и Джелсайским месторождениями;

- Усинско-Мартайгинская группа РРР (11,5 кг/км<sup>2</sup>) выделяется большим количеством известных золоторудных объектов, среди них средние по масштабу золото-полисульфидно-кварцевые Комсомольское, Центральное, Саралинское, Коммунарское, а также большое количество мелких (Полуденное, Никольское, Бериккуль Старый, Кундатское Натальевское, и др.);

- Ужей-Карабельдырский (10,7 кг/км<sup>2</sup>), в пределах которого имеется единственное мелкое золото-полисульфидно-кварцевое месторождение Кара-Белдирское.

Таким образом, в пределах рассматриваемой территории, довольно обширной по площади, отсутствуют крупные золоторудные объекты, а число средних невелико, причем среди них почти половину составляют золотосодержащие не россыпеобразующие месторождения, а средние собственно золоторудные известны только в пределах хорошо изученного Усинско-Мартайгинского РРР. Продуктивность остальных районов определяется мелкими месторождениями, а также в большей степени прогнозными ресурсами.

К наиболее продуктивным, выделенным по количественным показателям россыпной золотоносности, относятся Урско-Салаирский (18,7 кг/км<sup>2</sup>) и Верхнеамыльско-Сыстыг-Хемский (14,6 кг/км<sup>2</sup>) РРР, средней площадной продуктивностью (5–10 кг/км<sup>2</sup>) обладают Кизасско-Анзасский, Сизимский, Кольский и Мрасский РРР.

Примеры обобщения данных по золотоносности различных провинций мира свидетельствуют о том, что добыча из россыпей составляет от 5 до 50 % суммарной добычи, что позволяет выделить районы с «нормальной» и «аномально» высокой долей россыпей.

Анализ соотношения показателей площадной продуктивности рудной и россыпной золотоносности позволяет выделить несколько следующих групп РРР:

I. Урско-Салаирский и Верхнеамыльско-Сыстыг-Хемский РРР характеризуются в равной мере высокой площадной продуктивностью как рудной, так и россыпной. При этом следует отметить, что основной составляющей рудной продуктивности для хорошо изученного «старого» горно-рудного Урско-Салаирского РРР являются запасы не россыпеобразующих золотосодержащих колчеданно-полиметаллических месторождений. Относительно высокая продуктивность Верхнеамыльско-Сыстыг-Хемского района базируется на его прогнозных ресурсах, то есть источники россыпей, несмотря на высокую их рудную продуктивность, строго говоря, в полной мере не выявлены.

К этой же группе можно отнести Усинско-Мартайгинскую группу РРР с относительно высокими показателями продуктивности, хотя и существенно уступающим выше перечисленным в силу значительно большей площади. Рассматриваемую территорию можно отнести к «классическим» рудно-россыпным районам со сбалансированным соотношением рудных источников россыпеобразующего типа (золото-сульфидно-кварцевые) и россыпей, которые по совокупности показателей составляют около 30 % от общего баланса.

II. Следующая группа РРР характеризуется высокими (Верхнеканский, Хайламинский) и средними (Ольховско-Чибижекский, Ужей-Карабельдырский, Тельбесский) показателями рудной продуктивности, при низкой россыпной. Низкая россыпная продуктивность может иметь различные причины. Например, в пределах Верхнеканского и Тельбесского РРР преобладают золотосодержащие не россыпеобразующие типы коренных источников (сульфидный

медно-никелевый, железо-скарновый, золото-сульфидный). В показателях продуктивности Хайламинского РРР ведущую роль играют прогнозные ресурсы низких категорий ( $P_2 + P_3$ ), то есть наличие коренных источников россыпей только предполагается. Наконец, в условиях среднегорного рельефа (Хайламинский, Ужей-Карабельдырский РРР) условия россыпеобразования не всегда могут быть благоприятными (наилучшие условия для формирования россыпей характерны для низкогорного рельефа).

III. К третьей группе можно отнести районы с низкими показателями как россыпной, так и рудной золотоносности, но при преобладании последней: Верхнеэлегестский, Красноярский, Манский, Верхнебирюсинский, Шушенский, Усинский, Окино-Ийский, Окино-Китойский, Тарданский, Башчелакский, Белокурухский, Катуньский, Бийский, Чумышский, Батеневско-Сахарская группа РРР.

IV. К четвертой группе отнесены районы с «аномальным» соотношением россыпи–руда, которое характеризуется преобладанием в балансе (добыча + запасы + ресурсы) россыпной составляющей. Так, в балансе Кольского РРУ, Верхне-Балыхты-Хемского и Хараал-Оо-Хемского РРР рудная составляющая вообще отсутствует, то есть коренные источники для этих районов не только не установлены, но и не предполагаются (отсутствуют даже прогнозные ресурсы категории  $P_3$ ). «Аномальность» Сизимского, Бердского и Кизасско-Анзасского РРР выражена менее ярко, тем не менее доля россыпей в их балансе составляет более 60 %.

Такое резкое преобладание россыпной составляющей над рудной можно объяснить следующими факторами:

- коренные источники полностью эродированы или представлены рассеянной по площади минерализацией, не представляющей промышленного интереса;
- коренные источники не установлены в силу слабой изученности или сложных ландшафтных условий, существенно осложняющих их выявление.

Список литературы:

1. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф. и др. Медно-порфировые месторождения. – М. : ЦНИГРИ, 2010. – 232 с.
2. Черных А. И., Арсентьева И. В., Брысин М. П. Минерально-сырьевая база золота Республики Хакасия – состояние и направления ее освоения // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 12–21.

**Антонов А. Е.<sup>1</sup> (AAntonov@b2gold.com), Нуртаев Б. С.<sup>2</sup> (nurtaevb@gmail.com)  
<sup>1</sup> B2Gold Corporation, Канада, <sup>2</sup> Институт геологии и геофизики, Узбекистан**

## ЗОЛОТОРУДНЫЕ ТРЕНДЫ КЫЗЫЛКУМОВ

*Впервые систематизированы данные по золоторудным трендам Кызылкумского рудного района. Выделены десять трендов, большинство которых конформны простиранию Южно-Тянь-Шанского складчато-надвигового пояса между Казахским и Каракумским микроконтинентами. С трендами связаны известные месторождения золота, а также перспективы обнаружения новых.*

*Ключевые слова: золото, тренд, Кызылкумы, Туркестанский океан, сутура, Мурунтау, Даугызтау.*

В Кызылкумском рудном районе Южного Тянь-Шаня мы выделяем около десятка золоторудных трендов – выдержанных по простиранию серий месторождений, контролируемых линейными региональными структурами, подобных Карлин-тренду на северо-востоке штата Невада [7].



Как месторождения типа Карлин, так и месторождения золота кызылкумского типа, образовавшиеся в поздней перми в интервале 274–255 млн лет [4], ассоциируют с постколлизией обстановка растяжения [5] и характеризуются четко выраженным структурным и стратиграфическим контролем. Из выделяемых нами десяти трендов девять конформны общему простиранию Южно-Тянь-Шанского складчатого пояса, один из них поперечный.

Подтверждена идея о приуроченности сверхкрупного месторождения Мурунтау к двум пересекающимся тектоническим структурам [6]. Выявлен Мурунтау-Айраковский золоторудный тренд (МАЗТ), конформный простиранию сутурной зоны Туркестанского океана [2], начинающийся непосредственно на месторождении Мурунтау, включающий его сателлиты Мютенбай и Триаду, широкие ореолы золота и мышьяка под чехлом мезо-кайнозойских отложений, прослеженный на 45 км к В-ЮВ до рудопроявлений Айрак-1, и -2.

В поперечном Мурунтау-Даугызтауском золоторудном тренде (МДЗТ), рассматриваемом в качестве левосторонней зоны сдвига Мурунтау-Даугызтау [6], выявлен стержневой разлом с правосторонним смещением порядка 600–700 м, отдельные звенья которого отчетливо проявлены в палеозойских обнажениях рудных полей Мурунтау, Амантайтау и Даугызтау. В фундаменте Сардаринской впадины признаки этого разлома отмечаются сейсморазведочными данными. Таким образом, региональная позиция месторождения Мурунтау хорошо объясняется пересечением Мурунтау-Айраковского и Мурунтау-Даугызтауского структурных трендов.

К северу от Мурунтау намечены еще два тренда, из которых выделяется *Кокпатас-Окжеттесский золоторудный тренд (КОЗТ)* – наиболее крупный в северной части Кызылкумского рудного района, пересекающий южную часть гор Букантау и включающий многочисленные участки Кокпатасского рудного поля [3]. КОЗТ отождествляется с зоной рудоконтролирующего Кокпатасского глубинного разлома с шириной зоны около 10–12 км. Общая протяженность КОЗТ, протягивающегося вдоль границы Казахского континента со складчато-надвиговой системой Южного Тянь-Шаня, около 50 км. Рудные залежи Кокпатаса, сложенные прожилково-вкрапленными пирит-арсенопиритовыми рудами с коллоидно-дисперсным золотом, при среднем содержании пирита и арсенопирита 9–10 %, распределены в полосе протяженностью около 10 км при ширине до 5 км. В отличие от других кызылкумских месторождений некоторые важные характеристики сближают Кокпатас с месторождениями типа Карлин, а именно значительное участие в разрезе рудовмещающих толщ карбонатных отложений и присутствие тонкодисперсного коллоидного золота.

К югу от Мурунтау наблюдается еще несколько субширотных структурных трендов, конформных генеральному простиранию Южно-Тянь-Шанского складчато-надвигового пояса.

*Аристантауский (Едум-Бешащинский) золоторудный тренд (ЕБЗТ)* приурочен к Бешащинской антиклинали и одноименной многошовой зоне смятия, образование которой предшествовало рудоотложению. Многочисленные месторождения и рудопроявления золота (Аристантау, Умид и др.), отработанные Навоийским комбинатом, локализованы непосредственно в зоне смятия. В тренде отмечается уменьшение масштабов минерализации в направлении с запада на восток.

*Азнек-Даугыз-Рохатский золоторудный тренд (АДРЗТ)*, прослеживающийся в 30 км южнее предыдущего, изучен геофизическими методами и геохимическим опробованием на небольшом палеозойском выходе (Азнек) на юго-западном окончании гор Аристантау.

К 3-СЗ от Азнека АДРЗТ отчетливо трассируется в сторону Даугызтауского рудного поля под чехлом мезо-кайнозоя. Неглубокое залегание фундамента позволяет высоко оценить перспективы этого тренда на перекрытое золотое оруденение. После пересечения с Мурунтау-Даугызтауским трендом АДРЗТ трассируется в сторону Рохатского рудного поля.

*Аджибугут-Колчиктауский золоторудный тренд (АКЗТ)*, известный также как Коспактауская или Южная рудоносная зона, один из наиболее протяженных, прослеживается на протяжении более 60 км. Региональная позиция этого тренда определяется близостью к краю Каракумского континента. В отличие от предыдущих трендов, АКЗТ приурочен к двум стратиграфическим уровням – верхнему, бесапанскому (О–S), и нижнему, рифейскому (?), – тасказганской свите. Предполагается, что нижний ярус недостаточно оценен и обладает значительным потенциалом. На западе тренд включает крупные месторождения Аджибугут и Песчаное с оцененными

ресурсами каждого из них в количестве полутора миллионов унций золота. Здесь также проявлена тенденция уменьшения масштабов оруденения с запада на восток.

*Восточно-Кульджуктауский золоторудный тренд (ВКЗТ)* прослеживается в субширотном направлении на юге Кызылкумов в горах Кульджуктау. Его региональная позиция отличается от ранее охарактеризованных трендов и определяется приуроченностью к краевой части Каракумского континента. Месторождения золота (Таушан, Янгиказган и др.), отнесенные к умеренно-золото-сульфидной и золото-лиственито-кварцевой формациям [1], локализованы главным образом в песчано-сланцевых отложениях таушанской свиты более молодого, среднекарбонного возраста, преимущественно в узлах пересечения разрывных нарушений субширотного и северо-восточного простираний. Перспективы тренда на обнаружение крупных месторождений золота весьма значительны. Обращает на себя внимание распространение в пределах тренда ртутных проявлений среди карбонатных отложений силура и нижнего девона, что является одним из признаков золотой минерализации типа Карлин.

Список литературы:

1. Айсанов Я. Б., Егоров А. И. Геологическое строение и основные черты минерации палеозойских образований гор Кульджуктау. – Ташкент : Фан, 1978. – 281 с.
2. Антонов А. Е., Радченко Ю. И. О возможности выявления нового сверхкрупного комплексного месторождения золота в Магаданской области // Золото и Технологии. Золото Магадана. – 2017. – С. 50–53.
3. Гоипов А. Б., Турапов М. К., Ахмадов Ш. И. Применение соотношения каналов
4. космических снимков для картирования минералов на примере Кокпатас- Ожжетпесского тренда (горы Букантау) // Горный вестник Узбекистана. – 2020. – № 3 (82). – С. 35–39.
5. Рудные месторождения Узбекистана / Ред. И. М. Голованов. – Ташкент : ГИДРОИНГЕО, 2001. – 611 с.
6. Золоторудное месторождение Мурунтау / Ред. Т. Ш. Шаякубова. – Ташкент : Фан, 1998. – 539 с.
7. Kempe U., Graupner T., Seltmann R. et al. The Muruntau gold deposit (Uzbekistan) – A unique ancient hydrothermal system in the southern Tien Shan // Geoscience Frontiers. – 2016. – V. 7. – P. 495–528.
8. Muntean J. L., Davis D. A. The Nevada Mineral Industry: 2015 // Nevada Bureau of Mines and Geology special publication MI-2015. – 2017. – 190 p.

**Антонова Т. А. (AntonovaTA@alrosa.ru), Липашова А. Н. (LipashovaAN@alrosa.ru)**  
**ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)**

#### ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОКСИДОВ ИЗ СВЯЗУЮЩЕЙ МАССЫ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ АЙХАЛ

*Трубка Айхал относится к числу ураганно-алмазоносных тел. На основе данных по изучению микрокристаллических оксидов из связующей массы трубки Айхал и исследований алмазов данной трубки определяются возможные взаимосвязи особенностей оксидной минерализации с морфологическими особенностями содержащихся в ней кристаллов алмаза.*

*Ключевые слова: алмаз, рудные минералы, ильменит, шпинелид, растровый электронный микроскоп, автолитовая кимберлитовая брекчия (АКБ), порфиновый кимберлит (ПК).*

Трубка Айхал находится в Далдыно-Алакитском алмазоносном районе (Алакит-Мархинское поле) в нижней части долины р. Сосхолох-Мархинский. Она расположена в поле ордовикско-

силурийских пород рядом с трапповым sillом, отстоящим от нее на 50 м. Выполнена трубка разновозрастными кимберлитовыми брекчиями. Кимберлиты ее по сравнению с породами других трубок Якутской алмазоносной провинции характеризуются высокими содержаниями карбонатов, апатита и барита. Отличительной особенностью их является присутствие бадделеита – минерала карбонатитовых комплексов.

Алмазы трубки Айхал характеризуются преобладанием ламинарных ромбододекаэдров при близких содержаниях октаэдров и переходных форм разновидности I, низким количеством додекаэдров и присутствием в малом количестве кристаллов разновидностей IV и VIII, по Ю. Л. Орлову. По свечению в ультрафиолетовых лучах незначительно доминируют камни с розово-сиреневой при равных количествах кристаллов с сине-голубой и желто-зеленой фотолюминесценцией. Характерной особенностью алмазов трубки Айхал является их пониженная степень сохранности (целостность). Большинство алмазов трещиноваты. Около половины алмазов имеют скульптуры травления и твердые включения, а также окрашены в дымчато-коричневые и другие цвета различной интенсивности. Среди скульптур травления наблюдаются шрамы, полосы пластической деформации, треугольные впадины и их комбинации, а среди включений преобладают единичные, групповые включения графита и графит-сульфидной ассоциации. Кроме того, встречаются кристаллы с включениями оливина, хромита, оранжевого граната. Присутствуют кристаллы с зелеными и бурыми пятнами пигментации.

Ураганно-алмазоносная трубка Айхал представляет собой крутопадающее сплюснуто-трубчатое тело линзообразной формы в поперечном сечении, характеризующееся сложным внутренним строением. На глубине первых сотен метров оно распадается на три самостоятельных расположенных цепочкой рудных столба, разделенных массивами вмещающих пород и имеющих индивидуальные подводящие каналы [4]. Трубка осложнена наличием многочисленных кимберлитовых даек, выходящих и не выходящих на поверхность.

Изучение морфологии, химического и фазового составов микрокристаллических минералов проведено на растровом электронном микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU, оснащенном рентгеновским энергодисперсионным микроанализатором AZTEC Advanced Inca Energy 350 с детектором X-MAX 80, который предназначен для проведения электронно-зондового микроанализа.

Главное внимание уделялось изучению количества, соотношений, взаимоотношений, химического и фазового составов оксидных минералов (шпинелидов, ильменита, перовскита, рутила) из пород, так как они наиболее информативные не только с точки зрения генезиса пород, но и по минералогическим критериям оценки алмазоносности пород.

Для построения химико-генетических классификаций шпинелидов и ильменитов связующей массы кимберлитов аналитические данные были статистически обработаны на основе кластерного анализа по программам, разработанным А. С. Ивановым. Методика анализа и блок-схема данных программ описаны в статье В. К. Гаранина с соавторами [2], а теоретические предпосылки изложены в работе Б. Дюрана и П. Оделла [3].

Анализируя типоморфные особенности кимберлитов (АКБ и ПК) трубки Айхал, мы получили следующие результаты.

Распределение рудных минералов в связующей массе изученных пород непостоянно и колеблется от 1–2 до 7–10 об.%. Оксидные минералы представлены главным образом шпинелидами. Так, в АКБ преобладают шпинелиды, в т. ч. титаномagnetиты и magnetиты, гораздо реже встречаются ильменит и рутил. Перовскит не встречен. В ПК оксидные минералы представлены в основном шпинелидами, рутилом, гораздо реже встречается ильменит.

Шпинелиды из АКБ образуют мелкие (10–20 мкм) идиоморфные зерна и представлены ультравысокохромистым пикрохромитом (1ХГГ), среднехромистым пикроферрихромитом (4ХГГ), низкохромистым пикроферрихромитом (5ХГГ), высокохромистым магнотитаномagnetитом (7ХГГ), высокохромистым пикрохромитом (2ХГГ).

Характерными особенностями химического состава ультравысокохромистых пикрохромитов являются высокое содержание хрома (51,2–60,1 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), низкое – титана (1,8–3,8 мас.% TiO<sub>2</sub>), содержания магния и алюминия – 10,1–12,4 мас.% MgO; 3,9–7,5 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Характерные особенности химического состава высокохромистых пикрохромитов – высокое содержание хрома (47,4 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), низкое – титана (2,5 мас.% TiO<sub>2</sub>), содержания магния

и алюминия – 17,7 мас.% MgO, 0,1 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Среднехромистый пикроферрихромит характеризуется содержанием хрома 35,8–40,4 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, титана – 5,9–9,9 мас.% TiO<sub>2</sub>, содержания магния и алюминия – 10,9–11,3 мас.% MgO; 5,5–5,7 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Низкохромистый пикроферрихромит содержит 25,9–29,5 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, титана – 8,8–9,2 мас.% TiO<sub>2</sub>, содержания магния и алюминия – 10,6–11,5 мас.% MgO и 4,8–5,5 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Высокохромистый магнотитаномагнетит характеризуется содержанием хрома 11,8–16 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, титана 11,9–12,1 мас.% TiO<sub>2</sub>, содержания магния и алюминия – 13,9–16,4 мас.% MgO и 0,1–2,6 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Рутил встречается в виде отдельных зерен размером до 10 мкм, обогащен, как правило, ниобием (до 2,7 мас.% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Для некоторых зерен рутила типична примесь железа (до 2, 2 мас.% FeO)

В небольшом количестве встречается ильменит в виде кайм на рутиле, отдельных зерен размером до 10 мкм. Присутствуют низкомарганцовистый (9ХГГ) и железистый (14ХГГ) ильменит.

Микрокристаллические шпинелиды из связующей массы ПК, как правило, встречаются в виде сложных зональных образований, отдельных зерен, а также в виде включений в измененный оливин.

Преобладают высокохромистые магнотитаномагнетиты (7ХГГ) и ультравысокохромистые пикрохромиты (1ХГГ). Также встречены магнезиальная ульвешпинель (10ХГГ), магнезиально-хромовая ульвешпинель (6ХГГ), глиноземистая магноульвешпинель (8ХГГ), магнезиальный титаномагнетит (11ХГГ), магнезиальный магнетит (14ХГГ).

Характерными особенностями химического состава ультравысокохромистых пикрохромитов являются высокое содержание хрома (51,2–57,8 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), низкое – титана (1,8–3,7 мас.% TiO<sub>2</sub>), среднее содержание магния 11,3 мас.% MgO, алюминия 3,4 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Высокохромистый магнотитаномагнетит характеризуется содержанием хрома 11,4–15 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, титана – 12,3–16,7 мас.% TiO<sub>2</sub>, магния – 10,1–14,9 мас.% MgO, алюминия – 1,9–4,7 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, железа – 53,4–67 мас.% FeO.

Ильменит встречается в виде кайм на шпинелидах, размер отдельных зерен – до 10 мкм. Ильмениты представлены железистым ильменитом (11 ХГГ), хромсодержащим средне-магнезиальным ильменитом (7ХГГ), марганцовистым ферримагнитным ильменитом (8ХГГ) и низкохромистым пикрогемойльменитом (3а ХГГ). Железистый ильменит преобладает над остальными и составляет 64 % от изученного.

Широкая распространенность микрокристаллических пикрохромитов, отличающихся высоким содержанием хрома (до 50–58 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и низким – титана (2–5 мас.% TiO<sub>2</sub>) в матрице всех изученных типов кимберлитовых пород, свидетельствует о значительной глубине зарождения (в пределах «алмазной зоны» литосферной мантии) и высокой потенциальной алмазонасности кимберлитовых расплавов всех изученных фаз внедрения трубки Айхал [1] (А. В. Бовкун, 2000).

#### Список литературы:

1. Гаранин В. К., Бовкун А. В. [и др.]. Микрокристаллические оксиды из кимберлитов и родственных им пород России. – М. : МГУ, 2008. – 602 с.
2. Гаранин В. К., Крот А. Н., Кудрявцева Г. П. Кластерный анализ как один из подходов к классификации гранатов из кимберлитов // Материалы 16 Конференции молодых ученых. – М. : ВИНТИ, 1990.
3. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. – М. : Прогресс, 1981.
4. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н. [и др.]. Коренные месторождения алмазов мира. – М. : Недра, 1998. – 555 с.

## ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАЙСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЧУКОТСКИЙ АО)

*На основе обобщения фактического каменного материала, натурных наблюдений в подземных горных выработках и интерпретации лабораторно-аналитических данных автором предложена двухэтапная модель формирования золотого оруденения Майского месторождения.*

*Ключевые слова: Чукотка, Майское месторождение, золотое оруденение, упорные руды, черносланцевый тип, геолого-генетическая модель.*

Комплексное изучение геолого-тектонической позиции Майского месторождения в региональных структурах Центральной Чукотки, истории геологического развития, петрографо-геохимических и изотопно-геохронологических особенностей вмещающих терригенно-осадочных, магматических пород и рудоносных метасоматитов, а также физико-химических условий их образования позволило построить двухэтапную геолого-генетическую модель формирования золотого оруденения. Каждый этап, в свою очередь, подразделяется на отдельные стадии, сменяющие друг друга во времени и характеризующиеся определенным событием и геодинамическим режимом, отраженным в геологическом строении территории Чукотки.

**Первый этап – рудоподготовительный** – делится на две стадии. *Первая* ознаменована трансгрессией моря в раннем триасе, образованием Южно-Аньюского палеоокеана и накоплением терригенных алевро-пелитовых, реже псаммитовых осадков на карбонатном основании карбонового возраста в обстановках пассивной континентальной окраины. Затем происходит растяжение дна бассейна, и в толщу осадков внедряются гипабиссальные интрузии – дайки и субпластовые тела основного состава. Наряду с поступлением обломочного материала в осадочный бассейн благодаря магматическим внедрениям привносятся сидерофильные, халькофильные и благородные элементы, которые равномерно распределяются в осадочных породах триаса, иногда образуются сингенетичные пиритовые конкреции. Н. Е. Савва [3] отмечает, что силлы и дайки габбро-долеритов и долеритов триасового возраста являются «золотогенерирующими для терригенных осадков». В итоге образуются геохимически специализированные толщи с надкларковыми содержаниями рудных компонентов (например, содержание золота 0,005–0,01 г/т). В пользу того, что накопление рудных компонентов началось в триасе, свидетельствуют данные об изотопном возрасте пирита –  $229 \pm 91$  млн лет [2]. К концу триаса произошла обширная трансгрессия моря, Центральная Чукотка была выведена на дневную поверхность.

*Вторая стадия* характеризуется инверсией Чукотского палеобассейна в юрское время, происходит закрытие Южно-Аньюского палеоокеана, и Чукотка вступает в орогенную стадию развития. Это время характеризуется проявлением интенсивных горизонтальных тектонических движений, вызванных началом субдукции тихоокеанской плиты под континентальную окраину [5]. Осадочные породы сминаются в складки, затем проявляются хрупкие деформации – заложение разрывных нарушений северо-западного простирания. Территория вступает в орогенную стадию. Терригенно-осадочные породы подверглись региональному метаморфизму зеленосланцевой фации. По вновь сформированным дизъюнктивным структурам метеорные воды проникают в толщу осадочных пород, способствуют миграции (?) полезных компонентов и переотложению их вблизи разрывных нарушений. На второй стадии завершается рудоподготовительный этап. До раннемелового времени территория Центральной Чукотки подвергается размыву.

**Второй этап – рудоформирующий** – подразделяется на как минимум три стадии. *Первая* сопоставляется с меловой тектоно-магматической активизацией, начальным отрезком которой является рубеж аптского и альбского веков. На территории устанавливается обстановка синдвиговой трансформной континентальной окраины [5]. В центральной части Майского рудного

поля происходит становление Кукенейского гранитного интрузива, радиологический возраст которого составляет  $108,5 \pm 1$  млн лет [1]. Сателлиты интрузива при внедрении в осадочную толщу создают вертикальные напряжения, подновляются старые разрывные нарушения северо-западного простирания и образуются новые. Системы разломов северо-восточного простирания воздымают осадочные толщи и образуют Кукенейский горст, а субмеридиональные системы трещин – Майский горст. По новообразованным разрывным нарушениям в терригенные породы, чуть позже внедряются дайки (от лампрофиров до гранит-порфиров), радиологический возраст которых составляет  $108,0-108,3 \pm 1$  млн лет [1]. Наиболее широко распространены дайки гранит-порфиров, представленные мощными гигабиссальными телами с многочисленными ответвлениями и апофизами. При внедрении магматических пород создается избыточное давление в горизонтальной плоскости, дайки раздвигали осадочные породы. В пределах исследуемой площади развиваются пластичные, вязкие деформации – зоны смятия, а также хрупкие – зоны дробления.

С первой стадией связано формирование первой рудной редкометалльной минеральной ассоциации, которая не имеет промышленного интереса в пределах Майского рудного поля. Гидротермальные флюиды, последовавшие за внедрением гигабиссальных интрузий перераспределяли вещество и способствовали отложению сульфидов, в катионные позиции которых входят халькофильные элементы. В редкометалльную ассоциацию входят халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит, блеклые руды и другие минералы, образуют кварц-сульфидные жилы и прожилки. Установлены тесные положительные корреляционные связи с помощью матрицы корреляции и факторного анализа между группой металлов, занимающих катионные позиции в этих минералах. Данная ассоциация имеет широкое распространение в восточном блоке Майского месторождения, где кварц-сульфидные жилы и прожилки секут дайки кислого состава.

Во *вторую стадию* формируются промышленные концентрации тонкодисперсного золота в весьма тесной ассоциации с сопутствующей сульфидной минерализацией. Гидротермальные растворы поднимаются по ослабленным зонам, привносят рудные компоненты с глубины, циркулируют во вмещающих осадочных породах, перераспределяют золото из геохимически специализированных толщ и формируют промышленные залежи на геохимических барьерах в зонах смятия и дробления субмеридионального простирания.

Под действием гидротерм происходит замещение первичных нерудных минералов в околорудном пространстве серицитом, гидросерицитом, карбонатами, кварцем с образованием березитов. Из верхних частей метасоматической колонны происходит перераспределение органического углерода на нижние горизонты. Углерод является хорошим сорбентом и способствует осаждению полезных компонентов, в том числе золота. В рудах и околожилных участках отмечается накопление переотложенного углистого вещества. Рудная минерализация представлена мышьяковистым пиритом и тонкоигольчатым арсенопиритом, с которым связано около 90 % запасов золота. Рудные жилы имеют крутое падение,  $65-85^\circ$  и занимают секущее положение относительно пологопадающих жил ( $20-30^\circ$ ) редкометалльной ассоциации. Для продуктивной рудной ассоциации установлены весьма тесные линейные корреляционные связи золота с молибденом, мышьяком и таллием. Золото является структурной примесью в арсенопирите, а природа молибдена и таллия до конца не ясна, предполагается, что таллий и молибден входят в состав пирита или арсенопирита как микропримеси.

*Третья стадия* ознаменована внедрением субвулканических тел и излиянием на земную поверхность в пределах Майского рудного поля риолитов (?) и игнимбритов (?). Вулканические породы, по мнению автора, покрывали всю исследуемую площадь и являлись частью Пегтымельского вулканического прогиба. А. А. Сидоров с соавторами [4] отмечают тесную связь золото-сульфидного вкрапленного оруденения с золото-серебряным эпитеермальным в вулканических комплексах. С этой стадией автор связывает образование рудных столбов – кварц-антимонитовых брекчий с видимым золотом, которые занимают секущее положение относительно тонкодисперсных пирит-арсенопиритовых руд. Эти образования имеют крутые углы залегания ( $75-90^\circ$ ) и в некоторых случаях меняют направление падения с восточного на западное, тем самым пересекая генеральное падение пород и рудного тела месторождения. Не исключено, что в перекрывающих вулканиках было сформировано эпитеермальное золото-

серебряное оруденение, сходное с таковым на месторождении Сопка Рудная. Третья стадия завершает рудоформирующий этап в пределах Майского рудного поля.

Позже, в четвертичное время, неотектоническими движениями территория Майского рудного поля воздымается, начинается разрушение и размыв вулканитов, перекрывающих изучаемую территорию, а вместе с ними и эпитермальные золото-серебряные руды. Остаются лишь небольшие останцы к юго-востоку и небольшие россыпные объекты.

*Заключение.* Майское месторождение в геологическом отношении является весьма сложным объектом, формирование которого происходило в течении длительного времени. Анализ геологического строения территории Чукотки, рудной минерализации месторождения, результатов химико-аналитических исследований руд и вмещающих пород указывают на многоэтапность и полигенность Майского месторождения. Выделяются два основных этапа образования золотого оруденения – ранний рудоподготовительный и основной рудоформирующий. Рудное вещество поступало как из корового, так и из мантийного источников.

Список литературы:

1. Артемьев Д. С. Гранитоиды Майского золоторудного узла (Центральная Чукотка) // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 69. – С. 107–121.
2. Артемьев Д. С., Крымский Р. Ш., Беляцкий Б. В., Ашихмин Д. С. Возраст оруденения Майского золоторудного месторождения (Центральная Чукотка): результаты Re-Os изотопного датирования // Записки Горного института. – 2020. – Т. 243. – С. 266–278.
3. Савва Н. Е., Прейс В. К. Атлас самородного золота Северо-Востока СССР. – М. : Наука, 1990. – 292 с.
4. Сидоров А. А., Новожилов Ю. И., Гаврилов А. М. О связи месторождений золотоносных вкрапленных сульфидных руд с вулканогенным золотосеребряным оруденением // Доклады академии наук СССР. – 1981. – Т. 261, № 6. – С. 1398–1401.
5. Ханчук А. И., Гребенников А. В., Иванов В. В. Альб-сеноманские окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38, № 3. – С. 4–29.

**Афанасьев В. П. (avp-diamond@mail.ru)  
ФГБУН «ИГМ СО РАН»**

## ОСОБЕННОСТИ РОССЫПНОЙ АЛМАЗОНОСТИ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

*Охарактеризованы алмазы из россыпей юга Сибирской платформы (Иркутская область) с точки зрения «признаков древности», связанных с происхождением алмазов из докембрийских источников. Описаны среднерифейские алмазоносные лампроиты Ингашинского поля как возможные источники этих алмазов. Фанерозойская алмазоносность, связанная с кимберлитами, остается пока неопределенной. В общем балансе находок алмазов в Иркутской области преобладают потенциально докембрийские, чем и определяется специфика россыпной алмазоносности данного региона.*

*Ключевые слова:* Иркутская область, Восточный Саян, алмаз, индикаторные минералы, докембрий, фанерозой, признаки древности.

Особенности россыпной алмазоносности юга Сибирской платформы рассматриваются в рамках сформулированной нами новой парадигмы алмазоносности Сибирской платформы. Она предусматривает:

- существование докембрийской эпохи алмазоносности;
- разнообразие типов коренных источников алмазов в докембрии и, соответственно, различные типы полученных из них алмазов;
  - один тип коренных источников (кимберлиты) в фанерозое;
  - среднепалеозойские кимберлиты – основной промышленный коренной источник алмазов на Сибирской платформе.

В Иркутской области особенно ярко выражены признаки докембрийской алмазоносности Сибирской платформы как в россыпных, так и в коренных проявлениях.

Россыпные признаки докембрийской алмазоносности связаны с морфологическими особенностями алмазов как «первичными» так и обусловленными экзогенными изменениями на протяжении их россыпной истории. Они обозначаются как «признаки древности», из которых для Иркутской области наиболее актуальны следующие:

- доминирование алмазов додекаэдрического габитуса над остальными морфологическими типами (48,9 % – округлые додекаэдроиды);
- повышенный до предельного механический износ алмазов (68,9 и 46,2 % – шероховатые поверхности и леденцовая скульптура соответственно и их сочетание);
- следы удара в форме ромбических или кольцевых поверхностных трещин (4,9 % – на додекаэдроиде);
- коричневые пятна пигментации (5,5 % от общего количества пигментированных кристаллов);
- повышенные размеры (практически отсутствуют зерна менее 1 мм);
- зараженность «древними» алмазами достаточно больших площадей.

Что касается последнего признака, то алмазы с такими морфологическими и иными признаками, включая коричневые пятна пигментации, характерны для бассейна р. Нижняя Тунгуска (реки Апка, Кочема, Ерема) за исключением более мелкого размера; мы полагаем, что эти алмазы представляют собой хвост шлейфа разноса саянских алмазов в северных румбах в ходе нижнеюрской эрозии Восточного Саяна, чем обусловлен меньший средний размер алмазов.

Кроме того, максимумы распределения потенциально докембрийских алмазов в фанерозойских отложениях тяготеют к выступам докембрийского фундамента платформы, что связано с эрозией докембрийских россыпей и, возможно, коренных источников; последующие эпохи денудации привели к более широкому разносу алмазов.

На Восточном Саяне имеются признаки и коренной докембрийской алмазоносности. В начале 60-х гг. прошлого столетия при проведении поисковых работ на алмазы на юге Иркутской области были обнаружены жильные тела оливин-флогопитовых пород, диагностированные как слюдяные кимберлиты. В настоящее время в Присяянье известно девять жильных тел подобного состава, формирующих Ингашинское поле (бассейн р. Ингаш, левый приток р. Оки) [2, 3, 4]. Возраст этих пород, определенный рубидий-стронциевым изохронным методом, составляет  $1268 \pm 12$  млн лет; близкие цифры (1100–1200 млн лет) получены калий-аргоновым методом (С. Б. Брандт, Институт земной коры, Иркутск) [2]. При обогащении этих пород найдено несколько алмазов преимущественно ромбододекаэдрического габитуса весом 1–9 мг. Анализ геолого-структурной позиции данных пород (расположение в зоне интракратонного мобильного пояса), минералогии, петро- и геохимических особенностей этих пород дали основание А. П. Серкерину с соавторами [3, 4] отнести их к породам лампроитовой серии.

Наличие алмазоносных лампроитов, скорее всего рифейского возраста, содержащих алмазы ромбододекаэдрического габитуса, характерные для докембрийских источников, – прямое свидетельство существования докембрийской эпохи алмазоносности на Сибирской платформе.

Необходимо отметить, что в 2021 г. опубликована статья [5], в которой уран-свинцовым методом по цирконам определен возраст ингашинских лампроитов в 300 млн лет, но с учетом прежних определений отмечается, что вопрос возраста этих пород остается открытым. Вместе с тем по устным сообщениям Ю. К. Голубева и Д. П. Гладкочуба алмазы были найдены в вендских отложениях Восточного Саяна при опробовании их на золото. Это определенно указывает на реальную алмазоносность докембрия.

Что касается потенциально алмазоносных среднепалеозойских кимберлитов, то признаки, указывающие на них – индикаторные минералы – распространены в разных местах Иркутской



области, однако россыпи кимберлитовых алмазов в связи с ними не обнаружены. Вопрос кимберлитовой фанерозойской алмазоносности региона остается открытым. Нужно учитывать, что эрозия кимберлитов создает ореолы индикаторных минералов и алмазов, если они присутствуют, в ограниченном пространстве вокруг коренных источников, и они могут быть пропущены. То есть в отличие от широкого разноса алмазов из докембрийских источников и их площадного распределения, кимберлитовые алмазы и индикаторные минералы привязаны к коренным источникам и распространены локально.

В итоге при подведении баланса находок алмазов из докембрийских источников (включая и прежние находки 50-х гг. [1]) по отношению к предположительно кимберлитовым алмазам необходимо отметить количественное преобладание первых. Этим определяется на сегодняшний день специфика алмазоносности Иркутской области.

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН.*

Список литературы:

1. Дибров В. Е., Миронов И. К., Холь Ф. И., Андрианов В. Т. Геологическое строение и алмазоносность юго-западной части Сибирской платформы. – М. : АН СССР, 1960. – 98 с.
2. Секерин А. П., Владимиров Б. М., Лашенов В. А., Масловская М. Н., Солодянкина В. Н. Особенности кимберлитового магматизма Присяяня // Проблемы кимберлитового магматизма. – Новосибирск : Наука, 1989. – С. 23–28.
3. Секерин А. П., Меньшагин Ю. В., Лашенов В. А. Докембрийские лампроиты Присяяня // Доклады Академии наук. – 1993. – Т. 329, № 3. – С. 328–331.
4. Секерин А. П., Меньшагин Ю. В., Лашенов В. А. Присяянская провинция высококальциевых щелочных пород и лампроитов // Доклады Академии наук. – 1995. – Т. 342, № 1. – С. 82–86.
5. Kostrovitsky S. I., Yakovlev D. A., Sharygin I. S., Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Tretiakova I. G., Dymshits A. M., Sekerin A. P., Malkovets V. G. Diamondiferous lamproites of Ingashi field, Siberian craton / National Electronic Information Consortium of Russia. – URL : <http://sp.lyellcollection.org> (Accessed 30.09.2021).

**Ачилов А. Р. <sup>1</sup>(akbarachilov91@mail.ru), Джуманиязов Д. И. <sup>2</sup>(denisbey@list.ru)**

**<sup>1</sup>АО «Уранредметгеология» Госкомгеологии РУз, <sup>2</sup>Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева**

## МАГМАТИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ АЛТЫНТАУСКОГО ИНТРУЗИВА

*В тезисах рассматриваются магматические образования Алтынтауского интрузива. В геологическом строении района работ принимают участие изверженные, осадочно-метаморфогенные породы протерозойского и палеозойского возраста и неметаморфизованные осадки позднего мела и антропогена. Основную часть площади занимают гранитоиды Алтынтауского интрузива и породы осадочно-метаморфогенного комплекса, обрамляющие Алтынтауский интрузив.*

*Ключевые слова: эффузивные, интрузивные и жильные породы, эндоконтактовая зона, палеозой, магма, пелит, серицит, карбонат.*

Интрузивные образования Кызылкумов изучались У. Д. Мамарозиковым и др. [2, 4] и др. Геологическое развитие Центральных Кызылкумов в палеозое характеризуется интенсивным проявлением магматической деятельности, которая привела к формированию разнообразных по составу эффузивных, интрузивных и жильных пород.

Алтынтауский интрузив, имеющий на поверхности относительно изометричную форму, занимает площадь около 150 км<sup>2</sup> (13 × 11,3 км<sup>2</sup>), по динамике активно внедрившийся плутон

в кварцито-кремнисто-сланцевые палеозойские породы рамы. Восточная и юго-западная контактовые поверхности интрузива пологие ( $10-25^\circ$ ), на других участках они более крутые, достигают  $40-50^\circ$ , что предполагает гарполитообразную камеру формировавшейся гранитной магмы, полагая «языкоподобная» часть которой погружалась в восточную зону экзосферы гарполита [1].

Начавшись в нижнем палеозое со сравнительно слабых подводных излияний основной и реже кислой магмы, эта деятельность, нарастая по интенсивности, неоднократно возобновлялась в среднем и завершилась в верхнем палеозое внедрением крупных интрузивов кислого состава. Алтынтауский интрузив слагают серые порфиroidные биотитовые граниты с эндоконтактной оторочкой из серых биотитовых гранодиоритов. В восточной и меньше, западной и северной сферах интрузива выделяются штокообразные и сложной морфологии линзовидно-дайкообразные тела красных среднезернистых биотит-мусковитовых гранитов. Принято считать, что красные граниты моложе серых, с ними многократно пересекающихся [2].

Верхнепалеозойский комплекс кислых магматических пород Южного Букантау представлен гранитоидами Алтынтауского интрузива, относимыми рядом авторов к полифациальной гранодиорит-адамелитовой магматической формации.

Главная фаза герцинского тектогенеза в Южном Тянь-Шане прошла на рубеже среднего и верхнего карбона или в начале верхнего карбона. Интрузии описываемой гранодиорит-адамелитовой формации прорывают орогенные молассоидные отложения, имеют абсолютный возраст гранитоидных пород 265–283 млн лет, что позволяет говорить о пермском или верхнекарбон-пермском времени их формирования.

Алтынтауский гранитоидный массив в районе Букантау обнажается лишь незначительной своей частью, в основном он скрыт под покровом мезозойско-кайнозойских отложений, где прослежен буровыми скважинами и гравиметрией далеко на юго-запад.

Алтынтауский интрузив сложен в основном серыми среднезернистыми биотитовыми и двуслюдяными, реже мусковитовыми гранитами. Серые среднезернистые биотитовые граниты  $\gamma_1 C_3-P_1$  развиты примерно на 25 % площади работ и почти без перерыва распространены от Сланцевого участка на западе массива до контакта с вмещающими породами на востоке массива, в пределах площади работ. Узкий пережим поля биотитовых среднезернистых гранитов в 1 км на восток от участка Алтыбай соответствует наиболее крупному участку двуслюдяных гранитов [3].

Биотитовые среднезернистые граниты состоят из идиоморфных таблитчатых кристаллов плагиоклаза (20–35 %), ксеноморфных выделений калиевого полевого шпата (20–35 %), кварца (30–40 %) и чешуек биотита (до 5 %). Акцессорные минералы представлены почти повсеместно распространенным апатитом, сфеном, реже встречаются циркон и гранат.

Плагиоклаз, как правило, представлен полисинтетическими двойниками, иногда зональными кристаллами. В гипергенных условиях по плагиоклазу наиболее часто развивается пелит, при этом в зональных кристаллах внутренние зоны бывают нацело замещены глинистыми продуктами и иногда пигментированы гидроокислами железа, а внешние, более кислого состава, остаются довольно свежими. Кроме пелита по плагиоклазу иногда развивается серицит и карбонат.

Калиевый полевой шпат в большинстве случаев представлен решетчатым микроклином. При равных условиях выветривания микроклин остается более свежим, чем плагиоклаз, но в верхних зонах коры выветривания и плагиоклаз, и калиевый полевой шпат не сохраняются, нацело замещаясь каолином. По биотиту иногда развиваются: хлорит, эпидот, сфен.

В приконтактной зоне интрузива иногда встречаются небольшие поля мелкозернистых темносерых биотитовых гранитов с содержанием биотита до 10–15 %.

Лишь в нескольких обнажениях довелось наблюдать резкий интрузивный контакт между биотитовыми и двуслюдяными гранитами, в основном же между ними имеют место постепенные переходы. Вблизи перехода двуслюдяных гранитов в биотитовые в последних всегда можно встретить небольшое количество мелкочешуйчатого мусковита.

Тела пегматитов и аплитов ( $p C_3-P_1$ ) мощностью 3–4 м развиваются по интрузивному контакту гранитоидов с вмещающими породами, протягиваясь на сотни метров (500–600 м), часто ветвятся. Распределение их на площади весьма неравномерное: от полного отсутствия до образования обширных полей в центральной части интрузива и в его восточной контактовой зоне [4].

В целом можно сказать, что Алтынтауский интрузив слагают порфиroidные биотитовые граниты с эндоконтактовой оторочкой из серых биотитовых гранодиоритов. В некоторых частях интрузива выделяются штокообразные и линзовидно-дайкообразные тела среднезернистых биотит-мусковитовых гранитов.

По мнению ряда авторов двуслюдяные и мусковитовые граниты Алтынтауского интрузива сформировались по биотитовым в результате метасоматоза при автометаморфизме с участием летучих компонентов.

Список литературы:

1. Ежков Ю. Б., Рахимов Р., Панасюченко В. Н. [и др.]. Нетрадиционная уран-редкометалльная специализация гранитов Алтынтау и ее практические следствия // Тезисы респ. научно-практ. конф. «Диверсификация сырьевой базы промышленности Республики Узбекистан: критерии поиски оценки нетрадиционных типов полезных ископаемых». – Ташкент : ГП «НИИМР». – 2012. – С. 32–35.
2. Мамарозиков У. Д. Рудогенерирующие микрообособления в гранитоидах Алтынтауского массива и вмещающих их углеродистых сланцах (Центральные Кызылкумы, Западный Узбекистан) // Материалы XVI Всероссийской конференции по термобарогеохимии. – Иркутск : ИГХ СО РАН, 2014. – С. 81–82.
3. Мамарозиков У. Д., Норматов А. А., Кирезиди С. В. Межформационные инфильтрационные залежи железа (Алтынтауское рудное поле, Центральные Кызылкумы) // Геология и минеральные ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 10–16.
4. Мамарозиков У. Д., Рустамов А. И., Халилов А. А. Новые данные о генезисе и рудоносности гранитных пегматитов Джиландысайского участка Алтынтауского рудного поля (Центральные Кызылкумы) // Геология и минеральные ресурсы. – 2013. – № 4. – С. 3–14.

**Бабаянц П. С. (bab@aerogeo.ru), Калмыков Б. А., Трусев А. А.  
АО «ГНПП «Аэрогеофизика»**

#### СОВРЕМЕННЫЕ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

*Прогресс в развитии аэрогеофизических технологий в последние годы способствовал заметному повышению их информативности и поисковой отдачи. Одним из следствий стал заметный рост объемов выполняемых аэрогеофизических съемок при поисках золоторудных месторождений. Обобщен опыт использования современных аэрогеофизических технологий, накопленный при выполнении работ на золотоперспективных территориях в различных геолого-географических условиях.*

*Ключевые слова: аэрогеофизические технологии, аэроэлектроразведка ДИП, комплексная интерпретация, факторы контроля оруденения.*

Рассматривая особенности применения геофизических методов, коренные и россыпные месторождения золота можно отнести к классу слабоконтрастных геологических объектов, характеризующихся отсутствием прямых поисковых признаков, контрастных физических границ и, как следствие, выраженных аномалий геофизических полей [1]. С учетом особенностей геологического строения и связанного с ними характера отражения в геофизических полях большинства золоторудных месторождений целесообразно включать в состав комплекса аэрогеофизических методов максимально возможное число информационных каналов, что позволяет заметно

повысить надежность и достоверность выделения целевых объектов и снизить неоднозначность геологической интерпретации результатов съемки.

За последние годы у нас в стране и за рубежом накоплен богатый опыт использования аэрогеофизических технологий при опосковании территорий, перспективных на золото. Традиционно в состав комплекса включались аэромагнитная съемка и аэрогамма-спектрометрия, но в последние годы стали дополнительно привлекать одну из модификаций аэроэлектроразведки, что позволило существенно расширить спектр решаемых геологических задач.

Современная российская аппаратура для частотной электроразведки превосходит лучшие западные аналоги по чувствительности и разрешающей способности. Основой используемого в настоящее время комплекса является частотная аэроэлектроразведочная система (модификация метода дипольного индуктивного профилирования), совмещающая простоту и эффективность измерений с их высокой разрешающей способностью и большой эффективной глубиной. В настоящее время завершены работы по созданию новой модификации аппаратуры с буксируемой на подвеске генераторной петлей, что позволяет использовать для работы более широкий спектр летательных аппаратов, включая легкие вертолеты.

Считается, что аэроэлектроразведка методом переходных процессов (АМПП) является на сегодняшний день наиболее эффективной технологией прямых поисков твердых полезных ископаемых на этапе детальных поисково-оценочных работ. При этом метод эффективен при сопротивлениях поисковых объектов до первых десятков Ом-м, в этом случае глубинность метода может достигать сотен метров. При высоких же сопротивлениях разрешающая способность метода значительно хуже, то есть его картировочные возможности невелики. Важным преимуществом метода при этом является возможность определения не только проводимостей (сопротивлений) образований верхней части разреза, но и их поляризуемости.

В последние годы электроразведка АМПП пользуется наибольшим спросом у потребителей, однако это не всегда оправдано, выбор должен учитывать следующие факторы.

1. Глубинность частотной электроразведки составляет около 150 м, АМПП – до 300–500 м (в благоприятных условиях).

2. АМПП обладает неудовлетворительной разрешающей способностью при сопротивлениях разреза свыше 100–200 Ом-м.

3. С помощью АМПП помимо сопротивлений можно определять поляризуемость образований.

4. Стоимость съемки с АМПП в 2–3 раза превышает стоимость съемки с частотными модификациями электроразведки.

Таким образом, электроразведка МПП будет эффективной при поисках массивных сульфидных (например, колчеданных) руд, комплексных месторождений (например, медно-порфировых с эпитеpмальным золотом), объектов, связанных с сульфидной минерализацией. Если предметом локализации являются зоны наложенных изменений, структурно-вещественные комплексы определенной генерации и т.п., предпочтительнее использование более дешевой частотной модификации. Также ей следует отдать предпочтение в случае, когда ожидается примерно одинаковый эффект от применения обеих модификаций.

Важным вопросом является выбор масштаба съемки (расстояния между рядовыми маршрутами). Опыт наших работ показывает, что для полноценного обеспечения поисковых и оценочных работ на черные, цветные и благородные металлы масштаб аэрогеофизической съемки не может быть мельче 1:10 000 [2].

При интерпретации аэрогеофизических данных, нацеленных на поиски золотого оруденения, наиболее эффективным представляется использование двух дополняющих подходов [4]: последовательного картирования факторов локализации оруденения и использования вероятностных методов прогноза, основанных на использовании методов машинного обучения. Решающая роль при интерпретации геофизических вообще и аэрогеофизических методов в частности принадлежит методам специального анализа и моделирования данных, при этом одним из ключевых условий эффективного применения аэрогеофизических данных является использование всего спектра имеющейся априорной геолого-геофизической информации.

На основании изучения условий локализации золоторудных месторождений в работах ряда исследователей [3, 5] выделены прогнозно-поисковые предпосылки (факторы) локализации

эндогенного золотого оруденения. Общими для основных генетических типов оруденения являются: структурно-тектонический, литолого-стратиграфический, магматический, гидротермально-метасоматический, метаморфический и геофизические прогнозные факторы. Все они в той или иной мере находят отражение в геофизических полях и могут быть локализованы с использованием специальных методов анализа. В качестве примеров отражения прогнозных факторов в аэрогеофизических материалах приводятся результаты работ в пределах Южно-Енисейского золотоносного района, Витимского горнорудного района и других районов Забайкалья.

Особенности аэрогеофизических съемок (высокая производительность, комплексность, дешевизна, информативность) определяют наибольшую эффективность их использования в качестве опережающих, с тем чтобы можно было, опираясь на результаты их интерпретации, оперативно управлять поисковым процессом на основном этапе работ. Таким образом, аэрогеофизические технологии являются эффективным средством оптимизации геологоразведочного производства за счет сокращения времени на опосредованное опосредование территории и более точного позиционирования дорогостоящих горно-буровых работ, что делает их использование особенно актуальным в современных условиях.

Список литературы:

1. Бабаянц П. С., Контарович О. Р., Трусов А. А. Аэрогеофизические технологии при поисках месторождений золота: современные тенденции // Золото и технологии. – 2018. – № 11. – С. 106–112.
2. Бабаянц П. С., Воргачева Е. Ю. Эффективность и целесообразность опережающих детальных комплексных аэрогеофизических съемок // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. 12-я научно-практическая конференция. – Ханты-Мансийск. – 2009.
3. Беневольский Б. И., Блинова Е. В., Бражник А. В. [и др.]. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Золото». – М. : ЦНИГРИ. – 2002. – 182 с.
4. Калмыков Б. А., Лёвин Ф. Д., Трусов А. А. Возможности современных аэрогеофизических методов при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений // Золото и технологии. – 2017. – №2. – С. 64–70.
5. Золоторудные месторождения России / Ред. М. М. Контантинов. – М. : Акварель, 2010. – 374 с.

**Бабаянц П. С.<sup>1</sup> (bab@aerogeo.ru), Контарович О. Р.<sup>1</sup>,  
Корди П. С.<sup>2</sup> (kordi@polymetal.ru), Трусов А. А.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> АО «ГНПП «Аэрогеофизика», <sup>2</sup> АО «Полиметалл УК»**

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ДЕТАЛЬНЫХ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИ

*Значительная часть медных месторождений сопровождается обильной сульфидной минерализацией, от вкрапленной до массивной. Это открывает возможности для прямой локализации залежей с использованием современных аэрогеофизических технологий, в первую очередь – импульсной аэроэлектроразведки. Эффективность работ иллюстрируется на примерах поисков медноколчеданного и медно-никелевого оруденения.*

*Ключевые слова: аэрогеофизические технологии, аэроэлектроразведка МПП, колчеданные и медно-никелевые месторождения.*

В последние годы все чаще предметом поисков становятся месторождения, относящиеся к классу слабоконтрастных геологических объектов, характеризующихся отсутствием прямых

поисковых признаков, контрастных физических границ и, как следствие, – выраженных аномалий геофизических полей [1]. В то же время возможности выявления залежей, характеризующихся значительным контрастом физических свойств по отношению к вмещающей среде, и, как следствие, выраженными аномалиями геофизических полей, отнюдь не исчерпаны. К числу такого рода объектов относится значительная часть месторождений меди, в т.ч. медноколчеданные, сульфидные медно-никелевые и другие, сопровождающиеся выраженной сульфидной минерализацией.

Аэрогеофизические поиски подобных объектов нацеливаются на прямую локализацию залежей с последующей их геометризацией, основанной на физико-математическом моделировании геофизических полей. С учетом особенностей указанных месторождений ключевым методом при их изучении является аэроэлектроразведка в модификации метода переходных процессов (АМПП или Time Domain), современные модификации которой позволяют определять не только проводимость образований разреза, но и их поляризуемость. Комплекс обычно дополняется магнитным и аэрогамма-спектрометрическими каналами, информация которых позволяет существенно дополнить и уточнить данные об особенностях геологического строения площади, но все же носит подчиненный характер. Примеры эффективного использования современных аэрогеофизических технологий при поисках месторождений меди приводятся ниже.

На одной из площадей Дальневосточного федерального округа была выполнена аэрогеофизическая съемка масштаба 1:10 000 комплексом методов, включающим аэромагнитометрию, аэрогамма-спектрометрию и аэроэлектроразведку методом переходных процессов (МПП) в модификации HELITEM (CGG, Канада). Общий объем работ превысил 1500 пог. км. Целевым назначением работ являлось создание современной высокоточной аэрогеофизической основы исследуемой площади для выделения участков, перспективных на обнаружение залежей медно-никелевых руд.

Для первичной обработки данных использовалось специализированное программное обеспечение компании CGG (электромагнитная съемка) и пакет программ Oasis Montaj (магнитная съемка и аэрогамма-спектрометрия). По результатам обработки данных МПП (30 каналов необработанных данных для полусинусоидального импульса и 15 каналов для прямоугольного импульса dB/dt) были составлены карты кажущейся проводимости, дифференциальной проводимости и постоянной времени спада. По результатам обработки аэромагнитных и аэрогамма-спектрометрических данных составлены карты аномального магнитного поля и компонент поля радиоактивности.

Анализ полученных материалов позволил выделить комплексные геофизические аномалии, перспективные на медно-никелевую минерализацию.

На одной из площадей Северного Урала выполнена комплексная аэрогеофизическая съемка масштаба 1:20 000, включающая в себя магниторазведку и электроразведку методом переходных процессов (МПП) в модификации HELITEM. Целевым назначением работ являлось выделение перспективных площадей на обнаружение залежей медноколчеданных, полиметаллических руд. Общий объем работ превысил 3500 км.

По результатам обработки данных были составлены карты цифровых моделей относительных превышений рельефа местности, схемы фактических линий полетов, карты изолиний аномального магнитного поля, карты Z-компоненты dB/dt для раннего, среднего и позднего времен регистрации, карты эффективных сопротивлений, карты постоянной времени, характеризующей скорость спада вихревого поля, карты параметра «кажущаяся заряжаемость», разрезы дифференциальной проводимости для каждого маршрута. Для выделения потенциально перспективных локальных аномалий электропроводности использовались методы распознавания образов (алгоритмы оптимального приема).

Выполнена геологическая интерпретация данных с привлечением всего объема имеющейся априорной геолого-геофизической информации, по результатам которой составлены схемы прогноза на медное и полиметаллическое оруденение, выделено шесть перспективных участков для последующего изучения.

Заверкой результатов интерпретации аэрогеофизических данных выявлен промышленный объект с эпитермальным золотым оруденением.

Компания «Полиметалл» в 2017 году выполняла съёмку с применением системы VTEM (Канада, GeoTech) на флангах известного ранее медноколчеданного месторождения Саум. Примечательно, что именно на этом месторождении в 1974 году под руководством Ф. М. Каменецкого были выполнены одни из первых опытно-методических работ с использованием аэроварианта МПП с отечественным аппаратурным комплексом АМПП-2.

Новых объектов в пределах исследуемой площади выявить не удалось, но полученные результаты наглядно демонстрируют эффективность применения подобных систем. Помимо контрастной аномалии электропроводности, связанной с месторождением Саум, были зафиксированы аномальные эффекты от медноколчеданных рудопоявлений Яхтильинское и Медвежинское. Зафиксированы аномальные поля поляризуемости в экзоконтакте интрузии гранодиоритов, порфировый шток с медной минерализацией.

Накопленный в результате выполнения указанных работ опыт свидетельствует о высокой эффективности современных реализаций аэроэлектроразведки МПП для поисков объектов упомянутых выше типов, при этом эффективность и геологическая информативность результатов съёмки зависит не столько от мощности и разрешающей способности измерительных систем, сколько от возможности их настройки и адаптации к конкретным геолого-ландшафтным условиям работ.

В ГНПП «Аэрогеофизика» завершена разработка аппаратурно-программного комплекса NoriZOND, обладающего такими возможностями.

Список литературы:

1. Бабаянц П. С., Контарович О. Р., Трусов А. А. Современные аэрогеофизические технологии при прогнозе, поисках и оценке месторождений твердых полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. – 2020. – № 11. – С. 30–40.

**Бабаянц П. С.** <sup>1</sup> (bab@aerogeo.ru), **Иванов А. И.** <sup>2</sup> (a.ivanov@tsnigri.ru), **Контарович О. Р.** <sup>1</sup>  
<sup>1</sup> АО «ГНПП «Аэрогеофизика», <sup>2</sup> ФГБУ «ЦНИГРИ»

## АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ И ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ НА ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

*Современные аэрогеофизические исследования являются надежным средством повышения эффективности прогнозно-поисковых работ. Однако их результативность зависит от правильного решения целого спектра технико-методических вопросов – от выбора комплекса методов и оптимального авианосителя до перечня решаемых геологических задач. Повышению эффективности использования аэрогеофизических технологий будет способствовать разработка и утверждение специального документа, регламентирующего их проведение.*

*Ключевые слова: аэрогеофизические технологии, методика съёмки, физико-геологическое моделирование, методические рекомендации.*

Надежным средством оптимизации геологоразведочных работ, направленных на прогноз, поиски и оценку месторождений твердых полезных ископаемых, является выполнение опережающих аэрогеофизических исследований, качество исполнения и информативность которых в последние годы растет быстрыми темпами [1]. Однако их эффективное использование возможно лишь при условии корректного решения целого набора технико-методических задач по организации и выполнению работ с учетом особенностей строения изучаемой территории и характеристик целевого объекта.

*Выбор конфигурации программно-аппаратного комплекса* подразумевает определение набора аэрогеофизических методов и оптимального авианосителя, которое осуществляется с учетом следующих факторов:

- целевое назначение работ и перечень геологических задач, на решение которых должны быть нацелены работы;
- особенности геологического строения территории;
- ландшафтно-географические условия съемки (абсолютные высотные отметки, степень расчлененности рельефа, залесенность, наличие водоемов и водотоков, техногенная нагрузка, характер и уровень возможных природных и промышленных помех и т. п.);
- размеры площади и необходимое пространственное разрешение съемки;
- наличие и удаленность от площади работ доступных к использованию аэропортов базирования;
- развитость инфраструктуры и средств коммуникации.

При поисках ТПИ традиционно используется комплекс методов, включающий аэромагнитную съемку, аэрогаммаспектрометрию и одну из модификаций аэроэлектроразведки (частотную или импульсную). Результаты экспериментальных работ последних лет дают возможность дополнить комплекс методов выполнением среднемасштабных съемок аэрогравиметрическим каналом. С учетом того, что в последние годы все чаще предметом изучения становятся объекты, слабо проявленные в геофизических полях, сложного строения, в слепом и скрытом залегании, целесообразным представляется использование максимально полного комплекса методов, что при весьма незначительном удорожании работ позволит получить наиболее полную характеристику объекта изучения.

Важно, что выбор конкретного типа авианосителя имеет подчиненный характер и диктуется перечисленными выше условиями.

*Выбор оптимальной методики съемки* предполагает определение масштаба съемки (расстояние между рядовыми и опорными маршрутами), направления рабочих и опорных маршрутов, способа облета территории (с огибанием рельефа, на постоянной альтитуде) и т. п. При определении требуемого масштаба съемки с учетом последующего использования специальных методов обработки и анализа геофизических данных, включая статистические, целесообразно планировать выполнение съемок на одну ступень крупнее масштаба отчетных карт.

*Обработка и интерпретация комплексных аэрогеофизических данных* подразумевает создание цифровых моделей геофизических полей и их комплексный анализ с использованием самых современных технологий, включая методы математического моделирования, статистического анализа, технологий машинного обучения и т. п. При этом надежные и достоверные результаты могут быть получены лишь при максимально полном учете особенностей строения и условий локализации целевого объекта. При определении технологии обработки и интерпретации данных необходимо учитывать следующие факторы:

- Ранг (минералогический таксон) целевого объекта (рудный узел – рудное поле – месторождение – залежь);
- Особенности геологического строения объекта и вмещающей среды;
- Критерии и факторы локализации целевого объекта;
- Ландшафтно-геологические условия площади работ и т. п.

При этом следует иметь в виду, что для объектов одного и того же промышленно-генетического типа геофизические критерии его локализации могут радикально меняться.

Изложенное выше однозначно свидетельствует о том, что залогом эффективного проектирования современных аэрогеофизических съемок и последующего использования их результатов для прогноза, поисков и оценки месторождений ТПИ является *физико-геологическое моделирование целевого объекта* в реальных условиях залегания, основанное на обобщении всего спектра имеющейся ретроспективной геолого-геофизической информации, включая данные о физических свойствах пород.

Комплексный анализ составленных физико-геологических моделей позволит определить как состав аппаратно-программного комплекса и элементы методики съемки, так и спектр геологических задач, для решения которых он предназначен, включая структурно-тектоническое



картирование, локализацию и идентификацию вещественных комплексов (в т. ч. в слепом и скрытом залегании), проявленность и развитие наложенных процессов, выявление и картирование геофизических факторов контроля оруденения и т. п.

С учетом задач, стоящих перед геологоразведочной отраслью в среднесрочной перспективе [2], для эффективного использования современных аэрогеофизических технологий при прогнозе, поисках и оценке месторождений ТПИ необходимо подготовить в кратчайшие сроки и утвердить в установленном порядке документ, регламентирующий их выполнение, в форме «Методических рекомендаций на аэрогеофизическое сопровождение прогнозно-поисковых и поисково-оценочных работ на ТПИ».

Список литературы:

1. Бабаянц П. С., Контарович О. Р., Трусов А. А. Современные аэрогеофизические технологии при прогнозе, поисках и оценке месторождений твердых полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. – 2020. – № 11. – С. 30–40.
2. Иванов А. И., Черных А. И., Наумов Е. А., Волчков А. Г., Куликов Д. А., Хасанов В. Н., Алексеев Я. В., Минькин К. М., Тарасов А. С., Попов И. В. Геологоразведочные работы на благородные металлы за средства Федерального бюджета в XXI веке – результаты и перспективы // Отечественная геология. – 2020. – № 6. – С. 3–14.

**Баранов Л. Н. (Baranovln@alrosa.ru), Толстов А. В.  
ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)**

## РОЛЬ АПАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД В МИНЕРАГЕНИИ МАССИВА ТОМТОР

*Массив ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Томтор, расположенный на северо-востоке Сибирской платформы, является одним из крупнейших в мире. Связанное с ним месторождение в гипергенном комплексе сложено четырьмя горизонтами (сверху вниз): каолинит-крандаллитовый, сидеритовый, гетитовый и франколитовый. Считалось, что месторождение образовано в результате выветривания карбонатитов. Показано, что при образовании ниобий-редкоземельного оруденения в гипергенном комплексе весомый вклад, помимо карбонатитов, внесли апатит-магнетитовые руды (фоскориты).*

*Ключевые слова: Якутия, Томтор, карбонатит, апатит-магнетитовые руды, кора выветривания, ниобий, редкие земли.*

Массив ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (УЩК) Томтор площадью 250 км<sup>2</sup>, расположенный на северо-востоке Сибирской платформы, обнаружен в 1958–1959 гг. при геологической съемке масштаба 1:200 000, а в 1964 году появились первые сведения в научной литературе [13]. В 90-е годы при поисково-оценочных работах в пределах массива выявлены три участка эпигенетически-измененных ниобий-редкоземельных руд: Южный, Буранный и Северный [5, 9, 12]. В результате разведочных работ в 1999 г. установлено ниобий-редкоземельное Томторское месторождение, которое по ресурсам Nb и REE и их концентрациям превосходит известные аналоги и является уникальным [6].

Концентрации Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в богатых рудах месторождения 4,5 % (максимальные – 24 %), что в 3 раза превышает содержания в рудах бразильского месторождения Араша [4]. Содержания REE сопоставимы с мировыми аналогами редкоземельных месторождений и составляют в среднем в рудах 7–10 %, достигая участками 40 %. Руды отличаются содержанием Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в среднем 0,75 %) и Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,06 %), с максимальными концентрациями 0,1–0,3 % [10]. Вопросу генезиса руд посвящено множество работ [3, 5, 6, 7, 12, 14, 15], однако, принимая во внимание высокую экономическую

значимость руд в современном мире, он актуален и по сей день, вызывая у специалистов большой дискуссионный интерес в настоящее время.

Массив имеет концентрически-зональное строение: внешнее кольцо сложено щелочными и нефелиновыми сиенитами, внутреннее неполное кольцо, обрамляющее карбонатитовое ядро с востока и запада, представлено породами семейства фойдолитов. На территории массива, к северо-востоку от карбонатитового ядра (месторождение Онкучах) и в пределах карбонатитового ядра (участок Южный) известны проявления апатит-магнетитовых пород (фоскоритов, камафоритов, нельсонитов). По породам массива развиты коры выветривания, мощность которых в зависимости от субстрата может достигать 400 м (по карбонатитам).

Месторождение, включающее участки Южный, Буранный и Северный, представлено перетолженными эпигенетически-измененными корами выветривания, выполняющими мульдообразные впадины в пределах карбонатитового ядра. В гипергенном комплексе карбонатитов выделяются четыре горизонта (сверху вниз): каолинит-крандаллитовый, сидеритовый, гетитовый и франколитовый [10]. Образование впадин объясняется неравномерной «усадкой» коры выветривания в процессе ее формирования [5], соответственно, субстратом богатых руд является латеритная кора выветривания. Ранее считалось, что рудоносные коры сформированы исключительно по карбонатитам, однако, по нашим данным, карбонатиты не были единственным источником их формирования.

Гетитовый и франколитовый горизонты сложены рыжими, красновато-бурыми, кирпично-красными, табачно-желтыми и желтоватыми охристыми образованиями, от рыхлых до весьма крепких, от слоистых до массивных и брекчиевидных, встречающихся совместно. Гетитовый горизонт отличается наиболее простым строением, при котором гетит и франколит слагают свыше 70 % объема горизонта при явном преобладании первого. Франколитовый горизонт сложен более, чем наполовину породами смешанного (силикатно-фосфатного) состава, доля собственно франколитовых пород составляет, как правило, более 40–80 % объема горизонта. Породы этих горизонтов встречаются совместно, разделение их в различные горизонты затруднительно и возможно лишь по результатам химического анализа, поэтому ниже мы рассматриваем их в едином гетит-франколитовом горизонте.

Породы гетит-франколитового горизонта на участке Северный распространены локально на восточном фланге на глубинах от 100 м и ниже (скв. 603, 414, 242). На Южном участке они распространены более широко: глубины их залегания варьируют от 30 до 200 м и более. Важно отметить, что породы этого горизонта залегают локально на различных уровнях гидрослюдистого горизонта плащевой коры выветривания и в пределах изученных участков они не имеют площадного развития как коры гидрослюдистого и сидеритового горизонтов. Практически везде, где встречаются породы этого горизонта, наблюдается брекчирование, катаклаз и милонитизация, крутопадающий кливаж, как в породах этого горизонта, так и вмещающих их пород гидрослюдистого состава.

Аналогичный минеральный состав характерен для апатит-магнетитовых руд массива Томтор (фоскоритов), в которых встречаются как участки с преобладанием магнетита или апатита (до 90 %), так и участки смешанного (силикатно-фосфатного апатит-флогопит-магнетитового состава) [1, 2, 8]. Подобная ситуация наблюдается при сопоставлении состава фоскоритов и франколит-гетитового горизонта. Установлено, что рудные полиминеральные карбонатиты, считавшиеся ранее субстратом гипергенного комплекса, в том числе и для гетит-франколитового горизонта, отличаются от них по химическому составу. На этом основании карбонатиты не могут считаться единственным источником для формирования руд кор выветривания. В качестве известного примера образования гипергенного комплекса по апатит-магнетитовым рудам можно рассматривать массив Ессей в Маймеча-Котуйской провинции.

Таким образом, учитывая сравнительные характеристики франколит-гетитового горизонта коры выветривания и апатит-магнетитовых пород, взаимное локальное распространение, сходный минеральный и химический составы, можно констатировать, что рудные коры выветривания Томторского месторождения образованы при совместном участии рудных карбонатитов и фоскоритов. При этом вклад фоскоритов в образование гипергенного комплекса был достаточно существенным, но его оценка требует дополнительного изучения, а представленные ранее

предшественниками конкурирующие гипотезы механизма образования рудных латеритных кор выветривания по камафоритам (фоскоритам) (Кравченко С. М., Беляков А. Ю.) и по рудным карбонатитам [5] следует рассматривать как актуальные на сей день, взаимодополняющие друг друга.

#### Список литературы:

1. Баранов Л. Н., Толстов А. В., Лазарева Е. В., Карманов Н. С. Особенности состава и микроморфологии минералов редкоземельных элементов камафоритов массива Томтор // Геология и минерагения Северной Евразии. Материалы совещания к 60-летию ИГИГ СО АН СССР.– 2017. – С. 29–30.
2. Баранов Л. Н., Толстов А. В., Округин А. В., Слепцов А. П. Баранов Л. Н. Новое в минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор, Северо-Восток Сибирской платформы // Руды и металлы. – 2018. – № 2. – С. 42–54.
3. Коноплев А. Д., Толстов А. В., Васильев А. Т., Нечелюстов Г. Н., Кузьмин В. И., Складнева В. М., Дубинчук В. Т., Коноплева Е. В., Сидоренко Г. А. Особенности локализации редкометалльного оруденения на месторождении Томтор // Редкометалльно-урановое рудообразование в осадочных породах. Сборник научных трудов. – М. : Наука, 1995. – С. 223–241.
4. Лазарева Е. В., Жмодик С. М., Добрецов Н. Л., Толстов А. В., Щербов Б. Л., Карманов Н. С., Герасимов Е. Ю., Брянская А. В. Главные рудообразующие минералы аномально богатых руд месторождения Томтор (Арктическая Сибирь) // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 6. – С. 1080–1115.
5. Лапин А. В., Толстов А. В. Минерагения кор выветривания карбонатитов // Методическое руководство. – М. : ИМГРЭ, 2011. – 308 с.
6. Лапин А. В., Толстов А. В. Окислительный и восстановительный этапы формирования зоны гипергенеза карбонатитов и их рудоносность // Геология рудных месторождений. – 1991. – Т. 33, № 4. – С. 81–91.
7. Слепцов А. П., Толстов А. В., Баранов Л. Н. Новый взгляд на полезные ископаемые Томторского рудного поля // Северо-Востока России. Материалы VI Всерос. научно-практической конференции. – Якутск. – 2016. – С. 271–275.
8. Толстов А. В. Главные рудные формации Севера Сибирской платформы. – М. : ИМГРЭ, 2006. – 212 с.
9. Толстов А. В. Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (Северо-западная Якутия) // Геология и геофизика. – 1994. – Т. 35, № 9. – С. 91–100.
10. Толстов А. В. Проблемы геолого-экономической оценки уникальных руд Томторского месторождения // Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке. Тезисы докладов. – 1998. – С. 135–137.
11. Толстов А. В., Гунин А. П. Комплексная оценка Томторского месторождения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2001. – № 11. – С. 144–160.
12. Толстов А. В., Черенков В. Г., Баранов Л. Н. Генезис и возраст рудной толщи Томторского месторождения ниобия и редких земель, Северо-восток Сибирской платформы // Руды и металлы. – 2020. – № 4. – С. 32–44.
13. Эрлих Э. Н. Новая провинция щелочных пород на северо-востоке Сибирской платформы // Зап. ВМО. – 1964. – Т. 90, Вып. 6. – С. 682–693.
14. Delitsyn L. M., Melentev G. B., Batenin V. M., Tolstov A. V. Coexistence of two immiscible liquid phases in a niobium-rareearth element-silicate-salt system // Doklady Chemistry. – 2015. – V. 462, № 2. – P. 165–168.
15. Lapin A. V., Kulikova I. M., Tolstov A. V. Distribution of REE, Y, Sc, and Th in the unique complex rare-metal ores of the Tomtor Deposit // Geochemistry International. – 2016. – V. 54, № 12. – P. 1061–1078.

МИНЕРАГЕНИЯ НОРИЛЬСКИХ CU-NI МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
КАК ПЕРМО-ТРИАСОВОЕ ВЫПЛАВЛЕНИЕ МАГМ ИЗ РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКОГО  
БАЗАЛЬТОВОГО СЛОЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ, ВМЕЩАЮЩЕГО ВУЛКАНОГЕННЫЕ  
КОЛЧЕДАННЫЕ РУДЫ, И ГЕОСТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СРЕДЫ

*Охарактеризована раннепротерозойская структура земной коры Восточной Сибири, её возможности для размещения вулканогенных Cu-Ni колчеданные месторождений, которые в перми-триасе послужили протолитом для выплавления рудоносных (Cu, Ni, Pt, Pd) магм траппов. Приведены геодинамическая и минерагеническая основа структур Норильского района, причины пространственной периодичности раздувов рудных тел, рассмотрены дискуссионные проблемы, которые затрагивают критерии прогноза месторождений.*

*Ключевые слова: гипербазит-базитовый магматизм, Cu-Ni месторождения, колчеданные, конвекция, субдукция, трансенсия, пространственная периодичность, критерии прогноза.*

Знания о минерагенической сущности полезного ископаемого очень важны для правильного подхода к его прогнозу и поискам. Особенно это относится к объектам, уникальность которых обусловлена редким сочетанием факторов, трудно учитываемых в их комплексе. Уникальность норильских месторождений состоит не только в их громадных запасах Cu, Ni, Pt, Pd, но и в том, что они залегают в интрузивных породах раннего триаса, принадлежащих траппам Сибирской платформы, а не в магматических толщах протерозоя, как другие месторождения мира того же состава. Парадоксальные сочетания свойств магм и руд явились основой для разных концепций генезиса норильских месторождений. Вероятность регенерации протерозойских руд в качестве источников для месторождений Норильска высказывались Г.Б. Роговером, а об обогащенном сульфидами протерозойском субстрате как источнике, без указания типа и возможности его плавления, – А.П. Лихачевым, О.А. Дюжиковым, Г.И. Горбуновым, Д.А. Додиним, Н.А. Криволицкой, В.И. Старостиным. Разработка проблем алмаза и связи их с геодинамикой выявила главные закономерности древней структуры фундамента Сибирской платформы [2, 3], что послужило основой для новых представлений о закономерностях тектоники и общей минерагении, в том числе медно-никелевой для Норильска.

Основа структуры фундамента Сибирской платформы сформирована при ячеистой неустановившейся (ограниченной по фазе) конвекции мантийно-коровых масс в раннем протерозое. Север-северо-западный край ячеи представлял собой зону субдукции в виде сжатой опрокинутой синклинали, полого погружающейся к юго-востоку. Смена состава толщ в ней, глубина их погружения, с одной стороны, отражаются на зональности последующей минерагении, а с другой, позволяют реставрировать черты геологии раннепротерозойского бассейна. В верхнем крыле субдукционной синклинали при опрокинутом залегании толщ их состав с глубиной отражает переход от шельфовых фаций бассейна к глубоководным с базитовым основанием, что до субдукции соответствует смене фаций в направлении к северо-западу. Шельфовые карбонатсодержащие толщи неглубоко субдуцированы в районе Анабарского щита. Здесь они послужили одним из источников для УЩК-карбонатитовых систем, а несколько южнее – для пород Попи-гайской структуры с лонсейлитсодержащими алмазами. Глубже в зоне субдукции находились толщи бассейна с базитовым и гипербазитовым основанием, послужившие источником для алмазоносных лампроитов и кимберлитов. Важно заметить, что среди включений в кристаллах алмаза, образованных с участием биогенного углерода осадочных толщ раннего протерозоя, доминируют сульфиды: пирит, пирротин, пентландит, халькопирит, сфалерит, полидимит, миллерит, кубанит.

В нижнем крыле лежачей субдукционной синклинали находятся толщи более удаленных фаций в направлении к северо-западу от берега бассейна, обладающие нормальным залеганием. Их современной северной части соответствует позиция Норильского района. Севернее, на их

продолжении должны находиться базитовые толщи, не подверженные субдукции, расположенные ближе к оси бассейна, в том числе в обстановке сочетания спрединга с трансензией, приводящей к формированию бассейна типа пулл-апарт (подобно Красному морю). Остатком такого раннепротерозойского бассейна может быть современный Усть-Енисейско-Хатангский рифтоген с мощнейшими осадочными толщами фанерозоя.

Таким образом, позиция Норильского района соответствует условиям образования колчеданных руд в раннем протерозое, но специфичным. Для офиолитовых ассоциаций фанерозоя, с которыми ассоциируют медноколчеданные месторождения, не характерны ультрамафитовые (коматиитовые) лавы. Гарцбургиты, лерцолиты ассоциации не плавятся, представляя древние реститы. Как известно, коматииты, кристаллизуются из высокотемпературной магмы, содержащей 18–32 % MgO, характерной лишь для глубокого докембрия. Медноколчеданные вулканогенно-осадочные руды фанерозоя связаны с базальтоидным магматизмом, содержание никеля в них весьма мало. Никель в силикатной форме в значительных количествах находится в гипербазитах офиолитовой ассоциации. Норильская сульфидная ассоциация меди и никеля образовалась при докембрийском магматизме. Совместное плавление ультрамафитов и базитов разрушало кристаллическую решетку силикатов никеля, который вступал «в содружество» с серой и медью – продуктами плавления базитов. Эта ассоциация сохраняется при последующем мафит-базитовом магматизме, определяя состав норильских рудоносных интрузивов с реститовыми и кумулятивными оливинами. Их протолитом были раннепротерозойские флюидонасыщенные колчеданосные толщи. Это же привело к особенностям свойств рудоносных интрузивов, что отразилось в парадоксальности выводов двух докторских диссертаций: большая магнезиальность (с учетом оливина, тезис А. П. Лихачева), малая магнезиальность (8 % MgO в первичной выплавке, включенной в оливинах и пироксенах, тезис Н. А. Криволицкой).

Парадоксальны и свойства рудных тел, их соотношения с вмещающей средой, что получает разную генетическую интерпретацию. В середине прошлого века, когда не было сомнений в возможности гипогенного накопления громадных масс сплошных сульфидных руд (колчеданных среди вулканитов, медно-никелевых как естественных дифференциатов магм в интрузивах), утвердилась концепция, что рудные тела Норильска образуются путем гравитационного оседания естественных сульфидных дифференциатов мафитовых магм: очищенных сверху их тел, ниже с мелкой вкрапленностью, каплями, еще ниже – слияние капель в сплошную массу. Особенности распределения этих текстурных разновидностей сульфидных масс, определяющих структуру рудных тел, привели к разным кинетическим моделям оседания в процессе перемещений магм в силле (модели А. П. Лихачева, В. А. Радько и др.). Учет ряда фактов позволяет дать существенно иную интерпретацию текстур руд.

В разных публикациях на фотографиях зерна отчетливо видно, что, по крайней мере, часть «сульфидных капель» представляет собой обломки сплошных руд: овальные с брекчиевой текстурой среди атакситовой магматической массы (В. А. Радько, 2016, рис. 2.2); серия обломков руд с одинаковыми слоями: внизу пирротин, сверху халькопирит, которые ограничены трещинами скалывания сопряженных систем, а потом захвачены магмой (Э. М. Спиридонов, 2019, рис. 22). Всё отмеченное позволяет полагать, что не осаждение капель и вкрапленности формирует текстурные особенности руд, а, наоборот, превращение в обломки древних колчеданных руд, ассимиляция их сульфидов магмой приводит к зональности руд: наиболее плотные сплошные были изначально внизу, сверху разрушены, захвачены магмой, которая ассимилировала сульфиды, превращая их в свою вкрапленность и в прожилки.

Важной особенностью морфологии рудоносных интрузивов и рудных тел являются периодические изменения мощности как силла, так и рудных тел за счет неровного ограничения основания при ровном верхе. В Талнахском интрузиве на протяжении 17,2 км выделяются шесть пережимов протяжённостью по 100–400 м и семь расширений по 800–1600 м. Этому дается разная, генетическая трактовка: волнообразный изгиб при продольном сжатии, «выпахивание» пород при продвижении магм, их «импульсивное» внедрение. Не используются тектонофизические основы адвекции, исследованной Е. В. Артюшковым [1]. При гравитационной неустойчивости двух сред в начальную стадию адвекции возникает плавное *периодическое* искажение их границы. По тому, как проседает наиболее плотное вещество, выделяют два типа адвекции:

в виде или крупных ячеек (центральное проседание), окруженных краевыми более узкими поднятиями, или в виде узких краевых проседаний, окружающих крупные поднимающиеся ячейки. В природе центральное проседание реализуется при значительно меньшей вязкости верхней среды. В противном случае происходит центральное поднятие. Отсюда ясно, что в силле магмы с большой плотностью, утяжеленной сульфидами, будут давать периодически повторяющиеся широкие ячейки проседания в менее плотные толщи. Исходя из длины волны около 1,5 км для упомянутых периодических осложнений в Талнахском массиве, соотношений этого параметра с вязкостью, можно приблизительно оценить её величину [2]. Она составляла  $10^9$  Па·с (или  $10^{10}$  пуаз), т. е. пластически перетекали массы при вязкости лишь на три порядка меньшей, чем у льда.

Решающую роль в фанерозойских преобразованиях геологической среды, определяющих выплавление магм из базальтового слоя земной коры, размещение магматических тел, блоковые перемещения, играли два фактора: 1) транстенсия (превращение сдвиговых усилий в растяжение) и 2) разномасштабная ячейчатая конвекция (адвекция) на ранних фазах её развития. Основа транстенсии обусловлена правыми сдвигами вдоль Усть-Енисейско-Хатангского рифтогена. Её результаты выражены чередованием линейных поднятых и опущенных блоков в Норильском районе. Одни отражают поднятия базальтового слоя с компенсационным опусканием верха коры, в которой присутствуют траппы, другие представляют поднятия осадочного слоя (валы Хантайско-Рыбинский, Пясинский, Микчангдайский), изостатически компенсирующие опускания основания коры. Вдоль краёв Хантайско-Рыбинского вала и его северного продолжения протягиваются в север-северо-восточном направлении две пятнистые зоны магнитных аномалий. Пятна отражают периодически (через 50–60 км) повторяющиеся адвективные увеличения мощности базальтоидных масс и могут указывать на наиболее вероятную позицию магматических очагов. Рудоносными будут только те из них, в которые попали древние колчеданные руды или медь и платиноиды, в связи с возможными дунит-пироксенит-габбровыми интрузивами.

Важными критериями прогноза и поисков Cu-Ni руд в Норильском районе являются пространственная периодичность объектов и детально исследованные Д. М. Туровцевым околорудные изменения пород, наследующие флюидоносность протерозойской минерации.

Список литературы:

1. Артюшков Е. В. Основные формы конвективных структур в осадочных породах // Докл. АН СССР. – 1963. – Т. 153, № 2. – С. 412–415.
2. Барышев А. Н., Хачатрян Г. К. Геодинамика, тектоника алмазоносных систем и минерации // Отечественная геология. – 2020. – № 6. – С. 88–108.
3. Хачатрян Г. К., Барышев А. Н. Азот и водород в алмазах: следствия минерации. – М.: ЦНИГРИ, 2022. – 188 с.

**Богославец Н. Н. (bogoslavets@tsnigri.ru)  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

#### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ВМЕЩАЮЩИХ ОРУДЕНЕНИЕ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОДАК (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

*Рассмотрена структурно-формационная позиция и особенности разреза месторождения Кодак. Выделены эффузивные, эффузивно-обломочные, вулканогенно-осадочные и осадочные породы, представленные андезибазальтами, андезитами, дацитами, риодацитами, алевролитами, алевропелитами, алевропесчаниками, песчаниками и гравелитами, туфопесчаниками и туффитами. Рассмотрены особенности их внутреннего строения.*

*Ключевые слова: Кодак, Александровско-Заводский рудный узел, разрывные нарушения, Талман.*

Месторождение Кодак приурочено к Александрово-Заводскому рудному узлу, сложенному исключительно отложениями нижней и средней субформаций вулканогенно-кремнисто-терригенной средне-позднеюрской формации, и характеризуется достаточно резкой фациальной изменчивостью. Общая структура рудного узла – пологая, участками субгоризонтальная складка волочения, осложненная множеством флексуорообразных и изоклинальных складок более высоких порядков и разрывными нарушениями. Предположительно формирование складчатости происходило в три этапа деформации, в результате которых были образованы соответственно куполовидные, ассиметричные флексуорообразные и флексуорообразные симметричные пологие формы.

Основную роль в формировании структуры рудного узла играли синвулканические послейные разрывные нарушения, имеющие значительную мощность и содержащие будины вмещающих вулканогенных и терригенных пород, что подтверждает наличие складки волочения. Наиболее благоприятной для локализации оруденения фациальной зоной является приконтактовая часть горизонта градационно слоистых песчаниково-гравелитов и покровных фаций последовательно дифференцированных вулканитов.

Месторождение Кодак (рудные зоны Кодак, Перспективная и гора Яковлева) приурочено к краевой части вулканотектонической депрессии. Разрез представлен вулканогенными, терригенными и вулканогенно-терригенными породами в примерно равном соотношении. Вулканогенный разрез состоит из основных, средних и кислых вулканитов, представленных промежуточной, околожерловой и жерловой фациями вулканизма с широко развитой фациальной изменчивостью. Жерловая фация представлена дайками и субвулканическими телами габбро-долеритов и афировых риодацитов до дацитов. Околожерловая – лавобрекчиями преимущественно среднего и кислого составов. Промежуточные представлены лавами от базальтового до дацитового состава, реже их туфами. Удаленные фации преимущественно вулканогенно-терригенного состава представлены кремнистыми разностями алевролитов, алевропесчаников, песчаников и конгломератов с примесями туфового материала, с характерными прослоями и линзами черных углеродсодержащих алевролитов, а также горизонтом с наличием ритмичной градационной слоистости от алевролитов до гравелитов.

Характерные особенности строения разреза месторождения следующие.

1. Наличие в нижней части разреза темно-серых до черных, углеродсодержащих алевролитов, слоистых за счет неравномерного распределения углеродистого вещества (содержание  $C_{орг.} - 1-3\%$ ).

2. Наличие даек риодацитов, секущих углеродсодержащие алевролиты. Углеродсодержащие алевролиты инъецированы нижележащими риодацитами. Контакты инъекций с углеродсодержащим алевролитом резкие, близкие к параллельным к оси зерна. Наблюдаются останцы углеродсодержащих алевролитов в риодацитах.

3. Мелкозернистые полимиктовые песчаники окварцованные и серицитизированные, слоистые. Контакт песчаников с углеродсодержащими алевролитами резкий, четкий, согласный.

4. Тонкослоистые от мелкозернистых до среднезернистых песчаников, участками до гравелитов. Отчетливо выражена градационная слоистость в породе. Причем элементы ее наблюдаются как в тонких слоях мощностью 5–10 см, так и в более грубых, мощностью в несколько метров.

Сопоставление пород разреза месторождения Кодак с эталонными разрезами показывает, что по особенностям литологического состава и фациальным разновидностям пород разреза, соотношению вулканогенной и вулканогенно-осадочной составляющей он наиболее близок к разрезу месторождения Талман, что в конечном итоге определяет масштабы зон рудной минерализации.

На основе микроскопического изучения пород разреза выделяются.

*Эффузивно-обломочные породы среднего состава* отвечают андезитам. Буро-чёрные сильно гематитизированные лавобрекчии андезитов порфириковой текстуры с мелкими белыми вкрапленниками до 3 мм, в среднем 1–1,5 мм и тончайшими прожилками интенсивно гематитизированы. Породы порфириковидные с миндалинами, заполненными карбонатом, с элементами флюидальности, подчеркнутой плагиоклазовыми микролитами базиса и фенокристаллами.

*Эффузивно-обломочные породы основного состава* отвечают андезибазальтам. Их вкрапленники представлены плагиоклазом (30%, размером от 1–3 до 5 мм), угловатыми и полуокатанными обломками пород преимущественно того же или более кислого состава, полуокатанными, реже окатанными обломками алевролитов (?) (до 10–15%). Размер обломков (30% от общей массы породы) достигает 1,5 см, местами до 2–3 см. Порода зеленовато-серого цвета часто подвержена метасоматическим изменениям вплоть до кварц-серицитового метасоматита с карбонатом и рудными прожилками.

*Эффузивно-обломочные породы кислого состава.* Породы светло-рыжего цвета, часто выветрелые, рыхлые, со светлыми вкрапленниками (до 3 мм), иногда с множеством прожилков (максимальной мощности до 6 мм) мутного белого кварца или маломощными чёрными прожилками до 0,1 см. Лавобрекчии дацитов мелко-среднезернистые с порфировой микроструктурой. Основная масса кварц-полевошпатового состава пропитана глинистым минералом бурого цвета, часто окварцованная, карбонатизированная, с реликтами хлоритизированных листочков слюды, разложившихся цветных минералов и серицит-карбонатизированных плагиоклазов.

*Породы основного состава* достаточно редки и представлены базальтами (особенно с вкрапленниками оливина) и андезибазальтами. Порода обладает порфировой структурой. В виде фенокристаллов отмечаются плагиоклазы, оливин и пироксены таблитчатой, изометричной и призматической формы, размером до 2,0–3,0 мм. Порфировые выделения интенсивно пелитизированы и замещены вторичными образованиями: серицитом, боулингом, карбонатом. Основная масса – мелко-, тонкозернистая, преимущественно плагиоклазового состава, пелитизированная, афонитовой, местами флюидальной структуры.

*Породы среднего состава,* отвечающие андезитам, наиболее широко распространены. Это тёмно-зелёные породы с ясно выраженной порфировой структурой с вкрапленниками (40–60% от общей массы породы) плагиоклазов и миндалинами кальцита (размером до 5 мм, с преобладанием около 1 мм). Скрытокристаллический базис представлен зеленовато-коричневой пелит-серицит-карбонат-полевошпатовой массой с отдельными лейстами плагиоклаза и пылевидными скоплениями рудного чёрного минерала. Структура основной массы микролитовая, местами флюидальная. Вкрапленники плагиоклазов округлой и призматически-вытянутой форм замещены, иногда полностью, вторичными минералами – серицитом и карбонатами, вдоль некоторых кристаллов формируются листочки мусковита.

*Породы кислого состава* представлены риодацитами и дацитами серо-зелеными, плотными с порфировой структурой. Породы обладают порфировой структурой, обусловленной развитием крупных (до 1,0 мм) лейстовидных и призматических кристаллов плагиоклаза и ксеноформных кварца, погруженных в мелко-скрытокристаллическую основную массу кварц-полевошпатового состава. Количество вкрапленников в них составляет около 70%. Породы подвержены на 30–100% метасоматическим изменениям, в том числе турмалинизации. В изменённой породе мусковит-серицит-карбонат-пелит-кварцевого состава встречаются рудный минерал чёрного цвета кубической формы размером до 0,25 мм, а также мельчайшие скопления игольчатого рутила.

*Осадочные породы* разнообразны: алевролиты, алевропелиты, алевропесчаники, песчаники и гравелиты, в том числе *вулканогенно-осадочные* – туфопесчаники, туффиты.

Наиболее широко распространены алевролиты. Алевролит – мелкозернистая порода псаммитовой структуры, состоящая из тонко-скрытокристаллической основной массы кварц-полевошпатового состава и небольшого количества (не более 10%) распределённых в ней более крупных (0,05–0,3 мм) угловатых и ксеноморфных зерен кварца, изменена: серицитизирована, карбонатизирована, окварцована, ожелезнена.

Изменённый алевролит имеет кварц-карбонат-турмалиновый состав. В его мелко-среднезернистом пелит-серицит-кварцевом базисе наблюдаются крупные (до 1,5–2,0 мм) растрескавшиеся таблитчатые и угловатые кристаллы кварца и овальные зернистые выделения гранобластового кварца. Алевропесчаники и песчаники состоят из мелко-тонкозернистой кварц-полевошпатовой массы. В них находятся более крупные (до 0,5 мм) зёрна кварца, реликтовые полевые шпаты и слюды. Порода интенсивно, особенно около пустот, пелитизирована, также пропитана мелкими включениями тёмного вещества и содержит осколки кристаллов эпидота.



Туфопесчаники представляют из себя песчаники с примесью туфогенного материала (10–15%) и более.

Туффит – тонко-криптозернистая обломочная порода кварц-полевошпатового состава. Обломки кристаллов кварца, плагиоклаза, калиевого полевого шпата, размером < 0,5 мм, сцементированы тонкозернистым кварц-полевошпатовым агрегатом, интенсивно замещенным серицитом, мусковитом, карбонатом.

**Божко Н. А. (bozhko@yandex.ru)**  
**МГУ им. М. В. Ломоносова**

## КИМБЕРЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

*На основании анализа современных данных рассматриваются особенности проявления алмазоносного кимберлитового магматизма в геологической истории: направленность, выраженная в его увеличении от докембрия к фанерозою и периодичность, контролируемая суперконтинентальной цикличностью.*

*Ключевые слова: кимберлиты, направленность магматизма, увеличение во времени, субдукция, охлаждение Земли, суперконтиненты, суперконтинентальный цикл, фаза цикла, магматизм мантийных плюмов, различная предрасположенность фаз к магматизму.*

Появление алмазоносного магматизма отстает почти на миллиард лет от возраста зафиксированных алмазов. Цирконы с включениями алмазов Западной Австралии находятся в интервале возраста 4,252–3,058 млрд лет, тогда как наиболее древний известный алмазоносный кимберлит имеет возраст 2850 млн лет. Эта самостоятельная проблема заслуживает специального рассмотрения и в докладе не затрагивается.

В развитии собственно алмазоносного магматизма требуют объяснения две его особенности, отраженные в статистике: четкая тенденция увеличения в геологическом времени и дискретность, периодичность проявления.

**1. Общая направленность проявления алмазоносного магматизма.** Распространение в геологическом времени алмазоносного магматизма характеризуется четкой направленностью – число его проявлений увеличивается от докембрия к фанерозою [1, 6, 7, 9]. Так, около 95% датированных кимберлитов оказываются моложе 750 млн лет, при этом их большая часть – мезозойские, хотя редкие проявления фиксируются до архея включительно. На рубеже около 1,2–1,1 млрд лет имел место скачок в проявлении кимберлитового магматизма, сопровождавшийся образованием первого промышленного месторождения Премьер.

Чем же вызвано такое отчетливое увеличение алмазоносного магматизма во времени? Следует исключить в качестве главной причины существующее мнение, согласно которому указанная картина объясняется эрозией и денудацией древних кимберлитов или их захоронением под молодыми отложениями. Этому противоречит хорошая сохранность зеленокаменных поясов на огромной площади архейских кратонов, а также то обстоятельство, что размеры площадей выходов древних кимберлитовых тел не уступают площадям молодых.

Более убедительным представляется подход, связывающий увеличение алмазоносного магматизма во времени с эволюцией механизма тектоники литосферных плит, происходящее на фоне охлаждения Земли. [7, 8]. Отмеченная тенденция свидетельствует о том, что в течение геологического времени прогрессивно улучшались петрологические условия в мантии, наиболее благоприятные для продуцирования высокомагнезиальных углеродных силикатных расплавов, в том числе происходило увеличение окислительного состояния содержания воды и CO<sub>2</sub>. Субдукция океанической литосферы является неотъемлемым компонентом тектоники литосферных плит и справедливо рассматривается в качестве главного механизма, обеспечивающего доставку

в глубины мантии указанных компонентов. Модель, основанная на изменении стиля субдукции после архея, отвечает фактическому материалу. Появление ультраосновного магматизма, обогащенного  $\text{CO}_2$ , связывается с охлаждением во времени верхней мантии и достижением температуры в ней ниже  $1400^\circ\text{C}$ , что не могло происходить в архее и случилось вскоре после 2 млрд лет, достигнув идеальных условий в мезокайнозойе, что в свою очередь обусловлено «охлаждением» мантии ниже  $1400^\circ\text{C}$ . Подобные процессы возможны только в том случае, если скорость субдукции заметно повысилась и достигла или превысила современную максимальную (около 10 см/год). Наступление холодной субдукции привело к увеличению ее скорости и проникновению слэба в более глубокие горизонты мантии.

Как указывалось, на рубеже около 1,2–1,1 млрд лет имел место скачок в проявлении кимберлитового магматизма, сопровождавшийся образованием первого промышленного месторождения Премьер, а 95% датированных кимберлитов оказываются моложе 750 млн лет. Объяснение этому находим в работе Н. Л. Добрецова [3]: «До рубежа 1 млрд лет все извлекаемые породы характеризовались умеренными давлениями (1,0–1,2 ГПа), что соответствует глубине 40–50 км. Начиная с 750 млн лет стали извлекаться высокобарические породы, содержащие коэсит (давление свыше 2,5 ГПа), вплоть до алмазосодержащих пород (давления 4,0–6,0 ГПа, глубина 160–200 км)».

На мой взгляд, определенную роль играет также фактор общего увеличения во времени площади суперконтинентов, особенно после 1000 млн лет. Представляется важным то обстоятельство, что данное явление совпало со временем образования и распада суперконтинента Родиния, когда обособились Гондвана и Лавразия – мегаконтиненты несоизмеримо более значительного размера по сравнению с континентами предыдущих циклов. Это означало общее увеличение суперконтинентальной территории и теплового экрана, провоцирующего образование плюмов, а следовательно, и их общего количества.

**2. Эпизодичность проявления алмазоносного магматизма в геологическом времени.** Приведенные соображения объясняют общую направленность в развитии глобального алмазоносного магматизма, т. е. его эпизодичность определяется фазами суперконтинентального цикла (СЦ). Анализ имеющейся статистики, проведенный автором [2], представлен ниже в сокращенном виде основном по [1, 4, 6, 5, 8, 9]. Он показал, что кимберлиты, включая промышленно-алмазоносные, формировались на всех фазах СЦ [1]. Вместе с тем процесс этот протекал неравномерно, резко активизируясь в одни фазы и значительно ослабевая и затухая в другие.

*Алмазоносный магматизм фаз агломерации (слипания) новообразованного суперконтинента.* С ними связано минимальное количество датированных кимберлитов. Некоторое спорное исключение представляют собой кимберлиты Кайл (1076 млн лет), Северной и Южной Америки (1076 млн лет), лампроиты Маджгаван Австралии (1075 млн лет) и Атри Индии (1064 млн лет), сформировавшиеся согласно нашей схеме СЦ [1] в начале первой фазы СЦ Родиния. В СЦ Паннотии им соответствуют кимберлиты Рено Канады (640 млн лет), Гуанамо Южной Америки (712 млн лет)

*Алмазоносный магматизм фаз деструкции (рифтогенеза) суперконтинента.* В СЦ Пангеи к этой фазе (230–170 млн лет) относятся кимберлиты Южной Африки (203 и 235 млн лет), включая кимберлит Джвананг, Амазонии (230 млн лет), юрские кимберлиты Австралии и Канады [21], Сибирской платформы (235–220 млн лет) [4, 5].

В СЦ Паннотии к данной фазе (720–570 млн лет) относятся кимберлиты Рено (640 млн лет), Брауна (630 млн лет) Южной Америки, Джордж Крик (600 млн лет) и Чикен Парк (614 млн лет) Северной Америки, Урикско-Ийского грабена Сибирской платформы с возрастом 650–540 млн лет [5], вендские кимберлиты Каави-Куопио Финляндии (626–589 млн лет). К фазе деструкции *Ятулли* (2230–2170 млн лет) приурочено внедрение кимберлитов Австралии (2188 млн лет).

*Алмазоносный магматизм фаз фрагментации (распада) суперконтинента.* При распаде *Пангеи* (170–85 млн лет) на кратоне Каапвааль Южной Африки формировались кимберлиты – 60 тел, группирующиеся в возрастные интервалы 114–144 и 84–95 млн лет. В Западной Африке к этому ряду относятся кимберлиты кратона Мэн, в Центральной – кратона Касаи. Аналогичную позицию в данном СЦ занимают кимберлиты Канастра кратона Сан-Франсиску Южной Америки (120 млн лет), Форт-а-ля-Корн Канады (100 млн лет), Сибирской платформы (160–150 млн лет) [4]. При распаде *Паннотии* в интервале 570–485 млн лет сформировались промышленные

кимберлиты Венетия и др. Южной Африки и Снеп-Лейк Канады (523 млн лет). К распаду *Готии* (1370–1285 млн лет) приурочено внедрение трубок Лерала в восточной Ботсване с возрастом 1333 млн лет. Кимберлиты Кимозеро Карелии с возрастом 1764 млн лет формировались в фазу распада суперконтинента *Колумбия* (1770–1685 млн лет).

*Алмазоносный магматизм фаз сборки суперконтинента.* Сборка *Пангеи* (485–320 млн лет) сопровождалась формированием основной массы кимберлитовых тел Сибирской платформы в интервалах 419–407 и 370–350 млн лет [4, 5]. Этому предшествовал этап кимберлитового магматизма в пределах 410–430 млн лет. Данному интервалу соответствует возраст трубки Гриб Архангельской провинции – 372 млн лет, Трубок Кисли Лейк, Слоган (380–390 млн лет) США, Фуксян и Шенгли (475 млн лет) Китая, кимберлитов с возрастом 450 и 408 млн лет в Канаде и США соответственно. Сборке *Паннотии* отвечают кимберлиты Австралии Арис и Сеппелт (800 млн лет).

Со сборкой *Родинии* (1285–1120 млн лет) совпадает внедрение кимберлитов Премьер в Южной Африке (1180 млн лет), а также лампроитов Аргайл в Австралии (1177 млн лет), трубки Сальвадор Южной Америки (1150 млн лет), кимберлитов и лампроитов Кухмо-Лентира-Костомукша (1230 млн лет) и Присяянья (около 1268 млн лет). Внедрение наиболее древнего (2850 млн лет) из известных кимберлитов в Габоне происходило на стыке фаз распада и сборки суперконтинента *Кенорленд*.

Примечательно, что алмазоносный магматизм не распространяется на всю продолжительность фазы сборки, затухая за несколько десятков млн лет до ее окончания и формирования нового слитного суперконтинента. Можно предположить, что к этому времени исчерпывается резерв плюмов, накопленный в предыдущие фазы. Возможно, с этим связано отсутствие существенных проявлений за последние 50 млн лет.

Таким образом, при рассмотрении имеющихся данных обнаруживается различная предрасположенность отдельных фаз суперконтинентального цикла к проявлению алмазоносного магматизма. Формирование кимберлитов протекало неравномерно, активизируясь в фазы деструкции, господства рифтогенеза на суперконтиненте, возможно, достигая кульминации в эпоху его распада и продолжаясь некоторое время в течение фазы конвергенции, сборки нового суперконтинента. Это же относится и к промышленной алмазоносности. Возможное объяснение этому, на мой взгляд, может заключаться в следующем: в стадию существования слитного суперконтинента происходит создание условий, в основном за счет формирования теплового экрана, для образования плюмов, которые начинают реализовываться в фазу деструкции, достигая кульминации в фазы распада и первую половину фазы сборки, постепенно иссякая к концу СЦ. Следует особо подчеркнуть, что отмеченная смена характера кимберлитового магматизма не подчиняется строго границам фаз СЦ и происходит не скачкообразно, а постепенно.

*Заключение.* Кимберлитовый магматизм в истории Земли характеризуется четкой тенденцией увеличения его количества и продуктивности от докембрия к фанерозою. Этот процесс проходил на фоне охлаждения мантии, что создавало благоприятные геодинамические и петрологические условия для проявления кимберлитового магматизма. Одним из факторов, способствовавшим данной тенденции, могло быть прогрессирующее увеличение площади континентальной коры и числа плюмов в ходе суперконтинентальной цикличности. Последняя контролировала периодичность проявления кимберлитового магматизма и его алмазоносность. Наиболее продуктивное кимберлитообразование связано с фазами фрагментации суперконтинентов и частей соседних с ней фаз суперконтинентального цикла. Автор понимает сложность проблемы связи алмазоносного магматизма с суперконтинентальной цикличностью и рассматривает изложенное лишь как результат первых шагов исследований в этом направлении.

Список литературы:

1. Божко Н. А. Суперконтинентальная цикличность в истории Земли // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2009. – № 2. – С. 13–27.
2. Божко Н. А. Алмазоносный магматизм в суперконтинентальных циклах // Руды и металлы. – 2019. – № 3. – С. 22–27.

3. Добрецов Н. Л. Глобальная геодинамическая эволюция Земли и глобальные геодинамические модели // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 6. – С. 761–784.
4. Мальковец В. Г., Белоусова Е. А., Третьякова И. Г., Гриффин В. Л., Пирсон Н. Дж., О’Рейлли С., Резвухин Д. И., Гибшер А. А., Шарыгин И. С., Похиленко Н. П. Новые данные о возрасте кимберлитов Сибирского кратона: результаты U-Pb датирования кимберлитовых цирконов // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России». – Якутск, 2017. – С. 329–333.
5. Похиленко Н. П., Афанасьев В. П., Соболев Н. В., Егоров К. Н., Смелов А. П., Костровицкий С. И. Этапы кимберлитового магматизма Сибирской платформы и их продуктивность: закономерности формирования и особенности прогнозирования коренных месторождений алмазов различных генетических типов, новые перспективные регионы // Проблемы минерации России. – М. : ГЦ РАН, 2012. – С. 265–285.
6. Gurney J. J., Helmstaedt H. H., Richardson S. H., Shirey S. B. Diamonds through Time // Economic Geology. – 2010. – № 105 (3). – P. 689–712.
7. Stern R. J., Leybourne M. I., Tsujimori T. Kimberlites and the start of plate tectonics // Geology. – 2016. – № 44. – С. 799–802.
8. Tappe Sebastian, Smart Katie, Torsvik Trond, Massuyeau Malcolm, de Wit Mike. Geodynamics of kimberlites on a cooling Earth: Clues to plate tectonic evolution and deep volatile cycles // Earth and Planetary Science Letters. – 2018. – № 484. – P. 1–14.
9. Wit Mike de. Identification of Global Diamond metallogenic clusters to assist Exploration // Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Diamonds Source to Use. – 2010. – 24 p.

**Ванин В. А. (Vanin\_geo@mail.ru), Мазукабзов А. М.  
ИЗК СО РАН**

### НАУЧНЫЙ ПАРАДОКС МЕСТОРОЖДЕНИЯ-ГИГАНТА СУХОЙ ЛОГ

*Приведен обзор литературных, в большинстве своем противоречивых данных разных исследователей месторождения-гиганта Сухой Лог. Главной проблемой остается нерешенный вопрос о наличии или отсутствии рудоконтролирующего (рудоподводящего) разлома, что порождает противоречия в понимании генезиса месторождения. Авторы настоящей работы приводят новые данные о структуре месторождения Сухой Лог, указывающие на отсутствие рудоконтролирующего (рудоподводящего) разлома внутри этого месторождения. Его рудоконтролирующей структурой является антиклиналь, которая в результате деформационных процессов была будинирована и разорвана на две части.*

*Ключевые слова: месторождение Сухой Лог, Западное, слоистость, кливаж, сланцеватость, будинаж.*

Месторождение-гигант Сухой Лог долгое время приковывает внимание многих исследователей разного направления. Данное обстоятельство, казалось бы, должно было помочь решению всех насущных вопросов, касающихся его геологического строения, генезиса и закономерностей размещения оруденения, однако исследователи пришли к противоречивым выводам.

Главной проблемой остается слабоизученная структура месторождения Сухой Лог. В опубликованной литературе разные авторы часто приводят данные о наличии или отсутствии зон рудоконтролирующих разломов в структуре месторождения либо за ее пределами. Это напрямую влияет на разрешение проблемы генезиса месторождения-гиганта.

Например, при описании месторождения Сухой Лог в работах [1, 3] широко распространенные зоны расланцевания были приняты за разрывные структуры. Также в работе [1] приводятся данные о том, что «Интенсивное развитие трещин кливажа, микроскладок нагнетания

и сжатия, сопутствующих микровзбросов и надвигов, обуславливают в совокупности развитие в ядерной части антиклинали и ее северном пологом крыле тектонической зоны повышенного расланцевания и смятия, контролирующей оруденение». Из утверждений упомянутых исследователей следует, что зоны расланцевания и смятия контролируют оруденение.

В статье [2] четко говорится: «Ни одного крупного (главного) разлома неизвестно внутри месторождения Сухой Лог». При этом предполагается, что «проникающая осевая расланцованность и кливаж, кажется, являются главными каналами и аккумуляторами, по которым происходит движение флюида».

В работе [4] выдвигается гипотеза постдеформационного формирования месторождения Сухой Лог, что также подразумевает, но не доказывает наличие разрывных рудоконтролирующих структур.

В статьях [5, 6] описывается поступление обогащенных флюидов по разломам. Поток метаморфических флюидов, проходящий через хомолхинскую свиту, растворял ранний золотосодержащий пирит, что приводило к концентрации золота в синдеформационном пирите в осевых частях складок. Вызывает вопрос то обстоятельство, что в предлагаемой авторами модели рудоподводящий разлом, существовавший на протяжении всей эволюции месторождения, не был деформирован вместе с углеродистыми толщами.

Таким образом, тема наличия синрудных разломов на месторождении Сухой Лог не раскрыта.

По данным геолого-структурных исследований основными плоскостными текстурными элементами на территории месторождения являются слоистость ( $S_0$ ) и кливаж осевой поверхности (ОП) (сланцеватость  $S_1$ ). Дополнительных плоскостных текстурных элементов на территории месторождения не выявлено. Важно отметить, что в результате деформационных процессов кливаж ОП был трансформирован в сланцеватость  $S_1$ , в результате чего по плоскостям кливажа были сформированы линзовидные чешуйки серицита.

Как известно, месторождение Сухой Лог контролируется изоклиальной, сильно сжатой антиклиналью 4-го порядка. Изоклиальная форма складки подразумевает, что висячее и лежащее крыло в ее сильно сжатой части должны быть тесно сближены. Наличие кварцевых жил и прожилков, смятых в птигматитовые складки в этой части рудоконтролирующей антиклинали, является дополнительным индикатором сильного сжатия. Слоистость в этой сильно сжатой части антиклинали имеет параллельное направление со сланцеватостью  $S_1$  (кливажом ОП). Тесно сближенные крылья антиклинали, как и золоторудные зоны, локализованные в них, образуют сплошное геологическое тело, которое тяготеет к осевой части рудоконтролирующей изоклиальной антиклинали.

По результатам геолого-геоморфологических исследований и структурных наблюдений предполагается, что антиклиналь в результате деформационных процессов была будинирована и разорвана на две части. Замок антиклинали был оторван от основной складки и перемещен на 300 м по длинной оси в северо-западном направлении, в результате чего образовалась будина линзовидной формы 1000×350 м. Данная будина является месторождением Западного. Практически только в этой части месторождения золоторудные зоны выходят на поверхность. На поверхности, в месте разрыва антиклинали – межбудинном пространстве, рудные зоны с повышенным содержанием золота отсутствуют. В этой части месторождения проходит технологическая дорога. Еще одна, но уже эмбриональная будинаж-структура размером 700×350 м имеет неполный отрыв от основной структуры антиклинали и соединена с ней небольшим пережимом.

В результате собственных геолого-структурных наблюдений мы вслед за авторами работы [2] не установили наличия на территории месторождения Сухой Лог рудоконтролирующего разлома. Кроме того, не выявлены и рудоподводящие кливажные зоны. Наблюдаемые кварцпиритовые зоны приурочены исключительно к слоистости.

#### Список литературы:

1. Буряк В. А., Хмелевская Н. М. Сухой Лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования). – Владивосток: Дальнаука, 1997. – 156 с.

2. Вуд Б. Л., Попов Н. П. Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь) // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 3. – С. 315–341
3. Лобанов М. П., Радченко К. М., Чернецкая И. И., Охотников И. А., Номокова Ю. А., Новикова Э. Ф. Рудоносные углистые пелитоиды линейных зон смятия Патомского нагорья // Геология и геофизика. – 1976. – № 9. – С. 34–45.
4. Юдовская М. А., Дистлер В. В., Родионов Н. В., Мохов А. В., Антонов А. В., Сергеев С. А. Соотношение процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении Сухой лог по данным U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 1. – С. 32–64
5. Large R. R., Maslennikov V. V., Robert F., Danyushevsky L. V., Chang Z. 2007. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena Goldfield, Russia // Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists. – 2007. – V. 102, № 7. – P. 1233–1267
6. Meffre S., Large R. R., Scott R. J., Woodhead J., Chang Z., Gilbert S. E., Danyushevsky L. V., Maslennikov V. V., Hergt J. M. Age and pyrite Pb-iso topic composition of the giant Sukhoi Log sediment-hosted gold deposit, Russia // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2008. – Vol. 72. – P. 2377–2391.

**Викентьев И. В. (viken@igem.ru)**  
**ФГБУН «ИГЕМ РАН»**

#### МЕТАЛЛОГЕНИЯ УРАЛА: КОЛЧЕДАННЫЕ И ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Большинство эндогенных рудных месторождений Урала находятся в Тагильской и Магнитогорской зонах, а наиболее крупные золотые – в Восточно-Уральской зоне. Крупнейшие по запасам объекты возникли в связи с эволюцией магматизма мантийной природы, обусловленного режимами юной (колчеданные, титаномагнетитовые, хромитовые) и зрелой (порфиоровые, скарновые) островной дуги, а также главной С/Р коллизией (золото-кварц-сульфидные месторождения). Акцентировано внимание на колчеданных и золоторудных месторождениях – наиболее распространенных на Урале и представленных разными типами. Обоснован вывод о преобладающем магматическом вкладе в их образование.*

*Ключевые слова: металлогения, колчеданные и золоторудные месторождения, природа гидротермальных растворов, магматический флюид, метаморфизм руд.*

Уральский ороген является одним из крупнейших рудных поясов в мире. Большинство эндогенных рудных месторождений находится к востоку от Главного Уральского разлома: в Главном зеленокаменном поясе, а наиболее крупные золотые – в Восточно-Уральской зоне. В целом для Урала крупнейшие по запасам рудные месторождения возникли в связи с эволюцией энзиматического (мантийной природы) магматизма, обусловленного режимами юной (колчеданные, титаномагнетитовые, хромитовые) и зрелой (порфиоровые, скарновые) островной дуги, а также проявленного в образовании пояса гранит-тоналитовых плутонов, которые формировались во время главной С/Р коллизии (золото-кварц-сульфидные жильные месторождения). Внимание акцентировано на двух наиболее типичных для Урала группах месторождений – колчеданных и золоторудных, представленных десятками объектов, включая особо крупные.

Природа процессов формирования данных месторождений до настоящего времени является предметом дискуссии. Так, для **колчеданных месторождений** наряду с господствующей точкой зрения о вулканогенно-осадочном происхождении последних есть данные, прежде всего изотопные (Sr, H, O, C), об их смешанной или преобладающей глубинной природе [3]. Варьирующий, местами заметный вклад мантийной компоненты (DMM-A и EM I) обнаруживает свинец

галенита колчеданных руд Урала [12]. Месторождения локализованы на двух стратиграфических уровнях островодужного и задугового риолит-базальтового вулканизма: силурийском ( $O_3-S_1$ ) и девонском ( $D_{1e}-D_{2gv}$ ) в пространственно разобщенных структурах. Первые в основном в Тагильской синформе, а вторые – в Магнитогорской. Преимущественным развитием пользуются Cu-Zn месторождения *уральского* типа, в рудах которых  $Cu \geq Zn$  (Гайское, Юбилейное и нек. др.) или же  $Zn > Cu$  (Учалинское, Узельгинское и др.). Мелкими являются колчеданно-полиметаллические месторождения (Cu-Zn-Pb-Au-баритовые), приближающиеся к типу *куроко*, в том числе золото-полиметаллические Баймакского района (Ю. Урал), а также Cu-Co месторождения (близки *кипрскому* типу).

Судя по давлениям в 0,5–1 кбар (по флюидным включениям), на части из месторождений (включая самые крупные объекты) образование основной массы руд шло существенно ниже морского дна при преобладающей роли *магматического флюида* [1, 3, 8]. Исследованиями расплавных включений и флюидных включений магматической воды во вкрапленниках кварца кислых вулканитов (в основном риодацитов) флангов месторождений Узельгинского рудного поля высокоточным локальным методом масс-спектрометрии с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) установлена высокая насыщенность металлами первичного магматического флюида и магматического расплава [6].

На большинстве крупных колчеданных месторождений Ю. Урала (Гай, Учалинское, Ново-Учалинское, Сибайское) отмечается влияние *регионального метаморфизма* – низких фаций, но местами до эпидот-амфиболитовой фации [10, 11, 14, 15]. На всех есть признаки наложенного динамометаморфизма, вплоть до появления гнейсовидных текстур и признаков пластического течения сульфидов [7, 9, 13, 15]. Большинство крупных месторождений характеризуются крутыми и субвертикальными псевдомоноклинальными структурами. На сильнопреобразованных месторождениях, в отличие от слабопреобразованных, помимо резкого изменения морфологии рудных тел (плито- и линзообразные тела варьирующей мощности с раздувами и пережимами), происходит изменение текстурно-структурных характеристик и резко возрастает роль сплошных руд. Типичными признаками метаморфизма являются полосчатые и гнейсовидные текстуры руд, характерные для приконтактных зон крупных линз сплошных сульфидных руд. Образуются пирротин, магнетит, локально – борнит; появляются редкие минералы Au, Ag, As, Sb, Sn, Ge, Bi, Te, Se, Co, а также Zn-шпинель и цельзиан; укрупняется самородное золото.

В связи со становлением гранитоидов проявились процессы *контактного метаморфизма*: на месторождениях Красноуральского и Кабанского рудных полей (Ср. Урал), Тарньер (Сев. Урал), Таш-Яр (Ю. Урал), им. 50-летия Октября и Весеннее (Сев. Мугоджары); местами метаморфизм достигал амфиболитовой фации [2, 4, 15]. В сульфидных агрегатах проявлены нехарактерные для первичных колчеданных руд структуры: пегматоидная, графическая, симплектитовая, порфиروبластовая, маркирующие процессы шоковой перекристаллизации рудного вещества вплоть до его частичного плавления.

Подходы к проблеме источников рудного вещества *золоторудных систем* обсуждены на примере результатов комплексного исследования «нетрадиционных» для Урала крупных Петропавловского и Воронцовского месторождений. Обоснован вывод о преобладающем магматическом вкладе в их образование. Остановимся на втором из объектов. *Воронцовское* месторождение принадлежит к крупному Турьинско-Ауэрбаховскому магматическому ареалу, проявленному в виде вулканических полей ( $O_3-D_2ef$ ) и множества интрузивных и субвулканических тел (от  $S_2$  до  $C_1$ ). Для него предлагается трехэтапная модель формирования [5, 16]. В первый этап ( $D_{1ems_{1-2}}$ ) происходило вулканогенно-осадочное накопление сульфидов и Fe-оксидов-гидроксидов в виде рассеянной рудной минерализации в верхах вулканогенно-осадочных ритмов. На втором этапе ( $D_{1ems_3}$ ) внедрение плутонов и даек габбро-диорит-гранодиоритового комплекса вызывало скарнирование с образованием линз магнетитовых руд на контактах силикатных и карбонатных пород. Магматогенный флюид, обогащенный Fe, Zn, Pb, Au, Ag и S, перемещался далее к поверхности и попадал в зону пологого экранирующего контакта известняков с тонкослоистыми вулкано-терригенными породами, выполнявшего роль геохимического и петрофизического барьера, с отложением золото-сульфидной и сульфосольно-полиметаллической ассоциации. В третий этап ( $D_2ef_1$ ) произошел дополнительный подток магматогенного

флюида, обогащенного Hg, As и Sb. При разгрузке этого флюида, смешивающегося с катагенными водами, образованы золото-реальгар-антимонитовая минерализация карлинского типа в карбонатных породах и пирит-арсенопиритовая минерализация в вулканогенных флишоидах.

Для Воронцовского месторождения типичными являются тонкорассеянная золото-сульфидная минерализация и микронный-субмикронный размер частиц самородного золота в As-пирите [16]. Мы предполагаем для высокосолевого (5–9,5 мас.% экв. NaCl), водно-углекислого Ca-, Na- и Mg-хлоридного рудоносного флюида, сформировавшего основную массу Au руд в карбонатных брекчиях, магматогенную природу. Au-As-Sb-Hg-Pb оруденение во многом близко к эпitherмальному (220–110 °С), глубина их формирования оценивается в 1,5–2 км. Магматогенные флюиды, несущие изотопы с глубинными метками [16], сформировали золотосодержащую сульфидную минерализацию железо- и медноскарновых залежей района, а также – на периферии скарновых зон, при более низких температурах – малосульфидную золоторудную минерализацию.

#### Список литературы:

1. Амплиева Е. Е., Викентьев И. В., Карпухина В. С., Бортников Н. С. Роль магматогенного флюида в формировании Талганского медно-цинково-колчеданного месторождения, Ю. Урал // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 423, № 4. – С. 516–519.
2. Белогуб Е. В., Молошаг В. П., Новоселов К. А., Котляров В. А. Самородный висмут, цумоит и свинцовистая разновидность цумоита из Тарньерского медно-цинково-колчеданного месторождения (Северный Урал) // Записки Российского минералогического общества. – 2010. – Т. 139, № 6. – С. 82–92.
3. Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. – М. : Научный мир, 2004. – 340 с.
4. Викентьев И. В., Борисова А. Ю., Карпухина В. С., Наумов В. Б., Рябчиков И. Д. Прямые данные о рудоносности кислых магм Узельгинского рудного поля (Южный Урал, Россия) // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 443, № 3. – С. 347–351.
5. Викентьев И. В., Карпухина В. С., Носик Л. П., Еремин Н. И. Условия формирования цинково-колчеданного месторождения Таш-Яр, Южный Урал // Доклады Академии наук. 2009. – Т. 428, № 5. – С. 633–636.
6. Викентьев И. В., Тюкова Е. Э., Мурзин В. В., Викентьева О. В., Павлов Л. Г. Воронцовское золоторудное месторождение. Геология, формы золота, генезис. – Екатеринбург : Форт Диалог-Исеть, 2016. – 206 с.
7. Воробьев Ю. К. Руды Сибая как отражение процесса кристаллизации минералов в вязкой среде // Записки ВМО. – 1995. – Ч. СХХIV, № 1. – С. 52–62.
8. Карпухина В. С., Наумов В. Б., Викентьев И. В. Генезис колчеданных месторождений Верхнеуральского рудного района (Южный Урал, Россия): свидетельства магматического вклада металлов и флюида // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 2. – С. 145–165.
9. Пшеничный Г. Н. Текстуры и структуры руд месторождений колчеданной формации Южного Урала. – М. : Наука, 1984. – 208 с.
10. Ракчеев А. Д. Метаморфизм пород зеленокаменной полосы и его отношение к колчеданному и медно-цинковому оруденениям в районе Южного Кузнечихинского месторождения на Среднем Урале // Советская геология. – 1956. – № 51. – С. 189–238.
11. Сафина Н. П., Масленников В. В., Масленникова С. П., Котляров В. А., Данюшевский Л. В., Ларж Р. Р., Блинов И. А. Полосчатые сульфидно-магнетитовые руды Маукского медноколчеданного месторождения (Средний Урал): состав и генезис // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 3. – С. 221–238.
12. Чернышев И. В., Викентьев И. В., Чугаев А. В., Шатагин К. Н., Молошаг В. П. Источники вещества колчеданных месторождений Урала по результатам высокоточного MC-ICP-MS изотопного анализа свинца галенитов // Доклады Академии наук. – 2008. – Т. 418, № 4. – С. 530–535.



13. Шадлун Т. Н. Особенности минералогического состава, структур и текстур руд некоторых колчеданных месторождений Урала // Колчеданные месторождения Урала. – М. : Изд-во АН СССР, 1950. – С. 117–147.
14. Prokin V. A., Buslaev F. P. Massive copper-zinc sulphide deposits in the Urals // Ore Geology Reviews. – 1999. – V. 14. – P. 1–69.
15. Vikentyev I. V., Belogub E. V., Novoselov K. A., Moloshag V. P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 85. – P. 30–63.
16. Vikentyev I. V., Tyukova E. E., Vikenteva O. V., Chugaev A. V., Dubinina E. O., Prokofiev V. Yu., Murzin V. V. Vorontsovka Carlin-style gold deposit in the North Urals: mineralogy, fluid inclusion and isotope data for genetic model // Chemical Geology. – 2019. – V. 508. – P. 144–166.

**Волков А. В., Галямов А. Л. (alg@igem.ru)  
ФГБУН «ИГЕМ РАН»**

#### НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ

*Настоящий доклад подготовлен по результатам исследований 2021 г. по проекту Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018 «Фундаментальные проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности и энергетики России». В ходе реализации проекта выделены главные рудообразующие системы – источники высокотехнологичных критических металлов; создана база данных месторождений и перспективных рудопроявлений стратегических и высокотехнологичных металлов России; выполнены металлогенетические исследования на основе пространственно-статистического ГИС-анализа; составлены варианты прогнозно-металлогенетических карт размещения рудообразующих систем стратегических и высокотехнологичных металлов; разработаны новые подходы к прогнозированию крупных месторождений стратегических металлов.*

*Ключевые слова: Рудообразующая система, база данных, стратегические, металлогения, месторождения, прогнозирование.*

Определение рудообразующей (минеральной) системы по мировым источникам [1–4] аналогична концепции нефтяной системы, но из-за особенностей природы рудных месторождений и вмещающих пород минеральная система гораздо более разнообразна и сложна. Для формирования рудного месторождения требуется источник металлов, агенты транспортировки (флюиды или магмы) и область осаждения или накопления руд. Объединяющая все эти процессы рудообразующая система включает все геологические и геодинамические факторы на всех масштабных уровнях, которые контролируют возникновение, развитие и сохранение рудных месторождений. В таких системах принято выделять корневую зону (область магмо- и флюидозарождения), зону транспорта (тепломассопереноса) и зону концентрированного рудоотложения. Для изучения, как правило, доступна лишь зона рудоотложения, которая реализуется в виде ареала развития оруденения, гидротермально измененных пород и ореолов рассеяния рудного вещества, выделяемых в качестве рудных узлов. Под рудообразующей системой мы вслед за Д. В. Рундквистом [5] понимаем комплекс взаимосвязанных процессов генерации рудоносных флюидов, их миграции к поверхности и разгрузки на геохимических барьерах, определяющих формирование аномальных скоплений полезных ископаемых.

В результате выполненных исследований выделены 8 главных рудообразующих систем стратегических металлов России: расслоенных интрузивов основных пород (магматическая базитовая и ультрабазитовая); скарново-порфировая и порфирово-эпитермальная; орогенная

(в том числе связанная с интрузивами гранитоидов); связанная с щелочными гранитами; ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов; колчеданно-вулканогенная и осадочно-вулканогенная; осадочных бассейнов; россыпей и кор выветривания. На основе базы данных составлена карта основных месторождений высокотехнологичных критических металлов на территории России. Для каждой рудообразующей системы характерны свои промышленные и минеральные типы месторождений, отличающиеся набором основных и важнейших попутных компонентов (в том числе и критических) и по технологическим свойствам руд.

В ходе работ по проекту была подготовлена база данных месторождений и перспективных рудопроявлений стратегических и высокотехнологичных металлов, состоящая из связанных между собой информационных блоков, характеризующих примеры минеральных месторождений, геологическую среду их размещения, интегральные модели, отражающие условия рудообразования и геодинамические обстановки развития рудообразующих систем. На территории Российской Федерации выявлены более 18 000 рудных объектов разного ранга, от рудопроявления до крупных месторождений, среди которых насчитывается около 8 тысяч золоторудных объектов, медных – более тысячи, свинцово-цинковых – около 2 тысяч и редкометалльных – более тысячи. Кроме того, известны Pb-Zn месторождения и рудопроявления скарнового, связанного с карбонатитами и эпитептермального в терригенных толщах типов – менее значимые для промышленности. При этом среди свинцово-цинковых месторождений миссиссиппский тип (MVT) насчитывает более 80, тип SEDEX – более ста, а колчеданный тип (VMS) – около двухсот объектов.

Месторождений, в рудах которых стратегические высокотехнологичные металлы являются основными и попутными компонентами, насчитывают менее 1200, из них около двухсот – крупные. В этой выборке выделяется до 200 мелких и средних месторождений, руды которых отличаются повышенной комплексностью: в них в виде основных и попутных насчитывается более пяти компонентов, входящих в группу стратегических высокотехнологичных металлов. Анализ базы данных показал, что наиболее комплексные руды характерны для следующих минеральных типов: редкоземельно-редкометалльный апогранитовый, щелочных метасоматитов, апатит-редкоземельно-редкометалльный, редкометалльный пегматитовый, касситерит-вольфрамитовый грейзеновый, медно-колчеданный в вулканогенно-осадочных, медно-цинково-колчеданный, колчеданно-полиметаллический в терригенных и вулканогенных породах и базитовый титаномагнетит-ильменит-ванадиевый. В химический состав руд месторождений перечисленных минеральных типов входят Ag, Al, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cs, Cu, Ga, Ge, Hf, Hg, In, La, Li, Nb, Rb, REE, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zr.

Для ГИС-анализа пространственных соотношений геологической структуры и геодинамических обстановок формирования месторождений стратегических металлов России использованы результаты современных исследований литосферы на основе гравитационных данных, полученных космическим аппаратом GOCE (*Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer*): глобальные карты глубины поверхности Мохо, мощности и строения осадочного чехла, модель CRUST1.0 [7]. В докладе результаты этого анализа были продемонстрированы на примере Pb-Zn-месторождений MVT, SEDEX и VMS типов. Общая пространственная статистика показывает, что в пределах локальных зон утолщения коры размещаются более 65 % всех мировых месторождений и проявлений благородных, цветных, редких, черных и благородных металлов. В геофизической глобальной модели земной коры наиболее резкие локальные утолщения и утонения ее глубинных слоев проявлены в виде обособленных зон аномальной изменчивости (градиента) мощности средней и нижней коры.

В результате пространственно-статистического ГИС-анализа был составлен комплект прогнозно-металлогенических карт. Следующий этап развития представлений о перспективности и распространении региональных рудообразующих систем состоит в выделении типовых областей, являющихся источниками стратегических металлов, типовых геодинамических блоков земной коры как проницаемых каналов для продвижения флюидов и магм. Комплексное изучение месторождений позволит решить проблему сырьевых источников большинства высокотехнологичных металлов. Синтез полученных материалов по источникам металлов, агентам их транспортировки и областям осаждения или накопления руд даст возможность районирования наиболее перспективных территорий на выявление новых крупных месторождений стратегических металлов.

Список литературы:

1. Hagemann S. G., Cassidy K. F. Archean orogenic lode gold deposits // *Reviews Economy Geology*. – 2000. – Vol. 13. – P. 9–68.
2. Hagemann S. G., Lisitsin V., Huston D. L. Mineral system analysis: Quo Vadis // *Ore Geology Reviews*. – 2016. – Vol. 76. – P. 504–522.
3. Joly A., Porwal A., McCuaig T. C., Chudasama B., Dentith M. C., Aitken A. R. A. Mineral systems approach applied to GIS-based 2D-prospectivity modeling of geological regions: Insights from Western Australia // *Ore Geology Reviews*. – 2015. – Vol. 71. – P. 673–702.
4. Pirajno F. *Hydrothermal processes and mineral systems*. – Springer, 2009. – 1250 p.
5. Бортников Н. С., Волков А. В., Галямов А. Л., Викентьев И. В., Аристов В. В., Лаломов А. В., Мурашов К. Ю. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития // *Геология рудных месторождений*. – 2016. – Т. 68, № 2. – С. 97–119.
6. Волков А. В., Галямов А. Л., Савчук Ю. С. Применение моделей глубинного строения земной коры и верхней мантии, созданных на основе гравитационных данных спутника ГОСЕ, в металлогеническом анализе // *Исследование Земли из космоса*. – 2020. – № 4. – С. 41–50.
7. Рундквист Д. В. Пульсационная гипотеза С.С. Смирнова в свете новых данных о процессах рудообразования // *Проблемы региональной металлогении и эндогенного рудообразования*. – Л. : ВСЕГЕИ, 1968. – С. 46–66.

**Воробьев С. А.** <sup>1</sup>([vsa46@mail.ru](mailto:vsa46@mail.ru)), **Миляев С. А.** <sup>2</sup>([sermil52@yandex.ru](mailto:sermil52@yandex.ru))

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, <sup>2</sup> ФГБУ «ЦНИГРИ»

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ  
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, НЕ ВЫХОДЯЩИХ НА СОВРЕМЕННУЮ ЭРОЗИОННУЮ  
ПОВЕРХНОСТЬ**

*Освещены отечественные и зарубежные технологии проведения геохимических поисков рудных месторождений, не выходящих на современную эрозионную поверхность. Приводятся примеры открытия погребенных месторождений по наложенным ореолам рассеяния, с применением различных технологий геохимических съемок. Рассмотрены возможные пути повышения эффективности геохимических поисков на закрытых территориях.*

*Ключевые слова: ореол, погребенные месторождения, литохимия, атмохимия, биогеохимия, наночастицы, газоприемники, формы нахождения, лиганды, лидары.*

Современная методика геохимических поисков погребенных месторождений ориентируется на выявление на поверхности чехла наложенных ореолов рассеяния, сформировавшихся при миграции образующих их компонентов с глубоких горизонтов Земли. Теоретические представления о наложенных литохимических ореолах рассеяния рудных месторождений были впервые сформулированы Н. И. Сафроновым в 1936 г., но только к середине 70-х годов получили активное применение в практике геохимических поисков на территории бывшего СССР. В Китае, Канаде, Австралии и США методы поисков по наложенным ореолам рассеяния стали активно применяться с конца прошлого столетия. Обзор информационных потоков по геохимическим поискам показывает, что количество работ по этому направлению поисковой геохимии неуклонно растет в России и за рубежом и сопоставимо с поисками по вторичным ореолам и потокам рассеяния на открытых территориях.

Поиски скрыто-погребенных месторождений ориентированы на выявление газовых ореолов косвенных индикаторов оруденения (He, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Hg, галогены и др.) и литохимических ореолов главных рудообразующих элементов (Au, U, Pb, Zn, Cu и др.). Данные опытно-методических

работ на многих месторождениях различного генезиса позволяют предположить, что образование ореолов этих двух групп компонентов рудообразующей среды протекает по единому механизму. В настоящее время пока нет общепринятой теории формирования наложенных ореолов рассеяния над погребенными рудными месторождениями. В этой области поисковой геохимии практика полностью опережает теоретические разработки. Временные вариации содержаний металлов и газов в наложенных ореолах позволяют предположить, что их миграция из глубинных источников идет по единому механизму в форме кластеров из наноминеральных частиц и молекул газа. Наночастицы рудообразующих минералов могут быть адсорбированы на поверхности газовых молекул из-за их огромной поверхностной энергии и мигрируют вместе с ними к земной поверхности; часть из них разгружается в атмосферу, а другие сорбируются почвой [3].

В зависимости от опробуемой среды геохимические поиски погребенных месторождений подразделяются на литохимические, биогеохимические и атмохимические. Как показывает практика, по своей информативности эти методы близки между собой, применимость на практике каждого из них определяется ландшафтными условиями территорий ведения поисков, технической сложностью пробоотбора и трудоемкостью операций по подготовке отобранного материала к анализу, а также личными предпочтениями исполнителей.

Наложённые литохимические ореолы относятся к разряду слабых геохимических аномалий с максимальными содержаниями рудных элементов, соизмеримыми с колебаниями местного геохимического фона и погрешностями съемки. Повышение их контрастности достигается частично фазовым анализом литохимических проб, основанным на выделении подвижных, легко-растворимых, солевых форм рудных элементов, доля которых в области фона мала, а в наложенных ореолах существенно выше случайных колебаний содержаний элементов.

Для выявления наложенных литохимических ореолов рассеяния металлов применяют три вида геохимических съемок, реализующих различные методы выявления слабых геохимических аномалий: термомагнитных фракций (ТМФ), подвижных форм (МПФ), анализа сверхтонких фракций (МАСФ). Термомагнитный геохимический метод ориентирован на выделение геохимических аномалий химических элементов, сорбированных гидроксидами железа и марганца в приповерхностном слое Земли, в процессе их миграции от погребенных рудных тел к дневной поверхности. При съемках МПФ наиболее употребимы пирофосфатные вытяжки; индикатором погребенных месторождений служит возрастание показателя  $Me/C$ , где  $Me$  – концентрация рудного элемента в пирофосфат-натриевой вытяжке и  $C$  – содержание органического углерода в исходной литохимической (почвенной) пробе. В зарубежной практике этот способ выделения аномалий именуется, как метод подвижных ионов металлов (ММИ) [5]. В качестве селективного растворителя применяются сильные лиганды, растворяющие адсорбированные на поверхности твердых частиц ионы металлов. Метод анализа сверхтонких фракций (МАСФ) рыхлых отложений разработан и опробован при проведении опытно-производственных работ в различных регионах России (Северо-Запад, Дальний Восток, Сибирь, Урал) при производстве геохимических работ масштабов 1:1 000 000–1:10 000 геохимиками ВСЕГЕИ [1]. В своей основе он базируется на результатах российских и зарубежных исследований по изучению состава, форм и размеров микрочастиц, присутствующих в подземной атмосфере рудных месторождений. Мигрируя с газовыми потоками в атмосферу, они частично сорбируются почвой, образуя вторичные наложенные ореолы.

В практике геолого-поисковых работ биогеохимический метод поисков применяется в весьма ограниченных объемах. Максимальная мощность рыхлых отложений, ограничивающая возможность метода в степных и пустынных районах, составляет 20–50 м, в лесных районах гумидной зоны – 10–20 м, в районах с многолетней мерзлотой не превышает 3–10 м. Основными факторами, влияющими на формирование биогеохимических ореолов являются: 1) доступность растениям минеральных и химических форм элементов-индикаторов, находящихся в корнеобитаемых горизонтах почв и почвообразующих пород; 2) величина поверхности контакта корневых систем растений с лито-, гидро- и атмохимическими ореолами рассеяния; 3) наличие и величина антиконцентрационных физиолого-биохимических барьеров против высоких концентраций рудных элементов в питающей среде. Проведение биогеохимических съемок осложняется тем, что

в пределах поисковой площади не всегда удастся отобрать пробы из одного и того же вида растительности. Разные виды растений, их разные органы и даже разные участки одного органа растения в различной степени накапливают химические элементы.

Атмохимические ореолы рудных месторождений образуют газы трех генераций. Первая – компоненты рудообразующей среды ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и др.), захваченные минералами в процессе рудоотложения. Их высвобождение происходит непрерывно по мере вскрытия газовой-жидких включений при выветривании. Вторую генерацию составляют газы глубинного происхождения ( $\text{CO}_2$ , He, Ar,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  и др.), мигрирующие по рудоконтролирующим тектоническим зонам. Они являются продуктами химических и ядерных реакций, протекающих в земных недрах. К третьей генерации относятся газы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и др.), образующиеся в зоне гипергенеза рудных месторождений. Гипергенное преобразование сульфидных минералов протекает с поглощением больших количеств кислорода, что приводит к резкому снижению его содержания в подземной атмосфере над рудными телами [2]. Газовые ореолы также образуют и рудные элементы, поступающие в вышележащие породы и далее в атмосферу в виде собственных паров и минеральных микрочастиц.

Логическим развитием атмохимических методов стало проведение поисков путем улавливания металлосодержащих минеральных микрочастиц, транспортируемых воздушными потоками от погребенных рудных тел к земной поверхности. Исследования китайских геохимиков на большом числе месторождений разного генетического типа показали, что содержания металлов в подпочвенной атмосфере над погребенными и слепыми рудными телами, перекрытыми покровными отложениями мощностью в несколько сотен метров, многократно превышают геохимический фон [6].

Атмохимические поиски методом улавливания металлосодержащих минеральных микрочастиц весьма трудоемки, а их результативность во многом зависит от метеорологических условий. Тем не менее он является прямым методом атмохимических поисков, позволяющим до проведения буровых работ оценить рудную природу геохимических аномалий. Этот метод используется китайскими геохимиками для выявления новых рудных объектов на закрытых территориях, прилегающих к месторождениям с истощаемыми запасами. Его дальнейшее совершенствование будет связано с использованием аналитической аппаратуры, подобной лидарам и корреляционным спектрометрам, позволяющим фиксировать металлосодержащие компоненты в приземном слое атмосферы на точках наблюдения.

#### Список литературы:

1. Соколов С. В., Марченко А. Г., Макарова Ю. В. Геологическая эффективность геохимических поисков методом анализа сверхтонкой фракции // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 54–58.
2. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. – М. : Недра, 1990. – 336 с.
3. Cao J. Migration mechanisms of gold nanoparticles explored in geogas of the Hetai ore district, southern China // *Geochemical Journal*. – 2011. – Vol. 45. – P. 9–13.
4. Lintern M. J., Anand R., Ryan Ch., Paterson D. Natural gold particles in Eucalyptus leaves and their relevance to exploration for buried gold deposits // *Nature Communications*. – 2013. – № 2614. – 1–8. – URL : <https://www.nature.com/articles/ncomms3614.pdf>.
5. Mann A. W. Ligand Based Soil Extraction Geochemistry In Proceedings of Exploration // Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration. – 2007. – P. 281–289.
6. Wei X., Cao J., Holub R. F., Hopke P. K., Zha S. TEM study of geogas-transported nanoparticles from the Fankou lead zinc deposit. Guangdong Province, South China // *Jornal Exploracion*. – 128. – 2013. – P. 124–135.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СВЯЗЬ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ С ГЛУБИННЫМИ  
СТРУКТУРАМИ ТАЙМЫРА

*В размещении разных рудноформационных типов проявлений цветных металлов Таймыра отчетливо проявлена зональность, связанная с вмещающими формациями, геодинамическими обстановками их образования в тесной связи с особенностями глубинного строения земной коры.*

*Ключевые слова: Таймыр, свинец, цинк, месторождение, геофизические поля, модель Земной коры.*

На Таймырском полуострове выделены три тектонических зоны [1] с различной металлогенией. Северо-Таймырская зона сложена метаморфизованными сильно дислоцированными породами нижнего и верхнего докембрия и отчасти кембрия, а также разновозрастными гранитоидами; здесь выделен Трехсестерский узел с проявлениями полиметаллического оруденения. Центрально-Таймырская зона с дорифейскими и рифейскими карбонатными, вулканогенными и интрузивными образованиями, перекрытыми чехлом палеозойского возраста. Южно-Таймырская (Быррангская) зона с деформированными верхнепротерозойскими комплексами, вендскими доломитами, перекрытыми глинисто-карбонатными отложениями кембрия. В ее пределах выделены два рудных района – Таймыроозерский и Подкаменно-Кульдимский.

Минеральный состав и характер проявления цветных металлов Таймыра тесно связан с составом и строением вмещающих формаций: в триасовых вулканогенных формациях размещаются проявления меднорудных типов (площадь Илистая). Особое внимание привлекают объекты – свинцово-цинковые месторождения Суровое, Гора геологов, Партизанское – залегающие в пермских глинистых комплексах. В этой обстановке встречаются проявления ртути (месторождения Убойнинское, Извилистое).

Для выяснения закономерностей размещения полиметаллических месторождений использовалась современная глобальная модель глубинного строения земной коры, созданная на основе данных проекта GOCE, модели глубины поверхности Мохо, модель CRUST1.0 [6, 7], модель плотности и термального режима верхней мантии [8]. Типы коры определяются в зависимости от возраста фундамента или тектонических условий, а остальные элементы осадочных слоев в основном соответствуют модели [9].

Северо-Таймырская зона, где размещается большинство золоторудных проявлений Центрально-Арктического медно-порфинового пояса, располагается над областями повышенного температурного режима кровли верхней мантии в региональных аномалиях положительных значений гравитационного и магнитного полей, которые отражают положение базитовых и ультрабазитовых плутонов. Характер оруденения Центрально-Арктического медно-порфинового пояса с юго-запада на северо-восток меняется с медно-порфинового на молибден-порфиновый тип [4], и эта смена происходит в направлении увеличения температуры глубинных частей верхней мантии. В этом же направлении по этим же данным отмечается омоложение возраста интрузий, обусловивших развитие рудообразующих систем пояса: от 340–330 (умереннощелочные гранит-порфиновые) до 240–230 млн лет (сиенит-граносиенит-порфиновые интрузии).

На восточном фланге пояса выделен Трехсестерский узел, где выявлены перспективные проявления (в т. ч. проявление Незабудка) вкрапленных, прожилковых, гнездовых и массивных колчеданно-полиметаллических руд в брекчированных карбонатных породах верхнего рифея и лиственит-березитах по терригенным и вулканогенно-осадочным образованиям.

В Южно-Таймырской (Быррангской) зоне размещаются в основном медные, медно-никелевые, полиметаллические, ртутные и флюорит-баритовые проявления, приуроченные к областям отрицательных значений гравитационного и магнитного полей, и здесь также в северо-восточном направлении отмечается тенденция зонального размещения рудных формаций – от низкотемпературных до магматогенных.

На западе Быррангской зоны руды Убойнинского месторождения представлены кварц-реальгаровыми штокверками и реальгар-кальцитовыми жилами сурьмяно-ртутно-мышьякового типа в брекчированных известняках. В центральной части зоны в пределах Таймыроозерского района и его окрестностей распространены типы руд: медно-никелевый, медный жильный, свинцово-цинковый в породах различного состава. Здесь вскрыты три малых месторождения свинца, цинка, серебра, ряд проявлений и множество пунктов минерализации. Свинцово-цинковое оруденение представлено кварцево-карбонатными жилами, жильными штокверковыми зонами и зонами брекчий в среднекаменноугольно-пермских терригенных толщах, туфах верхней перми и нижнего триаса. На востоке зоны, в пределах Подкаменно-Кульдимского рудного района установлены руды медно-никелевого платиноносного типа. Золоторудная полиметаллическая в березитах (лиственитах) сопровождается полиметаллической колчеданной, свинцово-цинковой жильной, барит-свинцово-цинковой и целестин-баритовой формаций [3]. Большинство проявлений цветных металлов здесь приурочено к областям с увеличенной мощностью консолидированной коры, в частности, в зонах утолщения «базальтового слоя», в участках повышенной изменчивости его толщины.

Особое место в пространственных соотношениях с глубинным строением занимают минерализованные зоны свинцово-цинковой минерализации, связанные с карбонатами. Карбонатитовые массивы в пределах Подкаменно-Кульдимского потенциального рудного района размещаются над областями изменчивости толщины консолидированной коры и повышенных температур глубинных частей верхней мантии.

На фоне зонального геологического строения Таймыра ярко проявлена зональность в размещении руд различного формационного типа. В рудах месторождений Быррангской зоны отмечается зональное размещение различных по своей специализации металлогенических типов, в том числе ранней медно-цинковой минерализации и поздних золото-полиметаллических руд. При этом смена рудно-формационной принадлежности руд сопровождается совмещением их ареалов.

Формирование рудных месторождений, связанных с магматизмом и гидротермальными флюидами, происходило в обстановках совмещения внутрикоровых и мантийных рудно-магматических систем. Системы различаются глубиной заложения систем, уровнем их флюидной активизации и формирования оруденения [2]. Продуктивность систем, вероятно, связана с повышенной мощностью литосферы и составом надастеносферных флюидов, определяющими метасоматическую зональность мантии, состав базитовых магм и их изменение при внедрении в верхние слои земной коры. Практически все крупные и уникальные магматические месторождения, связанные с базитовыми магмами, сопряжены или с ассимиляцией карбонатных и соленосных отложений, или с воздействием на расплавы коровых метаморфизованных флюидов [5].

#### Список литературы:

1. Верниковский В. А. Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области. – Новосибирск : СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1996. – 201 с.
2. Гамянин Г. Н., Горячев Н. А., Савва Н. Е. Рудно-магматические системы месторождений золота и серебра Северо-Востока Азии // Актуальные проблемы рудообразования и металлогении: тезисы докладов Международного совещания. – Новосибирск : Академическое издательство «Гео», 2006. – С. 54–56.
3. Проскурнин В. Ф., Гавриш А. В., Межубовский В. В., Трофимов В. Р. [и др.]. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Таймырско-Североземельская. Лист S-49 (Хатангский залив). Объяснительная записка. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2013. – 275 с.
4. Проскурнин В. Ф., Петров О. В., Романов А. П., Курбатов И. И., Гавриш А. В., Проскурнина М. А. Центрально-Арктический золотосодержащий медно-молибден-порфиновый пояс // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 85. – С. 31–49.
5. Шарапов В. Н., Мазуров М. П., Перепечко Ю. В. Модельный анализ развития континентальных мантийно-коровых рудообразующих систем. – Новосибирск : Изд-во СО РАН 2009. – 409 с.
6. Bassin C., Laske G., Masters G. The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America // EOS Trans AGU. – 2000. – 81. – F897. – URL: <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust2.html>.

7. Bouman J., Ebbing J., Meekes S. [et al.]. GOCE gravity gradient data for lithospheric modeling // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2015. – V. 35. – P. 16–30.
8. Cammarano F., Guerri M. Global thermal models of the lithosphere // Geophysical Journal International. – 2017. – V. 210. – P. 56–72.
9. Laske G., Masters G. A Global Digital Map of Sediment Thickness // EOS Trans AGU. – 1997. – 78. – F483.

**Голубев С. Ю. (sgolubev@tsnigri.ru), Колесникова Т. И.  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

### АДАПТАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ШЛИХОМИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ПОИСКОВ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНОЙ СЕДИМЕНТАЦИИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ЯКУТИИ (ОЛЕНЕКСКОЕ ПОДНЯТИЕ)

*Разрабатываемая методика позволит эффективно планировать пробоотбор при проведении илихтоминералогических поисков в условиях развития флювиогляциальной седиментации, а также существенно изменит интерпретацию получаемых результатов.*

*Ключевые слова: Арктическая зона, опытно-методические работы, илихтоминералогическое опробование, минералы-индикаторы кимберлитов (МИК).*

Опыт проведения илихтоминералогических поисков ФГБУ «ЦНИГРИ» в различных ландшафтных обстановках севера РФ (Архангельская и Мурманская области, Республика Карелия, север Оленекского поднятия) показывает, что современные водотоки наследуют ранее сформированные долины. Гранулометрические особенности строения толщ аллювиальных отложений, низкая степень сортировки материала, трапециевидная форма долин, наличие экзотического материала указывает на то, что долины формировались в период дегляциации территорий. Отложения подобного типа широко распространены в ледниковых областях и представляют собой отложения гляциоселей.

В ходе работ на севере Оленекского поднятия были проанализированы особенности строения толщ аллювиальных отложений по описаниям из отчетов. В описаниях русловых отложений отмечена крайне низкая степень сортировки материала, не свойственная отложениям, формирующимся в условиях обычного аллювиального типа седиментогенеза. Русловые отложения всех террас представлены обычно гравийно-галечным материалом, связанным глинисто-алевритовым заполнителем или суглинком. Подобный тип отложений формируется обычно из потоков, перегруженных обломочным материалом. Далее в верховьях рек отмечаются аккумулятивные формы рельефа, выраженные в виде каменных рек. Состав тяжелой фракции покровных отложений резко отличается от минерального состава как коренных, так и рыхлых отложений района, что подтверждает данные предположения (А. А. Тамбовцев, 1988). По мнению А. А. Тамбовцева, ранее покровные отложения имели, скорее всего, площадное распространение и перекрывали всю водораздельную площадь. Покровные отложения имеют галечно- (10 %) – щебнисто- (10 %) – гравийно- (20 %) – суглинистый состав. Подобный гранулометрический состав характерен для так называемых водно-гравитационных отложений селевого или, точнее, гляциоселевого типа [2]. При подобном типе седиментации тяжелая фракция, в том числе алмазы и минералы-индикаторы кимберлитов, может переноситься на значительные расстояния (десятки километров). Присутствие одиночных эрратических валунов позволяет говорить о том, что во время зырянского оледенения здесь лежали маломощные окраинные поля ледника, сползшего из района Сололийского выступа.

Отмеченные факты позволяют предположить принципиально новый подход к объяснению особенностей формирования долин рек. Долины начали формироваться в период, когда территория



была покрыта сплошным покровом льда. В это время в начальный период дегляциации формировались отложения террас V и IV, на что указывает цвет аллювия, который характеризуется красно-бурыми окрасками. Отложения более низких террас характеризуются серыми окрасками. Такой цвет осадка обуславливается тем, что в процессе седиментогенеза окисленное (окрашенное) железо восстанавливается до двухвалентной формы, не имеющей окраски. Восстановление железа происходит при участии органического вещества. Красные окраски характерны для седиментогенеза при отсутствии органического вещества. Исходя из этого вполне можно предположить, что в период формирования террас V и IV отсутствовало органическое вещество. Подобное положение могло быть только в одном случае – когда формирование этих отложений проходило в окружении ледникового покрова.

В связи с вышесказанным полностью меняется трактовка возможного положения источников сноса алмазов и их минералов-спутников.

С целью эффективного планирования пробоотбора при проведении шлихоминералогических поисков и интерпретации получаемых результатов в условиях развития флювиогляциальной седиментации были поставлены опытно-методические работы.

Основными задачами опытно-методических работ являются:

1. Выявление генетических признаков отложений (гранулометрические и текстурные характеристики, геоморфологические формы их проявления), связанных с флювиогляциальной седиментацией;

2. Определение потенциальной дальности транспортировки алмазов и МИК в их составе;

3. Выявление наиболее информативных типов осадков в составе долинных комплексов по содержаниям алмазов и МИК;

4. Составление на основе полученных результатов соответствующих рекомендаций по проведению опробования и интерпретации получаемых данных.

Для решения поставленных задач был выбран участок реки Молодо-Хангас-Анабыла на Приленской площади. Данный выбор был основан на том, что:

- большая часть участка расположена на открытой территории (распространены отложения нижнего палеозоя, перекрытые маломощными четвертичными отложениями (до 3 м)), что позволяет вести шлихоминералогические поиски наиболее эффективно;

- участок расположен в Куойско-Молодинском кимберлитовом поле, в пределах участка находится Молодо-Хангаский куст известных кимберлитовых тел мезозойского возраста, перекрытых маломощными четвертичными отложениями;

- Молодо-Хангаские трубки – мезозойского возраста, поэтому МИК из них не поступали в палеозойские коллекторы;

- МИК из Молодо-Хангаских кимберлитовых тел по химическому составу отличаются от других известных тел в пределах Приленской площади.

В ходе проведения полевых работ подтверждена закономерность особенностей формирования долин рек, установленная в других районах севера РФ. На участке проведения опытно-методических работ долины, которые наследуют современные водотоки, характеризуются корытообразной формой с плоским дном шириной до 1 и более км. Долины часто заболоченные, с многочисленными озеровидными расширениями. Днища долин сложены галечно-щебнисто-гравийно-песчано-глинистым несортированным материалом с редкими валунами. Грубообломочный материал представлен как местными породами – плитками известняков еркекетской ( $C_1er$ ), зеленоцветной свит ( $C_2zč$ ), долеритами, битуминозными алевролитами и аргиллитами куанамской свиты ( $C_{1-2}kn$ ), кремнями, кварцем, так и экзотическим (дальнеприносным) материалом – яшмой. Борта долин от пологих (угол наклона от первых градусов до 20–30°) до крутых (45–50° вплоть до вертикальных). Подобные долины, скорее всего, сформированы потоками катастрофического спуска временных ледниковых озер (гляциоселевый тип). Наличие этих озер подтверждается установленными слоистыми темно-серыми глинами на водораздельных пространствах, мощность которых варьируется от 5–50 см до 2 и более м в понижениях рельефа.

По результатам сокращенного минералогического анализа шлиховых проб, отобранных в процессе проведения полевых работ, отмечается:

- в пробах, отобранных из покровных четвертичных отложений (суглинки, глины), для которых характерен низкий выход минералов тяжелой фракции, – преобладание зерен класса крупности  $-0,25$  мм, отмечаются находки МИК (пикроильменит, единичные зерна, возможно, кимберлитовой ассоциации, хрошпинелидов, хромдиопсидов, оливинов), преимущественно размером  $-0,5$  мм, различной степени окатанности (классов I–IV) и средним содержанием до 100 знаков на пробу. Характерными разновидностями минеральных ассоциаций тяжелой фракции являются ильменит-пироксен-альмандиновая, магнетит-пироксен-альмандиновая, магнетит-альмандин-пироксеновая, пироксен-ильменитовая;

- в пробах из слабосцементированных, тонкозернистых песков булбарангдинской свиты верхнепермского возраста отмечаются находки минералов кимберлитовой ассоциации (преимущественно пикроильменита) с единичными знаками хромшпинелида, оливина. Для них характерны пироксен-ильменит-альмандиновая, магнетит-ильменит-альмандиновая минеральные ассоциации со ставролитом, турмалином, цирконом, сфеном (до первых процентов);

- в пробах из русловых отложений отмечается ореол МИК с повышенным содержанием (больше 100 зерен на пробу), в основном пикроильменита различной размерности и сохранности с единичными знаками пирропа I–II классов окатанности, с фрагментами первичной поверхности, а также зернами хромшпинелида, хромдиопсида, оливина, возможно, кимберлитового морфогенетического типа. Характерными разновидностями минеральных ассоциаций являются магнетит-альмандин-пироксеновая и пироксен-альмандин-ильменитовая;

- в пробах из элювиально-делювиальных образований в районе траппового плато находки МИК отсутствуют.

Таким образом, на основе анализа полевых наблюдений и минералогического анализа шлиховых проб можно сделать следующие предварительные выводы:

- долины, по которым текут современные водотоки, сформированы потоками гляциоселевого типа, на что указывает корытообразный поперечный профиль долин, заполнение днищ долин несортированным галечно-щебнисто-гравийно-песчано-глинистым материалом, а также присутствие экзотического материала – яшмы; в составе тяжелой фракции в большей части шлиховых проб отмечены метаморфические минералы (ставролит, кианит, турмалин, свойственный кислым породам);

- по данным минералогического анализа отобранных проб, максимальные содержания МИК (пирропы, пикроильмениты) установлены на расстоянии 7–8 км от Молодо-Хангаских кимберлитовых тел и прослежены на расстояние до 12 км без снижения содержаний. Такое распределение МИК характерно для флювиогляциальных отложений [1].

Дальнейшие работы, направленные на изучение особенностей химического состава МИК, позволят разбраковать найденные зерна по морфологии и особенностям химического состава «фоновой» минералогической ассоциации.

#### Список литературы:

1. Голубев Ю. К., Дьячкова И. В., Шофман И. Л. Особенности транспортировки и обработки поверхностей спутников алмаза в водно-ледниковых потоках // Труды ЦНИГРИ. – 1991. – Вып. 250. – С. 98–109.
2. Лаврушин Ю. А., Голубев Ю. К. Особенности строения и формирования водно-ледниковых отложений // Доклады Академии наук. – 1996. – Т. 346, № 5. – С. 647–649.

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ  
В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

*Рассмотрены перспективы обнаружения в Арктической зоне (АЗ) РФ коренных месторождений алмазов. Отмечено, что наибольшие перспективы их открытия имеются в Лено-Анабарском междуречье Республики Саха (Якутия). Кроме того, можно ожидать открытия подобных месторождений в Зимнебережном районе Архангельской области. Определенные перспективы открытия месторождений алмазов имеет территория Мурманской области. Отмечено, что для выделения площадей под поиски необходимо проведение опережающих геолого-геофизических работ в рамках прогнозно-минералогических исследований.*

*Ключевые слова:* АЗ РФ, МСБ алмазов, кимберлиты, поиски.

Мониторинг состояния минерально-сырьевой базы (МСБ) показывает нарастание негативных тенденций в её развитии. За последние 10 лет погашение запасов алмазов в недрах (добыча) составило 389 млн кар при их приросте за счет ГРП 155 млн кар. Анализ МСБ алмазов РФ показывает, что практически при любом варианте развития ситуации в ближайшие годы будет происходить спад добычи алмазов [1]. Ранее уже отмечалось, что для решения проблем воспроизводства МСБ алмазов необходимо открытие в ближайшие годы коренных месторождений алмазов с запасами не менее 400 млн кар.

Перспективы открытия таких месторождений имеются в пределах Арктической зоны (АЗ) РФ в Архангельской области и в Лено-Анабарском междуречье Республики Саха (Якутия). Кроме того, нельзя исключать перспективы открытия алмазных месторождений в Мурманской области. Практически не имеет перспектив на открытие коренных месторождений алмазов территория Ненецкого автономного округа, где известны незначительные россыпепроявления алмазов.

Наибольшими перспективами на открытие крупных месторождений алмазов обладает территория Лено-Анабарского междуречья (АЗ Якутии). Здесь на площади свыше 400 тыс. км<sup>2</sup> открыто около сотни россыпей и россыпных проявлений алмазов. Запасы данных россыпей являются уникальными, здесь были добыты десятки миллионов карат. Кроме того, здесь располагается Верхне-Мунское коренное месторождение алмазов с запасами более 66 млн кар. К сожалению, к настоящему времени МСБ данных россыпей в значительной степени исчерпана. Коренные источники всех этих россыпей не установлены. Анализ геологических материалов позволяет прогнозировать возможность обнаружения здесь как традиционных для РФ коренных месторождений алмазов среднепалеозойского возраста, так и месторождений алмазов мезозойского возраста. В то же время на сегодняшний день в АЗ Якутии установлены восемь убогоалмазоносных и неалмазоносных кимберлитовых полей среднепалеозойского возраста, а также 10 таких же полей мезозойского возраста. Кроме того, выделены по разным работам разными организациями восемь перспективных на коренную алмазоносность площадей. Прогнозные ресурсы алмазов категории  $P_3$  оценены и апробированы в количестве более 400 млн кар.

Следует отметить, что имеющиеся материалы позволяют предполагать, что коренные месторождения мезозойского возраста, вероятнее всего, будут характеризоваться высокими содержаниями алмазов. Данный вывод сделан на основании работ, выполненных в 2015 г. ЦНИГРИ на севере Оленекского поднятия (АЗ Якутии), где были вскрыты кратерные части кимберлитовых трубок, приуроченные к участку, с которого был доказан снос алмазов в богатую россыпь р. Никабыт. Данные кратерные части трубок залегали выше пермских осадков, что даёт возможность рассматривать их возраст как нижнетриасовый. При оценке прогнозных ресурсов категории  $P_2$  были обоснованы содержания алмазов в коренных объектах в количестве не менее 3 кар/т [2].

В Архангельской области перспективы на обнаружение месторождений алмазов имеются в Зимнебережном районе, где ведется добыча на месторождениях им. Ломоносова и В. Гриба.

Запасы алмазов здесь составляют более 200 млн кар. Ресурсы категории  $P_3$  – порядка 400 млн кар. При этом в силу достаточно высокой степени опосредованности Зимнебережного района можно говорить только об остаточных перспективах данной территории на открытие новых месторождений алмазов.

Анализ материалов, выполненных до заверочных буровых работ на ряде магнитных аномалий трубчатого типа (ПГУ-1), показал, что в некоторых случаях не была решена задача определения геологической природы геофизической аномалии.

В Мурманской области были вскрыты убогоалмазоносные кимберлитовые трубки: Ермаковская-7 и Ермаковская-20. Кроме того, здесь выделены три перспективные площади на обнаружение алмазных месторождений: Пялицкая, Пулонгская (юго-восток Кольского полуострова) и Мурманская (центральная часть Кольского полуострова). Для этих площадей оценены и апробированы прогнозные ресурсы алмазов категории  $P_3$  в количестве 60 млн кар. Наибольшие перспективы по минералогическим данным связаны с Пялицкой площадью. Степень изученности Мурманской площади в этом плане незначительна. Следует отметить, что все три площади в силу ряда причин остались недоизученными.

Таким образом, в АЗ РФ существуют перспективы открытия новых коренных месторождений алмазов. Для реализации данных перспектив необходимо провести следующие исследования:

- локализацию площадей ранга прогнозируемого алмазоносного поля для постановки поисковых работ на разновозрастные коренные месторождения алмазов в АЗ Якутии;
- анализ данных по выполненному заверочному бурению в Зимнебережном районе Архангельской области с целью определения объектов для ревизионной заверки и вскрытию кимберлитовых тел;
- в Мурманской области – постановка опытно-методических работ, в ходе которых необходимо отработать методику шлихоминералогического опробования применительно к особенностям строения комплекса ледниковых отложений, перекрывающих кимберлитовмещающие породы кристаллического щита, а также разработка комплекса геофизических методов, который будет наиболее применим для этих поисковых обстановок.

Как отмечено выше, максимальными перспективами на открытие крупных коренных месторождений алмазов обладает АЗ Якутии. ФГБУ «ЦНИГРИ» выполнил экспресс-оценку перспектив на коренную алмазоносность этой территории с предварительным выделением здесь алмазоперспективных площадей, в пределах которых целесообразно проводить дальнейшие более трудозатратные средне- и крупномасштабные исследования на коренную алмазоносность. При этом был использован комплекс геолого-геофизических критериев, разработанный ФГБУ «ЦНИГРИ». В результате были выделены три алмазоперспективных региона, в пределах которых целесообразно проводить выделение алмазопроисходящих площадей (ранг потенциально алмазоносных поля и кустов тел): Виллой-Мархинская (площадь порядка 180 тыс. км<sup>2</sup>, в пределах АЗ Якутии расположена его северная периферическая часть), Анабарская (площадь порядка 40 тыс. км<sup>2</sup>) и Оленекская (площадь порядка 85 тыс. км<sup>2</sup>). Было отмечено, что только 50% перспективных на коренную алмазоносность площадей из выделенных ранее в разные годы различными организациями находятся в пределах данных алмазоперспективных регионов.

Для дальнейшей локализации в пределах этих регионов площадей ранга прогнозируемого алмазоносного поля рекомендуется постановка опережающих геолого-геофизических работ в рамках прогнозно-минерагенических работ (ПМР).

В состав этих работ следует включить следующие виды геофизических и геологических исследований:

- составление сводных цифровых моделей гравитационного и магнитного полей на базе (с использованием материалов) проведенных ранее в разные годы различными организациями средне-, крупномасштабных гравиметрических и магнитометрических съемок;
- проведение дополнительных геофизических (в соответствии с геофизической изученностью каждой из выделенных перспективных областей) съемок: крупномасштабных гравиметрических и аэрогеофизических (аэромагнитных, аэроэлектроразведочных) съемок, глубинных сейсморазведки (ГСЗ, МОВ-ОГТ) и электроразведки МТЗ (с использованием модификаций,

обеспечивающих изучение геоэлектрического разреза в диапазоне глубин на уровне земная кора – верхняя мантия и осадочного чехла);

- геолого-структурный анализ осадочного чехла на базе материалов геологических съемок разных масштабов; литолого-фациальный анализ основных терригенных горизонтов осадочного чехла, перекрывающего срез кимберлитовмещающих пород (с воссозданием палеогеографических условий их формирования) масштаба 1:200 000 (с использованием данных геологического картирования и бурения).

Для определения степени перспективности выделенных площадей на обнаружение месторождений алмазов целесообразно проведение следующих видов исследований:

- анализ особенностей формирования терригенных толщ, перекрывающих срез кимберлитовмещающих пород и содержащих в своем составе ореолы рассеяния МИК и алмазы для оценки возможной дальности их транспортировки от потенциальных источников;

- анализ вещественного состава терригенных толщ с определением возможного направления сноса в них алмазоносного материала на основе анализа минералогических ассоциаций тяжелой фракции и наличия обломков дальнепринесенных пород;

- анализ особенностей формирования речных долин с оценкой транспортирующей способности водотоков, формировавших комплекс долинных осадков с целью оценки потенциальной дальности и направления транспортировки алмазоносного материала.

В качестве одной из площадей под постановку ПМР предложена площадь, получившая название Восточно-Оленекская. Она расположена в пределах Оленекского алмазоперспективного региона.

Список литературы:

1. Голубев Ю. К., Гаранин К. В., Кошкарев Д. А., Голубева Ю. Ю., Шахурдина Н. К. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2020. – № 6. – С. 3–10.
2. Голубев Ю. К., Прусакова Н. А., Лукьянова Л. И. Опыт выявления возможных коренных источников алмазных россыпей арктической зоны Якутии // Отечественная геология. – 2017. – № 1. – С. 54–67.

**Голубева Ю. Ю. (golubeva@tsnigri.ru)  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МСБ АЛМАЗОВ РФ

*Показана структура минерально-сырьевой базы (МСБ) алмазов РФ по состоянию на 01.01.2021 г. Приведен прогноз развития МСБ алмазов до 2045 г.*

*Ключевые слова: алмазы, запасы, прогнозные ресурсы, воспроизводство, добыча, долгосрочное прогнозирование.*

*Общее состояние МСБ.* Российская Федерация располагает самой богатой в мире сырьевой базой алмазов и является ведущим поставщиком алмазов на мировой рынок, обеспечивая треть предложения. По состоянию на 01.01.2021 г. Государственным балансом запасов (ГБЗ) РФ учтено помимо двух импактных 75 месторождений алмазов (23 коренных и 52 россыпных). Балансовые запасы кат. АВС<sub>1</sub> С<sub>2</sub> составляют 1055,5 млн кар, забалансовые – 118 млн кар. Помимо этого, ГБЗ учитываются также запасы техногенных месторождений (25,2 млн кар). Запасы алмазов сосредоточены в четырех федеральных округах, также приняты во внимание гигантские запасы двух месторождений импактного генезиса в Красноярском крае (АВС<sub>1</sub> – 167,6 млрд кар,

$C_2$  – 100,4 млрд кар). Лидером по запасам является Дальневосточный федеральный округ (79,5 %), далее следует Северо-Западный (20,4 %). В Приволжском и Сибирском федеральных округах учтены только россыпные месторождения алмазов.

Основу отечественной сырьевой базы алмазов составляют коренные кимберлитовые месторождения, включающие 93,4 % запасов алмазов страны и обеспечивающие 77,5 % их добычи. При этом 45,2 % запасов сосредоточено в месторождениях под открытую отработку, 48,2 % – под подземную. Россыпные объекты вмещают 6,6 % запасов алмазов и обеспечивают оставшуюся часть добычи.

Основными алмазодобывающими предприятиями в России являются АК «АЛРОСА» (ПАО) и АО «АГД Даймондс». На их балансе по состоянию на начало 2021 г. числится 39 месторождений с суммарными запасами кат. АВС<sub>1</sub> С<sub>2</sub> 1023,7 млн кар (97 % от суммарных запасов РФ). Разрабатываются 24 месторождения, разрабатываемый фонд запасов составляет 900 млн кар.

В течение последнего десятилетия наблюдается постепенный рост добычи алмазов с 29,5 до 45,9 млн кар в год, с 2015 г. уровень добычи стабильно превышает 40 млн кар. В 2020 г. добыча алмазов снизилась до 40,2 млн кар в год, что было связано с принятием мер по оптимизации плана алмазодобычи на фоне кризисной ситуации, вызванной пандемией COVID-19. В 2021 г., по данным недропользователей, суммарно было добыто 37,3 млн кар алмазов. По данным АК «АЛРОСА» (ПАО), на фоне роста спроса и цен на алмазы на мировом рынке в 2021 г. добыча алмазов группой «АЛРОСА» увеличилась на 8 %, однако все еще остается на 16 % ниже допандемийных (докризисных) показателей 2019 г. В начале 2022 г. АК «АЛРОСА» (ПАО) прогнозировала дальнейшее увеличение добычи алмазов в 2022 г. до уровня 34,3 млн кар и до 35–36 млн кар в последующие годы.

Прирост балансовых запасов в последние годы обеспечивался в основном за счет разведки глубоких горизонтов разрабатываемых коренных месторождений, разведки на россыпях и постановки на баланс новых россыпных месторождений. Суммарное воспроизводство (прирост) запасов за счет ГРП за последние 10 лет составило 155,5 млн кар, добыча – 388,6 млн кар. Основные изменения запасов в 2022 г. будут связаны с результатами ГРП АК «АЛРОСА» (ПАО) на трубках Зарница и Мир. На данный момент *воспроизводство запасов алмазов за счет ГРП покрывает менее половины (40 %) их добычи.*

Похожая ситуация наблюдается и с прогнозными ресурсами (ПР) алмазов кат. P<sub>1</sub>–P<sub>2</sub>. По состоянию на 01.01.2021 г. согласно Сборнику ПР (Вып. 2. Благородные металлы и алмазы) ПР алмазов, оцененные по кат. P<sub>1</sub>, составляют 392,3 млн кар, кат. P<sub>2</sub> – 402 млн кар. Необходимо отметить, что ревизия ПР алмазов не проводилась уже 10 лет. За это время ПР по некоторым объектам были переведены в запасы, часть ПР не подтвердилась по результатам ГРП, а также появились новые мелкие объекты (низкоалмазоносные трубки и россыпи).

Согласно переоценке ресурсов, проведенной в 2020 г. АК «АЛРОСА» (ПАО) по коренным объектам Республики Саха (Якутия), 57 % ПР кат. P<sub>1</sub> (194,7 млн кар) (50 % ПР кат. P<sub>1</sub> по РФ) уже переведены в запасы. Оставшиеся ПР кат. P<sub>1</sub> Якутии (149,5 млн кар) сосредоточены в глубоких горизонтах известных месторождений и низкоалмазоносных коренных объектах (70,9 млн кар), а также в россыпях (78,6 млн кар).

По результатам ГРП последних лет не подтвердилось 117,5 млн кар кат. P<sub>2</sub> в Средне-Мархинском алмазоносном районе (37 % прогнозных ресурсов кат. P<sub>2</sub> Республики Саха (Якутия)). Оставшиеся прогнозные ресурсы (199,4 млн кар) сосредоточены в коренных объектах (площади ранга поля или куста трубок, мелких низкоалмазоносных объектах) – 143 млн кар, в россыпных объектах – 56,4 млн кар.

*Прогноз развития МСБ.* В соответствии со «Стратегией развития минерально-сырьевой базы до 2035 года» алмазы относятся ко второй группе полезных ископаемых, для которой достигнутые уровни добычи недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 г.

Запасы обрабатываемых в настоящее время месторождений без учета замороженных запасов трубки Мир, подземных запасов трубок Юбилейная, им. В. Гриба, глубоких горизонтов Накынских трубок и других месторождений составляют 65 % от балансовых. Согласно прогнозам АК «АЛРОСА» (ПАО), эти запасы позволят поддерживать годовую добычу на уровне

35–43 млн кар до 2030 г. с последующим снижением до 24–27 млн карат в 2030–2035 гг. в связи с завершением открытой отработки трубок Юбилейная, Зарница, Нюрбинская, им. В. Гриба, Архангельская, Карпинского-1. К 2035 г. при планируемом на данный момент уровне добычи алмазов суммарное количество находящихся сейчас на балансе запасов снизится примерно в два раза по сравнению с текущим уровнем. При этом большая часть оставшихся запасов будет сосредоточена в глубоких горизонтах месторождений под подземную отработку, а также в месторождениях, характеризующихся невысокой товарной стоимостью руды, отработка которых на данный момент убыточна. Эти месторождения АК «АЛРОСА» (ПАО) относят к будущим перспективным проектам: восстановление подземного рудника на трубке Мир, строительство подземного рудника на трубке Юбилейная, открытая отработка трубок Пионерская, им. Ломоносова, Краснопресненская, Дальняя, подземная отработка россыпей Нюрбинская (очереди III, IV, V) и Солур-Восточное, подземная отработка или углубка Накынских трубок. Решение по проекту восстановления рудника Мир, затопленного в ходе аварии в 2017 г., ожидается в середине 2022 г. В случае положительного решения начало инвестиционного проекта планируется не ранее 2025–2026 гг., строительство рудника займет от 6 до 9 лет.

Добыча с учетом ввода в эксплуатацию месторождений, относящихся к перспективным проектам, в 2031–2035 гг. составит 35–37 млн кар, в 2036–2045 гг. – 16–29 млн кар. При этом с 2036 г. компенсировать выбывающие объемы добычи можно будет только за счет открытия и введения в эксплуатацию новых месторождений. Для поддержания алмазодобычи на современном уровне, по мнению специалистов АК «АЛРОСА» (ПАО) и ФГБУ «ЦНИГРИ», требуется в ближайшие годы открыть месторождение (месторождения) алмазов с суммарными запасами не менее 300–400 млн кар [1].

По состоянию на 01.01.2021 г. в России действовало 147 лицензий на право пользования недрами, в том числе 28 на разведку и добычу алмазов, 14 совмещенных (на геологическое изучение, разведку и добычу) и 105 на геологическое изучение с целью поисков и оценки (включая 66 лицензий, выданных по «заявительному» принципу). В 2021 г. ГРП, включающие бурение, проводились всего на 12 лицензионных поисковых площадях за счет недропользователей и на двух – за счет средств федерального бюджета (ФБ).

Основной задачей ГРП за счет ФБ согласно геологическому заданию по двум действующим объектам (Ручьевская площадь в Архангельской области и Приленская площадь в Республике Саха (Якутия)) является увеличение ПР кат.  $P_1+P_2$  на 124 млн кар.

Основная задача недропользователей (АК «АЛРОСА» (ПАО)) – прирост запасов кат.  $ABC_1+C_2$  в количестве 70,3 млн кар за счет разведки на действующих месторождениях и порядка 120 млн кар за счет открытия новых месторождений. Основные поисковые работы на алмазы АК «АЛРОСА» (ПАО) планирует сосредоточить в Республике Саха (Якутия) в пределах известных алмазоносных районов. Поисковые работы также планируются в Иркутской области и Красноярском крае. Помимо АК «АЛРОСА», ГРП ведутся АО «АГД Даймонс» и ООО «АДАГРАН» в Архангельской области, ООО «Алмайнинг» в Пермском крае (участок Глубокий).

Необходимо отметить, что состояние алмазодобывающей отрасли в значительной степени зависит от макроэкономической ситуации в мире, влияющей на спрос на алмазно-бриллиантовую продукцию. Падение спроса на алмазы и бриллианты в 2019–2020 гг. привело к существенному уменьшению прибыли АК «АЛРОСА» (ПАО), что повлияло на сокращение инвестиций в перспективные проекты, а также финансирование геологоразведочных работ.

В конце февраля 2022 г. в связи с осложнением ситуации на территории Украины под санкции США попали обе алмазодобывающие компании – АК «АЛРОСА» (ПАО) и АО «АГД Даймондс». Дальнейшее состояние МСБ алмазов, поддержание уровня добычи алмазов, состояние инвестиционных проектов и финансирование ГРП будет в том числе зависеть и от вводимых санкций и стабилизации ситуации на Украине, а также от тех действий, которые предпримет АК «АЛРОСА» (ПАО) для смягчения последствий происходящего в интересах своих клиентов, партнеров, в том числе отраслевых организаций.

*Выводы.* 1. Анализ состояния МСБ алмазов РФ показывает, что практически при любом варианте развития ситуации в ближайшие годы будет происходить спад добычи алмазов. Текущий уровень добычи алмазов обеспечен только до 2030 г. 2. Для поддержания алмазодобычи

на современном уровне требуется в ближайшие годы открыть месторождение (месторождения) алмазов с суммарными запасами не менее 300–400 млн кар. 3. Состояние алмазодобывающей отрасли в значительной степени зависит от макроэкономической ситуации в мире, влияющей на спрос на алмазно-бриллиантовую продукцию.

Список литературы:

1. Голубев Ю. К., Гаранин К. В., Кошкарев Д. А., Голубева Ю. Ю., Шахурдина Н. К. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2020. – № 6. – С. 3–11.

**Гончаров Е. М.** <sup>1</sup> (GoncharovEM@alrosa.ru), **Ратьков С. С.** <sup>1</sup> (RatkovSS@alrosa.ru),  
**Борисов В. В.** <sup>2</sup> (VaBo@search-centric.com), **Тюпанов С. Н.** <sup>3</sup>  
<sup>1</sup> АК «АЛРОСА» ПАО, <sup>2</sup> ООО «Серч Сентрик», <sup>3</sup> Группа компаний ITPS

**ИС «ЕДИНОЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО» – ТЕХНОЛОГИЯ  
КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА МНОГОМЕРНЫХ ГЕОДАНЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ЗАДАЧ**

*За годы алмазопоисковых работ в геологоразведочном комплексе компании накоплен существенный объем геолого-геофизических данных различной степени структурированности. Для кардинального повышения эффективности работ на алмазы необходима цифровизация производства и, в частности, создание системы, способной доставить специалисту, а впоследствии и алгоритму, всю информацию в контексте конкретного участка и тематики исследований вне зависимости от ее вида или места хранения.*

*Ключевые слова: поиск, индексирование, геопривязка, геописк, неструктурированные данные, геологические данные, большие данные, управление данными, поиски и разведка, АК «АЛРОСА», ИС ЕГИП.*

Многолетний опыт проведения геологоразведочных работ (ГРР) на алмазы АК «АЛРОСА» (ПАО) (Компания) позволил накопить разнообразные данные больших объемов с результатами работ на бумажных носителях в виде итоговых отчетов, полевых дневников, результатов лабораторных аналитических исследований, а также в специализированных базах данных геолого-геофизической информации. Работа, проводимая по оцифровке материалов прошлых лет, дала возможность дополнительно вовлекать в работу данные предшественников, а организованная файловая база данных содержит материалы первичных геофизических исследований, данные площадных исследований, их интерпретации в различных специализированных пакетах, включая GeoSoft и ESRI.

Если информационные системы, организованные на базе СУБД, позволяют производить качественное структурирование геолого-геофизической информации, то файловая база данных фактически представляет из себя набор каталогов и файлов, администрирование которых – весьма трудоемкий процесс, как и поиск необходимой информации, что в конечном итоге несет в себе риск возникновения ошибок сбора и получения неполной или некорректной информации и сомнения в ее достоверности.

Таким образом, несмотря на обеспеченность Компании цифровыми геолого-геофизическими данными и развитие информационных систем, специализированных баз данных, обозначилось несколько проблем, которые напрямую влияют на эффективность использования накопленной информации, а именно:



- отсутствие интеграционной платформы, которая позволила бы объединить весь массив накопленных данных и обеспечить оперативный доступ к геологической информации в режиме единого окна;
- отсутствие современного средства управления файловыми данными;
- различные подходы к описанию и структурированию данных, использованию справочников, крайне неравномерная насыщенность данных описательными характеристиками.

Все это на фоне роста объема и разнообразия поступающей геологической информации подтолкнуло Компанию к разработке и внедрению ИС «Единое геоинформационное пространство» (ИС ЕГИП). Технология ИС ЕГИП совмещает в себе характеристики нереляционной базы данных и сервера индексации данных для того, чтобы объединить как данные, которые возможно физически загрузить в систему, так и данные, которые загружать нет необходимости по причине их нахождения в других базах данных или их большого объема и отсутствия видимой структуры.

Для лучшей пользовательской функциональности основной упор делается на возможность быстрого доступа ко всем данным геологоразведочного комплекса через единое окно без необходимости знать заранее, как и где данные хранятся. Такой доступ возможен благодаря глубокому индексированию всей текстовой информации, которая может быть извлечена из данных и использована для поиска и их массовой геопривязки с максимальным уровнем автоматизации. Таким образом, помимо текстового поиска информации реализуется функционал массовой привязки любых форматов данных к конкретным участкам работ и географического поиска данных на конкретную зону интереса.

Дополнительный функционал, реализуемый в рамках ИС ЕГИП, позволит значительно обогатить информацию метаописанием благодаря обеспечению пространственной привязки всех данных к конкретным точкам, линиям, площадным объектам работ. Найденная информация может быть предварительно оценена за счет не только изучения географического расположения, но и предварительного просмотра еще до момента ее скачивания. Для этого предусмотрены инструменты, способные распознать и визуализировать наиболее распространенные форматы файлов.

Помимо этого, в ИС ЕГИП предусмотрены плагины для работы с основным специализированным программным обеспечением, применяемым в геологоразведочном комплексе – ArcGis, GeoSoft, Portal for ArcGis, что обеспечит возможность доставлять найденную в ИС ЕГИП информацию напрямую в рабочие проекты.

В конечном счете внедрение ИС ЕГИП позволит задать стандарт описания предоставления геолого-геофизических данных, что приведет к возможности использовать такие данные различными алгоритмами. В результате координатной привязки документов и распознавания в них текста появляется возможность структурирования и беглой оценки наборов данных на соответствие определенным параметрам (наличие ИМК, содержание химического элемента, значение измерения метода ГИС и т. д.), а после формирования запросов в системе и выделения перспективных для дальнейшего изучения участков по совокупности данных производить передачу и комплексную обработку данных, собранных из различных источников, в специализированном ПО.

В результате реализации ИС ЕГИП планируется создать общую геолого-информационную инфраструктуру, где первичная и интерпретированная поисковая геологическая, геофизическая, минералогическая и другая информация от структурных подразделений геологоразведочного комплекса Компании будет непрерывно поступать в центральные базы данных, откуда посредством ИС ЕГИП ее смогут получить все заинтересованные сотрудники согласно уровням доступа. Это позволит Компании значительно повысить прозрачность процессов движения геологической информации, достичь существенного повышения эффективности прогнозного анализа территорий и поисковых работ в целом.

Горячев И. Н. (ivan.goryachev@geo.istu.edu), Паршин А. В.  
Сибирская школа геонаук, ИРНИТУ

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА (СЕВЕРО- ВОСТОК РОССИИ)

*На площадь Центрально-Колымского региона (в пределах Иньяли-Дебинского синклинория) с использованием методов машинного обучения построена геостатистическая прогнозно-поисковая модель золотого оруденения (карта потенциальной ресурсной перспективности). В качестве исходных данных использованы мультиспектральные спутниковые снимки, материалы средне- и мелкомасштабного геологического картирования, данные среднемасштабных геофизических и литохимической съемок. На основе первичных данных был рассчитан исчерпывающий набор признаков, имеющих отношение к поисковым критериям. Для построения прогноза применялся метод случайного леса (Random Forest) с использованием случайных выборок и осреднением результата. Полученные прогнозные карты позволяют локализовать потенциальные золоторудные объекты с пространственным разрешением 2 км, что предоставляет возможность осуществлять выбор перспективных участков для лицензирования.*

*Ключевые слова: прогнозирование месторождений, машинное обучение, золото, Северо-Восток России.*

На Северо-Востоке России остро стоит вопрос поиска новых золоторудных месторождений. Все приповерхностные объекты уже известны, и дальнейшее изучение территории традиционными методами поисков ведёт к резкому росту затрат. Однако за время изучения территории был накоплен большой массив разнородных данных, что позволяет применить для выделения перспективных участков современные компьютерные методы, в том числе основанные на машинном обучении. Целью данного исследования является анализ применимости методов машинной классификации и машинного обучения для прогнозирования золоторудных месторождений на территории Северо-Востока России, в частности Магаданской области.

Территория Северо-Востока достаточно разнородна, поэтому для выявления прогнозных признаков золотого оруденения была выбрана отдельная структура относительно простого геологического строения – Иньяли-Дебинский синклинорий в составе Куларо-Нерского террейна [1]. Он является одной из главных структур Яно-Колымской складчатой области и сложен преимущественно юрскими, на периферии триасовыми, терригенными породами, прорванными позднеюрско-раннемеловыми и позднемеловыми гранитоидами. Синклинорий ограничен с северо-востока разломом Дарпир, с юго-запада – Чай-Юрьинским разломом. В исследовании рассматривается южная часть синклинория, расположенная в пределах Магаданской области. Площадь его в указанных пределах составляет 47 тыс. км<sup>2</sup>. Здесь расположено 41 золоторудное месторождение и 309 проявлений.

Прогнозирование месторождений с применением машинного обучения в последнее десятилетие получило широкое распространение. Различными авторами используются всевозможные алгоритмы, в том числе метод опорных векторов (Support Vector Machine) [5], случайного леса (Random Forest) [4], нейронные сети [7] и иные алгоритмы [2, 3]. С учетом опыта предыдущих исследователей, для выполнения прогноза был выбран метод случайного леса (Random Forest) как относительно простой и при этом демонстрирующий наибольшую точность результатов.

При использовании методов машинного обучения важнейшими факторами получения адекватного прогноза являются достаточные полнота и качество формирования исходного набора данных и корректный подход к машинному обучению.

В качестве исходных данных был выбран следующий набор источников: госгеолкарта-100/3, листы Р-55 и Р-56 (геофизические основы) – данные магнито- и гравиразведки; госгеолкарта-200 (первое поколение), листы на всю площадь – данные шлихового опробования; геологическая карта и банк данных по геологии Магаданской области [6] – данные геологического строения, месторождения и проявления, классификация золотых месторождений; геологическая

карта и карта полезных ископаемых Охотско-Колымского региона масштаба 1:500 000 (Маннафов, 1999), металлогеническая карта Колымо-Омолонского региона масштаба 1:500 000 (Кузнецов, 2001) – данные по пунктам минерализации; спутниковые снимки Landsat-8; данные литохимического опробования по потокам рассеяния (Писарев, 2001).

Во всех наборах данных был выделен ряд признаков, предположительно характеризующих размещение золоторудных объектов. В число прямых поисковых признаков вошли: сведения о пунктах минерализации, данные по шлиховому опробованию, сведения о россыпях золота, данные литохимического опробования по потокам рассеяния.

К косвенным поисковым признакам относятся: данные по геологическому строению территории, в том числе по стратиграфии, магматизму и тектонике, геофизические данные: результаты магниторазведки и гравиразведки, данные ДЗЗ.

Для каждого признака был рассчитан ряд атрибутов. В частности, были рассчитаны такие стандартные атрибуты, как расстояние до разломов различных рангов и их пересечений, расстояние до интрузивов различного состава, плотность разломов и даек, плотность шлиховых проб и пунктов минерализации различных элементов. По геофизическим материалам были рассчитаны горизонтальные градиенты и локальные составляющие магнитного поля и поля силы тяжести. По спутниковым снимкам вычислены индексы Alteration и Ferric Oxides. Данные литохимии проинтерполированы методом кригинга. Всего для различных вариантов прогноза было принято к использованию 46 атрибутов. Все атрибуты пересчитаны на регулярную сеть с размером ячейки  $2 \times 2$  км, что соответствует масштабу большинства использованных источников данных.

В качестве обучающей и тестовой выборок были использованы сведения об имеющихся месторождениях и проявлениях золота, представленных в [6], случайным образом разбитые в пропорции 75/25 (размер обучающей выборки – 261 объект, тестовой – 88 объектов). «Негативные» выборки генерировались случайным образом в пределах ячеек, не вмещающих известных объектов, размер каждой негативной выборки – 200 элементов.

Всего было построено несколько прогнозных моделей с использованием разных обучающих выборок и различных наборов исходных атрибутов, в частности, с использованием и без использования прямых поисковых признаков. Результаты прогноза по одинаковым наборам атрибутов для различных обучающих выборок усреднялись для уменьшения влияния ложных негативных значений в случайных выборках.

Результатом работы являются карты вероятности нахождения золоторудного месторождения на исследуемую площадь и её окружение, а также весовые характеристики вклада в прогноз атрибутов признаков. В целом прогноз показывает удовлетворительную точность – порядка 80% тестовой выборки укладывается в диапазон 80% вероятности. При этом, естественно, большую точность даёт прогноз с использованием прямых поисковых признаков, которые в этом случае дают наибольший вклад. Однако кроме прямых признаков значительное влияние на результаты прогноза оказывает и ряд косвенных, в первую очередь это горизонтальный градиент магнитного и гравитационного поля (как объективные производные от структурно-геологических особенностей площади), а также близость к интрузивным телам различного состава и разрывным нарушениям, а также ряд элементов по результатам литохимической съемки.

Кроме того, по результатам прогноза выделен ряд перспективных на поиски золоторудных объектов площадей, как в пределах Иньяли-Дебинского синклиория, так и в смежных структурах. В настоящее время осуществляется их более детальный анализ специалистами с целью выбора перспективных на лицензирование участков.

Стоит отметить, что прогнозные карты охватывают и прилегающие к Иньяли-Дебинскому синклиорию структуры, на части из которых, структурно и металлогенически близких к синклиорию (Аян-Юрхский антиклинорий, Балыгычанское поднятие), прогноз также показывает хорошую точность. В то же время в пределах попадающей в исследуемую область части Омулёвского поднятия точность прогноза низка, что указывает на его иную структурную и металлогеническую позицию.

Дальнейший план работ предполагает проведение аналогичных исследований на смежных площадях и выделение прогнозно-поисковых признаков золотого оруденения для всего Северо-Востока России.

Список литературы:

1. Горячев Н. А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 210 с.
2. Карамышев А. В., Федорова К. С., Тарасов А. В. Прогноз скрытого золотого оруденения в пределах Центрально-Колымского района по комплексу геолого-геофизических признаков методом распознавания // Руды и металлы. – 2020. – № 2. – С. 10–24.
3. Паршин А. В., Аузина Л. И., Просекин С. Н., Блинов А. В., Костерев А. Н., Лоншаков Г. С., Усманова А. М., Шестаков С. А., Давыденко Ю. А. Геоинформационный подход к оценке ресурсной перспективности площадей (на примере месторождений подземных вод Восточной Сибири) // Геоинформатика. – 2017. – № 1. – С. 11–20.
4. Carranza E. J. M., Laborte A. G. Random forest predictive modeling of mineral prospectivity with small number of prospects and data with missing values in Abra (Philippines) // Computers & Geosciences. – 2015. – (74). – P. 60–70.
5. Chen Y., Wu W., Zhao Q. A Bat-Optimized One-Class Support Vector Machine for Mineral Prospectivity Mapping // Minerals. – 2019. – 9(5) – P. 317
6. Golubenko I. S., Goryachev N. A. Bank of geospatial information of the geological structure of the territory Magadan region (Northeast of Russia) // Information Technologies in Earth Sciences and Applications for Geology, Mining and Economy. – 2019. – P. 52.
7. Maepa F., Smith R. S., Tessema A. Support vector machine and artificial neural network modelling of orogenic gold prospectivity mapping in the Swayze greenstone belt, Ontario, Canada // Ore Geology Reviews. – 2021. – V. 130. – С. 103968.

Дамдинов Б. Б. <sup>1</sup>(damdinov@mail.ru), Горячев Н. А. <sup>2,3</sup>(goryachev@neisri.ru),

Москвитина М. Л. <sup>1</sup>, Дамдинова Л. Б. <sup>1</sup>, Извекова А. Д. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН «ГИН СО РАН», <sup>2</sup> ФГБУН «СВКНИИ ДВО РАН», <sup>3</sup> ФГБУН «ИГХ СО РАН»

## МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЗУН-ХОЛБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

*На основе геолого-структурных наблюдений, минералого-геохимических, изотопных и термометрических исследований предложена новая модель формирования крупнейшего в Восточном Саяне Зун-Холбинского золоторудного месторождения. Установлено, что рудообразование обусловлено процессами метасоматического замещения пород тектонического меланжа кварц-сульфидным агрегатом за счет поступления метаморфогенных флюидов. Источником вещества послужила древняя океаническая кора с фрагментами гидротермально-осадочных сульфидных руд. Главными факторами рудоотложения, вероятно, были изменения химического состава и снижение P-T параметров рудообразующих флюидов в результате их миграции вверх по разрезу и взаимодействия вода–порода.*

*Ключевые слова:* Зун-Холбинское месторождение, геология, модель, метаморфогенный флюид.

Зун-Холбинское золоторудное месторождение – крупнейший золоторудный объект Восточного Саяна. Оно было открыто в 1955 году, в дальнейшем разведывалось в течение длительного времени. Оработка месторождения началась в 1992 году и продолжается до настоящего времени. В металлогеническом отношении месторождение входит в состав Урик-Китойской золоторудной зоны Окинского рудного района [1, 2]. В геологическом строении месторождения участвуют следующие породные комплексы: 1) архейские породы фундамента Тувино-

Монгольского микроконтинента (Гарганской «глыбы») – гранито-гнейсы разного состава с прослоями амфиболитов и мигматитов; 2) неопротерозойские осадочные породы чехла Тувино-Монгольского микроконтинента – терригенно-карбонатные отложения с прослоями углеродистых сланцев; 3) офиолитовые породы – метасоматически измененные базит-ультрабазиты, а также метаморфизованные туфы и лавы базальт-андезитового состава, превращенные в зеленые сланцы, с прослоями черных углеродистых сланцев; 4) неопротерозойские гранитоиды сумсу-нурского комплекса – биотитовые и амфибол-биотитовые гранодиориты, плагиограниты, биотит-роговообманковые диориты и роговообманковые граниты; 5) дайки лампрофиров, порфириров и базитов неопределенного возраста.

Зун-Холбинское месторождение приурочено к крупной субвертикальной линзовидной зоне тектонического меланжа, которая, в свою очередь, входит в состав Холбинской сдвиговой зоны, контролирующей и некоторые другие месторождения золота (Барун-Холбинское, Харанурское, Пионерское и др.) [3]. Меланж содержит смесь гранитоидов, гнейсов, офиолитов, карбонатов, черных сланцев и других пород, входящих в состав рудного поля Зун-Холбинского месторождения. Вторичные изменения представлены преимущественно зонами березитизации, окварцевания и лиственитизации. Редкие тела сливных пирит-пирротиновых руд отмечаются в виде будин в рудовмещающей меланжевой зоне. Эти тела аналогичны ранее изученным пирротиновым ринных сульфидных руд [1, 2].

Рудные тела Зун-Холбинского месторождения представлены минерализованными зонами кварц-сульфидного состава. На верхних горизонтах наряду с зонами кварц-сульфидных метасоматитов в небольшом количестве присутствуют относительно малосульфидные кварцевые жилы, содержащие полиметаллическую ассоциацию (пирит-халькопирит-галенит-сфалерит-пирротин). Главный рудный минерал на месторождении – пирит, в подчиненном количестве встречаются халькопирит, сфалерит, галенит, блеклая руда, а также редкие и второстепенные минералы – арсенопирит, самородный висмут, гессит, тетраэдрит, тетрадимит, шеелит, викингит [5].

Кварц-сульфидные руды Зун-Холбинского месторождения при наблюдении в горных выработках часто имеют флюидалность и текстуры течения. Особенно хорошо текстуры течения наблюдаются в сульфидных прожилках в известняках. Здесь следует отметить, что известняки часто более насыщены сульфидами по сравнению с метасоматитами по гранитоидам и сланцам. Тем не менее кварц-сульфидные зоны развиваются в тектонитах разного состава, развитых как по карбонатным породам, так и по гранитоидам, гнейсам и сланцам, причем состав руды не зависит от состава вмещающего субстрата. Таким образом, текстурно-структурные особенности рудных тел свидетельствуют о метасоматической природе оруденения. Исследования изотопного состава кислорода в кварце показало, что значения  $\delta^{18}\text{O}$  равновесного рудообразующего флюида (8,4–13,1 ‰) соответствуют значениям, характерным для вод метаморфогенного происхождения [6]. В приповерхностных условиях значения  $\delta^{18}\text{O}$  равновесного флюида снижаются до 6 ‰, что предполагает смешение метаморфогенных флюидов с метеорными водами. Этот процесс сопровождается и снижением температур рудоотложения, что установлено термометрическими исследованиями. В частности, среднее значение расчетной температуры рудоотложения для горизонта 2134 м составляет 316 °С, тогда как на глубинных уровнях, в интервале отметок 1260–1740 м, значения температур рудоотложения варьируют в пределах 382–437 °С. Глубина рудообразования по нашим данным составляет около 3–5 км.

Все проанализированные сульфиды на Зун-Холбинском месторождении имеют близкий изотопный состав серы, значения  $\delta^{34}\text{S}$  варьируют в относительно узком интервале от 0 до 4,6 ‰. Такие значения  $\delta^{34}\text{S}$  соответствуют изотопному составу серы из сульфидных руд из верхней вулканогенно-осадочной части офиолитовой ассоциации [1, 2]. Учитывая тот факт, что все орогенные месторождения Окинского рудного района трассируют офиолитовые пояса, можно сделать вывод, что офиолиты, содержащие фрагменты сульфидных руд, явились по крайней мере одним из источников серы, золота и других рудообразующих элементов (Cu, Zn, Pb и др.).

Морфология рудного поля Зун-Холбинского месторождения свидетельствует о том, что рудовмещающая зона меланжа представляет собой дуплексную структуру, внутри которой сосредоточены фрагменты всех породных комплексов, присутствующих в рудном поле месторождения: гнейсов, гранитоидов, ультрабазитов, известняков, сланцев. Месторождение пространственно

ассоциирует с офиолитами и расположено в краевой части Гарганской «глыбы». Известно, что дуплексные структуры сдвиговых зон благоприятны для формирования орогенных месторождений золота, поскольку представляют собой локальные зоны разуплотнения [4]. *P-T* параметры динамометаморфизма в сдвиговых зонах могут достигать условий амфиболитовой фации – более 500 °С и более 8,5 кбар [7]. В таких условиях могут происходить метаморфическая деволатилизация и выделение флюида, который мигрирует в зоны меньшего давления, попутно перенося и переотлагая рудообразующие компоненты [8].

Метаморфизм реликтов океанической коры в глубинной части обрамления Гарганской «глыбы» привел к возникновению метаморфогенного флюида, обогащенного рудообразующими элементами (S, Au, Cu, Pb, Zn и др.). Мигрирующий флюид мог частично захватывать элементы вмещающих пород, в результате чего в рудах появлялись локальные участки, относительно обогащенные такими элементами как Bi, Ni, Co, Te и др.

Таким образом, формирование Зун-Холбинского месторождения обусловлено процессами метасоматического замещения пород тектонического меланжа кварц-сульфидным агрегатом за счет поступления метаморфогенных флюидов. Источником вещества послужила древняя океаническая кора с фрагментами гидротермально-осадочных сульфидных руд. Главными факторами рудоотложения, вероятно, были изменения химического состава и снижение *P-T* параметров рудообразующих флюидов результате их миграции вверх по разрезу и взаимодействия вода-порода. В приповерхностных условиях в метаморфогенные флюиды были добавлены метеорные воды – что привело к снижению температуры, изменению физико-химических условий миграции компонентов и более интенсивному отложению сульфидов полиметаллов.

#### Список литературы:

1. Дамдинов Б. Б. Минеральные типы месторождений золота и закономерности их размещения в юго-восточной части Восточного Саяна // Геология рудных месторождений. – 2019. – Т. 61, № 2. – С. 23–38.
2. Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Жмодик С. М., Миронов А. Г. Состав и условия формирования золотоносных пирротиновых руд Восточного Саяна (на примере рудопроявления Ольгинское) // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 5. – С. 666–687.
3. Жмодик С. М., Постников А. А., Буслов М. М., Миронов А. Г. Геодинамика Саяно-Байкало-Муйского аккреционно-коллизийного пояса в неопротерозое–раннем палеозое, закономерности формирования и локализации благороднометалльного оруденения // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 1. – С. 183–197.
4. Знаменский С. Е., Знаменская Н. М. Рудовмещающие трансективные дуплексы золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений Южного Урала // Литосфера. – 2011. – № 1. – С. 94–105.
5. Москвитина М. Л., Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Извекова А. Д. Минеральные ассоциации кварц-сульфидных руд Зун-Холбинского золоторудного месторождения, Восточный Саян // Руды и металлы. – 2020. – № 2. – С. 33–46.
6. Hoefs J. Stable isotope geochemistry. 6<sup>th</sup> edition. – Luxembourg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. – 285 p.
7. Goncalves Ph., Poivlet J.-Ch., Oliot E., Trap P., Marquer D. How does shear zone nucleate? An example from the Suretta napp (Swiss eastern Alps) // Journal of Structural Geology. – 2016. – Vol. 86. – P. 166–180.
8. Phillips G. N., Powell R. Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model // Journal of Metamorphic Geology. – 2010. – Vol. 28. – P. 689–718.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ РУДНЫХ КОНКРЕЦИЙ (ЮЖНЫЙ УЗБЕКИСТАН)

*Для извлечения золота из рудных конкреций и его количественного определения был использован термохимический метод. Приводится пошаговое описание данного метода и результаты, полученные в результате термохимической обработки.*

*Ключевые слова: технологии, рудоносная формация, карабильская свита, термохимический метод, рациональный анализ, конкреционный горизонт, флотация, цианирование, термопечь, выщелачивание.*

С внедрением в производство современных технологий на примере месторождений золота мы наблюдаем, как вовлекаются в эксплуатацию не только первоначально продуктивные рудоносные формации, но и рудовмещающие.

В Южном Узбекистане, где промышленного золота практически нет, особенно важное значение приобретает так называемый нетрадиционный тип золота, установленный нами в конкреционном горизонте основания нижнемеловой карабильской свиты. Продуктивный горизонт доступен и имеет широкое площадное распространение в юго-западных отрогах Гиссарского хребта, но золото в нем мелкое [1].

Обычно месторождения с мелким золотом требуют сравнительно небольших затрат на поиски и разведку, но зато промышленное извлечение золота из руды стоит дороже, так как необходимы процессы тонкого дробления, флотации или цианирования, дорогостоящий рациональный анализ для определения отношения свободного золота к тонкодисперсному, «невидимому».

Для количественного определения золота нами был использован термохимический метод. Ранее он широко применялся нами при поисках алмазов.

Первые единичные анализы золота были проведены в 2008 г. и дали положительные результаты. Так, из пробы участка Хантахта весом 229 г термохимическим методом было получено 300 знаков золота. В последующих пробах были установлены лишь единичные знаки, так как они предварительно дробились, хотя многие известные исследователи золота отмечали, что при дроблении происходят значительные потери.

В связи с этим и с учетом глинистого состава конкреций пробы для технологических испытаний предварительно растворялись. Нами было проанализировано 2 пробы: первая весом 46,25 кг, отобранная на участке Бабатаг [2], вторая весом 64,91 кг с участка Хантахта.

1. Проба заливалась в конусе водой на сутки для растворения конкреций.

2. По истечении суток проба при помешивании промывалась водой в трех конусах до полного очищения от глинистых частиц. Сливы контролировались ситами +1мм, -1мм+0,01мм. Класс -4+2; -2+1 оставался в 1-м конусе и после окончания промывки и просушки рассеивался на ситах -4; -2+1.

Далее проводился собственно термохимический анализ.

3. Полученные концентраты после отсева и просушки взвешивались и сплавлялись в термохимической печи с добавлением щелочи КОН 1:5 при  $T$  450 °С.

Термопечь открытого типа (нестандартного образца) представляет собой емкость (чан) на 500 л цилиндрической формы. В емкости есть патрубок с затвором, который смонтирован для слива выщелачиваемого раствора, конусы (отстойники) для слива суспензии и отмывки от щелочи, автоматические приборы КВП и термопара.

4. Остаток пробы после выщелачивания кислотной обработкой засыпался в емкость вместе со щелочью в отношении 1:4, закрывался крышкой и ставился на включенную печь, нагрев доводился до 450 °С. Температурный режим контролировался и регулировался автоматически прибором КВП через термопару, установленную на крышке емкости. По достижении заданной температуры засекалось время, и проба сплавлялась 30–50 мин в зависимости от крупности класса. Для золота опытным путем было установлено время сплавления 30 минут.

5. По истечении времени нагрев печи отключался и в емкость подавалась горячая вода до соотношения 1:6 и 1:7 для продолжения выщелачивания продукта. По мере остывания емкости до 100–80 °С суспензия выпускалась в конус (отстойник). В конусе суспензия отстаивалась, а затем щелочной раствор декантировался. Остатки выщелоченной породы отмывались водой. Сливы при промывке через отстойники контролируются ситом с диаметром ячейки 0,05 мм. Очищенный продукт сливался в емкость (ведро, таз) и после остывания обрабатывался раствором соляной кислоты (HCl) 1:25 для удаления гидроалюмосиликатов. При отмывании раствор сливался через сито 0,05 и промывался водой.

6. Полученный концентрат сушили и отдавали на минералогический анализ.

В результате из концентратов после термохимической обработки технологических проб с предшествующей их водной расситовкой на три класса (-4+2мм; -2+1мм; -1+0,01мм) было извлечено золото, которое в сумме по трем классам расситовки составило: из пробы, отобранной на участке Бабатаг – 4206 знаков (18,5 мг); из пробы весом 64,91 кг, отобранной на участке Хантахта – 2863 знаков золота, что составило 82,8 мг.

Выход золота в весовых процентах по классам расситовки -4+2, -2+1, -1+0,01 мм в конкрециях от общего веса 18,5 мг составил, соответственно, 35,7, 11,9 и 52,4 %.

В результате гранулометрического анализа золота были выделены следующие классы крупности: пылевидный 0,01–0,045 мм; весьма мелкий 0,045–0,1 мм; две фракции 0,1–0,25 и 0,25–0,5 мм из мелкого класса 0,1–1,0 мм. Общая крупность золота колеблется от 0,01 до 0,5 мм. Наиболее крупная фракция 0,25–0,5 мм обнаружена в классе расситовки -4+2 мм – 3 знака (0,6 %) и в классе -1+0,01 мм 10 знаков (1,3 %).

После термохимической обработки золото сохранило свою первоначальную форму, текстурно-структурные особенности, состав. В пробах наблюдались те же морфогенетические подтипы конкреционного золота, что и в рудном и в шлиховом золоте. Собственно конкреционный подтип представлен фрамбоидами, комковидными и пластинчатыми формами, их обломками, иногда с остаточными фрагментами сферичности, в пылевидном классе – удлиненные сростки монозерен. Поверхность и края золотин выщербленные, зернистые. Текстура (сложение) агрегатно-глобулярная. Форма глобул округлая, реже удлиненно-округлая. Размер глобул от 20–30 до 40–70 мк, в пылевидном классе 10–20 мк. Цвет золота желтый, красновато-желтый, буровато-желтый, серовато-желтый, светло-желтый, с сильным блеском или матовым, редко в голубых аржиллитах цвет до серебристо желтого. Визуально золото (проба) оценивается как средне-, высокопробное, редко низкопробное.

С одной стороны, при термохимической обработке произошли разукрупнение золотин и частичное искусственное выщелачивание связывающих глобулы породы минералов, их включений, рудных примазок, корочек. С другой стороны, мы наблюдаем укрупнение золотин за счет новообразований эмульсионного золота, которое особенно хорошо видно на золотилах класса 0,25–0,5 мм в рассеве -4+2 мм.

Список литературы:

1. Дементеев Л. И., Головки А. В. и др. Комплексное гидрогенное оруденение участка Бабатаг (Южный Узбекистан) // Материалы научно-практической конференции: «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ФГБУ ЦНИГРИ, 2019. – С. 90–91.
2. Дементеев Л. И., Головки А. В. и др. Рудные конкреции в нижнемеловых отложениях южной части Якобагских гор // Материалы Международного симпозиума «Современные методы исследований и перспектива использования включений минералообразующих сред в науке и практике APFIS-III». – Ташкент : ТГТУ, 2006. – С. 28–32.



**Джуманиязов Д. И. (denisbey@list.ru), Каримова Ф. Б. (karimova.ingeo@mail.ru)**  
**Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева**

## МЕТАСОМАТИТЫ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ТУКМАН (ЗАПАДНЫЙ УЗБЕКИСТАН)

*Приведены результаты анализов изучения метасоматитов рудопроявления Тукман с расчленением их на фациальные разности, установлены минералогические, геохимические критерии их зональности, выяснено пространственное положение выделенных метасоматических формаций с золоторудной и иной минерализацией.*

*Ключевые слова: рудопроявление, Кошрабадский интрузив, жилы, прожилки, сиенито-диорит, гранитоиды, граносиениты, метасоматиты, березит-листвениты, роговики, аргиллизиты, золото.*

Рудопроявление Тукман структурно занимает северную часть Зармитанской золоторудной зоны, размещенной в южном крыле Северо-Нуратинского антиклинория. Она является составной частью Зарафшано-Туркестанской структурно-формационной зоны Южно-Тяньшанского герцинского складчатого пояса [1, 3]. Рудопроявление находится в центральной части Кошрабадского интрузива в районе сочленения с Уразальским разломом, чем и отличается от других участков Чармитанского рудного поля (ЧРП), является восточным продолжением Уразальского рудопроявления и сохраняет особенности геологического строения последнего.

На изучаемой площади гранитоиды представлены габбро-сиенит-граносиенитовой формацией. Влияние вмещающей толщи интрузива на процесс формирования рудопроявления значительно меньше, чем на других участках, разведанных и разведываемых как самостоятельные месторождения с золоторудной минерализацией Чармитанского рудного поля. Заметим, что специфической особенностью площади рудопроявления является наличие здесь определенных объемов выходов основных пород, находящихся в виде блок-ксенолитов, оставшихся недоассимилированными.

На Тукманском участке установлено широкое развитие контаминированных пород, произошедших за счет ассимиляции граносиенитами пород основного состава, по-видимому, представляющих кумулатные образования при кристаллизационной дифференциации гранитоидного расплава, внедрившегося в верхнем карбоне как сателлит Нуратинского плутона [3]. Большая глубина становления Кошрабадского интрузива (более 5 км от поверхности) способствовала низкой скорости его остывания. Это привело к более полной объемной кристаллизации с фракционированием ранних минералов, осевших в донную часть массива за счет гравитации и образовавших первую фазу интрузива, представленную породами пироксен-плагиоклазового габбрового состава.

По собранным к настоящему времени материалам Тукманский участок интрузива наиболее интересен для выяснения теоретических вопросов динамики развития магматических и постмагматических-автометасоматических процессов, продуцировавших образования золото-вольфрам-редкоземельной минерализации Чармитанского рудного поля в целом.

Золоторудная геохимическая специализация Кошрабадского интрузивного комплекса относится к магматическому фактору контроля оруденения, подтверждаемому наличием среди акцессорных минералов самородного золота и фактом нарастания концентраций его в наиболее кремнекислых породах. Литологический фактор выражается в том, что сложнодислоцированные вулcano-терригенные отложения джазбулакской свиты в зоне экзоконтакта Кошрабадского интрузива, подверженные термальному метаморфизму и приобретшие вследствие этого физико-механические свойства (хрупкость и высокую проницаемости), благоприятны для дробления и формирования сколовых трещин и локализации в них жильного и кварцево-жильного золоторудного оруденения [1–4].

По нашим наблюдениям, на месторождении Чармитан выявлено широкое развитие редкоземельной, золоторудной минерализации в связи с метасоматитами березит-лиственитовой, роговиковой и аргиллизитовой формаций околорудных изменений, достигающих по содержанию

золота и серебра промышленных значений. Повышена продуктивность золотого оруденения на границе средне- и верхнерудных горизонтов, которые фиксируются переходом среднерудных березитов к аргиллизированным породам верхнерудных горизонтов.

На изучаемом участке встречаются дебазифицированные разности граносиенитов, возникших за счёт взаимодействия ксенолитов габбро-диабазов с гранитоидной магмой Нуратинского батолита – первоисточника магматических пород всех интрузивных массивов хребта Северный Нуратау. Составы пород в этих массивах определяются степенью контаминации будинированными и рассланцованными силлами и дайками габбро-диабазов или диоритовых порфиритов джазбулакской свиты, внедряющейся гранитоидной магмой сателлитов Нуратинского батолита. На участке Тукман, где сконцентрированы породы основного состава, отвечающие габбро-сиенитам и родственными к монцонитам-эссекситам, произошли процессы контактового метаморфизма. В результате этого образовались эндоскарны, первоначально соответствовавшие пироксеновым разностям. Образование граносиенитов в результате галлоидно-щелочного метасоматоза сначала с калиевым, затем с натриевым уклоном привело к образованию многих скарновых минералов, замещенных вторичными минералами – эпидотом, цоизитом, канкренином, серицитом, содержащими повышенные концентрации редких и редкоземельных элементов. Акцессорные минералы, представленные апатитом, сфеном и ортитом являются концентраторами редкоземельных элементов. Это показывает общность процесса редкоземельной минерализации для всего Чармитанского рудного поля [4, 5].

В заключение следует отметить, что все описанные породы претерпели в гидротермальной стадии околорудного щелочного метасоматоза интенсивный гидролиз, приведший к разложению пород с экстракцией из них всех рудообразующих элементов в состав равновесного с ними постмагматического рудообразующего раствора.

#### Список литературы:

1. Абдуллаев Х. М. Генетическая связь оруденения с гранитоидными интрузиями. 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Госгеолтехиздат, 1954. – 295 с.
2. Джуманиязов Д. И., Мусаев А. М., Каримова Ф. Б. Дайки габбро-сиенитов Чармитанского рудного поля (рудопроявление Тукман) // Всероссийская конференция, посвященная 120-летию со дня рождения выдающегося российского ученого академика Д. С. Коржинского. – М. : ИГЕМ РАН, 2019. – С. 67–69.
3. Исамухамедов И. М. Петрология Нуратинского батолита. – Ташкент : Изд-во АН УзССР, 1955. – 468 с.
4. Мусаев А. М., Джуманиязов Д. И., Каримова Ф. Б., Хушваков А. Б. Рудопроявление Тукманской площади (Чармитанское рудное поле) // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы нефтегазовой геологии и инновационные методы и технологии освоения углеводородного потенциала недр». – Ташкент. – С. 382–384.
5. Чеботарев Г. М., Хамрабаев И. Х., Волков Ю. А., Конеев Р. И. Некоторые вопросы микроминералогии золоторудных месторождений Узбекистана // Узбекский геологический журнал. – 1979. – №1. – С. 3–11.

Дорожко А. Л. <sup>1</sup>(adorozhko@rgexp.ru), Бушарина С. В. <sup>1</sup>, Люлько М. С. <sup>2</sup>  
<sup>1</sup> ФГКУ «Росгеолэкспертиза», <sup>2</sup> ФГБУ «ВИМС»

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР ПО РУДНЫМ ОБЪЕКТАМ

*В работе приведены статистические данные по проектированию геологоразведочных работ по рудным объектам и рассмотрены основные проблемы проектов на проведение поисковых, оценочных и разведочных работ по этим объектам.*

*Ключевые слова: геологическое изучение недр, экспертиза, рудное золото.*

ФГКУ «Росгеолэкспертиза» осуществляет экспертизу всех проектов геологического изучения недр (ГИН) по рудным объектам на территории Российской Федерации. В 2021 году на экспертизу поступило около 550 проектов по геологическому изучению рудных месторождений за счет средств недропользователей (не считая дополнений к проектной документации), из которых 130 были оценены отрицательно. Это составляет почти четверть всех проектов, поэтому есть основания говорить о недостаточном качестве проектной документации, поступающей на экспертизу.

подавляющее большинство (около 430) проектов по рудным объектам, прошедших экспертизу в 2021 году, нацелены на геологическое изучение рудного золота и попутных компонентов, из которых 360 (84%) – это поисково-оценочные работы.

Несмотря на то, что методы геологоразведочных работ могут быть очень разными и зависят от условий образования, промышленного типа потенциального месторождения, морфологии и строения рудных тел и т. д., есть некоторые общие проблемы и недостатки, характерные для значительной части проектов ГИН по рудным объектам.

Одной из основных является проблема недостаточно полного геологического изучения лицензионной площади, особенно на стадиях поисков и оценки. Можно выделить два аспекта.

В первом случае проектом не предусмотрено никакого изучения отдельных, выявленных по результатам работ предшественников перспективных участков, имеющих поисковые признаки – геохимические аномалии, точки минерализации и т. д. Все поисковые и оценочные работы в этом случае бывают сосредоточены на той части лицензионной площади, которая представляется недропользователю наиболее перспективной. В результате значительная, а иногда даже большая часть участка недр не охвачена не только оценочными, но и поисковыми работами. Экономические причины, которыми, как правило, обосновываются подобные проектные решения не являются достаточным основанием, поскольку недропользователь, получая лицензию на поиски и оценку участка недр, берет на себя обязательство его полного изучения.

Во втором, также достаточно распространенном случае, проектируемый комплекс геологоразведочных работ недостаточен и не позволяет достигнуть поставленной цели. Например, при проведении поисковых работ для оценки прогнозных ресурсов категории  $P_1$  проектируются только маршрутные исследования, литогеохимические и геофизические работы, без заверки полученных аномалий горными выработками и скважинами. В лучшем случае предусматривается проходка канав без заверки оруденения на глубину скважинами. Такой комплекс поисковых работ не соответствует требованиям пункта 3.2 «Стадия 2. Поисковые работы» Положения об этапах и стадиях [2], а также методическим документам по проведению поисковых работ и не может обеспечить оценку прогнозных ресурсов изучаемой территории.

На оценочной стадии в проектах часто не закладывается участок детализации для оценки запасов по категории  $C_1$ , что необходимо для подтверждения достоверности данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии рудных тел [2].

Другой проблемой является необоснованность тех или иных видов, объемов или мест заложения проектируемых геологоразведочных работ. Это – следствие слабой проработки материалов предшественников, зачастую отсутствия анализа ранее выполненных работ и, как правило, формального подхода к разработке геологической модели объекта либо полного ее отсутствия. В то время как грамотно разработанная модель позволяет выбрать наиболее рациональный комплекс геологоразведочных работ.

При обосновании геологической модели объекта проведения геологоразведочных работ на прилагаемых к проекту графических материалах должны быть отражены результаты всех предшествующих работ в пределах участка недр, с указанием как расположения пройденных ранее на участке недр горных выработок, скважин, площадей литогеохимических и геофизических исследований, так и их результатов – полученных аномалий, выделенных рудных зон, известных точек минерализации и т. д. Весь комплекс проектируемых работ также должен быть отражен на графических материалах, с указанием контуров участков, где предполагается проведение поисковых, оценочных или разведочных работ и блоков подсчетов запасов соответствующих категорий. Важную роль в обосновании проектируемого комплекса геологоразведочных работ играет качество геологической основы, на которой показаны проектируемые работы, и качество и количество представленных в проекте разрезов, на которых должны быть показаны проектируемые горные выработки и скважины. В текстовой части проекта должно быть приведено подробное описание как геологической изученности района работ и участка недр, так и каждого из проектируемых методов и видов работ в соответствии с требованиями Правил проектирования [3].

Кроме того, часто в проектах уделяется недостаточное внимание или полностью отсутствуют работы, направленные на изучение гидрогеологических и геокриологических свойств участка недр, а также на изучение инженерно-геологических свойств руд и вмещающих пород.

Таким образом, при проектировании геологоразведочных работ на рудных объектах необходима тщательная проработка материалов предшественников, поскольку от качества принятой по этим материалам геологической модели напрямую зависит правильность принятых методов проведения ГРР, от чего, в свою очередь, зависит полученный после проведения этих работ результат, а именно оцененные прогнозные ресурсы и подсчитанные и утвержденные запасы полезного ископаемого. При принятии комплекса методов геологоразведочных работ должны учитываться также рекомендации ФБУ «ГКЗ» по оцененным объектам, требования инструктивных и методических документов, соблюдены требования Закона РФ «О недрах» [1], в частности, по полноте геологического изучения.

#### Список литературы:

1. Федеральный закон от 21.02.1992 № 2395-1 «О недрах» // Ведомости Съезда народных депутатов Российской Федерации и Верховного Совета Российской Федерации. – 16.04.1992. – № 16. – ст. 834.
2. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые) // Распоряжение Министерства природных ресурсов РФ. – 05.07.1999. – № 83-р.
3. Правила подготовки проектной документации на проведение геологического изучения недр и разведки месторождений полезных ископаемых по видам полезных ископаемых // Приказ Министерства природных ресурсов РФ. – 14.06.2016. – № 352.

Ефанова Л. И. <sup>1</sup> (gmin2004@mail.ru), Майорова Т. П. <sup>1, 2</sup> (mayorova@geo.komisc.ru),  
Пархачева К. Г. <sup>1</sup> (ksparhacheva@yandex.ru)  
<sup>1</sup> ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, <sup>2</sup> СГУ им. Питирима Сорокина

## ПЕРСПЕКТИВЫ КОРЕННОЙ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ХРЕБТА ЕНГАНЕПЭ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

*Приводятся данные о золотоносности метасоматитов на хребте Енганепэ Полярного Урала. Показано, что коренное золото связано с пирит-серицит-кварцевыми, пирит-серицитовыми и серицитовыми метасоматитами, образовавшимися по вулканитам бедамельской серии позднего рифея–раннего венда в связи с дайками субвулканических риолитов лядгейского комплекса позднего венда. Самородное золото в метасоматитах умеренновысокопробное (800–900‰), типоморфными примесями являются серебро и ртуть. Аналогичное золото ранее обнаружено в россыпях. Обсуждаются вопросы перспективности территории на коренное золото.*

*Ключевые слова: метасоматиты, золотоносность, прогноз золотого оруденения, хребт Енганепэ, Полярный Урал.*

Енганепэйско-Манитаньрдский район на Полярном Урале, включающий поднятия Енганепэ и Манитаньрд, имеет реальные перспективы стать одним из значимых золоторудных районов Российской Арктики, но до настоящего времени остается слабо изученным. На поднятии Манитаньрд известно месторождение и многочисленные проявления коренного золота [3]. Ранее на поднятии Енганепэ были установлены предпосылки коренной золотоносности: наличие мелких россыпепроявлений и устойчивых шлиховых потоков золота в современном русловом аллювии, знаковые и весовые содержания золота в склоновых делювиальных отложениях [1, 6, 9].

Енганепэйская брахиантиклиналь представляет собой крупную структуру размером 40×12 км. В ядре антиклинали выходят позднерифейско-вендские образования бедамельской серии ( $R_3-V_2bd$ ), представленные основными и кислыми вулканитами и их туфами. Ядра синклиналей выполнены вулканогенно-осадочными поздневендско-раннекембрийскими отложениями енганепэйской свиты ( $V_2-E_1en$ ). С угловым несогласием на рифейско-вендско-нижнекембрийских отложениях залегает мощная терригенная толща манитаньрдской серии ( $E_3-O_1mn$ ), сложенная конгломератами, гравелитами, кварцитопесчаниками.

В пределах антиклинория широко развиты позднерифейско-ранне-среднеордовикские интрузивные комплексы: енганепэйский гипербазитовый, нияюский плагиогранит-тоналитовый плутонический; экструзивно-субвулканический лядгейский, кызыгейский плагиогранит-диоритовый плутонический, леквожский габбро-долеритовый.

В последние годы в южной части хребта Енганепэ установлены прямые признаки наличия коренной золотой минерализации [4]. В результате заверки одной из наиболее перспективных комплексных литохимических аномалий в позднерифейско-раннекембрийских вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщах выявлена зона пиритизации, в которой впервые обнаружено самородное золото. Первоначально свободное золото было извлечено из разрушенных в тектонических зонах пород (осветленных, обохренных, окварцеванных, пиритизированных). Известно, что золотая минерализация практически всегда сопровождается метасоматическими изменениями вмещающих пород, которые тесно связаны с геолого-промышленными типами месторождений золота. В связи с этим актуальной задачей прогнозирования поднятия Енганепэ на коренную золотоносность являлось выяснение природы гидротермальных изменений вмещающих пород в зоне пиритизации.

На месте комплексной аномалии (содержание золота до 30 мг/т) восточнее г. Южная, на площади 1,53 км<sup>2</sup> в 2009 году пройдены две траншеи длиной 560 и 460 м. В бортах и полотне выработок вскрыто чередование блоков относительно монолитного сложения и зон дробления, мощность которых изменяется от 2 до 32 м, а доля составляет 30–40% изученного разреза. Преобладающей фазой тонкого субстрата, перетертых в зоне разлома пород, является иллит, иногда железистый хлорит. Из прочих следует назвать кварц и ярозит.

Миндалекаменные базальтоиды и сферолитовые риолиты занимают около половины разреза вскрытых выработками пород. Вулканы прорваны маломощными дайками массивных, почти черных субвулканических риолитов и в разной степени пиритизированы. Пирит образует вкрапленную, прожилково-вкрапленную и гнездовидную минерализацию. Визуально мощность зон пиритизации в вулканитах колеблется от 0,7 до 10–16 м при содержании пирита до 1 %. В западной части траншеи в разрезе преобладают туфопсаммиты с прослоями темно-серых туфоалевролитов, в которых часто встречаются кварцевые жилы.

Все вулканогенные породы бедамельской серии и их субинтрузивные аналоги претерпели региональный метаморфизм фации зеленых сланцев. От начальных текстур сохранились реликтовые сферолитовые, флюидальные, миндалекаменные, брекчиевидные. На них наложилась сланцеватая, линзовидно-полосчатая текстура. Первичный минеральный состав пород не сохранился, он представлен агрегатом новообразованных минералов. При макро- и микроскопическом изучении пород выявлено уменьшение числа минералов в метасоматических зонах по мере увеличения интенсивности процесса, вплоть до образования мономинеральных зон, что характерно для метасоматоза [5]. По риолитам развиваются пирит-кварц-серицитовые, пирит-серицитовые метасоматиты и серицитолиты, по базитам – пирит-кварц-серицит-хлоритовые с обязательным присутствием минералов титана – лейкоксена или рутила. Только наличие последнего позволяет идентифицировать первичный основной состав вулканогенной породы. Образование метасоматитов такого типа связывают с постмагматическими процессами околотрещинного низкотемпературного метасоматоза [2]. По мнению В. Н. Сазонова и В. А. Коротева [8], кварц-серицитовые метасоматиты прослеживаются в виде столбообразных залежей, фиксирующих рудоподводящий канал.

Метасоматические процессы не отмечены в туфопесчаниках. Для них характерно окварцевание в виде появления кварцевых и гематит-кварцевых жил брекчиевидного облика с ксенолитами пиритовых метасоматитов. Суммарная мощность зон окварцевания достигает 120 м.

На участке переслаивания рассланцованных сферолитовых риолитов и пирит-серицит-кварцевых метасоматитов видимой мощностью 41 м, в которых содержание пирита колеблется от 1 до 3 %, средневзвешенное содержание золота составило 0,051 г/т, при вариации значений от 0,01 до 1 г/т. Аномальные содержания золота установлены также в окварцованных туфопесчаниках. Здесь в границах минерализованной зоны (золота 0,01 г/т) на мощность вскрытого разреза 214,6 м, средневзвешенное содержание составило 0,02 г/т с вариациями аномальных значений – десятки мг/т (0,1–0,078 г/т), возрастая в лимонитизированных глинистых зонах дробления до сотен мг/т (0,1–0,432 г/т). С золотом коррелируют Cr, Cu, Pb, As. Наиболее золотоносными следует признать кварцевые жилы мощностью 5–20 см (Au до 0,83 г/т). Повышенные содержания золота в метасоматически измененных породах, непрерывность их концентрации на отдельных довольно протяженных участках свидетельствует о значительном размахе золотого оруденения.

Главным рудным минералом в метасоматитах является пирит. Крайне редко встречаются халькопирит, сфалерит, галенит, акантит, мышьяковистый пирит (As 1,5–3 мас.%), халькопирит со структурами распада пентландита, единичные знаки киновари.

Размеры золотин варьируют от 0,05 до 0,3 мм, преобладает весьма мелкое (63 %) и тонкое (32 %) золото. Пробность золота варьирует от 735 до 889 ‰. Основные элементы-примеси в золоте (в мас.%): Ag 0,92–19,53 и Hg 0,71–1,48. Золото в метасоматитах имеет рудный облик, по химическому составу и особенностям морфологии аналогично россыпному золоту водотоков Енганепэ [6].

На рассматриваемой территории в бассейнах рек Правый и Левый Изъявож по результатам магнитной съемки масштаба 1:25 000 (ГДП-200) установлена полоса субвулканических риолитов лядгейского комплекса (555–547 млн лет), пространственно сопряженная с положительной аномалией магнитного поля субмеридионального простирания [1]. К этой зоне тяготеют также локальные аномалии ртути (результат наземной газортутной съемки), восемь литогеохимических аномалий золота с содержанием от 10 до 50 мг/т с контуром изоконцентрации 9 мг/т. Золоту сопутствуют элементы: Cu, Ag, Zn, Pb, As, Ba, Sr, В. На поднятии Енганепэ следует ожидать появление вокруг интрузий субвулканических риолитов богатых золотом кварцевых жил, прожилков и ореолов метасоматических изменений. Неравномерность в распределении золота выражена

образованием бонанцев и столбов с чрезвычайно высокими содержаниями золота. Основой для разработки тактики поисков может стать геофизика.

Впервые установленные золотоносные метасоматиты и кварцевые жилы развиваются в кислых жерловых (околокальдерных) фациях вулканических построек позднего рифея–венда в прямой связи с субвулканическими дайками риолитов позднего венда, которые рассматриваются нами как источники тепла, метасоматизирующих и рудообразующих флюидов в разломной зоне. Ряд прямых и косвенных признаков позволяет предположить, что золотая минерализация хребта Енганепэ относится к эпиптермальному золото-серебряному типу месторождений [7].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Коми в рамках научного проекта № 20–45–110006 p\_a.*

#### Список литературы:

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 листа Q-41-V, VI (второе издание) // М. А. Шишкин, О. Н. Малых, П. Е. Попов, Л. С. Колесник. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013.
2. Елисеев Н. А. Метаморфизм. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1959. – 360 с.
3. Ефанова Л. И., Кузнецов С. К., Тарбаев М. Б., Майорова Т. П. Золотоносность Манитаньрдского района и перспективы наращивания ресурсного потенциала (Полярный Урал) // Руды и металлы. – 2020. – № 3. – С. 39–51.
4. Ефанова Л. И., Майорова Т. П., Пархачева К. Г. Золотоносные метасоматиты хребта Енганепэ (Полярный Урал) // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 87. – С. 87–101.
5. Жариков В. А. Метасоматизм и метасоматические породы / В. А. Жариков, В. Л. Русинов, А. А. Маракушев, Г. П. Зарайский, Б. И. Омеляненко [и др.]. – М.: Научный мир, 1998. – 492 с.
6. Кузнецов С. К., Спиринов А. В. Аллювиальное золото района Енганепэ // Сыктывкарский минералогический сборник. Вып. 115. – Сыктывкар. – 2003. – № 33. – С. 70–81.
7. Рудные месторождения СССР. Т. 3. Изд. 2-е, перераб. и доп. // под ред. В. И. Смирнова. – М.: Недра, 1978. – 496 с.
8. Сазонов В. Н., Коротеев В. А. Основные золотопродуктивные и сопутствующие метасоматические формации Урала. – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2009. – 161 с.
9. Устюгова К. С., Ефанова Л. И., Майорова Т. П. Предпосылки коренной золотоносности кряжа Енганепэ (Полярный Урал) // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России // Материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. Т. III. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН. – 2014. – С. 161–164.

**Житков В. Г.** <sup>2, 3</sup> ([vlgitkov@yandex.ru](mailto:vlgitkov@yandex.ru)), **Ананьев Ю. С.** <sup>2</sup> ([ananyevys@mail.ru](mailto:ananyevys@mail.ru)),  
**Поцелуев А. А.** <sup>1</sup> ([poceleuevaa52@mail.ru](mailto:poceleuevaa52@mail.ru))

<sup>1</sup> ООО «КосмоГеопро», <sup>2</sup> Томский политехнический университет,  
<sup>3</sup> Томский государственный университет

#### СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ РУДНЫХ РАЙОНОВ АЛТАЯ ПО МАТЕРИАЛАМ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

*Приведены результаты анализа материалов современных космических съемок (МКС) по территории Руднорудного Алтая. Показано, что Рудный Алтай формировался как зона растяжения. По данным структурно-вещественного анализа МКС установлено развитие метасоматических ореолов в известных полиметаллических рудных узлах.*

*Ключевые слова: Рудный Алтай, материалы космических съемок, структурно-вещественный анализ, геология, минерагения.*

Получившие в последнее десятилетие широкое развитие и распространение материалы разнообразных цифровых космических съемок (мульти- и гиперспектральные, радарные) и совершенствование программного обеспечения по их обработке дали в руки геологов новый уникальный инструмент познания геологических систем, их строения, взаимоотношения составных элементов и в конечном итоге их эволюции.

Накоплен огромный массив этих данных, создаются новые алгоритмы их обработки. В настоящее время стали доступны практически все материалы дистанционных съемок, которые можно успешно применять при геологическом изучении рудоносных территорий.

Нашими многолетними исследованиями, на основе комплексного структурно-вещественного дешифрирования, показана высокая эффективность использования материалов космических съемок в геологоразведочных работах на коренное золото и полиметаллическое оруденение.

Рудный Алтай представляет собой мощную тектоническую область, образованную в течение длительного периода времени в условиях растяжения, что обусловило поступление сюда большого объема вещества, выразившееся в последовательном формировании сначала осадочных, а впоследствии вулканических и интрузивных комплексов и, конечно же, связанных с ними рудных концентраций. Восходящее тектоническое течение вещества внутри зоны растяжения привело к образованию линзовидно-блоковой внутренней структуры Рудно-Алтайского тектонического шва.

Анализ материалов мультиспектральных и гиперспектральных космических съемок (в частности Aster и WorldView-3), обработанных и интерпретированных в том числе и методами инфракрасной спектроскопии позволяет выявлять закономерные связи вещественного состава горных пород со структурно-тектоническими особенностями строения территорий. Другими словами: устанавливать структурно-вещественные парагенезисы.

Известные районы Рудного Алтая располагаются в тектоно-металлогенической зоне северо-западного простиранья, в пределах деформационно-метаморфических («рудоконтролирующих» металлогенических) зон, в теньях давления тектонических линз, во внутренних частях кольцевых систем, имеющих нередко сложное концентрически зональное строение. Радиусы данных кольцевых систем, как правило, лежат в пределах 14–25 км. Строение основной тектоно-металлогенической зоны осложняется субширотными сбросо-сдвиговыми структурами. На наш взгляд, их возникновение связано с формированием основной зоны в качестве сопряженных структур при сдвиговых деформациях вдоль нее. Впоследствии вертикальные смещения по широтным разломам сформировали ступенчато-блоковое строение территории. При этом максимально опущенными являются северо-западные блоки.

В пределах Рудного Алтая по комплексу признаков выделены ореолы развития минеральных образований, имеющих метасоматическую природу. По спектральным характеристикам МКС эти образования достаточно четко разделяются на два типа и отнесены нами, по результатам обработки алгоритмами «Ferruginous minerals» и «Iron oxide», к пропилитам и березитам. Наиболее крупные ореолы пропилитов развиты в районах известных месторождений полиметаллов (Рубцовское, Змеиногорское, Золотушинское и др.). Березиты занимают локальные участки внутри ореолов пропилитизации.

Полученные закономерности можно рассматривать как региональные космогеологические критерии прогнозирования полиметаллических месторождений Рудно-Алтайского типа.

#### Список литературы:

1. Ананьев Ю. С., Поцелуев А. А., Житков В. Г. Космоструктурные модели золоторудных объектов Западной Калбы // Известия ТПУ. – 2010. – Т. 317, № 1. – С. 35–41.
2. Житков В. Г., Ананьев Ю. С., Поцелуев А. А. Закономерности геологического строения и металлогении Рудноалтайской сдвиговой зоны на основе анализа современных мультиспектральных космических снимков // Материалы 3-ей международной научной конференции «Корреляция алтаид и уралид: магматизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения». – Новосибирск : ИГиМ СО РАН, 2016. – С. 76–78.
3. Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г. [и др.]. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска МПИ (на примере Рудного Алтая). 2-е изд. доп. и испр. – Томск : Изд. ООО «СТТ», 2010. – 228 с.



4. Поцелуев А. А., Ананьев Ю. С., Житков В. Г. Рудные районы Большого Алтая в материалах космических съемок // Корреляция алтаид и уралид: глубинное строение литосферы, страти-графия, магматизм, метаморфизм, геодинамика и металлогения // Материалы IV международной научной конференции, 2–6 апреля 2018 г. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2018. – С. 117–119.

**Жукова И. А. (China irina@cug.edu.cn) <sup>1</sup>,**

**Степанов А. С. (aleksandr@cug.edu.cn) <sup>2</sup>, Шао-Йонг Джианг <sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, <sup>2</sup> Collaborative Innovation Center for Exploration of Strategic Mineral Resources, School of Earth Resources, China University of Geosciences.**

## УНИКАЛЬНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ MOUNT WELD В ЗАПАДНОЙ АВСТРАЛИИ

*Связанное с карбонатитами гипергенное месторождение Mount Weld в Западной Австралии является одним из самых богатых месторождений редкоземельных элементов (РЗЭ) в мире и одним из основных источников РЗМ за пределами Китая. Новые минералогические, геохимические и геохронологические данные получены для карбонатитов и латеритов. Изучение распространения редкоземельных элементов (РЗЭ) в минералах и породах позволило сделать выводы о том, что уникальное сочетание магматических и гипергенных процессов, включая биогенное выветривание, привело к формированию ультравысоких концентраций РЗЭ.*

*Ключевые слова: РЗЭ руды, месторождение Mount Weld, кора выветривания, карбонатиты.*

Редкоземельные элементы – ключевые стратегические металлы в современной «зеленой» экономике, а также важнейшие индикаторы геохимических процессов. Месторождения редкоземельных металлов часто связаны с интрузивными карбонатитовыми комплексами, преобразованными поверхностными процессами. Mount Weld является одним из крупнейших в мире редкоземельных месторождений [1, 3]. РЗЭ руды локализованы в коре выветривания, развивающейся по карбонатиту [1] со средним содержанием РЗЭ 9,8 мас.% и достигающих до 45 мас.% в отдельных ее частях. Мы приводим результаты петрологического, минералогического, геохимического и геохронологического исследования карбонатитов и реголитов массива Mount Weld с целью характеристики редкоземельной минерализации и источников вещества как факторов образования месторождения. Понимание процессов, ведущих к фракционированию и концентрации РЗЭ магматическими и поверхностными процессами в Mount Weld, важно как для извлечения рудных компонентов и разработки критериев поиска, так и для реконструкции моделей формирования гипергенных месторождений по всему миру.

Исходные породы месторождения были представлены многофазовой карбонатитовой интрузией и карбонатит-глиммеритовой пирокластической брекчией. Нами показано, что концентрации РЗЭ в магматических карбонатитах Mount Weld варьируются в беспрецедентно широких пределах – от 0,1 до 9,5 %, что свидетельствует о важной роли магматических процессов в обогащении РЗЭ [1, 4]. Путем Th-Pb датирования монацита из карбонатита показано, что высокообогащенные РЗЭ карбонатитовые расплавы образовались  $2056 \pm 67$  млн лет назад.

Редкоземельная минерализация реголитов Mount Weld представлена монацитом, флоренситом, рабдофаном и церианитом. Гипергенное обогащение карбонатита связано с выносом карбонатов, а также с селективным выносом церия из монацита относительно остальных лантаноидов, что говорит о высоком окислительном потенциале процессов гипергенеза. Минерал флоренсит-(Ce), образовавшийся на стадии гипергенеза за счет привноса алюминия, является важным концентратом РЗЭ в реголитах Mount Weld. Находка ископаемых остатков растительного происхождения, замещенных неодимовым рабдофаном, в реголите с высоким содержанием РЗЭ

указывает на ведущую роль биологических факторов в процессах перераспределения и концентрации РЗЭ [5]. Более того, образование реголита с высоким содержанием РЗЭ произошло в позднем мезозое–раннем кайнозое после широкого распространения на Земле наземных растений.

Чрезвычайно высокие концентрации РЗЭ в рудах Mount Weld являются результатом многостадийных процессов обогащения, которые начинаются с генерации высокоредкоземельных карбонатитовых расплавов с последующим интенсивным супергенным обогащением (в том числе с участием биовыветривания) и образованием ультрабогатых руд с содержанием РЗЭ 51,8 мас. %.

Список литературы:

1. Lottermoser B. Rare-Earth Element mineralization within the Mt-Weld carbonatite laterite, Western-Australia // *Lithos*. – 1990. – V. 24. – P. 151–167.
2. Nelson D. R., Chivas A. R., Chappell B. W., McCulloch M. T. Geochemical and isotopic systematics in carbonatites and implications for the evolution of ocean-island sources // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1988. – V. 52. – P. 1–17.
3. Willett G. C., Duncan R. K., Rankin R. A. Geology and economic evaluation of the Mt Weld carbonatite, Laverton, Western Australia // *International Kimberlite Conference: Extended Abstracts*. – 1986. – V. 4. – P. 97–99.
4. Zhukova I. A., Stepanov A. S., Jiang S.-Y., Murphy D., Mavrogenes J., Allen C., Chen W. and Bottrill R. Complex REE systematics of carbonatites and weathering products from uniquely rich Mount Weld REE deposit, West Australia // *Ore Geology Reviews*. – 2021. – № 139. – art. 104539.
5. Zhukova I. A., Stepanov A. S., Korsakov A. V., Jiang S.-Y. Application of Raman spectroscopy for the identification of phosphate minerals from REE supergene deposit // *Journal of Raman Spectroscopy*. – 2021.

**Звездов В. С. (metallogeny@yandex.ru)  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

## МОДЕЛИ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Рассмотрены модели формирования медно-порфировых рудно-магматических систем и месторождений. Описаны обстановки возникновения уникальных по запасам месторождений. Оценена роль эндогенного и инфильтрационного источников растворов и рудного вещества. Предложены прогнозно-поисковые модели РМС, отражающие пространственно-временные взаимоотношения вулканогенных, плутоногенных и рудных формаций, возникающих в ходе эволюции «материнских» магматических очагов.*

*Ключевые слова: вулкано-плутонические пояса, медно-порфировые месторождения, рудно-магматические системы, прогнозно-поисковые модели.*

1. Медно-порфировые рудно-магматические системы (РМС), сформировавшиеся при становлении известково-щелочных магматических формаций базальтоидных и андезитоидных вулкано-плутонических поясов (ВПП), обладают комплексной металлогенией. Характер ее проявления, т. е. сочетания месторождений различных рудно-формационных типов в объеме таких систем – медно-молибден-порфировых, золото-молибден-медно-порфировых, золото-медно-порфировых и сопряженных с ними эпитермальных золотых и золото-серебряных, мезотермальных золото-полисульфидных, скарновых медных и полиметаллических и др., предопределяется

степенью дифференциации магматических очагов, которая отражается в металлоносности вулканоплутонических ассоциаций (ВПА), а также геохимическим профилем блоков фундамента (субстрата) поясов, вовлеченных в процессы рудообразования. В геологическом пространстве РМС возможно совмещение продуктов рудогенеза разных этапов развития ВПП. В целом такие системы могут рассматриваться как закономерные совокупности магматических и рудных формаций, возникающие в ходе эволюции очагов и образующих вертикально-латеральные ряды.

2. Запасы и содержания медно-порфировых месторождений, локализованных во внутренних частях РМС, зависят от геодинамических режимов развития ВПП, которые влияли на размеры (объемы) промежуточных магматических очагов («материнских» гранитоидных плутонов), продуцировавших рудоносные порфировые штоки, дайки, брекчиевые тела, и условия их охлаждения и кристаллизации. В период орогенеза при «вскрытии» очагов уровни подъема рудоносных остаточных расплавов и флюидов, а также условия их разгрузки определялись петрофизическими характеристиками вмещающей среды.

Медно-порфировые месторождения «мирового класса» (гигантские и супергигантские) формировались в специфических геодинамических обстановках – в отдельных сегментах ВПП, на начальных этапах формирования которых господствовал режим коллизионного сжатия (с подавлением вулканизма), приводивший к возникновению мощных флюидонасыщенных магматических очагов в верхней части земной коры (ЗК), и благоприятных структурно-петрофизических условиях их «разгрузки». Присутствие над рудоносными интрузивами малопроницаемых терригенно-карбонатных и карбонатных толщ, пластично деформирующихся при высоких температурах и давлении, либо лавовых покровов и субвулканических тел среднего и основного состава, интрузивных мафических и метаморфических пород с упруго-вязкой деформационной природой приводило к появлению магматических и/или флюидных плюмов и рудонакоплению в значительных масштабах. Карбонатные отложения (доломиты, известняки) и богатые Fe базитовые комплексы в составе таких толщ являлись также геохимическими барьерами для гидротермальных растворов, способствовавшими отложению высокосортных руд. Определенную роль в рудообразовании играла исходная рудоносность интрузивной рамы – древние геохимические ореолы и рудные месторождения субстрата ВПП (стратиформные полиметаллические, медно-цинково-колчеданные и др.), подвергавшиеся регенерации в тепловом поле плутонов с экстракцией и переотложением рудного вещества активизированными метеорными водами на верхних уровнях систем.

3. Деформационная природа вмещающих пород наряду с другими факторами влияла на морфологию порфировых интрузивов, форму и строение сопряженных с ними рудоносных штоков, уровни концентрации металлов в рудах и запасы месторождений. Основными механизмами возникновения рудовмещающих трещин были гидроразрыв и контракция при охлаждении, кристаллизации и дефлюидизации порфировых штоков, сопровождающиеся образованием трещин (с раскрытием более древних) в породах кровли при термическом сокращении их объемов. Уникальные по запасам объекты, сформировавшиеся при становлении крупных магматических очагов в «подэкранных» структурно-петрофизических обстановках, как правило, выделяются повышенными концентрациями металлов в рудах, отражающими совмещение в пространстве продуктов многостадийного рудогенеза. Околорудные метасоматические преобразования пород сопровождаются значительными изменениями их физико-механических свойств. Установление направленности и масштабов этих изменений может быть использовано для оконтуривания минерализованных зон.

4. Строение и параметры РМС, пространственно-временная эволюция гидротермальных потоков в их объеме, расшифрованные с помощью параметрических, морфометрических, концентрационных и градиентно-векторных моделей, свидетельствуют о том, что условия формирования медно-порфировых месторождений наиболее полно (количественно) могут быть описаны смешанно-флюидной конвективно-рециклинговой геолого-генетической моделью. Она предполагает двойственную природу транспортирующих агентов (флюидов, растворов) и рудного вещества – магматогенную (мантийную и коровую) и инфильтрационную (метеорную), в качестве «проводников» тепла и металлоносных флюидов от магматических очагов – порфировые интрузивы (брекчиевые трубки), а также многооборотную циркуляцию гидротермальных растворов

на поздних стадиях развития РМС, приводившую к перераспределению металлов в их объемах. Такая модель не противоречит рудно-метасоматической зональности и строению рудоносных штокверков типовых объектов, физико-химическим, термодинамическим и изотопным характеристиками рудоотложения, расчетам баланса вещества и математического моделирования тепло-массопереноса, а также данным по современным геотермальным системам.

5. По масштабам медно-порфировые РМС эквивалентны рудным районам (РР). Их внутренние части с месторождениями медно-порфирового семейства, фланговые – со скарновыми медными и полиметаллическими, жильными золото-полисульфидными месторождениями и внешние периферийные зоны с эпитермальными стратоидными и жильными золотыми, золото-серебряными, медно-мышьяковыми, мышьяково-сурьмяно-ртутными и серными месторождениями могут рассматриваться как самостоятельные рудные поля (РП). Закономерное расположение разновозрастных продуктов рудогенеза в объеме РМС допускает возможность прогноза их недостающих элементов при наличии любого из них, что учтено в разработанных прогнозно-поисковых моделях потенциальных РР и РП. На их основе проведено металлогеническое районирование восточных регионов России на медно-порфировое оруденение. В пределах Охотско-Чукотской, Корякско-Камчатской, Амурской и Сихотэ-Алиньской минерагенических провинций выделены и оконтурены металлогенические зоны и рудные районы, которые ранжированы по степени перспективности и рекомендуемой очередности постановки ГРР различного масштаба.

**Звездов В. С., Чурилова Т. А. (metallogeny@yandex.ru)  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

#### **ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ПРИРОДЫ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД НА РАЗМЕЩЕНИЕ И МОРФОЛОГИЮ РУДОНОСНЫХ РАССЛОЕННЫХ ИНТРУЗИВОВ НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА**

*Форма рудоносных плутонов и их положение в геологическом разрезе определялись соотношением магматического и литостатического давлений, а также термической устойчивостью и деформационной природой вмещающих пород. Основным механизмом высвобождения пространства, необходимого для размещения интрузивов на нижнем уровне их локализации, являлось «магматическое замещение», на среднем и верхнем уровнях – пластические и хрупкие деформации, что целесообразно учитывать при построении геолого-генетических и прогнозно-поисковых моделей Cu-Ni-МПП месторождений.*

*Ключевые слова: дифференцированные плутоны, Cu-Ni-МПП месторождения, механизмы внедрения расплава, деформационные свойства пород, геолого-генетические модели.*

Расслоенные габбро-долеритовые интрузивы норильско-талнахского типа, с которыми связаны Cu-Ni-МПП месторождения Норильского района, отличаются от безрудных и слаборудоносных плутонов специфической морфологией, размерами, внутренним строением, минералогеохимическими особенностями, мощностью и минеральным составом ореолов контактовых роговиков и скарнов и, главное, наличием залежей промышленных массивных, вкрапленных, прожилково-вкрапленных и гнездово-вкрапленных руд, что свидетельствует о различиях процессов их формирования.

В числе возможных механизмов высвобождения пространства для размещения рудоносных плутонов в работах О. А. Дюжикова, В. В. Дистлера, Б. М. Струнина, В. Ф. Кравцова, А. В. Тарасова, В. К. Степанова, Н. С. Берендеева, Б. П. Некрасова, В. Н. Шарапова и др. рассматриваются: гидроразрыв из-за избыточного флюидного давления; деформации пород с уплотнением по механизму «гидроклина» с проникновением расплава по полостям в участках растяжения; «волновое» изгибание и раздвигание пластов в случае превышения их механической устойчивости

при давлении магмы либо региональном сжатии (эйлеровская неустойчивость многослойной системы); магматическое замещение (термическая эрозия) пород с расплавлением (диссоциацией) и выносом материала за пределы формирующихся интрузивов.

Первые три из названных концепций внедрения расплава, предполагающие его последующую дифференциацию и рудоотложение в режиме «спокойного» гравитационного осаждения в магматической камере, не объясняют ряд специфических особенностей рудоносных плутонов: «вставленный» характер и причудливую морфологию с ундуляцией осевых линий максимальных мощностей (раздувов); несоразмерно большие мощности ореолов контактовых роговиков и скарнов относительно самих интрузивов; значительные запасы вкрапленных и гнездово-вкрапленных руд в их меланократовых кумулятивных частях, не сопоставимые с объемами самих плутонов; ритмичное («пошаговое») распределение залежей сплошных сульфидных руд по удлинению продуктивных интрузивов (многие из этих залежей выглядят как самостоятельные тела внедрения); присутствие вкрапленных малосульфидных руд с повышенными содержаниями МПГ в такситовых и лейкократовых габброидах верхней серии, что не соответствует «ликвационной» модели рудообразования.

Концепция магматического замещения, предполагающая частичную термическую диссоциацию солевых и карбонатных пород (прежде всего мергелей, ангидритов, доломитов, в меньшей степени известняков) с перекристаллизацией в роговики при воздействии высокотемпературного базитового расплава, позволяет отчасти объяснить лентовидную (в плане) и хонолитообразную (в поперечных разрезах) форму Хараелахского рудоносного интрузива, залегающего в девонских сульфатно-глинисто-карбонатных отложениях (нижний уровень локализации). Однако, она не приложима к плутонам среднего и верхнего уровней – Талнахскому в каменноугольно-пермской флишоидной толще тунгусской серии и Норильску I в пермско-триасовой толще базальтов. Первый из них в поперечных сечениях обладает более «заостренными» (в сравнении с Хараелахским) бортами, второй – линзовидной формой с «острыми», изогнутыми вверх выклиниваниями.

Как показали петрофизические исследования, выполненные по представительным разрезам Норильского (профиль I) и Талнахского (профиля 99 и 102) месторождений, на размещение и морфологию рудоносных плутонов могла повлиять деформационная природа вмещающих пород. По изученным емкостным и упруго-прочностным свойствам вулканогенные, вулканогенно-осадочные и осадочные породы разрезов Норильской и Хараелахской мульды разделены на 5 групп, каждая из которых отнесена к какому-либо из трех обоснованных М. В. Гзовским и В. И. Старостиным петрофизических типов сред структурообразования – *упругому, упруго-пластичному или упруго-вязкому*.

При внедрении магматического расплава песчаники и алевролиты тунгусской серии и вышележащие вулканы трапповой толщи (петрофизические группы I, II и V), принадлежащие упругому и упруго-вязкому типам сред, испытывали преимущественно упруго-хрупкие деформации. Нижележащая палеозойская осадочная толща, сложенная породами групп III и IV и отнесенная к упруго-пластичному типу сред, реагировала на движущуюся магму в основном пластично. Петрофизическая неравноценность вулканогенной и осадочной частей геологического разреза привела к вышеописанным различиям морфологии продуктивных интрузивов.

Проведенный петрофизический анализ показал, что подавляющее большинство слагающих разрез разностей осадочных и вулканогенных (за исключением массивных лавовых фаций) пород не могло быть препятствием для прорыва высокотемпературной магмы. Основной причиной смены ее субвертикально или наклонно направленного подъема на субгоризонтальное движение явилось, скорее всего, изменение соотношения магматического (в головной части колонны) и литостатического давлений. При достижении равновесия между ними интенсивная дегазация и кристаллизация расплава привели к «закупориванию» магмавода, что препятствовало дальнейшему подъему магмы. В какую из толщ платформенного чехла внедрился расплав уже зависело от их физико-механических характеристик. В принципе, такой «боковой прорыв» мог произойти ниже кристаллической «пробки». Причем в многослойном разрезе смена направления движения магмы на полого ориентированное осуществлялась, по-видимому, постепенно – в виде небольших последовательных изменений угла ее течения по отношению к горизонту

при переходе от слоя к слою. Таким образом, вертикальная петрофизическая контрастность вмещающего разреза в сочетании с разломной тектоникой обуславливала межслоевые и межформационные «переходы» магмы, что можно наблюдать в продольных сечениях интрузива Норильск I и северо-восточной ветви Талнахского интрузива, которые при прослеживании с севера на юг «поднимаются» с нижнего уровня на средний.

Ни одна из выше названных концепций внедрения и становления базитового расплава «не способна» всесторонне описать процессы формирования уникальных по форме расслоенных интрузивов и генетически связанных с ними гигантских Cu-Ni-МПП месторождений Норильского рудного района. Наиболее полное объяснение эти процессы получили в предложенных А. И. Кривцовым, А. П. Лихачевым и др. динамических моделях тепло-массообмена, в которых «вложенный характер» рудоносных расслоенных плутонов, их специфическая морфология (лентовидная в плане, хонолитоподобная в поперечных сечениях и четковидная в продольных), а также дисбаланс объемов (масс) интрузивов, руд и контактовых роговиков связываются с многооборотной циркуляцией магматического расплава (с подтоком его «свежих» порций из очага) и сопряженными с нею длительным прогревом вмещающих пород (с их частичной диссоциацией) и интегральным рудонакоплением. Наблюдаемые вариации во внутреннем строении фронтальных, срединных и тыловых частей плутонов объясняются разными соотношениями скоростей: продвижения расплава в полого залегающей камере, прямого и возвратного конвективных потоков, переноса и гравитационного осаждения «легкой» лейкократовой и «тяжелой» меланократовой кумулятивной (с сульфидами) фаз, а также пульсационным поступлением магмы из очага. Однако, в этих моделях недостаточно учтено структурообразующее значение давления внедрявшейся магмы, региональные тектонические напряжения, а также деформационная реакция на них пород платформенного чехла, которыми могут быть обусловлены наблюдаемые различия морфологии рудоносных плутонов верхнего, среднего и нижнего уровней локализации, а также «межформационные» и «межслоевые» их переходы с уровня на уровень.

Механизм «магматического замещения» (термической эрозии) пород высокотемпературным расплавом, привлекаемый для объяснения возникновения пространства, необходимого для замещения рудоносных расслоенных интрузивов, приложим, прежде всего, к ситуации *нижнего литолого-стратиграфического уровня*, где локализован Харахлахский плутон, а среди вмещающих девонских терригенно-сульфатно-карбонатных отложений присутствуют термически «неустойчивые» мергели, ангидриты, доломиты, известняки. При высоких температурах и давлении эти породы также благоприятны для пластического «течения». На *среднем и верхнем уровнях* расположения интрузивов Талнахское и Норильск I, где вмещающими средами являются петрофизически неоднородная флишоидная толща тунгусской серии и вышележащая толща базальтов с температурами плавления, близкими к габбро-долеритам и «упруго-вязкой» (для лавовых фаций) и «упруго-хрупкой» (для миндалекаменных и туфовых фаций) деформационной природой, в качестве ведущих механизмов, скорее, можно предположить пластические (для аргиллитов) и хрупкие (для песчаников и базальтов) деформации пород при достижении закритических нагрузок в результате магматического давления или регионального сжатия.

Приведенные материалы могут быть использованы для совершенствования геолого-генетических и построенных на их основе прогнозно-поисковых моделей Cu-Ni-МПП месторождений норильского типа, что необходимо для поисков новых объектов.

## О ТЕКТОНИКЕ ДРЕВНИХ КРАТОНОВ И МИНЕРАГЕНИИ АЛМАЗА

*Анализ имеющегося материала по проявлению магматизма на докембрийских платформах мира показал, что они являются следствием горизонтального растяжения земной коры (рифтогенеза). В постархейской истории геологического развития древних платформ наиболее мощным был раннепротерозойский и мезозойский открытый рифтогенез, связанный с коренными перестройками литосферы. Кимберлиты локализируются в линеаментных рифтах. Во многих полях алмазонасных кимберлитов другие магматические проявления практически отсутствуют. Иногда отмечаются только интрузии и эффузивные образования основного состава (дайки, пластовые интрузии, диатремы), которые существенно отличаются от кимберлитов по глубинности магматических очагов. Алмазонасные кимберлиты не связаны ни с магматическими диапирами линеаментных рифтов, ни с их глубинными околоастеносферными источниками, а кимберлитовое вещество находилось непосредственно под их корой или в переходном от коры к мантии слое, или непосредственно в нижних горизонтах коры.*

*Ключевые слова: докембрийские платформы, рифтогенез, алмазонасные кимберлиты.*

Главнейшей геолого-тектонической особенностью щелочно-ультраосновных магматитов является то, что они являются проявлениями глубинного магматизма рифтовых структур глобальных эпох коренной перестройки литосферы. Установлено несколько таких эпох. В течение раннепротерозойской эпохи произошли распад суперконтинента Пангея-0 и преобразование его в суперконтинент Пангея-1. Рифтовые структуры этой эпохи имеются на всех древних платформах мира. Глобальный рифтогенез и связанный с ним магматизм наиболее ярко проявились на древних платформах Южного полушария в течение мезозойско-современной эпохи перестройки литосферы непосредственно на Африканской, Бразильской, Индийской и Австралийской платформах и являются следствием разделения на отдельные континентальные плиты материка Гондвана. На Сибирской платформе (СП) магматические образования контролируются [1–3] активизированными в рифее–венде и мезозое раннепротерозойскими рифтовыми структурами. В течение протерозоя и фанерозоя на древних платформах сформировались пять типов рифтовых и рифтогенных структур:

- *Аккреционные и коллизионные орогены* – структуры коллизии и орогенеза широких линейных зон дробления и горизонтального растяжения земной архейской коры. Масштабы горизонтального растяжения сравнимы с глубиной проникновения разломов вглубь литосферы;
- *Линейно-площадные прогибы* (типа Удоканского) раннепротерозойских протоплатформ. Главное их отличие от предыдущих структур – меньшие амплитуды вертикальных и горизонтальных перемещений и незаконченная инверсия;
- *Линейные пояса и площадные рои мафитовых даек*, связанные с умеренным горизонтальным растяжением земной коры и неглубоким проникновением в нее трещин. Вертикальные смещения блоков отсутствуют, вследствие чего этим структурам не соответствуют какие-либо седиментационные бассейны. Они могут быть самостоятельными образованиями и сопровождать следующий, четвертый, тип континентальных рифтогенных структур;
- *Континентальные рифты* – линейные структуры горизонтального растяжения с возрастом от раннего протерозоя до кайнозоя. Выделяются две крайние разновидности континентальных рифтов – открытые и линеаментные. Протяженность тех и других сотни километров при ширине в первые десятки км. Первые характеризуются всеми тектоническими признаками структур горизонтального растяжения. Магматические проявления многочисленны и разнообразны;
- *Авлакогены* – рифтогенные структуры различных возрастов, распространенных на всех континентах. Линеаментные рифты обычно сопровождают также авлакогены, протягиваясь по их периферии в удалении от центральных зон авлакогенов.

Аккреционные и коллизионные орогены на древних платформах являются вещественно-тектоническими единицами кристаллического фундамента наравне с террейнами, те и другие отвечают понятиям, разработанным террейновой гипотезой. Структуры второго типа относятся к раннепротерозойским протоплатформам. Остальные типы структур занимают широкий возрастной диапазон от позднего протерозоя до плейстоцена. Аккреционные и коллизионные орогены как зоны, соединяющие архейские террейны, выделяются также под названием «зоны тектонического меланжа». Употребляется также термин «шовные зоны», т. е. эти структуры возникают вследствие закрытия океанических или океаническо-континентальных раннепротерозойских рифтов. Процесс близок по своей природе инверсии платформенных авлакогенов. Нередко зоны тектонического меланжа представляют собой линейные участки земной коры, характеризующиеся тектоническим смещением по системам пластических надвигов и сдвигов пластин (блоков), сложенных структурно-вещественными комплексами соседствующих террейнов и «экзотических» комплексов, которые претерпевают совместные структурно-метаморфические преобразования. Обычно такие зоны проявлены в магнитном поле положительными аномалиями и протягиваются по ним на многие сотни километров под платформенным чехлом. Поскольку блоковое строение характерно для всего фундамента древних платформ, так же как и развитие надвигов и взбросов, то определение границ зон тектонического меланжа – задача довольно сложная. Они выделяются как узкие (от первых до нескольких десятков километров) линейные зоны сближенных чешуйчатых надвигов, выводящих на поверхность горизонты инфракристалльного комплекса. Для СП присуще западное и меридиональное перемещение надвиговых пластин. Показателем тектонического меланжа является интенсивный катаклиз и диафторез надвинутых пластин, ретроградный повторный и гранулитовый метаморфизм, омолаживающий архейские породы надвинутых чешуй до протерозойского возраста.

Основными эпохами континентального рифтогенеза на древних платформах являются рифейско-вендская, среднепалеозойская (с позднедевонским их максимумом) и позднемезозойская (с меловым максимумом). Природа как бы вновь и вновь повторяла попытки расколота на террейны докембрийский кристаллический фундамент, закончившиеся только умеренным его растяжением по рифтовым зонам. Наиболее ранние представители рифейско-вендской эпохи – континентальные рифты ее раннепротерозойско-рифейской фазы – представлены амплитудными разломами земной коры, сопровождаются роями мафитовых даек. Рифейско-вендские рифтогенные образования по всем признакам близки к фанерозойским авлакогенам. Для них характерен умеренный основной и щелочно-основной магматизм. Закрытый тип континентальных рифтов, линейные рифты рифейского и фанерозойского возрастов, представлены протяженными линейными поясами грабенов, которые в стадию инверсии могут преобразовываться в горы, а также сопровождаться эфемерными зонами континентального осадконакопления и проявлениями основного магматизма. Амплитуды сбросов незначительные и не превышают 60–100 м.

Поля алмазоносных кимберлитов и лампроитов мира располагаются в пределах линейных рифтов при отсутствии каких-либо других проявлений магматизма, что позволяет утверждать:

- Любые проявления магматизма на докембрийских платформах мира являются следствием горизонтального растяжения земной коры (то есть рифтогенеза);

- В постархейской истории геологического развития древних платформ наиболее мощным был раннепротерозойский и мезозойский открытый рифтогенез, связанный с коренными перестройками литосферы. Сюда же относится и мезозойский возрожденный рифтогенез, наложенный на раннепротерозойские аккреционные и коллизионные орогены. Этой группе рифтовых структур сопутствовал основной, ультраосновной и щелочно-ультраосновной магматизм, представленный [1–3] фаціальными рядами щелочных базальтоидов, различных пироксенитов и щелочно-ультраосновных пород, пикритовых порфиритов. Кимберлитоподобные породы встречаются значительно чаще кимберлитов, среди которых наиболее глубокие различия относятся к коэситовой субфации. Кимберлиты алмаз-пироповой фации практически не встречаются;

- Открытые континентальные рифты (в т. ч. авлакогены), происхождение которых связано с тектоническими движениями горно-складчатого обрамления, широко развиты на всех древних



платформах. Возраст их различный, но преобладает мезозойский. Многие из них сопровождаются щелочными, ультраосновными и основными интрузиями, образующими фациальные ряды интрузивных тел, связанных взаимными литохимическими переходами. Здесь также практически отсутствуют кимберлиты и кимберлитоподобные породы;

- Кимберлиты локализуются в линеаментных рифтах. Во многих кимберлитовых полях алмазоносных кимберлитов другие магматические проявления практически отсутствуют. Иногда имеют место только интрузии и эффузивные образования основного состава (дайки, пластовые интрузии и диатремы), которые обычно существенно отличаются по химизму и глубинности магматических очагов.

- Линеаментные рифты, уступая по мощности рифтогенеза открытым рифтам, продуцируют наиболее глубинные магматические образования, очаги которых, согласно общепринятой гипотезе, могут находиться на глубинах ниже 200 км. Тектоническое и магматическое состояние коры рифта регулируется [1, 2] магматической колонной и автономными тектоническими движениями, происходящими в коре. Распределение магматических образований в рифте, характер их локализации и форма проявления (интрузии или эффузивы) зависят от особенностей тектонической структуры рифта. Химизм магматизма определяется в основном состоянием магматической колонны. Открытые рифты (в т. ч. авлакогены) на древних платформах располагаются вдоль поясов или по окраинам кратонов, не пересекая их центральные части и тем более ортократоны, за исключением эпигогенных рифтов, заложившихся на фундаменте, переработанном позднепротерозойским орогенезом (например, Палеовиллюйский авлакоген). Древний рифтогенез наиболее широко проявлен в крупных синеклизах и по периферии платформ, что вполне естественно, поскольку в этих регионах располагаются краевые и перикратонные прогибы, механизм образования которых сходен с рифтогенезом и выражается в подъеме корово-мантийной границы и в сокращении мощности коры. Линеаментные рифты чаще всего связаны с открытыми рифтами, протягиваясь вдоль их бортов или образуя различного рода ответвления, другие берут начало от горно-складчатого или океанического обрамления платформы. Ширина линеаментных рифтов находится в пределах 20–40 км, значительно уступая ширине открытых рифтов. Иногда линеаментные рифты именуют зонами разломов или даже глубинными разломами. Однако при детальном рассмотрении таких зон выясняется, что они представлены системами малоамплитудных грабенов (амплитудой до 100 м), иногда горстами, образовавшимися вследствие инверсии рифта. Такими являются, например, Далдыно-Оленекский, Укугутский, Ангаро-Виллюйский и другие рифты на СП.

Верхняя мантия по своему составу не является полностью однообразной, поскольку в ней содержатся локальные геохимические обособленные участки обогащенного и истощенного пиролита. Геохимически неоднородный материал поступает в магматическую колонну и из астеносферы. Поэтому множество самостоятельных магматических очагов диапира питается различными составами повышенной (от слабой до сильной) щелочностью, но распространены также толеитовые и известково-щелочные типы пород. Преобладание толеитовых или умеренно-щелочных основных магматитов указывает на высокую степень раскрытости рифта или на то, что мантийный диапир достиг переходного между мантией и корой слоя или даже внедрился в нижнюю кору. Предполагается существование закономерной связи между высотой подъема магматического диапира, раскрытостью рифта и характером его магматизма. При прочих равных условиях ширина магматической колонны может быть различной, что, собственно, определяет ширину рифта, но не интенсивность рифтогенеза. Нижняя часть магматической колонны с магматическими очагами, продуцирующими магматические проявления в рифте, является астеносферным выступом или магматическим диапиром, а верхняя – колонной аномальной мантии, термально и механически разуплотненной, т. е. подушкой корово-мантийной смеси, разделяющей тектонические деформации коры и мантийной колонны. Чем выше магматический диапир, тем больше мощность поглощенной коры (тоньше кора) и глубже грабены рифта [1–3].

Таким образом, ни открытые, ни линеаментные рифты не могут продуцировать алмазоносные кимберлиты. Первые – в силу высокой открытости литосферы и высокого стояния магматических очагов. Вторые – по причине низкого их стояния, в целом недостаточного для выплавки кимберлитов (тем более алмазоносных). Между тем является эмпирическим фактом

то, что линеаментные рифты контролируют кимберлитовые поля и целые районы, алмазоносные кимберлиты не связаны ни с магматическими диапирами линеаментных рифтов, ни с околоастеносферными глубинными их источниками, и что кимберлитовое вещество находилось непосредственно под их корой или в переходном слое от коры к мантии или непосредственно в нижних горизонтах первой. Ведь особенности кимберлитовых полей не только в том, что они пересекаются линеаментными рифтами, неспособными сами по себе к продуцированию кимберлитов, но также и в том, что они располагаются над термоблемами в пределах ортократонов. В сочетании этих факторов и заключается причина образования кимберлитовых полей. Собственно механизм образования кимберлитовых диатрем и даек в принципе тот же, что и для коровых основных магматитов линеаментных рифтов, но в пределах термоблем верхняя мантия обладала повышенной проницаемостью для горячих газо-флюидных потоков, идущих от магматического диапира и сопредельного авлакогена. Глубинные кимберлитовые сегрегации были захвачены корово-мантийной смесью рифтовой подушки и вместе с нею переработаны в брекчию с магματοгенно-метасоматическим цементом. Нижние обособления корово-мантийной брекчии подверглись максимальному воздействию газовой-флюидных эманаций и составили основу трубчатых кимберлитовых брекчий.

Список литературы:

1. Дукардт Ю. А., Борис Е. И. Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. – Воронеж : ВГУ, 2000. – 161 с.
2. Зинчук Н. Н., Дукардт Ю. А., Борис Е. И. Тектонические аспекты прогнозирования кимберлитовых полей. – Новосибирск : Сибтехрезерв, 2004. – 166 с.
3. Розен О. М., Манаков А. В., Зинчук Н. Н. Сибирский кратон: Формирование и алмазоносность. – М. : Научный мир, 2006. – 212 с.

**Зинчук Н. Н. (nnzinchuk@ Rambler.ru), Зинчук М. Н.  
Западно-Якутский научный центр АН РС(Я)**

#### ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ В ТЕРРИГЕННЫХ ФОРМАЦИЯХ В СВЯЗИ С ПОИСКАМИ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Проведен краткий анализ поведения глинистых минералов осадочных терригенных формаций на различных стадиях седиментогенеза, диагенеза, катагенеза и метагенеза. Показано, что каждая из выделенных в земной коре зон характеризуется различными сочетаниями глинистых минералов и степенью постседиментационного преобразования пород. Охарактеризованы глинистые минералы и их ассоциации в терригенных, терригенно-карбонатных, карбонатных, вулканогенных и галогенных формациях. Особенно детально исследованы глинистые минералы ранних стадий седименто- и диагенеза (частично катагенеза), к которым обычно приурочено большинство древних (верхнепалеозойских и мезозойских) алмазоносных россыпей, по наличию в которых индикаторных минералов кимберлитов обычно проводятся поиски коренных месторождений алмазов с помощью шлихоминералогического метода.*

*Ключевые слова: глинистые минералы, осадочные формации, седиментогенез, диагенез, катагенез, метагенез отложений.*

Объективность геологической интерпретации результатов изучения глинистых минералов в первую очередь зависит от установления их генетической природы. Значительная часть аллотигенных глинистых минералов возникает в корах выветривания (КВ) от изверженных до осадочных образований, включая как еще не литифицированные осадки, так и продукты их глубокого

метаморфизма. Выяснение специфических особенностей выветривания различных пород определяет этапы и специфику дальнейшего преобразования элювиальных продуктов на отдельных стадиях литогенеза. Упомянутые стадии включают денудацию элювия, накопление вновь образующихся осадков и погружение сформировавшихся толщ на большие глубины в зону высоких давлений и температур. Поэтому одно из важнейших условий реконструкции совокупности явлений, связанных с процессом эволюции глинистых минералов в осадочном чехле земной коры, – комплексный анализ закономерностей образования этих слоистых образований при выветривании различных петрохимических типов пород.

В наибольшем масштабе образование КВ как происходило в прошлые времена, так и протекает в настоящем в определенной тектоно-геоморфологической обстановке – преимущественно на несколько приподнятых пенепленизированных территориях. Необходимым условием выветривания пород является интенсивный промывной режим, наиболее существенно проявившийся в гумидных тропических и умеренных (северном и южном) климатических поясах. Важную роль в гипергенном процессе играет также присутствие в среде минералообразования органического вещества и определенных бактериальных сообществ. Ассоциации глинистых минералов в осадочных образованиях определяются следующими тремя факторами: 1) тип исходных пород на континенте и степень их изменения под действием гипергенных процессов; 2) динамика переноса продуктов размыва исходных пород и гидрохимический характер среды осадконакопления; 3) особенности последующего геологического развития территории осадконакопления, обуславливающие интенсивность постседиментационного преобразования осадков и дальнейшего изменения сформировавшихся из них осадочных пород. К главнейшим источникам образования глинистых минералов на окраинах континентов в умеренных, субтропических и тропических гумидных поясах относятся КВ, развивающиеся на изверженных и осадочных породах, а также их метаморфических разностях. Продукты их денудации свойственны осадкам платформенной субформации терригенной формации, а также аллотигенным прослоям терригенно-карбонатной и карбонатной формаций. На активных окраинах континентов в указанных климатических поясах интенсивному размыву подвергаются слабоизмененные гипергенными процессами породы. Вновь формирующиеся осадки в таких случаях характерны для мощных толщ геосинклинальной субформации терригенной формации. Глинистые минералы осадочных пород в подавляющей массе связаны с аллотигенным материалом, поступающим в области седиментации из различных источников сноса.

В осадочном чехле земной коры в зависимости от решения конкретных геологических задач может быть выделено значительное число различных формаций (стратиграфических, литологических, фациальных, тектонических и т. д.). Стратиграфические формации обычно выделяются под местными географическими названиями. Наименование литоформаций непосредственно связано с типом преобладающих пород. Экоформации отражают физико-географическую обстановку их накопления (океаническая, морская, лагунная, континентальная, гумидная, аридная, ледовая и др.), а названия тектоноформаций – тектонический режим их образования (платформенный, мио- и эвгеосинклинальный, орогенный, океанический) и стадию развития. В осадочном чехле земной коры отложения терригенных формаций наиболее широко распространены среди других формаций литологического типа. В зависимости от тектонического строения областей, на территории которых происходило накопление отложений *терригенной формации*, последняя может быть подразделена на осадки платформенной и геосинклинальной субформаций.

Отложения *платформенной субформации* в гумидной климатической зоне свойственны в основном аллювиальным образованиям и осадкам начальных, ранних, поздних и конечных стадий геологического развития озерно-болотных водоемов, паралических областей прибрежных равнин и эпиконтинентальных бассейнов. Они характерны для пассивных окраин континентов (континентальных окраин, в том числе внутренних их частей, зон перикратонного опускания – миогеосинклиналей), а также для зрелых и начальных этапов поздней стадии накопления пелагических осадков абиссальных котловин Мирового океана. Отложения этой субформации накапливаются большей частью в результате размыва древних КВ. Это определяет поступление в области осадконакопления материала, претерпевшего различную, преимущественно глубокую переработку. Исключение представляет лишь размыв и переотложение продуктов физической

дезинтеграции различных пород в областях нивального климата. В этих условиях накапливается в основном материал, который включает не только гипогенные минералы, но и триоктаэдрические минералы, в частности хлорит. Если размыв исходных пород и перенос обломочного материала в пределах водосборных площадей осуществляются преимущественно пресными водами, то накопление продуктов денудации указанных пород может происходить либо в пресных водоемах, либо в различных частях морских бассейнов. Это определяет существенное различие в направленности и интенсивности дальнейшего изменения глинистых минералов в процессе накопления и постседиментационного преобразования. При накоплении элювиальных продуктов в пресных водоемах эти продукты испытывают изменения той же направленности, что и в КВ. В этих водоемах реликты гипогенных минералов продолжают либо растворяться (минералы островной, цепочечной, ленточной и каркасной структур) с кристаллизацией новых, устойчивых в данных гидрохимических и термобарических условиях фаз, либо трансформироваться (минералы слоистого типа) в более стабильные в зоне гипергенеза фазы. Седиментация дисперсного материала в эпиконтинентальных и близких к ним морских бассейнах благодаря минерализованной среде сопровождается последовательной интенсификацией аградационно-трансформационных процессов. В первоначально накапливающихся осадках частицы глинистых минералов образуют ячеистую микроструктуру, в которой свойственные этим минералам преимущественно псевдоизометрические и псевдогексагональные частицы сочетаются между собой в основном по типу «скол-ребро» и в значительно меньшей степени по типу «скол-скол». Это обеспечивает высокую пористость и проницаемость не только песчано-алевритовых, но и глинистых отложений. Такие особенности микростроения глинистых осадков определяют возможность продолжения на стадии седиментогенеза преобразования в них реликтов гипогенных и возникающих в КВ гипергенных минералов. При размыве как КВ, так и слабоизмененных в зоне гипергенеза толщ вновь накапливающиеся отложения субаквального типа в пределах платформенных территорий подвергаются значительной гранулометрической дифференциации вследствие относительно спокойных гидрологических условий переноса обломочных компонентов. Отлагающийся терригенный (грубозернистый) и аллотигенный (глинистый) материал характеризуется в отдельных частях пресных водоемов или эпиконтинентальных и близких к ним морских бассейнов моно- и олигомиктовым составом. В связи с размывом элювиальных продуктов, сформированных в каждом конкретном регионе на различных породах, накапливающиеся отложения существенно различаются как в пределах определенных регионов, так и в отдельных структурно-фациальных зонах пресных водоемов и морских бассейнов седиментации. Это определяет весьма неоднородное строение формационных рядов образующихся отложений и на территории Восточно-Европейской платформы (ВЕП).

При ближнем переносе продуктов выветривания он иногда ассоциирует с примесью неустойчивого в процессе длительной транспортировки галлуазита. Этот минерал возникает только в характеризующихся слабощелочной средой средних горизонтах КВ на породах, содержащих наименее стабильные в природе средние плагиоклазы (олигоклаз и андезин). В то же время каолинит, будучи весьма устойчивым диоктаэдрическим минералом в зоне гипергенеза, в глинистых осадках имеет исключительно аллотигенное происхождение, т. е. отражает материал, образующийся в источниках сноса при выветривании слагающих их пород. В песчано-алевритовых отложениях пресных водоемов и опресненных частях морских бассейнов даже на ранних стадиях их накопления может возникать аутигенный каолинит. Образование этого минерала происходит преимущественно за счет разложения полевых шпатов. Необходимыми гидрохимическими условиями данного процесса являются кислая среда и окислительная обстановка в осадке, а также открытая система минералообразования, обеспечивающая свободный вынос из нее щелочей (Na и K), щелочных земель (Ca и Mg), а также избытка Si. При этом в зависимости от химического состава и минералогических особенностей пород выветривания на континенте каолинит обладает различной дисперсностью. При выветривании ультраосновных и основных пород вследствие блокирующего действия Fe возникает высокодисперсный каолинит. Эта разновидность минерала широко развита, например, в отложениях нижнего карбона Сибирской платформы (СП) и ВЕП. Несмотря на высокую дисперсность каолинит, образующийся при выветривании ультраосновных и основных пород, характеризуется относительно высоким

совершенством структуры с четко фиксируемой триклинной (1 TC) сингонией минерала. Выветривание средних и кислых пород приводит к образованию каолинита с более крупным размером частиц.

В результате ингрессии раннекаменноугольного морского бассейна и смены субаэральных условий на субаквальные (соответственно окислительных условий на восстановительные или восстановительно-окислительные) в толще первичных бокситов и КВ происходят интенсивные метасоматические процессы редукции железа, приводящие к шамозитизации, сидеритизации, преобразованию минеральных форм свободного глинозема, обелению и в меньшей степени к каолинизации, пиритизации и кальцитизации бокситов. К первому этапу изменения бокситов, связанному с их подтоплением и заболачиванием, относятся шамозитизация и сидеритизация их ранних генераций, а также преобразование минеральных форм свободного глинозема и обеление. Получивший наибольшее развитие процесс шамозитизации заключается в редукции железа и образовании триоктаэдрического слоистого минерала из двухэтажных слоев – бертьерина, который на этом этапе изменения бокситов относится к первой генерации алюмосиликата. В структуре бертьерина триоктаэдрические сетки содержат Si, замещенный (от 0,25 до 1) на Al, а октаэдрические сетки заселены преимущественно  $Fe^{2+}$ , а также частично Al,  $Fe^{3+}$  и Mg. Это придает бокситам зеленый или зеленовато-серый цвет. Наблюдаемые в природе в ряде случаев интенсивные процессы замещения на гранитах каолинитовой КВ бертьерином показывают, что этот минерал развивается за счет триоктаэдризации первичного диоктаэдрического минерала также из двухэтажных слоев – каолинита, т. е. наследует структуру последнего. Сидеритизация бокситов Тиманского региона обусловливается обогащением озерно-болотных вод углекислотой. Уровень распространения сидерита, также представляющего на этом этапе изменения латеритных бокситов первую генерацию минерала, располагается выше зоны шамозитизации элювиальной толщи. В верхних горизонтах сидерит, как и бертьерин, подвергается при этом частичному окислению.

В областях накопления отложений геосинклинальной субпровинции происходит значительно более интенсивный, чем в платформенных областях, снос обломочного материала. Последний с большой скоростью накапливается в различных частях рассматриваемых бассейнов. К ним относятся континентальные склоны, подножия, окраинные моря, мезогеосинклинали, переходящие в передовые прогибы. Отложения геосинклинальной субформации характерны для таких зон окраинных морей, как островные дуги, желоба, эвгеосинклинали, трансформирующиеся, так же, как и в первом случае, в передовые прогибы. Отложения этой субформации свойственны ранней, поздней и конечной стадиям развития указанных выше структурно-тектонических частей морских бассейнов вне зависимости от климатической зональности. В указанные области осадконакопления поступают обычно слабовыветрелые продукты. Поэтому в отложениях геосинклинальной субформации преобладает менее измененный, чем в осадках платформенной субформации, материал полимиктового типа, содержащий минералы, близкие к присутствовавшим в исходных породах. В случае размыва слабокатагенетически преобразованных отложений наиболее характерным среди накапливающихся в отложениях геосинклинальной субформации глинистых минералов является монтмориллонит, а также продукты существенной деградации менее устойчивых по сравнению с диоктаэдрическими триоктаэдрических слюд и диоктаэдризации остаточных продуктов последних. Эти продукты представляют собой неупорядоченные монтмориллонит-гидрослюдистые смешанослойные образования, содержащие в структуре более 40% разбухающих слоев, с которыми беспорядочно сочетаются неразбухающие. Во вновь накапливающихся отложениях могут содержаться также продукты слабой деградации диоктаэдрических слюд и каолинит, присутствующий в меньшем количестве, чем в осадках платформенной субформации. Одновременно с этими процессами в восстановительной обстановке застойных водоемов свободный глинозем и железо в закисной форме приобретают подвижность. В связи с этим происходит обеление элювия и растворение первичного гиббсита, а в образующихся на его месте КВ возникает метаколлоидный бемит. В глинистых и песчано-алевритовых прослоях (в основном аллотигенного и терригенного типов отложений гумидных климатических поясов) глинистые минералы связаны либо с переотложением элювиальных продуктов КВ (платформенная субформация), либо с размывом изверженных, метаморфических или слабо

измененных гипергенными процессами ранее сформированных осадочных толщ (геосинклинальная субформация). При денудации КВ в бассейны седиментации поступают гидрослюда, монтмориллонит-гидрослюдистые смешанослойные образования, монтмориллонит, хлорит и каолинит.

Проведенные исследования показали различные механизмы изменения минералов в процессе выветривания, открывающие возможность в дополнение к дифференциации пород по степени их силификации отдельно выделять и исследовать среди главнейших двух групп пород (ультраосновные и основные с одной стороны, средние и кислые – с другой) их бесслюдистые и слюдистые разности. Развитие в средних частях профилей выветривания бесслюдистых пород смектитов, а в аналогичных горизонтах слюдистых пород также и смешанослойных образований (особенно монтмориллонит-гидрослюдистого типа) позволяет надежно идентифицировать тип исходных пород не только в элювии, но и в осадочных толщах, обогащенных продуктами КВ различных пород. Значительно помочь в этом может оценка степени упорядоченности гипергенных минералов, унаследованной от структуры гипогенных фаз. Аналогичный механизм преобразования исходных пород в КВ в течение геологической истории развития Земли в неогее показывает, что происходящие при этом процессы имеют универсальный характер, не зависящий ни от возраста образовавшегося элювия, ни от положения КВ при близком типе пород в различных регионах при различных геолого-структурных обстановках.

**Иванов А. С.** <sup>1</sup> (Ivanov\_AS6@pers.spmi.ru), **Зинченко В. Н.** <sup>2</sup> (vladimir.zin@mail.ru)

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Горный университет, <sup>2</sup> Горнорудное общество «Катока»

#### ВЫЧИСЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НАТРИЯ В ПИРОПАХ КИМБЕРЛИТОВ ЧЕРЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ СОДЕРЖАНИЙ ТИТАНА И МАРГАНЦА

*Базы аналитических данных по составам пиропов из кимберлитов, полученных на микрозондовых анализаторах прошлого поколения, не содержат определений малых примесных элементов, в частности Na. Между тем были выявлены признаки связи алмазов с высоконатровыми пиропами ( $Na_2O \geq 0,07\%$ ), что делает актуальной задачу реконструкции составов пиропов по Na из обширных аналитических баз, где эти данные отсутствуют. Предложены алгоритм и метод статистического определения содержаний  $Na_2O$  в пиропе по их высокой прямой и значимой корреляции с содержаниями MnO и  $TiO_2$  в этом минерале.*

*Ключевые слова:* кимберлит, пироп, окись натрия, регрессионный анализ.

Углубленные исследования составов пиропе, одного из главных индикаторных минералов кимберлитов, а именно изучение содержаний примесных элементов в его зёрнах, имеют важное значение как в научных, так и в прикладных целях для поисковой геологии. Ниже мы рассмотрим примесный Na (его оксид) во взаимоотношениях с основными оксидами, а также особенности их распределения в различных парагенетических типах гранатов из мантийных ассоциаций ультраосновных и эклогитовых пород.

*Натрий ( $Na_2O$ ).* Для составов низкохромистых пиропов группы эклогитовых и, реже, вебстеритовых ассоциаций выявлены основные признаки кристаллизации их с алмазами, которые отражены на диаграмме  $Na_2O-TiO_2$  Дж. Герни [2], что было отмечено ранее в ряде работ по петрогенетической классификации пиропов Н. В. Соболева [1]. Составы таких пиропов из слабоалмазоносных кимберлитов характеризуются повышенными содержаниями оксида титана и пониженными – оксида натрия. Зерна пиропов по составам определяются на диаграмме в области мегакрист. Высоконатровые разности пиропов ( $Na_2O \geq 0,07\%$ ) попадают в область мегакристов и алмазоносных эклогитов, что определяет поисковое значение таких пиропов.

*Методика вычисления.* Метод вычисления связей  $\$Na_2O$  от содержаний  $\$MnO$  и  $\$TiO_2$  основан на способе построения изолиний по площади методом наименьших квадратов отклонений

( $S$  – переменная). В данном примере содержание оксида марганца в выборке зёрен пиропов – это координата  $X$ , содержание оксида титана – координата  $Y$ . Вычисление содержаний  $\text{Na}_2\text{O}$  в составах пиропов конкретного кимберлита примерно одинаково значимо зависит от содержания  $\text{MnO}$  и  $\text{TiO}_2$ . В данном примере у составов пиропов из кимберлитовой трубки Катока (Ангола) корреляция значений  $\text{Na}_2\text{O}$  с  $\text{TiO}_2$  положительная высокая и значимая –  $> 0,6$ , а с  $\text{MnO}$  –  $< -0,4$ . Значение  $\text{Na}_2\text{O}$  определяем методом сглаживания (аппроксимацией) равномерного по аргументу массива данных методом наименьших квадратов (МНК). Такие вычисления рекомендуется проводить в статистических программах типа СТАТИСТИКА (MW-10). Ниже приводим алгоритм вычисления содержания  $\text{Na}_2\text{O}$  по измеренным содержаниям  $\text{MnO}$  и  $\text{TiO}_2$  в составах пиропов из трубки Катока:  $[\text{Na}_2\text{O} = 0,138 - 0,448 \cdot \text{MnO} - 0,037 \cdot \text{TiO}_2 + 0,386 \cdot \text{MnO} \cdot \text{MnO} + 0,42 \cdot \text{MnO} \cdot \text{TiO}_2 - 0,024 \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{TiO}_2]$ .

*Выводы.* Сотни тысяч определений составов пиропов в конце прошлого века выполнялись без определения содержаний в пиробах оксида натрия, показательного для пиропов алмазоносных парагенезисов. И эти данные приведены в отчетах и статьях, но без определения содержаний  $\text{Na}_2\text{O}$  они не могут быть эффективно использованы в поисковых целях. Большинство ЭДС производят определение натрия в минералах (пиробах в том числе) с низким пределом обнаружения более 0,1 мас.%. Авторами предложен метод, позволяющий вычислить содержания оксида натрия в пиробах на основе их высокой прямой и значимой корреляции с содержаниями оксидов  $\text{Mn}$  и  $\text{Ti}$  в этом минерале, содержания которых в нём на порядок выше. Эффективность метода продемонстрирована на примере алмазоносной кимберлитовой трубки Катока (Ангола).

Список литературы:

1. Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика. – 1971. – № 3. – С. 70–80.
2. Герни Дж. Дж., Мур Р. О. Геохимическая корреляция между минералами кимберлитов и алмазами Кратона Калахари // Геология и Геофизика. – 1994. – Т. 35, № 2. – С. 12–24.
3. Griffin W. L., Ryan C. G. Trace elements in indicator minerals: Area selection and target evaluation in diamond exploration // Journal of Geochemical Exploration. – 1995. – V. 53. – P. 311.

**Иванов А. С.<sup>1</sup> (Ivanov\_AS6@pers.spmi.ru), Специус З. В.<sup>2</sup> (spetsiuszv@gmail.com)**

**<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет, <sup>2</sup> ИГАБМ СО РАН**

## НОВЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНЕЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ РАЗНЫХ БЛОКОВ КИМБЕРЛИТОВ

*На основании данных, полученных при изучении 2000 зерен пиропов из различных кимберлитовых трубок Якутской алмазоносной провинции, предложен к использованию новый критерий оценки алмазоносности различных блоков кимберлитов. Критерий основан на соотношениях зерен пиропов с оксидами глинозема более 18% от выборки и зерен пиропов с содержаниями глинозема менее 18%.*

*Ключевые слова:* пироп, алмаз, кимберлит, критерий.

Определение составов пиропов производилось на приборе JX-8230 в НИГП АК «АЛРОСА» ПАО при ускоряющем напряжении 20 kV, ток пучка до 100 нА, время анализа одного зерна 60 с синхронным методом с использованием пяти волновых спектрометров (ВДС) для определения оксидов примесных элементов: натрия, марганца, титана, никеля и алюминия. Определение содержания оксидов основных элементов: железа, хрома, кремния, магния, кальция производилось на энергодисперсионном спектрометре (ЭДС) EX-943100FL1Q, RESO 129eV. Анализы

выполнялись по программе пересчета импульсов на PRZ – oxide с использованием сертифицированных стандартов СО РАН, г. Новосибирск. Синхронный элементный анализ двумя типами рентгеновских спектрометров позволяет корректно (на количественном уровне) для данного вида рентгеноспектрального анализа определять данные элементы-примеси в минералах и снизить механический износ волновых спектрометров [1, 2].

*Методика исследования.* В 2000 зерен пиропов из различных кимберлитовых трубок Якутской алмазоносной провинции было определено на количественном уровне содержание никеля. Далее выполнялось построение диаграмм соотношения оксидов никеля и алюминия для этих проанализированных зерен пиропов. На бинарных диаграммах тремя цветами для каждой фигуративной точки анализа нами были отмечены значения никеля в этих зернах. Одним цветом обозначены повышенные значения содержания оксида никеля в зернах ( $> 83$  ppm), другим – фигуративные точки и цифры анализов зерен пиропов с содержаниями оксида никеля  $< 27$  ppm, красным – от 27 до 83 ppm. Последние значения от 27 до 83 ppm, они соответствуют температурам «алмазоносного окна» по Гриффину – 850–1200 °С [3].

На диаграммах более наглядно видно, что низкие значения содержания никеля характерны для зерен с повышенными значениями глинозема, а для повышенных значений никеля характерны значения глинозема менее 18%. Корреляция содержания никеля и алюминия в пиробах значимая обратная – более  $-0,56$ . На основании полученных данных нами предложен к использованию очень простой новый критерий оценки алмазоносности различных блоков кимберлитов. Критерий базируется на соотношениях между зернами пиропов с оксидами глинозема более 18% от выборки и зернами пиропов с содержаниями глинозема менее 18%.

*Обсуждение результатов.* Сравнить по описанным соотношениям кимберлиты различных трубок кимберлитов не получится, так как каждое кимберлитовое тело характеризуется специфическим набором пиропов, имеющих свои геохимические особенности, а вот для оценки продуктивности различных по алмазоносности кимберлитовых блоков одного изучаемого месторождения такое сравнение эффективно. Для этого необходимо проанализировать составы более 150 зерен пиропов из каждого блока кимберлита и определить соотношения между зернами пиропов с повышенными значениями глинозема ( $> 18\%$ ) и с пониженными ( $< 18\%$ ). Пробы, в которых преобладают зерна пиропов с повышенными значениями глинозема, будут характеризовать соответствующий блок кимберлитов с повышенной продуктивностью на алмазы.

#### Список литературы:

1. Иванов А. С., Феликс Ж. Т., Стегницкий Ю. Б. Составы пиропов из кимберлитов с разной алмазоносностью трубки Луеле (Ангола) // Вестник Воронежского государственного университета. – 2018. – С. 93–97.
2. Иванов А. С., Дак А. И. Методика количественного определения элементов-примесей в минералах-спутниках алмаза на микроанализаторе JXA-8800R // Геология алмазов – настоящее и будущее (геологи к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России). – Воронеж : ВГУ, 2005. – С. 1526–1530.
3. Griffin W. L., Ryan C. G. Trace elements in indicator minerals: Area selection and target evaluation in diamond exploration // Journal of Geochemical Exploration. – 1995. – V. 53. – P. 311.



Иванова И. И.<sup>1</sup>, Рюмин Р. В.<sup>2</sup>, Краснов А. Н.<sup>3</sup> (krasnov@tsnigri.ru)  
<sup>1</sup> АО «СНИИГГиМС»,<sup>2</sup> АО «СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЕ ПГО»,<sup>3</sup> ФГБУ «ЦНИГРИ»

## ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ТИПА НА ТЕРРИТОРИИ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АДАПТИВНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

*В отличие от нефтяной геофизики, где работа с BigData является нормой, в современной рудной геофизике заметен огромный отрыв технического прогресса, связанного со стремительно развивающимися цифровыми технологиями от застоя в развитии методологии геологической интерпретации геофизических данных. Показан подход к интерпретации геологических данных, основанный на выявлении статистических закономерностей между измеренными физическими параметрами (УЭС, ВП, намагниченности и др.) с типом пород и их свойствами, включая содержание полезных ископаемых.*

*Ключевые слова: адаптивная геофизика, медно-порфировое месторождение, ВЭЗ-ВП, магниторазведка, построение трехмерных геолого-геофизических моделей, BigData в рудной геологии.*

Применим такое решение к геофизическим данным, полученным в ходе полевых работ на Шхиперской площади в 2021 году. Данные измерений на площади обработаны, но не заверены бурением. В качестве «двойников месторождений», то есть эталонных объектов используем месторождения, расположенные недалеко от участка работ и имеющие схожую геологическую природу.

Выбор территории обусловлен тем, что в Магаданской области расположен целый ряд перспективных на медь, золото, серебро, молибден и другую руду участков (рудопроявлений и месторождений), при этом территория Шхиперской площади является малоизученной. Ранее на ней не проводились электроразведочные работы и бурение поисковых скважин на руду. Из геофизических работ выполнены магниторазведка и гравиразведка в аэроварианте. В связи с малой изученностью и наличием геохимических аномалий данный регион является потенциально перспективным на поиски скрытого оруденения и открытие новых месторождений.

В геологическом строении участка работ принимают участие отложения средней и верхней юры, интенсивно дислоцированные складчатыми деформациями и разбитые на отдельные блоки поперечными дизъюнктивами сбросового типа.

Основной задачей проведения работ на площади служило изучение глубинного геологического строения (до 200–300 м). Работы включали построение геоэлектрического разреза по параметрам УЭС и ВП. Оконтуривание перспективных участков проводилось наземной магниторазведкой и электроразведочной съемкой методом ВП-СГ. После выполнения обработки в виде инверсии полевых геофизических материалов, алгоритм адаптивной интерпретации предполагал решить следующие вопросы:

1. Какие значения УЭС присущи каждой свите, учитывая, что с увеличением глубины определение значения УЭС становится крайне условным при одномерной инверсии и отсутствии площадной съемки.
2. Какие магнитные свойства характерны различным элементам геологического строения (намагниченность, магнитная восприимчивость, зависимость от температуры).
3. Какие плотностные и упругие свойства имеют породы, какие аномалии мы можем наблюдать на гравитационном поле, как они проявятся на сейсмических разрезах.
4. Что показывают спектрометрические исследования, какие содержания радиоактивных элементов.

В работе использованы материалы геологических, геохимических и геофизических работ, выполненных различными организациями на исследуемой территории начиная с 1930-х годов по настоящее время (Ю. Г. Попов, 1933; Л. Г. Шпилько и М. В. Горбачева, 1974; С. А. Шубин, Л. И. Ртищева, В. К. Рочева и др., 2005).

В результате обработки получены значения физических свойств, характерных для района работ. Определено предположительное геологическое строение исследуемого участка, и построена его трехмерная модель.

В заключение отметим, что применение адаптивной технологии в геологической интерпретации геофизических данных является новой альтернативой устаревшей «палеточной» технологии интерпретации. Такие исследования позволяют приблизиться к решению проблемы соответствия геофизических моделей реальным геологическим объектам, а также прогнозировать эффективность применения полевых работ до начала их выполнения. Потенциал использования адаптивной технологии в рудной геофизике заключается в рациональном использовании средств на геолого-геофизические поисковые работы.

**Игнатов П. А.** <sup>1</sup>([petrignatov@gmail.com](mailto:petrignatov@gmail.com)), **Еременко Р. У.** <sup>1</sup>,  
**Толстов А. В.** <sup>2</sup>([vgre@alrosa.ru](mailto:vgre@alrosa.ru)), **Овчинников И. М.** <sup>2</sup>  
<sup>1</sup> МГРИ-РГГРУ, <sup>2</sup> Вилюйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)

#### ПЕРСПЕКТИВЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СКАНДИЯ В МАЛО-БОТУОБИНСКОМ, СРЕДНЕ-МАРХИНСКОМ И ЫГЫАТТИНСКОМ АЛМАЗОНОСНЫХ РАЙОНАХ ЯКУТИИ

*Впервые на основании предпосылок образования скандиевых руд в древних корах выветривания и зонах древнего пластового окисления в породах верхнего палеозоя в Мало-Ботуобинском, Средне-Мархинском и Ыгыаттинском алмазоносных районах Якутии выделены перспективные рудопрооявления Sc и сопутствующих Co, Ni и Ce.*

*Ключевые слова: базиты, кимберлиты, кора выветривания, пластовое окисление, рудопрооявление, скандий.*

Диверсификация геологоразведочных работ АК АЛРОСА (ПАО) включает проведение поисков месторождений меди, никеля, благородных и редких металлов. Среди них важное значение может иметь скандий. Скандий – один из самых дорогих металлов в мире, имеющий быстро расширяющуюся сферу применения [1, 6, 7, 8]. Скандий – базитофильный элемент. В месторождениях скандий в абсолютном большинстве случаев является попутным компонентом [1, 6]. Однако можно его рассматривать и в качестве главного компонента [8]. Среди промышленных типов месторождений следует обратить внимание на те два, которые могут присутствовать в Якутии: ванадий-скандий-рениевый тип в рудах урановых пластово-инфильтрационных месторождений в песчаниках и латеритные коры выветривания с кобальт-никелевыми рудами. В Западно-Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) известно крупное редкометалльное карбонатитовое месторождение Томтор с рудами в переотложенных корах выветривания со средним содержанием скандия 390 ppm [1].

В ЯАП имеются предпосылки образования месторождений скандия в древних корах выветривания и в связанных с эпигенетическим окислением породах верхнего палеозоя. Они включают: 1) широкое распространение базитов в девонских и мезозойских траппах, а также кимберлитов и карбонатитов – источников скандия и попутных компонентов: Co, Ni, REE; 2) широкое распространения зрелых кор выветривания каменноугольного и мезозойского возрастов [2, 5]; 3) вероятное широкое распространение древнего внутривластового, трещинно-пластового и грунтового окисления в крупных поднятиях, которые занимают кимберлитовые районы; 4) унаследованное телескопированное воздействие на материал кор выветривания древних грунтовых и пластовых кислых вод, агрессивных по скандию и попутным компонентам, и действие щелочного и сорбционного барьеров в глинистых горизонтах кор выветривания, развитых на терригенно-карбонатных породах нижнего палеозоя, базитах и кимберлитах; 5) относительно хорошая опосредованность районов на доступных до 100 м глубинах.

Явные признаки древнего пластового окисления выявлены на хорошо изученной площади Улахан-Курунг-Юрях, занимающей 8,2 км<sup>2</sup>, где задокументировано 244 разреза по керну достаточно плотной сети поискового бурения (от 200 x 200 до 100 x 100 м). Рассматриваемая площадь является частью крупного неоген-четвертичного поднятия Маревое, которое унаследовано с позднего палеозоя, поскольку здесь резко сокращены до первых десятков метров разрезы карбона-перми и юры [4]. Севернее Маревского поднятия известна похожая Нижне-Ботуобинская положительная морфоструктура. В пределах этих структур широко распространены коры выветривания каменноугольного возраста [2]. Несмотря на хорошую изученность позднепалеозойских отложений, до сих пор для этих толщ не были отмечены признаки эпигенетического окисления. Такие признаки авторы обнаружили в рассматриваемых первично сероцветных породах верхнего палеозоя и в захороненной коре выветривания каменноугольного возраста. В разрезах ботуобинской и боруллойской свит они выражены лимонитизацией и осветлением первично сероцветных пород. Доказательством развития внутрипластового окисления в рассматриваемой толще служат фрагменты латеральной зональности с разной интенсивностью окисления пород.

На площади Улахан-Курунг-Юрях в кровле холмолохской свиты под перекрывающими терригенными каменноугольными отложениями очень часто встречается древняя площадная кора выветривания. Она представлена известковистыми монтмориллонит-гидрослюдистыми глинами с интервалами сидерита. Ее строение и минеральный состав подробно описаны в работах Н. Н. Зинчука [2]. В этих образованиях авторы также обнаружили проявления окисления, которые следует считать трещинно-пластовыми. В некоторых разрезах верхней части холмолохской свиты кембрия обнаружено окисление по крутопадающим трещинам.

Отмеченные факты позволяют предположить, что при развитии зон окисления существовал единый водоносный комплекс, включавший пласты песчаников в карбоне-перми, трещинно-пластовый коллектор коры выветривания и линейные трещинные зоны в крутопадающих разломах в породах кембрия.

Окислительно-восстановительные процессы в породах карбона-перми и в подстилающей коре выветривания подтверждаются по радиогеохимическим данным, полученным по рентгенофлуоресцентным анализам (РФА). Коэффициент корреляции между торием и ураном, рассчитанный по 42 анализам, составил 0,95 при Th/U более 4, что соответствует кларковым содержаниям и отсутствию привноса-выноса урана. Тот же коэффициент, рассчитанный по 97 анализам при Th/U менее 4, составил 0,25. При этом субфоновые содержание урана растут, а тория практически неизменны. Это отражает миграцию урана и его осаждение на сорбционном лимонитовом барьере, а также относительную концентрацию радия в сульфатной среде. Существование сульфатной среды фиксируется и по присутствию гипса в лимонитизированных песчанках ботуобинской свиты карбона и окисленных породах коры выветривания. Вероятно присутствие надмерзлотных сульфатных вод.

С зонами внутрипластового, пластово-трещинного и трещинного окисления могут быть связаны процессы эпигенетического рудообразования. В частности, вероятны рудные концентрации базитофильных элементов – скандия, ванадия и, возможно, рения, что нашло подтверждение на площади Улахан-Курунг-Юрях в породах нижнего и верхнего палеозоя и каменноугольной коре выветривания холмолохской свиты – из 1579 РФА в 44 пробах содержание скандия установлено от 30 до 82 ppm, что соответствует рудным ореолам. Кроме того, установлены повышенные концентрации обоих элементов в коре выветривания и положительная корреляция между ними.

В Слюдякарском алмазоносном поле Ыгыаттинского района Якутии также отмечены признаки эпигенетического пластового окисления. Здесь из 4082 анализов РФА в 109 пробах содержания скандия превысили 30 ppm, в девяти – выше 100 ppm. Семь из девяти проб с такими концентрациями отобраны из Слюдякарских кимберлитов, причем пять из них взяты из древней коры выветривания и расположены на глубинах 30–50 м. Вместе со Sc концентрируются Со и Ni. Все скопления скандия выше 100 ppm локализованы вдоль одной линии рудовмещающего субширотного сдвига, установленного по ряду признаков [3]. Полоса скандиевого оруденения составляет не менее 400 м при ширине не менее 10 м, мощности 2 м и представляется перспективным рудопроявлением.

В Средне-Мархинском районе из 30 802 РФА в 1252 содержания скандия превысили 30 ppm, а в 37 пробах его содержание оказалось более 100 ppm. Из них 32 пробы отобраны из отложений дяхтарской свиты триас-юрского возраста, представленной материалом переотложенных кор выветривания известковистого монтмориллонит-гидрослюдистого состава триас-юрского возраста [5]. Эти пробы взяты с глубин от 63 до 85,5 м. В основном они представлены глинами, что указывает на близкий к элювию материал. Среди них надо выделить ореол, который находится в узле пересечения Дюостахского, Западного и Диагонального разломов, выполненных дайками основного состава девонского возраста. Следует учитывать, что именно в разломах северо-восточного простирания в Накынском поле сосредоточены трубки взрыва щелочно-базитового состава, которые вместе с интрузиями могли быть источником скандия и сопутствующих элементов в древней коре выветривания. В Накынском поле имеется еще 14 разрезов по поисковым скважинам, в которых в глинах дяхтарской свиты примерно на тех же глубинах определены содержания скандия выше 100 ppm. Среди них надо отметить скважину 396–472, в которой в четырех пробах, отобранных с глубин 30,4, 37,4, 42,4 и 52,4 м, охвативших пачку в 22 м, содержания скандия составили соответственно 107,7, 130,2, 133,7 и 452,4 ppm. В последней, очевидно рудной по скандию пробе, концентрации церия составили 110,4 ppm. Получается, что вскрыто комплексное Ce-Sc рудопроявление.

Таким образом, в трех районах ЯАП реализованы потенциально промышленные скопления скандия.

#### Список литературы:

1. Быховский Л. З., Потанин С. Ж., Котельников Е. И., Ануфриева К. И. [и др.]. Редкоземельное и скандиевое сырье России // Минеральное сырье. – 2018. – № 31. – 216 с.
2. Зинчук Н. Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы. – Новосибирск : НГУ, 1994. – 240 с.
3. Игнатов П. А., Зарипов Н. Р., Толстов А. В., Колесник А. Ю., Мальцев М. В. Гидротермальная минерализация в осадочных породах кембрия как индикатор рудовмещающей структуры кимберлитов Сюльдюкарского поля Якутии // Руды и металлы. – 2021. – № 1. – С. 93–105.
4. Коробков И. Г. Тектоника, палеогеография и базитовый магматизм алмазоносных районов восточного борта Тунгусской синеклизы. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2015. – 353 с.
5. Никулин И. И., Савко А. Д. Литология алмазоносных нижнеюрских отложений Накынского кимберлитового поля (Западная Якутия) // Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета. – Воронеж : ВГУ, 2009. – 134 с.
6. Поликашина Н. С. Требования к качеству минерального сырья, содержащего редкие и редкоземельные металлы. Скандий / науч. ред. Л. З. Быховский, ред. Л. П. Тигунов. – М. : ВИМС, 2016. – 65 с.
7. Williams-Jones A. E., Vasyukov O. V. The Economic Geology of Scandium, the Runt of the Rare Earth Element Litter // Economic Geology. – 2018. – V. 113, № 4. – P. 973–988.
8. Zhenchao Wang, Martin Yan Hei, Zerui Ray, Meifu Zou. Scandium: Ore deposits, the pivotal role of magmatic enrichment and future exploration // Ore Geology Reviews. – 2021. – P. 1–15.

## ЗОЛОТОНОСНЫЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ

*Фундаментальные проблемы экзогенной геохимии золота сводятся к решению трех основных задач: 1) обоснованию мобильности золота в ходе формирования профиля выветривания и моделированию процессов его переноса и концентрирования (физико-химический аспект); 2) доказательству трансформации и новообразования самородного золота и его разнообразных вторичных соединений в коре выветривания (минералогический аспект); 3) обоснованию возможности формирования значимых «гипергенных» концентраций не только за счет окисления руд эндогенных месторождений, но и за счет слабозолотоносных зон вкрапленно-прожилковой и рассеянной сульфидной и сульфидно-кварцевой минерализации (металлогенический аспект).*

*На основании изучения геологии и минерало-геохимических особенностей золотоносных кор выветривания разных регионов мира авторы развивают представления о том, что золото в гипергенных условиях может не только растворяться и рассеиваться, но и концентрироваться на различных геохимических барьерах.*

*Ключевые слова: золотоносные коры выветривания, новообразованное золото, вторичное обогащение.*

Изучению кор выветривания посвящена обширная советская научная литература, однако их рудоносность рассматривалась преимущественно с точки зрения бокситоносности. Золотоносные разности кор выветривания начали всерьез восприниматься лишь со второй половины XX в. Тем не менее, открытия многочисленных месторождений, в которых легкообогатимые гипергенные руды составляли важную часть промышленных запасов привели к тому, что в ряду главнейших геолого-промышленных типов золоторудных месторождений месторождения золотоносных кор выветривания заняли своё достойное место. Особенно значима их роль для Австралии и многих стран Африки, Азии, Южной и Центральной Америки. В России количество месторождений Au, в которых продукты выветривания составляют значимую часть рудного потенциала, неуклонно растет (Олимпиадинское, Покровское, Воронцовское, Светлинское, Новогоднее-Монто, Каталамба и др.). При изучении, разведке и эксплуатации таких месторождений появляется много разрозненного материала, требующего современного анализа и обобщения.

Фундаментальные проблемы экзогенной геохимии золота, в принципе, сводятся к решению трех основных задач: 1) обоснованию мобильности золота в ходе формирования профиля выветривания и моделированию процессов его переноса и концентрирования (физико-химический аспект); 2) доказательству трансформации и новообразования самородного золота и его разнообразных вторичных соединений в коре выветривания (минералогический аспект); 3) обоснованию возможности формирования значимых «гипергенных» концентраций не только за счет окисления руд эндогенных месторождений, но и за счет слабозолотоносных зон вкрапленно-прожилковой и рассеянной сульфидной и сульфидно-кварцевой минерализации (металлогенический аспект).

Детальное рассмотрение всех вышеперечисленных проблем, в конечном итоге, позволит приблизиться к решению основной фундаментальной задачи данного раздела экзогенной геохимии золота – выявлению условий и механизмов растворения, переноса, концентрирования и роста самородного золота при формировании кор выветривания.

Каждое из этих представлений будет рассмотрено в докладе, чтобы на примере конкретных месторождений показать авторское видение современного состояния проблем. Анализ базируется на собственных данных, полученных при изучении геологического строения и особенностей вещественного состава продуктивных минеральных ассоциаций месторождений золотоносных кор выветривания Российской Федерации – многочисленных объектов Салаирского кряжа (Егорьевское, Салаирское и Урское рудные поля), Горной Шории, Кузнецкого Алатау,

Енисейского кряжа, Бурятии, Приколымского поднятия – а также зарубежных стран: Республики Казахстан (Суздальское, Жерек, Акжал, Ашалы, Васильковское, Райгородок), Республики Гвинея, Алжирской Народной Демократической Республики, Королевства Марокко, Независимого Государства Папуа Новая Гвинея и других. На примере описанных в обширной литературе месторождений золотоносных кор выветривания с каолиновым, каолинит-гидрослюдистым и латеритным профилями обосновываются новые аспекты гипергенной геохимии золота в связи с достаточно высокой его мобильностью, способностью изменять свои минеральные и растворимые формы, концентрироваться на геохимических барьерах.

Изучение геологии и минералого-геохимических особенностей золотоносных кор выветривания были предметом многолетних исследований авторов [1–3], продолжающих развивать представления о том, что золото в гипергенных условиях может не только растворяться и рассеиваться, но и концентрироваться на различных геохимических барьерах. Что же можно считать признаком и следствием миграции и перераспределения золота в коре выветривания? В качестве общих параметров процессов перераспределения и, главное, концентрирования золота можно принять следующие факты:

- увеличение среднего содержания золота по сравнению с таковым в первичных минерализованных породах и рудах;
- накопление золота в виде субгоризонтальных обогащенных горизонтов, линз или гнезд, количество которых может варьировать;
- изменение среднего гранулометрического состава золота с увеличением крупности золота в продуктах выветривания относительно исходного субстрата;
- частичное гипергенное изменение морфологии первичного золота;
- наличие вторичного новообразованного золота, нередко высокопробного;
- связь золота с хемогенными вторичными минералами (лимонит, ярозит, гетит, гидроокислы Mn, опал, гипс, кальцит, глинистые минералы и др.);
- присутствие золота в различных современных минеральных новообразованиях, в грунтовых и поверхностных водах.

Приведенные признаки в совокупности с другими могут служить показателями миграции золота в процессах химического выветривания, будь то кора выветривания или зона окисления. Конечно, в природе обычно все сложнее и многообразнее. Многочисленные экспериментальные исследования по растворимости золота при стандартных физико-химических условиях зоны гипергенеза, формам его переноса в растворах и способам осаждения способствовали тому, что возможность растворения и последующего переотложения Au широко признана. Очень важными и слабоизученными являются вопросы о масштабах переотложения золота, дальности его миграции от коренных руд или минерализованных зон и концентрирования на геохимических барьерах.

Решение этих задач является, по сути, прикладным аспектом исследования золотоносных кор выветривания. С практической точки зрения наиболее важным представляется поиск ответов на три вопроса. Каковы соотношения средних содержаний Au в исходных эндогенных рудах и в образовавшихся по ним корах выветривания? Каковы масштабы укрупнения Au в коре выветривания? Когда, где и при каких условиях могут формироваться горизонты вторичного золотого обогащения в корах выветривания?

Эти же вопросы являются важнейшими применительно к техногенным отвалам и хвостохранилищам, накопленным за многие годы отработки золото-сульфидных, колчеданных и других типов месторождений.

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН.*

Список литературы:

1. Калинин Ю. А., Пальянова Г. А., Бортников Н. С., Наумов Е. А., Ковалев К. Р. Механизмы агрегации и дифференциации золота и серебра при формировании золотоносных кор выветривания (на примере месторождений Казахстана) // Доклады Академии Наук. – 2018. – Т. 482, № 2. – С. 190–195.

2. Калинин Ю. А., Росляков Н. А., Прудников С. Г. Золотоносные коры выветривания юга Сибири. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2006. – 339 с.
3. Kalinin Y. A., Palyanova G. A., Naumov E. A., Kovalev K. R., Pirajno F. Supergene remobilization of Au in Au-bearing regolith related to orogenic deposits: a case study from Kazakhstan // Ore Geology Reviews. –2019. – V. 109. – P. 358–369.

**Килижеков О. К. (vgre@alrosa.ru), Яхин Ш. М., Симонов В. В., Разумов А. Н., Толстов А. В.  
Вилуйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)**

#### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ ТРУБКИ МИР

*Выполнена доразведка наклонными буровыми скважинами глубоких горизонтов месторождения алмазов кимберлитовой трубки Мир. Получены новые данные по строению и запасам руды. Ожидается прирост запасов алмазов – около 40 млн кар. По результатам ТЭО и Государственной экспертизы отчета будет принято решение о возобновлении подземной отработки месторождения.*

*Ключевые слова: трубка Мир, кимберлиты, оценка, разведка, алмазы.*

«Закурили трубку Мира. Табак отличный...». Эта знаменитая телеграмма, отправленная из поселка Новый в Нюрбу, стала крылатой благодаря множеству публикаций, посвященных открытию якутских алмазов, в разных газетах, журналах и книгах. Коренное месторождение алмазов – кимберлитовая трубка Мир – открыта 13 июня 1955 г. геологами Амакинской экспедиции Ю. И. Хабардиным, Е. Н. Елагиной, В. П. Авдеенко по прогнозной карте геолога Н. В. Кинд. В соответствии с «Классификацией запасов...» месторождение трубки Мир отнесено ко 2-й группе сложности геологического строения. Согласно «Методическим рекомендациям...» месторождение соответствует группе весьма крупных по размерам и запасам полезного ископаемого кимберлитовым трубкам сложной формы [2].

До глубины 300 м трубка Мир имеет овальную в плане форму, вытянутую в северо-западном направлении воронкообразную диагрену с размерами на поверхности 340 x 225 м, переходящую с глубиной в канал с субвертикальными бортами [1]. Соотношение длинной и короткой осей горизонтальных сечений трубки возрастает от 1,5 на дневной поверхности до 2,4 на горизонте с абсолютной отметкой –300 м. В интервалах горизонтов –300...–700 м горизонтальное сечение трубки приобретает удлиненно-овальные очертания.

С 1957 до 2001 г. месторождение обрабатывалось открытым способом. На конечной стадии карьер имел глубину 525 м и диаметр 1,2 км на дневной поверхности. За годы разработки открытым способом из месторождения извлечено около 350 млн м<sup>3</sup> горной массы.

В 2001 г. начато строительство подземного рудника, первый пусковой комплекс был введен в эксплуатацию в 2009 г., начата добыча руды. Проектная мощность рудника по добыче (1 млн т руды в год) достигнута в 2016 г. По состоянию на июль 2017 г. на подземном руднике добычные работы велись в блоках 6 и 7 с абсолютными отметками –210/–410 м. Полностью пройдены и сданы в эксплуатацию горизонты –210, –310, –410 м, в стадии строительства находились горизонты с абсолютными отметками – 510 и –615 м. Однако 04.08.2017 г. на месторождении трубки Мир произошел неконтролируемый прорыв рассолов, скопившихся в чаше карьера, вызвавший затопление подземных горных выработок. В настоящее время рудник находится в режиме «мокрой» консервации, заключающейся в управляемом подтоплении месторождения с поддержанием уровня воды в карьере за счет отвода части дренажных рассолов из карьера по водоотводящей штольне (отм. –152 м) с последующей откачкой их из штольни погружными насосами, расположенными на берме +235 м карьера. Выработки рудника под рудным целиком (отм. –210 м) полностью затоплены.

С целью оценки дальнейших перспектив возобновления добычных работ на месторождении трубки Мир институтом «Якутнипроалмаз» в 2018 г. выполнены ТЭС целесообразности инвестиций в строительство нового рудника на месторождении трубки Мир в пределах абсолютных отметок –565...–1300 м. В связи с отмеченным коммерческим потенциалом проекта Инвестиционным комитетом АК «АЛРОСА» (ПАО) решено осуществить финансирование геологоразведочных работ с проведением геологического изучения недр в пределах абсолютных отметок –900...–1300 м с рассмотрением результатов для принятия решения о целесообразности инвестиций в строительство подземного рудника. Таким образом, для поддержания уровня алмазодобычи, принятия решения и проработки вариантов дальнейшей эксплуатации месторождения с учетом замечаний и рекомендаций ГКЗ РФ, требований пункта 5 статьи 23 Закона РФ «О недрах» (об обеспечении наиболее полного извлечения из недр запасов месторождения) было принято решение об изучении глубоких горизонтов месторождения с определением их запасов и морфологии.

Проект на геологическое изучение и оценку промышленной ценности глубоких горизонтов месторождения алмазов трубки Мир в рамках лицензий ЯКУ 0294 КП и ЯКУ 06037 КП в 2019–2022 гг. подготовлен геологами Вилюйской ГРЭ. Геологическое изучение недр проводилось силами Вилюйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) с привлечением подрядных организаций. Работы проводились за счёт собственных средств АК «АЛРОСА» (ПАО).

Задачи разведки решались путем проходки веера наклонно-направленных скважин из основного (материнского) ствола № 308, опробования и обогащения керновых проб. Проходка скважин осуществлялась с юго-западного борта карьера трубки Мир. Бурение осуществлялось подрядчиком ВПТН «Нефтемаш» с применением винтовых забойных двигателей с контролем положения трассы скважины телеметрической системой по гидроканалу. Буровые работы завершены в июле 2021 г., в результате было пройдено 14 наклонно-направленных стволов буровых скважин общим объемом 11 189 пог. м, из них без керна – 7594 пог. м, с керном – 3561 пог. м. Всего отобрано 130 проб, общая длина опробования составила 1896 пог. м. Обогащено 38 т проб. Также пройдены две вертикальные геомеханические скважины № 309 и № 310 для изучения гидрогеологических, газодинамических и инженерно-геологических свойств вмещающих пород в местах предполагаемого строительства новых шахтных стволов.

В результате геологического изучения и оценки промышленной ценности глубоких горизонтов трубки Мир (абсолютные отметки –900...–1300 м) были определены размеры, морфология, вещественный и изотопный состав, изучены инженерно-геологические, гидрогеологические и газовые условия кимберлитов его глубоких горизонтов. В ходе доразведки глубоких горизонтов изучены основные петрологические, петрохимические и изотопные характеристики разновидностей кимберлитов трубки Мир, аналогичные таковым из верхних отработанных горизонтов месторождения и других кимберлитовых тел Малоботуобинского и Средне-Мархинского районов [3, 4]. Подтверждены основные параметры алмазности месторождения на глубинах 1250–1650 м. Установлено, что в пределах разведываемых горизонтов форма рудного тела остается удлиненно-овальной, а не резко переходит в дайкообразную, как предполагалось ранее. При этом запасы руды возрастают, а ожидаемый прирост запасов алмазов во вновь разведанных блоках составит около 40 млн кар.

После прохождения Государственной экспертизы отчета с подсчетом запасов алмазов по кат. С<sub>2</sub>, запланированной на II квартал 2022 г., утверждения запасов в ФБУ «ГКЗ», при получении положительных результатов об экономической целесообразности добычи и подтверждения возможности осуществлять работу на руднике с обеспечением максимального уровня промышленной безопасности будет принято решение по дальнейшему возобновлению работы подземного рудника Мир.

#### Список литературы:

1. Костровицкий С. И., Speziус З. В., Яковлев Д. А., Фон-дер-Флаас Г. С., Суворова Л. Ф., Богуш И. Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции. – Мирный : МГТ, 2015. – 480 с.



2. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (Алмазы). – М. : ФГУ ГКЗ, 2007.
3. Lapin A. V., Tolstov A. V., Antonov A. V. Sr and Nd Isotopic compositions of kimberlites and associated Rocks of the Siberian craton // *Doklady Earth Sciences*. – 2007. – V. 414, № 1. – С. 557–560.
4. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Minin V. A., Tolstov A. V. Petrochemical evaluation of the Diamond potentials of Yakutian kimberlite fields // *Geochemistry International*. – 2010. – V. 48, № 4. – С. 346–354.

**Кириллина А. В. (KirillinaAV@alrosa.ru), Мальцев М. В. (MaltsevMV@alrosa.ru),  
Бережнев И. И. (BerezhnevII@alrosa.ru)  
Вилуйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)**

#### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ КИМБЕРЛИТОВ В ЫГЫАТТИНСКОМ АЛМАЗОНОСНОМ РАЙОНЕ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

*Описываются геохимические методы поисков коренных алмазных месторождений на Сьюльдюкарской площади. Итогом являются рассмотрение высококонтрастных аномалий и установление границ перспективных участков.*

*Ключевые слова: кимберлиты, геохимические аномалии, линеаменты, аномальные концентрации, ореолы.*

Прикладная геохимия является единственной ветвью геологии, где математические методы доведены до практического использования в виде расчетных средств в рамках элементарных построений (определение фона методами статистики, расчет аномалий, коэффициентов зональности, интенсивности и др.). Для повышения эффективности геохимических работ необходимо перейти от обработки цифр и интерпретации аномалий к построению и проверке концептуальных моделей с геохимическими проблемами формирования магматических комплексов. Для прогресса в интерпретации геохимических данных важно осознать возможность появления минералого-геохимических индикаций геохимических аномалий определенного состава на каждом уровне развития магматического комплекса [2].

Сьюльдюкарская кимберлитовая трубка в недавно открытом кимберлитовом Сьюльдюкарском поле Ыгыаттинского района Якутии прорывает нижнепалеозойские терригенно-карбонатные породы, которые перекрыты каменноугольно-пермскими угленосными отложениями, а также мезозойскими туфами и покровами, содержащими силлы базальтов трапповой формации. Траппы широко распространены, что резко ограничивает использование геофизических методов поисков коренных алмазных месторождений. Также ограничено применение традиционного шлихоми-нералогического метода поисков кимберлитовых тел, поскольку базальные горизонты карбон-пермского возраста сложены аллювиально-дельтовыми отложениями. В таких условиях поисковая значимость геохимических исследований существенно возрастает [1].

Геолого-геохимические работы на Холомолоох-Сьюльдюкарской площади (Ягнышев, 1988) включали в себя литохимическое опробование потоков рассеяния (по основным водотокам), площадное литохимическое опробование открытых территорий с целью обнаружения вторичных ореолов рассеяния, опробование сохранного керна и сбор архивной информации. Комплексный анализ данных показал, что границы аномального геохимического поля достаточно наглядно визуализируют основные дизъюнктивные структуры района – разломы Вилуйско-Мархинской, Анабаро-Мирнинской и Батырской зон. Полиэлементные аномалии, некие первичные ореолы рассеяния равномерно распределены по площади, располагаясь либо на линиях разломов, либо между ними. Из выделенных семи ореолов для заверочных (на кимберлиты) работ выделяют два – Бысысырдах и Аппычинский. Первый из них попадает в контур участка Восточный, выделенный специалистами Вилуйской ГРЭ после обнаружения Сьюльдюкарской трубки как перспективный.

В породах Ыгыаттинской площади выявлены аномальные концентрации никеля, их значения колеблются около отметки, равной двум геохимическим фонам, что значительно ниже, чем в породах Накынской площади. А распределение аномалий W, Sr и Co нижнепалеозойских пород схоже аномальным породам Накына. Они слагают разноразмерные участки, хаотично распределенные по площади. Высококонтрастные аномалии никеля, напротив, характеризуются ограниченным распространением, занимая небольшие пространства. Цинк образует узкие вытянутые ореолы преимущественно в западной части планшета.

По результатам геохимических работ установлены аномалии W, Sr, Ni, Co и Zn. На первый взгляд, картина получилась мозаичной и совершенно неинформативной. Однако если принять во внимание вскрытые на примере Накынской площади эмпирические закономерности, а именно совмещенность в пространстве разноэлементных ореолов, то мозаика приобретает структурированные очертания. Из наложенных один на другой ореолов W, Sr, Ni, Co вытянутые ореолы цинка «вырезают» компактные участки, которые вытягиваются вдоль линеаментов, проведенных по аномальным (гидротермально измененным) долеритам. В одну из этих цепочек укладывается Сюльдюкарская трубка (Минин, 2019).

В Накынском кимберлитовом поле вытянутые в северо-восточном направлении совмещенные ореолы W, Sr, Ni, Co и Zn совпадают с известными кимберлитовыми телами, на Ыгыаттинском полигоне мы видим очень похожую картину. Из чего следует, что участки совмещения аномалий перечисленных элементов можно считать перспективными на обнаружение кимберлитов. Для заверки геохимических аномалий при проведении ГРП можно рекомендовать буровую сеть в виде конверта скважин (одна в центре и четыре по краям).

Список литературы:

1. Игнатов П. А., Колесник А. Ю., Толстов А. В., Мальцев М. В. Геологические признаки рудовмещающих структур Сюльдюкарского кимберлитового поля Якутии // Горный журнал. – 2019. – №10. – С. 67–71.
2. Крицук И. Н., Питулько В. М. Основы интерпретации данных поисковой геохимии. – Ленинград : Недра, 1990. – 336 с.

**Козлов Г. А. (Gleb98-210@yandex.ru)  
ФГБУ «ВСЕГЕИ»**

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ СТРАТИФОРМНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА В ПАЛЕОЗОЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

*Обсуждаются особенности локализации стратиформного свинцово-цинкового в карбонатных толщах оруденения (MVT-тип) в юго-восточной части Сибирской платформы в районе среднего течения р. Лена. Приводятся новые данные о рудно-формационной и геолого-промышленной принадлежности руд, их положении в структурах геологического строения, минерагенической зональности, соотношении со структурно-тектоническим и фациальным районированием территории. Также приводятся данные о минералого-геохимических особенностях руд и ассоциированных с ними гидротермально-метасоматических образований.*

*Ключевые слова: свинец, цинк, руда, Миссисипский тип, перспективы, кембрий.*

Стратиформное свинцово-цинковое оруденение широко распространено в карбонатных бассейнах пассивной окраины Сибирской платформы. В структуре её минерагенической зональности выделены четыре минерагенические зоны (МЗ), специализированные на стратиформное

Pb-Zn оруденение: Кыллахская МЗ на юго-востоке; Туора-Сисская потенциальная МЗ на северо-востоке; Тычанско-Столбовская МЗ на юго-западе и Олокитская МЗ на юге, суммарно включающие 3 крупных и 2 средних месторождения, а также 87 рудопроявлений различной степени освоенности и перспективности [1–3]. Имеют возраст вмещающих их толщ от раннерифейского до позднеордовикского и локализованы в пределах форландов складчато-надвиговых систем.

Рудопроявления и пункты минерализации в незначительно деформированных краевых и внутриплатформенных прогибах остаются слабоизученными. Перспективами выявления промышленно-значимого оруденения обладает северный склон Алданской антеклизы, где выявлено 9 рудопроявлений и 50 пунктов минерализации свинца и цинка, рудно-формационная принадлежность которых до текущего момента не установлена. Оруденение наблюдается в пределах двух разрозненных участков развития кембрийских отложений в районе междуречья Бирюк и Марха (западная часть) и в междуречье Кетеме и Ботома (восточная часть) в пределах долины р. Лена.

Результаты работ отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГБУ «ВСЕГЕИ», проведенные в рамках составления комплектов геологических карт масштаба 1:1 000 000 листов Р-52 – Якутск и Р-51 – Олёкминск, показывают, что данные объекты обладают всеми атрибутивными признаками оруденения MVT-типа [1, 3, 5, 7], их локализация подчинена единому набору факторов контроля, а формирование оруденения на разрозненных участках происходило при одних и тех же процессах регионального масштаба.

Тектонический профиль территории характеризуется блоковой структурой кристаллического фундамента. В центральной части Алданской антеклизы, в районе устьев рек Туолба и Марха установлена область его неглубокого залегания (–0,2–0,4 км), именуемая Алдано-Ленским выступом [7]. К востоку, северу и западу от него отмечается резкое увеличение глубины залегания фундамента, соответствующее Берёзовскому, Кемпендяйскому и Амгинскому прогибам, осложненным структурами II и III-го порядка (Чаро-Бирюкский вал). Оруденение пространственно приурочено к участкам сочленения положительных и отрицательных морфоструктур фундамента, контролировавших как палеофациальный и палеогеографический профиль территории, так и геометрию палеогидрогеологической системы. Учитывая представления о границах Сибирского континента, в кембрийский период данные впадины имели внутриконтинентальное заложение [6, 7].

Глубинным строением обусловлено положение рудовмещающих рифогенных кембрийских образований, объединяемых в Западно-Якутский барьерный риф и Танхайско-Устьмильский риф [6]. Оруденение приурочено к двум основным стратиграфическим уровням, отвечающим отложениям тойонского яруса раннего кембрия и аюссоканского–сакского ярусов верхнего кембрия. В восточной части площади рудовмещающими выступают отложения кетеменской и титаринской свиты, сложенные массивными, реже тонкослоистыми пелитоморфными известняками и доломитами, сформировавшимися в обстановке предрифового склона. В западной части рудовмещающими выступают зарифовые лагунные, частично солеродные отложения чарской и ичерской свит, представленные известняками и доломитами, частично водорослевыми и битуминозными. Рифовые отложения тойонского возраста в центральной части площади не сохранились в геологической летописи, участки распространения отложений продуктивного яруса разобщены полосой коренных выходов более древних карбонатных пород атдабанского и ботомского возраста.

Верхнекембрийский продуктивный горизонт представлен карбонатно-глинистыми отложениями верхоленской свиты, сформированными в мелководно-морской лагунной обстановке. Примечательно то, что, несмотря на широкую область распространения рифогенных образований, фациальные аналоги данных отложений, сформированные в обстановке периодически затопляемых мелководно-морских банок, не вмещают проявления минерализации и не содержат повышенных концентраций цинка и свинца [4].

Размещение рудопроявлений контролируется зонами сочленения разновозрастных разрывных нарушений двух систем: конседиментационного и рифтогенного характера. Конседиментационная система разломов проявлена в виде линеаментов и разрывов, простирающие которых наследует общую ориентировку кембрийской рифовой структуры.

Синрифтовые тектонические процессы девонско-раннекаменноугольного времени сформировали в пределах юго-восточной и центральной Якутии значительную по площади магмо- и тектоноактивную зону, разделенную на несколько сегментов, оперяющих оси Палеовиллюйского и Молодинского грабен-рифтов. Перспективная площадь отвечает южному сегменту, Чаро-Синская зоне, объединяющей линейные пояса, сложенные трещинно-интрузивными комплексами. Её формирование привело к возникновению региональных проницаемых структур и миграции рудогенерирующих рассольных катагенетических вод в элизионном режиме. Отчетливая связь оруденения с процессами рифтогенеза выделяет его среди прочих объектов в пределах Сибирской платформы, формирующихся преимущественно в условиях орогенеза [8].

Текстурные и структурно-вещественные особенности Pb-Zn оруденения схожи в восточной и западной частях северного склона Алданской антеклизы, однако имеют и локальные отличия. Минеральный состав руд характеризуется пирит-сфалеритовыми, пирит-марказит-сфалеритовыми и пирит-сфалерит-галенитовыми парагенезисами. Для восточной части площади характерно преобладание галенита над сфалеритом, а для западной наблюдается широкое развитие пирит-сфалеритовых руд. Они формируют пропласты, пласты и субвертикальные зоны вкрапленной, прожилково-вкрапленной, прожилково-гнездовидной до брекчиевой и брекчиевидной минерализации мощностью от 0,5 до 2,5 м, при протяженности от 1–5 до десятков метров, часто с кулисообразным, многоярусным размещением. В долине р. Намана сульфидная минерализация в верхнекембрийских отложениях характеризуется площадным распространением на площади 20 км<sup>2</sup> (С. А. Гаев, 1992). Текстуры руд указывают на тесную ассоциацию процессов рудоотложения и кислотного выщелачивания карбонатных пород, что обусловлено физико-химическими условиями и стадийностью гидротермально-метасоматического (Г-М) процесса. Руды ассоциированы с полями площадных ореолов вторичной доломитизации и зонами околотрещинных кварц-карбонатных джаспероидов, приуроченных к зальбандовым частями рудных тел. Такая Г-М зональность характерна для месторождений MVT-типа, особенно для месторождений Мидконтинента США (бассейн Южный Миссури, Верхнемиссисипский бассейн, район Три-Стэйт) [8].

Рудная и Г-М зональности находятся в тесной связи и, несмотря на площадной характер распространения и приуроченность их ядерных зон к рудоподводящим разрывам, обладают отчетливым стратифицированным обликом. Изучение территорий потенциальных рудных полей известных рудопроявлений в долине рек Намана, Кетеме и Ботома указывает на выраженную PbZnAgMn специализацию руд и метасоматитов. Такая ассоциация является типоморфной для свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах, её положительные мультипликативные аномалии в точности совпадают с гидротермально-метасоматической и рудной зональностью, а наиболее контрастные аномалии относятся к рудопроявлениям полиметаллической минерализации. Другой отличительной особенностью руд является выраженное обеднение сульфидов Cd, Ge, In при незначительной примеси Cu и Fe.

По совокупности прогнозно-поисковых признаков оруденение территории соответствует Миссисипскому геолого-промышленному типу [3], но имеет свои региональные особенности геохимической специализации руд и связь рудоформирования с процессами континентального рифтогенеза. Рудоконтролирующие структуры имеют региональное распространение в пределах северного склона Алданской антеклизы, северная часть которой может рассматриваться в качестве крупной рудоносной структуры ранга минерагенической зоны, в основном перекрытой чехлом мезозойских отложений на водоразделе рек Лена и Вилюй в пределах южного борта Палеовиллюйской грабен-рифтовой системы. Геологическая изученность кембрийских отложений данной территории носит точечный характер. Отложения вскрыты лишь единичными скважинами, а площадь левобережья реки Лена очень слабо покрыта поисковыми и геолого-съёмочными работами. Проведение геолого-минерагенического картирования, ревизионных и поисковых работ в пределах данной площади с доразведкой известных рудопроявлений и разбраковкой их по степени перспективности позволит укрепить минерально-сырьевую базу Республики Саха (Якутия).

Список литературы:

1. Галямов А. Л., Волков В. А., Мурашов К. Ю., Сидорова В. Н., Кузнецова Т. П. Перспективы выявления месторождений миссисипского типа на Северо-Востоке России // *Лиосфера*. – 2020. – Т. 20, №2. – С. 254–270.
2. Дистанов Э. Г., Ковалев К. Р., Тарасова Р. С. Геологическое строение и генезис Озерного свинцово-цинкового колчеданного месторождения (Западное Забайкалье) // *Геология рудных месторождений*. – 1972. – № 2. – С. 3–22.
3. Донец А. И., Ручкин Г. В., Конкин В. Д. Геолого-промышленные типы и региональные геологические особенности стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах // *Отечественная геология*. – 2017. – № 6. – С. 31–38.
4. Козлов Г. А., Гузев В. Е., Молчанов А. В., Терехов А. В. Литолого-геохимические особенности раннекембрийских карбонатных отложений юго-восточной части Анабаро-Синской структурно-формационной области Республики Саха (Якутия) и их связь со стратиформным свинцово-цинковым оруденением // *Региональная геология и металлогения*. – 2021. – № 86. – С. 31–44.
5. Ручкин Г. В., Донец А. И. Стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах. – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 124 с.
6. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Кембрий Сибирской платформы. В 2 томах. Т. 1: Стратиграфия / Под ред. Ю. Я. Шабанова. – Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2016. – 497 с.
7. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) // Л. М. Парфенов, М. И. Кузьмин и др. – М. : МАИК Наука/Интерпериодика, 2001. – 571 с.
8. Leach, D. L., Taylor, R. D., Fey, D. L., Diehl, S. F., & Saltus, R. W. A deposit model for Mississippi Valley-Type lead-zinc ores, chap. A of Mineral deposit models for resource assessment: U.S. // *Geological Survey Scientific Investigations Report 2010 – 5070 – A*. – 2010. – 52 p.

**Колова Е. Е.<sup>1</sup> (kolova@neisri.ru), Глухов А. Н.<sup>1</sup>, Акинин В. В.<sup>1</sup>, Ползуненков Г. О.<sup>1</sup>,  
Аленичева А. А.<sup>2</sup>, Прийменко В. В.<sup>1</sup>, Касаткин Н. С.<sup>2</sup>, Шпикерман В. И.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> ФГБУН СВКНИИ ДВО РАН, <sup>2</sup> ФГБУ «ВСЕГЕИ»**

#### **ВОЗРАСТНЫЕ РУБЕЖИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ОХОТСКО-ЧАУНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ**

*Охарактеризованы медно-порфировые рудопроявления Охотско-Чаунской металлогенической провинции; приведены актуальные данные об их возрасте; показана непрерывность их формирования на протяжении всего периода становления позднемезозойской активной северо-восточной окраины Северо-Азиатского кратона; предложена гипотеза образования медно-порфировых руд провинции вследствие циклической смены конвергентных обстановок на трансформные в альб-кампанское время.*

*Ключевые слова: медно-порфировое оруденение, Охотско-Чаунская металлогеническая провинция, Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, активные окраины, конвергентные, трансформные, обстановки.*

Охотско-Чаунская металлогеническая провинция протягивается на 3500 км от р. Уда до крайней восточной оконечности Евразии – мыса Дежнева. Она включает два параллельных и на большей своей протяженности совмещенных в пространстве вулканогенных пояса: Охотско-Чукотский (альб-кампан) (ОЧВП) и Удско-Мургалский (титон-альб) (УМВП). ОЧВП рассматривается как тектонотип окраинно-континентальных вулканогенных поясов андийского типа [4]. По поводу УМВП исследователи сходятся во мнении, что это была активная континентальная окраина, режим которой в период 115–100 млн. лет назад сменился с субдукционного на трансформный [5].

Время формирования ОЧВП охватывает период 106–76 млн лет назад. Установлено, что магматизм имел прерывистый и импульсный характер с пиками 105, 100, 96, 92–93, 87, 82 и 77 млн лет назад [4]. Отличительными чертами ОЧВП от островодужных надсубдукционных систем являются значительно большие объемы кислого вулканизма, повышенные концентрации К, Ti, Р, широкое распространение преимущественно высокоглиноземистых, высококальциевых известково-щелочных разностей имеющих «адакитовые метки»: высокие Sr/Y, V/Sc, La/Yb,  $Al_2O_3/TiO_2$  [2], латеральную неоднородность мантийных источников магм, сложную конфигурацию и сегментацию структур, далеко вдающиеся в континент линейные вулканические прогибы (Ульинский, Омсукчанский). Время заложения ОЧВП совпадает с модельным периодом увеличения активности вдоль континентальной палеоокраины Северо-Западной Палеоокеаники, возрастания скорости движения Тихоокеанских плит и смены их векторов движения [9]. Эти данные позволяют рассматривать ОЧВП как следствие изменений геодинамического режима от конвергентной окраины к трансформной [8]. В таких условиях зарождаются известково-щелочные, высокоглиноземистые, обогащенные водой кислые магмы, являющиеся источником рудных элементов, серы и флюидов для медно-порфировых руд [10].

В Охотско-Чаунской провинции известно множество медно-порфировых объектов [7] размещенных вдоль современного берега Охотского моря (залив Шельтинга, Усинское, Оксинское, Осеннее, Уптар, Челябинское, мыс Речной, Антара, Лора, Тальниковый-Балочный, мыс Павловича, мыс Япон, мыс Кейтеван), приуроченных к поперечным относительно ОЧВП линейным магматическим зонам (Пиритовый (Дегдэнрэкен), Оттох, Ах-Су, Верхне Омолонское, Наяхан, Хрустальное, Вечернее, Захаренко, Кегали) и расположены вдоль сочленения ОЧВП с Корьякско-Камчатским вулканогенным поясом (Ольховское РП).

Медно-порфировые объекты Примагаданья представляют собой локальные порфировые системы, не имеющие эпитермальной составляющей. Руды имеют Cu-Mo геохимическую специализацию, относятся к штокверковому и вкрапленному типам, приурочены к штокам (до 4 км<sup>2</sup>) гранодиоритового, диоритового состава, зачастую порфирового облика, сопровождающимся гидротермально-магматическими брекчиями и зонально развитыми Q-КПШ-Рy-Cl-Seg метасоматическими изменениями. Для большинства перечисленных объектов вмещающей средой рудообразующей интрузии являются граниты ранних фаз. На отдельных объектах (мыс Речной, Антара, Тальниковый-Балочный) рудоносные штоки прорывают позднеюрско-раннемеловые вулканогенные отложения сигланской и мэлдекской толщ и перекрыты вулканитами и покровами базальтов попереченской и пьегинской толщ. И собственно порфировые интрузии и породы «рамы» принадлежат к известково-щелочной серии. Для них характерны: переменное содержание SiO<sub>2</sub> 61–74%; соотношение K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 0,6–0,8; обеднение высокозарядными элементами Nb и Та и обогащение Rb, Sr, Hf. U-Pb датирование (SHRIMP) циркона из рудоносных гранодиоритов позволило определить возраст объектов: рудное поле Лора (рудное тело 1) – 103 млн лет (коллекция СВКНИИ); шток мыса Речной – 100 млн лет (поле 2021 года); рудное поле Уптар (центральная рудная зона) – 95 млн лет (коллекция Шпикерман В.И.; поле 2021 г); Тальниковый-Балочный (центральная часть рудного поля, филлизит по гранодиориту порфиру) – 94 млн лет (поле 2020 года). Re-Os изотопия молибденита с рудной зоны Усинского рудопроявления показала возраст 99 млн лет (поле 2021 года).

Медно-порфировые рудопроявления, сосредоточенные в поперечных к ОЧВП структурах (Омсукчанский прогиб (Пиритовый, Оттох), Коркодон-Наяханский магматический ряд (В. Омолонское, Ах-Су, Наяхан), Конгинская магматическая зона (Захаренко, Хрустальное, Вечернее)) имеют Cu-Mo-Au геохимическую специализацию (для Коркодон-Наяханского ряда преимущественно Mo-Cu-Au), пространственно и генетически связаны со штоками (не более 4 км<sup>2</sup>) диоритового, гранодиоритового, сиенит-монцодиоритового состава, порфирового облика, прорывающими домеловые осадочные и меловые вулканогенно-осадочные комплексы. Рудоносные интрузии отличаются пониженными содержаниями редкоземельных элементов, Ni и Cr, повышенными – Cs, Rb, P, Ti, Ba, Rb, Sr, Nb, Sr, для них характерна ясно выраженная негативная Nb-Ta аномалия, относительно невысокие концентрации Rb, Ga, Zr, Nb, Ce, Y и значение индекса агпаитности < 0,7 [2]. Руды представляют собой штокверковый и вкрапленный тип. Для большинства этих объектов характерно наличие во фланговых частях рудных полей эпитермальных

полисульфидных и золото-серебряных жильно-прожилковых руд и четкая метасоматическая зональность от Q-КПШ ядра через  $Pu-Cl$  к зонам  $Ser$  и  $Arg$ , до вторичных кварцитов и  $Al$ . Установленный нами  $U-Pb$  возраст (SHRIMP) циркона из рудоносных диоритов составил: Пиритовый – 87 млн лет (поле 2019 г);  $Ax-Cu$  – 86 млн лет [3]; Захаренко – 86 млн лет [6]. Возраст руд  $Ax-Cu$ , определенный  $Re-Os$  датированием молибденита – 84,6 млн лет [3]. Возраст серицита из феллизитов Захаренко, установленный  $Ag-Ag$  методом – 87 млн лет [6]. Интересен тот факт, что возраст гранитов крупных массивов, в экзоконтактовых зонах которых расположены рудовмещающие штоки, моложе их примерно на 1–2 млн лет: Вилигинский (Пиритовый) – 85 млн лет (поле 2019 г), Незаметный ( $Ax-Cu$ ) – 84 млн лет [3].

В Анадырском сегменте ОЧВП медно-порфировое оруденение известно в Ольховском рудном поле [1, 11]. Штокверковая и вкрапленная минерализация приурочена к штоку ( $10 \text{ км}^2$ ) монзонитов, относящихся к Кавральянскому комплексу, прорывающему позднемеловые вулканы. В рудном поле широко проявлены кремне-щелочные, пропилитовые и филлизитовые метасоматические изменения. На фланговых зонах рудных полей распространены эпиптермальные золото-серебряные руды. Геохимическая специализация Ольховского рудного поля  $Cu-Mo-Au-Ag$ . Возраст рудогенных монзонитов 78 млн лет [11].

Полученные данные показывают, что периоды формирования медно-порфировых руд Охотско-Чаунской провинции совпадают с основными пиками магматической активности ОЧВП [4]. Признаков связи медно-порфирового оруденения с УМВП, как и вообще с доальбскими магматическими комплексами, нами не установлено. Рудогенерирующие магмы возникали не только на активной окраине континента, но и глубоко в ее тылу, на расстоянии 150–200 км. С юга на север наблюдается омоложение порфировых систем (с 103 до 78 млн лет), которое сопровождается сменой их типа (с собственно порфировых на порфирово-эпиптермальные) и геохимической специализации (с  $Mo-Cu$  на  $Mo-Au-Cu$ ). По нашему мнению, это объясняется структурной эволюцией позднемезозойской активной окраины из конвергентной (титон–альб) в трансформную (сеноман–кампан) [8]. Подобная трактовка позволяет скорректировать прогнозно-металлогенетические построения, приняв в качестве наиболее близкого аналога Охотско-Чаунской провинции не Анды, как это традиционно делалось, а калифорнийский отрезок Кордильер. Он наиболее близок и по трансформному характеру геодинамики, наличию в фундаменте вулканического пояса жесткой консолидированной структуры, аналогичной Омолонскому массиву (плато Колорадо), зональностью в распределении рудных систем различных типов: от собственно порфировых  $Mo-Cu$  (Моренси) до порфирово-эпиптермальных  $Au-Mo-Cu$  (Бингем, Йеррингтон).

#### Список литературы:

1. Авилова О. В. Особенности вещественного состава руд медно-порфировых проявлений Танюерского и Ольховского рудных районов (Центральная Чукотка) // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов. Сборник тезисов докладов VII научно-практической конференции. – М. : ЦНИГРИ. – 2017. – 132 с.
2. Акинин А. В., Бердников Н. В., Ползуненков Г. О., Глухов А. Н., Колова Е. Е. Геохимические критерии известково-щелочных магм, перспективных на обнаружение медно-порфировых месторождений на Северо-Востоке России // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2020. – № 1. – С. 3–10.
3. Акинин В. В., Колова Е. Е., Савва Н. Е., Горячев Н. А., Маматюсупов В. Т., Кузнецов В. М., Альшевский А. В., Ползуненков Г. О. Возраст гранитоидов и ассоциирующего молибден-порфирового оруденения Коркодон-Наяханской зоны, Северо-Восток России // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2019. – № 4. – С. 3–8.
4. Акинин В. В., Миллер Э. Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканического пояса // Петрология. – 2011. – Т. 19, № 3. – С. 249–290.
5. Горячев Н. А. Удско-Мургальская магматическая дуга: геология, магматизм, металлогения // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России: сборник научных трудов. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. – 2005. – С. 17–38.

6. Глухов А. Н., Прийменко В. В., Фомина М. И., Акинин В. В. Металлогения Конгинской зоны Омолонского террейна (Северо-Восток Азии) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2021. – № 2. – С. 3–16.
7. Колова Е. Е., Глухов А. Н. Потенциал выявления медно-порфировых руд на территории Магаданской области // Наука Северо-Востока России: фундаментальные и прикладные исследования в Северной Пацифике и Арктике. – 2020. – С. 92–95.
8. Ханчук А. И., Гребенников А. В., Иванов В. В. Альб-сеноманский окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция тихоокеанской Азии // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38, № 3. – С. 4–37.
9. Engebretson D. C., Cox A., Gordon R. G. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific Basin // Special Paper. Boulder. Geological Society of America. – 1985. – V. 206. – 59 p.
10. Loucks R. R. Distinctive composition of copper-ore-forming arcmagmas // Australian Journal of Earth Sciences. – 2014. – V. 61, № 1. – P. 5–16.
11. Rogacheva L., Baksheev I. Mineralogy of metasomatic rocks and geochronology of the Olhovka porphyry-copper deposit, Chukotka, Russia // 33rd Annual General Meeting. – 2010. – P. 39–40.

**Конкин В. Д. (konkin@tsnigri.ru)  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

## СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ ПРИЗНАКОВ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ПРОВИНЦИЙ С ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫМИ ФОРМАЦИЯМИ

*Приведены сведения о сходстве и различиях геолого-структурных обстановок нахождения полистадийно-полигенно-полихронных месторождений золото-углеродистого семейства в провинциях складчатого обрамления Сибирской платформы с разновозрастными (от протерозоя до мезозоя включительно) черносланцевыми формациями и их сульфидсодержащими фациями. Сделан вывод об однотипности прогнозно-поискового комплекса работ по поискам и оценке перспектив золотоносности черносланцевых формаций.*

*Ключевые слова: месторождения золото-углеродистого семейства, черносланцевые формации, фации, провинции, обрамление Сибирской платформы.*

Геолого-поисковые обстановки нахождения стратоидных месторождений золото-углеродистого семейства в провинциях складчатого обрамления Сибирской платформы с разновозрастными черносланцевыми формациями (от протерозоя до юры включительно) определяются сочетанием разномасштабных групп геологических факторов различной природы, полистадийно проявлявшихся на разных этапах формирования месторождений.

1. *Группа факторов*, характеризующих геотектонические и геологические обстановки накопления золотоносных черносланцевых формаций.

1.1 Палеотектонические и геодинамические факторы, обуславливающие накопление рудовмещающих толщ черносланцевой группы формаций, в латерально-вертикальных рядах геологических формаций, в рифтогенных и надрифтовых прогибах на шельфе и склоне континентальной окраины с рассеянным спредингом и прогибах задуговых бассейнов с синхронным островодужным (эвгеосинклинальным) режимом осадконакопления терригенно-вулканогенных формаций. Ряды синхронного терригенного и терригенно-вулканогенного осадконакопления черносланцевых формаций установлены для структурно-формационных комплексов (СВК) нижнепротерозой-среднерифейских прогибов в Енисейской провинции и для нижнепротерозой-рифей-вендских в Ленской провинции. Для СВК палеозоя (девон-карбон-пермь) и мезозоя (триас-юра) в Верхоянской, Яно-Колымской и Чукотской (ВЯКЧ) провинциях наличие такого ряда предполагается. В частности, с вулканогенной (вулcano-плутонической) гидротермальной активностью



связано формирование *рассеянной сульфидной минерализации (в том числе слабо золотоносной)* на различных стратоуровнях накопления черносланцевых формаций этих провинций [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

1.2. Тектонические факторы – зоны разновозрастных региональных разрывных нарушений различной кинематики, в том числе конседиментационного заложения, с неоднократным их обновлением, определившим современный сложный линзовидно-блоковый план современного строения СВК провинций,

1.3. Пликативные факторы – сочетание сложно построенных антиклинориев и синклинориев сходными типами многопорядковых складчатых деформаций различной морфологии, виргацией главных осевых плоскостей и частных ундуляций шарниров складок высокого порядка.

1.4. Формационно-фациальные факторы, выраженные в накоплении флишоидных или относительно монотонных толщ терригенного, карбонатно-терригенного и туфогенно-карбонатно-терригенного составов, с фациями, несущими рассеянную вкрапленность сульфидов (в том числе золотоносных) на различных стратоуровнях. Общая мощность стратифицированных терригенных, терригенно-карбонатных, в том числе углеродсодержащих толщ, преимущественно флишоидного строения, варьирует от 1,5 км до 10 км. Рудовмещающие толщи участвуют в строении мега- и мезаритмов разрезов мощностью от первых десятков до первых сотен метров. Для Енисейской и Ленской провинций характерно наличие в разрезах карбонатных горизонтов и карбонатной составляющей в рудовмещающих метаалевролитно-песчаных толщах, которые в меньшей степени проявлены в палеозойских толщах и практически полностью отсутствуют в толщах мезозоя ВЯКЧ провинций.

1.5. Структурно-тектонические факторы – разнопорядковые зоны складчатых деформаций и вязких разломов различной морфологии в сочетании с дизъюнктивными нарушениями различной кинематики, обуславливающих складчатое (мегаантиклинорное и мегасинклинорное) и линзовидно-блоковое строение структурно-формационных комплексов с рудовмещающими черносланцевыми формациями.

1.6. Магматические факторы – различные виды проявления в ареалах развития черносланцевых формаций интрузивно-купольных структур, скрытых или слабо эродированных разновозрастных интрузий гранитоидов, в том числе малых интрузий с ареалом даек «пёстро́го» состава, обусловивших поступление дополнительных порций полиметалльно-золотоносной минерализации. Возрастной диапазон гранитоидов Енисейской и Ленской провинций проявлен от рифея до палеозоя включительно. Тогда как в структурно-металлогенических зонах (СМЗ) провинций ВЯКЧ преобладают проявления мезозойских гранитоидов и очагов формаций мезозойских вулканоплутонических поясов. По объёму проявления гранитоидного магматизма на современном структурном плане в провинциях выделяются амагматичные (с единичными массивами) структурно-металлогенические зоны (Восточно-Енисейская, Бодайбинская, Южно-Верхоянская, Адычанская и другие) и зоны, насыщенные (ориентировочно до 35%) разновозрастными интрузиями гранитоидов (Центрально – Енисейская, Иньяли-Дебинская и др.). Геологическая обстановка с проявлениями очагов мезозойского ВПП в отличие от Енисейской и Ленской провинций наиболее характерна для золоторудных объектов в отдельных золотоносных структурно-формационных зонах Яно-Колымской и Чукотской провинций.

2. *Группа факторов*, отражающих постдиагенетические процессы преобразования рудовмещающих толщ и обуславливающих локализацию в них золоторудных месторождений. Среди них – наличие вышеупомянутых зон складчато-разрывных дислокаций (ЗСРД) с фрагментами повышенного тектонического расланцевания, разногенетических метаморфогенно- и гидротермально-метасоматических образований, сопровождающих и завершающих становление гранитоидного магматизма. С последними связано поступление дополнительных порций полиэлементных ( $As \pm Ag \pm W \pm Sb + Mo + Ni$  и других) золотоносных флюидов в области накопления первичной рассеянной золотоносной минерализации. Как правило зоны метасоматитов не картированы. Изучен лишь их состав на отдельных фрагментах рудного поля.

Совмещение в пространстве золотоносных черносланцевых формаций, ЗСРД, метасоматитов железо-магнезиально-карбонатного состава (бурошпатизации), сульфидизации, син- и постгранитных метасоматитов березит-лиственитового составов, разнообразной по составу прожилково-

вкрапленной и жильно-прожилковой минерализации определяют формирование и размещение стратоидных золоторудных месторождений с промышленно значимыми концентрациями золота в минерализованных зонах с золоторудными телами различной минералого-геохимической специализации.

Полученные результаты о сходстве и различии обстановок нахождения стратоидных месторождений золото-углеродистого семейства в черносланцевых формациях, с учетом индивидуальных особенностей строения золоторудных провинций с золотоносными черносланцевыми формациями, определяют необходимость уточнения и адаптации к конкретным провинциям ранее созданных в ЦНИГРИ (1984 г., 1987 г.) прогнозно-поисковых комплексов. Необходимо отметить, что морфологические типы золоторудных тел в черносланцевых толщах, имеющих субсогласное и секущее положение по отношению к слоистости вмещающих пород, определяются в основном по данным опробования. Как правило, это – линзо- и плитообразные, реже седловидные тела для большеобъемных месторождений с жильно-прожилковыми и прожилково-вкрапленными текстурами.

Принципиально поисковые признаки золоторудных месторождений в черносланцевых формациях упомянутых и других провинций определяются сочетанием в пространстве:

- углеродсодержащих и безуглеродистых толщ флишоидного строения;
- зон сложно построенных неоднократно подновлявшихся разломов;
- зон складчато-разрывных дислокаций третьего и более высоких порядков, осложняющих зоны региональных разломов;
- интрузивных комплексов гранитоидного ряда (в том числе в скрытом залегании) с ареалом даек «пестрого» состава;
- зон полистадийных гидротермально-метасоматических образований (включая сингенетичную сульфидизацию (преимущественно пирит + арсенопирит) и карбонатизацию (преимущественно доломит-бурый шпат) с наложенными образованиями березит-лиственитовой группы формаций в зависимости от состава рудовмещающих толщ;

Оставляя анализ генетических концепций формирования стратоидных месторождений золото-углеродистого семейства за рамками обсуждения, автор склонен придерживаться схемы Н. К. Курбанова и Н. А. Фогельман (1996). Согласно их концепции, рассматриваемые месторождения образуют *конвергентный ряд полистадийно-полигенно-полихронных* объектов, формирование которых определялось длительно развивавшимися совмещенными в пространстве процессами седиментации, диагенеза, метаморфизма, орогенеза, магматизма и метасоматоза.

#### Список литературы:

1. Аристов В. В. Структура распределения золоторудных объектов Яно-Колымской провинции. Выделение, интерпретация и прогнозное значение трендов и рудных линеаментов // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 8. – С. 100108–100125.
2. Буряк В. А. Источники золота и сопутствующих компонентов золоторудных месторождений в углеродсодержащих толщах // Геология рудных месторождений. – 1986. – Т. 28, №6. – С. 31–43.
3. Забияка А. И., Гусаров Ю. В. Районирование Енисейской металлогенической провинции // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. – Красноярск : КНИИГиМС, 2002. – Вып. 3. – С. 80–89.
4. Иванов А. И. Рифейско-палеозойское рудообразование в Байкало-Патомской золоторудной провинции // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 12. – С. 3–10.
5. Конкин В. Д., Галямов А. Л., Донец А. И., Окулов А. В. Стратиграфические уровни локализации золоторудных и свинцово-цинковых месторождений Енисейской и Ленской провинций // Руды и металлы. – 2019. – №4. – С.17–33.
6. Сидоров А. А., Томсон И. Н. Условия образования сульфидизированных черносланцевых толщ и их металлогения // Тихоокеанская геология. – 2000. – Т. 19, № 1. – С. 37–49.
7. Фридовский В. Ю. Структуры месторождений золота Верхояно-Колымской орогенной области // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М. : МГРИ, 1999. – С. 27–45.

Коногорова Д. В. <sup>1</sup> (diana-96perm@mail.ru), Павлушин А. Д. <sup>2</sup> (pavlushin@diamond.ysn.ru),  
Бардухинов Л. Д. <sup>3</sup> (bardukhinovld@alrosa.ru)

<sup>1</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, <sup>2</sup> ИГАБМ СО РАН, <sup>3</sup> ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)

## АЛМАЗЫ РЕДКОЙ ФОРМЫ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ АЛРОСА КАК КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ ПРОЦЕССОВ АЛМАЗООБРАЗОВАНИЯ

*Авторы представляют результаты комплексного исследования трех образцов из минералогической коллекции алмазов редких форм, принадлежащей АК «АЛРОСА». Приведена информация об уникальных характеристиках изученных кристаллов, особенностях их морфологии, дефектно-примесного состава и предполагаемых условиях образования.*

*Ключевые слова: алмаз, алмаз «Китайский фонарик», сине-фиолетовый алмаз, алмаз «Со-сультка».*

Деятельность крупнейшей алмазодобывающей компании АК «АЛРОСА» (ПАО) сконцентрирована на добыче и обработке алмазов исключительно природного происхождения, и, кроме ювелирных качеств, впервые обращено пристальное внимание на редкие минералогические свойства единичных находок кристаллов и агрегатов алмаза. По недавно возникшей традиции компания «АЛРОСА» целенаправленно занимается поиском и научным документированием природных алмазов необычной формы. Первым экземпляром коллекции, пробудившим интерес к такого рода исследованиям, стал уникальный по своему строению алмаз «Матрешка», представляющий собой кристалл, в полости которого свободно перемещается еще один кристалл алмаза [2]. Выявление уникальных алмазов в потоке добычи ведется целенаправленно, а ценность каждой новой находки определяет отдел главного эксперта в Единой сбытовой организации компании АК «АЛРОСА». Если применить к отобраным алмазам стандартную геммологическую систему оценки алмазного сырья, большинство кристаллов, сростков или поликристаллических агрегатов коллекции имело бы весьма невысокую цену. Однако, за счет проявления необычно редких форм, цвета и других минералогических особенностей подобные находки алмазов являются уникальными и бесценными произведениями природы, хранящими важную генетическую информацию об условиях алмазообразования.

Исследование проводилось в Научно-аналитическом центре Вилуйской геологоразведочной экспедиции АК «АЛРОСА» (ПАО). Минералогическое описание и фотографирование алмазов выполнено с помощью бинокулярного микроскопа Leica M205 с высокочувствительной цифровой видеокамерой Leica DFC 495 под управлением фирменного ПО LAS (Version 4.1.0 (Build 1264)).

Для возбуждения фотолюминесценции при характеристике цвета свечения использован лазер АИЛ-3 с длиной волны 337 нм.

Съемка спектров фотолюминесценции кристаллов алмазов выполнена с использованием возможностей КР-микроскопа InVia. Все спектры были сняты при температуре жидкого азота (77 К). Источник возбуждения – лазер КР-микроскопа,  $\lambda$  325 нм, мощность 20 мВт.

ИК-спектроскопические исследования алмаза проводились на ИК-Фурье спектрометре VERTEX 70 (Bruker) в комплексе с ИК-микроскопом Hyperion 2000. Диапазон измерений: 400–4500  $\text{см}^{-1}$ . Была выполнена съемка интегральных (со всего объема кристалла) спектров. Нормирование спектров осуществлялось по поглощению в двухфононной области [1, 11]. По спектрам определялись концентрации С-, А-, В1-, В2-дефектов алмазов, в соответствии с методическими работами [6–8]. Коэффициенты поглощения на частотах 1973  $\text{см}^{-1}$  и 2500  $\text{см}^{-1}$ , соответственно,  $\alpha_{1973} = 12,5 \text{ см}^{-1}$  и  $\alpha_{2500} = 4,9 \text{ см}^{-1}$  были выбраны в качестве параметров внутреннего стандарта.

Проведена съемка алмазов на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272 (Bruker). Реконструкция полученных изображений выполнялась программой NRecon. Для обработки и анализа 3D изображений использована программа CTAnalyser.

Алмаз «Китайский-фонарик» добыт подразделением АК «АЛРОСА» (ПАО) – АО «Севералмаз» – в 2019 г. на горно-обогательном комбинате месторождения им. М.В. Ломоносова,

где одновременно перерабатывают кимберлит из трубок Архангельская и Карпинского-1, расположенных в Золотицком кимберлитовом поле Архангельской области. Алмаз медово-коричневого цвета имеет вес 1,95 кар. По форме он представляет собой двойник прорастания по шпинелевому закону двух значительно растворенных кристаллов кубического габитуса с доминирующими искривленными гранями тетрагексаэдроидов и реликтивными гранями куба. Алмаз проявляет желто-зеленый цвет свечения, а в спектре фотолюминесценции фиксируется S3-дефект и предположительно N3. По данным ИК-спектроскопии в алмазе установлено высокое содержание структурной примеси азота ( $N_{tot} = 1375 \text{ at. ppm}$ ) с низкой степенью ее агрегации (%B = 25%). Также зафиксировано высокое содержание структурной примеси водорода ( $5,6 \text{ cm}^{-1}$ ). Его наличие и очень необычная желто-зеленая люминесценция весьма характерны для алмазов из архангельского месторождения им. М. В. Ломоносова и являются для них типоморфными характеристиками [3].

Отмечено поразительное сходство архангельского алмаза с зарисовками двойникового сростка кристаллов бразильского алмаза весом 25 мг (0,13 кар) [4], подробно рассмотренного в монографии А. Е. Ферсмана и В. М. Гольдшмидта, изданной в 1911 г. [5]. Так же наблюдается отчетливое подобие морфологии архангельских алмазов с кривогранными додекаэдроидов «уральского» («бразильского») типа, а в частности кривогранных тетрагексаэдроидов [9] из россыпей Урала, Бразилии и россыпей арктической Якутии, коренной источник которых до сих пор не установлен.

*Алмаз «Блю».* Алмаз яркого сине-фиолетового цвета добыт дочерним предприятием АК «АЛРОСА» – АО «Алмазы Анабара» – из россыпи Эбелях Анабарского алмазоносного района.

Алмаз весом 0,16 карат представлен целым насыщенно сине-фиолетовым прозрачным додекаэдроидом искаженной формы с глубокими трещинами. На поверхности кристалла слегка заметны полосы пластической деформации. Алмаз имеет желто-зеленую фотолюминесценцию. В спектре фотолюминесценции зафиксированы дефекты N3, S2 и предположительно N3. По данным ИК-спектроскопии в алмазе установлено высокое содержание структурной примеси азота ( $N_{tot} = 959 \text{ at. ppm}$ ) с низкой степенью ее агрегации (%B = 38%). Также зафиксировано очень высокое содержание структурной примеси водорода ( $30,1 \text{ cm}^{-1}$ ).

Важно отметить, что в дефектно-примесном составе отсутствует примесь бора, которая, как принято считать, обычно придает алмазам аллохроматическую окраску синего цвета (Шв тип по физической классификации алмаза). Алмазы с подобным дефектно-примесным составом синего цвета встречаются в лампроитовом месторождении Аргайл [10]. Наличие данного генетического сходства кристаллов подчеркивает вероятную связь коренных источников алмазов из россыпей р. Эбелях с лампроитовыми трубками.

*Алмаз «Сосулька».* Алмаз добыт компанией АК «АЛРОСА» (ПАО) в одной из кимберлитовых трубок Якутии. Кристалл весом 0,71 карат представлен прозрачным бесцветным удлинненным алмазом длиной 16 мм при ширине 2 мм. Кристалл значительно вытянут вдоль оси второго порядка и имеет четыре грани октаэдра с притупленными ребрами, покрытыми сноповидной штриховкой. Одна из вершин «Сосульки» обломана, а вторая покрыта искривленными гранями додекаэдроидов, типичными для форм растворения. Видимые включения и трещины в алмазе отсутствуют. Алмаз имеет зональную сине-голубую фотолюминесценцию. В спектре фотолюминесценции фиксируется дефект N3 и предположительно N3. По данным ИК-спектроскопии в алмазе установлено низкое содержание структурной примеси азота ( $N_{tot} = 157 \text{ at. ppm}$ ) с низкой степенью ее агрегации (%B = 36%). Также зафиксировано пониженное содержание структурной примеси водорода ( $0,3 \text{ cm}^{-1}$ ). По данным инфракрасной спектроскопии была построена карта распределения суммарной концентрации азота ( $N_{tot}, \text{ at. ppm}$ ), на которой прослеживается зональное строение алмаза, однако, вариация концентрации структурной примеси азота не большая, в пределах  $300 \text{ at. ppm}$ . Обнаруженная ростовая зональность пересекается с октаэдрической поверхностью алмаза, что позволяет сделать вывод о возникновении протогенетического скола алмаза вдоль спайности по октаэдру.

Таким образом, вытянутая форма алмаза «Сосульки», предположительно, образовалась в результате скола кристалла вдоль нескольких плоскостей спайности по (111) и дальнейшего объемного растворения поверхностей сколов, которое привело к возникновению кривогранных форм рельефа, характерных для округлых додекаэдроидов «уральского» типа.

В настоящее время коллекция редких форм кристаллов алмаза компании АК «АЛРОСА (ПАО)» насчитывает уже более 40 уникальных находок и постоянно пополняется новыми образцами. Отобранные алмазы являются наглядным примером интереса ученых минералогов и кристаллографов к научным исследованиям алмаза, ведь в таких уникальных кристаллах скрыто много загадок природы, разгадывая которые мы приближаемся к пониманию сложных процессов, сопутствующих образованию природного алмаза. Коллектив авторов продолжит дальнейшее изучение и публикацию результатов исследований образцов коллекции.

*Авторы выражают благодарность за помощь в работе: главному эксперту ЕСО АК «АЛРОСА» (ПАО) Л.А. Демидовой; сотрудникам Виллюйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) А.Н. Липашиной, О.В. Даниловой, И.В. Глушковой; к.г. -м.н. И.Н. Богуш; сотруднику института «Якутнишпроалмаз» к.т. н. О.Е. Ковальчуку; сотруднику Горного института (СПбГУ) д.г. -м.н. Е.А. Васильеву.*

Список литературы:

1. Бокий Г. Б., Безруков Г. Н., Ключев Ю. А., Налетов А. М., Непша В. И. Природные и синтетические алмазы. – М. : Наука, 1986. – 220 с.
2. Коногорова Д. В., Ковальчук О. Е., Бардухинов Л. Д. Уникальный алмаз из трубки Нюрбинская (Накынское кимберлитовое поле, Западная Якутия, Россия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 45–55.
3. Криулина Г. Ю., Васильев Е. А., Гаранин В. К. Структурно-минералогические особенности алмаза месторождения М. В. Ломоносова (Архангельская провинция): новые данные и их интерпретация // Доклады академии наук. – 2019. – Т. 486, № 6. – С. 695–698.
4. Павлушин А. Д., Бардухинов Л. Д., Коногорова Д. В. Алмазные раритеты: Китайский фонарик // Наука из первых рук. – 2021. – Т. 92, № 3/4. – С. 44–53.
5. Ферсман А. Е. Кристаллография алмаза. – М. : Изд-во АН СССР, 1955. – 580 с.
6. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. – М. : Недра, 1998. – С. 554.
7. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // Phil. Mag., B. – 1994. – V. 69. – P. 1149–1153.
8. Boyd. S. R., Kiflawi I., Woods G. S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // Phil. Mag., B. – 1995. – V. 72. – P. 351–361.
9. Pavlushin A. D., Zedgenizov D. A., Pirogovskaya K. L. Crystal Morphological Evolution of Growth and Dissolution of Curved-Faced Cubic Diamonds from Placers of the Anabar Diamondiferous Region // Geochemistry International. – 2017. – V. 55. – No. 12. – P. 1153–1163.
10. Sally Eaton-Magaña, Christopher M. Breeding, and James E. Shigley. Natural-color blue, gray, and violet diamonds: allure of the deep // Gems & Gemology. Summer – 2018. – P. 112–131.
11. Zaitsev A. M. Optical properties of diamond: A data handbook. – Springer Berlin Heidelberg, 2001. – 502 p.

**Конышев В. О.** <sup>1</sup> (villikon@rambler.ru), **Русских А. А.** <sup>2</sup> (arusskikh@rfgf.ru)

<sup>1</sup> ФГБУ «ЦНИГРИ», <sup>2</sup> ФГБУ «Росгеолфонд»

К НАПРАВЛЕНИЮ РАБОТ ПО ПОИСКАМ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ РОССЫПЕЙ  
КЫВВОЖСКОГО ЗОЛОТОНОСНОГО ПОЛЯ СРЕДНЕГО ТИМАНА

*Рекогносцировочными полевыми работами 2021 г. оценены перспективы продолжения разведки и добычи россытного золота в пределах Среднекыввожского и Кыввожского месторождений по действующим лицензиям. Проанализированы результаты геофизических исследований и геохимических поисков предшественников. Из поперечных россыпей аномальных зон отобраны штуфы буроплатовых метасоматитов, рассматриваемых в качестве коренных*

*источников россыпей по аналогии с минерализованными зонами Федоровского-1 золоторудного месторождения в Кемеровской области.*

*Ключевые слова: модель коренных источников россыпей золота, направление поисковых работ.*

На Кыввожском россыпном месторождении на момент получения лицензии ООО «Ухтагеосервис» СЫК 02455 БЭ, зарегистрированной 02 декабря 2013 г. на срок до 02 декабря 2025 г. с целью разведки и добычи золота, были учтены запасы кат. С<sub>1</sub> 51,0 кг. Прогнозные ресурсы россыпи категории Р<sub>1</sub> в долине р. Кыввож составляли 851 кг на площади 1719,3 м<sup>2</sup>.

Кыввожская россыпь имеет лентообразную форму. При длине 1730 м, средней ширине 75,2 м ее площадь составляет 130,1 тыс. м<sup>2</sup>. Средние параметры россыпи: мощность торфов – 1,4 м; мощность песков – 1,1 м; валунистость – менее 10% (при подсчете запасов не учитывалась); коэффициент разрыхления – 1,4; средняя проба – 980; среднее содержание химически чистого золота в песках – 345 мг/м<sup>3</sup>. Объем торфов составил 182,1 тыс. м<sup>3</sup>, а песков – 147,7 тыс. м<sup>3</sup>.

На Среднекыввожском месторождении по лицензии СЫК 02379 БЭ, зарегистрированной 24 декабря 2012 г. на срок до 17 декабря 2022 г. для разведки и добычи россыпного золота были учтены запасы категории С<sub>1</sub> 51,8 кг.

Россыпь локализована в пойменно-руслowych и террасовых отложениях реки и представляет собой лентообразную залежь длиной 3,37 км и шириной от 10 до 38–42 м при средней ширине контура 24,5 м. Средние параметры россыпи: мощность торфов – 0,5 м; мощность песков – 0,8 м; среднее содержание золота 726 мг/м<sup>3</sup> при колебаниях от 321 до 1829; валунистость – менее 10%; коэффициент разрыхления – 1,40; объем торфов – 41,5 тыс. м<sup>3</sup>; объем песков – 71,3 тыс. м<sup>3</sup>.

Самородки составляли 5,26%, весьма крупное золото – 6,4%, крупное – 29,62%, средней крупности – 25,56%, мелкое – 33,13%. Средняя проба по 27 определениям – 970. Из примесей в золоте обнаружено только серебро. Ассоциируют с золотом платиноиды величиной зерен от 70 мкм до 1,5 мм. Содержания по пробам колеблются от полного отсутствия до 30 мг/м<sup>3</sup>.

Работы по разведке и добыче золота были приостановлены по требованиям Росприроднадзора с 2017 г. по настоящее время на обеих россыпях. Современная блокировка остаточных запасов не рассматривается. Она нуждается в ревизии и согласовании дополнений к лицензиям для возобновления добычи. Полностью отработать запасы ранее вряд ли удалось. Примененная промывочная техника «Аляскан-50» (комбинация скруббера и шлюзов, брошенных на полигонах), предположительно могла давать потери 33,13% мелкого и тонкого золота в эфельных отвалах в случаях, если установки не доукомплектовывались отсадочными машинами (джигами) и концентраторными столами для доводки концентратов джиг.

Актуальными в настоящее время являются поиски коренных источников россыпей.

Среди обломков допалеозойских пород фундамента, сцементированных рыхлыми отложениями неоген-четвертичного чехла, в россыпях преобладают зеленые, серые и черные сланцы, метаалевролиты, туфопесчаники, гравелиты, брекчии и милониты, туфобрекчии, кварциты, гнейсы, диабазы, при подчиненном количестве березитизированных гранитов, жильного кварца, щелочных метабазальтов, нередко значительно окварцованных и анкеритизированных с прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-карбонат-кварцевой минерализацией («бурошпатовой» в зоне окисления).

В отчете А. И. Рокитянского «Геофизические исследования и геохимические поисковые работы на участке Средний Кыввож» по завершенным в 2009 г. работам ООО «Теллур СЗ» масштаба 1:10 000 на площади 13,2 км<sup>2</sup> по 33 профилям охарактеризованы поперечные к россыпи аномалии: типа 1 – высокого сопротивления и высокой поляризуемости (6 зон); типа 2 – высокого сопротивления и повышенной поляризуемости (3 зоны); типа 3 – высокого сопротивления и низкой поляризуемости (1 зона).

При опробовании пород одной из аномалий типа 2, сопряженной с ореолом вторичного рассеяния рудных элементов, зафиксирована проба с содержанием золота 14,9 г/т по пробирному анализу и 14,4 г/т по атомно-абсорбционному (Протокол № 2056–15 ЗАО регионального аналитического центра «Механобр инжиниринг аналитик»). Дубликат этой же пробы под № 22 с участка Кедью Южный (для заказчика ООО «Ухтагеосервис») по протоколу пробирного анализа № 41

ФГУП «ЦНИГРИ» от 16.04.2015 г. в 2-х навесках по 50 г показал содержания 14,3 и 14,9 г/т. Содержания золота в других 25 пробах оказались ниже 0,2 г/т.

Из места отбора той же пробы № 22 в июне 2021 г. авторами были взяты образцы минерализованных пород, которые оказались аналогами окварцованных, анкеритизированных и сульфидизированных субпластовых тел золотоносных метасоматитов по граувакковым туфопесчаникам флишевой толщи и силлам щелочных базальтоидов Федоровского-1 золоторудного месторождения в Кемеровской области.

На Федоровском-1 аналоге Кыввожских минерализованных зон руды были окислены до средней глубины 24 м. Окисленные руды имели буровато-оранжевый цвет («бурошпатовая минерализация»). Они легко подвергались ручной разборке и начиная с 1832 г. до середины XIX века были отработаны подземными лавами с закладкой валунником как «поперечные струи аллювиальной россыпи». Так, в истоках «Знаменитой Федоровки» на шестикилометровом отрезке долины в то время было добыто 12 т золота.

Отработке на глубину окисленных руд нередко препятствовал водоприток. В бортах долины отработки крутопадающих межпластовых «струй» ограничивались мощными поперечными дайками порфиридных габбро и диабазов, под увалами глыб которых и залежали окисленные руды. Они были выявлены в качестве Федоровского-1 коренного месторождения с авторскими прогнозными ресурсами категории  $P_2$  93 т только на рубеже XX и XXI века при использовании мощной горной техники и проходке подземных выработок [1].

Аллювиальная россыпь истоков р. Федоровка формировалась путем перемива окисленных минерализованных зон, отличалась низкими содержаниями золота и находилась в сероцветном аллювии. Аналогичные наблюдения по цвету разнородных пластов были сделаны И. Б. Флеровым [1] при открытии и разведке крупной россыпи руч. Глухаринного на Чукотке [2].

На Кедровском рудопоявлении, расположенном всего в 1,1–2,1 км восточнее Федоровского-1 в Республике Хакасия, ООО «СибГео» было выявлено 16 субпластовых рудных тел, которые затем были объединены автором [1] в 4 блока апробированных прогнозных ресурсов категории  $P_1$  77 т золота при уточненном среднем содержании 2,46 г/т.

По результатам укрупненной геолого-экономической оценки 2014 г. Кедровский объект подлежал отработке открытым способом в течение 15 лет с годовой добычей 4,1 т золота при общих капиталовложениях 7,7 млрд руб., окупающихся за 6 лет при внутренней норме доходности (ВНД) 19,7% и индексе доходности (ИД) 2,6.

Не исключено, что аналогичные Федоровскому-1 и Кедровскому коренные объекты могут быть выявлены в качестве источников россыпного золота на Кыввожском поле Среднего Тимана, вдоль ряда комплексных аномалий, поперечных аллювиальным россыпям. Разработано направление поисковых работ с учетом рекомендуемой методики опробования.

#### Список литературы:

1. Коньшев В. О. О методике определения близких к истинным содержаниям золота в рудных телах // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 44–58.
2. Флеров И. Б. Страсти по золоту и не только. – Магадан : Охотник, 2020. – 239 с.

Костина Е. Д. (metallogeology@yandex.ru), Агибалов О. А.  
ФГБУ «ЦНИГРИ»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ  
НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЛОРА И ПОИСКОВОМ УЧАСТКЕ ХРУСТАЛЬНЫЙ-1 С ЦЕЛЬЮ  
УТОЧНЕНИЯ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ ПРИЗНАКОВ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО  
ОРУДЕНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ШХИПЕРОВСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ  
(МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

*Рассмотрены результаты геохимических работ на медно-порфировом месторождении Лора и поисковом участке Хрустальный-1 (Шхиперовская перспективная площадь). Выполнено сопоставление геологического строения месторождения Лора, на котором ранее были проведены оценочные работы, и слабо изученной перспективной на медно-порфировое оруденение Шхиперовской площади. По итогам проведенного сопоставления и с учетом результатов геохимических работ сделан вывод о надрудном эрозионном срезе прогнозируемой медно-порфировой системы в пределах Шхиперовской перспективной площади.*

*Ключевые слова: медно-порфировое оруденение, медно-порфировая система, геохимические работы, эрозионный срез, Мэлдекская интрузивно-купольная структура, Накхатанджинский рудно-россыпной узел, Мэлдекское рудное поле.*

Целью проведенного сравнительного анализа геохимических работ является оценка перспективности слабо изученной Шхиперовской площади в сравнении с хорошо изученным медно-порфировым месторождением Лора. В качестве объектов сопоставления было выбрано рудное тело № 1 (месторождение Лора), в пределах которого в 2021 г. проведены профильные шлихо-геохимические исследования, и поисковый участок Хрустальный-1, на котором в том же 2021 г. выполнены геохимические поиски масштаба 1:10 000.

Месторождение Лора и перспективная Шхиперовская площадь расположены в пределах Накхатанджинского рудно-россыпного узла (РРУ), Кони-Тайгоносской металлогенической зоны. В качестве основного элемента строения территории Накхатанджинского РРУ выступает Мэлдекская интрузивно-купольная структура, сложенная породами двух вулканоплутонических поясов – Удско-Мургальского базальтоидного ( $J_3-K_1$ ) и наложенного на него Охотско-Чукотского ( $K_{1-2}$ ). В структурно-вещественных комплексах этих поясов выделены две плутоногенные формации, продуктивные на медно-порфировые руды: габбро-диорит-тоналит-плагиогранитовая для первого и габбро-диорит-гранодиоритовая для второго. Месторождение Лора расположено в центральной части Мэлдекской интрузивно-купольной структуры, Шхиперовская – в краевой юго-восточной.

На месторождении Лора (Мэлдекское рудное поле) оценочными работами (Шубин, 2003) установлена Mo-Cu-порфировая рудная минерализация, представленная вкрапленным и прожилково-вкрапленным молибденит-халькопирит-пиритовым типом. Рудное тело № 1 связано с серией сближенных даек переменного состава от диоритовых порфиритов до гранодиорит-порфиритов, осложненных трубообразными телами брекчий. Содержание сульфидов изменяется от 1 до 10 %, в среднем 3–5 %; средние содержания металлов по скважинам: Cu – 0,5 %, Mo – 0,03 %, Ag – 2,84 г/т, Au – 0,017 г/т (бортовое содержание Cu – 0,1 %). С рудным телом № 1 пространственно совмещена площадная комплексная высокоинтенсивная аномалия Cu (0,3 %), Mo (0,04 %), Ag (3 г/т), Pb (0,005 %), W (0,008 %), Bi (0,0001 %), Au (0,01 г/т). В зоне грейзенов, расположенных на ЮВ фланге минерализованной зоны, выявлены небольшие надрудные аномалии свинца (0,03 %), серебра (0,5 г/т), молибдена (0,0005 %), золота (0,01 г/т), висмута (0,0002 %). Минерализованная зона рудного поля в структурном отношении приурочена к протяженной системе тектонических нарушений С–СЗ направления с развитыми вдоль нее метасоматически измененными породами; собственно рудное тело расположено в пределах тектонического блока, ограниченного секущими разломами С–СВ; размер тектонического блока, вероятно, определяет масштаб оруденения на месторождении Лора.



В ходе опытно-методических работ из копушей и расчисток старых канав были отобраны шлиховые, литохимические и сколковые пробы на следующих участках месторождения Лора: в пределах минерализованной зоны гидротермально измененных пород; в границах рудного тела, оконтуренного по бортовому содержанию Cu 0,1 %; из слабоизмененных пород; из аллювиально-пролювиальных отложений (участки близкого сноса). Пробы отбирались по профилям с шагом 40–60 м; по результатам профильных геохимических работ можно сделать следующие выводы:

- контур рудного тела фиксируется устойчивыми содержаниями Cu 0,1–0,2 % (Сф – 0,09 %) с отдельными максимумами до 1,0 %;
- в пределах рудного тела отмечается, в целом, повышенное, но весьма неравномерное распределение Au, Ag, Mo, As, Zn, Pb, с «пиковыми» значениями различных элементов по отдельным профилям, что может свидетельствовать о многометалльном составе геохимического ореола, интегрально отражающего длительность процесса рудообразования и многокомпонентный состав рудоносных флюидов.

Шхиперовская перспективная площадь выделена на ЮВ фланге Мэлдекской интрузивно-купольной структуры (в центральной части которой находится месторождение Лора). Известные в ее пределах проявления Cu, Mo, Au, Ag сосредоточены преимущественно в экзоконтактной зоне Хрустального массива габбро-кварцевых диоритов-гранодиоритов, который является фланговым выступом (апофизой) Среднинского массива, менее эродированным, чем его центральная часть. Прогнозируемое медно-порфировое оруденение приурочено к субширотной зоне тектонической трещиноватости и контактам габбро и гранодиоритов нижнемелового интрузивного комплекса с вулканогенно-осадочными отложениями нижней и средней юры (участки с аномалиями Cu Диоритовый Западный и Хрустальный-1). В ходе поисковых маршрутов (СВПГО, 2021) на участке Хрустальный-1 была выявлена зона сульфидной минерализация в виде вкрапленников пирита, халькопирита, сфалерита мощностью до 100 м. В его пределах по результатам геохимических поисков по ВОР масштаба 1:10 000 установлена комплексная слабоконтрастная геохимическая аномалия Cu (0,01–0,03 %), Mo (0,0005 %), Ag (0,12 г/т), Zn (0,018 %), Pb (0,0002 %), Au (0,02 г/т), W (0,0003 %). По данным шлихогохимического опробования выделена небольшая по размеру, но достаточно контрастная по содержаниям Cu, Au, Mo, Zn, As площадь, пространственно совпадающая с наиболее интенсивной частью геохимической аномалии Cu.

Сопоставление результатов геохимических исследований на месторождении Лора и поисковом участке Хрустальный-1 позволяет сделать следующие выводы:

- аномалии основных рудогенных элементов (Cu, Mo, W), присущих медно-порфировой системе, на месторождении Лора по интенсивности на порядок выше по сравнению с участком Хрустальный-1;
- на участке Хрустальный-1 установлены слабые аномалии Ag, Zn, Pb, близкие по содержаниям к надрудной зоне грейзенов на месторождении Лора;
- наличие не выходящих на уровень эрозионного среза минерализованных эруптивных брекчий на близкорасположенном участке Диоритовый Восточный; слабоконтрастные аномалии Cu, Mo, W; установленные аномалии Ag, Zn, Pb; положение участка в краевой части Мэлдекской интрузивно-купольной структуры по совокупности поисковых признаков указывает на надрудный эрозионный срез прогнозируемой медно-порфировой системы в пределах Шхиперовской перспективной площади.

## КОНТРАСТНЫЕ СОСТАВЫ КИМБЕРЛИТОВ – ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ

*Рассмотрены составы двух кимберлитовых тел – трубки Обнаженная и дайки Великан, расположенных в Куойкском поле на расстоянии 1 км друг от друга и имеющих один и тот же возраст – 150–160 Ма. Трубка Обнаженная выполнена высоко-Mg, низко-Ti пирокластическим кимберлитом, содержащих редкие включения высоко-Fe, высоко-Ti когерентного кимберлита. Кимберлит характеризуется высокой насыщенностью обломочного материала литосферной мантии в виде макрокристов и отдельных ксенолитов. Когерентный кимберлит дайки отличается относительно высоким содержанием  $FeO_{total}$ ,  $TiO_2$ ,  $CaCO_3$ ,  $P_2O_5$ , высокой концентрацией некогерентных элементов. Сходство состава когерентного кимберлита из дайки и включений когерентного кимберлита из трубки Обнаженная, а с другой стороны, резкие различия по насыщенности обломочным материалом литосферной мантии между пирокластическим и когерентным кимберлитами дают основание предположить, что для формирования обоих тел существовал в астеносфере единый первичный магматический источник, различающийся только по содержанию флюидной компоненты. Авторы предполагают, что высоко-Ti состав кимберлитов из дайки Великан отвечает составу первичного кимберлитового расплава. Этот вывод является общим (не только для кимберлитовых тел Якутской провинции, но и других провинций Мира).*

*Ключевые слова: петрогенез кимберлитов, первичный кимберлитовый состав, генезис оливина из кимберлитов, мощность литосферы, Sr-Nd-Hf изотопная систематика.*

Несмотря на значительный прогресс в понимании природы кимберлитовых пород, достигнутый в последние годы, ряд вопросов их генезиса остается дискуссионным, и, прежде всего, вопрос о том, каков был первичный состав кимберлитового расплава (ПСКР) этих пород. Кимберлиты представляют собой гибридную породу, испытавшую ряд существенных преобразований в процессе своего становления, что значительно усложнило задачу распознавания ПСКР. Прекрасный обзор литературы, в которой исследуется эта задача, приведен в статье [3]. Имеются разные точки зрения на состав ПСКР. Последний отвечает: составу неизмененных гипабиссальных кимберлитов; составу афанитовых кимберлитов, практически не содержащих макрокрист ОI; является обогащенным хлоридно-карбонатным компонентом [2]; является существенно карбонатитовым [4].

В настоящем сообщении на примере двух кимберлитовых тел Куойкского поля (трубка Обнаженная и дайка Великан), выполненных кимберлитами контрастного состава, мы пытаемся выяснить причины широкого диапазона состава кимберлитов, происхождение которого связано не со вторичными процессами, а с разными условиями внедрения кимберлитового расплава, а также с разным содержанием флюидной компоненты в первичном кимберлитовом расплаве.

Трубка Обнаженная и дайка Великан, расположенные на берегу реки Куойка на расстоянии 1 км друг от друга, образуют уникальные скальные обнажения. Использование U-Pb метода по перовскиту и рутилу для трубки Обнаженная дало возраст 151–154 Ма [7]. Верхнеюрский возраст (145–161 Ма), определенный U-Pb методом по перовскиту и циркону [5, 6] для всех (без исключения) 20 изученных кимберлитовых тел Куойкского поля, косвенным образом подтверждает верхнеюрский возраст также и для дайки Великан. Трубка Обнаженная выполнена в основном вулканокластическим и пирокластическим кимберлитом, который высоко насыщен обломочным материалом пород литосферной мантии. Когерентный кимберлит массивной текстуры был обнаружен только в виде редких включений в пирокластическом кимберлите размером не более 10 см. Дайка Великан выполнена когерентным мелкопорфировым кимберлитом, содержащим субидиоморфные микрокристы оливина размером от 0,1 до 1 мм в количестве от 3 до 10%. Отличительной особенностью кимберлита является отсутствие мантийных ксенолитов и макрокрист оливина размером более 1–3 мм. Пирокластический кимберлит, выполняющий основной объем скального выхода трубки Обнаженная, относится к высоко-Mg петрохимическому типу и характеризуется высоким содержанием  $SiO_2$  (в среднем 32,8%), MgO (в среднем – 33,4%) и низким содержанием карбонатной компоненты (в среднем 12,9%). Химический

состав когерентного кимберлита дайки Великан характеризуется высоким уровнем содержания  $\text{FeO}_{\text{total}}$  (10,0–10,7 wt. %),  $\text{TiO}_2$  (3,7–4,2 wt. %), что соответствует Fe-Ti петрохимическому типу ЯКП. Контрастные различия химического состава пирокластического и когерентного кимберлитов в трубке Обнаженная прямым образом отразились и на их микроэлементном составе. Высоко-Mg состав пирокластического кимберлита обусловил высокий уровень концентрации в них Ni, Co, Cr. Повышенное содержание в когерентных разновидностях карбонатной, щелочной и титанистой компонент предопределил более высокую концентрацию в них некогерентных элементов (IE), в том числе, U, Th, Sr, Ba, Rb, Zr, Nb, REE и др.).

Пространственная и временная близость формирования трубки Обнаженная и дайки Великан дает основание предположить существование для них единого магматического очага в астеносфере. Различия в насыщенности кимберлитов карбонатной компонентой обусловлены не столько процессом дифференциации расплава, сколько разным количеством захваченного обломочного материала литосферной мантии (ОМЛМ). Когерентный кимберлит дайки Великан не содержит ни ксенолитов литосферной мантии, ни макрокрист оливина. Когерентный кимберлит трубки Обнаженная содержит макрокристы оливина, но не содержит ксенолиты литосферной мантии. Пирокластический кимберлит трубки Обнаженная отличается самой высокой насыщенностью ОМЛМ в виде макрокрист оливина, граната, пироксена и ксенолитов. Таким образом, сравнение составов (химического, редкоэлементного, минерального) кимберлитов эталонных тел позволяет сделать вывод, что когерентный кимберлит дайки Великан с большой долей вероятности отражает состав астеносферного расплава, явившегося первичным для кимберлитов, который не испытал процесса засорения и частичной ассимиляции ОМЛМ.

Предполагается, что высоко-Fe и высоко-Ti состав кимберлитов из северных полей Якутской кимберлитовой провинции, и, в частности, дайки Великан, был обусловлен относительно низкой мощностью литосферной мантии на севере Сибирского кратона и меньшим расстоянием восхождения кимберлитового расплава из астеносферного источника к поверхности, меньшим масштабом захвата ОМЛМ и его ассимиляции. А с другой стороны, в разрезе литосферной мантии под северными полями отсутствует дунит-гарцбургитовый парагенезис [1], ортопироксен из которого являлся основным источником в процессе ассимиляции ОМЛМ кимберлитовым расплавом.

Сравнение состава оливинов из разных источников, в том числе, из пирокластического и когерентного кимберлитов эталонных трубок с составом оливина из мантийных ксенолитов трубки Обнаженная позволяет сделать ряд генетических выводов:

1. В пирокластическом кимберлите установлено полное соответствие преимущественно высоко-Mg составов оливина макрокрист и из мантийных ксенолитов трубки Обнаженная, что подтверждает сделанные ранее выводы о ксеногенной природе макрокрист.

2. В когерентном кимберлите трубки Обнаженная наряду с высоко-Mg оливином обнаруживается относительно более железистый по составу по сравнению с оливином из мантийных ксенолитов, что свидетельствует о кристаллизации определенной части макрокрист из кимберлитового расплава.

3. В когерентном кимберлите дайки Великан оливин представлен только микрокристами относительно железистого состава, что несомненно является свидетельством их кристаллизации из кимберлитового расплава.

Сходство Sr-Nd-Hf изотопной систематики и микроэлементного состава для кимберлитов разного возраста (от девона до верхней юры) в разных частях Якутской провинции (расстояние около 1000 км от трубки Интернациональная Мирнинского поля до Куойкского поля) указывает на единый долго существующий однородный мантийный источник, предположительно, астеносферного происхождения.

#### Список литературы:

1. Griffin W. L., Ryan C. G., Kaminsky F. V., O'Reilly S. Y., Natapov L. M., Win T. T., Kinny P. D., Ilupin I. P. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton // *Tectonophysics*. – 1999. – V. 310. – P. 1–35.

2. Kamenetsky V. S., Kamenetsky M. B., Golovin A. V., Sharygin V. V., Maas, R. Ultrafresh salty kimberlite of the Udachnaya-East pipe (Yakutia, Russia): a petrological oddity or fortuitous discovery? // *Lithos.* – 2012. – V. 152. – P. 173–186.
3. Soltys Ashton, Giuliani Andrea, Phillips David. A new approach to reconstructing the composition and evolution of kimberlite melts: A case study of the archetypal Bultfontein kimberlite (Kimberley, South Africa) // *Lithos.* – 2018. – V. 304–307. – P. 1–15.
4. Russell J. K., Porritt L. A., Lavalleye Yan, Dingwell D. B. Kimberlite ascent by assimilation – fuelled buoyancy // *Nature.* – 2012. – V. 481, No. 19. – P. 352–356.
5. Sun J., Liu C.-Z., Tappe S., Kostrovitsky S. I., Wu Fu-Yuan, Yakovlev D., Yang Yue-Heng, Yang Jin-Hui. Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: insights from in situ U-Pb and Sr-Nd perovskite isotope analysis // *Earth and Planetary Science Letters.* – 2014. – V. 404. – P. 283–295.
6. Sun J., Tappe S., Kostrovitsky S. I., Liu C.-Z., Skuzovatov S. Yu., Wu F.-Y. Mantle sources of kimberlites through time: A U-Pb and Lu-Hf isotope study of zircon megacrysts from the Siberian diamond fields // *Chem. Geol.* – 2018. – V. 479. – P. 228–240.
7. Sun J., Mitchell R. N., Kostrovitsky S. I. & Apen F. E. Siberia's largest pulse of kimberlites: U-Pb geochronology of perovskite and rutile from the Obnazhennaya kimberlite and its xenoliths, Siberia craton // *International Geology Review.* – 2021.

**Кряжев С. Г. (kryazhev@tsnigri.ru)  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

#### ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ЗОЛОТОНОСНЫХ ФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ В УГЛЕРОДИСТО-ТЕРРИГЕННЫХ КОМПЛЕКСАХ

*По результатам исследования эталонных объектов выделены отличительные особенности золотоносных флюидных систем в углеродисто-терригенных комплексах. Наличие газообразного флюида ( $CO_2 \pm CH_4 \pm N_2 + H_2S$ ) обеспечивает возможность миграции золота на значительные расстояния в условиях глубинного гидродинамического режима. Связь оруденения с магматизмом фиксируется по изотопному составу сульфидной серы. Предлагаемая модель служит научно-методической основой для использования изотопных и термобарогеохимических методов при прогнозно-поисковых работах.*

*Ключевые слова: золоторудные, терригенные, изотопы серы, флюидные включения.*

Обобщенная модель формирования золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах, разработанная по результатам исследования значительного числа эталонных рудных объектов [1], включает глубинные очаги коровых и корово-мантийных магм в качестве главного источника золотоносных флюидов. Независимо от места и времени развития золотоносных флюидных систем для них характерны две наиболее общие отличительные особенности.

1. Изотопная однородность сульфидной серы – элемента, играющего ведущую роль в гидротермальном транспорте золота. Эта особенность является следствием гомогенизации вещества в магматических очагах при отсутствии факторов, которые могут привести к фракционированию изотопов серы в процессах ее дальнейшей миграции и осаждения в форме сульфидов. В очагах происходило смешение серы, заимствованной из разных источников, поэтому каждая рудообразующая система приобретала характерный только для нее диапазон значений  $\delta^{34}S$ , который можно использовать для идентификации источника рудного вещества.

В метаморфических системах изотопная гомогенизация серы не происходит.

Соответственно, на фоне вмещающих пород с осадочно-метаморфическими сульфидами, для которых характерны широкие вариации изотопного состава серы, зоны развития потенциально продуктивной магматогенно-гидротермальной минерализации могут быть выделены как области развития сульфидов с узкой дисперсией  $\delta^{34}\text{S} = x \pm 3\%$ , где  $x$  – среднее значение  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов в рудах месторождений, известных на данной территории.

2. Гетерогенное состояние минералообразующей среды с обособлением плотного газообразного флюида ( $\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2$ ). Рудообразование протекало в условиях глубинного гидродинамического режима, при котором движение поровых растворов затруднено. Поэтому наличие подвижной газовой фазы необходимо для эффективной миграции рудного вещества на значительные расстояния. При этом смесь углекислоты, метана и азота служила «газом-носителем» для гидросульфидных комплексов золота.

Состав и плотность газовой фазы в каждой рудообразующей системе также отвечают строго определенным значениям и служат основанием для ее идентификации.

Соответственно, формирование золотоносной минерализации закономерно сопровождается образованием ореолов первичных и вторичных газообразных включений в кварце. Параметры таких включений могут быть точно определены существующими методами (микротермометрия, Раман-спектроскопия, LA-ICP-MS) и использованы в качестве индикаторов оруденения.

Полимодальность в распределении значений  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов, а также присутствие в кварце нескольких генераций газообразных включений различного состава и плотности является признаком крупных полигенно-полихронных систем, при развитии которых в область рудоотложения последовательно поступали золотоносные флюиды из разных рудогенерирующих очагов.

Таким образом, применительно к золоторудным объектам в углеродисто-терригенных комплексах методы изотопной геохимии и термобарогеохимии предоставляют во многом незаменимую информацию, которую следует учитывать при типизации золоторудных проявлений и обосновании схем последовательности рудообразования. Надрудные изотопно-геохимические и термобарогеохимические ореолы могут служить основанием для прогнозирования скрытого оруденения.

Список литературы:

1. Кряжев С. Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М., 2017. – 288 с.

**Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В. (okt@tsnigri.ru), Серавина Т. В.  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

#### ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ БОЛЬШОГО АЛТАЯ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВКАХ

*Рассмотрены особенности геологии и металлогении территории Большого Алтая, включающего две складчатые системы (Юго-Западный Алтай и Иртыш-Зайсанскую), показывающие зависимость формирования месторождений цветных и благородных металлов от геодинамических обстановок, что необходимо учитывать при их прогнозе и поисках.*

*Ключевые слова: складчатая система, геодинамические обстановки, этапы, формация, месторождения.*

Территория Большого Алтая соответствует крупной герцинской Зайсанской складчатой системе, которая подразделяется на две части: краевую северо-восточную, отвечающую складчатой системе Юго-Западного Алтая, и внутреннюю и краевую юго-западную Иртыш-Зайсанскую. Складчатая система Юго-Западного Алтая (раннегерцинская) включает следующие структурно-

формационные зоны (СФЗ) (с востока на запад): Холзунско-Сарымсактинскую, Белоубинско-Маймырскую, Рудноалтайскую и Иртышскую, а Иртыш-Зайсанская (позднегерцинская) – Калбинскую с подзонами Калба-Нарымская, Западно-Калбинская и Жарма-Саурскую с подзонами Чарская, Жарма-Саурская и Сарсазанская.

Система Юго-Западного Алтая развилась на окраине Алтае-Саянского палеоконтинента, структурно-формационные комплексы которого проявлены шельфовыми формациями венд-раннепалеозойского-силурийского возраста, пронизанными позднекаледонскими гранитоидами [1]. Анализ развития структур, а также латерально-вертикальных рядов геологических формаций позволил выделить три основных этапа формирования складчатой системы Юго-Западного Алтая, отвечающих различным геодинамическим обстановкам [3]. Первый этап охватывает промежуток времени от раннего девона до франского века и обусловлен процессами континентального рифтогенеза, второй – от фаменского века до раннего карбона (серпуховский ярус) и соответствует обстановкам, сопоставимым с островодужными, третий – коллизионный (от среднего карбона до перми). В рифтогенный этап в северо-восточной части данной системы происходило формирование прогибов, отвечающих Коргонской и Холзунско-Сарымсактинской СФЗ ( $D_1-D_2gv_1$ ), выполненные континентальными красноцветными и пестроцветными карбонатно-терригенными отложениями, которые выше сменяются морскими вулканогенно-осадочными, относящимися к известково-кремнисто-терригенной риолит-трахидацит-трахириолитовой формации со стратиформным свинцово-цинковым и железомарганцевым оруденением. Восточнее в пределах Рудноалтайской СФЗ рифтогенный прогиб выполнен вулканогенно-осадочными породами известково-кремнисто-терригенной базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой формации ( $D_1e-D_2gv_1$ ), с которыми ассоциирует свинцово-цинковое колчеданное оруденение [4]. В западной части Рудноалтайской СФЗ рифтогенный прогиб выполнен вулканогенно-осадочными породами кремнисто-терригенной базальт-риолитовой формации, специализированной на медно-свинцово-цинковое и медно-цинковое оруденение.

Примыкающая с запада к Рудноалтайской Иртышская СФЗ представляет собой прогиб, выполненный карбонатно-терригенными отложениями силура–позднего девона и более древними метаморфическими, с которыми ассоциируют протрузивные тела серпентинитов и метабазитов. К среднепалеозойским породам флишоидных формаций приурочено медно-пирротинное оруденение.

Вулканогенно-осадочные породы рифтогенного этапа в значительной мере перекрыты отложениями островодужного. Становление структур данного этапа ( $D_3fm-C_1$ ) отвечает модели формирования активных окраин с островодужным режимом развития. В этот период образуются породы андезидацитовой и андезибазальтовой формаций, с которыми ассоциирует золото-серебро-полиметаллическое оруденение. В коллизионный этап ( $C_2-P$ ) с гранитоидами габбро-гранодиорит-гранитовой формации связаны месторождения золото-сульфидно-кварцевой и золото-малосульфидно-кварцевой рудных формаций, а с гранит-лейкогранитовой – редкометалльные месторождения (W, Mo, Be).

Западная краевая система (Иртыш-Зайсанская) представляет собой активную континентальную окраину одноименного гипотетического океана, осевой структурой которой является Чарский рифтогенный прогиб [2], выполненный вулканогенно-осадочными породами пестрого состава ( $D_3fm$ ) и отложениями известково-терригенной флишоидной формации ( $C_1s$ ). В восточной части этой структуры развиты Калба-Нарымский прогиб, сложенный породами аспидной ( $D_3-C_1$ ) формации и Западно-Калбинский, выполненный отложениями флишоидной формации ( $C_1v_{2-3}$ ). К ниже-каменноугольным отложениям терригенно-углеродистой формации приурочены золото-сульфидно-кварцевые месторождения.

Островодужный этап ( $D_3fm-C_1s$ ) фиксируется в структурах к западу от Чарского прогиба, где он выражен образованием пород андезибазальтовой формации (Жарма-Саурская подзона) и карбонатно-терригенной флишоидной (Сарсазанская подзона). В коллизионный этап в связи с образованиями гранит-лейкогранитовой формации (P) представлены многочисленные месторождения редкометалльно-редкоземельной формации. В островодужных структурах представлены также месторождения и проявления золото-кварцевой, медно-порфировой и других формаций.

Список литературы:

1. Горжевский Д. И., Караулов В. Б., Микунов М. Ф., Филатов Е. И. Структура Рудного Алтая и закономерности размещения полиметаллических месторождений // Геотектоника. – 1977. – № 3. – С. 70–77.
2. Ермолов П. В., Полянский Н. В., Добрецов Н. Л. [и др.]. Офиолиты Чарской зоны // Офиолиты – Алма-Ата, 1981. – С. 103–173.
3. Кудрявцева Н. Г. Ряды рудных формаций месторождений цветных и благородных металлов в различных геодинамических обстановках Юго-Западного Алтая // Руды и металлы. – 2001. – № 6. – С. 44–52.
4. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В. [и др.]. Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. – Москва : ЦНИГРИ, 2019. – С. 207.

**Кужугет Р. В.** <sup>1</sup> (rkuzhuget@mail.ru), **Анкушева Н. Н.** <sup>2</sup> (ankusheva@mail.ru),  
**Прокопьев И. Р.** <sup>3</sup>, **Редина А. А.** <sup>3</sup> (anna-red@outlook.com)

<sup>1</sup> ФГБУН «ТУВИКОПР СО РАН», <sup>2</sup> ФГБУН «ЮУ ФНЦ МИГ УРО РАН»,  
<sup>3</sup> ФГБУН «ИГМ СО РАН»

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ  
AU-VI МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАРДАНСКОГО РУДНОГО УЗЛА  
(ВОСТОЧНАЯ ТУВА, РОССИЯ)

*Рассмотрены минералого-геохимические особенности и условия образования малосульфидных штокверковых Au-Vi месторождений (Тардан, Барсучий, Копто и т. д.) Тарданского рудного узла, локализованных в эндо- и экзоконтакте Копто-Байсютского габбро-диорит-плагиогранитного массива раннетаннуольского комплекса ордовика (O<sub>1</sub>tn), которые имеют гидротермальный генезис и сопряжены со среднетемпературными метасоматитами листовенит-березитового ряда.*

*Ключевые слова: Au-Vi гидротермальные месторождения золота, минеральные ассоциации, самородное золото, флюидные включения, Тува.*

Золоторудные объекты в скарнах широко распространены в геологических структурах Тувы, но их промышленная оценка сопряжена со значительными трудностями из-за слабой изученности и ограниченности сведений о минералогических, геохимических и петрографических особенностях руд. Генезис этих объектов также однозначно не определен. Их рудные тела, как правило, характеризуются высокими концентрациями хорошо извлекаемого золота, но имеют очень сложную морфологию и небольшие размеры.

На площади Тарданского рудного узла поисковыми работами 1963–1971 гг. выявлены золоторудные объекты в скарнах (Тардан, Соруглуг-Хем, Барсучий, Копто, Правобережное) и березитах (Тардан-2), а также ряд мелких проявлений и многочисленные точки минерализации золота. Ранее месторождения данного рудного узла в скарнах были отнесены к золото-скарновой формации, которой предписывалось практическое значение [5].

В настоящее время получены новые данные о генетических особенностях золота Тарданского рудного узла. Установлено, что на золоторудных месторождениях этого рудного узла гидротермальный золоторудный процесс наложен на контактово-метасоматические породы и отделён от скарнов деформационным перерывом, который выразился в дроблении ранних образований скарновой формации, их цементации и замещении гидротермальными парагенезисами [2, 7].

В региональном плане Тарданский рудный узел расположен на юге Алтае-Саянской складчатой области (АССО), в пределах Каахемской подзоны Восточно-Тувинской структурно-

фациальной зоны и одноименного глубинного разлома в краевой части Каахемского полихронного батолита, представленного Копто-Байсютским массивом. Золотое оруденение рудного узла контролируется опережающими разрывными нарушениями Каахемского глубинного разлома [6].

Золоторудные объекты приурочены к зоне контакта Копто-Байсютского габбро-диорит-плагиогранитного массива раннетаннуольского комплекса ордовика ( $O_1tn$ ) с вулканогенно-карбонатными породами туматтайгинской ( $R-C_1tt$ ) и тапсинской свит ( $C_1tp$ ). Возраст плагиогранитов Копто-Байсютского массива, определённый по биотиту  $Ag/Ag$  методом, составляет  $485,7 \pm 4,4$  млн лет [2], по циркону  $U-Pb$  методом –  $479 \pm 2$  млн лет [8].

Детальными исследованиями установлено, что малосульфидные штокверковые золоторудные месторождения (Тардан, Барсучий, Копто и т. д.) Тарданского рудного узла (ТРУ) Северо-Восточной Тувы в скарнах, гранитоидах раннетаннуольского комплекса ( $O_1tn$ ) имеют гидротермальный генезис и сопряжены со среднетемпературными метасоматитами листовит-березитового ряда. Их рудные тела представлены минерализованными зонами типа линейных штокверков, приуроченных к краевым приконтактовым зонам гранитоидных интрузий раннетаннуольского комплекса ( $O_1tn$ ) либо к их апикальным приконтактовым зонам, осложненным разломами и тектоническими зонами. Руды этих объектов характеризуются  $Au-Cu-Bi-Te-As \pm Sb \pm Zn$  геохимической специализацией и широким разнообразием минеральных форм  $Bi$  (самородный  $Bi$ , теллуриды и сульфотеллуриды  $Bi$ , висмутин, мальдонит и др.).

Установлено, что в ТРУ наблюдается следующая последовательность минеральных парагенезисов  $Au$ : **ранние** (кварц, кальцит, пирит, пирротин, арсенопирит, весьма высокопробное и высокопробное золото  $\pm$  халькопирит  $\pm$  сфалерит  $\pm$  марказит)  $\rightarrow$  **промежуточные** (кварц, кальцит, халькопирит, галенит, борнит, пирит, виттихенит  $Cu_3BiS_3$ , волинскит  $AgBiTe_2$ , теллуровисмутит  $Bi_2Te_3 \pm Bi$ -теллурантимон  $Sb_2Te_3$ , тетрадимит  $Bi_2Te_2S$ , сфалерит, высокопробное, среднепробное и низкопробное золото  $\pm$  кобальтин), **поздние**  $\rightarrow$  (кварц, кальцит, халькопирит, пирит, барит, галенит,  $Zn$ -теннантит-тетраэдрит, матильдит  $AgBiS_2$ , пильзенит  $Bi_4Te_3$ , айкинит  $CuPbBiS_3$ , берриит  $Cu_3Ag_2Pb_3Bi_7S_{16}$ , акантит  $Ag_2S$ , самородный  $Bi$ , среднепробное и низкопробное золото, электрум + ртутистый электрум с  $Hg$  до 8,45 мас.%  $\pm$  ртутистый кюстелит с  $Hg$  до 7,47 мас.%).

Рудные минеральные ассоциации месторождений ТРУ сформировались при давлениях ( $P$ )  $\sim 0,73-0,98$  кбар ( $\sim 2,1-3,0$  км) и температурах  $380-120$  °C из водных растворов с хлоридами  $Na$ ,  $K$  и  $Mg$  с концентрациями солей 1,7–13 мас.%  $NaCl$ -экв., содержащих  $CO_2$  и  $CH_4$ , при вариациях  $fO_2$ ,  $fS_2$  и  $fTe_2$ . В процессе минералообразования происходило снижение температуры рудоносного флюида от ранних рудных стадий к поздним: **ранние продуктивные стадии** Тардан и Барсучий –  $380-270$  °C; **промежуточные продуктивные стадии** Тардан и Барсучий –  $360-240$  °C; **поздние продуктивные стадии** Тардан –  $255-150$  °C и Тардан-2 –  $280-120$  °C. Изотопный состав серы рудообразующего флюида ( $\delta^{34}S$ , ‰) рудных стадий месторождений попадают в узкий интервал от +0,1 до +3,2 ‰, соответствующий флюиду магматической природы ( $0 \pm 5$  ‰).

Установлено, что по минералого-геохимическим особенностям объекты Тарданского рудного узла близки месторождениям золото-висмутового геохимического типа [1, 3], которые, по классификации зарубежных исследователей, отвечают к классу месторождений парагенетически связанных с интрузиями («intrusion related deposits») [10], т. е. плутоногенно-гидротермальному генетическому классу золоторудных месторождений.

Представителями золото-висмутового геохимического типа в России являются Пограничное (Восточный Саян), Эргелях, Курумское Тугучак, Басагуньинское, Чугулук, Неннели и Галечное (СВ России) жильные и Лево-Дыбинское, Тэутеджак (СВ России), штокверковые месторождения, которые приурочены к апикальным приконтактовым зонам гранитоидных плутонов либо к их краевым приконтактовым зонам, осложненным разломами и тектоническими зонами [1, 4, 9, 11]. В мире наиболее известные представители данного типа на Аляске (Форт-Нокс, Пого, Голден Хорн, Никсон Форк) относятся к классу месторождений «intrusion related gold deposits» [11].



Список литературы:

1. Гамянин Г. Н., Гончаров В. И., Горячев Н. А. Золото-редкометалльные месторождения Северо-Востока России // Тихоокеанская геология. – 1998. – Т. 17, № 3. – С. 94–103.
2. Гаськов И. В. Новые данные о соотношении скарновой и золоторудной минерализации на Тарданском месторождении (Северо-Восточная Тува) // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 12. – С. 1227–1237.
3. Горячев Н. А., Гамянин Г. Н. Золото-висмутовые (золото-редкометалльные) месторождения Северо-Востока России: типы и перспективы промышленного освоения // Золоторудные месторождения Востока России. – Магадан : «СВНЦ ДВО РАН», 2006. – С. 50–62.
4. Дамдинов Б. Б., Гармаев Б. Л., Миронов А. Г., Дашинимаев З. Б. Золото-висмутовый тип оруденения в юго-восточной части Восточного Саяна // ДАН. – 2009. – Т. 425, № 2. – С. 208–212.
5. Кильчичаков К. М., Токунов В. Ф., Плеханов А. И. Результаты оценки Тарданского золоторудного месторождения и поисков золота в бассейне р. Бай-Сют. – Кызыл, 1966. – 150 с.
6. Коробейников А. Ф., Зотов И. А. Закономерности формирования месторождений золото-скарновой формации. – Томск : «ТПУ», 2006. – 234 с.
7. Кужугет Р. В., Анкушева Н. Н., Прокопьев И. Р., Редина А. А. Минералого-геохимические особенности и условия образования золото-сульфидно-кварцевого месторождения Тардан (Северо-Восточная Тува) // Геология и геофизика. – 2020. – Т. 61, № 2. – С. 194–215.
8. Руднев С. Н., Серов П. А., Киселёва В. Ю. Венд-раннепалеозойский гранитоидный магматизм Восточной Тувы // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 9. – С. 1572–1600.
9. Goryachev N. A., Newberry R. J., Gamyamin G. N., Layer P. W., McCoy D. T., Church S. E. Granitoid-related gold lode deposits over the Northern Pacific marginal areas // Metallogeny of the Pacific Northwest. Tectonics, Magmatism and Metallogeny of active continental margins. Proceedings of the Interim IAGOD Conference (1–20 September, 2004). – Vladivostok : «Dalnauka», 2004. – P. 199–201.
10. Lang J. R., Baker T. Intrusion related gold systems: the present level of understanding // Mineralium Deposita. – 2001. – V. 36. – P. 477 – 489.
11. Vikenteva O. V., Prokofiev V. Yu., Gamyamin G. N., Goryachev N. A., Bortnikov N. S. Intrusion-related gold-bismuth deposits of North-East Russia: PTX parameters and sources of hydrothermal fluids // Ore Geology Reviews. – 2018. – V. 100. – P. 240–259.

**Кузнецов В. В. (okt@tsnigri.ru), Серавина Т. В.  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

**ПРОГНОЗ И ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА В ВУЛКАНОГЕННЫХ  
АССОЦИАЦИЯХ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

*Колчеданные месторождения в вулканогенных ассоциациях – стратиформные концентрации сульфидных минералов, отложившихся (осажденных) из гидротермальных флюидов в условиях глубоководной среды. Условия и обстановки ведения поисков месторождений вытекают из их моделей. Выделение различных условий зависит от уровня эрозионного среза рудоносной субформации – для рудного поля, а рудовмещающего горизонта (рудоносная ассоциация литофаций) – для поискового участка и рудных залежей.*

*Ключевые слова: месторождения свинца и цинка, условия и обстановки ведения поисков, металлогенические таксоны, прогнозные критерии и признаки, послыйный анализ.*

Поисковые и поисково-оценочные работы, нацеленные на конечный результат – выделение в геологическом пространстве потенциальных месторождений в вулканогенной ассоциации (VMS), – основаны на принципе последовательного приближения, при котором поэтапно устанавливаются перспективные металлогенические единицы – таксоны разного ранга, являющиеся объектами прогнозирования и поисков: рудные поля, потенциальные месторождения. Металлогенические таксоны характеризуются следующими элементами-признаками: структурно-формационными, фаціальными, литолого-петрографическими, минералого-геохимическими, гидротермально-метасоматическими и геофизическими. Эти элементы вытекают из системы моделей месторождений и являются идентификационными признаками и критериями, позволяющими вычлнять из геологического пространства разноранговые перспективные площади (рудные узлы, поля, месторождения). Прогнозно-металлогенические исследования предусматривают комплексное изучение рудовмещающих вулканогенно-осадочных толщ современными геологическими методами, включающими опережающие геохимические и геофизические работы, обработку материалов дистанционного зондирования, аэро- и наземных геофизических исследований, специализированные геохимические работы по изучению околорудных метасоматитов для выявления обстановок локализации месторождений и на этой основе выделение перспективных площадей с колчеданно-полиметаллическим оруденением, находящимся в скрытом, скрыто-перекрытом и перекрытом залегании. Месторождения VMS, также известные как массивные сульфидные руды в ассоциации с вулканогенными породами, являются важными источниками меди, цинка, свинца, золота, и серебра. Месторождения данного типа образованы в широком временном диапазоне и охватывают пространственные ассоциации сульфидной минерализации, связанные с подводными вулканическими процессами. Колчеданные месторождения в вулканогенных ассоциациях – стратиформные концентрации сульфидных минералов, отложившихся (осажденных) из гидротермальных флюидов в условиях глубоководной среды. Термин «вулканогенный» подразумевает генетическую связь между минерализацией и вулканической активностью, но в некоторых случаях в стратиграфических комплексах (формациях) доминируют (преобладают) кремнисто-обломочные породы. Состав вулканических пород вмещающих залежи сульфидов разнообразен в диапазоне от кислых до мафических, но бимодальные (контрастные) сочетания весьма распространены

Недавние попытки классифицировать типы колчеданных месторождений в вулканогенных ассоциациях подчеркнули различия в связанных с оруденением вулканических и осадочных вмещающих породах [1, 2]. Преимущества этих систем классификации – более близкая связь между тектонической обстановкой и литолого-стратиграфическими разностями пород и увеличение прогнозной способности во время полевых исследований. Анализ имеющегося обширного фактического материала по закономерностям размещения месторождений свинца и цинка РФ позволяет выделить три рудно-формационных типа месторождений свинца и цинка: рудно-алтайский, куда относятся собственно месторождения Рудного Алтая, а также месторождения Салаирской, Еравнинской и Улугуйской МЗ; Малокавказский (или тип Куроко), не имеющий распространения на территории РФ; Нойон-Тологойский, куда входят жильные и штокверковые месторождения Дальнегорского рудного района и Приаргунской минерагенической зоны. Последний тип сопоставим с выделявшимся ранее многими исследователями Садонским. Условия и обстановки ведения поисков месторождений вытекают из их моделей. Выделение различных условий зависит от уровня эрозионного среза рудоносной субформации – для рудного поля, а рудовмещающего горизонта (рудоносная ассоциация литофаций) – для поискового участка и рудных залежей. Главными являются следующие варианты:

1. Рудовмещающие отложения вскрыты эрозией и выходят на поверхность и перекрыты маломощным чехлом рыхлых отложений менее 10 м (выходящий на поверхность).
2. Рудовмещающие отложения вскрыты эрозией, но с мощным чехлом более молодых отделений более 10 м (перекрытый вариант).
3. Рудовмещающие отложения находятся в скрытом залегании и перекрыты маломощным чехлом рыхлых отложений (скрытый вариант).
4. Рудовмещающие отложения в скрытом залегании и перекрыты мощным чехлом более молодых отложений (скрыто-перекрытый вариант).

Наиболее простой для ведения поисковых работ является первая обстановка, когда на поверхности (или под незначительным чехлом) обнажаются рудовмещающие отложения или даже рудные тела. Вторая, третья и четвертая обстановки предполагают проявление рудных залежей на глубине с обнажением на современном эрозионном срезе периферических или фланговых частей рудовмещающих отложений. В таких условиях представление о строении потенциально перспективных участков, перекрытых мощным чехлом рыхлых и молодых отложений, может быть получено только на основе сочетания геофизических, геохимических методов со структурно-картировочным бурением.

**Современный облик рудных полей и месторождений связан с интенсивным метаморфизмом как вмещающих пород, так и руд.** На Рудном Алтае, Салаире и Забайкалье проявлен контактовый метаморфизм, связанный со становлением крупных гранитоидных массивов. Контактные изменения образуют довольно мощный ореол роговиков и ороговикованных пород мусковит-роговиковой и пироксен-роговиковой фаций. На Енисейском кряже вмещающие породы и руды метаморфизованы в условиях зеленосланцевой или эпидот-амфиболитовой фаций регионального метаморфизма.

Прогноз и поиски месторождений в вулканогенной ассоциации, выделение разноранговых площадей для постановки прогнозно-минерогенических и поисковых работ основаны на послыном анализе разномасштабных карт, которые могут совмещаться друг с другом в различных сочетаниях и в любой последовательности. Целям прогнозно-металлогенических построений отвечает ограниченное число такого рода сочетаний. Они выбираются по принципу наблюдаемых геологических и металлогенических характеристик, включающих оценку их возможного отражения в различных «слоях», представленных на принципиальной схеме сочетаний и последовательности совмещения информационных слоев. Путем математического анализа выявляются закономерные пространственные соотношения элементов объектной модели и выделяются области их благоприятного сочетания, и на этой основе – новые площади, перспективные для обнаружения месторождений того или иного рудно-формационного типа.

Список литературы:

1. Barrie C. T., Hannington M. D., 1999. Classification of volcanic-associated massive sulfide deposits based on host-rock composition. Volcanic-associated massive sulfide deposits – Processes and examples in modern and ancient settings // Reviews in Economic Geology. – 1999. – V. 8. – P. 1–11.
2. Galley A. G., Hannington M., Jonasson I. Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow W.D. ed. // Mineral deposits of Canada – A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods. – Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication. – 2007. – P. 141–161.

**Лебедева М. И. (metrology@vims-geo.ru)  
ФГБУ «ВИМС»**

#### **О ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ РАЗВИТИЯ В ОБЛАСТИ МЕТОДИЧЕСКОГО И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

*Единство и требуемая точность измерений при проведении лабораторных исследований минерального сырья являются одной из приоритетных задач и определяются уровнем методического и метрологического обеспечения геологической отрасли в целом. В докладе обозначены перспективные направления работ ФГБУ «ВИМС» в данной области деятельности.*

*Ключевые слова: обеспечение единства измерений, достоверность, стандартные образцы.*

Лабораторно-аналитические исследования – необходимая составная часть геологоразведочных работ (ГРР); их роль в решении различных геологических задач трудно переоценить. В геологической отрасли РФ действует и постоянно совершенствуется отраслевая Система управления качеством аналитических работ (УКАР), аналог зарубежной системы QA/QC, которая охватывает все этапы лабораторных исследований от отбора проб до контроля качества выполнения анализа, включая требования к методикам анализа и стандартным образцам состава.

В настоящее время российская отраслевая Система УКАР функционирует на следующих базовых основах:

- руководящих документах (РД), регламентирующих требования к нормам погрешности при аналитических измерениях, разработке стандартных образцов, аттестации методик измерений, проведению всех видов контроля качества результатов анализа, обращению с объектами аналитических работ;

- аттестованных методиках выполнения измерений (МВИ) и стандартных образцах (СО), допущенных (рекомендованных) при проведении лабораторных исследований при ГРР на ТПИ;
- организации регулярных межлабораторных сличительных испытаний (МСИ);
- подтверждении технической компетентности лабораторий посредством сертификации в отраслевой системе добровольной сертификации лабораторий в сфере недропользования «УКАРГЕО» (зарегистрирована в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии, регистрационный номер свидетельства № РОСС RU.V888.04ФГТ0 от 23.12.2011 г.).

Ключевым элементом системы контроля качества, а также самым распространенным и доступным для лабораторий отрасли средством метрологического обеспечения и обеспечения единства измерений являются стандартные образцы состава. В настоящее время ФГБУ «ВИМС» проводит работы по созданию национального банка матричных стандартных образцов на основе материалов перспективных месторождений Российской Федерации, аттестованных на широкий спектр показателей.

В целях осуществления единой научно-технической политики и оказания методической помощи созданы и ведутся Отраслевые реестры МВИ [4], СО, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторных исследованиях при ГРР на ТПИ [3] и лабораторий, выполняющих исследования вещественного состава минерального сырья. Номенклатура СО включает 1053 единицы, отраслевой перечень систематически актуализируется по результатам разработки новых СО. В Отраслевой реестр включены также 1128 МВИ и 14 РД. Силами аккредитованной метрологической службы ФГБУ «ВИМС» осуществляется актуализация имеющихся методик, а также разработка и аттестация новых МВИ с учетом текущих потребностей отрасли.

Одной из эффективных форм проверки достоверности и сопоставимости результатов анализа является проверка квалификации лабораторий посредством участия в межлабораторных сравнительных испытаниях (МСИ) [1]. Ежегодно ФГБУ «ВИМС» проводит более 10 программ проверок квалификации (МСИ) для различных видов ТПИ. В МСИ принимают участие от восьми до 50 лабораторий в зависимости от сложности программы, в том числе зарубежные лаборатории.

Ввиду актуальности и востребованности работ по различным направлениям стандартизации, метрологии и сертификации, а также высокой заинтересованности со стороны государств – участников СНГ – начаты работы по созданию международного научно-методического совета по лабораторно-аналитическому обеспечению ГРР на ТПИ в составе представителей государств – участников СНГ [2]. Основными его задачами Совета являются:

- подготовка предложений о взаимном признании перечня руководящих документов по управлению качеством лабораторных исследований при ГРР на ТПИ, действующих в странах СНГ;

- создание межгосударственной системы документации, регламентирующей единый подход к обеспечению и контролю качества и достоверности лабораторных работ, формирование Единого перечня методик измерений, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторных исследованиях минерального сырья на территории СНГ;

- организация совместной разработки новых методик выполнения измерений;

- разработка регламента и реализация на регулярной основе проверок квалификации лабораторий стран СНГ посредством межлабораторных сравнительных испытаний (МСИ) по типовым объектам исследований с целью оценки сопоставимости и достоверности результатов исследований на межгосударственном уровне;

- создание единой базы средств метрологического контроля аналитических исследований – стандартных образцов, отвечающих требованиям организации ГРР на ТПИ на всем пространстве СНГ, и обеспечение возможности кооперации между лабораториями стран Содружества для ее эффективного использования и обновления. Разработка и реализация межгосударственной программы изготовления новых матричных стандартных образцов, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторных исследованиях при ГРР на ТПИ. Разработка регламента, обеспечивающего возможность трансграничного доступа к единой базе СО стран СНГ;
- разработка программы по проведению стажировок, семинаров, международных конференций для обмена опытом и оказания методической помощи лабораториям стран СНГ по различным направлениям стандартизации, метрологии и сертификации в области лабораторно-аналитических исследований при ГРР на ТПИ.

Список литературы:

1. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».
2. Отраслевой реестр стандартных образцов, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторно-аналитическом обеспечении ГРР на ТПИ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vims-geo.ru>
3. Протокол XXIV сессии Межправительственного совета по разведке и охране недр (20–22 октября 2021 г, Ташкент). [Электронный ресурс]. – URL: [https://rfgf.ru/storage/news/Протокол-Ташкент%202021%20\(1\).pdf](https://rfgf.ru/storage/news/Протокол-Ташкент%202021%20(1).pdf)

**Лебедева М. И. (metrology@vims-geo.ru), Белоусова А. А.  
ФГБУ «ВИМС»**

#### ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НСАМ № 392-Х/РС С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ГРР НА ТПИ

*Проведены экспериментальные работы по оценке возможности применения методики НСАМ № 392-Х/РС «Определение золота в горных породах, рудах рентгеноспектральным методом после концентрирования твердым органическим экстрагентом» при выполнении ГРР на ТПИ за счет федерального бюджета и включения ее в технические задания на работы по объектам Государственного заказа.*

*Ключевые слова: методика анализа, золото, экспрессный метод, точность.*

Методика НСАМ № 392-Х/РС по метрологическим характеристикам соответствует III категории точности [3] и заявлена как экспрессный низкочастотный метод определения золота в минеральном сырье. Проведены экспериментальные работы по оценке возможности применения методики НСАМ № 392-Х/РС «Определение золота в горных породах, рудах рентгеноспектральным методом после концентрирования твердым органическим экстрагентом» [1] при выполнении ГРР на ТПИ за счет средств федерального бюджета и включения данной методики в технические задания на работы по объектам Государственного заказа.

В рамках экспериментальных работ проведен анализ 468 шифрованных проб различного матричного состава. Пробы распределены по классам в зависимости от ориентировочного содержания золота. К каждой партии проб были подшифрованы стандартные образцы состава, отражающие минеральный состав и содержание золота в контрольных пробах. Экспериментальные работы проведены на базе четырех аккредитованных лабораторий [2], применяющих данную методику.

После получения результатов была проведена их статистическая обработка. Оценена прецизионность результатов, проведен контроль точности результатов анализа с использованием стандартных образцов.

По результатам работ установлено, что методика НСАМ № 392-Х/РС может быть использована в качестве альтернативной при проведении предварительных (отбраковочных) испытаний при ГРП на золото, проводимых при формировании выборок проб для последующего анализа их методами, предусматривающими пробирное концентрирование.

Список литературы:

1. Методика НСАМ № 392-Х/РС. Определение золота в горных породах, рудах рентгеноспектральным методом после концентрирования твердым органическим экстрагентом.
2. Отраслевой реестр аккредитованных лабораторий [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vims-geo.ru>.
3. Отраслевой реестр методик, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторно-аналитическом обеспечении ГРП на ТПИ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vims-geo.ru>.

**Лебедева М. И. ([metrology@vims-geo.ru](mailto:metrology@vims-geo.ru)), Кит А. Ю.  
ФГБУ «ВИМС»**

**АНАЛИЗ ОТРАСЛЕВОЙ БАЗЫ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ,  
ДОПУЩЕННЫХ (РЕКОМЕНДОВАННЫХ) К ПРИМЕНЕНИЮ  
ПРИ ЛАБОРАТОРНО-АНАЛИТИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ГРП НА ТПИ**

*Применение стандартных образцов состава является важным инструментом в обеспечении достоверности измерений при проведении лабораторных исследований минерального сырья при выполнении ГРП на ТПИ [2].*

*Ключевые слова: стандартные образцы, стандартные образцы утвержденного типа, отраслевые стандартные образцы, стандартные образцы предприятия, достоверность.*

По поручению Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) ФГБУ «ВИМС» разработал и ведет Отраслевой реестр стандартных образцов, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторно-аналитическом обеспечении ГРП на ТПИ (далее – Отраслевой реестр СО) [3].

Отраслевой реестр СО включает в себя 5 разделов:

I раздел: ГСО – стандартные образцы утвержденного типа [4];

II раздел: ОСО – отраслевые стандартные образцы;

III раздел: СОП – стандартные образцы предприятий;

IV раздел: МСО – стандартные образцы, признанные Межгосударственным советом по метрологии, стандартизации и сертификации;

V раздел: Информационные данные о СО, ранее применяемых на территории РФ (приведенные сведения носят справочный характер и не являются основанием для допуска указанных СО к применению при лабораторно-аналитическом обеспечении ГРП на ТПИ).

По состоянию на март 2022 года в Отраслевой реестр СО включены 1053 стандартных образца, из которых 45 % приходятся на долю образцов состава руд благородных металлов и продуктов их переработки, из них 26 % – образцы зарубежного производства, представленные

образцами руд благородных металлов, а также смоделированными рудами (искусственная минерализация). Несмотря на кажущийся высокий номенклатурный процент, следует учитывать, что большая часть материала практически исчерпана, а также значительная доля комплектов СО разработана под заказчика и не доступна заинтересованным организациям для широкого применения. Также в настоящее время имеются сложности с приобретением СО зарубежного производства, задержки поставок и пр., что значительно затрудняет работу лабораторий и ставит под угрозу качество лабораторных исследований.

Учитывая вышеизложенное, крайне актуальной задачей становятся работы по развитию национального банка стандартных образцов с привлечением аккредитованных производителей стандартных образцов [1] и заинтересованных недропользователей.

ФГБУ «ВИМС» в качестве отраслевой службы СО и как институт с более чем 50-летним стажем в области разработки и аттестации СО активно принимает участие в решении поставленных задач, тесно взаимодействует с лабораториями и предприятиями геологической отрасли. В настоящее время выпущены 3 линейки матричных стандартных образцов руд перспективных месторождений РФ серии «Вернинское», «Сухой Лог», «Муртыкты», аттестованных на расширенный перечень показателей [5, 6, 7].

#### Список литературы:

1. ГОСТ Р 8.753-2011 «ГСИ. Стандартные образцы материалов (веществ)». [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093434>
2. ГОСТ Р 8.871-2014 «ГСИ. Стандартные образцы предприятий и отраслей» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110980>
3. ГОСТ Р ИСО 17034-2021 «Общие требования к компетентности производителей стандартных образцов» [Электронный ресурс]. – URL: [https://allgosts.ru/03/120/gost\\_r\\_iso\\_17034-2021](https://allgosts.ru/03/120/gost_r_iso_17034-2021)
4. Отраслевой реестр стандартных образцов, допущенных (рекомендованных) к применению при лабораторно-аналитическом обеспечении ГПП на ТПИ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vims-geo.ru>
5. Порядок выдачи свидетельств об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, установления и измерения срока действия указанных свидетельств и интервала между поверками средств измерений (утвержден приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 30 ноября 2009г. №1081) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902189635>
6. Порядок утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений (утвержден приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 30 ноября 2009г. №1081) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902189635>.
7. Федеральный закон от 26 июня 2008г. №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_77904/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/)

**Литвиненко И. С. (litvinenko@neisri.ru)  
ФГБУН «СВКНИИ ДВО РАН»**

#### **ШЛИХОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКИХ ЗОЛОТОНОСНЫХ РАЙОНОВ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ) КАК ИНДИКАТОРЫ ФОРМАЦИОННОГО И МИНЕРАЛЬНОГО ТИПОВ ИХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

*На основе статистической обработки результатов спектрального и атомно-абсорбционного анализов 517 концентратов илиховых проб из россыпных месторождений Кулино-Тенькинского,*

*Таскано-Среднеканского и Нерега-Буюндинского золотоносных районов выявлены показатели формационного типа их коренных источников. Оценена роль различных типов коренных источников в формировании россыпных месторождений Омчакского, Улахан-Аурумского, Оротуканского, Ат-Юряхского, Мякитского и Верхнее-Буюндинского рудно-россыпных узлов.*

*Ключевые слова: Северо-Восток России, золото, россыпи, коренные источники.*

В Центрально-Колымских районах Яно-Колымского пояса россыпной золотоносности установлено более 1300 россыпных месторождений, из которых добыто около 2,7 тыс. т золота. Поэтому вполне понятно желание геологов выявить здесь адекватные им коренные месторождения. Надежными показателями для выбора рациональной методики поисково-разведочных работ с целью выявления рудных объектов может послужить информация не только о строении россыпных месторождений и типоморфных признаках распространенного в них золота, но и об их геохимическом составе.

С использованием пакета прикладных программ «Лидер» (разработка информационно-вычислительного центра ПГО «Севзапгеология») проведена обработка результатов исследований 517 шлиховых проб из россыпных месторождений Кулино-Тенькинского (Омчакский и Улахан-Аурумский узлы), Таскано-Среднеканского (Оротуканский и Ат-Юряхский узлы) и Нерега-Буюндинского (Мякитский и Верхне-Буюндинский узлы) золотоносных районов. Россыпи в них формировались за счет соответственно золото-кварц-сульфидного (золото-сульфидно-вкрапленные руды), золото-кварцевого (золото-кварцевые жилы и штокверки) и золото-редкометалльного (золото-висмутовые штокверки, связанные с гранитоидами) типов коренных источников.

Из легкой и тяжелой фракций шлихов были отобраны навески на экспрессный количественный спектральный (ЭКСА) [2] и атомно-абсорбционный анализы, выполненные в ЦКП СВКНИИ ДВО РАН. В дальнейшую статистическую обработку включены Au (по данным атомно-абсорбционного анализа), Ag, Fe, As, Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Mn, W, Bi, Mo, Sn, Sb (по данным спектрального анализа).

В легкой составляющей шлихов отдельно анализировались алевритовая и песчаная фракции. Учитывая, что связь между минералами в тяжелой фракции шлихов может быть не парагенетической, а парастетической, анализировалась ее электромагнитная составляющая, представленная главным образом оксидами и гидроксидами железа. В процессе их образования при разрушении руд они включали в себя зерна других минералов. Поэтому спектральный анализ электромагнитной составляющей тяжелой фракции, на наш взгляд, дает наиболее адекватное представление о минералого-геохимической специализации рудных проявлений, послуживших источниками россыпей.

Для выявления геохимической специализации россыпных месторождений использовался показатель «нормированное отклонение содержания элементов в данной выборке» ( $\Delta$ ). Он рассчитывался по формуле:

$$\Delta = \text{Ln} (C_b/C_o) \quad (1)$$

где  $C_b$  и  $C_o$  – соответственно средние значения логарифмов концентраций элемента в данной выборке и во всей совокупности проб. По этому показателю оценивается индикаторная роль элементов в рассматриваемых выборках геохимических характеристик. Если среднее содержание элемента в выборке превышает его среднее содержание во всей совокупности проб, то их отношение больше 1, а показатель нормированного отклонения имеет положительное значение, и чем он больше, тем более высокую индикаторную роль играет элемент в данной выборке. Диаграмма нормированных отклонений содержаний элементов в выборке является для нее своеобразным «геохимическим паспортом».

Наиболее контрастная разница шлихогеохимической специализации россыпей выявляется по тяжелой фракции. Расчет «геохимических паспортов» тяжелой фракции россыпей показал ее определенную геохимическую специализацию для рассматриваемых золотоносных районов. В россыпных месторождениях Кулино-Тенькинского района, формировавшихся за счет золото-кварц-сульфидного типа коренных источников, положительную индикаторную роль играют As (0,81), Ni (0,24), Co (0,27), а также Zn (0,22), Cu (0,13), Fe (0,05), Mn (0,08), Pb (0,08). Преимущественно низкопробный и мелкий характер распространенного в данном типе коренных



источников самородного золота находит отражение в положительных значениях показателя нормированного отклонения Au (0,65) и Ag (0,36). В россыпях Нерего-Буондинского района, образовавшихся в результате разрушения золото-редкометалльного (связанного с гранитными интрузиями) оруденения положительную индикаторную роль играют Bi (0,96) и W (0,87), а также – Sn (0,30), Pb (0,23), Sb (0,11) и Mn (0,08). Тяжелая фракция россыпных месторождений Таскано-Среднеканского района с коренными источниками золото-кварцевого типа характеризуется пониженным содержанием всех элементов. На повышенную крупность распространенного в данном типе коренных источников самородного золота указывает высокое отрицательное значение показателя нормированного отклонения Au (-1,36) в связанных с ними россыпях.

Оценка роли различных типов коренных источников в формировании россыпных месторождений конкретных золотоносных узлов выполнена на основе выделения геохимических типов тяжелой фракции. Комбинированными методами кластер-анализа по комплексу элементов с учетом их индикаторной роли в шлиховых пробах из исследованных россыпей выделены 6 геохимических типов тяжелой фракции. По геохимической специализации выделенные геохимические типы тяжелой фракции россыпей характеризуются:

1-й тип – оловянно-вольфрамовый с висмутом;

2-й тип – кобальт-марганцевый (с невысоким содержанием всех элементов);

3-й тип – железо-мышьяковый с кобальтом и никелем;

4-й тип – характеризуется пониженным содержанием всех элементов;

5-й тип – кобальт-никель-железистый с оловом, цинком и марганцем;

6-й тип – свинцово-оловянно-мышьяковый с цинком, железом, висмутом, марганцем, серебром и никелем.

Исходя из анализа соотношения содержания элементов в выделенных геохимических типах тяжелой фракции, их корреляционных связей, можно констатировать, что 3-й и 5-й типы характерны для россыпей с золото-кварц-сульфидным, 1-й и 6-й – с золото-редкометалльным, 2-й и 4-й – с золото-кварцевым типами коренных источников.

Согласно геохимическим типам тяжелой фракции, выделено 6 соответствующих геохимических типов шлиховых проб и по их соотношению и индикаторной значимости оценена роль различных коренных источников в формировании россыпных месторождений, входящих в золотоносные районы рудно-россыпных узлов.

Индикаторная значимость геохимических типов шлиховых проб определялась по показателю (k) – средневзвешенной доли шлиховых проб данного геохимического типа в россыпных месторождениях данного золотоносного узла. Он рассчитывался по формуле [1]:

$$K = \ln [(n_{m,r} \times N)/(n_r \times n_m)], \quad (2)$$

где  $n_{m,r}$  – количество шлиховых проб данного геохимического типа в россыпях данного узла, N – общее количество проанализированных шлиховых проб,  $n_r$  – количество шлиховых проб в целом по геохимическим типам,  $n_m$  – то же по узлам. Статистически значимыми («законными») в россыпях рассматриваемого рудно-россыпного узла являются геохимические типы шлиховых проб с положительным значением показателя (k). Чем он выше, тем большую индикаторную роль (как индикаторный признак) играет данный геохимический тип шлиховых проб в россыпях рассматриваемого узла.

В Кулино-Тенькинском золотоносном районе в россыпях Омчакского узла положительное значение показателя (k) присуще шлиховым пробам 3-го геохимического типа. На них приходится основная масса отобранных в пределах узла шлиховых проб (84%). Совместно с 5-м типом (11% от всех проб) они подтверждают ведущую роль в формировании россыпей узла золото-кварц-сульфидного оруденения. В Улахан-Аурумского узле наряду с 3-м (25% от всех проб) и 5-м (30% проб) положительное значение (k) присуще 6-му (33% проб) геохимическому типу шлиховых проб, отражающему присутствие в его пределах золото-редкометалльной минерализации наряду с золото-кварц-сульфидной.

Среди шлиховых проб из россыпей Оротуканского узла Таскано-Среднеканского золотоносного района положительное значение (k) имеет 4-й геохимический тип, на который приходится 52% проб. Это свидетельствует о поступлении золота в россыпи узла в основном из рудных проявлений золото-кварцевого типа. В россыпных месторождениях бассейна р. Ат-Юрях наряду

со 2-м, отражающим золото-кварцевый тип коренных источников, положительное значение (k) характерно также для 3-го и 5-го типов, указывающих на существенное участие в формировании россыпей узла золото-кварц-сульфидного оруденения.

Связь россыпных месторождений Верхне-Буяундинского узла Нерега-Буяундинского золотоносного района с золото-редкометалльным оруденением отражается в положительном значении (k) шлиховых проб 1-го (47% всех проб) и 6-го (15% всех проб) геохимических типов. В Мякитском узлу наряду с преобладающим 1-м типом (63% от всех проб), положительным значением (k) характеризуются и шлиховые пробы 5-го геохимического типа (25% всех проб), указывающие на присутствие в узле и золото-кварц-сульфидного типа коренных источников.

Таким образом, количественный статистический анализ состава и содержания элементов в тяжелой фракции россыпных месторождений позволяет достаточно определенно выявить показатели формационного и минерального типов их коренных источников. Из проведенного анализа шлихогеохимической специализации исследованных россыпей следует, что золото-кварцевое и золото-кварц-сульфидное оруденение зачастую совмещены. Близость шлихогеохимической специализации россыпей Омчакского и Ат-Юряхского золотоносных узлов указывает на возможность наличия в Ат-Юряхском узле большеобъемных золото-кварц-сульфидных месторождений Наталкинского типа.

Список литературы:

1. Приставко В. А., Пляшкевич А. А., Морозова С. Г. Геолого-геохимические типы руд и метасоматитов месторождения Нодди (Южно-Омолонский рудный район) // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики: В 3-х т. Материалы Всероссийского совещания, посвященного 90-летию академика Н.А. Шило (XII годичное собрание Северо-Восточного отделения ВМО). Магадан, 3–6 июня 2003 г. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – Т. 3. – С. 136–139.
2. Приставко В. А., Устюжин П. В., Сафронов Д. Н., Попова Л. А. Экспрессный количественный спектральный анализ геохимических проб на широкий круг элементов // Методы прикладной геохимии. Тез. докл. II Международного симпозиума. Ч. 2. – Иркутск : ИГ СО АН СССР, 1981. – С. 231.

**Лихоман О. А. (lihomanO@yandex.ru)**  
**ФГБОУ ВО «СГУ им. Н. Г. Чернышевского»**

## **РОЛЬ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ОБРАЗОВАНИИ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА (ОРЕНБУРГСКИЙ УРАЛ)**

*Колчеданные месторождения, бесспорно, являются коренными источниками золота и играют значительную роль в образовании россыпей, содержащих богатые запасы золота. На территории Оренбургского Урала колчеданные месторождения и проявления, в значительной мере обогащенные золотом, распространены широко. Вокруг них прослеживаются устойчивые шлиховые ореолы золота с кондиционным его содержанием в шлиховых пробах.*

*Ключевые слова: золото, рудный карст, железные шляпы, коренные источники, структуры.*

Основное количество золота, равное или несколько превышающее по суммарным запасам другие типы месторождений вместе взятые, сосредоточено в собственно колчеданных, серно-медно-цинковых месторождениях и их железных шляпах [1, 6]. В большинстве случаев золото (вместе с серебром) может извлекаться из колчеданных месторождений попутно без дополнительных затрат в количествах, больших, чем дают многие собственно золоторудные месторождения.

Рудоконтролирующими структурами этих метасоматических сульфидных месторождений являются зоны повышенной трещиноватости, проницаемости, узлы пересечения разного порядка дизъюнктивных нарушений, контакты пород различной компетентности. Для большинства месторождений этого типа отмечаются особенности: 1) приуроченность их к вулканогенным отложениям существенно андезито-базальтового состава; 2) широкое развитие предрудноизменённых пород, особенно вторичных кварцитов, зон серицитизации и пропилитизации. Наблюдается определённая связь многих колчеданных месторождений с интрузивным магматизмом, и установлен их позднегерцинский возраст. Вокруг колчеданных месторождений и проявлений прослеживаются устойчивые шлиховые ореолы золота с кондиционным его содержанием в пробах. Золото в колчеданных россыпях мелкое (0,004–0,3 мм), в зоне гипергенной проработки оно укрупняется до 1,5–2 мм и до самородков весом в несколько килограммов (М.Н. Альбов, 1960; В.М. Красников, Р.С. Сейфулин, 1967; Н.А. Росляков, 1986; Г.В. Нестеренко, В.А. Воротников, М.Н. Николаев, 1986; В.А. Тищенко, 1986). Среднее содержание золота в рудах колчеданных месторождений 0,5–1,5 г/т, в колчеданных полиметаллических рудах увеличивается до 10–20 г/т, реже до 100–200 г/т (Яман-Касы).

Колчеданные месторождения на Южном Урале сосредоточены в западной и восточной частях Магнитогорской зоны, в меньшей мере в ее обрамлении. Месторождения локализуются в рудоносных вулканических поясах: Кракинско-Медногорский (Блявинский), Тубинско-Гайский (Таналыкский), Южно-Ирендыкский, Джусинско-Домбаровский, Бакоузьяк-Сибайский, Учалинско-Александровский, Карабакский, Ащebutакский. По составу и геологическому положению колчеданные месторождения принадлежат к типам: Уральскому – медно-цинковому; Домбаровскому – медному; Баймакскому – золото-полиметаллическому; Ивановскому – кобальт-медному. Колчеданные месторождения залегают в базальтовом, базальт-риолитовом, базальт-андезит-риолитовом вулканогенных комплексах натриевого профиля на трех стратиграфических уровнях: 1 – ордовикско-силурийском, 2 – раннедевонско-эйфельском, 3 – среднедевонском.

На территории Орского Зауралья ореолы рассеяния золота, связанные с многочисленными колчеданными, медно-колчеданными и колчеданно-полиметаллическими рудопроявлениями и месторождениями, располагаются в виде трех полос различной ширины и направления. Самая протяженная из них в западной ее части шириною 10–20 км прослеживается в меридиональном направлении. На севере она начинается от среднего течения р. Б. Караганка, далее к югу проходит через р. М. Караганка, верховье и среднее течение р. Якши-Акжар, по р. Кумус-Тюбе, через среднее течение р. Джуса, по рр. Караганды-Сай и Акжарке, среднее течение р. Камсак, верхнее течение р. Домбаровка и в верховье р. Кугутык. Золото крючковатое и шишковидное, наблюдается в ассоциации с киноварью, пиритом, баритом. В тектоническом отношении полоса ореолов рассеяния совпадает с Ащebutакским и Теренсайским антиклинориями, сложенными вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями нижнего и среднего девона, верхнедевонскими и нижнекаменноугольными терригенными и терригенно-карбонатными. В пределах Ащebutакского и Теренсайского антиклинориев в связи со слабыми неотектоническими движениями золото не образует протяженных ореолов рассеяния, и лишь незначительная его часть выносится в реки. Чаще всего оно оседает в непосредственной близости на небольшом удалении от первоисточников, над ними или вокруг них формируются элювиальные и делювиальные россыпи. Практическое значение эти россыпи имеют на участках проявления железных шляп и закрытого рудного карста. Характерными признаками железных шляп являются обильные развалы лимонитов. Рудный закрытый карст в большинстве случаев прослеживается в рельефе по понижениям, сопровождающимся солонцами и грязевыми вулканчиками. Перспективными в отношении обнаружения золотоносных россыпей, связанных с разрушением сульфидных проявлений и месторождений колчеданного типа в пределах Ащebutакского и Теренсайского антиклинориев, являются: бассейн среднего течения р. М. Караганка, верхнее течение р. Якши-Акжар, левобережье р. Караганды-Сай, бассейны оврагов Караус, Джегутла, Качкарское, верховье рр. Тюлькубай и Акжарка, среднего течения р. Камсак.

Вторая более широкая полоса ореолов рассеяния золота в северной части Орского Зауралья протягивается с северо-востока на юго-запад, охватывая верхнее течение р. Суундук, ее притоки

Рымниковский, Безымянку, Солончатку, Байтук, Каинды, нижнее течение рр. Урус-Кискен, Джар-Бутак, Джуса, Крыкла, верхнее течение р. Кара-Бутак и другие. Золото в шлихах пластинчатое, чешуйчатое, лепешкообразное, чечевицеобразное, крючковидное, шишковидное, дендритовидное, древовидное. Анализ данных по картировочному бурению, геоморфологической съемке и шлиховому опробованию бассейна верхнего течения р. Суундук позволяет считать район распространения отложений древней олигоцен-миоценовой долины перспективным на обнаружение кондиционных россыпей золота [2, 3, 4, 5]. Участок левобережья верхнего течения р. Байтук, связанный с железными шляпами и закрытым рудным карстом, наиболее интересный и перспективный на обнаружение элювиальных россыпей золота. Полоса развития лимонитов с сульфидной минерализацией сопровождается ореолами рассеяния золото-киноварь-пирит-баритовой ассоциации.

Третья полоса ореолов рассеяния золота шириною 30–40 км прослеживается от верховий р. Урус-Кискен и правых притоков верхнего течения р. Джарлы, через рр. Джарбутак, Джангыз-Агач, Бостыбай, Кайракты к верхнему течению рр. Кумак, Киембай и среднему течению р. Ушкота. Большинство ореолов рассеяния золота этой полосы тяготеет к зонам региональных разломов, контактам интрузивных тел с вмещающими породами и к жильным образованиям. В пределах Аниховской грабен-синклинали (бассейн рр. Джагыз-Агач, Бостыбай и верховье р. Кайракты) и Сары-Обнинской синклинали (верховье р. Сасык-Сай) золото в шлихах наблюдается совместно с кинноварью, пиритом, халькопиритом, шеелитом. Ореолы рассеяния тяготеют к зонам ожелезнения и окварцевания среднедевонских эффузивов и нижнекаменноугольных вулканогенно-осадочных пород. В ореоле рассеяния золота протяженностью до 10 км в районе верхнего течения р. Киембай вблизи Еленовского медно-молибденового месторождения золото наблюдается совместно с халькопиритом и турмалином.

Источником золота на территории Орского Урала, как и в пределах Орского Зауралья, являются колчеданные рудопроявления и месторождения. Ореолы рассеяния такого золота встречены по р. Сакмаре, по рр. Таналыку, Туратке, в районе их слияния, в нижнем течении р. Макан, по мелким рекам вокруг Гайского и Блявинского колчеданных месторождений, в бассейне верхнего течения рр. Киндерли и Чебакла и в нижнем течении р. Киргильды-Сай. Золотоносность современного аллювия этих рек известна с начала XX в. По р. Таналык, аллювий которого отличается значительными запасами золота и платины, добыча россыпного золота велась с 1908 по 1924 гг. (Н. К. Высоцкий, 1925). Неокатанные и угловато-окатанные зерна золота размером 0,5–2 мм указывают на незначительный транспортный путь его от коренных источников. Протяженные и выдержанные ореолы рассеяния (5–6 км) позволяют сделать вывод, что в бассейне р. Чебаклы в современных условиях происходит формирование аллювиально-делювиальных и аллювиальных россыпей золота.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что колчеданные месторождения и проявления на территории Оренбургского Урала, бесспорно, играют значительную роль в образовании россыпей, содержащих значительные запасы золота. Существование указанной взаимосвязи резко повышает потенциальные возможности Оренбургского Урала на россыпное золото. Для определения перспективности колчеданных зон Оренбургского Урала как источников золота необходима постановка детальных ревизионных и оценочных работ, предшествующих поискам.

#### Список литературы:

1. Бородаевский Н. И., Левитан Г. М. Типовые условные обозначения и методика составления среднемасштабных карт прогноза на золоторудных месторождениях эвгеосинклинальных золоторудных провинций (на примере Урала). – М. : ЦНИГРИ, 1975. – 61 с.
2. Лихоман О. А. Актуальные проблемы геологии Внешней зоны Южного Урала // Материалы 13 Уральского литологического совещания. От анализа вещества к бассейновому анализу. – Екатеринбург : 2020. – С. 128–130.

3. Лихоман О. А. Актуальные проблемы металлогении ртути Южного Урала // ДАН. – 2013. – Т. 453, № 2. – С. 176–179.
4. Лихоман О. А. Шлиховое опробование как эффективный метод поисков и прогнозирования россыпных и коренных месторождений // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов X Международной научно-практической конференции. (13–16 апреля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). М. : ФГБУ «ЦНИГРИ». – 2021. – С. 131–133.
5. Тищенко В. А. Геологические условия формирования и распределения россыпей в мезозойских и кайнозойских отложениях Оренбургского Урала. / Дисс. ... к.г.-м.н. – Ленинград, 1987. – 247 с.
6. Флеров И. Б. О россыпеобразующей способности золоторудных формаций и их роли в питании россыпей. Условия формирования, методика изучения и поиски россыпных месторождений золота // Труды ЦНИГРИ. – М.: ЦНИГРИ, 1981. – Вып. 158. – С. 3–12.

**Лобанов К. В. (lobanov@igem.ru), Докучаев А. Я., Кулаков Ф. В.,  
Чичеров М. В. (chicher@igem.ru)  
ФГБУН «ИГЕМ РАН»**

#### ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ПЕРВОГО В РОССИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДИ В КОНЦЕ XV ВЕКА

*В средние века русское государство, формировавшееся вокруг Москвы, остро нуждалось в цветных металлах, прежде всего, меди и серебре. Однако на территории Московского княжества не было месторождений этих металлов и их приходилось закупать за границей. В XV веке во время царствования Ивана III к московскому государству были присоединены обширные новгородские земли, на которых начались поиски цветных металлов. В бассейн реки Печора была отправлена первая государственная рудоискательная экспедиция, которая обнаружила медные руды на реке Цильме.*

*Ключевые слова: медные и серебряные руды, Цильма, рудоискательные экспедиции.*

На протяжении всей своей истории развития Московское государство испытывало крайнюю нехватку ресурсов для металлургической промышленности. Развитие государства и его укрепление приводили к постоянному увеличению потребности в цветных и благородных металлах. Золото и серебро требовались для чеканки монет и ювелирных изделий, медь – для отливки колоколов и различной утвари.

Ситуация обострилась еще больше в XV веке, когда активно стала развиваться артиллерия. Для производства бронзовых пушек также требовалось много меди. Практически все цветные и благородные металлы, а также значительную часть железа приходилось закупать за границей, расплачиваясь главным образом пушниной. Стоили импортные металлы дорого.

На Руси к тому времени было освоено только производство железа. Оно вырабатывалось из болотных руд и было невысокого качества. Поэтому железо приходилось дополнительно покупать в Германии и Швеции, которое стоило гораздо дороже русского. Во время политических обострений торговый союз Ганзы прекращал продажу металлов новгородцам.

В 1462 году великим князем Московским стал Иван III Васильевич (Иван Великий 1440–1505 гг.). Во время его правления произошло объединение значительной части русских земель вокруг Москвы и её превращение в центр Русского государства, за что он получил прозвище «собиратель земли русской». Иван III сделал решительный шаг к преодолению феодальной раздробленности и ликвидации удельной системы, заложил экономические, политические, юридические и административные основы единого государства.

Иван III выступил как реформатор Русского государства. Он установил торговые связи с европейскими странами, пригласил иностранных специалистов, которые привезли новые технологии в производстве. Началось масштабное каменное строительство новых храмов и крепостей, в том числе с помощью итальянских мастеров. Активизировались поиски полезных ископаемых, необходимых для развития государства. Было налажено производство артиллерийских орудий.

Большую роль в этих изменениях и налаживании связей с европейскими странами сыграла византийская принцесса Софья (1455–1503) – племянница последнего византийского императора Константина XI Палеолога, ставшая в 1472 году женой Ивана III.

В 1478 году Московский князь Иван III присоединил Великий Новгород к Московскому государству. Вместе с ним в состав единого русского государства вошли обширные северо-восточные земли, на которые распространялась власть Новгорода. На этих территориях начались целенаправленные поиски новых рудных месторождений. Эти поиски, очевидно, опирались на какие-то сведения о наличии медных и серебряных руд в этих местах. Стремясь организовать работы по поискам и разведке рудных месторождений, Иван III активно искал специалистов горного дела, посылая послов в разные страны с указанием найти таких людей. И в 1490 году такие специалисты, по-видимому, были найдены.

26 марта 1491 г. Иван III отправил первую государственную рудоискательную экспедицию из Москвы на поиски серебра и меди в бассейн р. Печоры. В экспедицию входили два «немца» Иван и Виктор. Руководили экспедицией «дети боярские» Андрей Петров и Василий Иванов Болтин [1].

Через семь месяцев, 20 октября 1491 года, они вернулись в Москву с известием, что 8 августа нашли не только серебряную, но и медную руды на реке Цильме, притоке реки Печоры. Проявления меди были найдены на значительном расстоянии. Успех экспедиции был связан с тем, что в распоряжении её участников, видимо, имелись какие-то сведения о рудных залежах.

1491 год принято считать началом горно-металлургического промысла в Российском государстве, а Цилемское месторождение стало первым в истории Российского государства разработанным месторождением руды [2]. Медные руды на Цильме находятся в верхнедевонских отложениях. Они представлены несколькими типами: 1) мелкие углефицированные растительные обломки с медной зеленью, встречающиеся в красно-бурых алевритовых песчаниках; 2) голубовато-серые алевролиты, пропитанные халькозином и окисленными медными минералами, образующие линзы, тонкие прослои, прослеживающиеся на протяжении нескольких метров, и неправильные пятнистые выделения. Мощность линз не превышает 50–70 см, прослоев – 20–30 см. Содержание меди до 11 %. В этих линзах и прослоях встречаются богатые медные руды, представленные фитоморфозами халькозина по растительным остаткам. Содержание меди до 33 %.

В 1492 году вторая экспедиция, насчитывавшая уже около 350 рабочих, заложила на Цильме в 7 км выше впадения в нее речки Рудянки медные рудники и поставила плавильные печи, где выплавляли не только медь, но и серебро, и даже золото, содержащиеся в рудах «в малой примеси». В работах участвовали специалисты из Италии. Однако крайняя удалённость от обжитых мест, отсутствие путей сообщения и бедность руд сделали добычу серебра и меди на Цилемском месторождении невыгодной, и через несколько лет она была прекращена.

В связи с разработкой Цилемских месторождений в низовьях Печоры по наказу Ивана III в 1499 г. был «зарублен» Пустозерск, первый русский город за Полярным кругом, сыгравший видную роль в организации поисков и разработке рудных месторождений в Печорском крае. Пустозерск неоднократно служил отправным пунктом рудоискательных экспедиций, отправлявшихся на Печору, Новую Землю и другие арктические острова [4].

В царствование Михаила Романова, в 1617 году в Пермском крае были найдены медные руды. После присоединения Урала в первую очередь велись поиски и разрабатывались медные месторождения в пермских песчаниках, аналогах Цилемского месторождения. В 1636 году здесь был построен Пыскорский (Григоровский) медеплавильный завод. Попытки разработки цилемских руд неоднократно возобновлялась в течение последующих веков. В XVI веке при царе Иване Грозном была предпринята новая попытка освоения цилемских руд, но и она закончилась неудачей из-за низкого качества руд.

В XVII веке было организовано несколько рудоискательных экспедиций на Севере, которые также посещали район Цилемского месторождения, но пригодных для освоения рудопроявлений обнаружено не было [3].

Список литературы:

1. Карамзин Н. М. История Государства Российского: В XII томах. В 3 книгах. Книга 2, тома V–VIII. – М. : Изд-во АСТ, 2008. – 733 с.
2. Курлаев Е. А., Манькова И. Л. Освоение рудных месторождений Урала и Сибири в XVII веке. – М. : Изд-во Древлехранилище, 2005. – 324 с.
3. Лицевой летописный свод. Книга 17. – М. : Изд-во Актеон. – 506 с. URL: [http://www.akteon-elib.ru/New\\_Edition/LITsleVOI-LIeTOPISNYI-SVOD.-Russkaia-lietopisnaia-istoriia.-Knigha-17](http://www.akteon-elib.ru/New_Edition/LITsleVOI-LIeTOPISNYI-SVOD.-Russkaia-lietopisnaia-istoriia.-Knigha-17).
4. Окладников Н. А. Российские колумбы. Мезенские полярные мореходы и землепроходцы (XVI–начало XX века). – Архангельск : ОАО «Правда Севера», 2008. – 358 с.

**Любимова А. В. (anna@geosys.ru), Толмачева Е. Р. (elena@geosys.ru),  
Деев К. В. (kiry@geosys.ru)  
ФГБУ «ВНИГНИ»**

#### ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КАРТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ГИС

*Рассматриваются вопросы повышения точности оценки площадей и длин для целей подготовки технической документации в рамках проектирования региональных геологоразведочных работ, лицензирования и других задач, возникающих в рамках деятельности отраслевых предприятий. Приводятся результаты анализа точности различных методов расчета картометрических характеристик, в том числе нового алгоритма для расчета площадей и длин, реализованного в ГИС INTEGR0.*

*Ключевые слова: геоинформационные системы, картографические проекции, картометрия, ГИС INTEGR0.*

Оценка длин и площадей является важной составляющей таких задач, как разработка технических заданий по объектам геологоразведочных работ, определение характеристик конкурсных и аукционных объектов, подготовка лицензионных документов на пользование недрами. Геоинформационные системы с их удобными инструментами измерений и калькуляторами для расчета геометрии объектов слоя существенно упростили решение этой задачи. Однако, необходимо помнить, что полученные в результате этих вычислений геометрические характеристики (длины и площади) зависят от той картографической проекции, в которой выполнен расчет. Практика показывает, что даже при выборе для проведения таких вычислений проекции Гаусса-Крюгера, которая обеспечивает минимум искажений длин, углов и площадей в пределах одной зоны, расхождение в значениях площади номенклатурного листа М 1:200 000 при его расположении в центре и на границе зоны составляет ~1,6 км (для широты 62°). Особенно значительны эти ошибки при оценке картометрических показателей для протяженных объектов, размеры которых сопоставимы или превышают ширину шестиградусной зоны. Второй более серьезный источник ошибок при вычислении площадей и длин на плоскости – это невозможность учесть истинную кривизну линии или контура в том случае, когда протяженный объект задан только координатами начала и конца линии (или угловых вершин контура). Избежать этих проблем можно с помощью применения формул сферической геометрии, то есть выполнения расчетов на выбранном эллипсоиде вращения. Однако далеко не все ГИС, используемые сегодня

в отрасли, имеют такой инструментарий. Другим способом увеличения точности вычислений является применение специальных картографических проекций, которые обеспечивают минимизацию искажений площадей (равновеликие проекции) и длин (равнопромежуточные проекции). Однако в этом случае полученный результат будет зависеть от выбранной проекции и ее параметров, что существенно затрудняет получение одинаковых результатов при расчетах, выполненных разными специалистами в разных организациях.

Поэтому чрезвычайно важным является разработка унифицированных технологических рекомендаций по расчету картометрических характеристик для формирования отраслевых документов. В настоящее время во многих предприятиях отрасли уже прорабатываются вопросы, связанные с обеспечением требуемой точности этих вычислений. Например, ФГБУ «Росгеолфонд» предлагает следующий подход для расчета площадей лицензионных участков в среде ГИС:

1. Для объектов небольшого размера (протяженность которых составляет не более одной зоны проекции Гаусса-Крюгера) площадь рассчитывается в системе координат Гаусса-Крюгера со средним меридианом шестиградусной зоны, в которой расположен объект.

2. Для протяженных объектов (более шести градусов по широте) площадь рассчитывается по следующему алгоритму:

- нарезка объекта на фрагменты, соответствующие шестиградусным зонам,
- расчет площади каждого фрагмента в своей зоне Гаусса-Крюгера,
- суммирование полученных значений для получения результирующей оценки.

Такой подход может быть реализован в любом ГИС-пакете, поэтому позволяет унифицировать выполнение расчетов и получить одинаковые результаты независимо от используемого программного обеспечения. Хотя, безусловно, полностью устранить ошибки при оценке площадей и длин таким способом все равно не удастся. Во-первых, некоторые части объекта будут расположены на краях шестиградусной зоны и, следовательно, искажены больше, чем те части объекта, которые попадают в центральную часть зоны. И, во-вторых, расчет будет проводиться без учета истинной кривизны географических линий в данной проекции.

В программе ГИС INTEGRO (ФГБУ «ВНИГНИ») сегодня наряду с классическим функционалом измерений площадей и длин реализуется еще один метод для проведения более точных оценок. Он базируется на сходном с предлагаемым ФГБУ «Росгеолфонд» методом, основанном на разделении объектов на зоны в соответствии с выбранным масштабным уровнем оценки (1:1000 000, 1:200 000 и 1:50 000). При этом в объект виртуально вставляются дополнительные вершины с шагом, пропорциональным выбранному масштабному уровню оценки. Это позволяет при расчете учесть истинную кривизну линии или контура объекта. Далее для каждого полученного фрагмента рассчитываются площади (или длины) в системе координат Гаусса-Крюгера с центральным меридианом, проходящим через его центр. Таким образом минимизируется влияние искажений на краях зоны.

В рамках апробации данного алгоритма мы провели экспериментальные расчеты площадей на примере тестового объекта, который представлял собой протяженный прямоугольный объект с размером  $\sim 8^\circ$  по широте, расположенный на границе двух номенклатурных зон Гаусса-Крюгера. При этом форма тестового объекта задавалась в двух вариантах:

1. Объект I задавался координатами угловых точек и дополнительными промежуточными точками контура с шагом 3 минуты.

2. Объект II задан только координатами углов.

В процессе эксперимента площадь объекта рассчитывалась следующими методами:

- на эллипсоиде (самый точный способ расчета),
- в равновеликой проекции, передающей площади без искажений (площадь в этом случае зависит только от кривизны границы линий контура объекта в проекции),
- по предлагаемой методике ФГБУ «Росгеолфонда» (с разбивкой на номенклатурные листы миллионного масштаба),
- функцией INTEGRO с точностью для масштаба 1:1000 000

По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:



1. Как и ожидалось, оценка площади на эллипсоиде не зависит от степени генерализованности его контура, то есть мы получили идентичные значения площадей для обоих вариантов формы объекта.

2. Наиболее близок к оценке площади на эллипсоиде результат расчета площади в равновеликой проекции для объекта I с дополнительными промежуточными вершинами.

3. Площадь, полученная функцией INTEGR0, ближе всего к истинной площади объекта, рассчитанной на эллипсоиде как для объекта I, так и для объекта II. Таким образом, данный алгоритм расчета практически не зависит от генерализованности контура объекта и позволяет получить хороший результат даже в случае задания контура только точками его вершин без промежуточных точек.

4. Оценка по методике ФГБУ «Росгеолфонд» практически совпадает с результатами оценки, полученной в INTEGR0, в случае обработки объекта I (разница в значениях составляет ~9 км<sup>2</sup> при общей площади объект ~130 км<sup>2</sup>.) Однако если сравнивать результаты оценки площади для объекта II, заданного только координатами углов, то погрешность оценки возрастает более чем в 10 раз. Безусловно, такое отклонение не является критичным при проведении исследований регионального уровня (например, оценке плотности изученности или плотности ресурсов полезных ископаемых). Однако может служить источником серьезных разногласий, например, при оценке стартовых платежей при проведении конкурсов и аукционов на право пользования недрами или определении объемов полевых работ при проведении ГРП.

Учитывая важность унификации расчетов, в настоящий момент в план развития ГИС INTEGR0 поставлена задача разработки дополнительной функции калькулятора для получения значений длин и площадей объектов по методике ФГБУ «Росгеолфонд». Кроме того, на наш взгляд, сегодня необходимо обсуждение данного вопроса на отраслевом совещании с целью утверждения единого подхода к расчетам и его эффективного использования в работе предприятий Федерального Агентства по недропользованию.

**Мамедов В. И.**<sup>1</sup>, **Макарова М. А.**<sup>2</sup> (frolikovam@gmail.com), **Боева Н. М.**<sup>2</sup> (boeva@igem.ru),  
**Шипилова Е. С.**<sup>2</sup> (lenusik.shipilva@rambler.ru), **Лопухин М. А.**<sup>3</sup> (lopuxin\_max@mail.ru)  
<sup>1</sup> МГУ имени М. В. Ломоносова, <sup>2</sup> ФГБУН «ИГЕМ РАН», <sup>3</sup> ФБУ «ГКЗ»

#### К ПРОБЛЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ БЕМИТА В ЛАТЕРИТНЫХ БОКСИТОНОСНЫХ ПОКРОВАХ ПРОВИНЦИИ ФУТА ДЖАЛОН-МАНДИНГО (ЗАПАДНАЯ АФРИКА)

*Определены условия образования и сохранности бемита и его пространственно-генетическая связь с гиббситом. Образование бемита происходит при латеритизации и реселификации осветленных водноосадочных континентальных отложений серии Сангареди на глубинах более 20–25 м за счет привноса сверху алюминия. При планации в условиях влажного климата (количество годовых осадков > 2000 мм/год и неиспарившейся влаги > 600 мм/год) происходит активная перекристаллизация бокситов с заменой растворяющегося бемита на гиббсит. Уменьшение неиспарившейся влаги до 100 мм/год обеспечивает лучшую сохранность бемита и замедляет процесс образования классических латеритных бокситов.*

*Ключевые слова:* бемит, гиббсит, латеритные коры выветривания, бокситы.

На территории бокситоносной провинции Фута Джалон-Мандинго (ФДМ) сосредоточена практически половина мировых ресурсов бокситов [5]. Имеющиеся климатические различия, многообразие пород материнского субстрата и геоморфологических обстановок позволяют решить многие проблемы, связанные с образованием латеритных бокситоносных кор выветривания. Одной из таких проблем остается пространственное и генетическое взаимоотношение

бемита с гиббситом. Эту проблему на протяжении последних ста лет пытались решить многие исследователи, опираясь на геологические и минералого-петрографические методы изучения, на экспериментальные данные, математическое моделирование физико-химических процессов и данных о климатических условиях. Однако эти исследования базировались на разрозненном фактическом материале в различных климатических, геологических, геоморфологических и ландшафтно-геохимических условиях, которые сложно сопоставить.

В пределах провинции ФДМ были проведены поисково-оценочные и разведочные работы, включая детальную разведку на сотнях месторождений, режимные круглогодичные гидрогеологические наблюдения, мониторинг за изменениями газового состава подземной, внутрипочвенной атмосферы, а также изучение гидрохимии, гидродинамически различных вод в профиле выветривания [1, 2, 5]. Имеющийся надежный фактический материал позволяет достоверно решить проблему: определить условия с предпочтительным образованием гиббсита или бемита и их взаимными переходами.

На территории провинции были отобраны пробы на востоке (месторождения West Bamako, Falesa, Kenyeba, East Bamako, Bafoulabe) и на западе, где выявлены бокситы по отложениям серии Сангареди [4]. Подавляющая часть из них расположена на Левобережье Когона и междуречья Когон-Томине на месторождениях Sangaredi, Silidara, Bidikoum, N'Dangara, Boundou-Waade, Koobi, Wouassou, Parawi, Thiapikoure, Bourouge-sud, Tiewere. Всего было проанализировано 3265 проб бокситов из метровых интервальных проб шнековых скважин, пробуренных при опробовании месторождений по сети  $300 \times 300$  м. В зависимости от материнского субстрата и особенностей процессов гипергенеза в провинции ФДМ выделяются три генетических класса бокситов: латеритный *in situ*, осадочно-латеритный и инфильтрационно-метасоматический. Бокситы классического *in situ* латеритного класса сформировались по коренным породам (алевроаргиллитам девона и долеритам мезозойской трапповой формации) и относятся к низкокачественным ( $Al_2O_3$  от 40 до 45% в среднем по результатам подсчета по месторождениям) рудам с относительно высоким содержанием железа (до 23%). В них преобладает гиббсит при резко подчиненном развитии бемита. Бокситы осадочно-латеритного класса образовались по различным фациальным отложениям серии Сангареди [3, 4] и представляют собой в основном руды высокого и экстракачества ( $Al_2O_3$  более 50–60%) с более высоким, по сравнению с другими, содержанием бемита. Инфильтрационно-метасоматический класс бокситов пространственно и генетически связан с осадочно-латеритным [3]. Они также отличаются высокоглиноземистым составом ( $Al_2O_3$  более 50%) при повышенном содержании моногидрата алюминия, но меньшем, чем в осадочно-латеритных бокситах. В них обычен бемит при преобладании гиббсита.

Из анализа полученного фактического материала и мнений различных исследователей были определены условия, в которых происходит новообразование бемита, его замещение гиббситом или его дальнейшее сохранение.

Все классические *in situ* латеритные покровы на западе провинции ФДМ подвержены процессу перекристаллизации и замещению бемита гиббситом, причем подвержены в условиях влажного климата запада провинции (количество годовых осадков  $> 2000$  мм/год и неиспарившейся влаги  $> 600$  мм/год при 3–4 месяцах влажного сезона) верхние 10–15 метров разреза латеритных покровов. Все классические латеритные покровы не превышают эту мощность и являются зоной образования и существования исключительно гиббситовых бокситов.

Благоприятным генетическим типом для образования бемита являются осадочно-латеритные бокситы и связанные с ними инфильтрационно-метасоматические бемитовые бокситы [3]. Образование бемита происходит при латеритизации и реселификации осветленных водноосадочных континентальных отложений, а также обеленных коренных пород под этими отложениями на глубинах, как правило, более 20–25 метров и преимущественно за счет перераспределения (привноса сверху) алюминия.

Изучение поровых растворов показало, что их pH находится в пределах от 4 до 6,5, в среднем 4,7 [1], а концентрация алюминия увеличивается на порядок и более (до 1,78 мг/л), даже в разбавленных вариантах. В случае с проницаемой толщей отложений серии Сангареди (изначально маложелезистой) органические кислоты образуют преимущественно алюмо-органические соединения, концентрация которых увеличивается по мере углубления вниз по разрезу.

В зоне увлажнения, встречаясь с кислородсодержащей влагой, алюмо-хелаты разрушаются, и в тонкопористых осадочных глинах и глинисто-песчаных (алевритистых) породах прослоев и цемента в гравелит- и конгломерат-бокситовых породах происходит пересыщение растворов и массовое осаждение оксида алюминия. По-видимому, вначале образуется алюмогель, который позже раскристаллизуется в тонкокристаллический бемит. Положительную роль для накопления алюминия в зоне над зеркалом грунтовых вод играет периодическая концентрация в подземной атмосфере  $\text{CO}_2$  и частично  $\text{CO}$  [2]. Параллельно с новообразованием бемита здесь происходит гидролитическое разложение каолинита и гидрослюд с новообразованием гиббсита. Образование угольной кислоты подтверждает слабокислую геохимическую обстановку, несмотря на вынос из глин щелочных компонентов.

В процессе планации (разрушения химического и физического) сверху более глубокие горизонты осадочно-латеритных бокситов приближаются к поверхности. В условиях влажного климата, интенсивного дренажа и непосредственного влияния продуктов трансформации органики и микроорганизмов бемит становится неустойчивым. Он начинает растворяться, а его место занимает более устойчивый в этих условиях гиббсит. При формировании гиббсита избыток алюминия вовлекается в перераспределение, обогащая поровые растворы и способствуя пересыщению их алюминием к моменту выпадения из раствора на глубине.

К северо-востоку провинции существенно меняются современные климатические условия. Количество осадков уменьшается более чем в 2 раза к району Восточное Бамако, и уменьшается влажность воздуха, увеличивается среднегодовая температура. Промывка профиля резко уменьшается за счет уменьшения неиспарившейся влаги до 100 мм/год. Уменьшается активность воздействия на латеритные покровы продуктов разложения и трансформации органического вещества и бактериальной деятельности. Совокупность этих факторов повлияла на сохранность бемитовых бокситов, которые образовались к концу позднего миоцена или в плиоцен-раннеплейстоценовое время. Резко замедлен и процесс образования классических латеритных бокситов. В основном происходит формирование высокожелезистых латеритов, хотя и с частичным образованием гиббсита.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания ИГЕМ РАН № 121041500220–0, аналитические исследования проведены в ЦКП «ИГЕМ АНАЛИТИКА».*

#### Список литературы:

1. Макарова М. А., Мамедов В. И., Алехин Ю. В., Шипилова Е. С. Уникальная роль поровых растворов при образовании бокситов в латеритных корах выветривания (Гвинейская Республика) // Доклады Академии Наук, серия Геохимия. – 2019. – Т. 489, № 1. – С. 60–64.
2. Мамедов В. И., Воробьев С. А. Газовый режим бокситоносной латеритной коры выветривания (Гвинейская республика) // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2011. – № 6. – С. 28–36.
3. Мамедов В. И., Макарова М. А., Боева Н. М. Пространственная и генетическая связь бемитовых бокситов с осадочно-латеритными бокситами Фута Джалон-Мандинго (Западная Африка) // Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. – М. : ИГЕМ РАН, 2020. – С. 868–872
4. Мамедов В. И., Макарова М. А., Боева Н. М., Слукин А. Д., Шипилова Е. С., Бортников Н. С. Главные процессы и стадии формирования уникального месторождения бокситов Сангареди (Западная Африка) // Доклады Академии наук. – 2020. – Т. 492, № 1. – С. 1–7.
5. Мамедов В. И., Чаусов А. А., Оконов Е. А., Макарова М. А., Боева Н. М. Крупнейшая в мире бокситоносная провинция Фута Джалон-Мандинго (Западная Африка). Часть 1: общие сведения // Геология рудных месторождений. – 2020. – Т. 62, № 2. – С. 178–192.

**Мансуров М. И. (mansurov@mail.ru), Каландаров Б. Г., Мамедова Т. А.,  
Исмаилова А. М., Мамедова А. Г., Кулиев И. Ф., Шамиев Р. А., Гусейнов А. И.  
БГУ, Азербайджанская Республика**

## ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОД, ВЫЯВЛЕННЫЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)

*Рассматриваются результаты дешифрирования аэро- и космических фотоснимков, полученные в процессе проведения различного содержания аэрокосмофотогеологических исследований в пределах азербайджанской части Малого Кавказа, в том числе в зоне сочленения Муровдагского и Шамкирского антиклинориев.*

*Ключевые слова: дешифрирование аэрофотоснимков и космических снимков, Малый Кавказ.*

Опыт использования результатов дешифрирования аэрофотоснимков (АФС) и космических фотоснимков (КС), приобретенный при проведении различных аэрокосмофотогеологических исследований в пределах азербайджанской части Малого Кавказа, в том числе в зоне сочленения Муровдагского и Шамкирского антиклинориев, позволил нам при проведении структурно-металлогенических и прогнозных работ придерживаться следующей методики: 1) структурно-геологическое КС различных уровней генерализации с целью выявления линейных элементов, кольцевых структур и других интересных геологических объектов; 2) сплошное (на всю территорию) дешифрирование АФС и КС в м-бе 1:200 000; 3) дешифрирование разномасштабных (от 1:20 000 до 1:2 000 000 АФС (в т. ч. высотных и космических) по отдельным наиболее интересным в структурном и металлогеническом отношении участкам региона; 4) комплексный анализ результатов дешифрирования КС и АФС с материалами предшествующих геологосъемочных, прогнозных, металлогенических и др. работ крупномасштабными геологическими картами и другими исходными данными геолого-геофизических исследований [1, 2, 3].

Все выше перечисленные материалы дистанционных съемок так же, как обычные аэрофотоснимки, дешифрировались в камеральный и полевой периоды. Результаты камерального дешифрирования космических снимков, т. е. выделенные фотоаномалии, в первую очередь сверялись с имеющимися литературными (геолого-геофизическими, геохимическими и др.) фондовыми материалами. Не расшифрованные (опознанные) фотоаномалии и геологические объекты подверглись полевой проверке методом наземных маршрутных наблюдений [3].

В последние годы наблюдается возрастающий интерес к применению спутниковой спектрометрии для картографирования в пределах рудных полей пространственного распределения минералов-индикаторов геологических обстановок, перспективных на выявление рудных месторождений. Наиболее эффективным подходом при прогнозно-поисковых работах на рудные полезные ископаемые становится выявление признаков рудного района и особенно закономерной зональности гидротермально-метасоматических изменений горных пород. В связи с недостаточной проработанностью этого вопроса целью настоящей работы является изучение возможности применения материалов снимков дистанционного зондирования для обнаружения закономерной зональности гидротермально-метасоматических изменений горных пород в рудном районе [2, 3, 6].

В пределах Муровдагского рудного района с целью выделения перспективных зон, характеризующихся гидротермальными изменениями, которые считаются существенным источником информации в поиске и прогнозировании полезных ископаемых, использовались данные дистанционного зондирования программы Landsat Расширение Тематического Картографа (РТК). Возможность выявления минеральных изменений на основе данных дистанционного зондирования создает широкие возможности для проведения эффективных геологических исследований на этой территории.

Основным компонентом анализа 1, 4, 5 и 7 полос частот РТК служит выявление изменений ОН. 1, 3, 4 и 5 полосы частот в анализе основных компонентов (АОК) РТК использовались при выявлении изменений  $Fe^{2+}$  ( $Fe^{3+}$ ). Для растительного, снежного покровов и теней была применена

маска. Компоненты изменения были определены из основных компонентов на основе их диагностических спектральных полос частот. Зоны изменения, определенные с использованием дистанционного зондирования, геологических поисков и полевых проверок тщательно анализировались. Результаты показывают, что ОН изменения в основном представляются К-шпатами, каолином, серицитом, пиропиллитами. Такие изменения считаются характерными для медно-порфириковых, золото-медно-порфириковых месторождений.  $Fe^{2+}$  ( $Fe^{3+}$ ) изменения в основном рассматриваются как результат пиритизации. Именно такие изменения оцениваются как показатель полиметаллических месторождений на территории [6, 8, 9].

Сабинс Ф. Ф. [7] считает, что при поиске полезных ископаемых самый лучший геологический результат находится благодаря объединению работ геологического и структурного картирования с определением гидротермально измененных пород. Спектральные полосы частот Landsat РТК играют существенную роль при определении минеральных комплексов (оксида железа, глины и т. д.) гидротермально измененных пород. С 1970-х годов ученые начали совершенствовать методы обработки для анализа основных компонентов (АОК) снимков дистанционного зондирования, позволяющие проводить эффективную дифференциацию минеральных изменений. Например, М. Ж. Абрамс [4] объясняет использование соотношения РТК 5/7 минеральных изменений АОК РТК 1, 3, 4 и 5 и ТМ 1, 4, 5 и 7 полос частот для дифференциации измененных пород, содержащих глины и аунит, и неизмененных, соотношение РТК 3/1 – для дифференциации неизмененных пород, содержащих оксид железа. Д. М. Спатз и др. [8] использовали АОК РТК 1, 3, 5 и 7 полосы частот при дифференциации измененных пород и при дифференциации минералов оксида железа друг с другом. С целью выделения зон изменений, К. Ватсон и др. [10] привязали отношения РТК 5/7, 4/5, 3/1 к цветам красный, зеленый и синий соответственно. При определении изменений, связанных с медно-порфириковыми минерализациями, И. Д. Томасо и др. [9] использовали РТК снимки. С целью обеспечения получения удовлетворительных результатов при определении зон изменения, связанных с минерализацией, А. Arnott и др. [5] разработали оптимальное правило для АОК. Два компонента минерального изменения и предел минерального изменения были определены с использованием дистанционного зондирования при сопоставлении только известных данных АОК о минеральных изменениях. Это стало причиной неопределенности при выявлении минеральных изменений. Кроме того, не существует стандартной шкалы для классификации минеральных изменений. Даже в наиболее изученных регионах трудно провести классификацию минерализации. Таким образом, представленное исследование направлено на снятие ограничений по указанным выше аспектам.

При полевых наблюдениях и испытательных работах выявлены перспективные зоны. В целях исследования Муровдагского рудного района с помощью метода дистанционного зондирования соответствующая зона была разделена на 12 квадратов с равными площадями и каждый квадрат исследовался индивидуально. В первую очередь с применением соответствующих методов дешифровки снимков РТК были выявлены кольцеобразные и линейные структуры, существующие на этой территории, подробно проанализированы и классифицированы. Далее опять на основе панхроматических оттенков существующих в спутниковых снимках, по соответствующим цветам на территории были выявлены зоны растительного покрова, минерализации и гидротермального изменения. На основе полученных данных внутри каждого квадрата выявлены участки, характеризующиеся гидротермальными изменениями. Рекомендуется проведение геологических наблюдений и испытательных работ и оценка в перспективности этих участков [6].

Используя спутниковые снимки с высоким разрешением, мы наблюдали развитые гидротермальные изменения на территории. По оттенкам исследованных снимков стало возможно выявить глинистые и железистые типы гидротермальных изменений. Сравнительный анализ РТК снимков с геологической картой соответствующей территории показывает, что гидротермальные изменения имеют тесную пространственную связь с интрузивными массивами, их жилами, линейными и кольцеобразными структурами, которые по своей природе связаны, в основном, с глубинными системами на территории.

Область исследования находится в пределах  $E 45^{\circ}05'20''$ – $45^{\circ}05'40''$  долготы и  $N 40^{\circ}02'80''$ – $40^{\circ}04'40''$  широты на северо-восточном склоне Малого Кавказа на территории Шамкирского

и Муровдагского районов. Муровдагский рудный район представляет собой часть Муровдагского горст-поднятия Лок-Агдамской зоны. Развитые вулканогенные формирования и секущие их плагиогранитовые и габбро-диорит-гранодиоритовые интрузивные формации, имеющие возраст байос–бат, являются основными характеристиками исследуемого района [1, 6].

Как было показано, область исследования разделена на 12 блоков, и каждый блок изучен отдельно. Внутри блоков с помощью спутниковых данных и подготовленных соответствующих снимков выделены участки с координатами, которые считаются перспективными для проведения геологических исследований и испытательных работ с точки зрения видов и интенсивности происходящих в них изменений. В основе выделения таких точек заложены: 1) состав пород, который определяют путем сопоставления спутниковых данных и также данных других исследователей; 2) выявление зон изменения на основе спутниковых данных производится соответственными методами анализа (на этом этапе исследования красноватые участки, существующие на снимках, оцениваются как ареалы изменения аргиллизитов); 3) существующие на территории интрузивные массы и их дериваты, кольцевые структуры, разломы разного порядка и линеаменты, которые считаются благоприятными геологическими структурными факторами для изменения и минерализации; 4) выявление структурных единиц магматических масс (интрузивы, субвулканические формирования, дайки, штоки и др.) и сопровождающих их гидротермальных изменений на основе космических снимков и последующая геологическая интерпретация, что играет существенную роль при выявлении перспективных участков и оценке на оруденение.

#### Список литературы:

1. Баба-Заде В. М., Мамедов М. Н., Ахмедов Д. М. и др. О перспективах выявления новых рудных месторождений и проявлений в пределах Карабахского поднятия (по данным дистанционных исследований) // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук. – 2011. – № 4. – С. 138–152.
2. Полетаев А. И. Линеаментный анализ – современный эффективный метод поиска структур, перспективных для образования месторождений полезных ископаемых // Геологическая изученность и использование недр. Информационный сборник. – М. : Геоинформмарк, 1999. – Вып. 1. – С. 26–34
3. Серекуров Ю. Н., Калмыков В. Д. Космическое зондирование при решении прогнозных и поисковых работ в Забайкалье // Недра Востока. – 1993. – № 2. – С. 34–39
4. Abrams M. J., Brown D., Silver Bell. Arizona, porphyry copper test site: the Joint NASA-Geosat test case study, Section 4, Tulsa. – USA, OK : American Association of Petroleum Geologists, 1985. – 73 p.
5. Arnott A. M., Zentilli M. Distinguishing primary versus hydrothermal alteration assemblages at the Chuguicamata porphyry copper system, Chile. Tes. 32 Colloquium and Annual Meeting of the Atlantic Geosience Society // Atlant. Geol (Canada). – 2006. – V. 42, № 1. – P. 71.
6. Mansurov M. I., Imamverdiyev N. I., Karimov V. M. et.al. The discovery of structural elements and zones of hydrothermal alterations by using ASTER satellite data in the margins of Gadabay and Murovdag ore districts (Lesser Caucasus, Azerbaijan) // Journal of Geology, Geografy and Geocology. – 2021. – № 30 (3). – P. 528–538.
7. Sabins F. F. Remote Sensing for Mineral Exploration. Ore Geology Reviews. – 1999. – V. 14. – P. 157–183.
8. Spatz D.M., Wilson R.T. Exploration remote sensing for porphyry copper deposits, Western America Cordillera // Proceedings Tenth Thematic Conference on geology Remote Sensing. environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI. – 1994. – P. 1227–1236.
9. Tommaso I. D. Rubinstein N. N. Hydrothermal alteration mapping using ASTER, data in the Infiemillo porphyry deposit, Argentina // Ore Geology Reviews. – 2007. – V. 55. – P. 72–78.
10. Watson K., Kruse F.A., Hummer-Miller S. Thermal infrared exploration in the carlin trend, northern Nevada // Geophysics. – 1990. – V. 55. – P. 70–79.

**Мансуров М. И. (mansurov@mail.ru), Керимли У. И.  
БГУ, Азербайджанская Республика**

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ И ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ  
И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ МЕХМАНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ  
(МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)**

*Рассматривается комплекс поисково-прогнозных критериев выявления перспективных участков и новых типов оруденения Мехманинского рудного поля. Определены поисково-прогнозные критерии для различных типов оруденения и выявлены региональные и локальные критерии. Разработаны структурные, магматические и литолого-фациальные факторы.*

*Ключевые слова: поисково-прогнозные критерии, региональные и локальные поисковые критерии, контролирующие локализацию руд факторы, перспективные участки.*

Основой прогнозирования и оценки месторождения полезных ископаемых служит система геологических критериев и признаков, по которым определяются наиболее вероятные области локализации оруденения, его размеры и качество. При мелкомасштабном прогнозировании наиболее велика роль рудно-формационного анализа. Он позволяет выявить главные факторы, на основе которых принципиально решается вопрос о рудоносности той или иной территории. В целом оценка прогнозных ресурсов тем достовернее, чем больше благоприятных факторов оруденения положено в ее основу [1, 2, 3].

Условия локализации медно-полиметаллических, медно-порфировых и колчеданно-полиметаллических оруденений внутри ареалов развития «продуктивных» интрузивных и вулканогенных формаций изучены еще весьма неполно. Установлена приуроченность многих медно-молибденовых и порфировых медно-штокверковых, медно-полиметаллических залежей к сводовым частям антиклинальных складок и участкам их вздымания, к полям развития вулканогенных пород, залегающих внутри мощных туфогенно-порфировых толщ, т. е. к участкам максимальных прогибаний или по границе последних с гранодиоритами, кварц-диоритами. В некоторых случаях указывается на приуроченность медно-порфировых, колчеданно-полиметаллических и медно-полиметаллических рудных тел к контактам эффузивно-пирокластических пород с кварцевыми диоритами, габбро-диоритами, габбро-норитами. Значение дизъюнктивной тектоники для локализации медного оруденения принимается большинством исследователей, которые считают штокверковые медно-молибденовые, порфировые, медные и медно-полиметаллические образования эпигенетическими по отношению к вмещающим их толщам [4, 5].

В границах выделяемых по комплексу критериев потенциальных рудных районов различного типа установление перспективных участков, отвечающих возможным месторождениям, требует использования комплекса геологических признаков, которые находят то или иное выражение в геофизических и геохимических характеристиках соответствующих площадей. Обобщая приведенное выше описание основных составляющих медно-порфировых систем, перечислим следующие геологические признаки: 1) штоки, штокообразные и неправильные тела, серии тесно сближенных и сливающихся даек порфировых пород, завершающие становление интрузивных комплексов продуктивных вулcano-плутонических ассоциаций; 2) зоны прожилково-штокверкового окварцевания с сульфидной вкрапленностью либо с медной зеленью и гидроокислами железа; 3) штокообразные и крупные жиловидные монокварцевые тела; 4) комплекс гидротермально-метасоматических изменений (калишпатизация, биотитизация, серицитизация, аргиллизация, пропилитизация) в зональном размещении; 5) поля рассеянной пиритизации; 6) проявления рудной минерализации (молибденовой, медной, медно-свинцово-цинковой, свинцово-цинковой с серебром, магнетитовой и гематитовой) [2, 4, 6].

Между тем назрела необходимость разработки дополнительных поисковых признаков и критериев, которые способствовали бы выделению конкретных геологических структур, благоприятных для постановки геологоразведочных работ, связанных с поисками медно-порфировых, медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических и медно-полиметаллических рудных тел,

не имеющих выход на дневную поверхность. В связи с этим усилия авторов в значительной мере были направлены на детальное структурное изучение хорошо вскрытых горными выработками месторождений (в частности Мехманинского, Гызылбулагского, Агдаринского, Хазиндагского) с целью разработки на этих эталонных объектах конкретных условий локализации оруденения в различной геолого-структурной обстановке. По материалам этих исследований ниже освещаются особенности локализации залежей в условиях Мехманинского рудного поля, которые, по нашему мнению, могут быть использованы в качестве критериев для поисков медно-порфировых, колчеданно-полиметаллических и медно-полиметаллических руд [5, 7].

*Региональные поисковые критерии.* Основными структурными элементами, определяющими положение рудных полей, являются крупные разломы, выраженные зонами повышенной трещиноватости, окварцеванием и дайковыми полями, интрузивными телами, в том числе малыми. Приуроченность подавляющего большинства месторождений и рудопроявлений гидротермального генезиса к этим разломам дает основание считать их важнейшими структурами, контролирующими распределение медно-полиметаллического, медно-порфирового и колчеданно-полиметаллического оруденения. Они служат оперяющей структурой глубинного Кедабек-Далидагского линеамента [5, 8].

*Локальные поисковые критерии.* Не менее важную роль для локализации оруденения сыграли также разломы второго порядка и сопряженные с ними разрывные нарушения, имеющие СВ простирание. Наиболее благоприятные обстановки локализации оруденения сосредоточены в узлах сопряжения таких зон трещиноватости с благоприятными литологическими предпосылками. Зоны повышенной трещиноватости сопровождаются серией параллельных сближенных даек различного состава и возраста (особенно даек порфиров), претерпевших интенсивный метасоматоз (пропилитизацию, окварцеванию, хлоритизацию). Упомянутые зоны служили путями для циркуляции гидротермальных растворов, и в их пределах наблюдается резкая смена геологической формации. Минералогические признаки включают наличие пирита и халькопирита, а также большое количество генераций сульфидов. Наиболее информативные геофизические предпосылки – наличие достаточно интенсивных аномалий ВП и ЕП. Зачастую такие узлы сопряжения контролируются кольцевыми и дугообразными глубинными структурами разной генетической природы, выделяемые АФС и КФС. Продольные зоны разломов являются основными магмарудоподводящими структурами, а поперечные – своего рода «дренирующими структурами», т.е. вместилищем рудоконцентрирующих участков. Для выявления региональных и локальных закономерностей в размещении медно-порфирового, медно-колчеданного, колчеданно-полиметаллического и медно-полиметаллического оруденения большое значение имеет также пространственное распределение минеральных ассоциаций и зональность оруденения. Это зависит, в первую очередь, от формационной принадлежности интрузивов, вмещающих оруденение, и характера метасоматической колонки, проявляющий зональность по отношению к рудоконтролирующим структурам [7, 8].

*Уровень эрозионного среза.* Месторождения медно-порфировых руд исследуемого региона в большинстве случаев характеризуются незначительным уровнем эрозионного среза, о чем можно судить по анализу фаций и мощностей осадочных и осадочно-вулканогенных пород и их палеотектонической реконструкции, по фациям глубинности изверженных пород, по наличию низкотемпературных контактовых минералов (эпидот, цоизит, альбит, хлорит и др.). Все это свидетельствует о том, что вскрыты лишь верхние части интрузивных массивов и пространственно связанных с ними медно-порфировых месторождений. Косвенным показателем глубины эрозионного среза порфировых интрузивов являются геохимические черты распространения рения, селена, теллура в главных рудных минералах, возрастающие в верхних частях рудных штоков, сложенными минералами поздних стадий [4, 6].

*Основные факторы, контролирующие локализацию руд.* Среди факторов, контролирующих локализацию руд наибольшее значение имеют структурные, литолого-фациальные, магматические и др., которые уже давно с успехом применяются в целях прогноза оруденения. Из прямых поисковых признаков необходимо отметить наличие непосредственных выходов рудных жил и зон на поверхности. Повышенное содержание сульфидов также является поисковым признаком. Поисковыми признаками также служат метасоматические образования и установленная



парагенетическая связь медной минерализации с габбро-диорит-гранодиоритовыми дайками (Гызылбулагское, Мехманинское, Гюльятагское, Дамирлинское месторождения), а также валуны и обломки руд, встречающиеся в современных отложениях [5].

Положительные результаты поисков на Лок-Гарабахской зоне обуславливают целесообразность продолжения геологоразведочных работ на золото, медь и полиметаллы в области Агдамского горст-поднятия среди вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ нижнего и верхнего байоса. К числу наиболее перспективных участков относятся Мехманинское, Гюльятагское, Дамирлинское, Гызылбулагское и ряд других, на которых целесообразно проведение детальных поисковых и поисково-оценочных работ.

#### Список литературы:

1. Авдонин В. В., Лыгина Т. И., Мельников М. Е., Ручкин Г. В., Шатагин Н. Н. Поиск и разведка месторождений полезных ископаемых. – М. : Фонд, 2007. – 540 с.
2. Коробейников А. Ф. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 253 с.
3. Кочнев А. П., Юренков Е. Г. Основы типизации прогнозно-поисковых моделей // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской Академии Естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск, 2014. – № 1 (44). – С. 74–80.
4. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М. : Недра, 1983. – 256 с.
5. Мансуров М. И. Поисково-прогнозные критерии выявления перспективных участков и новых типов оруденения Муровдагского горст-поднятия // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук. – 2013. – № 4. – С.104–115.
6. Павлова И. Г. Медно-порфировые месторождения (Закономерности размещения и критерии прогнозирования). – М. : Недра, 1978. – 275 с.
7. Рамазанов В. Г., Каландаров Б. Г., Хасаев А. И. и др. Геолого-геофизические основы прогнозирования эндогенного оруденения (на примере медно-порфировых месторождений Малого Кавказа) // Горно-геологический журнал. – 2009. – № 1. – С. 6–11.
8. Рамазанов В. Г., Мориц Р., Каландаров Б. Г. и др. Месторождения благородных металлов Кедабекского рудного района, перспективы их поисков // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук. – 2012. – № 3. – С. 117–133

**Махоткин И. Л. (ivan.mahotkin@mail.ru)  
ФГБУ «ВИМС»**

#### ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АЛМАЗОВ НА ВЕРХОТИНСКОМ ВЫСТУПЕ ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ИМК

*На основании сравнения химического состава и типоморфизма зерен ИМК из палеозойских осадочных коллекторов центральной части Верхотинского выступа кристаллического фундамента с составами ИМК кимберлитов основных месторождений Зимнебережного района выделены три ореола рассеяния ИМК, каждый из которых связан с отдельным кимберлитовым источником: трубкой им. В. Гриба и двумя неизвестными коренными источниками, составы которых имеют промежуточные характеристики между кимберлитами месторождений М. В. Ломоносова и им. В. Гриба.*

*Ключевые слова: индикаторные минералы кимберлитов, химический состав, типоморфизм, топоминералогическое районирование, геоинформационные базы данных, осадочные коллекторы.*

Повышение эффективности поисковых работ на закрытых территориях возможно только при привлечении независимых от геофизических методов принципов локализации перспективных участков. В большинстве случаев наиболее надежным и проверенным методом локализации перспективных участков на закрытых территориях являются шлихо-минералогические исследования осадочных коллекторов в их современном варианте, основанном на создании геоинформационных баз данных. Такие геоинформационные базы данных должны включать в себя статистически значимое количество данных по химическому составу и типоморфизму индикаторных минералов кимберлитов (ИМК). Примером применения этого подхода являются исследования, выполненные на территории центральной части Верхотинского выступа кристаллического фундамента и восточной части Падунского грабена.

Благоприятными геологическими факторами, влияющими на результативность применения шлихо-минералогических методов изучения осадочных коллекторов Зимнебережного района являются: наличие палеозойских коллекторов терригенных осадков, перекрывающих кимберлитовые трубки взрыва; близость времени формирования палеозойских осадочных коллекторов (314–340 млн лет) к возрасту внедрения кимберлитов (375–380 млн лет); присутствие аллювиальных и озерно-болотных фаций ближнего сноса в основании каждого цикла формирования нижнекаменноугольных осадочных коллекторов, для которых в целом установлено направление перемещения осадочного материала. Благоприятным технологическим фактором, влияющим на эффективность применения шлихо-минералогического метода в условиях закрытой территории Верхотинского выступа кристаллического фундамента, является создание крупнообъемной геоинформационной базы данных типоморфных признаков и химического состава ИМК (~20 000 зерен). База данных была собрана на территории южной части Верхотинского выступа с детальностью исследования между точками наблюдения (скважинами) от 100 до 2000 м. Кроме того, для анализа результатов шлихо-минералогических работ была создана аналогичная крупнообъемная цифровая база данных химического состава ИМК трубок взрыва кимберлитов Зимнебережного района: месторождений им. М. В. Ломоносова и им. В. Гриба, аномалии 734 Кепинского поля (всего ~17 000 анализов). Анализ шлихо-минералогической информации основан на сравнении химического состава ИМК с конкретного поискового участка с составами ИМК кимберлитовых трубок в целях проведения топоминералогического районирования и определения возможных коренных источников формирования ореолов рассеяния ИМК в осадочных коллекторах. Как показывает опыт, наиболее «чувствительным» индикаторным минералом для этих целей в пределах исследованной территории является пикроильменит. Это связано с большим числом находок данного минерала в осадочных коллекторах и с его составом, зависящим в большей степени от индивидуальных особенностей состава пород конкретных трубок и в меньшей степени – от состава мантии региона в целом.

На основании обработки цифровой базы данных ИМК осадочных коллекторов было выполнено крупномасштабное топоминералогическое районирование исследованного участка Верхотинского выступа и Падунского грабена с разбивкой его территории на серию полигонов площадью по 6–10 км<sup>2</sup>. Каждый такой полигон включает в себя от 8 до 20 скважин, опробованных по всем интервалам осадочных коллекторов и отдельным интервалам разреза венда. Было также установлено, что появление зерен ИМК в вендских отложениях связано исключительно с просадкой этих зерен в буровом растворе из вышележащих осадочных коллекторов и даже четвертичных отложений в момент технологических и аварийных остановок проходки буровых скважин. Это дало основание на каждом таком полигоне рассматривать все результаты анализов зерен ИМК из вендских отложений совместно с зёрнами, извлеченными из палеозойских осадочных коллекторов. В результате каждый локальный полигон был охарактеризован достаточно представительным набором данных, включающим анализы пикроильменитов (от 250 до 900 зерен) и пиропов (от 15 до 75 зерен).

По всей площади развития груборучейских отложений в вышележащих тельзинских и урзугских отложениях было выявлено ничтожное количество ИМК по сравнению с нижележащими

грубобручейскими отложениями. В том случае, когда тельзинские или урзугские отложения залегают непосредственно на вендском цоколе число обнаруженных в них зерен ИМК заметно повышается. Распределение зерен ИМК в грубобручейских отложениях даже в пределах небольшого участка площадью 1 км<sup>2</sup> имеет крайне неоднородный струйный характер, варьируя от 20 зерен пикроильменита на пробу 18 кг до 3000 зерен пикроильменита на аналогичную весовую пробу. По сути, появление таких ураганных содержаний пикроильменита в грубобручейских отложениях определяется количеством пробуренных скважин. В грубобручейских отложениях отсутствует устойчивая корреляционная связь между содержанием зерен пикроильменита и количеством зерен 1 класса износа в процентном отношении. Таким образом, формирование ураганных содержаний пикроильменита в грубобручейских отложениях практически везде связано с литодинамическими особенностями накопления песчано-гравийного материала, а не с появлением нового близкорасположенного коренного источника.

По характеру изменения степени сохранности пикроильменита (% зерен 1 класса износа) и близости химического состава пикроильменитов и пиропов осадочных коллекторов с составами таковых в тр. им. В. Гриба на исследуемой территории выделяются три взаимоперекрывающихся ореола рассеяния ИМК, формирование которых связано с влиянием трех различных алмазоносных коренных источников.

Первый ореол рассеяния ИМК – Черноозерский – выделяется в грубобручейских отложениях к северу и северо-востоку от тр. им. В. Гриба на расстоянии более чем 10 км. Составы ИМК в Черноозерском ореоле рассеяния показывают их полную идентичность с составами ИМК из тр. им. В. Гриба. Здесь отсутствует влияние каких-либо посторонних коренных источников. При этом степень сохранности пикроильменита в пределах данного ореола рассеяния в целом имеет крайне высокие значения, закономерно снижаясь от 50–78% в пятикилометровой зоне к северу от трубки и до 33–48% в зоне от 5 до 10 км. Формирование этого ореола рассеяния ИМК связано с размывом обширного туфового кольца вулканического аппарата тр. им. В. Гриба площадью ~13 км<sup>2</sup> и перемещением зерен ИМК в северном и северо-восточном направлениях вдоль восточного борта «грубобручейской» палеодолины.

Второй ореол рассеяния ИМК – Кукомско-Падунский – выделяется в полосе грубобручейских отложений к северо-западу и северу от осевой линии «грубобручейской» палеодолины на расстоянии отрезка 8–9 км. Несмотря на большое сходство составов пикроильменитов из этого ореола рассеяния с составами пикроильменитов из тр. им. В. Гриба, на фигуративных полях диаграмм состава пикроильменита появляются дополнительные отклонения в область пониженных содержаний MgO, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, что свидетельствует о присутствии влияния нового коренного источника. Степень влияния этого нового источника на химический состав пикроильменита максимально проявлена в пределах западного полигона, что совпадает с общим трендом изменения сохранности пикроильменита от 56% до 8–19% в северо-восточном направлении. Пиропы из этого ореола рассеяния характеризуются низким содержанием титанистых разновидностей и повышенным – алмазоносной G10 ассоциации (до 15%), чем отличаются от пиропов тр. им. В. Гриба (G10–5%, высокотитановые пиропы – 26%). Вероятное местоположение нового коренного источника алмазов можно предварительно локализовать вдоль южного или северного борта Падунского грабена, а по природе своего состава такой источник должен иметь промежуточные характеристики между кимберлитами тр. им. В. Гриба и месторождения им. М. В. Ломоносова.

Третий самостоятельный ореол рассеяния ИМК (пироп-пикроильменитовой ассоциации) выделяется среди урзугских отложений в шести километрах южнее тр. им. В. Гриба вдоль южного борта Падунского грабена. Границы этого ореола рассеяния в настоящее время не могут быть точно установлены. Составы пикроильменитов из этого ореола заметно отличаются от таковых из тр. им. В. Гриба, а сами зерна пикроильменита имеют низкую степень сохранности (1,3%), что заметно ниже сохранности пикроильменита из урзугских отложений района тр. им. В. Гриба (14–59%). Количество титанистых разновидностей пиропов (29%) в этом ореоле сравнимо с таковым из тр. им. В. Гриба. Однако, среди местных пиропов отмечается повышенное количество ультрадеплетированных (CaO < 2,5%) разновидностей алмазоносной ассоциации G10 (29%) с несколько повышенным содержанием MnO, что принципиально отличает

их от пиропов кимберлитов Кепинского поля и от пиропов тр. им В. Гриба. Все это указывает на формирование выделенного ореола рассеяния ИМК под влиянием удаленного алмазонасного коренного источника, природа которого имеет промежуточные характеристики между кимберлитами тр. им. В. Гриба и месторождения им. М. В. Ломоносова, но отличается от источника Кукомско-Падунского ореола рассеяния.

**Махоткин И. Л. (ivan.mahotkin@mail.ru)  
ФГБУ «ВИМС»**

#### ПОИСКИ И МЕТОДИКА ОПРОБОВАНИЯ РЕНТАБЕЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ С НИЗКИМИ И ВЕСЬМА НИЗКИМИ СОДЕРЖАНИЯМИ АЛМАЗОВ

*Представительность опробования кимберлитов с низкими и весьма низкими содержаниями, но с крупным размерным классом алмазов не может быть достигнута традиционными методами на поисковой стадии изучения. Массовое определение микроалмазов при поисковом опробовании и использование модельных оценок содержания алмазов позволяют выявить перспективные для дальнейшего изучения кимберлитовые тела, в которых может быть установлено преобладание высокостоймых алмазов среднего и крупного размерных классов.*

*Ключевые слова: алмаз, опробование, модель распределения, микроалмаз, литофация, кимберлит.*

Поиски рентабельных кимберлитовых месторождений с низкими и весьма низкими содержаниями алмазов (тр. Летсенг, Лесото; тр. Виктор, Канада) весьма затруднены в геологоразведочной практике из-за преобладания в таких кимберлитовых объектах пиропов лерцолитового парагенезиса вместо дунит-гарцбургитового и господства в них алмазов среднего и крупного размерных классов (35–350 мг). Месторождения с крупными алмазами в РФ до сих пор не были обнаружены, что, вероятно, связано с недостатками методики опробования кимберлитов на начальной стадии поисков и с отбраковкой таких объектов как малоперспективных. При поисках на закрытых территориях определение средних содержания алмазов в кимберлитах, вмещающих средний и крупный размерный класс алмазов, невозможно стандартными методами опробования по керну буровых скважин даже для доминирующего малого размерного класса алмазов (-2+0,5 мм). Новая предлагаемая методика поискового опробования для подобных кимберлитовых тел предполагает на первом этапе массовое опробование всего керна каждой вскрытой трубки взрыва (общий вес пробы 1,6–2 т) методом термохимии на микроалмазы (-0,5+0,075 мм) с дополнительным извлечением всего комплекса индикаторных минералов и макроалмазов для определения частотной модели распределения крупности алмазов не менее, чем по семи ситовым классам. Надежность такой модели распределения достигается только при извлечении 150–200 кристаллов микроалмазов для каждой выявленной фазы внедрения и типа литофации кимберлита. Смешение нескольких структурно-текстурных разновидностей кимберлитов в одну пробу приводит к ошибке в определении модели распределения крупности алмазов. Соответственно, такое опробование должно сопровождаться детальным структурно-текстурным изучением кимберлита в целях идентификации числа и типа литофаций в исследуемой трубке взрыва. На втором этапе поискового опробования, после выбора наиболее перспективных тел, для которых будет определена вероятность обнаружения крупных алмазов, и с учетом результатов изучения индикаторных минералов, предусматривается проведение опробования для определения среднего содержания макроалмазов с допустимой погрешностью 70%. Вес такой валовой пробы на этом этапе должен составлять не менее 17–40 т по каждой выявленной литофации кимберлита в зависимости от ее типа (нижнекратерная, верхнекратерная и жерловая).

Мизерная М. А. <sup>1</sup> (mizernaya58@bk.ru), Мирошникова А. П. <sup>2</sup> (vcmnauka2008@mail.ru),  
Кузьмина О. Н. <sup>1</sup>, Черненко З. И. <sup>1</sup>, Зикирова К. Т. <sup>1</sup>  
<sup>1</sup> ВКТУ им. Д. Серикбаева, <sup>2</sup> Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет»

## ИНВЕСТИЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР РУДНОГО АЛТАЯ

*На примере Рудного Алтая рассмотрены основные положения инвестиционной привлекательности Восточно-Казахстанского региона. Аналитический обзор состояния минерально-сырьевой базы этого региона позволяет оценить перспективы развития добычи и переработки цветных металлов на ближайшие пятнадцать лет. Разведанных запасов в недрах Рудного Алтая достаточно для производственной деятельности горнодобывающих предприятий на срок до 2030–2040 гг. при рациональной и стабильной отработке порядка 6–8 млн т руды в год при условии одновременной добычи богатых и бедных руд.*

*Потенциальные возможности расширения минерально-сырьевой базы на Рудном Алтае очевидны, но для этого необходимы привлечение достаточных объемов финансирования и проведение геологоразведочных работ для поисков на флангах и глубоких горизонтах известных рудных полей и на закрытых территориях. Общие возможности обеспечения цветными металлами Республики Казахстан определяются «исходным металлогеническим потенциалом», который рассчитывается как сумма исторически накопленной добычи, учтенных запасов и прогнозных ресурсов, оцениваемых с различной степенью достоверности по общим геологическим критериям.*

*В связи с этим общая стратегия геологоразведочных работ на Рудном Алтае должна быть направлена по следующим направлениям: доразведка эксплуатируемых и подготовленных к эксплуатации месторождений за счет собственных средств недропользователей; переоценка и переутверждение имеющихся ранее утвержденных запасов по новым условиям, отражающим возможности новых технологий добычи и переработки сырья; проведение детальных тематических работ по прогнозной оценке минерально-сырьевой базы на ближайшие годы с учетом имеющихся геологических материалов и возможных прогнозных ресурсов до глубины 1500 м во всех промышленных районах региона; проведение комплексных региональных геолого-геохимических и геофизических исследований масштаба 1:25 000 и крупнее с созданием новых структурно-металлогенических карт; возобновление геологоразведочных работ на уже известных перспективных площадях и участках, не занятых недропользователями.*

*Ключевые слова: недра, потенциал, запасы, цветные металлы, металлогения, Рудный Алтай.*

Рудноалтайский металлогенический пояс – крупная геологическая структура, в которой сконцентрированы уникальные месторождения свинца, цинка, меди, золота, серебра и других полезных компонентов [1, 2]. Более чем 100 лет Рудный Алтай был ведущим регионом добычи цветных металлов бывшего Союза и в дальнейшем Республики Казахстан. На протяжении семидесяти лет осуществлялось стабильное систематическое наращивание вложенных ассигнований в геологоразведку, обеспечивая планомерное экономическое развитие Рудного Алтая. К настоящему времени были отработаны многие месторождения полиметаллов: Шемонаихинское, Юбилейно-Снегирихинское, Зыряновское, Греховское, Белоусовское, Николаевское, Шубинское. К 2025–2040 гг. будет отработано еще несколько крупных месторождений: Орловское (Жезкентский рудник), Малеевское (Зыряновский ГОК), Тишинское, Риддер-Сокольное (Лениногорский ГОК). Значимость данных месторождений для экономики страны можно оценить по тому, что только одно Риддер-Сокольное месторождение за 200 лет эксплуатации дало более 700 тонн золота, не считая цинка, свинца, меди и других попутных компонентов. Для сравнения: одно из самых крупных месторождений золота в Республике – Бакырчик, расположенное в области и запущенное в 2017 г. российской компанией «Поллиметал», характеризуется запасами 300 тонн золота. Активно разрабатываемые сейчас месторождения – Артемьевское золото-полиметаллическое, Ново-Лениногорское, Долинное – позволят вести добычные работы до 2035–

2040 гг. Имеющиеся в резерве объекты Чекмарь, остаточные запасы Николаевского месторождения, Рулихинское, Красноярское и другие мелкие объекты не могут возместить выбывающие мощности обрабатываемых месторождений [3].

По оценкам многих специалистов, Рудный Алтай будет полностью отработан уже через 15–20 лет. Однако, учитывая более чем 300 летнюю историю отработки рудноалтайских месторождений, можно предположить, что потенциал неоткрытых полиметаллических месторождений еще есть. К примеру, Китай, вложивший большие финансовые и кадровые ресурсы на проведение геологоразведочных работ на продолжении структур Рудного Алтая (Южный Алтай, Синьцзян-Уйгурский автономный округ), менее чем за 10 лет создал мощную минерально-сырьевую базу полиметаллов, золота, редких и редкоземельных элементов.

Анализ состояния минерально-сырьевой базы цветных металлов Востока Казахстана позволяет сделать вывод, что этот регион до сих пор не потерял своей значимости. Можно выделить сильные и слабые стороны инвестиционной привлекательности территории Рудного Алтая [1].

К сильным сторонам и возможностям можно отнести: позитивный природный фактор в виде значительного потенциального ресурса разрабатываемых и отработанных месторождений и ресурса выявления скрытых рудных объектов Cu, Zn, Pb и других элементов на изучаемой территории; большую базу накопленной информации по составу, структуре и геометрии геологической среды территории; наличие команды специалистов с компетенциями в различных областях геологии, металлогении, математики, компьютерных технологий, методов прогнозирования полезных ископаемых; наличие в районах действующих горнорудных предприятий развитой инфраструктуры, транспортных коммуникаций, квалифицированной рабочей силы (Лениногорский, Зыряновский рудные районы, Прииртышье); наличие региональных и локальных признаков и критериев обнаружения новых площадей, перспективных на руды цветных металлов; реализацию высокого потенциала недр и привлекательные для инвестирования научно обоснованные, точные и надёжные оценки ресурсов полезных ископаемых; превращение результатов научно-технологических исследований и программных разработок в инвестиционные продукты.

Слабые стороны: давление устоявшихся методов, взглядов на металлогению и подходы к прогнозированию рудных полезных ископаемых; слабая заинтересованность недропользователей в финансировании научных исследований по восполнению сырьевой базы региона.

Угрозы: отработка в течение ближайших 10–15 лет запасов большинства известных месторождений региона; отсутствие научно-обоснованных методов оценки инвестиционной привлекательности территорий Казахстана; нестабильный рынок сырья, зависимость цен на металлы от политической ситуации, стоимости углеводородов и т. д.

Потенциальные возможности расширения минерально-сырьевой базы на Рудном Алтае имеются. В качестве примера можно привести площадь Верхубинского рудного поля, расположенного на левобережье р. Убы в окрестностях села Верхуба. Она охватывает южную часть территории развития девонских отложений, окаймляющих с юго-востока выходы зеленых сланцев ордовика в ядерной части Алейского антиклинория [3]. Указанное рудное поле включает в себя три объекта колчеданно-полиметаллического оруденения: площадную минерализацию, участки Убинское и Верхубинское, а также Руднихинское рудопроявление.

На Верхубинском участке, включающем одноименное месторождение, по результатам выполненных в 1986–1988 гг. поисково-оценочных работ, были определены запасы по категории  $C_2$ , отнесенные к авторским, которые составили: руды 13645 тыс. т, меди 136,5 тыс. т, свинца 24,8 тыс. т и цинка 173,5 тыс. т. Близкое по масштабу оруденение установлено и на Убинском участке.

Заслуживает внимание проведение оценки на глубину рудной структуры Березовского месторождения, верхние тела которого отработаны. Большинство месторождений Рудного Алтая имеет в разрезе несколько рудных залежей, склоняющихся на глубину (Орловское, Артемьевское, Малеевское и др.) [2].

К перспективным относится так называемое Сугатовское рудное поле, расположенное на северо-западном продолжении структур Артемьевского и Камышинского месторождений

и охватывающее площадь порядка 8 км<sup>2</sup>. Установленное на рудном поле оруденение локализуется на площади в 1 км<sup>2</sup> и представлено Сугатовским и Сургутановским мелкими месторождениями. Выполненными в 70-х годах прошлого столетия геологоразведочными работами установлено, что в пределах зоны окисления остались неотработанными следующие запасы: 860,7 тыс. т руды, содержащей золота – 2194,8 кг, серебра – 24692,2 кг, меди – 1032,8 т, свинца – 2237,8 т и цинка – 258,2 т [3].

Прогнозные ресурсы участка Сургутановского рудопоявления (Г. В. Назаров и др., 1990) определяются по категории Р<sub>1</sub> в следующем объеме: руды – 4600 тыс. т, меди – 121 тыс. т. Предполагается реальная возможность выявления на участке небольших, но богатых по содержанию рудных тел цветных металлов, золота и серебра.

Рулихинский участок охватывает собственно Рулихинское месторождение и прилегающие к нему площади. Здесь была обоснована возможность выявления еще одной рудной зоны, прогнозные ресурсы которой оцениваются по категории Р<sub>1</sub> в количестве: руды – 735 тыс. т, меди – 8,8 тыс. т, свинца – 3,2 тыс. т, золота – 220,5 кг, серебра – 11,0 т.

#### Список литературы:

1. Егорова Л. И., Егоров М. В. Оценка инвестиционной привлекательности территорий и формирование их инвестиционных стратегий // Экономический анализ: теория и практика. – 2007. – № 4. – С. 10–17.
2. Дьячков Б. А., Омирсериков М. Ш., Сапаргалиев Е. М., Ойцева Т. А. Кузьмина О. Н., Зимановская Н. А. Научные основы разработки технологии прогнозно-поисковых работ // Инновации и перспективные технологии геологоразведочных работ в Казахстане: сб. ст. – Алматы : Институт геологических наук, 2017. – С. 21–26.
3. Дьячков Б. А., Мизерная М. А., Пяткова А. П., Бисатова А. Е., Мирошникова А. П., Кузьмина О. Н. и др. К проблеме формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Отечественная геология. – 2021. – № 5. – С. 3–16.

**Милаушкин М. В.** <sup>2</sup> (milaushkin1997@mail.ru), **Мальковец В. Г.** <sup>1</sup> (MalkovetsVG@alrosa.ru),  
**Гибшер А. А.** <sup>1</sup> (GibsherAA@alrosa.ru), **Яковлев И. В.** <sup>1</sup> (yakistar2020@mail.ru)

<sup>1</sup> АК «АЛРОСА» (ПАО), <sup>2</sup> ИГМ СО РАН

#### ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД ИЗ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ ВЕРХНЕМУНСКОГО ПОЛЯ

*Изучен химический состав пород из кимберлитовых тел в пределах Верхнемунского поля. Установлено, что по содержанию FeO<sub>tot</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O породы схожи с таковыми известных кимберлитовых трубок Верхнемунского поля. Породы кимберлитовых тел представлены разными популяциями кимберлитов. По типохимическому признаку CaO/MgO выделяются кимберлиты и в меньшей степени их магнезиальные и карбонатитовые разновидности. Породы изученных кимберлитовых тел характеризуются меньшей магнезиальностью, меньшим содержанием титана, большей глиноземистостью, более высоким содержанием кальция и калия, чем кимберлиты известных тел Верхнемунского поля. Распределение редких и редкоземельных элементов в кимберлитах Верхнемунского поля является типичным и не отличается от других кимберлитов Якутской провинции.*

*Ключевые слова: кимберлиты, Верхнемунское поле, редкие элементы.*

Верхнемунское поле расположено в центральной части Якутской кимберлитовой провинции [1]. Оно относится к южным палеозойским кимберлитовым полям наряду с Далдынским и Алакитским-Мархинским. В количественном отношении поле включает 18 трубок и пять даек.

Исследованы особенности химического состава пород из девяти кимберлитовых тел Верхнемунского поля: 325 лет Якутии, Интеркосмос, 01/15, Виллойская-2019, 1/94, 3/15, М-2, Космос-2, Жила-2. Определение химического состава пород проводилось методами РФА (70 анализов) и ИСП АЭС в ОЛО ГРП (ЦАЛ) (г. Мирный) по стандартной методике.

Кимберлитовые тела выполнены порфиоровыми и брекчиевыми разновидностями кимберлитов. Установлено, что среднее содержание  $\text{SiO}_2$  в изученных породах составляет 26 мас.%; это ниже, чем в кимберлитах известных трубок Верхнемунского поля (29,7 мас.%  $\text{SiO}_2$ ) [5], но в целом соответствует содержанию  $\text{SiO}_2$  в кимберлитах Якутской провинции ( $\text{SiO}_2 = 26,73$  мас.%) [2].

По содержаниям  $\text{FeO}_{tot}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  наблюдаются широкие вариации распределения, но в целом эти составы попадают в поля известных кимберлитовых трубок Верхнемунского поля и относятся к магнезиально-железистому высокотитанистому низкокалиевому петрохимическому типу ( $\text{FeO}_{tot} - 6-9$  мас.%,  $\text{TiO}_2 - 1-2,5$  мас.%,  $\text{K}_2\text{O} < 1$  мас.%) [4].

Колебания составов кимберлитов уместно описывать на основе петрохимической популяционной модели [3]. Эта модель предполагает разделение кимберлитов по их химическому составу на семь обособленных групп или популяций, различающихся содержанием  $\text{TiO}_2$ . Выделенные популяции могут быть разделены на разновидности по соотношению  $\text{CaO/MgO}$  – от кимберлитовых карбонатитов через кимберлиты к их магнезиальным разновидностям. Низкое содержание титана наряду с высоким содержанием кальция отвечает начальным фазам внедрения [3].

По петрохимической классификации [3], породы из кимберлитовых тел 325 лет Якутии, Космос-2 и 1/15 относятся к четвертой (1,01–1,40 мас.%  $\text{TiO}_2$ ) популяции кимберлитов, среднее содержание в них  $\text{TiO}_2$  составляет 1,22, 1,20 и 1,25 мас.%, соответственно. По типохимическому признаку выделения разновидностей, породы вышеперечисленных трубок являются кимберлитами, так как соотношение в них  $\text{CaO/MgO}$  составляет 0,65, 0,56 и 0,54, соответственно. Породы кимберлитового тела Интеркосмос представлены пятью разными популяциями. Преобладают (38,5%) кимберлиты, относящиеся к шестой ( $\text{TiO}_2$  1,81–2,2 мас.%) популяции, в меньшей степени (23%) представлены кимберлиты седьмой популяции ( $\text{TiO}_2$  2,21–2,80 мас.%). Породы, относящиеся к пятой ( $\text{TiO}_2$  1,41–1,80 мас.%) и третьей популяциям ( $\text{TiO}_2$  0,61–1,00 мас.%), представлены в равной степени (15,4%), к четвертой – 7,7%. Отношения  $\text{CaO/MgO}$  в породах трубки Интеркосмос не выходят за граничные значения для кимберлитов 0,34–0,82. Породы кимберлитового тела Виллойская-2019 относятся к пятой (62,5%) и шестой (37,5%) популяциям кимберлитов, соотношение  $\text{CaO/MgO}$  в них 0,58. Породы из тела М-2 относятся к шестой (44,4%), седьмой (33,3%) и пятой (22,2%) популяциям кимберлитов. Для пород из кимберлитовых тел 3/15 и Жила-2 характерны весьма высокие содержания  $\text{TiO}_2$  (2,6 и 2,48 мас.% соответственно), что позволяет отнести их к седьмой популяции кимберлитов. В целом, по соотношению  $\text{CaO/MgO}$  среди всех изученных тел выделяются кимберлиты и в меньшей степени их магнезиальные и карбонатитовые разновидности.

Кимберлиты изученных тел Верхнемунского поля характеризуются более низким содержанием  $\text{MgO}$  (25 мас.%) и более высокой глиноземистостью (3 мас.%) по сравнению с известными телами данного поля (32,4 и 2 мас.% соответственно) [5], а повышенное содержание  $\text{CaO}$  свидетельствует о высоком содержании карбонатной составляющей. Низкое содержание глинозема в кимберлитах наряду с их высокой магнезиальностью указывает на истощенный характер мантийного плавящегося субстрата [5]. Содержание  $\text{K}_2\text{O}$  в кимберлитах, в целом, выше, чем в породах из известных трубок (0,90 и 0,59 мас.%  $\text{K}_2\text{O}$  соответственно). Таким образом, можно утверждать, что породы новых кимберлитовых тел характеризуются меньшей магнезиальностью, меньшим содержанием титана, большей глиноземистостью, более высоким содержанием кальция и калия, чем кимберлиты известных тел Верхнемунского поля.

Распределение редких элементов в кимберлитах даже в пределах одной трубки очень сильно варьирует. Причиной этому является дифференциация расплава при его поднятии из магматической камеры, а также процессы вторичного изменения пород (серпентинизация, карбонизация, выветривание) [6]. В породах исследуемых тел отмечаются высокие содержания Sr и Ba, установлены их значительные вариации, что может отражать разную степень вторичных изменений пород. Основными концентраторами Sr и Ba вероятней всего является кальцит и/или стронцианит, содержание которого 2–6%. Породам свойственно обеднение элементами LILE, в первую



очередь рубидием, а также характерны положительная аномалия по Pb и отрицательная по Zr, присутствует незначительная отрицательная аномалия по диспрозию.

Суммарное содержание редкоземельных элементов ( $\Sigma$ РЗЭ) в породах изученных кимберлитовых тел Верхнемунского поля варьирует от 82 до 995 г/т. Близкие суммарные значения РЗЭ характерны для кимберлитов из трубок М-2, Космос-2, 1/15 (334, 386, 358 г/т соответственно). Кимберлиты из трубок 325 лет Якутии, Вилюйская-2019, Интеркосмос, 1/94 содержат 509, 716, 497, 605 г/т  $\Sigma$ РЗЭ соответственно.

Характер спектров распределения редких и редкоземельных элементов в породах изученных тел Верхнемунского поля типичен для кимберлитовых пород. Спектры расположены компактно, они слабофракционированные, имеют пологий отрицательный наклон, выраженный в снижении концентраций легких к тяжелым РЗЭ. Графики распределения РЗЭ нормированные по хондриту С1, иллюстрируют значительное обогащение пород легкими лантаноидами, что подтверждается индикаторными отношениями. Лантан-иттербиевые отношения  $(La/Yb)_N$  в породах всех трубок, в целом, близки и лежат в пределах от 30 до 100. Стоит отметить кимберлитовое тело М-2, которое в этом отношении значительно отличается от остальных изученных тел. В нем минимальное  $(La/Yb)_N$  составляет 7,56 г/т, а максимальное – 122,7. Эта особенность хорошо видна на графиках распределения редких и редкоземельных элементов. Она выражена в широких вариациях спектров, особенно в области распределения LREE. Обогащение пород LREE, по-видимому, связано с их концентрацией в апатите, содержание которого в основной массе изученных кимберлитов варьирует от 1 до 8%.

Выводы:

Породы изученных кимберлитовых тел по содержанию FeOtot, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O попадают в поля известных кимберлитовых трубок Верхнемунского поля.

Кимберлитовые тела представлены разными популяциями кимберлитов. В трубках 325 лет Якутии, Космос-2, 1/15 преобладают породы, относящиеся к четвертой популяции. В остальных телах преобладают кимберлиты пятой, шестой и седьмой популяций.

По типохимическому признаку – отношению CaO/MgO – выделяются собственно кимберлиты и в меньшей степени магнезиальные и карбонатитовые разновидности.

Породы изученных кимберлитовых тел характеризуются меньшей магнезиальностью, меньшим содержанием титана, большей глиноземистостью, более высоким содержанием кальция и калия, чем кимберлиты известных тел Верхнемунского поля.

Суммарное содержание РЗЭ в породах изученных кимберлитовых тел Верхнемунского поля сильно варьирует.

Характер спектров распределения редких и редкоземельных элементов в породах изученных тел Верхнемунского поля типичен для кимберлитовых пород. Отмечаются высокие содержания Sr и Ba, установлены их значительные вариации, что может отражать разную степень вторичных изменений пород.

Список литературы:

1. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г. Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной части Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского государственного университета. – Геология. – 2000. – № 9. – С. 37.
2. Василенко В. Б., Ротман А. Я., Кузнецова Л. Г., Минин В. А., Зинчук Н. Н., Холодова Л. Д. Сравнительная петрохимическая характеристика интенсивности постмагматического изменения кимберлитов Якутии и Африки // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – 2008. – № 1. – С. 34–46.
3. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г. Сопряженность химических составов пород и акцессорных минералов в кимберлитах // Записки Российского минералогического общества. – 2019. – Т. 148. – № 3. – С. 14–29.
4. Костровицкий С. И. Минералогия и геохимия кимберлитов Западной Якутии : специальность 25.00.05. «Минералогия, кристаллография», 25.00.09. «Геохимия, геохимические методы

- поисков полезных ископаемых»: автореф. дис. на соискание учен. степ. докт. геол.-минер. наук / Костровицкий Сергей Иванович. – Иркутск : ИГМ СО РАН, 2009. – 43 с.
5. Яковлев Д. А., Костровицкий С. И., Алымова Н. В. Особенности вещественного состава кимберлитов Верхнемунского поля (Якутия) // Науки о Земле и недропользование. – 2009. – Т. 34. – № 1. – С. 111–119.
  6. Kostrovitsky S. I., Morikiyo T., Serov I. V., Yakovlev D. A., Amirzhanov A. A. Isotope-geochemical systematics of kimberlites and related rocks from the Siberian Platform // Russian Geology and Geophysics. – 2007. – Т. 48. – № 3. – С. 272–290.

**Минина О. В. (minina@tsnigri.ru)**  
**ФГБУ «ЦНИГРИ»**

### АККАРГИНО-ШАЛКАРСКИЙ РИФТОГЕННЫЙ ПРОГИБ НА ВОСТОКЕ ЮЖНОГО УРАЛА – ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ЗОНА С ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИМ КОЛЧЕДАННЫМ ОРУДЕНЕНИЕМ

*Рассмотрено строение Аккаргино-Шалкарского рифтогенного прогиба на Южном Урале и рудоносность раннекаменноугольного аккаргинского базальт-андезит-дацит-риолитового комплекса. Связанные с ним проявления рудной минерализации по составу и условиям локализации в вулканоструктурах близки золото-полиметаллически-колчеданными месторождениями баймакского типа, что определяет перспективы прогиба на этот тип оруденения.*

*Ключевые слова: рифтогенный прогиб, базальтоидные комплексы, колчеданосный вулканогенный комплекс, золото-полиметаллически-колчеданная минерализация, золотоносная кора выветривания.*

На восточном фланге Прииргизского синклинория (восток Ю. Урала) выделяется Аккаргино-Шалкарский прогиб, ограниченный глубинными разломами. Он вмещает ряд раннекаменноугольных рифтогенных базальтоидных формационных комплексов (А. С. Лисов, 2008 г.), завершающийся аккаргинским базальт-андезит-дацит-риолитовым.

Ранний **кенгуссайский базальтовый комплекс** ( $C_{1t}$ ) состоит из лав и туфов базальтов и метабазальтов, гиалокластитов, сланцев и туфосланцев по этим породам, метатефроидов, метатуффилов, туфоалевролитов и туфопесчаников. Ареал его развития ограничен узким вулканотектоническим грабеном в составе Сарыобинской системы региональных разломов. Следующий за ним **тущесайский вулканогенно-терригенный комплекс** ( $C_{1v}$ ) слагает большую часть Аккаргино-Шалкарского прогиба и состоит из конгломератов, песчаников, алевролитов, аргиллитов, углисто-глинистых сланцев и филлитов с прослоями туфов и лав спилитовидных метабазальтов, метариолитов, плагиопорфировых андезитов, известняков и туффилов.

**Венчающий формационный ряд аккаргинский** базальт-андезит-дацит-риолитовый комплекс ( $C_{1v3-s}$ ) тяготеет к западной прибортовой части Аккаргино-Шалкарского прогиба. В наиболее полных разрезах его северного фланга выделяется нижняя вулканогенная и верхняя вулканогенно-осадочная толщи. Нижняя толща мощностью 500–600 м представлена чередованием преобладающих вулканогенных пород с туфопесчаниками, алевролитами, гравелитами, углстыми алевропелитами. Вверх по разрезу лавы и туфы метабазальтов и андезибазальтов сменяются андезитами и андезидацитами с прослоями туфов, туффилов, вулканомиктовых пород и рифогенных известняков, а верхние горизонты отмечены присутствием лавовых и экстрезивно-субвулканических тел дацитов-риодацитов. В разрезе верхней толщи мощностью 300–400 м преобладают песчаники, алевропелиты, углисто-глинистые и углисто-кремнистые сланцы с горизонтами известняков, микститов, туффилов, вулканомиктовых пород, лав дацитов и риолитов. На юге Аккаргино-Шалкарского прогиба аккаргинскому комплексу соответствует вулканогенно-осадочный разрез мощностью до 800 м, состоящий из песчаников, алевролитов,

углисто-глинистых и углисто-кремнистых сланцев, лав плагиофировых и афировых спилито-видных базальтов, туфов основного и смешанного состава, туффитов. Вулканогенные породы, в том числе экструзивные и лавовые фации риолитов и дацитов, тяготеют к нижней части разреза.

Аккаргинский базальт-андезит-дацит-риолитовый комплекс, завершающий вертикальный ряд рифтогенных базальтоидных формаций, обладает всеми признаками непрерывной колчеданноносной формации, что позволяет рассматривать Аккаргино-Шалкарский прогиб как потенциальную металлогеническую зону, перспективную на обнаружение колчеданных месторождений.

Специфической чертой аккаргинского комплекса является его тесная пространственная сопряженность с массивами близкого по времени интрузивного барамбаевского комплекса ( $C_1$ ), представленного гомодромным рядом пород от редко встречающихся габбро и габбродиоритов до преобладающих (около 80%) диоритов и плагиогранитов и жильной фазы того же состава. Массивы (Барамбаевский и Журманкольский) вместе с мелкими телами и дайками образуют пояс субмеридионального простирания строго в полосе развития базальт-андезит-дацит-риолитового комплекса. Структурные особенности гранитоидов отражают их становление в условиях малых глубин. Пространственная и петрохимическая близость магматических образований аккаргинского вулканогенного и барамбаевского плутогенного комплексов, присутствие пород с переходными текстурно-структурными характеристиками позволяют рассматривать оба комплекса в качестве единой вулcano-плутонической ассоциации, образованной на позднем этапе становления Аккаргино-Шалкарского рифтогенного прогиба.

Вулканы аккаргинского комплекса слагают небольшие вулcano-купольные постройки, включающие дацит-риодацитовые экструзивные купола, потоки лав, тела порфировых гранитоидов барамбаевского комплекса в жерловых зонах и известняковые рифы на склонах. Терригенные отложения верхней части разреза комплекса выполняют конседиментационные депрессии с субвулканическими телами и мелкими интрузивами в прибортовых частях. Породы, слагающие постройки, пропицитизированы, местами превращены в серицит-кварцевые метасоматиты с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией, а известняки в экзоконтактовых зонах березитизированных интрузивов барамбаевского комплекса мраморизованы и скарнированы.

В северной части Аккаргино-Шалкарского прогиба в структурах Барамбаевского поднятия в породах аккаргинского комплекса выявлены проявления золотоносных метасоматитов и золотоносной вкрапленной медно-свинцово-цинковой колчеданной минерализации, сконцентрированные в Бисмулла-Ковыльненском рудном узле. Как показывает пример проявлений Ковыльное-1 и -2, вкрапленные колчеданные руды в связи с низким содержанием цветных металлов (Cu 0,4%, Zn 0,8%, Pb 0,3%) и Au (0,2–0,8 г/т) промышленного значения не имеют. Существенно более высокие концентрации золота (от 0,8 до 5 г/т) характерны для широко распространенных здесь кор выветривания по этим и подобным рудопроявлениям.

Вместе с тем в южном продолжении Аккаргино-Шалкарского прогиба – Иргизском вулканическом поясе на территории Казахстана – с базальт-риолитовой формацией  $C_1$  связаны колчеданно-полиметаллические (Килемжайган I, Кналыкколь и др.) и серноколчеданные (Промежуточное, Прииргизское) проявления. Это свидетельствует о возможности обнаружения более значимых колчеданных объектов и в рассматриваемой зоне, где в корях выветривания, сформировавшихся с конца триаса до конца мезозоя, на основе таких объектов возможно образование промышленных месторождений золота.

Количественные соотношения в рудах золота, халькопирита, сфалерита и галенита, присутствие в ряде геохимических ореолов бария сближают проявления сульфидной минерализации Аккаргино-Шалкарского прогиба с золото-полиметаллически-колчеданными месторождениями баймакского типа в Тубинско-Гайской колчеданноносной зоне Южного Урала. Многие из них (Восточно-Семеновское, Балта-Тау, Санкым, Майское и др.) рассматриваются в первую очередь как золоторудные объекты. Для этих месторождений разработаны варианты геолого-поисковых моделей для различных условий локализации рудных тел: штокверковых в экструзивах (Балта-Тау, Майское), стратоидных в депрессионных структурах с рудоносными экструзивно-субвулканическими телами в прибортовых зонах (Богачевское), а также комбинированных, включающих рудные штокверки и сопряженные с ними пластовые залежи (Вишневское) [1]. Использование этих разработок в Аккаргино-Шалкарской потенциальной колчеданноносной зоне позволит

выделить площади, перспективные на обнаружение золото-полиметаллически-колчеданных объектов в аналогичных обстановках, присутствие которых достаточно очевидно уже на уровне современной изученности территории.

Список литературы:

1. Волчков А. Г., Минина О. В., Шепелев В. М. Золото-колчеданные месторождения Баймакского района (Южный Урал) // Геология золоторудных месторождений СССР. – Том 1. – М. : ЦНИГРИ, 1984. – С. 196–205.

**Михайлов В. В. (mvvsevolodovich@yandex.ru), Степанов С. Ю.  
ГБУН «ИГГИ УрО РАН**

#### АССОЦИАЦИИ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ГАББРОИДАХ ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА

*Анализ взаимоотношения рудных минералов в габброидах Платиноносного пояса Урала на примере Серебрянского и Кумбинского массивов позволил выделить четыре основные минеральные типа оруденения: титаномагнетитовый, халькопирит-борнитовый, дигенит-борнитовый, пирит-халькопиритовый. Установлено, что из числа минералов благородных металлов в амфибол-оливиновых габбро с дигенит-борнитовой минерализацией преобладают сульфиды, теллуриды палладия и медистое золото, для габброидов с борнит-халькопиритовой отмечено наиболее широкое распространение минералов платиновой группы, для амфиболовых разновидностей габбро с преобладанием халькопирита наиболее характерно распространение золотосеребрянных интерметаллидов и теллуридов золота и серебра. Характер распределения благородных металлов, состав рудных парагенезисов, морфологические особенности минеральных скоплений и взаимоотношения рудных минералов свидетельствуют об изменении концентраций серо-, теллур-, мышьяксодержащих компонентов флюида в процессе рудообразования.*

*Ключевые слова: Платиноносный пояс Урала, габбро, медно-благороднометалльное оруденение, минералы благородных металлов.*

Платиноносный пояс Урала – уникальное образование, представляющее собой гигантскую, до 1000 км длиной, цепь крупных, сложно построенных интрузивов, расположенных на восточном склоне Среднего, Северного и Приполярного Урала. В сложении этих интрузивов принимают участие дуниты, верлиты, клинопироксениты, оливиновые габбро, габбро-нориты, амфиболовые габбро и плагиограниты. С амфиболовыми габбро связана медно-титаномагнетитовая минерализация, имеющая Au-Pt-Pd специализацию. При изучении амфиболовых габбро, слагающих массив Серебрянского камня, были получены первые данные о составе благороднометалльной минерализации в габброидах северного сегмента Платиноносного пояса Урала [5], при этом, основываясь на данных геохимического анализа, было установлено, что не все амфиболовые габбро, характеризующиеся повышенной вкрапленностью медных минералов, имеют палладиевую специализацию.

Цель работы – уточнение особенностей строения, последовательности формирования минеральных типов медно-благороднометалльных руд в габброидах Платиноносного пояса Урала на примере Кумбинского и Серебрянского массивов.

Отобранные при проведении исследовательских работ на территории Серебрянского и Кумбинского массивов штуфные образцы и пробы послужили материалом для минераграфического изучения медной и благороднометалльной ассоциаций. Из штуфных образцов были изготовлены полированные шлифы и аншлифы, из проб путем дробления и последовательного

гравитационного обогащения были получены сульфидные концентраты. Подготовленные аншлифы и полированные шлифы изучались в проходящем и отраженном свете.

Кумбинский и Серебрянский массивы располагаются в Тагило-Магнитогорской мегазоне, в непосредственной близости от Главного Уральского разлома. Особенности геологического строения Кумбинского [2] и Серебрянского [3, 5] массивов достаточно подробно освещены в литературе.

Ассоциации рудных минералов в габброидах Кумбинского и Серебрянского массивов характеризуются сложным неоднородным строением и непостоянным минеральным составом. К числу главных рудообразующих минералов относятся магнетит, ильменит, борнит, дигенит, халькопирит. Второстепенные минералы в рудах: шпинель, пирит, гематит, халькозин, ковеллин, гетит, лейкоксен. Изучение рудных ассоциаций габброидов Кумбинского и Серебрянского массивов позволило установить их сходство. Анализ взаимоотношения рудных минералов позволил выделить четыре минеральных типа:

1. Титаномагнетитовый в лейко-, мезократовых разновидностях габбро. Для этого типа характерна повышенная вкрапленность титаномагнетита в габбро с формированием отдельных шлиров или относительно крупных жильных тел мощностью до 0,7 м. Структура руд сидеронитовая, реже вкрапленная, прожилково-вкрапленная.

2. Халькопирит-борнитовый в меланократовых амфиболовых или оливин-амфиболовых габбро. Для этого типа руд характерна повышенная вкрапленность халькопирита и, реже, борнита с умеренной вкрапленностью титаномагнетита. Максимальное содержание сульфидов в минерализованных габбро может достигать 10%. Структура руд чаще всего вкрапленная, прожилково-вкрапленная, при этом сульфидные минералы обычно рассеяны по породе.

3. Дигенит-борнитовый в меланократовых амфиболовых или оливин-амфиболовых (реже оливиновых) габбро. Минерализация пространственно связана с меланократовыми разновидностями габброидов. Среди сульфидов преобладают борнит-дигенитовые мирмекитовые сростания; халькопирит и титаномагнетит встречаются в ограниченном количестве. Структура в наиболее богатых разновидностях руд сидеронитовая, в менее – густовкрапленная, вкрапленная.

4. Пирит-халькопиритовый в мезократовых габбро. Для этого типа характерно распространение небольших скоплений халькопирита по всей массе габбро. Часто в ассоциации с халькопиритом находятся ограненные зерна пирита, а также гидроокислы железа (гетит). Наибольшее содержание халькопирита в этом типе минерализованных габбро составляет 4,5%. Структура вкрапленная, реже прожилковая.

Изучение медно-сульфидной минерализации Волковского месторождения, а также рудопроявления Серебрянский Камень позволили установить следующую последовательность образования рудных минералов на фоне снижения температуры: графические сростания борнита и дигенита, решетчатые борнит-халькопиритовые агрегаты, мономинеральные выделения борнита и халькопирита [5, 6]. Аналогично на примере этих объектов прослежены закономерность смены сульфидной, теллуридной, арсено-антимонидной благороднометалльных ассоциаций при снижении температуры и изменения активности Te, As, Sb в рудообразующей системе [1, 5, 7].

Для выделенных минеральных типов руд в аншлифах и рудных концентратах установлено, что с ранней борнит-дигенитовой минерализацией в амфиболовых, оливин-амфиболовых (реже оливиновых) габбро связана наиболее высокотемпературная ассоциация благородных металлов (Au-Cu-Pd интерметаллиды, висоцкит). Наиболее широкое распространение минералов благородных металлов (теллуридов палладия, золота, арсенидов платины и палладия, антимонидов палладия) отмечено в халькопирит-борнитовом типе оруденения в амфибол-оливиновых и амфиболовых габбро. Низкотемпературная ассоциация благородных металлов с преобладанием золотосеребряных интерметаллидов тяготеет к пирит-халькопиритовой минерализации в массивных амфиболовых габбро.

Детальное изучение медно-благороднометалльного оруденения в габброидах позволяет предположить следующую последовательность формирования рудных ассоциаций.

Высокотемпературное борнит-дигенитовое оруденение, вероятнее всего, формировалось в условиях высокой фугитивности серы и низкой активности Te, о чем свидетельствуют

нестехиометричность борнита, отмеченная также для руд Волковского месторождения [6], и вхождение Pd в состав Au-Cu интерметаллидов [7].

При понижении температуры и возрастании окисленности флюида фугитивность серы уменьшается, а других халькогенов – увеличивается. Зависимость концентраций серо-, селен- и теллурсодержащих компонентов флюида от P-T – параметров и парциального давления кислорода обосновывается и термодинамическими расчетами [4]. Снижение температуры в рудно-магматической системе на фоне последовательного возрастания активности Te, As, Sb привело к формированию халькопирит-борнитового оруденения с широким набором минералов благородных металлов.

Наиболее поздняя золотосеребряная минерализация, отмеченная для пирит-халькопиритовой ассоциации в амфиболовых габбро, формировалась в заключительную стадию становления рудно-магматической системы, что также подтверждается широким распространением низкотемпературных минералов группы хлорита и актинолита в породах.

Предложенная последовательность формирования рудных ассоциаций для габброидов Платиноносного пояса согласуется с представлением о магматическом происхождении медно-благороднометалльного оруденения [5, 6]. Что позволяет рассматривать другие массивы, в строении которых выделены амфиболовые габбро, как потенциально перспективные на выявление месторождений медно-железо-ванадиевых руд с попутной благороднометалльной минерализацией.

*Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГГ УрО РАН, тема № АААА-А18–118052590032–6.*

#### Список литературы:

1. Аникина Е. В., Алексеев А. В. Минералого-геохимическая характеристика золото-палладиевого оруденения в Волковском габбро-диоритовом массиве (Платиноносный пояс Урала) // Литосфера. – 2010. – № 5. – С. 75–100.
2. Воробьева О. А., Самойлова Н. В., Свешникова Е. В. Габбро-пироксенит-дунитовый пояс Среднего Урала. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 319 с.
3. Ефимов А. А., Ефимова Л. П. Кытлымский платиноносный массив. – М.: Недра, 1967. – 336 с.
4. Каржавин В. К., Волошина З. М. Поведение соединений платины и палладия в процессе метаморфизма восточного окончания Панского интрузива (Кольский полуостров) // Геохимия. – 2011. – № 12. – С. 1243–1252.
5. Михайлов В. В., Степанов С. Ю., Козлов А. В., Петров С. В., Паламарчук Р. С., Шиловских В. В., Абрамова В. Д., Корнеев А. В. Новое медно-благороднометалльное рудопроявление в габбро массива Серебрянского Камня, Платиноносный пояс Урала (Северный Урал) // Геология рудных месторождений. – 2021. – Т. 63, № 6. – С. 520–550.
6. Молошаг В. П., Коробейников А. Ф. Новые данные о платиноидной минерализации медно-железо-ванадиевых руд // Магматические и метаморфические образования Урала и их металлогения. – Екатеринбург: УрО РАН. – 2000. – С. 90–101.
7. Мурзин В. В., Пальянова Г. А., Аникина Е. В., Молошаг В. П. Минералогия благородных металлов (Au, Ag, Pd, Pt) Волковского Cu-Fe-Ti-V месторождения (Средний Урал) // Литосфера. – 2021. – Т. 21, № 5. – С. 653–659.

Мишенин С. Г. <sup>1</sup> (mishenin@tsnigri.ru), Юрченко О. С. <sup>1</sup> (sparrows@yandex.ru),  
Утюпин Ю. В. <sup>2</sup> (yuraut01@gmail.com), Хилько А. П. <sup>3</sup> (hilko\_anatoliy@mail.ru)  
<sup>1</sup> ФГБУ «ЦНИГРИ», <sup>2</sup> СибГУТИ, <sup>3</sup> АО «СНИИГГиМС»

## ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЙОНОВ ПОЛИХРОННОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНОГО МАГМАТИЗМА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

*В тезисах сформулирована проблема установления тектонического контроля полей кимберлитовых пород в районах проявления полихронного кимберлитового магматизма и выявления кимберлитоконтролирующих тектонических структур, соответствующих каждой из эпох кимберлитового магматизма. Предлагается опробование технологии стадийного тектонического районирования областей проявления полихронного кимберлитового магматизма на примере Нижне-Оленекского алмазоносного района (НОАР), выбранного в качестве модельного объекта. В результате первой стадии тектонического районирования выделены три пары тектонических линеаментов надрегионального плана, определяющие тектонический каркас НОАР.*

*Ключевые слова: алмазы, кимберлиты, Сибирская платформа, алмазоносная субпровинция, кимберлитовое поле, линеамент, тектоника, Нижне-Оленекский алмазоносный район, тектонопара.*

В пределах Сибирской платформы локальные (очаговые) проявления щелочно-ультраосновного магматизма распространены на антиклинальных структурах и их склонах. В центральной части Сибирской платформы (Западно-Якутская алмазоносная субпровинция) поля кимберлитовых пород имеют среднепалеозойский возраст и относятся к наиболее продуктивной на алмазы фазе щелочно-ультраосновного магматизма.

Периферийные алмазоносные субпровинции Сибирской платформы (Лено-Анабарская, Алданская и Южно-Сибирская (Гунгусская)) характеризуются присутствием в их пределах помимо кимберлитов более широкого спектра щелочно-ультраосновных пород образовавшихся в различные эпохи фанерозоя. Для кимберлитовой формации здесь достоверно установлено три эпохи формирования: девон-раннекарбоновая, раннетриасовая и позднеюрская. Имеются признаки проявлений кимберлитового магматизма и других эпох, но они пока не нашли прямого геологического подтверждения.

При изучении периферийных алмазоносных субпровинций Сибирской платформы мы часто имеем дело с проявлением кимберлитовых и родственных им пород различного возраста и продуктивности в пределах одних и тех же алмазоносных районов. В связи с этим возникает проблема нахождения тектонического контроля полей кимберлитовых пород различного возраста и выявления кимберлитоконтролирующих тектонических структур, соответствующих каждой из эпох кимберлитового магматизма.

Наиболее насыщенным полихронными кимберлитовыми магматитами является Нижне-Оленекский алмазоносный район (НОАР), входящий в Лено-Анабарскую алмазоносную субпровинцию. Географически НОАР охватывает бассейн участка нижнего течения р. Оленек на отрезке между его притоками Мерчимден и Хорбусуонка, включая бассейны рек Солокут, Куойка, Беенчима, Чамая, Бирая, Толуопка, Кютюнгде, нижнего течения р. Бур и верхнего течения р. Молодо с притоками.

В пределах НОАР выделяется пять кимберлитовых полей, в том числе: Мерчимденское и Толкуопское – среднепалеозойского возраста, Хорбусуонское – раннетриасового возраста, Куойское и Молодинское – позднеюрского возраста. При этом Молодинское и Толуопское кимберлитовые поля частично пространственно перекрываются. На сегодня в этих полях открыто порядка 240 кимберлитовых тел, при этом возможны новые открытия, в том числе высокоалмазоносных кимберлитовых тел.

Тектоническое строение территории НОАР продолжительное время и многократно изучалось различными группами исследователей из производственных, отраслевых и научных геологических организаций бывшего СССР, а позже – РФ. Имеется несколько десятков вариантов

тектонических схем на данную территорию, от схематических до весьма подробных, общим местом которых является их существенное несовпадение.

По общему мнению большинства исследователей, контроль кимберлитового магматизма в данном районе предопределяется двумя кимберлитоконтролирующими зонами – Далдыно-Оленекской и Молодо-Попигайской (она же Молодо-Уджинская). При этом имеет место постепенное увеличение стараниями исследователей ширины этих зон, в результате чего к настоящему времени первая из них в районе НОАР имеет ширину более 150 км, а вторая – уже более 280 км. При этом такие глобальные линейные структуры не имеют сколько-нибудь устойчивого отражения в пространственных геолого-геофизических и дистанционных данных на разных уровнях земной коры и верхней мантии, т. е. являются больше иллюзорными, чем реальными минерагеническими таксонами.

Нами предлагается опробование технологии стадийного тектонического районирования областей проявления полихронного кимберлитового магматизма на примере Нижне-Оленекского алмазоносного района, выбранного в качестве модельного объекта для ее отработки. Данная работа посвящена первой стадии тектонического районирования – определению положения НОАР в системе региональных тектонических структур, выделяемых на основе комплексного анализа имеющихся региональных геофизических и пространственных данных.

В результате анализа различных пространственных материалов – гидросети, цифровой модели рельефа (ЦМР), карт геофизических (аномального гравитационного и магнитного) полей – были выделены системы крупных линеаментов надрегионального плана (космолинеаментов), формирующие тектонический каркас изучаемой территории.

Наиболее протяженными являются линеаменты субширотного и юго-юго-западного – северо-северо-восточного (ЮЮЗ-ССВ) простирания. При этом совершенно невыраженными (за исключением аномального магнитного поля) оказываются СЗ направления, к которым приурочены основные дайковые комплексы района.

Предварительное рассмотрение цифровой модели рельефа (ЦМР) позволило отметить несколько опорных моментов, на которых затем строился весь последующий региональный анализ, в частности:

1. Присутствие трех крупных космолинеаментов (двух ЮЮЗ-ССВ простирания и одного – субширотного), задающих блочное строение площади НОАР.
2. Наличие округлых субизометричных структур.
3. В пределах отчетной площади большинство крупных кольцевых структур приурочено к зоне субширотного простирания.
4. Наличие ромбовидных участков (блоков) рельефа.

Ромбовидные блоки с юго-восточным – северо-западным (ЮВ-СЗ) простиранием длинной оси совпадают с пересечением линеаментов третьей тектонопары, а ромбовидные блоки с юго-западным – северо-восточным (ЮЗ-СВ) простиранием длинной оси – с пересечением линеаментов первой тектонопары.

Некоторые ромбовидные блоки вмещают в себя и кольцевые структуры.

Анализ карты аномального гравитационного поля (Пояснительная записка к комплекту карт геофизической основы Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000, Листы R-51,52, 1999) района НОАР показал его сложное блоковое строение. Так, в западной части района наблюдается обширная аномалия с повышенными значениями. Ее обрамляют линеаменты, конфигуративно образующие ромбовидную структуру с ЮЗ-СВ простиранием длинной оси. В центральной части района диагностируются два протяженных линеамента ЗСЗ-ВЮВ простирания, образующие узкий туннель с пониженными значениями аномального гравитационного поля в его восточной части.

Анализ данных аномального магнитного поля выявил три системы линеаментов, корреспондирующихся с ранее выделенными тектонопарами космолинеаментов:

1. Линеаменты ЗСЗ-ВЮВ простирания, контролирующие рои даек, широко распространенные в пределах отчетной площади и довольно протяженные. Они объединяются в широкие зоны того же простирания, участвуя в их внутреннем строении. Пространственно соотносятся с космолинеаментами второй тектонопары того же простирания.



2. Линеаменты ССЗ-ЮЮВ и ЮЮЗ-СВ простираций, слабо протяженные и погребенные (скрытые) под отражениями в АМП «дайковых» линеаментов. Приурочены к космолинеаментам первой и третьей тектонопар.

3. Линеаменты ЮЮЗ-ССВ и ЗЮЗ-ВСВ простираций, очень протяженные, неявно выраженные, диагностируются по еле заметным спрямлениям аномалий магнитного поля. Сопоставляются с космолинеаментами первой тектонопары.

Самыми невыраженными оказываются протяженные линеаменты субширотного и СЗ-ЮВ простираения, тяготеющие к субширотным линеаментам третьей космолинеопары.

Таким образом, разломно-блоковое строение площади контролируется разрывными нарушениями трех тектонопар космолинеаментов, характер взаимоотношений которых определил сложный рисунок разломов по разным данным.

**Молчанов А. В. (anatoly\_molchanov@vsegei.ru), Артемьев Д. С.,  
Ашихмин Д. С., Лебедев И. О.  
ФГБУ «ВСЕГЕИ»**

#### **ЛОМАМСКИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО ЗОЛОТО-МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОРУДНЫЙ РАЙОН – ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОРФИРОВОГО СЕМЕЙСТВА (ПО МАТЕРИАЛАМ ГДП-200/2)**

*Ломамский потенциальный золото-медно-молибденоворудный район расположен в пределах Тимптоно-Учурского блока Алданского щита в зоне влияния Тыркандинской зоны разломов глубокого заложения и длительного развития и выделен в ходе работ по составлению ГК 1000/3 (лист О-52) и проведению ГДП-200/2 (листы О-52-XXVI, XXVII). В пределах района выделено пять потенциальных рудных узлов с общими ресурсами коренного золота категории  $P_3$  более 600 т. Локализованы площади для проведения прогнозно-металлогенических, поисковых работ с целью выявления месторождений золота «морозкинского» и «лебединского» типов.*

*Ключевые слова: Якутия, алданский щит, золото, рудный район, рудный узел, прогноз.*

В последнее десятилетие в пределах Ломамского района отделом металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГБУ «ВСЕГЕИ» были проведены геолого-съёмочные работы масштаба 1:1 000 000, 1:200 000. В 2016 г. составлен комплект Государственной геологической карты листа О-52 (Томмот) масштаба 1:1 000 000 третьего поколения, где были пересмотрены некоторые вопросы геологического строения, истории развития и рудоносности региона. Выделен Ломамский потенциальный золото-медно-молибденоворудный район с ресурсами коренного золота категории  $P_3$  – 189 т, в пределах которого прогнозировалось выявление крупных месторождений золота «лебединского» и «морозкинского» типов.

В ходе проведения ГДП-200/2 на протяжении с 2016 по 2020 гг. на листах О-52-XXVI, XXVII на площади Ломамского района локализованы Билибинский, Чайдахский, Сеймджакский, Ардайский, Бурпалинский потенциальные золоторудные узлы, намечены площади и структуры для проведения в их пределах поисковых, прогнозно-металлогенических работ.

**Ломамский потенциальный золото-медно-молибденоворудный район** оконтуривается по ореолам распространения магматических щелочных и умереннощелочных пород кара-буранского комплекса – производных мезозойской тектоно-магматической активизации. С узлами магмо-метасоматической деятельности пространственно связаны ареалы проявления золоторудной минерализации. При этом четко прослеживается аналогия между геологическими структурами Центрально-Алданского золоторудного района и Ломамского потенциального рудного района, что выступает одним из прогнозных критериев обнаружения здесь лебединского, куранахского и морозкинского типов золотого оруденения.

**Билибинский потенциальный золото-медномолибденово-рудный узел.** Границы узла совпадают с площадью развития магматических пород мелового возраста щелочного массива Голец Билибина. Все разновидности пород массива претерпели гидротермально-метасоматические преобразования, выразившиеся в березитизации и аргиллизации.

В центральной части интрузивного массива Голец Билибина ранее выявлены зоны комплексной вольфрам-золото-серебряной минерализации (В.Г. Амарский, 1974), которые подтвердились в результате полевых работ 2018 г. Оруденение локализуется в жилах сульфидно-кварцевого, сульфидно-флюорит-кварцевого состава, в аргиллизированных зонах дробления и контролируется системами трещин северо-западного простирания.

Билибинский потенциальный рудный узел выделяется на моно- и полиметалльных геохимических схемах. Аномалии золота, серебра, мышьяка, висмута, меди, молибдена, цинка, вольфрама и сурьмы достигают значений в сотни и тысячи единиц фона. Особенно контрастно выглядят аномалии серебра, молибдена, висмута и цинка.

В ФГБУ «ЦНИГРИ» в 2012 г. апробированы ресурсы  $P_2$  на Хребтовом рудном поле (северо-восточная часть Билибинского ПРУ) – 31 т. Прогнозные ресурсы  $P_3$  Билибинского ПРУ, рассчитанные при проведении ГДП на листах О-52-XXVI, XXVII, составляют 210 т рудного золота.

**Сеймджакский потенциальный золоторудный узел.** В геологическом строении принимают участие метаморфические образования архейского возраста сеймской и кюриканской свит, прорванные нижнемеловыми магматическими образованиями кара-буранского комплекса, слагающими штоки и дайки преимущественно щелочного и субщелочного состава, а также крупный Сеймджакский массив. Породы Сеймджакского массива повсеместно претерпели гидротермально-метасоматическую переработку. Отмечаются процессы пропилитизации и березитизации, а также наблюдаются различные новообразования.

В пределах Сеймджакского потенциального узла известны комплексные рудопоявления и пункты минерализации, содержащие золото, медь, серебро, свинец, молибден и редкоземельные элементы. Ареалы проявления золоторудной минерализации пространственно связаны с узлами мезозойских магмопроявлений.

Сеймджакский щелочной массив имеет все признаки золото-порфирового оруденения: наличие равномернозернистых и порфиroidных разностей магматических пород, на которые наложены гидротермально-метасоматические изменения, признаки штокверкового оруденения и высокие содержания благородных, халькофильных и редких элементов в штуфных и бороздовых пробах. Четко прослеживается аналогия между геологическим строением и рудоконтролирующими факторами, проявленными в Центрально-Алданском золоторудном районе и Сеймджакском потенциальном золоторудном узле, что позволяет рассчитывать на возможность выявления здесь золотого оруденения порфирового семейства «морозкинского» типа. Причем высокими содержаниями обладает группа халькофильных элементов с золотом и серебром. Ресурсы золота по категории  $P_3$  для Сеймджакского узла составляют 90 т рудного золота.

**Чайдахский потенциальный золоторудный узел.** В контур узла входит Чайдахский сиенит-гранитный массив мезозойского возраста и его ближайшее обрамление. В пределах узла известны комплексные проявления и пункты минерализации золота, свинца, вольфрама, молибдена, графита, урана. Большая часть объектов располагается в экзоконтакте Чайдахского массива, но по мнению авторов эти проявления принадлежат единой рудно-магматической системе. Большинство из них приурочено к зонам трещиноватости, пересекающим как Чайдахский массив, так и вмещающие породы. В ходе полевых работ 2018 г., обнаружен пункт минерализации золота на границе Чайдахского массива и вмещающих песчаников юры. Среди измененных песчаников юхтинской свиты юры обнаружены высыпки оруденелых пород с густой вкрапленностью сульфидов.

Чайдахский щелочной массив имеет все признаки золото-порфирового оруденения: наличие равномернозернистых и порфиroidных разностей магматических пород, на которые наложены гидротермально-метасоматические изменения, кварцевые прожилки и штокверки, содержащие сульфидную минерализацию и высокие содержания благородных, халькофильных и редких элементов в штуфных пробах. Прогнозные ресурсы золота по категории  $P_3$  для Чайдахского потенциального золоторудного узла составляют 76 т рудного золота.

**Ардайский потенциальный золоторудный узел.** В геологическом строении принимают участие метаморфические образования архейского возраста сутамской свиты, на которых с резким структурно-стратиграфическим несогласием залегают кембрийские карбонатные породы, перекрытые, в свою очередь, юрскими терригенными отложениями. Крупным магматическим центром узла и основным источником рудного вещества и рудоносных гидротермально-метасоматических флюидов является массив Голец Билибина мелового возраста. Магматические образования мезозойского возраста являются генерирующим металлотектом для всех благородно-металльных и полиметаллических объектов, приуроченные в основном к выходам отложений платформенного чехла. Ими сложены многочисленные пластовые интрузии, мелкие и крупные лакколитоподобные и штокоподобные тела, дайки преимущественно щелочного и субщелочного состава. Большая часть пластовых интрузий сложена сиенит-порфирами и кварцевыми порфирами; в меньшей степени развиты вогезиты, граниты, диориты. Во вмещающих интрузивы породах широко развиты гидротермально-метасоматические изменения, парагенетически связанные с производными мезозойской тектоно-магматической активизации. Архейские гнейсы повсеместно окварцованы и гематитизированы; в доломитах венд-нижнекембрийского возраста отмечены скарнирование, карбонатизация, сульфидизация и окварцевание; юрские аркозовые песчаники содержат новообразования адуляра, кварца и сульфидов. В мезозойских интрузивных породах развита гематитизация, сульфидизация, каолинизация.

Ардайский потенциальный рудный узел четко выделяется на моно- и полиметалльных геохимических схемах. В пределах Ардайского узла известны проявления золота, меди, свинца, цинка и молибдена. Золотое и полиметаллическое оруденение концентрируется в крутопадающих и субгоризонтальных разрывных структурах, секущих венд-кембрийские карбонатные и юрские терригенные осадочные породы. Рудная минерализация приурочена к ореолам развития березитовых и гумбеитовых новообразований.

Прогнозные ресурсы категории  $P_3$  Ардайского потенциального золоторудного узла составляют 124 т рудного золота.

**Бурпалинский потенциальный золоторудный узел.** Геологическое строение и условия локализации золотого и полиметаллического оруденения сходны с Ардайским потенциальным золоторудным узлом. Магматическим центром узла и основным источником для рудного вещества и гидротермально-метасоматических флюидов является Бурпалинский шток мелового возраста, сильно вскрытый эрозией. В верховьях реки Бурпалы во время полевых работ 2017 г. в доломитах усть-юдомской свиты пройдено две канавы, в которых встречены пять рудных зон, занимающих секущее положение к вмещающим породам. Зоны представлены доломитами разной степени окварцованности с большим количеством гематит-лимонитовых прожилков и гнезд, с вкрапленностью мелких сульфидов, концентрирующихся в кварц-карбонатных прожилках.

Бурпалинский потенциальный рудный узел четко выделяется на моно- и полиметалльных геохимических схемах. Аномалии золота, серебра, мышьяка, висмута, меди, молибдена, свинца, цинка, вольфрама и сурьмы достигают значений в сотни и тысячи единиц фона. Аномальные ореолы имеют пятнистое распространение и локализуют конкретные участки небольшого размера, по рангу соответствующие рудному полю. Особенно контрастно выглядят аномалии серебра, молибдена, висмута и цинка. Прогнозные ресурсы узла категории  $P_3$  составляют 119 т рудного золота.

**Заключение.** В пределах Ломамского потенциального золото-медно-молибденорудного района выделены пять потенциальных рудных узлов с общими ресурсами золота категории  $P_3$  более 600 т, в пределах которых рекомендуется проведение прогнозно-металлогенических, поисковых работ, направленных на выявление месторождений золота порфирирового семейства «морозкинского» типа и золотого оруденения в кембрийских и юрских отложениях «лебединского» и «куранахского» типов.

Молчанов В. П. <sup>1</sup> (vpmol@mail.ru), Андросов Д. В. <sup>1</sup>, Юдаков А. А. <sup>2</sup>, Иванников С. И. <sup>2</sup>  
<sup>1</sup> ФГБУН «ДВГИ ДВО РАН», <sup>2</sup> ФГБУН «ИХ ДВО РАН»

## МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МЕТАЛЛОНОСНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ИНТРУЗИЙ УЛЬТРАБАЗИТОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ (ПРИМОРЬЕ)

*На юге Дальнего Востока выявлен новый перспективный тип источников полезных ископаемых – золото-ильменитовые руды ультрабазитов Сихотэ-Алинского орогенного пояса. Определены основные черты минералогии и геохимии металлоносных образований Ариадненского, Тодоховского и Конторского рудопроявлений, пространственно и генетически связанных с крупной Ариадненской интрузией ультрабазитов. В их площадном распределении просматриваются признаки зональности.*

*Ключевые слова:* ультрабазиты, золото-ильменитовые руды, минералогия, геохимия, изотопия, Приморье.

На юге Дальнего Востока России в пределах Сихотэ-Алинского орогенного пояса открыт новый перспективный источник полезных ископаемых – золото-ильменитовые руды и россыпи, пространственно и генетически связанные с дифференцированными интрузиями ультрабазитов [4]. Примером тому могут послужить Ариадненский массив ультраосновных пород и сопровождающий его довольно широкий спектр рудопроявлений полезных компонентов.

В геологическом строении Ариадненского рудно-россыпного узла, совпадающего с контурами одноименного массива, принимают участие верхнеюрские турбидиты и олистостромы аккреционной призмы с включениями позднепалеозойских и нижнемезозойских океанических кремней, сланцев, известняков и базальтов. Вулканогенно-осадочные породы прорваны интрузивом ультрабазитов, южная часть которого сложена перидотитами и оливинowymi пироксенидами, переходящими к северу в ильменитовые и роговообманковые габбро, а на севере преобладают диориты, монцодиориты и сиениты. Вышеперечисленные стратифицированные и магматические образования, в свою очередь, прорваны поздними гранитоидами, дайками основного и кислого состава позднемелового возраста [1].

С ильменитовыми габбро связано Ариадненское проявление золото-ильменитовой минерализации (среднее течение р. Падь Тодохова). Рудные тела представляют собой залежи сложной морфологии северо-восточного простирания протяженностью до 2200 м при ширине до 400 м, и прослеженные по падению до 400 м. Среднее содержание  $TiO_2$  в них составляет 6,16 %,  $V_2O_5$  – 0,086 %,  $Fe_2O_3$  – 13,28 %, Sc – 0,0045 %. С глубиной в руде отмечается увеличение концентраций Cu и Ni, достигающих соответственно 0,1 и 0,3 %. Прогнозные ресурсы  $TiO_2$  (категории  $P_1 + P_2$ ) оцениваются в размере 71 млн т.,  $V_2O_5$  – 944 тыс. т, Cu – 400 тыс. т, Ni – 450 тыс. т., Au – 22,5 т и платиновые металлы – 22,5 т.

По возрастным взаимоотношениям рудных минералов и степени продуктивности выделяются две минеральные ассоциации. Ильменит, определяющий промышленную значимость объекта, пользуется наибольшей распространенностью. Его постоянным минералом-спутником является пентландит, который обычно встречается в виде изометричных либо каплевидных выделений, достигающих в поперечнике 1–2 мм. Поздние сульфиды (пирротин, халькопирит, сфалерит) встречаются гораздо реже.

В рыхлых отложениях р. Падь Тодохова выявлено присутствие значительных количеств самородного золота, представленного медистой и ртутистой разновидностями. Первая из них образует мелкие зерна (до 0,1 мм) изометричных либо комковидных очертаний, примечательных постоянным присутствием примеси (в мас.%) Hg от 3,47 до 4,31. Концентрации Au и Ag колеблются соответственно от 53,72 до 55,37 и от 39,1 до 41,45. Другая разновидность представлена тонкими (менее 0,1 мм) выделениями ярко-желтого цвета с красноватым оттенком. Типоморфной примесью этих золотин средней пробы (850–900‰) можно считать Cu (0,1–3,2 ат. %). Ртутистый и медистый состав самородного золота указывает на «ультрабазитовый» тип коренного

источника. Так, находки самородного золота с высокими концентрациями Cu и Hg неоднократно отмечались в рудо-россыпепроявлениях, тяготеющих к базит-гипербазитам Урала, Приамурья [2, 3].

В верхнем течении р. Падь Тодохова размещены антимонит-кварцевые образования Тодоховского рудопоявления. Большой частью они приурочены к экзоконтакту базит-ультрабазитов с углеродсодержащими терригенными породами ( $C_{\text{орг}}$  достигает 1,5–2 мас.%). Содержание основных полезных компонентов в них варьирует в следующих пределах: Au – до 12,5 г/т, Ag – 500–1820 г/т, Sb – 0,18–23,4 мас.%. Главный рудный минерал – антимонит – на отдельных участках занимает до 50% жильной массы. Состав этого сульфида по сравнению со стехиометрией характеризуется небольшим избытком сурьмы. Реже встречаются арсенопирит, пирит, марказит. Минералы серебра представлены небольшими выделениями самородного серебра (иногда с примесью Au до 2,5 мас.%), аргентитом и миаргиритом. Самородное золото представлено серебристыми фазами – мелкими зернами (менее 0,25 мм) комковидных очертаний, часто в сростаниях с кварцем, галенитом, теллуридом свинца. Концентрации Ag в золотилах колеблются от 17,2 до 10,3 мас.%, изредка отмечается небольшая примесь Rb (до 0,9 мас.%). В отдельных золотилах отмечены высокие концентрации N и C. Из других самородных металлов следует отметить Fe, Pb. Среди интерметаллидов высока роль соединений систем Fe-Cr и Fe-Cr-Ni. Довольно часто фиксируется карбид железа. Особый интерес вызывает присутствие в рудных образованиях графита (содержание C от 85 до 88 мас.%). Наличие углерода в рудообразующей системе, скорее всего связанное с заимствованием из боковых пород, подтверждается также присутствием микрокристаллов карбида железа. В сущности, элементный состав рудного материала отвечает составу сухих металлоносных флюидов глубинного происхождения.

В 3,5 км к северо-востоку от Тодоховского рудопоявления в углеродистых алевролитах (1,0–2,0 мас.%  $C_{\text{орг}}$ ) локализовано несколько зон прожилково-вкрапленной минерализации Конторского рудопоявления. Основное рудное тело, имеющее в плане линзовидную форму длиной до 300 м и шириной до 50 м, по падению прослежено на 300 м. При этом 95–98% рудной массы приходится, включая обломки пород в брекчиях, на долю жильного выполнения. Количество рудных минералов обычно не превышает 2–5%. Содержание золота в руде колеблется, по данным атомно-абсорбционной спектрометрии, от 0,1 до 1,5 г/т, достигая в отдельных случаях 25 г/т. Близкие значения были получены с применением методов нейтронно-активационного анализа.

Рудная минерализация характеризуется довольно сложным полиминеральным составом и разнообразием форм распределения благородных металлов. Сульфиды, представленные пиритом, сфалеритом, халькопиритом, характеризуются присутствием примеси элементов платиновой группы (Pt – до 2,5, Os – 1,2, Ir – 1,2 мас.%). Самородное золото чаще всего представлено частицами неправильных форм ярко-желтого цвета с красноватым оттенком. Диапазон гранулометрической шкалы этих обособлений невелик (1–10 мкм). Их типоморфной примесью можно считать Cu (15–25 мас.%). При этом нельзя не отметить изоморфное замещение меди серебром. Медистый состав золота, присутствие элементов платиновой группы в сульфидах, возможно, указывают на генетическую связь оруденения с ультрабазитами.

Одним из ключей к расшифровке природы рудного вещества может послужить изотопный состав серы его сульфидов, а точнее изотопный состав пирита и антимонита. Было установлено, что по изотопному составу серы эти сульфиды обладают высокой степенью гомогенности, укладываясь в узкий интервал величин  $\delta^{34}\text{S}$  от –2,0 до –4,0‰, близких к мантийным меткам. При этом значения  $\delta^{34}\text{S}$  пирита Ариадненского рудопоявления варьируется от –3,2 до –3,6‰, тогда как для антимонитов Тодоховского рудопоявления характерны значения от –2,6 до –3,0‰, а для пиритов Конторского рудопоявления – от 3,1 до 3,5‰. Небольшое отклонение изотопного состава антимонита Тодоховского рудопоявления от –2,6 до –3,0‰ обусловлено, скорее всего, изменениями температур кристаллизации либо параметров Eh-pH. Соответственно,  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов Ариадненского, Тодоховского и Конторского рудопоявлений рассматриваются нами как результат эволюции единой рудообразующей системы, в формировании которой участвовали глубинные флюиды. Представляется, что благоприятным фактором для локализации оруденения в околоинтрузивной зоне Ариадненского массива является наличие здесь углеродистых

черносланцевых пород. Эти осадочные толщи могли играть роль физико-химических барьеров для золотоносных флюидов, продуцируемых интрузией ультрабазитов.

Выполненные исследования указывают на существование элементов зональности в площадном распределении руд: в центре интрузии сосредоточена золото-титановая минерализация (Ариадненское рудопроявление), в ее экзоконтакте – золото-сурьмяные руды (Тодоховское рудопроявление), на удалении к северо-востоку – золото-кварцевые прожилково-вкрапленные зоны (Конторское рудопроявление). Этот вывод имеет принципиальное значение, поскольку может использоваться при металлогенических построениях, а также оценке перспектив ресурсного потенциала территорий не только юга Дальнего Востока, но и других регионов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20–05–00525.*

Список литературы:

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / под ред. А. И. Ханчука. Кн. 1. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 572 с.
2. Молчанов В. П., Зимин С. С., Гвоздев В. И. Роль апогипербазитов в формировании платиноидно-золотых россыпей Гарьского узла (Среднее Приамурье) // Рудные месторождения континентальных окраин. – Владивосток : Дальнаука, 2001. – Вып. 2, Т. 2 – С. 219–232.
3. Мурзин В. В., Малюгин А. А. Типоморфизм золота зоны гипергенеза (на примере Урала). – Свердловск : УНЦ, 1987. – 96 с.
4. Ханчук А. И., Молчанов В. П., Андросов Д. В. Первые находки самородных золота и платины в ильменитовых россыпях Ариадненской интрузии базит-ультрабазитов (Приморье) // Доклады Российской академии наук. – 2020. – Т. 492, № 2. – С. 39–43.

**Мясников Ф. В. (Z\_fedor49@mail.ru)**

#### АЛМАЗОНОСНАЯ ЛИТОСФЕРА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ)

*На основе использования потенциальных полей, применения структурного метода, фрактального анализа и многомерных статистических методов показаны естественные структурные соотношения потенциальных полей, выполнено тектоническое районирование Сибирской платформы (СП). Подтвержден особый статус Анабарской тектонической провинции (АН). Глубинное строение центральной части АН характеризуется параметрами, свойственными архейским алмазонасным кратонам, что указывает на наличие в ее пределах алмазонасного литосферного корня, который соответствует Ангаро-Виллюйскому рудному поясу и его продолжению в северо-восточном направлении до границы с Оленекской тектонической провинцией. Это приводит к целесообразности признания рудного пояса в качестве Сибирской алмазонасной провинции.*

*Ключевые слова: атрибут, кимберлиты, литосфера, плюм, эредитарность.*

Базовыми материалами послужили наблюдения потенциальных полей из «Гравимага» ФГБУ «ВСЕГЕИ», результаты геофизических работ по глубинному изучению СП [5]. Выполнены расчеты эмпирических структурных функций потенциальных полей, оценены их природные соотношения. На примере гравитационного поля показана фрактальность геологической среды: с глубиной плотностные границы СВК утрачиваются с сохранением общих контуров, а с переходом в область высоких частот спектра полей происходит хаотизация плотностных неоднородностей. Отмечена высокая эредитарность гравитационного и низкая трендоустойчивость магнитного полей.

С использованием структурного метода осуществлено тектоническое районирование территории СП. Выделены четыре провинции СП: Тунгусская (Т), Оленекская (О), Анабарская (АН) и Алданская (АЛ). Уточнено положение восточной границы Тунгусской провинции, предложено сместить ее к западу на 15–250 км и рассматривать, например, на широте 60° с. ш. как границу Иркинеево-Чадобецкого авлакогена и Непско-Ботуобинской антеклизы [4]. Когнитивный подход к районированию, который показал согласованность полученных результатов, апробирован посредством формальной классификации на семь кластеров трендовых составляющих потенциальных полей. Формальная процедура позволила зафиксировать принадлежность первых шести таксонов к единому «родовому» дереву изучаемого пространства. Шестой кластер, отвечающий центральной части АН провинции, представляет в структуре «родового» дерева его основание, что определяет высокую специфичность и достаточно однородное строение литосферы этого сегмента СП. Кластер 7 в пространстве СП (побережье Карского и моря Лаптевых) и ближайшие области формируют обособленную совокупность фигуративных точек, что указывает на антидромность соответствующего им геологического пространства остальной части СП.

Анализ различных атрибутов потенциальных полей позволил выявить и охарактеризовать эредитарность палеопротерозойских мантийно-плюмовых событий в структурах докембрийского фундамента СП, оценить масштабы и территорию их воздействия на тектонические провинции, влияние на архейскую, в том числе алмазоносную литосферу, оценить положение центра предполагаемого суперплюма.

Обработка и анализ геофизических материалов, использование результатов изучения геологического строения и алмазоносности СП, приведенных в публикациях, позволили сформулировать следующие общегеологические и прогнозно-поисковые выводы:

1. АН провинция (исключение – северо-западная область) характеризуется низкими значениями длинноволновой части спектра магнитного поля и близкими к средним для платформы значениями длинноволновой части спектра гравитационного поля. Кимберлитовые поля находятся на территориях, которым свойственны низкие и пониженные значения длинноволновой части спектра магнитного поля.

2. Территория АН, за исключением ее северо-западной области, характеризуется низкой изменчивостью длинноволновой части спектра потенциальных полей.

3. Морфология, положение и размеры центральной части АН, которая маркируется низкими значениями длинноволнового магнитного поля, контролируются системой субмеридиональных и субширотных линеаментов.

4. Особенности (п. 3) центральной части АН, проявленность ее границ со смежными территориями, комплементарны плану изоглубин кровли высокоскоростного слоя в основании литосферы, установленного при изучении латеральных сейсмических неоднородностей верхней мантии СП по профилям Рифт, Метеорит, Кратон [2].

5. Геофизические характеристики центральной части АН согласуются с материалами томографии потенциальных полей по широтному профилю через район Далдынского кимберлитового поля, которые показывают наличие «воронкообразной» мантийно-коровой структуры, выраженной в разрезе литосферы пониженными значениями избыточной плотности и намагниченности на фоне повышенных значений этих параметров [1].

6. Территории АН в современных границах и состоянии (за исключением ее северо-западной области) отвечает литосфера, которой в полном объеме соответствуют параметры алмазоносного литосферного корня докембрийских кратонов, что и обусловило размещение в ее пределах промышленно-алмазоносных кимберлитовых полей.

7. Алмазоносный литосферный корень в структуре магнитного поля СП по морфологии, размерам и простиранию идентичен отображению в магнитном поле алмазоносной территории «Коридора Надежд», расположенной на северо-западе Канады [1].

8. Фактом является тождественность положения, морфологии и размеров алмазоносного литосферного корня в юго-западной его части аналогичным параметрам Ангаро-Виллойского рудного пояса (АВРП) СП, который как металлогеническая единица выделен и обоснован М. М. Одинцовым и его коллегами из ИЗК АН СССР [3].

9. АВРП приурочен к юго-западному блоку центральной части АН провинции, которая является древним ядром платформы и обладает алмазоносной литосферой.

10. Очевидное единство пространства этого блока с мантийной литосферой АН указывает на целесообразность и естественность включения в состав АВРП северо-восточного сегмента АН, а обрамляющие рудный пояс Катанга-Илимпейскую с северо-запада и Ангаро-Виллюйскую с юго-востока кимберлитоконтролирующие зоны глубинных разломов транслировать до северной границы АН, где она отделяется от Оленекской провинции Анабарской коллизионной системой. АВРП в предлагаемых границах оправданно рассматривать совместно с Якутской алмазоносной субпровинцией, как потенциально высокоалмазоносную Сибирскую провинцию, которая локализуется в пределах единого алмазоносного литосферного корня СП.

11. Приведенные материалы позволяют прогнозировать выявление промышленно-алмазоносных кимберлитовых полей в пределах центральной части АН и ее ближайшего обрамления, в первую очередь в зоне влияния Ангаро-Виллюйской системы глубинных разломов, где алмазоносная мантийная литосфера претерпела минимальное воздействие термальных раннепротерозойских и позднее – палеозойских мантийно-плюмовых процессов. Прогнозный потенциал рекомендуется связывать с зонами корово-мантийных глубинных разломов как в пределах, так и в ближайшем обрамлении алмазоносного литосферного корня.

12. Высокая алмазоносность кимберлитов Накынского поля, специфичность состава кимберлитов трубок обусловлены, возможно, максимальной удаленностью поля от центра палеопротерозойских мантийно-плюмовых событий.

13. Палеопротерозойские и палеозойские мантийно-плюмовые процессы в пределах Оленекской провинции привели к резкому изменению состава и структуры ее литосферы, что отмечается в пространственном соотношении низкочастотных составляющих потенциальных полей в пределах провинции. Нижне-Оленекская и Куонапская группы кимберлитовых полей тяготеют к градиентным зонам крупного максимума поля силы тяжести, сопряженного с минимумом магнитного поля, что указывает на значительный подъем кровли астеносферы в центральной части Уджинского палеорифта и встречное погружение коры с формированием мощных немагнитных рифейских отложений. Геофизические данные, характеризующие глубинные особенности строения литосферы Оленекской провинции, не дают оснований для положительного прогноза в части выявления в ее пределах промышленно-алмазоносных кимберлитовых трубок.

#### Список литературы:

1. Алексеев С. Г., Бочков П. А., Сенчина Н. П., Штоколенко М. Б. Визуализация в потенциальных полях мантийно-коровых структур, контролирующих кимберлитовый и лампроитовый магматизм / Смирновский сборник – 2018. – М. : МАКС Пресс, 2018. – С. 292–308.
2. Мельник Е. А., Суворов В. Д., Павлов Е. В. Латеральные сейсмические неоднородности верхней мантии под Сибирским кратоном // Материалы девятнадцатой Всероссийской конференции «Геодинамика. Геомеханика и геофизика». – Новосибирск : ИНГГ СО РАН, 2019. – С. 21–23.
3. Одинцов М. М., Домышев В. Г., Страхов Л. Г. и др. Ангаро-Виллюйский рудный пояс Сибирской платформы / Отв. ред. Ф. А. Летников. – Новосибирск : Наука, 1980. – 109 с.
4. Розен О. М. Сибирский кратон: тектоническое районирование, вопросы эволюции // Геотектоника. – 2003. – № 3. – С. 1–19.
5. Эринчек Ю. М., Мильштейн Е. Д., Колесник Н. Н. Глубинное строение и геодинамика районов проявления кимберлитового магматизма на Сибирской платформе // Региональная геология и металлогения. – 2000. – № 10. – С. 209–228.



ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ И ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ КОКПАТАССКОГО ТИПА ГОР БУКАНТАУ

*Показаны главные факторы локализации золото-сульфидных руд кокпатасского типа в горах Букантау. Охарактеризованы наиболее важные факторы – структурный и вещественный. По этим позициям приведены новые данные, полученные при проведении геологического доизучения площади масштаба 1:50 000 в восточной части гор Букантау.*

*Ключевые слова: формация, золото-сульфидная, золото-серебряная, золото-скарновая, прожилково-вкрапленные, рудоконтролирующие структуры, кокпатасская свита, карашахская толща, зона меланжа.*

Золоторудные месторождения и проявления гор Букантау относятся к четырем формациям: золото-сульфидной прожилково-вкрапленных руд, золото-сульфидно-кварцевой, золото-серебряной и золото-скарновой. Наиболее важными факторами локализации золото-сульфидного оруденения являются структурный и вещественный [1].

Помимо традиционных рудоконтролирующих структур (поперечные и диагональные разрывы и зоны разрывов разного порядка), важную роль в локализации руд, особенно золото-сульфидных, сульфидных прожилково-вкрапленных, играют рудозкранирующие поверхности, которыми являются плоскости надвигов. Этим факторам в последние годы уделяется особое внимание, проводится их целенаправленное изучение в ходе геологического доизучения площади масштаба 1: 50 000 в восточной части гор Букантау.

К рудопроявлениям и месторождениям золото-сульфидного типа, находящимся в такой позиции, относятся месторождения Кокпатасского рудного поля (более 20, из которых наиболее крупные Южный I, Ближний, Приконтактный), Бозтауская, Дербезская, Бешбулакская, Южно-Сарытауская, Южно-Саутбайская, Даутбайская площади.

Рудозкранирующими поверхностями, а также плоскостями надвигов обычно являются подошвы и кровли доломито-кремнистых, карбонатных толщ кокпатасской свиты ( $R_{2-3}kr$ ). В поднадвиговой позиции находится вмещающая золото-сульфидное оруденение карашахская свита (ныне карашахская толща –  $C_2kr$ ). Породы кокпатасской свиты представлены кварцитами, кварцитовидными сланцами, альбит-кремнисто-сланцевыми тонкопослосчатыми сланцами (метапесчаниками), микрокварцитами и углеродистыми кварцитами. В меньшем объеме присутствуют доломиты и мраморизованные доломитизированные известняки.

Карашахская толща выделяется только в тектонических окнах Кокпатас, Окжетпес, Бозтау, Джетымтау II, Турбай, Сарытау. Она не выдержана по простирацию и на разных участках может быть представлена различными блоками. Многие исследователи (З.М. Абдуазимова и др., 2015) относят ее к олистостромовым образованиям или меланжу, представляющим собой хаотические скопления литологически неоднородного разновозрастного (?) обломочного материала. Не взирая на тектонические контакты с подстилающими и перекрывающими образованиями и наличие в верхнем контакте с кокпатасской свитой зоны меланжа, карашахская толща все же имеет выдержанный состав и мощность.

Наиболее распространенными породами карашахской толщи являются глинистые и филлитовидные сланцы кварц-альбит-серицит-хлоритового состава. Менее распространены углеродисто-хлорит-серицитовые, известковистые алевросланцы, песчаники, туфопесчаники, туфы и лавы основного состава. Стратиформность золото-сульфидного оруденения, приуроченного к карашахской толще, объясняется изначально высокой физико-механической и химической анизотропией разреза, в дальнейшем ещё более усиленной при надвиговых перемещениях. Подстилающие карашахскую толщу (или ее аналоги) образования установлены только в горах Окжетпес, где они представлены известняками западноокжетпесской (джускудукской –  $C_1dk$ ) свиты ( $D_{2-3}ok$ ). Золоторудная минерализация в них отсутствует.

В последние годы нами получены новые данные по оруденению золото-сульфидного типа в аналогичных позициях в восточной части гор Букантау: Южный Сарытау, Куянсай-2, Северный Окжетпес. На участке Южный Сарытау обнаружена золото-сульфидная минерализация с содержанием золота до 2,05 г/т; мощность рудных тел до 3,0 м, мощность минерализованных зон до 15,0 м, протяженность 700 м.

На участке Куянсай-2 скважинами вскрыты минерализованные зоны со средним содержанием золота 1,2 г/т на мощность 2 м, протяженностью 600 м. На участке Северный Окжетпес выявлены два новых рудных тела: № 1 мощностью 4,4 м со средним содержанием золота 1,08 г/т, протяженностью 2000 м и № 2 мощностью 2,5 м со средним содержанием 1,2 г/т, протяженностью 2100 м.

Список литературы:

1. Парамонов Ю. И. Факторы локализации золотоносных объектов в Южном Тянь-Шане на примере Кокпатасского тренда в горах Букантау // Современные проблемы геологии и развития минерально-сырьевой базы Республики Узбекистан. – Ташкент, 2007. – С. 123–129.

**Нематуллаев С. Ю.** <sup>1</sup> (sobirjon\_n\_y@mail.ru), **Джуманиязов Д. И.** <sup>2</sup> (denisbey@list.ru)

<sup>1</sup> **Зарафшанская ПГРЭ АО «Узбек геология кидирув» Госкомгеологии РУз,**

<sup>2</sup> **Институт геологии и геофизики им. Х. М. Абдуллаева**

#### ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПИСТАЛИ (СЕВЕРНЫЙ НУРАТАУ)

*Описываются породы золоторудного месторождения Пистали, приводятся их минерализация и отношение содержаний химических элементов в породах к их кларкам в земной коре. На месторождении выделены два сопряженных минерально-морфологических типа оруденения – рудные залежи с прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализацией в метасоматитах и золотоносные пологие метаморфогенные кварцевые жилы и прожилки.*

*Ключевые слова: Северный Нуратау, западный фланг месторождения золота Пистали, рудные минералы, элементы, лампрофиры, диоритовые порфириды, сиенодиориты.*

В геологическом отношении изучаемый район представляет собой гетерогенную область, основным структурным элементом которой является Центрально-Кызылкумская структурно-формационная подзона Зарафшано-Туркестанской зоны. В ней развита система продольных разрывов между тектоническими блоками, вмещающая множество проявлений золота и других полезных ископаемых. Золоторудное месторождение Пистали типа согласных минерализованных зон в метатерригенных породах выявлено в пределах хребта Северный Нуратау. Выделены два сопряженных минерально-морфологических типа оруденения – рудные залежи с прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализацией в метасоматитах и золотоносные пологие метаморфогенные кварцевые жилы и прожилки. Выявленное оруденение охарактеризовано как крайне неравномерное, весьма незначительное по масштабам, приуроченное к маломощным пологим зонам окварцевания и кварцевым жилам, согласно залегающим с вмещающими породами [1, 2].

По разрезу из канав рассматриваемого района отобраны пробы, которые по данным макро-скопического изучения оказались в основном сланцами, кварцевой жилой и дайковыми породами. Для изучения геохимических особенностей пород и минерализованных зон отобраны образцы на масс-спектрометрические (ISP), полный спектральный и спектрозолотометрический анализы. Результаты их макроскопического анализа показали, что они являются сланцами, прорванными дайковыми породами (лампрофирами), которые, в свою очередь, прорваны кварцевыми жилами [3].

На участке почти все кварцевые жилы сульфидизированные, ожелезненные, лимонитизированные с рудной минерализацией, встречаемые сланцы по разрезу окварцованные. Рудная минерализация представлена сульфидами – пиритом, халькопиритом, галенитом, арсенопиритом. Магматические породы на площади рудопоявления образуют дайки слюдяных лампрофиров, представленных керсантами. Простираение дайкового пояса в целом согласуется с ориентировкой вмещающих пород. Мощность даек от первых десятков сантиметров до 10–15 м. Азимут направления  $150^\circ$ , азимут падения  $230^\circ$ .

В ходе предварительной оценки на участке Пистали в осадочно-метаморфизованных породах тасказганской свиты впервые установлено промышленное золотое оруденение, приуроченное к пологим минерализованным зонам с альбит-кварц-мусковитовыми метасоматитами. Руды представлены золотовкрапленным типом с убогой сульфидной минерализацией (пирит, арсенопирит – до 4%). Золото как в окисленных, так и в первичных рудах содержится преимущественно в свободной самородной форме (соответственно 89,3 и 84,2%). Зона окисления развита до глубины 30–60 м от поверхности. Окисленные и первичные руды относятся к одному технологическому типу.

Вещественный состав рудных залежей достаточно однообразен и в зависимости от степени метасоматоза и состава исходной породы (сланцы, алевролиты, кварциты, алевропесчаники) определяется соотношением кварца, альбита, серицит-мусковита. Единственным полезным ископаемым является золото. Все другие элементы – сопутствующие и практического применения не имеют. Усредненный вещественный состав руд (в %): кварц – 50,8, альбит – 25,9, серицит – 9,72, хлорит – 2,0, апатит – 0,3, рутил – 0,5, кальцит – 1,5, биотит – 5,0. Химический состав руд (в %):  $\text{SiO}_2$  – 75,9;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,32;  $\text{FeO}$  – 2,5;  $\text{TiO}_2$  – 0,5;  $\text{MnO}$  – 0,05;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 9,5;  $\text{CaO}$  – 1,68;  $\text{MgO}$  – 0,6;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2,93;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,74;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,15;  $\text{S}_{\text{общ}}$  – 0,97;  $\text{CO}_2$  – 0,66;  $\text{SO}_3$  – 0,04.

По пересчетам отношения к кларку в земной коре вырисовывается следующая картина: во всех породах высокие содержания Ag, Mo и Pb, содержания других элементов изменяются – в обр. Пс-6 высокие содержания As (в 88 раз), Mo (в 91 раз); в обр. Пс-20 высокие содержания Pb (в 94 раз), Ag (в 20 раз), In, Mo, Co, Mn (в 15–90 раз). Содержание мышьяка в четырех пробах высокое, кроме проб Пс-14, Пс-7/б. По приведенным данным получается, что образцы обогащены мышьяком, титаном и хромом. Необходимо подчеркнуть наиболее высокие содержания элементов в обр. Пс-20.

Рассматривая образцы под микроскопом, можно увидеть разнообразие структуры одних и тех же сланцев одного района, наличие в породе чередующихся мелколинзоватых блоков собственно сланца, метаалевролита и углистого вещества. Например, в обр. Пс-54 наблюдается хлоритизированный слюдяной сланец с включением мелких кристаллов граната с прожилками кварцевых жил. Подобное строение породы, вероятно, является результатом повторного рассланцевания тонкополосчатого чередования пелитоморфных и алевритистых образований с микробудинажем твердых алевритистых полосок (слояков) и их обвальцеванием. Углистое вещество здесь образует своеобразные слойки мощностью до 8 мм (на площади шлифа), сажисто-смолистое, в косом отраженном свете производит впечатление микрочешуйчатого. Вероятно, это графит или графитсодержащее углистое вещество. Кристаллический сланец гранат-биотитовый с прожилками кварц-карбоната (обр. Пс-53). Сливной средне-крупнозернистый метаморфогенный кварц брекчирован и цементирован жилковатыми скоплениями криптозернистых оксидов железа.

В другом сланце (обр. Пс-33) непосредственно скопления микрочешуйчатого серицита слабо отличаются от таковых хлорита. На фоне этой относительно однородной хлорит-серицитовой массы резко проявляются клиновидно-жилковатые и клиновидно-мелкогнездовые выделения шестоватого и волокнистого (сланцеватого) кварца толщиной 0,5 мм. В клиновидных выделениях волокнистого кварца толщина «волокон» колеблется от 0,05 до 0,01 мм. При вращении столика микроскопа волокна гаснут и просветляются не по всей длине одновременно. К некоторым мелким выделениям волокнистого кварца приурочены полные псевдоморфозы гетита (гидрогетита) по мелким комковатым сросткам мелких кристаллов пирита.

По результатам масс-спектрометрических анализов можно сделать следующие выводы. Порода бедна щелочными металлами – K, Na, Li, Rb, Be, Tl, Cs. Содержания Nb, Ta, Th, U

в них также имеют около- и ниже кларка. Лишь в обр. Пс-131, 136 содержания урана превышают кларк концентрации более чем в 5 и 6 раз соответственно. Среди элементов группы железа отмечаются пониженные содержания. Для каждого элемента группы редких элементов характер распределения приблизительно одинаков. Содержание W превышает кларк во всех образцах в 1–5 раз, Mo – от 2 до 9 раз; последний, по-видимому, находится в парагенезисе с пиритом. Содержания Sc, Hf выше кларка, Y, Nb, Ta, Zr во всех образцах ниже кларка концентрации в земной коре. Образец Пс-136 (кварцевая жила) отличается от остальных повышенным содержанием Mo (превышает кларк в 118 раз), W (в 40,77) и Y (в 3,45).

В породах массива выявлены весьма низкие концентрации Ni (до 60 г/т), Co (до 32 г/т), Cu (до 63 г/т), высокие концентрации Pb (20–800 г/т) и Zn (40–850 г/т), а в обр. ИП-14 свинца 4000 г/т, цинка 2200 г/т. Содержание кадмия повышено в основном в кварцевых жилах с сульфидами. Возможно, что свинец, цинк, а также кадмий входят в состав блеклых руд, которые возникающих из гидротермальных растворов и находящихся вместе с другими сульфидами, в которых концентрируется серебро, а это может служить индикатором на глубину более богатого серебром свинцово-цинкового оруденения. Основная особенность блеклых руд состоит в том, что они содержат значительные примеси золота и серебра.

Показатели металлоидных металлогенных элементов вышекларковые во всех образцах, за исключением сурьмы. Содержания As, Bi, Se и Te превышают кларк в 10–300 раз. Содержания теллура превышают кларк более чем в 300 раз. В обр. Пс-120 – в 650 раз, Пс-152 и ПИ-01 – в 720 раз, ПИ-14–1400 раз, а висмута – в 3222. Образец Пс-126 характеризуется повышенными содержаниями теллура (5900) и висмута (3777), что связано с сульфидной минерализацией. Скорее всего, селен и теллур на месторождении присутствуют в халькофильной форме (в сернистых минералах). Максимальным количеством теллура среди изучаемых пород, возможно, обладает галенит – один из поздних минералов в руде.

Во всех типах пород отмечаются повышенные содержания золота и серебра по сравнению с их кларковыми значениями. Согласно этому в десять, а в некоторых случаях даже в сто раз увеличиваются кларки концентраций мышьяка и селена – попутных элементов золота.

Повышенные содержания благородных металлов в породах относительно кларка в земной коре не являются перспективными. Содержания Au в обр. Пс-126, 127–2,98 и 2,95 г/т соответственно, Ag в обр. Пс-150, ИП-12–41 и 9,8 г/т, что является перспективным на разработку. В остальных образцах концентрации золота и серебра незначительны.

#### Список литературы:

1. Ишбаев Х. Д., Нематуллаев С. Ю., Джуманиязов Д. И. Геолого-структурные условия локализации и особенности вещественного состава золотого оруденения месторождения Пистали (Северный Нуратау) // Горный вестник Узбекистана. – 2021. – № 3 (86). – С. 25–31.
2. Ишбаев Х. Д., Нематуллаев С. Ю., Джуманиязов Д. И. Дайки месторождения золота Пистали (Северный Нуратау) // Геология и минеральные ресурсы. – 2021. – № 3. – С. 17–25.
3. Нематуллаев С. Ю., Джуманиязов Д. И., Каримова Ф. Б. Минералого-геохимические особенности пород золоторудного месторождения Пистали (Северный Нуратау) // Материалы международной конференции, посвященной 100-летию юбилею В. Г. Королева (Актуальные проблемы геологии и географии Тянь-Шаня и сопредельных территорий). – 2020. – С. 181–186.

АЛМАЗОНОСНЫЙ ЭЛЮВИЙ СИЛУРИЙСКОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОЛЛЕКТОРА  
ВИШЕРСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ЗОНЫ (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)

*В северной части Вишерской алмазонасной зоны выделяется участок выветрелых отложений нижнего силура, который является наиболее древним из достоверно известных коллекторов алмазов. Породы приурочены к его нижней, терригенной пачке. Местами элювий искажен закарстованными трещинами по верхней пачке колчимской свиты. По результатам опробования запасы в авторском варианте составляют по категории  $C_1$  – 1,256 тыс., по категории  $C_2$  – 62,334 тыс., а суммарные прогнозные ресурсы по категории  $P_1$  – 75,727 тыс. карат.*

*Ключевые слова: алмазы, силур, коллектор, элювий, Вишера, Урал.*

Алмазонасные терригенные силурийские породы слагают нижнюю пачку колчимской свиты ( $S_1kl$ ) [1]. Свита выделена в 1949 г. Н. Г. Чочиа и К. И. Адриановой на правом берегу р. Бол. Колчим. Контакты колчимской свиты с ниже- и вышележащими породами – тектонические по сместителям Колчимского надвига и Ишковского разлома, соответственно. В основании свиты залегает слой песчаников кварцевых, карбонатно-кварцевых с изменчивой мощностью (от 0,7 м до 20 м). Количество доломита в песчаниках увеличивается вверх по разрезу, что, по нашему мнению, связано с силикатным метасоматозом доломитов колчимской свиты. Основной разрез свиты сложен серыми доломитами и доломитизированными известняками. Мощность отложений свиты по результатам бурения скважины 301 составляет 140–150 м. Они уходят вниз по падению под перекрывающие их карбонатные породы. Имеющиеся фактические данные не позволяют определить ни простираание алмазонасной части терригенного комплекса пород колчимской свиты, ни ее мощность, ни содержания алмазов.

В северной части алмазонасной россыпи Рассольнинская Южная терригенная пачка колчимской свиты под крутым углом выходит на поверхность, где подверглась сильному выветриванию с образованием коры выветривания более 15 м. Алмазонасная россыпь Рассольнинская Южная приурочена к Рассольнинской эрозионно-карстовой депрессии, территориально локализованной в долине верхнего течения рек Дресвянка и Ефимовка [2]. К южной части депрессии приурочено месторождение алмазов Рассольная Южная, к северной – Рассольная Северная. На юго-западе Рассольнинская эрозионно-карстовая депрессия сливается с Жалинской депрессией. Заложена депрессия по зоне Колчимского надвига, по контакту карбонатов колчимской свиты и кочешорских терригенных пород. Собственно, депрессионные отложения, залегающие на дресвяно-глинистых корах выветривания по породам кочешорской свиты и слабо закарстованным породам колчимской, представлены аллювиально-делювиальными (ложковыми) отложениями плиоцен-четвертичного возраста.

Максимальная алмазонасность зафиксирована во фронтальной части Колчимского надвига. Участок условно делится на две части, в первой из которых алмазонасными являются сильно выветрелые глинизированные песчаники на карбонатном цементе, во второй – зеленовато-темно-желтые, желто-коричневые, реже глинистые зеленовато-серые и глинисто-песчаный элювий, содержащий округлые песчаники кварцевых и полевошпато-кварцевых конгломератов.

Первая часть участка по данным опробования шахта-шурфами (сеч. 9–12,5 м<sup>2</sup> и глубиной до 49,5 м) и экскаваторными канавами по сети 100×40 м характеризуется запасами категории  $C_2$  – 11,237 тыс. карат алмазов при содержании 7,03 мг/м<sup>3</sup>, прогнозными ресурсами категории  $P_1$  – 25,812 тыс. карат.

Вторая часть также опробовалась шахта-шурфами (сеч. 9–12,5 м<sup>2</sup> и глубиной до 26,2 м) и экскаваторными канавами. Подсчитаны запасы: категории  $C_1$  – 1,256 тыс. карат алмазов при содержании 9,81 мг/м<sup>3</sup>; категории  $C_2$  – 51,097 тыс. карат алмазов при содержании 5,75 мг/м<sup>3</sup>. Прогнозные ресурсы категории  $P_1$  – 49,915 тыс. карат.

Масса кристаллов в коллекции из 43 кристаллов варьирует от 2 до 602 мг (0,01–3,01 карата), средний вес алмазов составил 0,64 карата (128,7 мг). Преобладающим классом крупности является

4–8 мм, весовая доля которого составила 87,0 % общей массы кристаллов, в подчиненном количестве присутствуют алмазы класса 2–4 мм (12,8 %), незначительным дополнением (0,2 %) предстают зерна класса 1–2 мм.

Присутствие включений определяет степень чистоты кристаллов, снижая их ювелирную ценность. По оценке Гохрана с учетом наличия включений и трещин алмазы отнесены к пяти группам качества: 1Q – бездефектных кристаллов (14,7 мас.%), 2Q – содержащих единичные или редкие весьма мелкие с трудом различимые при 6-кратном увеличении включения (39,4 мас.%), 3Q – с ясно видимыми в лупу (6×) включениями, но не портящими сверкание камня (18,9 мас.%), 4Q – с довольно крупными включениями, различимыми визуальнo (невооруженным глазом) и немного снижающими качество камня (24,9 мас.%), 3/4Q – с частыми мелкими и единичными большими включениями (2,1 мас.%). Наиболее высокая средняя стоимость алмазов второй группы качества объясняется их более высокой крупностью по сравнению с алмазами первой группы.

По категориям морфологии, качества и цветности алмазы сертифицированы по укрупненным категориям с выделением камней ювелирного (Gem), околоювелирного (NearGem) и технического (Industrial) рядов. Доля ювелирных алмазов в пределах месторождения составила 65,31 мас.%, околоювелирных – 34,66 мас.%, технических – 0,04 мас.%. Учитывая, что в большинстве месторождений мира выход ювелирных камней составляет 15–30 % массы всех алмазов, а в некоторых не превышает 2–5 мас.% (Аргайл, Дизеле) и только в редких, как правило, бедных месторождениях достигает 60–70 мас.% (Маджгаван), это очень хороший показатель.

Список литературы:

1. Никулин И. И. Глауконит из терригенных пород северо-восточного склона Колчимского поднятия (Вишерский алмазоносный район) // Материалы 25-й научной конференции Института геологии Коми НЦ УрО РАН «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североруральского сегмента», 2016. – С. 141–142.
2. Никулин И. И. Кайнозойские алмазоносные депрессии южной части Полудова кряжа (Вишерский алмазоносный район) // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – 2019. – № 2. – С. 15–25.

**Остапенко Д. В. (OstapenkoDV@alrosa.ru)  
НАЦ ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)**

#### ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕГО ПАЛЕОЗОЯ В ПРЕДЕЛАХ СЮЛЬДЮКАРСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ (СКП)

*В 2015 г. при заверке геофизической аномалии Т-54/14, расположенной в бассейне р. Сюльдюкар, было вскрыто кимберлитовое тело – трубка Сюльдюкарская. В составе отложений, перекрывающих кимберлитовый цоколь, выделяются породы верхнего палеозоя, мезозоя и трапповой формации раннемезозойского возраста. Породы верхнего палеозоя являются наиболее важным коллектором индикаторных минералов кимберлитов, в связи с чем большое внимание уделено их изучению. В целях определения условий формирования свит верхнего палеозоя, выделения фациальных обстановок накопления отложений, была проведена работа по документации, расчленению и корреляции разрезов верхнего палеозоя, построению литолого-фациальных разрезов.*

*Ключевые слова: верхний палеозой, Тунгусская синеклиза, фациальный анализ, Сюльдюкарское кимберлитовое поле.*

Работа базировалась на авторских материалах по документации разрезов верхнего палеозоя по керну скважин, пройденных Вилюйской ГРЭ за период с 2015 по 2020 гг. Для расчленения разрезов верхнепалеозойских отложений использована утвержденная легенда Ботуобинской серии листов геологических карт масштаба 1:50 000 [1]. При выполнении работ использованы геолого-геофизические материалы по 220 скважинам. Всего по результатам проведенных исследований составлены три схемы корреляции по буровой линии № 146, по Западной магистрали (линии № 148–139), по Восточной магистрали (линии № 145,5–144,5) (ориентированы ортогонально к линии № 146) и шесть литолого-фациальных разрезов по керну скважин буровых линий: № 146, № 145, № 141, № 148, № 140, № 136, вскрывших наиболее полные разрезы исследуемых отложений (всего 144 скважины). Расчленение и корреляция разрезов верхнего палеозоя осуществлялись с применением биостратиграфического, фациального и фациально-циклического анализов. Фациальные исследования проводились с применением методики Ю. А. Жемчужникова и др. [2]. Данная методика была адаптирована для решения целевых задач выполняемой работы, и, в качестве начала цикла седиментации, использовалось начало трансгрессии. Для расчленения разрезов и выделения обстановок осадконакопления, на первом этапе были построены литолого-фациальные колонки по опорным скважинам, к которым также были разработаны условные обозначения. При проведении фациального анализа особое внимание было уделено следующим генетическим признакам: гранулометрический состав, текстура (слоистость), степень сортировки (определялась в полевых условиях), наличие и типы органических остатков, а также породные включения. Данные генетические признаки выделены как основные по итогам проведенных в летние полевые сезоны работ по документации разрезов верхнего палеозоя по керну скважин с отбором штучных проб для петрографического и палеопалинологического анализов. Ниже приводится краткое описание обстановок осадконакопления, их литолого-фациальных особенностей и характера цикличности для выделенных стратиграфических подразделений (составлено по результатам выполненных работ).

**Ботуобинская свита ( $C_{2-3}bt$ ).** Отложения свиты приурочены к наиболее пониженным частям крупных палеодепрессий в кровле нижнепалеозойского цоколя. Со значительным стратиграфическим перерывом подстилаются породами холмолохской свиты ( $C_3hl$ ). Мощность ботуобинской свиты изменяется от 0 до 20 м. Свита в пределах поля имеет локальное распространение и представлена одним простым циклитом, в формировании которого принимают участие следующие макрофации:

*Макрофация пролювиально-делювиальная* выполняет подножия пологих склонов и представлена фациями:

- песчано-глинистыми и щебенчатыми склонового выноса (песчаники, алевролиты, гравелиты с включениями гальки и щебня разнообразных по составу пород, конглобрекции карбонатных пород нижнего палеозоя);
- песчано-гравийными центральной части конусов выноса (гравелиты и песчаники плохой сортировки, как правило, светло-серого цвета);
- песчано-алевритовые периферийной части конусов выноса (алевролиты, песчаники со слабовыраженной горизонтальной, косоволнистой слоистостью и включением разноразмерного растительного детрита).

*Макрофация русловая малых рек* выполняет эрозионные врезы по бортам озерной котловины и представлена фацией:

- русловых песчаников средне-мелкозернистых, алевритистых и средне-крупнозернистых, гравийно-галечных, ритмичной сортировки.

*Макрофация пойменная* перекрывает в разрезе русловые разности и представлена фациями:

- глинисто-алевро-песчаными плохой и средней сортировки прирусловыми (мелко- и среднезернистые песчаники и алевролиты крупнозернистые; слоистость косая, сходящаяся, редко субгоризонтальная, с мелким растительным детритом хорошей сохранности, сортировка материала от плохой до средней);
- глинисто-алевритовыми застойных зарастающих стариц (алевролиты крупнозернистые, редко аргиллиты, углистые, песчаные; слоистость горизонтальная и линзовидная, иногда пологоволнистая, с обильным растительным детритом плохой сохранности).

*Макрофа́ция о́зерно-бо́лотная* формировалась на поздних стадиях развития бассейна, представлена фа́циями:

- алевро-песчаными проточных участков зарастающих озерных водоемов (песчаники мелко и среднезернистые, алевролит крупнозернистый с горизонтальной волнистой и линзовидной слоистостью, с обилием обрывков растительности);
- глинисто-алевритовыми застойных участков зарастающих озерных водоемов (алевролиты, редко аргиллиты серые, темно-серые, беспорядочно слоистые, с обилием растительного детрита, содержащие (редко) конкреции сидерита, пирита).

**Ахтарандинская свита ( $P_1ah$ ).** В изученных разрезах залегает на отложениях ботубинской свиты, как правило, с размывом, а при ее выклинивании – непосредственно на породах нижнего палеозоя. В пределах СКП представлена двумя типами разрезов: при наличии в основании разреза свиты аллювиальных отложений крупных рек выделяются две циклиты второго порядка; при ее отсутствии – это единая циклита трансгрессивно-регрессивного характера (от сильно подвижного мелководья до угленосных отложений в кровле). Мощность варьирует от 40 до 20 м. В разрезе свиты на характеризуемой площади выделены следующие макрофа́ции: *пролювиально-делювиальная, руслового аллювия малых и крупных равнинных рек, пойменно-старичная* – аналогичны таковым в ботубинской свите (описание приведено выше).

*Макрофа́ция открытого сильно подвижного мелководья со значительным привносом терригенного материала* представлена песчаными мелководными фа́циями со значительной гидродинамикой (пляжи, бары, косы и др.), сложенными толщами переслаивания мелко- и среднезернистых песчаников с хорошей сортировкой, с горизонтальной пологоволнистой и линзовидной слоистостью, часто в верхах разрезов наблюдается огрубление материала до гравийно-песчаного.

*Макрофа́ция авандельты* представлена песчано-алевритовыми фа́циями, сложенными мелкозернистыми песчаниками, часто в тонком ритмичном, пологоволнистом переслаивании с алевролитами, а также алевролитами с тонкой прямой горизонтальной слойчатостью.

*Макрофа́ция полуизолированного слабоподвижного мелководья (лагун и эстуариев)* сложена мелководными алевро-глинистыми фа́циями с незначительной динамикой среды, представленными темноцветными алевролитами и аргиллитами с горизонтальной прямой тонколинзовидной слоистостью, часто с прослоями мелко-тонкозернистых песчаников. Также по плоскостям наложения встречается тонкий растительный детрит.

*Макрофа́ция приморской заболоченной низменной равнины* представлена углисто-алевритистыми фа́циями заболоченной приморской низменности, сложенными темноцветными беспорядочнослоистыми и линзовидными разнотоннозернистыми алевролитами с обилием разноразмерного растительного детрита, углями.

Основными коллекторами ИМК на территории СКП являются ботубинская и ахтарандинская свиты.

**Борулло́йская свита ( $P_2br$ ).** Разрез свиты на изученной территории в значительной степени искажен за счет проявления траппового магматизма и эродирован, охарактеризовать его в полной мере не представляется возможным. В целом, в сохранившихся разрезах свита представлена аллювиально-дельтовым комплексом макрофа́ций, макрофа́циями побережий без значительного привноса материала, а также комплексом макрофа́ций удаленного от береговой линии слабоподвижного мелководья.

В ходе работы было проведено расчленение отложений верхнего палеозоя в пределах Сюльдюкарского кимберлитового поля, расположенного на восточном борту Тунгусской синеклизы, дана фа́циальная характеристика условий формирования пород верхнего палеозоя с присущими им литогенетическими признаками, охарактеризованы обстановки осадконакопления.

Автор выражает искреннюю благодарность старшему научному сотруднику НАЦ ВГРЭ Александру Афанасьевичу Храмцову за всестороннюю помощь в подготовке материалов, научные консультации и наставничество.



Список литературы:

1. Гиниятуллин И. М., Блажкун Д. В., Ивашина Е. И., Коробков Г. В. Материалы к легенде Ботубинской серии листов геологических карт масштаба 1:50 000. – Мирный : «Якутскгеология», 1989. – 70 с.
2. Жемчужников Ю. А. Цикличность строения угленосных толщ, периодичность осадконакопления и методы их изучения // Труды ИГН АН СССР, Угольная серия. – Вып. 90. – 1947. – № 2. – С. 7–18.

**Павлушин А. Д.** <sup>1</sup> (pavlushin@diamond.ysn.ru),  
**Степенчиков Д. Г.** <sup>1,2</sup> (stepen@geoksc.apatity.ru)  
<sup>1</sup> ИГАБМ СО РАН, <sup>2</sup> ГИ КНЦ РАН

**МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ СИММЕТРИЙНЫЙ АНАЛИЗ РЕАЛЬНОЙ ФОРМЫ КРИСТАЛЛОВ  
АЛМАЗА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЯВЛЕННЫХ ТИПОМОРФНЫХ ПРИЗНАКОВ В  
ПРАКТИКЕ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫХ ЗАДАЧ**

*Авторы представляют возможности использования в решении геолого-поисковых задач принципиально нового метода выявления и анализа типоморфных признаков природного алмаза, основанного на комплексе кристаллографических, морфометрических и симметричных характеристик реальной, как правило, искаженной формы кристаллов алмаза октаэдрического и додекаэдрического габитуса. Разработка и апробирование методики осуществляется по заказу АК «АЛРОСА» (ПАО).*

*Ключевые слова:* алмаз, реальная форма кристаллов, видимая симметрия, Якутская алмазоносная провинция.

Для решения геолого-поисковых задач поиска месторождений алмазов разработан и апробирован принципиально новый метод выявления кристаллографических типоморфных признаков, характеризующих искажение формы кристаллов алмаза октаэдрического и додекаэдрического габитуса.

Внешняя морфология кристаллов алмаза является важным источником онтогенической информации о периодах роста, растворения, регенерации алмазов в мантийных условиях, во время их транспортировки к поверхности земной коры и становления кимберлитового тела. Типоморфные особенности алмазов, характерные для определенного кимберлитового тела, куста кимберлитовых тел, поля или алмазоносного района, позволяют сформировать подходы к получению генетической информации, в частности, использовать в этом качестве геометрию искажения формы кристаллов алмаза.

Основы анализа симметрии реальной формы кристаллов заложены в работах И. И. Шафрановского [6] и успешно применялись на кристаллах минералов различного генезиса в целях определения условий кристаллообразования и выявления факторов, обусловивших возникновение доминирующей симметрии кристаллообразующей среды, оставившей свой след в искажении внешней формы индивидов.

Разнообразие искажений кристаллов алмаза имеет широкий диапазон морфометрических характеристик. Теоретический вывод всех возможных гранных наборов и морфологических типов искаженной формы обоснован в работах по изучению геометрии всех реальных форм октаэдра [1] и полногранного ромбододекаэдра [8].

Эффективное внедрение нового метода стало возможным благодаря успешно реализованной методике интерактивного анализа измерений реальной формы октаэдрических, додекаэдрических и кубических кристаллов алмаза с помощью компьютерной программы ПО «Интерактивный анализ реальной симметрии кристаллов алмаза» для ОС Windows, разработанной в ИГАБМ СО РАН по заказу АК «АЛРОСА» [3]. В результате получен комплекс объективных кристалломорфологических данных, позволяющий охарактеризовать реальную форму октаэдрических

и додекаэдрических кристаллов алмаза и статистические данные о них по геологическим объектам.

Реальная форма многогранников алмаза моделируется в компьютерной программе путем обработки результатов измерений кристаллов. Реперными значениями измерений кристаллов служат расстояния между параллельными гранями, а также длина и ориентировка одного ложного ребра у октаэдра или трех таких ребер у ромбододекаэдра. Инструментальная погрешность измерений индивидов алмаза штангенциркулем или окуляр-микрометром составляет  $\pm 0,01$  мм. В качестве основных параметров, описывающих реальную форму кристаллов алмаза, использован ряд морфометрических значений: точечные группы видимой симметрии реальной формы кристаллов; комбинаторное положение и геометрия граней, определяющих разновидности полиэдров, обозначенных с помощью системы гранных символов; степень искажения габитусной формы; соотношение характера искажений кристаллов алмаза в зависимости от принадлежности к различным размерно-весовым классам.

Особенную трудность до сих пор представляло выделение и использование типоморфных характеристик для октаэдрических кристаллов алмаза. Морфологические различия октаэдров заключаются в развитии вицинальных элементов рельефа поверхности граней и ребер. Однако они присутствуют на кристаллах практически в каждом коренном кимберлитовом источнике и практически не работают как устойчивый типоморфный признак для ранжирования и разбраковки коренных и россыпных коренных источников в кимберлитовых полях. Кристаллосимметричный компьютерный анализ реальной формы октаэдров значительно дополняет существующие типоморфные морфологические характеристики природных октаэдров алмаза, замещая стандартный метод визуальной субъективной оценки характера и степени искажения кристаллов инструментально точным и объективным. Использование нового кристалломорфологического метода выводит на качественно новый уровень и онтогеническое изучение индивидов алмаза, с возможностью его применения для других минеральных видов.

Для апробирования метода морфометрического симметричного анализа реальной формы индивидов алмаза использованы результаты измерений кристаллов из статистически представительных коллекций алмазов АК «АЛРОСА», отобранных в коренных и россыпных алмазоносных объектах Мало-Ботуобинского района. Для изучения задействованы коллекции алмазов ИГАБМ СО РАН, представляющие выборку по крупным кимберлитовым телам Якутской алмазоносной провинции, и промышленные россыпи Анабарского алмазоносного района. Разработка и совершенствование методики реализованы в течение нескольких лет ИГАБМ СО РАН по заказу АК «АЛРОСА» (ПАО).

Среди реальных форм октаэдрических кристаллов алмаза из 33 теоретически возможных морфологических типов обнаружены восемь полногранных и одна неполногранная разновидность октаэдра. Пять разновидностей полногранного октаэдра являются статистически значимыми в изученных выборках, а их количественное соотношение отражает уникальные условия кристаллообразования и анизотропию свойств кристаллообразующей среды мантийного источника.

Статистические соотношения долей планальных и планаксиальных классов видимой симметрии искаженных форм октаэдра также являются индикатором анизотропных свойств алмазообразующей среды. Реальные формы октаэдра планаксиальных классов симметрии, сохранившие центр инверсии, указывают на изотропные условия кристаллообразования. Планальные классы симметрии характерны для анизотропных условий кристаллообразования. Значительная доля в статистике реальной формы октаэдров алмаза планальных классов симметрии низших категорий сингоний свидетельствует о существенном влиянии на искажение кристаллов ростовых дефектов [2].

Характеристика формы растворения додекаэдрических кристаллов алмаза имеет принципиальное значение в выявлении различий основных типоморфных признаков кристаллов, отличающих алмазы из россыпей северо-востока Сибирской платформы, коренной источник которых до сих пор остается неизвестным, и коренных месторождений алмазов кимберлитового типа, в которых также распространены додекаэдры с признаками растворения. Проведена сравнительная симметричная характеристика додекаэдров алмаза из кимберлитовых трубок Якутии

и кривогранных додекаэдров «уральского» типа из россыпей северо-востока Сибирской платформы [4, 5]. Определены эндемичные комбинаторные типы, разновидности ромбододекаэдра и виды ложной симметрии, типоморфные для алмазоносных объектов из кимберлитовых трубок и северных россыпей. Группы точечной симметрии искаженной формы додекаэдров алмаза отражают характер и степень растворения кристаллов алмаза в кимберлитовом расплаве. Для россыпных алмазов Анабарского района характерно глубокое объемное растворение с значительной потерей массы кристалла в подвижной флюидонасыщенной среде [5, 7].

*Авторы выражают благодарность за плодотворное сотрудничество и помощь в работе директору Научно-аналитического центра Вилюйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) д. г.-м. н., акад. АН РС (Я) А. В. Толстому и сотрудникам подразделения – к. г.-м. н. Л. Д. Бардухинову, Б. С. Помазанскому, А. Н. Липашиной, И. В. Глушковой.*

#### Список литературы:

1. Войтеховский Ю. Л., Степенщиков Д. Г. Реальные кристаллографические простые формы // Записки ВМО. – 2004. – № 2. – С. 112–120.
2. Павлушин А. Д. Влияние ростовых дефектов на форму искажения октаэдрических кристаллов алмаза // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции. – Якутск. – 2021. – С. 324–326.
3. Павлушин А. Д., Степенщиков Д. Г. Анализ симметрии искаженной формы кристаллов алмаза и оценка ее прогнозно-поискового значения / Проблемы магматической и метаморфической петрологии, геодинамики и происхождения алмазов. Тезисы докладов Междунар. Конф., посвященной 110-летию со дня рождения акад. В. С. Соболева. – 2018. – С. 45.
4. Павлушин А. Д., Степенщиков Д. Г. Кристаллографические симметричные и комбинаторные типоморфные признаки додекаэдров алмаза из россыпей северо-востока Сибирской платформы и кимберлитов Якутской алмазоносной провинции // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Якутск. – 2020. – С. 381–386.
5. Павлушин А. Д., Степенщиков Д. Г. Первые результаты исследований искаженной формы додекаэдрических кристаллов алмаза из россыпей Якутской алмазоносной провинции // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – № 4. – С. 25–36.
6. Шафрановский И. И. Внешняя симметрия реальных кристаллов и симметрия питающей среды // Записки ВМО. – 1954. – Ч. 83, Вып. 3. – С. 198–211.
7. Pavlushin A. D., Zedgenizov D. A., Pirogovskaya K. L. Crystal Morphological Evolution of Growth and Dissolution of Curve-Faced Cubic Diamonds from Placers of the Anabar Diamondiferous Region // Geochemistry International. – 2017. – V. 55. – No. 12. – P. 1153–1163.
8. Voytekhovskiy Y. L., Stepenshchikov D. G. On the real crystal rhombododecahedra // Acta Cryst. – 2004. – V. A60. – P. 582–584.

**Пак Н. Т. (paknikolay50@mail.ru), Альпиев М. Е., Альпиев Е. А., Ивлева Е. А.  
Институт геологии НАН КР**

#### НЕТРАДИЦИОННЫЙ ТИП ЗОЛОТОМЕДНЫХ РУД В СЕРПЕНТИНИТАХ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОЗЫМЧАК (КЫРГЫЗСТАН)

*Рассматривается золото-скарновое месторождение Бозымчак. Золотомедные руды располагаются как в скарнах, так и в серпентинитах, которые выделяются в самостоятельный нетрадиционный тип руд. Приводятся некоторые минералого-технологические особенности этого типа руд.*

*Ключевые слова: месторождение, скарн, серпентинит, золото, халькопирит, борнит, технология.*

Месторождение Бозымчак с запасами золота около 35 т находится в северном обрамлении Ферганской впадины на сочленении Чаткальской и Кураминской структурно-формационных зон Срединного Тянь-Шаня. Формирование месторождения связывается с переходным режимом от субдукционной обстановки к коллизии и с началом коллизии [2]. Осадочные толщи девон-карбона, представленные известняками, доломитами, доломитистыми известняками, прорваны интрузией гранодиоритов Сандалаш-Чаткальского комплекса ( $C_{2-3}$ ). По новейшим данным, возраст гранодиоритов по циркону составляет  $303,8 \pm 1,5$  и  $304,8 \pm 1,6$  млн лет. Модельный возраст оруденения на месторождении Бозымчак по молибдениту составил  $305,4 \pm 2,7$  млн лет [3].

На контакте гранодиоритов в магматический этап сформировались магнезиальные скарны, в постмагматический – апомагнезиальные и известковые скарны преимущественно гранат-пироксенового и волластонитового составов. Послескарновые изменения проявились в образовании серпентина, хлорита, флогопита, тремолита, актинолита, эпидота, кварца, позднего кальцита и др. Наиболее широко и ярко проявлены процессы серпентинизации с образованием серпентинитов с золотомедным оруденением. Они развиваются по доломитам и магнезиальным и преобразованным скарнам. Внешне это темно-зеленые, почти черные породы, сложенные серпентином, включающим местами скопления реликтов пироксена, форстерита и шпинели, иногда с примесью карбонатов. Порода обычно имеет петельчатую структуру, иногда в ячейках присутствует магнетит. Золотомедное оруденение локализуется в пределах развития как скарнов, так и серпентинитов. В скарнах основные рудные минералы – халькопирит, борнит, пирит, пирротин, золото. Реже встречаются арсенопирит, кобальтин, молибденит, галенит, сфалерит, тенантит и др. Основные компоненты – золото, медь, серебро [1]. Видимое под микроскопом самородное золото чаще всего отмечается внутри борнита или в его краевых частях, халькопирите или в непосредственной близости от борнита в нерудных минералах. Размеры золотин колеблются от 1 мкм до 0,3 мм. Формы золотин комковидные, пластинчатые и ветвистые.

Серпентиниты характеризуют руды апоскарнового типа, подвергшиеся интенсивной серпентинизации. Структура пород гранобластовая, пойкилобластовая, решетчатая. Текстура породы вкрапленная, прожилково-вкрапленная, массивная. Серпентин (лизардит) составляет более половины породы, встречается в виде агрегатов зеленого цвета в сростании с пироксеном, гранатом, кальцитом, кварцем, волластонитом. В шлифах либо бесцветен, либо имеет сероватые оттенки. В нем обильна вкрапленность магнетита, халькопирита, борнита. Внутреннее строение – петли, шнуры, секториальные ячейки. Кроме того, ему свойственны решетчатые, спутанно-волоконистые и чешуйчатые агрегаты, образует псевдоморфозы по первичным силикатам (пироксену и др.).

Оруденение золотомедное умеренно сульфидное. Главные минералы – халькопирит, борнит, магнетит, золото, второстепенные – пирит, реже встречаются халькозин, сфалерит, пирротин, молибденит, галенит и др. Форма нахождения рудных минералов в основном интерстициальная.

Видимое золото фиксируется только при исследовании аншлифов. Тонкие частицы самородного золота присутствуют в борните, реже халькопирите. Единичные золотины обнаружены в нерудном минерале. Цвет золота золотисто-желтый, отражение высокое, блеск металлический. Форма частиц золота в основном неправильная, изометрическая, реже удлиненная. Размеры золотин варьируют от тысячных долей до 0,2 мм.

В количественном отношении преобладает халькопирит. Он присутствует в виде обособленных выделений, по отношению к борниту является более ранним минералом. С халькопиритом борнит наблюдается в виде пластинчато-решетчатых структур распада твердого раствора халькопирита в борните, и наоборот. Содержание борнита в породах на месторождении Бозымчак составляет первые проценты, в гнездовых выделениях до 20%. Он образует вкрапленники, линзовидные и гнездовые выделения. Ассоциирует с халькопиритом, часто замещает его. В борните прослеживаются включения самородного золота размером от тысячных до десятых долей миллиметра. Частицы самородного золота фиксируются и на границе сростания борнита с порообразующими минералами.

Рентгенофазовый анализ на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Результаты анализа кристаллических фаз четырех проб серпентинитов показали преобладание в них серпентина (лизардита) в количестве от 45 до 65 %, пироксена, флогопита, карбоната до 6–10 % каждого, магнетита до 7–8 %, а также гематита, халькопирита, борнита. Содержание Au составило 1,9–2,6 г/т, Cu – 0,8–1,2 %, Ag – 6,0 г/т. Форма нахождения золота в пробе определялась фазовым анализом при крупности измельченной руды – 0,074 мм, по общепринятой схеме. Результаты рационального анализа серпентинитовой руды на золото в одной из проб показали (отн. %) наличие свободного амальгамируемого золота – 23 %, цианируемого – 17,9 %, в пленках оксидов и карбонатах – 26 %, тонкоассоциированное с сульфидами – 25,5 % и с кварцем – 7,6 %.

Для выяснения количественного соотношения сульфидной и сульфатной форм меди был проведен фазовый анализ исходных руд, измельченных до крупности – 0,074 мм (100 %). Данные анализа показали наличие (отн. %) окисленной свободной формы меди – 17,1 %, сульфатной, связанной с оксидами (измененные сульфиды) – 18,9 %, сульфидной – 64 %. Наличие сульфатной меди ведет к возможной потере меди при флотационном обогащении до 20 %.

*Заключение.* На основании минералого-технологических исследований на месторождении Бозымчак кроме скарнового типа выделяются золотомедные руды серпентинитового типа. Основные рудные минералы – борнит и халькопирит, в меньшем количестве содержатся пирит, пирротин и др. Самородное золото в основном ассоциирует с борнитом и халькопиритом. Преобладающий размер золотин – сотые и тысячные доли миллиметра. Тонкая вкрапленность золота в породообразующих минералах предопределяет комбинированные методы обогащения, включая гидрометаллургическое. Серпентинитовый тип руд используется для передела на обогатительной фабрике месторождения Бозымчак с получением концентрата золота и меди.

Список литературы:

1. Альпиев Е. А. Стадийности формирования и особенности распределения золота в рудах скарновых месторождений Чаткальской металлогенической области (на примере месторождения Бозымчак) // Горно-геологический журнал. – Житикара, 2010. – № 1–2 (21–22). – С. 45–50.
2. Ивлева Е. А., Пак Н. Т., Альпиев Е. А. Региональные факторы размещения золотомедного оруденения в Гава-Сумсарском рудном районе (Кыргызстан) // Известия Национальной академии наук Кыргызской республики. – 2019 – № 3. – С. 113–121.
3. Bo Zu, Chunji Xue, Jianwei Li, Tao Wang, Alla Dolgoplova, Reimar Seltmann, Nikolay Pak, Elena Ivleva, Chao Li, Limin Zhou, Guoxiang Chi, Mingchun Chai, Xiaobo Zhao. Multiple episodes of Cu-Au mineralization in the Chatkal-Kurama region: new constraints from the Kuru-Tegerek and Bozymchak skarn deposits, Kyrgyzstan // Ore geology reviews. – 2019. – № 113. – 103077.

**Пактовский Ю. Г. (urijpaktovskij65@gmail.com)  
ПГНИУ**

## ОБОСНОВАНИЕ ЗОЛОВОГО ТИПА АЛМАЗОНОСНЫХ РОССЫПЕЙ НА УРАЛЕ (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)

*Находки ветрогранников в основании силура указывают на золотой фактор в образовании россыпи месторождения Южная Рассольная. Выявленная в северо-западных блоках месторождения отрицательная форма в докембрийском рельефе, в которую «вложены» силурийские отложения, трактуется как котловина выдувания. Учитывая оба поисковых условия, на Урале возможно открытие новых россыпей золотого типа уже на раннем этапе геологоразведочных работ.*

*Ключевые слова:* Пермский край, золотые россыпи, алмаз.

В северо-западных блоках месторождения Южная Рассольная в 2010 г. геологической службой ЗАО «Уралалмаз» впервые была установлена промышленная алмазоносность силурийского промежуточного коллектора. Силурийская россыпь как бы «вложена» в отрицательную форму докембрийского рельефа. Докембрийский плотик представлен вишнево-красными полимиктовыми песчаниками и алевролитами, продуктивный силур – светло-серыми с желтовато-зеленоватым оттенком мелкозернистыми кварцевыми песчаниками.

В составе силурийских отложений по литологическим признакам выделены три толщи. Верхние две, с высокими для уральских россыпей содержаниями, были отработаны прииском в 2010–2013 гг. карьерным способом. Нижняя толща, представленная литифицированными песчаниками, мощностью до 5 м, и получившая название «маркирующий слой», осталась не опробованной геологами. По данным колонкового бурения, на контакте венда и силура отмечался слой брекчированных пород мощностью до 3 м.

В 2019 г. при ревизионном осмотре месторождения Южная Рассольная в основании литифицированных силурийских песчаников впервые были обнаружены ветрогранники [5], представленные кварцевыми песчаниками, характерными для отложений ордовика. Ветрогранники являются индикаторами каменистых пустынь и образуются под воздействием сильных, постоянно дующих ветров при отсутствии высоких гор и растительности. Преобладание среди них пирамидальных ветрогранников [3] свидетельствует о существовании на рубеже ордовика и силура ветров одного-двух направлений [4]. Кроме того, ветрогранники являются индикатором стратиграфического перерыва в геологическом разрезе. Постоянные сильные ветры способны создавать своеобразный «корразионный ландшафт», изрезывающий земную поверхность каньонообразными долинами, так называемыми котловинами выдувания [2]. Горные породы ветровой эрозией разрушаются на значительную мощность; щебень, скатывающийся на дно долины, под воздействием ветра превращается в ветрогранники; минералы легкой фракции выдуваются, минералы тяжелой фракции накапливаются и концентрируются [1].

На месторождении Южная Рассольная прослежено распространение «маркирующего слоя», показавшее, что алмазоносная россыпь месторождения является проекцией выхода силурийских отложений на поверхность [6]. Сочетание в геологическом строении месторождения Южная Рассольная двух условий образования россыпей эолового типа – котловины выдувания и ветрогранников – дает основание полагать, что повышенная алмазоносность силурийского коллектора может быть обусловлена сформированной здесь в раннем палеозое эоловой россыпью.

Для поиска россыпей эолового типа важно учитывать два поисковых условия, на которые раньше не обращали достаточного внимания: 1) картирование отрицательных форм в древнем рельефе (котловины выдувания), заполненных терригенным материалом более молодого возраста; 2) находки в этих отложениях ветрогранников. Эти два условия являются необходимыми и достаточными для поисков в алмазоносных районах россыпей эолового типа, и они могут быть выяснены уже на стадии поисков с помощью колонкового бурения, описания керна и построения полевых геологических разрезов. При этом литологическими индикаторами для поиска эоловых россыпей будут являться брекчии с ветрогранниками. Эоловые коллекторы могут составить важный потенциал Красновишерского алмазоносного района.

#### Список литературы:

1. Акулов Н. И., Агафонов Б. П. Поведение минералов тяжелой фракции в условиях эолового переноса // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 3. – С. 344–349.
2. Кайзер Э., Беетц В. Алмазоносная пустыня юго-западной Африки. В 2 т. Т. 2. Кн. 1. –Л. : Министерство геологии, 1952. – 184 с.
3. Карлов Н. Н. О номенклатуре и классификации ветрогранников // Проблемы физической географии. Т. XVI. – Л. : Изд-во АН СССР, 1951. – С. 174–178.
4. Мушкетов Д. И. Физическая геология. Изд. 3-е. В 2 т. Т. 2. – Л.–М. : Госиздат, 1926. – 636 с.
5. Пактовский Ю. Г. О ветрогранниках в основании силура в Южном Притиманье (Пермский край) // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. – 2020. – Т. 6 (72), № 2. – С. 243–261.

6. Пактовский Ю. Г. Силурийский промежуточный коллектор алмазов (Южное Притиманье, Пермский край) // Вестник Пермского университета. Геология. – 2021. – Т. 20, № 4. – С. 301–319.

Пальянова Г. А. <sup>1</sup> (palyan@igm.nsc.ru), Мурзин В. В. <sup>2</sup> (murzin@igg.uran.ru),  
Беляева Т. В. <sup>1</sup> (zhur0502@igm.nsc.ru), Кузнецов С. К. <sup>3</sup> (kuznetsov@geo.komisc.ru),  
Боровиков А. А. <sup>1</sup> (borovikov.57@mail.ru)

<sup>1</sup> ИГМ СО РАН, <sup>2</sup> ИГГ УрО РАН, <sup>3</sup> Институт геологии Коми НЦ УрО РАН

## ПАЛЛАДИСТОЕ ЗОЛОТО: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ, ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Обобщены данные и выявлены особенности состава палладистого золота и его минеральных ассоциаций, типичных для месторождений с Au-Pd минерализацией. В зависимости от набора примесных макроэлементов, их количества и минералов в ассоциации с палладистым золотом выделены несколько его разновидностей: 1) Au-Pd, 2) Au-Ag-Pd, 3) Au-Cu-Pd, 4) Au-Cu-Ag-Pd-(Pt), 5) Au-Ag-Pd-Cu-Hg и др. Типоморфные характеристики самородного золота могут быть информативны как в плане выяснения генезиса Au-Pd руд, так и для разработки технологических схем, прогноза и поиска рудных месторождений.*

*Ключевые слова: палладистое золото, макропримеси Ag, Cu, Hg, минеральные ассоциации, формационные типы месторождений.*

Природные сплавы золота с палладием, палладистое золото, или порпецит, были открыты еще в 1798 г., но долгое время мало привлекали к себе внимание. В настоящее время интерес к месторождениям с Au-Pd минерализацией обусловлен динамикой цен на рынке драгоценных металлов. Цена на палладий стремительно растет и в 2019 г. превысила стоимость золота. Исследование особенностей состава палладистого золота, а также условий формирования Au-Pd минерализации имеет важное значение как в плане выяснения генезиса таких руд, так и для разработки технологических схем, прогноза и поиска рудных месторождений [1].

Цель данного обзора – обобщить литературные и собственные данные и выявить особенности составов палладистого золота и его минеральных ассоциаций, месторождений разных формационных типов и обосновать использование типоморфных свойств самородного золота в качестве индикаторов генетического типа месторождений. Одна из задач исследования – изучить особенности составов палладистого золота и его минеральных ассоциаций таких объектов, как Чудное (Приполярный Урал), Бараньевское обнажение Итчайваямского базит-гипербазитового комплекса (Камчатка) и Блейда Фар Вест (Центральный Анти-Атлас, Марокко).

Значительная часть объектов с палладистым золотом находится за рубежом (Канада, Бразилия, Англия, Шотландия, Польша, Испания, США, Марокко, Гвинея, Австралия и др.) [2, 5, 11]. В базе mindat.org есть данные о находках палладистого золота в Бельгии, Германии, Венесуэле. В России известно более десятка рудопроявлений. На большинстве месторождений палладистое золото характеризуется эндогенным генезисом. Сплавы золота с палладием обнаружены также в корях выветривания и россыпях, для многих из которых коренные источники не установлены.

Анализ литературных данных по более чем 50 объектам показал, что в палладистом золоте часто отмечаются серебро, медь, ртуть, платина. Составы палладистого золота соответствуют твердым растворам систем – бинарной Au-Pd, а чаще всего 3 (Au-Pd-Ag, Au-Pd-Cu, Au-Pd-Hg), 4 (Au-Pd-Ag-Cu, Au-Pd-Ag-Hg, Au-Pd-Cu-Hg), 5 (Au-Pd-Ag-Cu-Hg) или 6 (Au-Pd-Ag-Cu-Hg-Pt), а также интерметаллидам золота с палладием и ртутью (Au<sub>2</sub>Pd, Au<sub>3</sub>Pd, Au<sub>4</sub>Pd, Au<sub>2</sub>PdHg) и Pd-содержащим Au-Cu интерметаллидам (Au<sub>3</sub>Cu, AuCu, Cu<sub>3</sub>Au). К палладистому золоту следует относить составы Au<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub>, где x ≤ 0,5 ат. доли при расчете формулы на 1 атомную единицу или Au<sub>1-x-y-z-d-e</sub>Pd<sub>x</sub>Ag<sub>y</sub>Cu<sub>z</sub>Hg<sub>d</sub>Pt<sub>e</sub>, где x, y, z, d, e в сумме ≤ 0,5 ат. доли.

Палладистое золото присутствует в месторождениях различного генезиса – магматических (сульфидных и малосульфидных – Талнах, Норильск-1, 2 и др.), магматогенно-гидротермальных (золото-медно-порфировых, золоторудных железистых кварцитов), метаморфогенно-гидротермальных, гидротермальных, экзогенных (корах выветривания, россыпях) и др.

В зависимости от набора примесных макроэлементов и их количества в палладистом золоте и минералов в ассоциации выделено несколько разновидностей. Далее приведены характеристики палладистого золота (элементы-примеси, их количество, минералы в ассоциации) и примеры месторождений:

1) Au-Pd (в мас.%): Pd < 10, редко примеси Hg, Cu, Ag < 3,5; (атенеит, изомертиит, селениды Pd, Pt, Hg, Bi, самородные Pd и Pt, гипергенные PdO и гетит). Месторождение Сьерра-Пелада, Бразилия [3];

2) Au-Ag-Pd (в мас.%): Pd от 5 до 16, Ag < 15; (антимониды Pd и селениды Pd, Au, Ag, Cu, Hg, Pb, Ni и Co, а также потарит PdHg, церуссит, кальцит). Месторождение Хопс Ноус, Англия [8];

3) Au-Cu-Pd (Pd-тетраурикуприд, Pd-аурикуприд, (Au, Pd)<sub>3</sub>Cu, скаергаардит (PdCu), теллуриды, арсениды и сульфиды ЭПГ, звягинцевит (Pd<sub>3</sub>Pb). ЭПГ и Au минерализация в расслоенных интрузиях габбро Скергаард на юге Восточной Гренландии [7];

4) Au-Cu-Ag-Pd (Pt) (в мас.%): Cu < 42, Ag < 37, Pd < 14, иногда Pt < 5; (Pd-тетраурикуприд, Pd-аурикуприд и (Au, Pd)<sub>3</sub>Cu; мертиит/изомертиит, кейтконнит, палладсеит, котульскит, меренскиит, изоферроплатина, висоцкит, гематит, кальцит, кварц, барит, эпидот, хлорит и др.). Месторождения в ультраосновных и основных породах с сульфидами в расслоенных интрузиях (Талнахское, Норильск-1, 2 и др.) [10];

5) Au-Ag-Pd-Cu-Hg (в мас.%): Ag < 11,4, Pd < 6, Cu < 2,7, Hg < 1; (мертиит-II Pd<sub>8</sub>(Sb, As)<sub>3</sub>, изомертиит Pd<sub>11</sub>Sb<sub>2</sub>As<sub>2</sub>, Au-потарит, гематит). Месторождение железистых кварцитов Гонго Соко, Бразилия [4];

6) Au-Pd-Cu-Ag-Hg (в мас.%): Ag < 32, Pd < 17, Cu 13, Hg < 3,5; (мертиит, изомертиит, стибио-палладинит, стиллуотерит, атенеит, ортит, монацит, флоренсит, ксенотим, кайнозит, черновит, поликраз и др.). Месторождение Чудное, Приполярный Урал [9];

7) Au-Ag-Pd-Hg-Pt-Cu (в мас.%): Ag < 34, Pd < 6,9, Hg < 6, Pt < 1,6, Cu < 0,4 (кальцит). ЭПГ и Au минерализация органогенных известняков Любинского рудника месторождения меди Цехштейн, Польша [6].

Палладистое золото на многих месторождениях неоднородно по составу и встречается от двух до пяти его разновидностей, что свидетельствует о нестабильных условиях отложения и последующих процессах переотложения и перекристаллизации.

В образцах анортозитов Бараньевского обнажения присутствует высокопробное золото с примесью Ag, Pd и Hg (820–930‰, Au<sub>0,87</sub>Ag<sub>0,10</sub>Pd<sub>0,01</sub>Hg<sub>0,02</sub>) или только с примесью Ag (≈ 950‰, Au<sub>0,91</sub>Ag<sub>0,09</sub>) в эпидоте или прените с купритом, теноритом и спионкопитом. Установлено наличие интерметаллида Au<sub>2</sub>PdHg в эпидоте с халькопиритом или Cu-сульфатом, а также потарита PdHg. Итчайваямский платиноносный базит-гипербазитовый массив представляется перспективным для Камчатского региона и заслуживает дальнейших исследований.

В образцах руд Центральной и Промежуточных зон Au-Cu порфирово-эпитермального месторождения Блейда Фар Вест (Анти-Атлас, Марокко) установлено четыре разновидности самородного золота, различающиеся по составу примесей: I – Au-Ag; II – Au-Ag-Cu; III – Au-Ag-Pd, IV – Au-Ag-Pd-Cu. Самородное золото содержит примеси Ag (от 5,7 до 708 мас.%), Pd (0; 006–009 мас.%) и/или Cu (0; 003–008 мас.%) (пробность 910–940 ‰). Au-Pd-минерализация на месторождении Блейда Фа Вест практически не содержит сульфидов. Палладистое золото находится в ассоциации с мертиитом, изомертиитом, кейтконнитом, палладсеитом, меренскиитом, котульскитом, сперрилитом, гематитом, кальцитом, кварцем, баритом, хлоритом.

Минералого-геохимическая дифференциация состава руд с палладистым золотом связана с минеральными формами в рудах и активностью в гидротермальных растворах таких элементов, как S, Te, Se, As, Sb, Bi, которые способны образовывать собственные минералы с Pd, Ag, Cu, Hg и Au. Локальные флуктуации активности этих элементов могут обусловить нахождение в одном и том же объекте самородного золота с различным содержанием палладия и обычного (без Pd), часто в парагенезисах с собственно палладиевыми минералами.



Типоморфные характеристики самородного золота могут быть информативны как в плане выяснения генезиса таких руд, так и для разработки технологических схем, прогноза и поиска рудных месторождений.

Список литературы:

1. Николаева Л. А., Некрасова А. Н., Миляев С. А., Яблокова С. В., Гаврилов А. М. Геохимические особенности самородного золота месторождений различных рудно-формационных типов // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 3. – С. 203–213.
2. Ames D. E., Kjarsgaard I. M., McDonald A. M., Good D. J. Insights into the extreme PGE enrichment of the W Horizon, Marathon Cu-Pd deposit, Coldwell Alkaline Complex, Canada: Platinum-group mineralogy, compositions and genetic implications // Ore Geology Reviews. – 2017. – № 90. – P. 723–747.
3. Cabral A. R., Lehmann B., Kwitko R., Cravo Costa C. H. The Serra Pelada Au-Pd-Pt deposit Carajás Mineral province northern Brazil: reconnaissance mineralogy and chemistry of very high grade palladiferous gold mineralization // Economic Geology. – 2002a. – № 97. – P. 1127–1138.
4. Cabral A. R., Lehmann B., Kwitko R., Jones R. D. Palladian gold and palladium arsenide-antimonide minerals from Gongo Soco iron ore mine, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil // Applied Earth Science. – 2002b. – № 111. – P. 74–80.
5. Chapman R. J., Leake R. C., Bond D. P. G., Stedra V., Fairgrieve B. Chemical and Mineralogical Signatures of Gold Formed in Oxidizing Chloride Hydrothermal Systems and their Significance within Populations of Placer Gold Grains Collected during Reconnaissance // Economic Geology. – 2009. – № 104. – P. 563–585.
6. Kucha H. Precious Metal Alloys and Organic Matter in the Zechstein Copper Deposits, Poland // TMPM Tschermarks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 1981. – № 28. – P. 1–16.
7. Nielsen T. F. D., Keiding J. K., Andersen J. C. Ø., Holness M. B., Rudashevsky N. S., Rudashevsky V. N., Salmonsens L. P., Tegner C., Veksler I. V. The Skaergaard PGE and gold deposit: the result of in situ fractionation, sulphide saturation, and magma chamber-scale precious metal redistribution by immiscible Fe-rich melt // Journal of Petrology. – 2014. – № 56 (8). – P. 1643–1676.
8. Paar W. H., Roberts A. C., Criddle A. J., Topa D. A new mineral, chrisstanleyite,  $Ag_2Pd_3Se_4$ , from Hope's Nose, Torquay, Devon, England // Mineralogical Magazine. – 1998. – V. 62, № 2. – P. 257–264.
9. Palyanova G., Murzin V., Kuznetsov S., Karmanov N. Native gold of the Au-Pd-REE Chudnoye deposit (Subpolar Ural, Russia): composition, mineral associations, genesis // Minerals. – 2021. – № 11. – P. 451.
10. Sluzhenikin S. F., Mokhov A. V. Gold and silver in PGE-Cu-Ni and PGE ores of the Noril'sk deposits, Russia // Mineralium Deposita. – 2015. – № 50 (4). – P. 465–492.
11. Varajão C., Colin F., Vieillard P., Melfi A., Nahon D. Early weathering of palladium gold under lateritic conditions, Maquiné Mine, Minas Gerais, Brazil // Applied Geochemistry. – 2000. – № 15. – P. 245–263.

**Печенкин И. Г. (pechenkin@vims-geo.ru)**

**ФГБУ «ВИМС»**

**БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЭКЗОГЕННО-ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОМ РУДОГЕНЕЗЕ**

*В пределах осадочного чехла Туранской плиты эпигенетический рудогенез обусловлен действием трех рудообразующих систем: стадильной, эксфильтрационной и инфильтрационной. Формирующееся оруденение часто сопровождается повышенными концентрациями благородных*

металлов. Наибольший интерес представляет их наличие в комплексных рудах пластово-инфильтрационных месторождений, которые обрабатываются способом скважинного подземного выщелачивания.

*Ключевые слова:* осадочный чехол, рудообразующая система, благородные металлы, скважинное подземное выщелачивание.

Туранская плита со складчатым обрамлением – современная эталонная модель эпигенетического рудообразования. Изучение рудогенеза в ее осадочной толще позволило уточнить место благородных металлов в этом процессе. Потенциал рудоносности седиментационных бассейнов определяется интенсивностью преобразования пород (в зависимости от их положения в коллизионных структурах) и возможностью последующего перехода полезных компонентов в газожидкий флюид с перемещением к участкам газо- и нефтелокализации, а в дальнейшем, уже в растворах, к областям рудолокализации. Ведущую роль при эпигенетическом рудогенезе играют три рудообразующие системы (РС): стадияльная (катагенетическая), эксфильтрационная и инфильтрационная. Каждая из них в результате своей деятельности создает предпосылки для формирования того или иного типа месторождений, руды которых нередко содержат благородные металлы [5, 7].

Стадияльная (катагенетическая) РС гидродинамически закрытая. В связи с наличием в Западно-Туркменской впадине зон с аномально высокими пластовыми давлениями уже на первых этапах действия этой РС происходит разделение углеводородов и хлоридных рассолов. Широкие поля битуминизации и продуктов грязевулканических выбросов, по нашим данным, характеризуются наличием Au (0,003–0,009 г/т), Ag (0,3–0,55 г/т) и Pt (до 0,02 г/т) [6].

Функционирование эксфильтрационной РС обуславливает формирование многочисленных рудопроявлений и месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Этот процесс связан с гидродинамической раскрытостью системы и необратимыми изменениями газожидкого флюида с постепенным разрушением единой многокомпонентной системы. В горном обрамлении Западно-Туркменской впадины выявлены многочисленные проявления полезных ископаемых, содержащих, по нашим данным, Au (0,008–0,05 г/т) и следы Pt. В пределах северного борта Ферганской депрессии в древних скрытых очагах разгрузки пластовых вод сформировалось медное оруденение с сопутствующими Ag, Au и др. В Бухаро-Хивинской депрессии установлено преобладание латерального движения флюидов с постепенным их перетоком в вышележащие отложения. Разгрузка глеевых вод приводила к формированию проявлений Fe и Mn в приповерхностных условиях на кислородном барьере. Сопутствующая минерализация представлена Au (0,03–0,06 г/т) и Pt (до 0,026 г/т). Более восстановительные растворы образовали рудопроявления, также содержащие Au (0,016–0,029 г/т) и Pt (до 0,05 г/т). Наличие золота фиксируется в водах современных родников как на Туаркыре, так и зоне Копетдагского разлома, достигая содержания до 0,05–0,1 мкг/л [5, 6].

Действие инфильтрационной РС начинается после полной декомпрессии в коллекторах. Области питания подземных вод – складчатые образования горного обрамления, а вмещающими оруденение стали породы, выполняющие крупные впадины и межгорные депрессии. Направление движения пластовых вод определяется размещением региональных и локальных очагов их разгрузки. Эти воды, как правило, кислородные или глеевые, несут U, Se, Mo, Re, Sc, реже благородные металлы и формируют эпигенетическую зональность окислительного ряда – зону пластового окисления. Эпигенетическое оруденение локализуется на восстановительных геохимических барьерах, обусловленных как сингенетическим, так и эпигенетическим органическим веществом [3, 8, 9].

В случае разгрузки глеевых вод на кислородном барьере образуются небольшие месторождения Mn, руды которых содержат, по данным автора (1993), Е. А. Головина и др. (1992), Au до 0,3 г/т и Pt до 0,01 г/т. В гетитах обнаружены включения, которые по своим оптическим характеристикам и зондовому анализу определены как частички золота [6, 7].

В конце 1980-х гг. началось интенсивное изучение комплексности инфильтрационных месторождений урана специалистами ВИМСа и производственных организаций. Это было обусловлено возможностью извлечения при добыче урановых руд инновационным способом скважинного

подземного выщелачивания (СПВ) сопутствующих элементов. В первую очередь исследовались руды месторождений Центрально-Кызылкумской урановорудной провинции, которые ранее рассматривались как не содержащие эпигенетических накоплений благородных металлов. Полученный фактический материал свидетельствовал о заметном участии в экзогенном пластово-инфильтрационном процессе серебра, золота, возможно, палладия и других элементов [4, 5, 8, 9].

Эпигенетические накопления *серебра* – закономерный член пластовой рудоконтролирующей зональности. Оно мигрирует главным образом в форме комплекса  $\text{AgCl}^0$ , и при понижении  $E_h$  гидрогеохимической среды до величин порядка +200 мВ его основная часть переходит в металлическую твердую фазу. Наиболее высокие концентрации аккумулируются в подзоне разрушающихся урановых руд: до 0,0п% в урано-угольных месторождениях и 0,00п% в песчаниковых. В оксиде урана количество серебра не превышает 6 г/т [3, 8]. *Золото* создает более значительные эпигенетические накопления. В случае урано-угольных месторождений – до 14,5 г/т в связи с возникновением при окислении органического вещества гумусового ряда гидроксид-фульватных комплексов и их разрушении при поступлении пластовых растворов в восстановительную обстановку. В месторождениях, приуроченных к песчано-глинистым толщам, концентрации золота достигают 0,0п г/т, в пирите до 0,8 г/т. Оно способно мигрировать в ходе окисления сульфидоносных литологических разностей и транспортироваться подземными водами в концентрациях, достигающих  $10^{-7}$  г/л, до участков снижения окислительно-восстановительного потенциала среды, где переходит в твердую элементную фазу [1, 3]. *Платина*, практически не мигрирующая в неорганической среде, образует подвижный прочный гидроксидфульватный комплекс  $\text{Pt}(\text{OH})_4 \text{ФК}^-$ . Также ведет себя *рутений*. В связи с образованием комплекса  $\text{Ru}(\text{OH})_2 \text{ФК}^-$  в истоках р. Москвы, богатых фульвокислотами (73,6 мкг/л при  $\text{pH} = 5,28$ ), рутения содержится 0,49 мкг/л [1]. *Палладий* способен мигрировать в окислительной обстановке во всем диапазоне  $\text{pH}$  в виде неорганического дигидроксидного комплекса  $\text{Pd}(\text{OH})_2^0$  и хлоридных комплексов  $\text{PdCl}^+ - \text{PdCl}_4^{2-}$ . Величина Осаждения Pd в самородной форме происходит при  $\text{pH} = 7,5$  и  $E_h +250$  мВ. Его аккумуляции могут происходить (при наличии благоприятного источника) в пределах передовых частей зоны пластового окисления [3, 8].

Эпигенетические аккумуляции золота легко переходят вместе с ураном и другими полезными компонентами в сернокислотный технологический раствор при отработке месторождений способом СПВ. Из них оно извлекается в самородной форме при воздействии сульфатредуцирующей микрофлоры, обуславливающей падение окислительно-восстановительного потенциала до отрицательных значений и разрушение соединений высоковалентной серы. Золото осаждается совместно с дисульфидами железа, оксидами и силикатами  $\text{U}^{\text{IV}}$ , сульфидами тяжелых металлов [2, 3].

Аналитический материал и данные термодинамических расчетов специалистов ВИМСа свидетельствуют, что серебро, золото и палладий могут участвовать в формировании полиэлементных пластово-инфильтрационных руд в песчаных породах, мигрируя в кислородной обстановке и отлагаясь на восстановительном геохимическом барьере. Предполагается следующая последовательность осаждения элементов при формировании эпигенетической зональности: Pd–Ag–Se–Au+U+Re. Палладий и серебро способны формировать эпигенетические аккумуляции в передовой части зоны пластооокисленных пород, золото – преимущественно в пределах урановорудной зоны [3, 4, 8, 9].

#### Список литературы:

1. Варшал Г. В., Велюханова Т. К., Кошечева И. Я., Кубракова И. В., Баранова Н. Н. Комплексообразование благородных металлов с фульвокислотами природных вод и геохимическая роль этих процессов // Аналитическая химия редких элементов / Под ред. Ермакова А. Н. – М. : Наука, 1988. – С. 112–146.
2. Лаверов Н. П., Абдульманов И. Г., Бровин К. Г. [и др.]. Подземное выщелачивание полиэлементных руд / под. ред. акад. Н. П. Лаверова. – М. : Изд-во Акад. горн. наук, 1998. – 445 с.

3. Максимова М. Ф., Шмариович Е. М. Пластово-инфильтрационное рудообразование. – М. : Недра, 1993. – 159 с.
4. Натальченко Б. И., Перевозчиков Г. В., Пантелеев В. А. Эпигенетические концентрации золота, локализующиеся на линиях выклинивания зон пластового окисления, развитых в водоносных горизонтах верхнего мела // Узб. геол. журн. – 1989. – № 1. – С. 35–40.
5. Печенкин И. Г. Металлогения Туранской плиты. 2-е изд., испр. и доп. М. : ВИМС, 2019. – 154 с.
6. Печенкин И. Г., Печенкин В. Г. Благородные металлы при эпигенетическом рудообразовании в осадочном чехле молодых платформ // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов. – М. : ООО «СВЯЗЬ-ПРИНТ», 2002. – С. 320–323.
7. Печенкин И. Г., Печенкин В. Г. Эволюция осадочного рудообразования. – М. : ВИМС, 2016. – 87 с.
8. Шмариович Е. М. [и др.]. Благородные металлы в пластово-инфильтрационном рудообразовании // Геохимия экзогенно-эпигенетического и гидротермально-осадочного рудообразования: (Тез. докл.). – М. : ВИМС, 1992. – С. 32–34.
9. Шмариович Е. М. [и др.]. Распределение микроэлементов в рудоформирующих пластовых водах инфильтрационных месторождений // Литология и полезные ископаемые. – 1992. – № 1. – С. 91–102.

Подмогов Ю. Г.<sup>1</sup> (natagm@bk.ru), Керцман В. М.<sup>2</sup>, Мойланен Е. В.<sup>3</sup> (moilanen@mail.ru)

<sup>1</sup> ООО «Геотехнологии», <sup>2</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, <sup>3</sup> ИПУ РАН

#### ВОЗМОЖНОСТИ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОГНОЗА И ПОИСКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Рассматриваются возможности аэрогеофизического комплекса ЭКВАТОР при решении различных прогнозных и поисковых задач рудного характера. Приводятся результаты использования этого комплекса при поисково-съёмочных работах в районе Центрально-Африканского разлома (Руанда), детальных исследований при поисках золоторудных месторождений на участках Восточной Сибири и Камчатки.*

*Ключевые слова: аэрогеофизика, комплекс ЭКВАТОР, электроразведка, магниторазведка, гамма-спектрометрия.*

**Аэрогеофизические исследования – опережающий метод опоискования перспективных площадей.** Проблема повышения эффективности поисков рудных месторождений как в пределах известных рудных районов, так и на новых перспективных площадях весьма актуальна. Важную роль при этом играют аэрогеофизические методы, отличительной особенностью которых являются высокая мобильность и производительность, возможность опоискования закрытых площадей, равномерность изучения больших территорий [3, 4, 6, 7]. Постараемся показать, как использование современных аэрогеофизических технологий позволяет резко повысить эффективность поисковых работ и темпы опоискования перспективных территорий.

**Отличительные особенности комплекса ЭКВАТОР.** Основные отличия аэрогеофизического комплекса заключаются в технических особенностях его электроразведочной системы. ЭКВАТОР позволяет одновременно представлять результаты зондирования во временной и частотной областях (Time-Domain и Frequency-Domain). Система позволяет сопротивлений среды в диапазоне 0,1–10 000 Ом·м в интервале глубин 0–400 м [1]. Важной особенностью комплекса является его высокая производительность и возможность кондиционных измерений в горной местности.

**Практические результаты работ.** Республика Руанда. За короткий период времени (6 месяцев) в сложной горной местности аэрогеофизической съёмкой масштаба 1:50 000 с детализацией до масштаба 1:10 000 была покрыта вся территория страны (объём работ составил 26 000 км<sup>2</sup> или 58 000 пог. км). Демонстрируются широкие картировочные возможности комплекса ЭКВАТОР для уточнения деталей геологического строения в условиях сложнодислоцированных

метаморфизованных складчатых образований. Показывается, какую дополнительную поисковую информацию дает детализация масштаба 1:10 000 в пределах выделенных перспективных участков. Доказывается возможность оперативного перехода (в течение одного полевого сезона) от стадии прогнозной оценки значительных по размерам территорий к стадии детальных поисков и оценки рудоносности локальных рудоперспективных объектов.

**Золоторудные участки Восточной Сибири. Участок Урях.** По результатам съемки масштаба 1:10 000 демонстрируются возможности картирования как золотоносных зон в пределах эталонной площади с известными рудными объектами, так и на ее продолжении в южном направлении. Рудная зона четко фиксируется контрастным перепадом сопротивлений практически на два порядка и резким градиентом магнитного поля, вероятно, это проявление в физических полях Сюльбанского разлома [2]. Известные рудопроявления находятся как в пределах высокоомного слабомагнитного блока, так и в пределах локальных линейно вытянутых проводящих и интенсивно намагниченных зон. То есть они относятся к области активных приконтактных гидротермальных изменений. Для большей части рудопроявлений оказались характерным резкие асинхронные изменения концентраций РАЭ.

**Кондинская площадь.** По результатам съемки масштаба 1:20 000 демонстрируются возможности локализации рудоперспективных объектов с петрофизическими характеристиками, близкими к эталонным объектам. Также показаны случаи, когда выделяются золотоперспективные объекты другой природы с другими физическими характеристиками, в частности связанные с приконтактными изменениями при внедрении раннемеловых сиенитов в гранитоиды архейского либо нижнепротерозойского возраста. Рассматриваются карты измеренных геофизических полей и геоэлектрические разрезы, построенные по результатам 1-D инверсии электромагнитных данных комплекса ЭКВАТОР [5].

**Месторождение Сухой Лог.** Выполненные аэрогеофизические исследования комплексом ЭКВАТОР в пределах известного месторождения золота и на его флангах показали, что золото-содержащие черносланцевые отложения надежно фиксируются контрастными низкоомными аномалиями. Есть основания предполагать, что повышение концентраций золота в пределах пачки черных сланцев соответствует заметному уменьшению ее сопротивления. Также рудные зоны сопровождаются локальными отрицательными магнитными аномалиями, которые, вероятно, связаны с присутствием пирротина в сопровождающих сульфидах. Области пониженных сопротивлений и сопровождающие их отрицательные магнитные аномалии прослежены далеко за пределы разведанной рудной залежи, они не выходят на дневную поверхность и вызывают интерес с точки зрения прироста запасов.

**Золоторудные объекты типа «хай сульфидейшн» на Камчатке.** Выполнены аэрогеофизические исследования масштаба 1:10 000 и 1:20 000 на шести локальных участках, перспективных по комплексу признаков на обнаружение золоторудных месторождений типа «хай сульфидейшн» (высокосульфатные эпитермальные алунитовые месторождения) [8, 9]. По одному из участков съемки демонстрируются результаты. Золотоносность месторождений этого типа связывается с наличием вторичных кварцитов в верхней части разреза, которые являются продуктом глубоких гидротермальных изменений исходных туфолавовых отложений. Установлено, что в геофизических полях они фиксируются аномалиями высоких сопротивлений (большое количество кварца), низкой намагниченностью и низкой радиоактивностью (активный вынос магнитных и радиоактивных минералов в зоне гидротермальных изменений). Кроме того, магнитометрией фиксируется слепая интрузия с глубиной верхней кромки в 300–400 м, которая может быть источником гидротерм и потенциально перспективна на обнаружение Cu-Au оруденения порфирирового типа. Контур и глубина интрузии уточнены с использованием процедур 3-D инверсии магнитных данных. Рассматриваются карты измеренных геофизических полей, геоэлектрические разрезы и разрезы магнитной восприимчивости, по результатам инверсии данных комплекса ЭКВАТОР.

Делаются выводы о высокой рентабельности и геологической информативности аэрогеофизических съемок, выполненных с использованием комплекса ЭКВАТОР. Подчеркивается, что подобные исследования значительно сокращают время перехода от реализации прогнозно-поисковой стадии к стадии поисково-оценочных работ.

## Список литературы:

1. Керцман В. М., Мойланен Е. В., Подмогов Ю. Г. Возможности аэрогеофизики при поисках золоторудных месторождений различного типа // Геофизика. – М. : МОО ЕАГО, 2019. – № 4. – С. 52–59.
2. Кузьмицкая Л. Ю. Применение метода аудиоманнителлурического зондирования при поисках коренных месторождений золота в черносланцевых толщах (Сухоложское, Уряхское и Олбот-Верхне-Хатыннахское рудные поля) // Выпускная работа. СПбГУ. – 2018. – 97 с.
3. Chen T., Hodges G., Christensen A. N., Lemieux J. Multipulse Airborne TEM Technology and Test Results Over Oil-sands: 76<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition, Amsterdam. – 2014. – P. 4.
4. Fountain D. Airborne electromagnetic systems – 50 years of development // Exploration Geophysics. – 1998. – V. 29. – P. 1–11.
5. Karshakov E. Iterated extended Kalman filter for airborne electromagnetic data inversion // Exploration Geophysics. – 2020. – V. 51(1). – P. 66–73.
6. Legault J. Airborne Electromagnetic Systems - State of the Art and Future Directions // CSEG Recorder. – 2015. – V. 40 (6). – P. 38–49.
7. Palacky, G. J., West, G. F. Airborne Electromagnetic Methods: Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Applications in M.N. Nabighian (Ed.). – 2008. – V. 2. – P. 811–880.
8. Pour A. B., Hashim M. The application of ASTER remote sensing data to porphyry copper and epithermal gold deposits // Ore Geology Reviews. – 2012. – V. 44. – P. 1–9.
9. Stewart P. W. A shear zone hosted and metamorphosed acid sulphate gold deposit // Hope Brook, Newfoundland. Geol. Soc Am Abstr. – 1991. – V. 25. – P. A125.

**Подмогов Ю. Г. <sup>1</sup> (podmogov1@yandex.ru), Керцман В. М. <sup>2</sup> (natagm@bk.ru),  
Мойланен Е. В. <sup>3</sup> (moilanen@mail.ru)**

**<sup>1</sup> ООО «Геотехнологии», <sup>2</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова, <sup>3</sup> ИПУ РАН**

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВ

*В докладе демонстрируется значительное снижение эффективности аэромагнитной съемки при поисках кимберлитов. Даны оценки возможностей аэроэлектроразведочных систем. Приводятся рекомендации применительно к интерпретации геофизических данных при поисках кимберлитов. Проанализированы алмазопромысловые работы в Архангельской провинции, Западной Якутии и Анголе.*

*Ключевые слова: кимберлиты, аэрогеофизика, комплекс ЭКВАТОР, электроразведка, магниторазведка.*

*Отличительные особенности современного аэрогеофизического комплекса. Основные отличия аэрогеофизического комплекса заключаются в технических особенностях его электроразведочной системы. Современная аэроэлектроразведка является комбинированной. Для изучения верхней части разреза в аэрометоде переходных процессов на данный момент предложены два решения:*

- наряду с длинным и мощным основным импульсом добавляется короткий малоамплитудный дополнительный импульс (системы SkyTEM [7], MultiPulse [3]);
- наряду с длинным и мощным основным импульсом добавляются высокочастотные сигналы (ЭКВАТОР [8]). Данная система позволяет одновременно представлять результаты зондирования во временной и частотной областях (Time Domain и Frequency Domain). Система позволяет адекватно оценивать сопротивление среды в диапазоне 0,1–10 000 Ом·м в интервале глубин 0–400 м. Важной особенностью комплекса является его высокая производительность и возможность кондиционных измерений в горной местности.

*Практические результаты работ.* Необходимость применения аэроэлектроразведки в комплексе с магниторазведкой при поисках кимберлитов в условиях Южной Африки была показана еще в классической работе [2, 6]. Ниже представлены примеры успешного применения такого комплекса.

#### **Архангельская алмазоносная провинция.**

После разработки новых эффективных алгоритмов по инверсии аэроэлектроразведочных данных во временной и частотной области, была выполнена повторная обработка всей первичной информации по эталонным объектам Верхотинского и Черноозерского кимберлитовых полей [4] (полевые работы 2010 г.). Демонстрируются аномальные эффекты, полученные на трубках Волчья [1] и Гриба. Результаты этих работ подтверждают высокую эффективность комплекса ЭКВАТОР в условиях Архангельской алмазоносной провинции.

#### **Западная Якутия.**

По результатам опытно-методических работ с использованием комплекса ЭКВАТОР на участке Улегир Мирнинского кимберлитового поля демонстрируются возможности выявления перспективных локальных магнитных аномалий и аномалий удельной электропроводности для объектов трубчатого типа.

#### **Республика Ангола.**

Уникальный опыт алмазопроисковок работ с использованием аэрогеофизических комплексов, содержащих канал электроразведки, получен ГРО «Катока» в Анголе, первые съемки по ее заказу были проведены в начале XXI века канадской компанией AeroQuest. Последующие исследования были выполнены с другими аэрогеофизическими комплексами в условиях Ангольского щита (SkyTEM, Дания и ЭКВАТОР, Россия). По результатам заверки полученных аномалий наземной электроразведкой и бурением был получен фантастический для алмазной геологии результат – 80% заверяемых аномалий оказывались кимберлитами. Это однозначно свидетельствует о том, что геологический результат определяется не только техническими возможностями средств геофизических измерений, но и подходами к обработке первичной информации и выбором критериев для выделения и определения перспектив аномалий трубчатого типа. Секрет фантастического успеха специалистов ГРО «Катока» в Анголе прост – *в условиях Ангольского кристаллического щита основным поисковым критерием обнаружения кимберлитов является наличие локальных аномалий пониженных сопротивлений.*

По результатам съемки на площади Китубия, выполненной комплексом ЭКВАТОР в масштабах 1:5000–1:10 000 в 2013 г., были выделены аномалии электропроводности и магнитные аномалии. По имеющейся информации, из 13 заверенных бурением выделенных аномалий на 11 был вскрыт кимберлит. Сочетание гармонического и импульсного сигналов позволило обнаружить кимберлитовые тела не только в области развития высокоомных пород архейского возраста, но и в проводящих породах элювиального комплекса протерозоя.

При съемках 2016–2017 гг. комплексом VTEM был использован формальный подход выделения магнитных аномалий [5], а данные аэроэлектроразведки рассматривались лишь как второстепенные. В результате было получено большое число аномалий, не связанных с кимберлитами.

*Выводы.* Несомненно, применение в аэрогеофизическом комплексе одновременно магнитной съемки и электроразведки доказывает свою эффективность при поисках кимберлитов в различных условиях: для Якутской и Архангельской алмазоносных провинций, в Анголе и Южной Африке. Это продемонстрировано приведенными здесь примерами использования комплекса ЭКВАТОР. При этом современная комбинированная форма импульса позволяет получить высокое разрешение и на глубине, и в верхней части разреза, что критически важно при поисках кимберлитов.

#### Список литературы:

1. Калмыков Б. А., Трусков А. А. Особенности отражения трубок взрыва в материалах аэроэлектромагнитной съемки (на примере Зимнебережного алмазоносного района) / Сборник тезисов докладов X Международной научно-практической конференции «Научно-методические

- основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2021. – С. 102–104.
2. Микоев И. И. Наземные геофизические исследования при поисках кимберлитовых тел: результаты и эффективность в различных поисковых обстановках // Руды и металлы. – 2018. – № 3. – С. 41–45.
  3. Chen T., Hodges G., Christensen A. N., Lemieux J. Multipulse Airborne TEM Technology and Test Results Over Oil-sands / 76<sup>th</sup> EAGE Conference. – Amsterdam, 2014.
  4. Garanin V. K., Leybov M. B. Diamonds: a sketch portrait (History of discovery of the Russian deposits and their genesis) // Mineralogical Almanac. – 2014. – V. 19, № 1. – P. 30–47.
  5. Keating P. A simple technique to identify magnetic anomalies due to kimberlite pipes // Exploration and Mining Geology. – 1995. – V. 4. – P. 121–125.
  6. Macnae J. C. Kimberlites and exploration geophysics // Geophysics. – 1979. – V. 44, № 8. – P. 1395–1416.
  7. Sorensen K. I., Mai S., Mohr K. R., Nyboe N. S. Development of High Dipole TDEM Systems. – Mpumalanga: Proceedings of AEM, 2013. – 2 p.
  8. Volkovitsky A., Karshakov E. Airborne EM systems variety: What is the difference? / Extended Abstracts of the 6th International AEM Conference. – Kruger Park, South Africa, 2013. – p. 4.

**Попов И. В. (popov@tsnigri.ru)  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

#### **ДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЗМА «ЗАЯВИТЕЛЬНОГО ПРИНЦИПА» НА АБЦМ НА ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*Приведены результаты деятельности недропользователей на АБЦМ в рамках действия механизма «заявительного принципа» на территории Арктической зоны РФ. Рассмотрены объемы и структура лицензирования, объемы планируемых и фактических инвестиций, прирост запасов ПИ и их добыча. Отмечены основные проблемы реализации механизма «заявительного принципа» на территории Арктической зоны РФ.*

*Ключевые слова: Арктическая зона РФ, лицензии, «заявительный принцип», геологическое изучение недр, проекты, инвестиции, финансирование, прирост запасов, добыча.*

В целях обеспечения национальных интересов Российской Федерации в Арктике в 2014 г. Указом Президента РФ № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» были определены границы Арктической зоны РФ.

Актуальный состав сухопутных территорий Арктической зоны РФ определен федеральным законом № 193-ФЗ от 13.07.2020 г. «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне РФ».

Площадь сухопутной части Арктической зоны РФ – 4774,02 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет почти 28% от сухопутной территории Российской Федерации.

В 2014 г. в приказ Минприроды России № 61 от 16 марта 2005 г. были внесены изменения, позволяющие получать в пользование участки недр, по которым отсутствуют данные о наличии запасов полезных ископаемых (ПИ) и прогнозных ресурсов категорий  $P_1$  и  $P_2$  в целях геологического изучения за счет собственных средств недропользователей. В рамках совершенствования нормативно-правовой базы в 2016 г. приказ № 61 утратил действие в связи с вступлением в силу приказа Минприроды России от 10.11.2016 г. № 583, в котором были подробнее прописаны механизмы получения права пользования недрами с целью геологического изучения недр (ГИН). С 2019 г. снято ограничение на наличие прогнозных ресурсов категории  $P_1$  и (или)  $P_2$  при получении



лицензий на ГИН по «заявительному принципу» на территории Арктической зоны РФ. На смену приказу № 583 с 1 января 2022 г. вступил в силу приказ Минприроды России и Роснедр от 28.10.2021 г. № 802/20, в котором предельное количество участков недр, предоставляемых в пользование на одного заявителя в течение календарного года, увеличено с 3 до 5, а их площадь со 100 до 500 км<sup>2</sup>.

С начала действия механизма «заявительного принципа» и до начала 2022 г. на территории Арктической зоны РФ была выдана 441 лицензия на АБЦМ. По состоянию на 01.01.2022 г. на территории Арктической зоны РФ действовало 347 лицензий, выданных по «заявительному принципу» на АБЦМ, что составляет 7,2% от всего количества действующих лицензий указанного вида в России. Наибольший объем действующих лицензий среди федеральных округов (ФО) 64%, приходится на Арктическую зону Дальневосточного ФО, далее следуют: Сибирский ФО – 27%, Северо-Западный ФО – 8% и Уральский ФО – менее 1%. Среди субъектов наиболее востребованными являются Республика Саха (Якутия), Красноярский край и Чукотский АО. Среди видов ПИ основная доля действующих лицензий приходится на золото (78%) и алмазы (12%).

Из общего числа выданных лицензий по «заявительному принципу» на проведение работ по ГИН на АБЦМ на территории Арктической зоны РФ на конец 2021 г. 228 проектов получили положительное заключение экспертизы, из них 57% проектов приходятся на золото, 7% на алмазы и 4% на никель. Суммарный объем планируемых инвестиций по ним составил 29,6 млрд руб. Максимальные показатели по количеству проектов и объему планируемых инвестиций приходятся на 2020–2021 гг., что обусловлено отменой ограничения на наличие прогнозных ресурсов категорий Р<sub>1</sub> и Р<sub>2</sub> в Арктической зоне РФ.

Объем фактического финансирования ГРР на АБЦМ по механизму «заявительного принципа» на территории Арктической зоны РФ за период с 2016–2021 гг. составил 7,9 млрд руб. Затраты недропользователей до 2020 г. характеризуются стабильным уровнем, без явной динамики. Значительное изменение произошло в 2020 г., показатель более чем в 3 раза превысил показатель 2019 г., достигнув 1,6 млрд руб., а в 2021 г. затраты вновь превысили показатели предыдущего года в 2,6 раза, достигнув 4,3 млрд руб., что составляет 29% от всего объема финансирования ГРР на АБЦМ по «заявительному принципу» в 2021 г. Резкое увеличение объемов финансирования ГРР объясняется возросшим количеством выданных лицензий указанного вида в 2019–2020 гг. после внесения изменений в Порядок предоставления права пользования участками недр для ГИН по «заявительному принципу». Наибольшие объемы инвестиций приходятся на работы на поиски золота, алмазов и никеля. В 2022 г. ожидается дальнейший рост объема затрат недропользователей в АЗРФ на АБЦМ по механизму «заявительного принципа».

Прирост запасов является одним из основных показателей результатов работ по геологическому изучению участков недр. Прирост балансовых запасов россыпного золота (кат. АВС<sub>1</sub> + С<sub>2</sub>) на территории Арктической зоны РФ от деятельности недропользователей на участках недр, полученный по «заявительному принципу» за время действия механизма на 01.01.2022 г., составил 620,4 кг, прирост был получен на 5 участках недр по 4 лицензиям в Красноярском крае, Чукотском АО и Республике Саха (Якутия). Стоит отметить, что на Арктическую зону РФ приходятся 2,2% от прироста запасов россыпного золота в РФ, полученного в рамках механизма «заявительного принципа».

По остальным видам АБЦМ – алмазам, никелю, кобальту, меди, серебру, металлам платиновой группы, свинцу и цинку – прирост запасов на начало 2022 г. по механизму «заявительного принципа» на территории Арктической зоны РФ отсутствовал.

После постановки на Государственный баланс запасов (ГБЗ) россыпного золота, полученного в результате деятельности недропользователей в Арктической зоне РФ в рамках механизма «заявительного принципа», выдано 4 лицензии на разведку и добычу ПИ. В 2020 г. велась добыча россыпного золота на месторождении в Республике Саха (Якутия) в объеме 6 кг. При этом суммарный объем добычи россыпного золота, запасы которого были получены по механизму «заявительного принципа», в Российской Федерации с 2017 по 2020 гг. достиг 3,1 т.

Проведенный анализ показывает, что основной интерес недропользователей в рамках действия механизма «заявительного принципа» в Арктической зоне РФ сосредоточен на золоте, алмазах и никеле. При этом на начало 2022 г. нет значимых результатов от их деятельности, но, учитывая

тот факт, что основной объем лицензий был выдан в 2019–2020 гг., а также значительное увеличение затрат с 2020 г., то существует вероятность получения положительных результатов работ в последующие годы. Также следует учитывать сложные климатические и инфраструктурные условия на Арктической территории России, что также влияет на сроки и объемы работ.

Ведется постоянная работа по совершенствованию нормативно-правовой базы в отношении механизма «заявительного принципа» и недропользования в целом, работа по цифровизации государственного управления государственным фондом недр, что позволит повысить доступность геологической информации, а также регулятором заявлено о продолжении работы по разработке концепции систем и предпочтений [3], обеспечивающих экономическую эффективность геологоразведочных проектов в условиях Арктической зоны РФ на основе системы налоговых льгот и предпочтений. Указанные меры направлены на повышение инвестиционной привлекательности ранних стадий геологоразведочных работ на малоизученных территориях в Арктической зоне РФ.

Список литературы:

1. Алексеев Я. В., Попов И. В. «Заявительный принцип», основные результаты работ на алмазы, благородные и цветные металлы // Отечественная геология. – 2021. – № 3–4. – С. 3–10.
2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 7 июня 2021 г. N 388 «Об утверждении Программы геологического изучения участков недр на территории Арктической зоны Российской Федерации в целях формирования перспективной грузовой базы Северного морского пути на период до 2035 года».
3. ФГИС «АСЛН» [Электронный ресурс]. URL: <https://asln.rosnedra.gov.ru/>

**Прокопьев И. Р. (prokorev\_ilya@mail.ru), Дорошкевич А. Г.,  
Старикова А. Е., Малютин А. В.  
ФГБУН ИГМ им. В. С. Соболева СО РАН**

#### **ПЕТРОГЕНЕЗИС И РУДОНОСНОСТЬ ЧАДОБЕЦКОГО ЩЕЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА (СИБИРСКИЙ КРАТОН, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)**

*Чадобецкий щелочной комплекс расположен в юго-западной части Сибирского кратона. Комплекс является рудоносным по запасам бокситов и фосфора и содержит Чуктуконское месторождение Nb-REE руд. Основные фазы внедрения комплекса представляют собой щелочные ультраосновные лампрофиды и карбонатиты. Рудоносная кора выветривания развита по всему комплексу пород и имеет определенную зональность в профиле выветривания.*

*Ключевые слова: ниобий, редкие земли, бокситы, карбонатиты, лампрофиды.*

Чадобецкий щелочно-ультраосновной карбонатитовый комплекс расположен в юго-западной части Сибирского кратона. В административном плане комплекс находится на территории Богучанского района Красноярского края. История изученности данного рудного объекта связана в первую очередь с геолого-съёмочными и поисковыми работами на алмазы, бокситы, а также поисками и разведкой редкоземельно-ниобиевых руд Чуктуконского месторождения. Основная часть щелочных пород Чадобецкого комплекса скрыта под рыхлыми аллювиальными отложениями или щебнисто-глинистыми и глинистыми бокситоносными и фосфатоносными корами выветривания, мощность которых, по данным бурения, составляет от 5 до 60 м, а в пределах Чуктуконского месторождения иногда достигает 480 м [1]. Чуктуконское месторождение, образованное в коре выветривания по карбонатитам, было открыто в 1950-х гг. Интерес к месторождению периодически возобновлялся в периоды 1967–1997 гг., и только после оценки принципиальной возможности обогащения руд в 1997–2000 гг., геологическое изучение и доразведка месторождения

Чуктукон активизировались в сравнительно быстром темпе. Запасы редкоземельных руд, утвержденные ГКЗ РФ (2007 г.), составляют 6639 тыс. т (кат.  $C_2$ ), пентоксида ниобия – 39,8 тыс. т (содержание 0,6%), РЗО – 486 тыс. т (содержание 7,3%) с оцененными общими запасами 39,8 млн т Nb и 486 млн т РЗЭ [2].

Чадобецкий магматический комплекс расположен на одноименном поднятии, имеющем в плане эллипсовидную форму (с размерами осей приблизительно  $45 \times 35$  км), и вытянутом в северо-северо-западном направлении. Чадобецкое поднятие находится на пересечении двух неопротерозойских впадинных грабен, которые расположены в пределах Ангаро-Котуйской крупномасштабной рифтогенной системы [1].

Образование Чадобецкого поднятия связано с формированием куполовидной структуры, а геофизические данные показывают наличие промежуточного магматического очага на глубине порядка 4–8 км [1]. Чадобецкий магматический комплекс образован несколькими интрузивными фазами, локализованными в пределах двух основных выступов: северного Териновского и южного Чуктуконского участков. В составе Чадобецкого комплекса установлены три основные фазы внедрения, определенные по данным геологического изучения и в основном по результатам бурения Чуктуконской площади. Согласно современным петрологическим данным, первая фаза Чадобецкого комплекса представлена ультраосновными лампрофирами [8]. Вторая фаза внедрения представлена интрузиями карбонатитов. Поздняя фаза комплекса представлена трубками взрыва дамтьернитов [8]. Возраст кристаллизации щелочных пород Чадобецкого комплекса показывает интервал 255–240 млн лет [3–6], что совпадает с деятельностью Сибирского плюма на кратоне.

Петрография и минералогия пород первой фазы Чадобецкого комплекса показывают айлликитовый и мела-айлликитовый состав пород. Лампрофиры имеют порфиристую структуру, доля вкрапленников варьирует в пределах 20–50%. Макрокристы представлены идиоморфными зернами оливина (15–20%), полностью или частично замещенного серпентином и кальцитом. Вариации #Mg оливинов различаются в пределах зерен, а также отдельных кристаллов, также как и их микрокомпонентный состав [6, 7]. Гипидиоморфные вкрапленники таблитчатого флогопита имеют зональное строение (ядра #Mg 0,78–0,73 обрастают каймой #Mg 0,47–0,12). В составе мела-айлликитов присутствуют гипидиоморфные удлиненные зерна клинопироксена до 10% (диопсида с эгириновым миналом). Основная масса ультраосновных лампрофиров содержит минеральные фазы кальцита, доломита и биотита, а также вкрапленные микрочастицы шпинелидов, ильменита, титаномагнетита, апатита и редких сульфидов. Карбонатиты Чадобецкого комплекса представляют собой мелко- и среднезернистые породы с массивной, пятнистой и линейной текстурой. Кальцит является преобладающим минералом (до 95–98%). Карбонатиты также содержат тайниолит, фторapatит и фторкальциопироксид. Риппит, флюорит, Nb-рутил, калишпат, эгирин, анкилит-(Ce), стронцианит, сульфиды и циркон являются второстепенными и акцессорными минеральными фазами в карбонатитах. Гидротермальная минерализация представлена также баритом, кварцем, гетитом, карбонат-фторapatитом-REE и Ca-REE-фторкарбонатами, гидропироксидом и минералами романешит-голландит [4]. Трубки взрывов дамтьернитов третьей фазы Чадобецкого комплекса имеют порфиристую и брекчиевую структуры, отличаются присутствием в основной массе гипидиоморфных зерен полевых шпатов – калишпата и альбита (до 10%), нередко содержат в составе пелетальные лапиллии (более 60%), а также в породе присутствуют обломки вмещающих пород и ксенолитов лампрофиров первой фазы внедрения и карбонатитов, что указывает на флюидно-эксплозивный характер и сравнительно позднее время кристаллизации дамтьернитов [3].

Рудоносная кора выветривания развита по всему комплексу пород, участвующих в геологическом строении Чуктуконского месторождения – осадочным, щелочно-ультраосновным породам и по редкометалльным карбонатитам. В морфологическом отношении кора является площадной, в возрастном – древней и соответствует верхнемеловому-раннепалеогеновому возрасту. Мощность кор выветривания в пределах месторождения варьирует от 10–20 м по периферии и до первых сотен метров к центру. Кора выветривания редкометалльных карбонатитов пользуется на месторождении наибольшим распространением. Мощность гипергенных образований варьирует от 70–100 до 350 м и более, в среднем около 250 м и образует плащевидные залежи

на участках развития карбонатитов. Профиль выветривания карбонатитов имеет зональное строение. Исходя из специфики поведения главных компонентов карбонатитов в зоне гипергенеза, в вертикальном профиле выветривания можно выделить две главные части: зона охр (зона химического выветривания) и зона дезинтеграции (зона преобладающего механического выветривания). Основная часть профиля химического выветривания представлена продуктами зоны гидролиза и выщелачивания. Также весьма часто на более глубоких горизонтах профиля химического выветривания присутствуют продукты зоны цементации или вторичного переотложения компонентов (P, Ba, Si). Эти породы часто слагают отдельные линзовидные залежи, а на глубоких горизонтах обычно переходят в нижележащие дезинтегрированные карбонатиты. Следует отметить, что вследствие неравномерной усадки гипергенного материала или изначальной неоднородности субстрата в отдельных разрезах те или иные зоны имеют незначительную мощность или выпадают вовсе. В полном же профиле выветривания сверху вниз, как правило, выделяются следующие зоны:

1. Латеритный горизонт с прослоями плотных бурых железняков (железная шляпа), обогащен железом, марганцем, алюминием.

2. Мощная толща рыхлых охристых продуктов выветривания; состоит из минералов группы романешита-голландита, фосфатов редких земель, гетита, карбонат-фторапатита, гидроксил-фторапатита, Ba-Sr-пирохлора.

3. Горизонт вторичного фосфатного обогащения или зона цементации, сложенная карбонат-фторапатитом, гидроксил-фторапатитом, вторичным кварцем, баритом, с существенным количеством Ba-Sr-пирохлора.

4. Неравномерно окварцованные и ожелезненные дезинтегрированные карбонатиты, перекрывающие коренной субстрат.

5. Петрографические и минералогические исследования выполнены за счет средств гранта РФФИ № 19-77-10004. Геология района изучена в рамках государственного задания (0330–2016–0002).

#### Список литературы:

1. Кириченко В. Т., Зуев В. К., Перфилова О. Ю., Сосновская О. В., Смокотина И. В., Маркович Л. А., Бородин В. П., Миронюк Е. П. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист О47. Братск. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – С. 470 + 11 вкл.
2. Ломаев В. Г., Сердюк С. С. Чукотское месторождение ниобий-редкоземельных руд – приоритетный объект для модернизации редкометалльной промышленности России // *Journal of Siberian Federal University / Engineering and Technologies*. – 2011. – № 4. – С. 132–154.
3. Прокопьев И. Р., Дорошкевич А. Г., Малютина А. В., Старикова А. Е., Пономарчук А. В., Семенова Д. В., Ковалев С. А., Савинский И. А. Геохронология Чадобецкого щелочно-ультраосновного карбонатитового комплекса (Сибирский кратон): новые U-Pb и Ar-Ar данные // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2021. – Т. 12, № 4. – С. 865–882.
4. Chebotarev D. A., Doroshkevich A. G., Klemd R., Karmanov N. S. Evolution of Nb-mineralization in the Chuktukon carbonatite massif. Chadobets upland (Krasnoyarsk Territory, Russia). *Periodico di Mineralogia*. – 2017. – V. 86. – Iss. 2. – P. 99–118.
5. Doroshkevich A. G., Sharygin V. V., Belousova E. A., Izbrodin I. A., Prokopyev I. R. Zircon from the Chuktukon alkaline ultramafic carbonatite complex (Chadobets uplift, Siberian craton) as evidence of source heterogeneity // *Lithos*. – 2021. – V. 382–383. – P. 105957.
6. Nosova A. A., Kargin A. V., Sazonova L. V., Dubinina E. O., Chugaev A. V., Lebedeva N. M., Yudin D. S., Larionova Y. O., Abersteiner A., Gareev B. I. Sr-Nd-Pb isotopic systematic and geochronology of ultramafic alkaline magmatism of the southwestern margin of the Siberian Craton: metasomatism of the sub-continental lithospheric mantle related to subduction and plume events // *Lithos*. – 2020. – V. 364. – P. 364–365.

7. Prokopyev I., Starikova A., Doroshkevich A., Nugumanova Y., Potapov V. Petrogenesis of ultramafic lamprophyres from the Terina complex (Chadobets upland, Russia): Mineralogy and melt inclusion composition // Minerals. – 2020. – V. 10, № 5. – P. 419.
8. Tappe S., Foley S.F., Jenner G.A., Kjarsgaard B.A. Integrating ultramafic lamprophyres into the IUGS classification of igneous rocks: rationale and implications // J. Petrol. – 2005. – V. 46. № 9. – P. 1893–1900.

**Проскурнин В. Ф., Граханов С. А., Шнейдер А. Г., Гавриш А. В.  
ФГБУ «ВСЕГЕИ» (vsegei@vsegei.ru)**

### ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРЕННЫХ И РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА ВОСТОЧНО-ТАЙМЫРСКОЙ ПЛОЩАДИ

*Восточно-Таймырская площадь располагается на севере Красноярского края на юго-западном побережье моря Лаптевых. Рассматриваемая территория перспективна на коренную и россыпную алмазоносность. Для оценки минерагенического потенциала этой территории требуется расширение комплексных геолого-поисковых исследований.*

*Ключевые слова: полуостров Таймыр, Восточно-Таймырская перспективная площадь, алмазы, прогнозные ресурсы.*

В связи с новым подъемом развития Арктической зоны РФ Восточно-Таймырская площадь становится одним из центров Севморпути. Поэтому вопрос наращивания минерально-сырьевого потенциала здесь стоит в русле всех государственных программ по развитию Арктической зоны России.

С момента последних значимых открытий коренных месторождений алмазов прошло уже около 30 лет (тр. Ботуобинская, 1994 г. и тр. Нюрбинская, 1996 г., россыпь Нюрбинская). В россыпной алмазодобыче, которая активно проводится на севере Республики Саха (Якутия), тоже заметных открытий нет. Уже отработаны открытые еще советскими геологами крупные и средние россыпи: Ыраас-Юрях, Холомолоох, Хара-Мас, Моргогор, Гусиная, Биллях, Верхний Биллях, Маят, Исток, большая часть Эбеяха и Молодо, а взамен разведаны и вовлечены в эксплуатацию средние по размерам россыпи рек Большая и Малая Куонамка и ряд мелких объектов на флангах обрабатываемых месторождений.

При сохранении текущего объема коренной и россыпной алмазодобычи ближайшее десятилетие может оказаться последним, после чего наступит резкий спад в добыче. Учитывая данный факт необходимо осваивать новые районы, где есть перспективы открытия коренных и россыпных месторождений алмазов, к которым и относится предлагаемая под постановаку прогнозно-минерагенических и поисковых работ Восточно-Таймырская площадь, располагающаяся на крайнем западе Приморской алмазоносной минерагенической зоны [3].

Полуостров Таймыр является одним из первых регионов России, где прогнозировалась алмазоносность [10, 5]. Основанием этому послужили образцы Н. Н. Урванцева, отобранные из даек в 1929 г. на правом берегу р. Верхняя Таймыра в районе сопки Бонато. Позднее из двух даек слюдястых кимберлитов (альнеитов) геологами НПО «Аэрогеология» (В. С. Скундин и др. 1976; В. С. Гильденблат и др., 1978) были выделены три микроалмаза размером 0,12 мм, 0,15 мм и 0,3 мм и весом 0,03–0,05 мг (методом термохимического разложения). Кроме алмазов в данных породах установлены пироп, хромдиопсид, пикроильменит и перовскит. В начале пятидесятых годов прошлого века геологами НИИГА [1, 2] по находкам минералов-индикаторов

кимберлитов прогнозировалась алмазоносность в бассейне Верхней Таймыры, горах Бырранга, на возвышенности Кирыка-Гас и предложен комплекс поисковых работ, включающих опробование потенциальных промежуточных коллекторов и шлиховое опробование гидросети для локализации коренных источников. В конце пятидесятих годов прошлого века геологами НИИГА М. Г. Равичем, Л. А. Чайкой [8] впервые обращено внимание на сходство химического состава малых интрузий хребта Бырранга с лампроитами. Позднее широкое распространение лампроитов и лампроитовых трубок взрыва в пределах Горного Таймыра установлено А. П. Романовым [9]. В начале семидесятых годов впервые масштабные поисковые работы на россыпные алмазы и золото были проведены геологами НИИГА (В. В. Жуков, Л. Я. Пинчук и др.). В результате представительного опробования убогая алмазоносность установлена в пляжевых отложениях о. Бегичев, южного берега Хатангского залива, п-ва Урюнг-Тумус, Анабарской губе и на западном берегу Анабарского залива.

Восточно-Таймырская площадь (6,3 тыс. км<sup>2</sup>) по административному делению входит в состав Таймырского (Долгано-Ненецкого) муниципального района Красноярского края Российской Федерации. Район труднодоступен. Население малочисленно и сосредоточено в близлежащих к югу селах и поселках Хатанга и Сындаско. Площадь охватывает юго-восточную часть гор Бырранга и стык с Таймырской низменностью.

На мысе Цветкова в 2007 г. [4] в осипайской свите карнийского яруса позднего триаса были найдены неокатанные зерна пиропов, в том числе алмазной ассоциации, что указывает на наличие продуктивных коренных источников на Таймыре. Там же геологами ВСЕГЕИ [6] в разрезе нижнетриасовых пород установлены флюидоэксплозивные образования предположительно средне-позднетриасового возраста. Наличие в них пироба, пикроильменита и хромшпинелидов позволяет рассматривать инъекционные брекчии как возможные коренные источники алмазов. В 2020 г. было отобрано несколько шлихов из аллювия руч. Каньон, который дренирует средне-позднетриасовые и раннеюрские образования возвышенности Тулай-Кирыка [7]. В результате в одной из проб впервые на Восточном Таймыре был найден макроалмаз размером 1,3 мм и весом 1,7 мг. Кристалл ламинарный I разновидности бесцветный, переходной от октаэдра к ромбододекаэдру формы с занозистой комбинационной штриховкой. Грани октаэдра плоские, без следов травления и растворения, на ребрах и вершинах отсутствуют признаки износа. Алмаз с низким содержанием азота отличается от таковых из россыпей северо-востока Сибирского кратона. В шлиховой пробе, кроме алмаза, установлены хромшпинелид и пикроильменит.

К сожалению, несмотря на позитивные результаты, изученность этого района очень слабая. Отсутствует среднемасштабная геологическая основа. Это объясняется тем, что описываемый район располагался на стыке ведомственных и территориальных интересов. В доперестроечный период геологи Якутского территориального управления традиционно занимались континентальной частью, а геологи (НИИГА) ВНИИОкеангеологии – морской или островной частями. В результате эта «пограничная» полоса долго оставалась и остается белым пятном. И это несмотря на то, что проводимые в ограниченном объеме и времени работы приносили хорошие результаты.

Чтобы объединить эти спонтанные открытия необходимо на всей площади Восточно-Таймырского участка провести поисковые маршруты со шлиховым, мелкообъемным и валовым опробованием современного аллювия в пределах развития пород позднедевонско-раннекаменноугольного, среднекаменноугольно-пермского, триасового (прогнозируется коренной источник средне-верхнетриасового возраста) и раннеюрского возрастов, древних промежуточных коллекторов и флюидоэксплозивных образований мыса Цветкова. Бесспорно, мелкообъемному и валовому опробованию подлежат потенциально-алмазоносные прибрежно-морские отложения карнийского яруса, которые от мыса Цветкова прослеживаются в бассейн р. Чернохребетной. Шлихо-минералогические поисковые работы по регулярной сети позволят локализовать ореолы МИК и алмазов, выполнить их детализацию по более плотной сети и провести оценку прогнозных ресурсов коренных и россыпных проявлений алмазов по кат. P<sub>2</sub> + P<sub>3</sub>. По завершению работ будут предложены рекомендации по дальнейшему направлению поисковых работ на Восточном Таймыре.

Список литературы:

1. Вакар В. А. К вопросу о вероятной алмазоносности Таймыра // Информ. бюлл. НИИГА. – Л. : Недра, 1958. – Вып. 8. – С. 49–51.
2. Воронов П. С., Черепанов В. А. Геологическое строение и полезные ископаемые юго-восточного Таймыра // Тр. НИИГА. – М. : Издательство Главсевмормути, 1953. – Т. 73. – 133 с.
3. Граханов С. А., Смелов А. П., Егоров К. Н., Голубев Ю. К. Осадочно-вулканогенная природа основания карнийского яруса – источника алмазов северо-востока Сибирской платформы // Отечественная геология. – 2010. – № 5. – С. 3–12.
4. Граханов С. А., Ядренкин А. В. Прогноз алмазоносности триасовых отложений Таймыра // ДАН. – 2007. – Т. 416, № 5. – С. 653–656.
5. Моор Г. Г. О слюдяных кимберлитах на севере Центральной Сибири // ДАН СССР. – 1941. – Т. XXXI, № 4. – С. 361–363.
6. Проскурнин В. Ф., Гавриш А. В., Петров О. В., Галкин А. С., Виноградова Н. П., Наумов М. В., Силаев В. И., Лукьянова Л. И., Ронина Е. Е., Салтанов В. А. Потенциально алмазоносные ранне-мезозойские инъекционные брекчии Восточного Таймыра // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 72. – С. 78–90.
7. Проскурнин В. Ф., Граханов С. А., Петров О. В., Васильев Е. А., Берзон Е. И., Антонов А. В., Соболев Н. В. Прогноз алмазоносности Таймыра // ДАН. – 2021. – Т. 499, № 2. – С. 11–16.
8. Равич М. Г., Чайка Л. А. Малые интрузии хребта Бырранга // Тр. НИИГА. – Л. : Недра, 1959. – Т. 88. – 147 с.
9. Романов А. П. Перспективы алмазоносности Горного Таймыра // Недра Таймыра. – Норильск : Изд-во ВСЕГЕИ, 1997. – Вып. 2. – С. 185–198.
10. Соболев В. С. Особенности магматических проявлений и металлогении платформ на примере формации Сибирских траппов // Тр. XVII сессии Международного геологического конгресса. – М., 1937. – Т. 5. – С. 265–271.

**Прусакова Н. А.<sup>1</sup> (diamond@tsnigri.ru), Голубев Ю. К.<sup>1</sup>, Дак А. И.<sup>2</sup> (a\_dak@mail.ru),  
Громцев К. В.<sup>1</sup>, Орлов М. В.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> ФГБУ «ЦНИГРИ», <sup>2</sup> АО «СНИИГГиМС»**

#### ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ НА КОРЕННУЮ АЛМАЗОНОСНОСТЬ

*Оценены перспективы обнаружения в Иркутской области коренных месторождений алмазов. Отмечено, что для решения вопроса о целесообразности проведения дальнейших алмазопоисковых работ в Иркутской области необходимо выполнение прогнозно-ревизионных исследований, в ходе которых необходимо получить однозначную информацию о наличии в ее пределах среднепалеозойского алмазоносного магматизма. Для проведения подобных работ в качестве приоритетной рекомендуется Тэтэро-Непская площадь, расположенная в пределах Северо-Иркутской алмазоперспективной области, выделенной по комплексу геолого-геофизических предпосылок.*

*Ключевые слова: Иркутская область, алмазы, кимберлиты, поиски.*

Территория Иркутской области рассматривается как перспективная на обнаружение коренных месторождений алмазов начиная с середины XX века. Здесь известны россыпепроявления алмазов, многочисленные находки минералов-индикаторов кимберлитов (МИК), в том числе алмазной ассоциации, а также вскрыты тела среднерифейских слабоалмазоносных лампроитов Ингашинского рудного поля. В пределах Иркутской области к настоящему времени по результатам предшествующих работ выделены 26 перспективных на коренную алмазоносность

площадей с различными возрастами (верхнепротерозойским, среднепалеозойским и мезозойским) и геолого-промышленными типами (коренным кимберлитовым, лампроитовым, кимберлит-лампроитовым) ожидаемого магматизма. Для пяти из этих площадей (по состоянию на 01.01.2021 г.) апробированы прогнозные ресурсы алмазов категории  $P_3$  (198 млн карат). В тоже время проводимые в пределах ряда выделенных перспективных площадей различными организациями поиски коренных месторождений алмазов (при сохранении положительной оценки перспектив на коренную алмазоносность данного региона в целом) не дали положительных результатов – промышленно алмазоносные объекты не были найдены. В сложившейся ситуации одной из актуальных задач становится проведение ревизионной оценки перспектив на коренную алмазоносность Иркутской области.

Выполнение подобных исследований было начато ФГБУ «ЦНИГРИ» в 2021 г. При их выполнении были использованы методические подходы и комплекс геолого-геофизических критериев коренной алмазоносности, разработанные ФГБУ «ЦНИГРИ» [2] на основе изучения закономерностей локализации разновозрастных и в различной степени алмазоносных полей кимберлитового и родственного ему магматизма, занимающих различную структурно-тектоническую позицию в регионах Мира.

В ходе ревизионных прогнозных исследований в Иркутской области были рассмотрены особенности ее геологического строения; проведены сбор, обобщение, систематизация и комплексный анализ имеющихся геолого-геофизических данных; проанализированы представления о предполагаемом типе и возрасте прогнозируемых алмазоносных объектов; выделены алмазоперспективные территории; оценены пространственная позиция и характеристики перспективных на коренную алмазоносность площадей, выделенных по результатам предшествующих работ; рассмотрены особенности распределения алмазов и МИК в составе дочетвертичных коллекторов и в современных аллювиальных отложениях; даны рекомендации по дальнейшему проведению ГРП для локализации площадей под постановку поисковых работ в Иркутской области.

Полученные к настоящему времени результаты этих исследований позволяют сделать предположение, что на территории Иркутской области наиболее вероятно вскрытие алмазоносного магматизма среднепалеозойского (кимберлитового) и верхнепротерозойского (лампроитового) возрастов. При этом ожидаемые здесь коренные источники алмазов среднепалеозойского возраста скорее всего будут отличаться (по вещественно-минералогическому составу, а, возможно, и по продуктивности) от промышленно алмазоносных объектов Якутии. Вскрытие алмазоносных объектов мезозойского возраста менее вероятно.

В пределах Иркутской области с использованием комплекса геолого-геофизических предпосылок коренной алмазоносности (с учетом степени участия – значимости рассмотренных предпосылок в контроле позиции алмазоносного магматизма того или иного возраста) были выделены две алмазоперспективные области – Северо-Иркутская (с ожидаемым коренным кимберлитовым источником алмазов среднепалеозойского возраста) и Присаянская (с ожидаемым коренным лампроитовым или кимберлит-лампроитовым источником алмазов докембрийского возраста). Согласно разработкам ФГБУ «ЦНИГРИ», данные области рассматриваются в качестве региональных алмазоперспективных территорий, в пределах которых целесообразно проводить локализацию площадей под постановку поисковых работ на коренную алмазоносность. В контуры данных алмазоперспективных областей попали 12 из выделенных ранее перспективных на обнаружение месторождений алмазов площадей (Верхнекочемская, Алтыбская, Ереминская, Немуйская, Икская, Чангильская, Мара-Далдынская, Верейская, Илимская, Верхнекатангская, Тубинская, Зиминско-Ингашинская). Исходя из этого, их перспективы на коренную алмазоносность, по предварительной оценке, рассматриваются как наиболее обоснованные. Перспективы на коренную алмазоносность остальных 14 из выделенных ранее перспективных на обнаружение месторождений алмазов площадей (расположенных вне контуров упомянутых выше алмазоперспективных областей), по предварительным данным, оцениваются как недостаточно обоснованные.

Окончательный вывод о степени перспективности выделенных на основе комплекса глубинных геофизических предпосылок Северо-Иркутской и Присаянской алмазоперспективных областей может быть сделан только после их заверки на основе имеющихся прямых признаков



алмазности (ореолов МИК, россыпей и россыпепроявлений алмазов), генетически связанных с данными территориями.

Анализ особенностей распределения МИК по горизонтам осадочного чехла для определения возможной дальности их транспортировки от потенциальных источников проводился на основе материалов геолого-съёмочных работ. В ходе данного анализа учитывались особенности вещественного состава терригенных осадочных коллекторов: гранулометрический состав осадков, специфика минералогической ассоциации минералов тяжелой фракции, наличие обломков экзотических пород.

В южной части Иркутской области в пределах Присяянской области максимальные концентрации находок пиропов приурочены к участкам, где широко распространены осадки баероновской ( $C_1br$ ) свиты нижнего карбона. В тоже время мелкообъемное и крупнообъемное опробование этих отложений не выявило в них алмазов, а, по данным исследования более 600 зерен пироба из осадков баероновской свиты с помощью микрозонда, выявлено лишь одно зерно алмазной ассоциации дунит-гарцбургитового парагенезиса. В составе тяжелой фракции отложений баероновской свиты присутствуют: турмалин, ставролит, ильменит и лейкоксен. Подобный состав тяжелой фракции однозначно указывает на влияние размыва кристаллических докембрийских пород, что позволяет предполагать достаточно дальний снос обломочного материала при формировании осадков данной свиты. Кроме того, на дальний снос МИК из состава баероновской свиты указывают их достаточно сильный износ, размер менее 0,5 мм, при среднем значении 0,2–0,3 мм.

Следует заметить, что в последние годы появились данные о находках алмазов в отложениях венда. Данный факт, с нашей точки зрения, убедительно подтверждает точку зрения В. П. Афанасьева [1] о докембрийском возрасте алмазов, известных в россыпепроявлениях южной части Иркутской области. В связи с изложенным, перспективы Присяянья на месторождения алмазов среднепалеозойского возраста неочевидны.

В тоже время в северной части Иркутской области имеются данные об обнаружении алмазов и МИК в составе отложений нижнего карбона, в том числе пиропов глубинных мантийных парагенезисов из поля стабильности алмаза. Кроме того, известны россыпепроявления алмазов в составе современных аллювиальных отложений, что позволяет предполагать более высокую вероятность обнаружения здесь месторождений алмазов среднепалеозойского возраста.

Для решения вопроса о целесообразности проведения дальнейших алмазопроисловых работ в Иркутской области необходимо выполнение прогнозно-ревизионных исследований. В ходе данных исследований следует получить однозначные материалы о наличии в пределах Иркутской области среднепалеозойского алмазности магматизма. Приоритетной площадью, где целесообразно провести подобные работы, с нашей точки зрения, является Тэтэро-Непская площадь, расположенная в пределах Северо-Иркутской алмазности области, выделенной по комплексу геолого-геофизических предпосылок. С данной площадью связаны россыпепроявления алмазов в составе русловых отложений; кроме того, есть данные по наличию в ее пределах находок алмазов в составе нижнекарбонных осадков. В ходе этих работ необходимо провести картировочное бурение с опробованием отложений верхнего палеозоя для выявления алмазов и МИК в их составе. Также следует провести дополнительное опробование русловых отложений, исходя из характера заложения и формирования речных долин, в целях установления особенностей транспортировки МИК и алмазов и определения потенциальной дальности их переноса.

#### Список литературы:

1. Афанасьев В. П., Лобанов С. С., Похиленко Н. П., Коптиль В. И., Митюхин С. И., Герасимчук А. В., Помазанский Б. С., Горев Н. И. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 3. – С. 335–353.
2. Прусакова Н. А., Громцев К. В., Лаптев М. М. Геолого-геофизические предпосылки выделения площадей для постановки поисковых работ на коренные месторождения алмазов // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С.23–46.

Раков Л. Т. (rakovlt@mail.ru), Киселева Г. Д., Коваленкер В. А.  
ФГБУН «ИГЕМ РАН»

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ЗОЛОТОНОСНОМ  
W-МО-ПОРФИРОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ БУГДАЙНСКОЕ  
ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ В КВАРЦЕ МЕТОДОМ ЭПР

*Методом ЭПР проведено исследование распределений изоморфных примесей, кислородных вакансий и других дефектов кристаллической структуры кварца золотоносного W-Мо-порфирового месторождения Бугдаинское (Восточное Забайкалье, Россия). Анализ полученных результатов показал, что кварц месторождения формировался в условиях относительно открытой системы минералообразования, скорость его кристаллизации определялась температурой образования минерала и рудоносностью флюида, а сама кристаллизация осуществлялась в окислительных условиях. Многие из обнаруженных закономерностей отражают специфику формирования порфировых месторождений.*

*Ключевые слова: месторождение золота Бугдаинское, минералообразование, кварц, структурные дефекты, метод ЭПР, условия формирования.*

Месторождение Бугдаинское по своим характеристикам относится к молибденовым месторождениям типа Клаймакс и приурочено к узлу пересечения Кличкинско-Дарасунской рудоконцентрирующей структуры с субширотной рудоконцентрирующей Шахтаминской структурой (Восточное Забайкалье) [3, 4]. Его специфическое отличие от других месторождений заключается в наличии промышленных запасов золота и ряда других металлов.

Процесс минералообразования на месторождении подразделяется на четыре основные стадии: дорудную, вызванную внедрением субвулканического штока риолит (гранит)-порфиров, кварц-молибденитовую, связанную с формированием штокверковой и жильно-прожилковой W-Мо-минерализации из магматических флюидов, золото-полиметаллическую, обусловленную изменениями регионального плана тектонических деформаций, и пострудную, сопряженную с завершением гидротермального процесса. Показано, что W-Мо-оруденение формировалось при температурах  $T = 550\text{--}380$  °С, а руды золото-полиметаллической стадии образованы при  $T = 360\text{--}140$  °С [3].

Для более детального изучения условий минералообразования определялся состав и концентрации присутствующих в кварце структурных дефектов. Было рассмотрено распределение изоморфных примесей Al, Ti и Ge в кристаллической решетке кварца, кислородных вакансий и других генетически значимых дефектов. Регистрация и измерение их концентраций осуществлялись методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Результаты исследований позволяют сделать вывод об условиях образования кварца и формирования оруденения.

Относительная открытость системы минералообразования является характерной особенностью месторождения Бугдаинское. Она установлена из результатов сравнения концентраций ионов  $H^+$  и  $Li^+$  в структурных каналах кварца. Как отмечалось ранее, ионы  $H^+$ , имея размер в  $10^5$  раз меньший, чем ионы  $Li^+$ , обладают высокой диффузионной подвижностью, позволяющей им при любой возможности покинуть систему минералообразования [2]. Оказалось, что в образцах кварца Бугдаинского месторождения наблюдается дефицит ионов  $H^+$  по сравнению с ионами  $Li^+$ , свидетельствующий об утечке более мобильных протонов. По-видимому, этому способствует присутствие многочисленных трещин во вмещающих породах месторождения, свойственное порфировым структурам магматических пород.

Сравнительная оценка содержаний ионов  $H^+$  и  $Li^+$  в кварце проводилась путем сопоставления концентраций Ti (H)- и Ti (Li)-центров ( $C_{Ti(H)}/C_{Ti(Li)}$ ), для которых  $H^+$  и  $Li^+$  служат ионами-компенсаторами. С этой целью анализировался график зависимости величины  $C_{Ti(H)}/C_{Ti(Li)}$  от общего содержания изоморфного Ti в кварце ( $C_{Ti}$ ) для месторождения Бугдаинское. Установлено, что в графическом пространстве он смещен вниз по отношению к аналогичному графику для порфирово-скарнового Au-Cu-Fe Быстринского месторождения, расположенного в том же рудном

районе. Это означает, что при одних и тех же значениях  $C_{Ti}$  соотношения концентраций ионов  $H^+$  и  $Li^+$  в кварце Бугдаинского месторождения ниже, чем на месторождении Быстринское. Поэтому система минералообразования месторождения Бугдаинское является более открытой, чем месторождения Быстринское.

Тот же результат был получен при сравнении месторождения Бугдаинское с другими золоторудными месторождениями Восточного Забайкалья.

Нестабильность условий минералообразования на месторождении Бугдаинское является следствием открытости его минералообразующей системы. На изменчивость термодинамической обстановки при формировании месторождения указывает отсутствие корреляционной связи между концентрацией в рудном кварце кислородных вакансий ( $C_E$ ) и степенью его рекристаллизации, оцениваемой по значениям  $C_{Ti}$  [7]. Резкое падение температуры и давления вызвано быстрым охлаждением рудоносных флюидов при их прохождении по трещинам вмещающих пород, что, очевидно, характерно для порфировых месторождений. В этом случае в рудном кварце сохраняются зоны нераскristализованного кремнезема, которые приобретают свойства кварцевого стекла при высокотемпературном прогреве [8]. Локализованные в них кислородные вакансии регистрируются методом ЭПР и служат индикатором быстрой кристаллизации минерала. Чем больше отклонение экспериментальных точек от графика зависимости  $C_E$  ( $C_{Ti}$ ), тем быстрее проходила кристаллизация рудного кварца.

В противоположность рудному кварцу, корреляционная связь между значениями  $C_E$  и  $C_{Ti}$  соблюдается для кварца дорудной стадии, что свидетельствует об относительно плавном изменении термодинамических параметров в процессе ее развития.

Широкий диапазон скоростей кристаллизации кварца, обнаруженный на месторождении Бугдаинское, обусловлен условиями образования месторождений порфирового типа. Наиболее высокая скорость кристаллизации установлена для процессов формирования молибденового оруденения. При этом прослеживается прямая корреляция между скоростью кристаллизации и содержанием молибденита в руде. Напротив, для золото-полиметаллической стадии установлена аномально низкая скорость кристаллизации кварца, связанная с низкой температурой флюида и его ограниченной циркуляцией.

Окислительные условия минералообразования, характерные для месторождения Бугдаинское, обуславливают появление в пострудном кварце молекул метанола. Их образование связано с процессом окисления метана, который при определенных условиях может протекать при температурах, близких к 200 °С [6]. Присутствие молекул метанола в пострудном кварце устанавливалось по наличию в спектре ЭПР линий радикалов  $(CH_2OH)^{\cdot}$  с одним неэквивалентным и двумя эквивалентными ионами  $H^+$  [1].

Обнаруженный факт является лишь частью общей картины, отражающей особенности нахождения примеси метана в кварце с несовершенной кристаллической структурой. Ранее был описан другой тип парамагнитных центров, связанных с переходом части молекул  $CH_4$  в состояние радикала  $(CH_3)^{\cdot}$  при радиационном облучении кварца [5]. Данный факт свидетельствует о существовании в слабонакristализованном кварце обширных зон неупорядоченной структуры, где могут локализоваться метиловые группы. Состав этих групп, определяемый методом ЭПР, дает возможность судить об окислительно-восстановительных условиях минералообразования.

Работа выполнена в рамках Базовой темы ИГЕМ РАН «Главные особенности рудообразующих систем магматогенных месторождений Au, Ag – Mo, Re, W, Cu, Zn – Cu, Ni, PGE в разных геолого-тектонических обстановках».

#### Список литературы:

1. Вертц Д., Болтон Д. Теория и практические приложения метода ЭПР. – М. : Мир, 1975. – 548 с.
2. Гетманская Т. И., Раков Л. Т. Закономерности распределения парамагнитных центров в кварце вольфрамовых месторождений грейзеновой формации // Геохимия. – 1998. – № 5. – С. 539–542.

3. Коваленкер В. А., Киселева Г. Д., Крылова Т. Л., Андреева О. В. Минералогия и условия формирования руд золотоносного W-Мо-порфирового Бугдаинского месторождения (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 2. – С. 107–142.
4. Коваленкер В. А., Крылова Т. Л., Киселева Г. Д., Кигаи И. Н. Условия формирования Au-Mo(W)-Pb-Zn руд Бугдаинского атипичного порфирового месторождения (Восточное Забайкалье, Россия) // Доклады академии наук, 2007. – Т. 416, № 1. – С. 96–99.
5. Матяш И. В., Брик А. Б., Заяц А. П., Мазыкин В. В. Радиоспектроскопия кварца. – Киев : Наукова Думка, 1987. – 168 с.
6. Ола Дж., Гепперт А., Пракаш С. Метанол и энергетика будущего. Когда закончится нефть и газ. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 419 с.
7. Раков Л. Т., Прокофьев В. Ю., Зорина Л. Д. Ионы-компенсаторы  $H^+$  и  $Li^+$  в структурных каналах кварца месторождений золота Дарасунского рудного поля (Восточное Забайкалье, Россия): данные электронного парамагнитного резонанса // Геология рудных месторождений. – 2019. – Т. 61, № 1. – С. 75–96.
8. Раков Л. Т., Прокофьев В. Ю., Коваленкер В. А. Влияние условий минералообразования на свойства дефектных зон кварца // XIV Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». Тезисы докладов. – Т. 2 «Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле – минерагении, минералогии и геммологии, петрологии и геохимии». – М. : РГГУ, 2019. – С. 367–370.

**Рязанов К. П. (k-r-i-z26@mail.ru), Калугин П. С.  
ФГБУ «ВСЕГЕИ»**

**ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СТРАТИФОРМНОГО И ЖИЛЬНОГО  
СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО И МАРГАНЦЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПАЛЕОЗОЙСКИХ  
КАРБОНАТНЫХ ТОЛЩАХ О. ВАЙГАЧ И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ  
ЮГОРСКОГО ПОЛУОСТРОВА (НЕНЕЦКИЙ АО)**

*Наличие новых оруденений цветных и черных металлов о. Вайгач и северо-западной части хребта Пай-Хой предварительно установлено по результатам комплексного геологического анализа. В пределах основных блоков с северо-запада на юго-восток происходит переход от сфалеритовых к галенит-сфалеритовым и барит-сфалерит-галенитовым проявлениям. При переходе от ордовикского уровня к силурийскому сокращается «терригенность» и увеличивается доломитистость. Такая закономерность способствует прогнозу новых объектов миргалимсайского и атаксайского типов.*

*Ключевые слова: свинец, цинк, марганец, Вайгач, Югорский полуостров, Лямчинская зона, Северный морской путь*

В настоящее время на территории Архангельской области согласно Программе геологического изучения участков недр на территории Арктической зоны РФ в целях формирования перспективной грузовой базы Северного морского пути (СМП) на период до 2035 года активизировались исследования, направленные на выявление и ресурсное обеспечение специализированных минерально-сырьевых центров. Промышленное освоение должно обеспечить рост грузопотока и плановое функционирование Северного морского пути, а также ускоренное социально-экономическое развитие всего региона.

Как известно, о. Вайгач и северная часть Югорского полуострова находятся в непосредственной близости от трассы Северного морского пути.

Прогнозы по выявлению коренных объектов, ранее составленные для этой части Крайнего Севера страны [2,4], а также наличие рядом крупных полиметаллических и марганцевых месторождений (Павловского, Парнокского и др.) свидетельствуют о нераскрытом потенциале

региона в отношении запасов свинца, цинка и марганца. При этом системного анализа современных геологических материалов по строению о. Вайгач, ориентированного на поиски коренных объектов, практически не проводилось, не проведена региональная адаптация известных геолого-поисковых моделей рудных месторождений.

Территория о. Вайгач является региональным комплексным природным заказником, поэтому при изучении данного объекта запрещается любая деятельность, если она противоречит целям его создания или причиняет вред природным комплексам и их компонентам. Как известно, границы территории заказника «Вайгач» покрывают не весь остров, что, собственно говоря, не запрещает проводить там работы геологического плана исследовательской и тематической направленности. При своевременном согласовании работ по мониторингу и сбору минералогических коллекций с Департаментом запрета посещения территории заказника можно избежать.

Средне-верхнеордовикские отложения о. Вайгач весьма неоднородны по составу и мощности. Работы по уточнению минерагенических особенностей проводились последний раз в рамках тематических и геологосъемочных работ в 1971–1983 гг. [1,2].

После проведения работ по ГДП-200 (лист R-41-XIX, Варнекская площадь, ФГБУ «ВСЕГЕИ») были значительно уточнены возраст, минерагенические особенности и распространение средне-верхнеордовикских отложений. Проследить развитие палеозойских образований о. Вайгач, потенциально перспективных на стратиформное и жильное свинцово-цинковое и марганцевое оруденение в рамках прошедших полевых работ не удалось.

Авторами по результатам ранее проведенных работ выделен Лямчинский прогнозный полиметаллический рудный узел, который характеризуется стратиформным цинково-свинцовым (клеюфан-галенитовым с примесью Cd, Ag, Ge, Au) оруденением в пределах проявления Раздельного, известного с 20-х годов XX в., и нескольких жильных рудопроявлений (Варнекское рудное поле) [4].

Возраст вмещающих толщ отмечен как поздний ордовик, силур и ранний девон – сармикская свита, талатакарская и лямчинская толщи, нерасчлененные, лосевская свита. В ходе поисковых работ сотрудниками ФГБУ «ВСЕГЕИ» при ГДП-200 листа R-41 XIX (Варнекская площадь) отмечено продолжение стратиформной свинцово-цинковой минерализации на мысе Белый Нос в пределах сходного стратиграфического уровня. Границы Лямчинского медно-полиметаллического рудного узла расширяются с юго-восточной оконечности острова Вайгач до северо-западной оконечности материковой части листа R-XIX (район мыса Белый Нос), включая часть акватории пролива Югорский Шар.

В процессе подготовки к изданию комплекта ГК-200/2 листов R-41-XXV, XXVI, XXVII (Оюско-Янгарейская площадь) была произведена заверка высокоинтенсивной геофизической аномалии буровыми работами (р. Большая Ою, НАО). По литологическому составу породы, вмещающие марганцевое оруденение, относятся к позднеордовикским образованиям сопчинской свиты (верхнесопчинская подсвита) [3].

В ходе работ впервые обнаружено марганцевое оруденение в верхнеордовикских образованиях, приуроченное к юго-западному опрокинутому крылу Пайхойского шарьяж-антиклинория, сложенного палеозойскими осадками переходной зоны от шельфовых к склоновым фациям. Оно имеет принципиально иные черты строения и состава, близко по строению с оруденением атакусского (парнокского) типа. Вполне возможно обнаружение сходных объектов в пределах распространения средне-верхнеордовикских образований Бельско-Елецкой СФЗ на о. Вайгач (лист R-40).

Расширение потенциала Варнекского рудного поля, обладающего стратиформным цинково-свинцовым и, возможно, марганцевым оруденением, является значимой задачей и укладывается в концепцию воспроизводства минерально-сырьевой базы Российской Федерации.

Необходимость расширения минерально-сырьевого потенциала Ненецкого автономного округа путем выявления на территории о. Вайгач и северо-западной части Югорского полуострова ресурсов стратегических видов твердых полезных ископаемых (оксидные марганцевые и свинцово-цинковые руды) определяет необходимость производства дальнейших научных и производственных работ. Возрастающая практическая значимость арктических регионов как минерально-сырьевой базы страны требует доизучения и решения целого ряда задач в геологическом строении региона.

В ордовикско-девонское время произошло заложение Уральской палеозойской геосинклинальной системы; развитие и стабилизация каледонских палеовулканических поясов с колчеданными, медно-скарновыми, ванадий-железо-медными, скарново-магнетитовыми, меднопорфировыми и железо-марганец-свинцово-цинковыми рудами; накопление платформенных терригенно-карбонатных толщ со стратиформным свинцово-цинковым и железо-марганцевым оруденением; тектоно-магматическая активизация срединных массивов.

Стратиформный характер оруденения, приуроченного к определенным литолого-фациальным частям разреза продуктивной формации, которые представлены преимущественно горизонтами и пачками марганцовистых известняков (карбонатные марганцевые руды являются, по существу, их фациями); в случае локализации оруденения в скарновых зонах последние являются согласными с вмещающими известняками.

Анализ геологического строения региона и выполненные реконструкции палеобассейнов нижнего палеозоя позволяют спрогнозировать проявление полиметаллического и марганцевого оруденений на новых уровнях разреза. В ходе работ по ГДП-200/2 Оюско-Янгарейская площадь впервые обнаружено марганцевое оруденение в верхнеордовикских образованиях, приуроченное к юго-западному опрокинутому крылу Пайхойского шарьяж-антиклинория, сложенному палеозойскими осадками переходной зоны от шельфовых к склоновым фациям. Оно имеет принципиально иные черты строения и состава, близко по строению с оруденением атасуйского (парнокского) типа.

*Выводы.* Анализ имеющихся геологических материалов и новых данных, полученных нами, показал, что состав рудопроявлений довольно закономерно изменяется вдоль рудных зон. Наиболее отчетливо это изменение наблюдается в Лямчинской зоне (о. Вайгач). Часть зоны состоит из серии блоков, расчлененных сместителями нескольких нарушений северо-западного простирания. В пределах этих блоков в направлении с северо-запада на юго-восток происходит постепенный переход от сфалеритовых рудопроявлений к галенит-сфалеритовым и барит-сфалерит-галенитовым. При переходе от ордовикского уровня к нижнесилурийскому резко сокращается терригенность пород и увеличивается доломитистость. Прослеживание такой закономерности может свидетельствовать о наличии реальных предпосылок обнаружения на данной территории новых полиметаллических и марганцевых объектов миргалимсайского (павловского) и атасуйского (парнокского) типов.

Общие ресурсы свинцово-цинковых руд категории  $P_3$  Лямчинского прогнозного рудного узла посчитаны с вычитанием из общих ресурсов запасов категории  $C_1$  по Раздельному проявлению и составляют: по цинку категории  $P_3 = 22$  тыс. т.; по свинцу категории  $P_3 = 2,2$  тыс. т.

#### Список литературы:

1. Енокян В. С. Палеозойские отложения и история геологического развития западного Пай-Хоя и острова Вайгач : автореф. на соискание учен. степ. канд. геол.-минерал. наук. – М. : МГРИ, 1971. – 26 с.
2. Птицын М. Б., Терешко В. В., Микляев А. С. [и др.]. Отчет о результатах групповой геологической съемки м-ба 1:50 000 на территории листов R-40-58; 59; 69; 70; 71-А, Б, В, Г (а, в); 72-А; 82-А, Б; 83-А, Б; 84-А (в, г), Б (в), В, Г (западная часть острова Вайгач). – Воркута : Комигеолфонд, 1983.
3. Рязанов К. П., Алексеева Н. А., Плаксина В. А. [и др.]. Новое железомарганцевое рудопроявление Пай-Хоя // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. Мат. XVII Геол. съезда Республики Коми. – Сыктывкар : ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2019. – С. 235–236.
4. Юшкин Н. П., Кунц А. Ф., Тимонин Н. И. Минерагения Пай-Хоя. – Екатеринбург : УРО РАН, 2007. – 292 с.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МАГМАТИЗМЕ НЕНОКСКОГО ПОЛЯ И ПЕРСПЕКТИВАХ  
АЛМАЗОНОСНОСТИ ОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА  
(АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)

*Работами ЗАО «Архангельские алмазы» в 2008–2009 гг. в крайней западной части Ненокского поля Онежского полуострова открыты три новые трубки (Ан-G448, Ан-G056, Ан-G429). По петрографическим, геохимическим, изотопным характеристикам, присутствию макрокристов оливина первой генерации они близки «киммелилититам» Чидвии и Верхотины Зимнего Берега. Присутствие в них корунда и граната из разнообразных эклогитовых пород (в том числе алмазоносных) указывает на новые, еще не раскрытые возможности коренной алмазоносности Ненокского поля, Онежского полуострова и Беломорского региона в целом.*

*Ключевые слова: Онежский полуостров, киммелилититы, изотопия, алмазоносность, субдукция.*

Детальное изучение раннегерцинских (позднедевонских) кимберлитовых полей региона – Зимнего Берега (90 тел) и Терского Берега Кольского полуострова (около 50 тел), показало, что магматизм этих полей чрезвычайно разнообразен. В каждом из этих полей сближенными в пространстве оказались вулканиты разнообразного состава – от алмазоносных кимберлитов разного типа, кимпикритов и киммелилититов (терминология по В. А. Милашеву, 1969) до щелочных пикритов, беспироксеновых оливиновых мелилититов и мелилититов с признаками алмазоносности или без таковых. (Аналогичный ряд пород отмечается и для трех среднедевонских трубок Умбинского поля Среднего Тимана: неалмазоносные кимберлиты – кимпикриты и киммелилититы – беспироксеновые флогопит-оливиновые мелилититы). Причем расположены эти разнообразные по составу вулканиты закономерно: распределение многих показателей вещественного состава пород объектов (минералогических, петрохимических, геохимических, изотопных) по площади полей имеет зональный характер, обладает элементами симметрии центрального или линейного типов и указывает, в том числе, на различную степень астеносферного влияния на области магмогенерации в разных зонах этих полей.

В то же время в другом районе Беломорского региона – Ненокском поле Онежского полуострова (около 40 тел) отмечалась картина совершенно безрадостно-однообразного распределения многочисленных однотипных магматических объектов, образованных фельдшпатоидными мелилититами и оливиновыми мелилититами.

Работами компании ЗАО «Архангельские алмазы» в 2008–2009 гг. в западной части Ненокского поля открыты три новые трубки, особенности состава которых подтверждают и большее разнообразие вулканитов этого поля, и зональность их расположения как в пределах поля, так и в пределах Беломорского региона в целом [1].

Размеры этих новых трубок в плане небольшие: от 20–25 до 70–100 м, в отличие от размеров выявленных ранее трубок (200–800 м), интенсивность наземных магнитных аномалий также на порядок более низкая (25–50 нТл) у новых трубок, чем у трубок старых (200–1400 нТл). Однако, несмотря на небольшие размеры, новые трубки иногда характеризуются некоторыми особенностями геологического строения и вещественного состава, которые не отмечались в изученных ранее 40 (!) трубках этого поля.

Две трубки (Ан-G448 и Ан-G429) имеют простое однофазное строение и образованы столбом красно-бурых ксенотуффизитов и ксенотуффитов мелилититов соответственно. А трубка Ан-G056 представляет собой сложно построенный вулканический комплекс, образованный пятью фазами внедрения (двумя типами лав, туффизитом, ксенотуффизитом), в том числе новой, впервые встреченной в трубках кимберлитов и родственных им пород структурной разновидностью пород – *спекшимся туффизитом мелилититов* с характерным «рогульчатым» и «черепковым» строением тонкопепловой витрокластической цементирующей массы.

Яркой и необычной особенностью новых трубок, открытых на западе Ненокского поля, является присутствие в породах трубки Ан-G429 значительного количества ксенолитов самых разнообразных пород эродированных к настоящему времени формаций: аргиллитов верхнего венда – нижнего кембрия с обугленными трубочками кольчатых червеобразных организмов «сабеллидитов»; пестрых глин, песчаников (с глауконитом) и гравелитов (в том числе железистых оолитовых) нижнего палеозоя (верхний кембрий – нижний ордовик); а также многочисленных обугленных растительных остатков позднего девона. Такого большого количества и разнообразия ксенолитов пород эродированных, не существующих в настоящее время отложений, не было встречено ни в одной другой трубке Ненокского поля Онежского полуострова.

По особенностям вещественного состава трубки западной части Ненокского поля (прежде всего Ан-G-056 и Ан-G-429) заметно отличаются от остальных трубок поля. Для них характерны признаки, отличающие их от типичных мелилититов и приближающие их к «киммелилититам» – переходному типу пород между кимберлитами и мелилититами, – это:

- сложное многофазное (пятифазное!) строение и полная автотомасоматическая глинизация пород, превращенных в однородный монтмориллонит-сапонитовый агрегат;
- повышенная магнезиальность пород, умеренно повышенное содержание Cr, Ni и пониженное содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- оливинный состав вкрапленников, отсутствие фенокристов клинопироксена, присутствие выделений тетраферрифлогопита, широкое развитие крупных выделений хромшпинелида, а также макрокристов «оливина первой генерации» (необходимого признака пород кимберлитового ряда);
- высокое содержание минералов протоматического этапа кристаллизации (хромшпинелида, клинопироксена, амфибола-паргасита, оливина) и интрателлурических включений (оливин + клинопироксен ± амфибол ± хромшпинелид; оливин + плеонаст ± клинопироксен);
- присутствие минералов-спутников алмаза эклогитового парагенезиса (пироп-альмандин из алмазоносных эклогитов группы I«А», I«В» и I«С» и неалмазоносных эклогитов группы II«В» и II«С» (по Schulze, 2003), бледного розовато-фиолетового корунда).

• Кроме того, в отличие от других трубок Ненокского поля, астеносферное влияние на мантийный источник пород трубки Ан-G056 проявлено в отчетливом (хотя и относительном) приближении его Nd-Sr-изотопных характеристик к параметрам BSE (астеносферного источника). И если мелилититы изученных нами ранее трубок Ненокского поля по многим (в том числе и изотопным) характеристикам аналогичны неалмазоносным мелилититам Ижмы (трубки Ижма, Озерная, Летняя, Весенняя) и Суксомы (трубка Суксома) в краевой части Зимнебережного района, то породы трубки Ан-G056 по большинству характеристик вещественного состава и типу мантийного источника отличаются от мелилититов Ижмы и Суксомы и, напротив, близки киммелилититам Al-серии Чидвии и Верхотины (с признаками алмазоносности) в промежуточной зоне Зимнебережного района.

Обнаруженные в 2008–2209 гг. в западной части Ненокского поля Онежского полуострова трубки Ан-G056 и Ан-G429, породы которых по составу приближаются к киммелилититам, вместе с другими трубками взрыва мелилититов Ненокского поля образуют элементы петрологической зональности поля, имеющей тот же характер и то же направление повышения степени ультраосновности пород (восток–запад), что и трубки Зимнего Берега. Другой яркой петрологической особенностью, сближающей Ненокское поле с Зимним Берегом, является обнаружение компанией ЗАО «Архангельские алмазы» в 2008 г. вендских покровов щелочных лампрофиров типа минет (Ан-G031), идентичных по строению, вещественному составу и возрасту ( $570 \pm 4$  млн лет) таким же породам Зимнего Берега [2]. Эти совершенно однотипные вендские покровы щелочных лампрофиров Зимнего Берега и Онежского полуострова расположены строго на одной линии северо-восточного простирания, в точности совпадающей с «Архангельской тектонической зоной» вендского возраста, выделенной в 1982 г. В. П. Грибом!

Трубки Ненокского поля однотипны по возрасту, геологическому строению и составу с трубками Терского Берега и Зимнего Берега и не нарушают общую картину зональности раннегерцинского вулканизма Беломорского региона. В центральной части Беломорского региона развиты алмазоносные и слабоалмазоносные кимберлиты, а в периферийной части – неалмазоносные мелилититы, фойдиты и базальты.



В породах трубки Ан-G056 в заметном количестве присутствуют минералы-спутники алмаза эклогитового парагенезиса – гранат и корунд из разнообразных эклогитовых пород (групп I«А», I«В», I«С», II«В», II«С»), в том числе и из алмазоносных эклогитов, включая эклогиты группы I«С» – индикаторы развития в регионе процессов субдукции на уровне алмазоносной мантии. Эти признаки указывают на глубинный характер магматических проявлений района, потенциальная алмазоносность которых может иметь чисто эклогитовую (субдукционную) природу, и, во всяком случае на данном уровне исследований, не является строго запрещенной.

Разнообразие состава алмазоносных магматических пород с каждым годом все расширяется, и мы пока не знаем, как должны выглядеть и какой состав должны иметь вулканические породы, магматические очаги которых локализовались *только в глубинных частях зон субдукции*, и могут ли такие вулканические породы быть алмазоносными (и промышленно алмазоносными).

Хочется надеяться, что обнаруженная трубка Ан-G056 (и Ан-G429) является лишь «первой ласточкой», которая указывает на новые, еще не раскрытые возможности коренной алмазоносности Ненокского поля, Онежского полуострова и Беломорского региона в целом.

#### Список литературы:

1. Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Белов А. В. Щелочной ультраосновной магматизм Ненокского поля Онежского полуострова – отражение плюмовых и субдукционных процессов Беломорского региона (Архангельская алмазоносная провинция) // Труды X Международного Семинара «Глубинный магматизм, его источники и плюмы». – Судак, 2010. – С. 157–186.
2. Щукин В. С., Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Белоусова Е. А., Гриффин В. Л. Поздневендский азральный щелочной вулканизм рифтогенного типа в Зимнебережном кимберлитовом районе (Архангельская алмазоносная провинция) // Труды II Международного Семинара «Глубинный магматизм, магматические источники и проблемы плюмов». – Владивосток, 2002. – С. 151–165.

Седых Е. М.<sup>1</sup>, Бардухинов Л. Д.<sup>1,2</sup> ([bardukhinovld@alrosa.ru](mailto:bardukhinovld@alrosa.ru))

<sup>1</sup> ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), <sup>2</sup> ФГБОУВО «СВФУ»

#### УСТОЙЧИВОСТЬ КАЧЕСТВЕННЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗА ТРУБКИ МИР С ГЛУБИНОЙ

*Приведены обобщенные результаты исследований алмазов из глубоких горизонтов кимберлитовой трубки Мир, полученные за период с 2020 по 2021 гг. Представлена характеристика кристаллов как в среднем по изученной коллекции, так и с разделением по классам крупности. Проанализировано алмазное сырье из проб кимберлита, отобранных на разной глубине, и проведено сравнение данных 2020–2021 гг. с изученными ранее алмазами из геологической пробы 2011 г. и алмазами из текущей добычи 2014 г.*

*Ключевые слова:* алмаз, кимберлитовая трубка Мир, ИК-спектроскопия, кристалломорфология.

Кимберлитовая трубка «Мир» вскрыта одним из крупнейших в мире алмазных карьеров. В 2017 г. в результате затопления шахты месторождения в следствии неблагоприятных гидрогеомеханических процессов добыча алмазов остановлена до восстановления подземного рудника. В целях подсчета запасов глубоких горизонтов месторождения трубки Мир проведено керновое опробование на алмазы. Выполнены комплексные исследования извлеченных алмазов при разведке глубоких горизонтов трубки.

Исследование проведено в Научно-аналитическом центре Вилуйской геологоразведочной экспедиции АК «АЛРОСА» (ПАО). Минералогическое описание и фотографирование алмазов

выполнено с помощью бинокулярного микроскопа Leica M205 с высокочувствительной цифровой видеокамерой Leica DFC 495 под управлением фирменного ПО LAS. Для возбуждения фотолюминесценции при характеристике цвета свечения использован лазер АИЛ-3 с длиной волны 337 нм. Съемка спектров фотолюминесценции кристаллов алмазов выполнена с использованием возможностей КР-микроскопа InVia. Все спектры были сняты при температуре жидкого азота (77 К). Источник возбуждения – лазер КР-микроскопа,  $\lambda$  325 нм, мощность 20 мВт.

ИК-спектроскопические исследования алмаза проводились на ИК-Фурье спектрометре VERTEX 70 (Bruker) в комплексе с ИК-микроскопом Hyperion 2000. Диапазон измерений: 400–4500 см<sup>-1</sup>. Была выполнена съемка интегральных (со всего объема кристалла) спектров. Нормирование спектров осуществлялось по поглощению в двухфононной области [1, 2]. По спектрам определялись концентрации С-, А-, В1-, В2-дефектов алмазов в соответствии с методическими работами [3, 4]. Коэффициенты поглощения на частотах 1973 см<sup>-1</sup> и 2500 см<sup>-1</sup>, соответственно,  $\alpha_{1973} = 12,5$  см<sup>-1</sup> и  $\alpha_{2500} = 4,9$  см<sup>-1</sup>, были выбраны в качестве параметров внутреннего стандарта.

По гранулометрическому составу среди алмазов глубоких горизонтов трубки Мир в количественном отношении преобладают кристаллы класса -1+0,5 мм, по весу доминируют кристаллы классов -4+2 и -2+1,2 мм. Средний вес алмазов выборки составляет 3,3 мг.

Среди изученных алмазов доминируют кристаллы I разновидности, переходного и, реже, октаэдрического габитуса. Среди октаэдров и переходных форм большое количество индивидов со сноповидной штриховкой и полицентрическим строением граней. Осколки без признаков кристаллографической огранки составляют практически третью часть выборки. В незначительном количестве присутствуют алмазы в оболочке IV разновидности и поликристаллические сростки VIII и IX разновидностей. Большинство алмазов выборки представлено монокристаллами, доля двойников и сростков невысокая. Значительное количество кристаллов со скульптурами травления, преимущественно шрамами и треугольными впадинами. В основном алмазы имеют среднюю степень прозрачности и дефекты в виде трещин. Количество окрашенных, в основном в дымчато-коричневый цвет, камней не велико. Встречаются кристаллы с ожелезнением, преимущественно слабой степени, а также с зелеными пятнами пигментации и позеленением по трещинам. Установлено, что около трети кристаллов имеют минеральные включения. Большая часть включений представлена графитом, встречены включения оливина, малинового пироба, хромита, омфацита, энстатита, магнетита и алмаза. Половина изученных алмазов имеет розово-сиреневую фотолюминесценцию, остальные светятся желто-зеленым, сине-голубым и другими цветами. Степень сохранности алмазов невысокая, большинство кристаллов имеют сколы различной величины и происхождения, более половины выборки составляют обломки и осколки алмазов со сколами, преимущественно техногенного происхождения. По данным ИК-спектроскопии в изученной выборке алмазов по суммарному содержанию примеси азота ( $N_{tot}$ , at. ppm) в близких количествах присутствуют алмазы с малыми (до 400 at. ppm) – 43 %, и средними значениями (от 400 до 800 at. ppm) – 42 %. У 86 % изученных кристаллов алмазов доминирует А-форма нахождения примеси, в выборке 10 % алмазов можно отнести к высокоагрегированным алмазам (агрегация более 60 %). Распределение алмазов по процентному содержанию примеси азота в В-форме имеет максимум на 25 %. Концентрация азота в А-форме у некоторых кристаллов достигает 1912 at. ppm. Максимальные значения азота в В-форме – 1817 at. ppm. Высокая степень агрегации (60–100 %) в В-форме азота отмечается у некоторых октаэдров, ромбододекаэдров, переходных форм I разновидности и у единичных кристаллов переходных форм VIII разновидности. Наряду с азотом в различных формах для изученных образцов характерны также пластинчатые дефекты (плейтелетс) и водородные центры. Все кристаллы характеризуются пониженными содержаниями примеси водорода.

В целом, алмазы глубоких горизонтов трубки Мир имеют схожие характеристики с алмазами, найденными на меньших глубинах (по сравнению с геологическими пробами, отобранными из трубки в 2011 и 2014 гг.), – преобладание ламинарных кристаллов I разновидности, характерное проявление полицентризма, прозрачность и большое количество неокрашенных камней. Исключением является габитус алмазов – содержание октаэдров с глубиной уменьшается за счет увеличения доли переходных форм и ламинарных ромбододекаэдров. Количество

целых алмазов на глубоких горизонтах меньше, чем в других пробах трубки, при существенном преобладании нарушенных камней с большими по площади сколами (обломки + осколки), преимущественно, техногенного происхождения. При изменении глубины в диапазоне от -837,1 до -1307,8 м в трубке Мир существенных отличий алмазов по всем изучаемым параметрам не выявлено. Исключение составляет проба 15 выработки скв. 308 в-7 ст-1, которая изучалась отдельно. Алмазы этой пробы отличаются по многим параметрам, сравнение характеристик алмазов «аномальной» пробы с остальным алмазным сырьем позволяет сделать предположение о том, что в этой части располагается высокоалмазоносный ксенолит эклогита.

Таким образом, алмазы трубки Мир имеют свои уникальные характеристики – господство алмазов I разновидности, высокое содержание октаэдрических и переходных форм, средняя степень прозрачности и трещиноватости, преобладание бесцветных кристаллов и розово-сиреневой фотолуминесценции. Эти характеристики практически не меняются в небольшом диапазоне глубин, а по сравнению с алмазами проб 2011 и 2014 гг. изменяются габитус (в сторону уменьшения числа октаэдров) и хрупкость (в сторону увеличения количества кристаллов с большими сколами, преимущественно техногенного происхождения).

Список литературы:

1. Бокий Г. Б., Безруков Г. Н., Клюев Ю. А., Налетов А. М., Непша В. И. Природные и синтетические алмазы. – М. : Наука, 1986. – 220 с.
2. Zaitsev A. M. Optical properties of diamond: A data handbook. – Springer Berlin Heidelberg, 2001. – 502 p.
3. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // Phil. Mag., B. – 1994. – V. 69. – P. 1149–1153.
4. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // Phil. Mag., B. – 1995. – V. 72. – P. 351–361.

**Селиванов П. В. (selivanov@tsnigri.ru), Муравьев В. С.  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИВИЗНЫ РЕЛЬЕФА ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ НА УЧАСТКЕ ШИЛГОН (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

*Приведено обоснование нового подхода для дешифрирования потенциально рудоносных разрывных нарушений с построением растров кривизны рельефа на основе ЦМР высокого разрешения. На основании опыта применения методики на участке Шилгон сделаны выводы о его эффективности при проведении поисковых работ.*

*Ключевые слова: ЦМР, кривизна рельефа, разрывные нарушения, зоны дробления.*

Проведение съемочных и поисковых работ, как правило, сопровождается дешифрированием материалов аэро- и космосъемки. В настоящее время наиболее популярным является дешифрирование снимков, полученных в видимом спектре, в ряде случаев привлекаются материалы спектрональных съемок. Так же ограниченным применением пользуется создание ортофотопланов, используемых с программными методами стереовизуализации, либо с построением анаглифических стереопар.

Наиболее ценной для поисковых целей является информация о размещении разломов, зачастую выступающих в качестве рудораспределяющих и рудовмещающих структур.

Рудопроявления в пределах Шилгонской поисковой площади (Шилгонской ПП) приурочены к сводовой части Бутугасской антиклинали и локализованы в крутопадающих разрывных

структурах восток-северо-восточного простирания, рассекающих дислоцированные углеродистые терригенные толщи пермского возраста. Рудные тела представлены жильно-прожилковыми зонами и «сухими» зонами дробления, зачастую измененными до глинистого состояния. Последние при выветривании легко разрушаются и не дают выраженных механических ореолов, обнаружимых при поисковых маршрутах. Рельеф местности расчлененный, водоразделы сглаженные, долины и склоны покрыты редкой лиственничной растительностью либо мхами и кустарниками. В связи с развитием многолетнемерзлых пород склоны северной экспозиции более крутые, развиты болотные ландшафты.

В пределах Шилгонской ПП по космоснимкам довольно уверенно дешифрируются отдельные крупные разломы, выраженные, как правило, в развитии полос леса на мшистых склонах и развитием заболоченных и залесенных седловин на водоразделах. Однако в местах сгущения разрывных нарушений, наиболее интересных с поисковой точки зрения, происходит «размытие картины», с образованием широких локальных низменностей, визуально не воспринимаемых как четко выраженные разломные линеаменты и легко могут быть спутаны с литологически обусловленными изменениями характера растительности.

При полевых наблюдениях выявлено, что как хорошо, так и плохо дешифрируемые, но известные по данным горных выработок, зоны дробления проявлены в рельефе в виде локальных западин рельефа, с образованием относительно выровненных площадок на водоразделах, на склонах же они практически не различимы глазом.

В связи с такими особенностями работы по дешифрированию были переориентированы на изучение морфологии рельефа. Основой для изучения была взята цифровая модель рельефа ArcticDEM, с пространственным разрешением  $\sim 2$  м/пикс. Для преобразований исходного растрового изображения использовался стандартный пакет инструментов ESRI ArcMap v10.2. Дешифрирование производилось экспертным визуальным определением линеаментов с последующей трассировкой. Результаты так же были сравнены с результатами дешифрирования по космоснимкам в видимом диапазоне.

В первую очередь, был создан набор растров отмывки с использованием инструмента Hilshade при различных азимутах и углах возвышения источника света. Наиболее контрастные картины были получены для освещений, направленных «по касательной» к склонам. Разрывные нарушения при этом выявляются в виде затененных хорошо различимых «рытвин». Данный подход позволяет уверенно дешифрировать крупные разрывные нарушения, в том числе, расположенные в зонах сгущения, плохо дешифрируемых по космоснимкам. Однако ряд более мелких известных нарушений не проявляет себя.

На втором этапе был построен растр кривизны поверхности стандартным инструментом Curvature (ArcMap v10.2). Кривизна поверхности – по сути вторая производная по поверхности рельефа.

На растре кривизны проявляется множество линеаментов, причем как соответствующих уже известным разломам, так и не имеющих такой атрибуции. Разломные зоны выделяются как линейные области, характеризующиеся относительно пониженной кривизной рельефа.

Использование инструмента кривизны поверхности позволяет дешифрировать не только самые крупные разрывные нарушения, но и ряд мелких, что дает возможность использования как дополнительного источника информации для уточнения геологического строения при поисковых работах, в том числе на участках с горными работами. Немаловажно высокое разрешение ЦМР, так как рассматриваемые разрывные нарушения проявлены в рельефе на масштабах первых метров.

Вместе с тем ранжирование разрывных нарушений по масштабам только лишь на основании растра кривизны затруднительно, крупные разрывные нарушения и зоны тектонической переработки в микрорельефе зачастую не проявлены. Поэтому, наилучших результатов можно достичь комплексированием нескольких инструментов дистанционного изучения. Важна так же грамотная геологическая интерпретация и заверка выявленных линеаментов.

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ РАСХОЖДЕНИЙ АНАЛИЗОВ ПРОБ

*Обосновываются возможности выявления систематических расхождений анализа на основе статистического моделирования. Для учета систематических расхождений различных серий анализа предлагается применение традиционных методов описательной статистики, для лабораторного дрейфа – создание статистической модели на основе параметров исходной совокупности анализов и определение ограничений методов. Приведены рекомендации к составлению серий проб.*

*Ключевые слова: систематическое расхождение, математическая статистика, нормальное распределение, F критерий.*

При производстве геохимических поисков «Инструкцией по геохимическим методам...» регламентируется выполнение внутреннего и внешнего лабораторного контроля в объеме 3–5%, но не менее 50 анализов в месяц для оценки систематической и случайной погрешностей анализов [2]. Таким образом, на каждые 100 рядовых анализов приходится 3–5 контрольных, что может быть недостаточным при некоторых условиях. Применение статистических методов в качестве дополнительного контроля имеет потенциал выявления вероятно аномальных серий анализов проб и, следовательно, повышения качества аналитических работ.

В 2008 г. коллективом авторов из ФГУП «ВСЕГЕИ» был предложен метод учета и снятия влияния систематических расхождений между результатами различных серий анализа проб и аналитического дрейфа данных [3]. Тем не менее, авторами не были рассмотрены условия и ограничения метода. Цель данной статьи – заполнить недостающие части метода.

В оригинальной статье основа метода заключается в приведении выборочного среднего арифметического значения отдельных серий анализа проб к истинному среднему значению всей популяции. Вычисление производится для логарифмов содержания полезного компонента. Вариантом на замену выборочного среднего арифметического предлагалось использование линейного тренда выборки. Последний вычислялся методом регрессионного анализа между логарифмом исходного содержания в качестве зависимой переменной и порядковым номером анализа пробы в качестве независимой переменной. Главным условием применения метода заявлялся случайный характер анализа проб.

У данного метода есть две проблемы. Первая состоит в том, что приведение выборочных средних к истинному не оправдано для большинства серий анализа, поскольку согласно центральной предельной теореме выборочные средние являются случайными величинами и их распределение стремится к нормальному при увеличении объема выборки [1]. Как следствие, применение методики ко всем сериям анализа без ограничения приведет к неоправданному смещению содержания в ряде проб – порядка 31,7% проб, если принять значимым поправку на одно стандартное отклонение. Вторая проблема в том, что случайно выбранные пробы могут образовывать локальные тренды в серии анализа, что осложняется отсутствием ясности в выборе степени полинома для выделения тренда. Последнее остаётся на личном восприятии исследователя. Тем не менее, применение методов статистического моделирования позволяет определить серии анализа проб, показывающие аномальное систематическое расхождение и/или аналитический дрейф.

Порядок анализа состоит из следующих шагов:

1. Определение типа распределения.
2. Приведение к нормальному распределению, если отличается.
3. Сравнение дисперсий каждой серии анализа с выборкой, содержащей остальные результаты анализов. Нулевая гипотеза показывает, что абсолютное различие между двумя выборочными распределениями находится в пределах ожидания. Если значение критерия превышает

критическое, то серия анализов отмечается как аномальная и направляется на повторный анализ и исключается из популяции и дальнейшего анализа.

4. По аналогии с предыдущим шагом выполняется сравнение выборочных средних арифметических значений. Среднее арифметическое проверяемой серии анализа стандартизируется по выборочной дисперсии и среднему арифметическому выборки, состоящей из остальных анализов. Полученное значение сравнивается с табличными значениями кумулятивной вероятности стандартного распределения. При превышении допустимой вероятности вводится поправка на систематическое расхождение.

5. На основе параметров (стандартное отклонение и среднее арифметическое) популяции анализов генерируется новая популяция со значительным количеством случайных серий анализов. По каждой серии анализов вычисляются коэффициенты линейных уравнений аппроксимации между порядковым номером анализов в серии и концентрацией полезного компонента. По параметрам распределения коэффициентов определяются рамки допустимых значений. Если коэффициенты линейных уравнений аппроксимации реальной серии анализов превышает допустимые значения, то серия отмечается как аномальная и на выбор исследователя вводится поправка на аналитический дрейф или серия анализов анализируется повторно.

Одним из ключевых требований применения статистических методов для учета систематических расхождений – случайное распределение проб [3]. Предлагается уточнение: случайное распределение проб должно быть выполнено лишь в пределах серии анализов, в то время как серии анализов составляются равномерным способом через условное разрежение сети опробования. Равномерное составление серий анализов позволит избежать повышения дисперсии выборочных средних значений, где крайними случаями являются серии, составленные исключительно из проб фоновго уровня или проб высокоаномального уровня.

Предположим, имеется участок площадью 100 км<sup>2</sup>, включающий рудоперспективную зону площадью 3 км<sup>2</sup>. На участке выполнена геохимическая съёмка по сети 500 × 50 м. Количество рядовых проб составило 4000 шт., в том числе 120 шт. из рудоперспективной зоны. При стандартном объёме лабораторной серии анализов в 100 проб число серий анализа составит 40 шт. Среднее число проб из рудоперспективной зоны в серии анализов тогда составит 3 шт. При случайном выборе проб вероятность того, что количество проб из рудоперспективной зоны будет равно трём, вычисляется по формуле гипергеометрической вероятности:

$$P = \frac{C_K^k \times C_{N-K}^{n-k}}{C_N^n},$$

где:  $P$  – вероятность события;  $C$  – число сочетаний;  $k$  – среднее число проб из рудоперспективной зоны в серии анализов;  $K$  – общее число проб из рудоперспективной зоны;  $n$  – объём серии анализов;  $N$  – общее число проб.

Для указанного примера вероятность выбора трёх проб из рудоперспективной зоны составит 23 %. Таким образом, из сорока серий анализов только девять, вероятно, будут включать среднее количество проб из рудоперспективной зоны. Для равномерного составления серий анализов потребуется условно разредить сеть опробования в 40 раз – до сети 1 × 1 км, поскольку плотность опробования по сети 500 × 50 м составляет 40 проб/км<sup>2</sup>.

Итак, применение статистических методов возможно для выявления аномальных расхождений между сериями анализов и внутрилабораторного дрейфа, но чувствительность методики ограничивается допустимым уровнем значимости (ошибкой первого рода). При стандартном нормальном распределении число аномальных серий составит первые проценты при уровне значимости выше двух стандартных отклонений. Главными условиями использования методики являются нормальное распределение исследуемой переменной и случайное распределение проб внутри серии анализов. Сами серии анализов рекомендуется составлять равномерным способом через условное разрежение сети опробования.

Список литературы:

1. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Кн. 1. – М. : Недра, 1990. – 319 с.
2. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М. : Недра, 1983. – 191 с.
3. Макарова Ю. В., Марченко А. Г., Ильченко В. О. Методы обработки данных литохимических поисков по ореолам и потокам рассеяния // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 72–77.

**Спирина А. В. (shakhtiyarova@bk.ru)**  
**ИГЕМ РАН**

**ДИНАМОМЕТАМОРФИЗМ КОЛЧЕДАННЫХ РУД НОВО-УЧАЛИНСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

*В работе представлены признаки, характеризующие заметный динамометаморфизм руд крупнейшего на Урале Ново-Учалинского месторождения. Месторождение представлено крупной крутопадающей линзой, деформированной в антиклинальную складку и осложненной мощными раздувами и резкими пережимами. При метаморфическом воздействии руды были перекристаллизованы, в участках выклинивания и приконтактных частях они стали полосчатыми и гнейсовидными. Вследствие метаморфизма руд произошла миграция более мобильных элементов в призмковую часть складки.*

*Ключевые слова: Ново-Учалинское месторождение, динамометаморфизм, морфология рудной залежи.*

Одно из крупнейших на Урале Ново-Учалинское медно-цинково-колчеданное месторождение ( $C_{Zn} \gg C_{Cu}$ ) расположено в восточной части Башкирии, в Учалинском районе. Оно представлено крупной крутопадающей линзой, осложненной складкой, раздувами и резкими пережимами. Рудная залежь локализована на большой глубине – более 550 км от поверхности – в толще риодацитов, а сверху перекрыта мощной толщей базальтоидов карамалыташской свиты ( $D_{2ef}$ ). В пределах месторождения закартированы субвулканические и интрузивные образования различного возраста ( $D_{3fm}-C_1t$ ): силлы долеритов, а также секущие рудную залежь маломощные дайки габбро и наиболее протяженная и мощная дайка габбро-диоритов.

Многие колчеданные месторождения Урала в разной степени испытали воздействие контактового и – в результате коллизии Сибирского и Восточно-Европейского кратонов в начале пермского периода – регионального метаморфизма [2, 4, 6, 11, 16], часть из них была преобразована совместно динамометаморфизмом и локальным контактовым метаморфизмом под влиянием даек [1, 3–5, 14, 16]. Признаки явного влияния метаморфизма колчеданных руд были установлены на разных рудных объектах Урала [2, 16], подобно месторождениям колчеданных руд других провинций мира [15, 17].

Вследствие метаморфического воздействия руды теряют «первичное» колломорфное, зональное строение; становятся массивными, минералы приобретают кристаллическое строение. В приконтактных частях с вмещающими породами, на выклинках рудного тела и в эндоконтактах с субвулканическими и интрузивными образованиями отмечаются полосчатые текстуры с элементами гнейсовидности. В результате метаморфизма происходит перекристаллизация главных сульфидов руд (пирита, халькопирита, сфалерита) и их обеднение микропримесями с появлением редких минералов (самородное золото, сульфиды и сульфосоли серебра и др.) [2].

Вмещающие породы Ново-Учалинского месторождения слабо преобразованы в условиях пренит-пумпеллитовой фации, и в то же время рудный объект сильно деформирован [7–8, 10].

Ввиду детализационных подземных эксплуатационно-разведочных работ были обстоятельно изучены участки выклинивания рудной залежи, а также ее взаимоотношения с рудовмещающими вулканитами. Были отмечены признаки, характеризующие заметный динамометаморфизм руд месторождения [12]. Рассланцевание встречается довольно часто в приконтактных частях руды с вмещающими породами. В риодацитах надрудной части разреза по трещинам рассланцевания развиваются серицит и хлорит; отмечается оно и в приконтактных частях даек габбро и габбро-диоритов. В лежачем боку залежи локализованы наиболее рассланцованные серицит-кварцевые и серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты. На контакте с силлами долеритов проявляется локальное рассланцевание; вулканиты и руды при этом приобретают гнейсовидное строение. Ввиду относительной пластичности руд и их облегченной рекристаллизации под действием повышенных температур, признаков их рассланцевания, как правило, не выявляется. Рудная залежь деформирована в антиклинальную складку и характеризуется сильно изменчивой морфологией рудного тела – как по простиранию, так и по падению. В верхней части залежь имеет тупое выклинивание, что вызвано ее будинированием; в нижней части отмечается флексуобразный перегиб. Особенно в северной части месторождения залежь имеет многочисленные раздувы и пережимы; разлинзовывается, имеет апофизы в лежачем боку [12]. Подобный облик залежь приобрела в результате латерального (субширотного) сжатия и соскладчатых деформаций.

На заметное влияние динамометаморфизма также указывают полосчатые, подчеркнутые развитием полиметаллической минерализации (с участием галенита, блеклой руды и др.) и преобладанием линзовидно-полосчатых и различных линейно-ориентированных текстур, которые встречаются практически повсеместно в лежачем и висячем боку верхней части залежи, в месте флексурного перегиба [8]. Их формирование связывается с тектоническим течением [9, 13]. Обычно направление полосчатости в руде параллельно ее контакту. В приконтактных участках в висячем и лежачем боку верхней части рудного тела также отмечаются сланцеватые и гнейсовидные текстуры. Встречаются порфиробластические структуры, а также участки с проявлениями поздних жильных минералов (кварц, кальцит) в ассоциации с перекристаллизованными/перетолженными сульфидами (сфалерит, галенит, блеклая руда), так называемые «альпийские прожилки».

Серноколчеданные руды испытали, в основном, хрупкие деформации, выраженные в проявлении структуры «отжига» пирита, который, в свою очередь, цементируют более пластичные галенит, халькопирит, блеклая руда, сфалерит и образуют гнезда и прожилки. Более хрупкий пирит часто катаклазируется, по трещинам дробления развиваются сфалерит, галенит, халькопирит и блеклая руда, изредка в ассоциации с ними встречается самородное золото. Нередко на фоне основного мелкокристаллического пирита образуются его крупные порфиробласты. Зональный мышьяковистый пирит подвергается перекристаллизации, и появляются крупные агрегаты блеклой руды, а также мелкие зерна редких минералов (касситерит, сульфосоли серебра, арсенопирит).

В медно-цинково-колчеданных рудах встречены крупные линзовидные гнезда катаклазированного пирита, который цементируется кварцем, кальцитом, блеклой рудой, галенитом, халькопиритом. В рудах встречаются сланцеватые микротекстуры, подчеркнутые, например, гнездами барита или галенита в крупном выделении сфалерита. Еще один признак динамометаморфизма руд – появление теней давления в торцевых частях «жестких» включений и кубических кристаллов пирита, а также ассоциации кварца с магнетитом ( $\pm$ гематит) и сфалеритом в поздних прожилках; в сфалерите также наблюдаются эмульсиевидные включения магнетита. Как в висячем, так и в лежачем боку в приконтактных участках появляется полиминеральная ассоциация, представленная галенитом, магнетитом (как крупные гнезда, так и включения в сфалерите). В результате динамометаморфизма происходила миграция более мобильной меди в призамковую часть складки с образованием максимума в мощном раздуве залежи, а цинка локально – в местах изгиба крыла складки.

Таким образом, при метаморфическом воздействии руды месторождения были перекристаллизованы, в результате произошло высвобождение благородных металлов и редких элементов, образование новых минералов (самородное золото, сульфосоли серебра, арсенопирит, касситерит). В участках выклинивания и приконтактных частях руды стали полосчатыми, гнейсовидными,



реже брекчиевидными. На микроуровне пирит подвергся катаклазу, образовались порфиробласты пирита. Более пластичные галенит, блеклая руда и халькопирит образуют крупные гнезда, прожилки, в ассоциации с ними встречаются микронные агрегаты арсенопирита, самородного золота, пирсеита и полибазита. Вследствие метаморфизма руд произошла миграция более мобильных элементов в призматическую часть складки.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 20–05–00849 и базовой темы ИГЕМ РАН.*

#### Список литературы:

1. Бородаевская М. Б., Пирожок П. И., Курбанов Н. К., Нафиков У. С. Возрастные соотношения даек и колчеданных руд в Учалинском рудном поле (Южный Урал) // Труды ЦНИГРИ. – 1967. – Вып. 67. – С. 119–141.
2. Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. – М. : Научный мир, 2004. – 344 с.
3. Викентьев И. В., Карпухина В. С., Носик Л. П., Еремин Н. И. Условия формирования цинково-колчеданного месторождения Таш-Яр, Южный Урал // Доклады РАН. – 2009. – Т. 428, № 5. – С. 633–636.
4. Заварицкий А. Н. Метаморфизм и метасоматизм в Уральских колчеданных месторождениях // Колчеданные месторождения Урала. – М. : Изд-во АН СССР, 1950. – С. 7–18.
5. Иванов С. Н. Обсуждение некоторых современных вопросов образования колчеданных месторождений Урала. Вопросы геологии и происхождения колчеданных месторождений Урала // Труды Горно-геологического института УФАН СССР. – 1959. – Вып. 43. – С. 7–78.
6. Медноколчеданные месторождения Урала. Условия формирования / В. А. Прокин, И. Б. Севракин, Ф. П. Буслаев и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 1992. – 307 с.
7. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината / П. И. Пирожок, В. Н. Скуратов, А. П. Хмелев, С. Е. Знаменский, Н. И. Ковалевский, Г. Н. Пшеничный, Ф. Г. Хамидулина, Ю. П. Григорьев, Е. П. Калинин, А. В. Чадченко – Уфа : Башкирское книжное изд-во, 1994. – 328 с.
8. Ново-Учалинское медно-цинковоколчеданное месторождение Южного Урала / Г. Н. Пшеничный, М. Я. Волькинштейн, Ю. С. Николайченков [и др.]. – Уфа : УНЦ РАН, 1999. – 420 с.
9. Паталаха Е. И. Генетические основы морфологической тектоники. – Алма-Ата : Наука КазССР, 1981. – 180 с.
10. Пирожок П. И. Геологическое строение, зональность и генезис Новоучалинского колчеданного месторождения (Южный Урал) // Известия Уральского государственного горного университета. – 2016. – Вып. 3 (43). – С. 7–12.
11. Рудницкий В. Ф. Метаморфические изменения пород колчеданных месторождений Урала // Межвузовский научный тематический сборник. – 1977. – С. 25–36
12. Спирина А. В., Макаров В. В., Моисеев И. Б., Викентьев И. В. Детализация морфологии рудной залежи Ново-Учалинского колчеданного месторождения (Южный Урал) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2020. – № 2. – С. 35–46.
13. Старостин В. И. Палеотектонические режимы и механизмы формирования структур рудных полей. – М. : Недра, 1988. – 256 с.
14. Ярцев Е. И., Викентьев И. В., Прокофьев В. Ю. Минералого-геохимические свидетельства контактового преобразования руд Джусинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Южный Урал) // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2017. – № 1. – С. 39–44.
15. Corriveau L., Spry P. G. Metamorphosed hydrothermal ore deposits / ed. S. D. Scott // Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. – 2014. – V. 13. – P. 175–194.
16. Vikentyev I. V., Belogub E. V., Novoselov K. A., Moloshag V. P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 85. – P. 30–63.
17. Vokes F. M. Ores and metamorphism: introduction and historical perspectives / eds. P. G. Spry, B. Marshall, F. M. Vokes // Metamorphosed and Metamorphogenic Ore Deposits : Rev. Econ. Geology. – 2000. – V. 11. – P. 1–18.

## МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ ДЕГИДРАТАЦИЯ: ВАЖНЕЙШИЙ ФАКТОР РУДООБРАЗОВАНИЯ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

*Представлен обзор литературы о потере химических элементов при метаморфической дегидратации. На основании многочисленных исследований показано, что метаморфизм является изохимическим для главных породообразующих элементов. Поведение редких элементов может радикально различаться в зависимости от условий метаморфизма, состава протолита и других факторов. Процесс метаморфической дегидратации способен многократно концентрировать рассеянные элементы, формировать важные рудные месторождения и перераспределять подвижные элементы в земной коре. Необходимы дальнейшие исследования факторов и механизмов этого процесса.*

*Ключевые слова: метаморфизм, дегидратация, рудные месторождения, золото.*

Перераспределение элементов флюидами, образующимися в результате метаморфической дегидратации/деволатилизации осадочных пород, является одним из основных процессов, ответственных за дифференциацию земной коры. Сравнение составов пород с аналогичным исходным составом (протолитом) с увеличением степени метаморфизма является основным методом наблюдения и количественной оценки потери вещества, вызванной выносом флюида. В литературе опубликованы многочисленные наблюдения метаморфических комплексов в разных странах, представляющих широкий спектр тектонических обстановок и литологий, которые были изучены на предмет геохимического эффекта метаморфизма. Эти данные суммированы в работе [1].

Породообразующие элементы, а также большинство литофильных и сидерофильных рассеянных элементов не выносятся в результате метаморфической дегидратации. Таким образом, изохимичность метаморфизма для главных компонентов теперь подтверждена на огромном массиве данных и является твердо установленным фактом.

Изменения концентраций рассеянных элементов, вызванные дегидратацией, различны в разных комплексах. Некоторые элементы выносятся почти во всех комплексах, в то время как другие затрагиваются только в исключительных случаях. Ртуть является первым элементом, который теряется из отложений в условиях метаморфизма до начала зеленосланцевой фации, что может совпадать с понижением содержания Cd.

Вынос мышьяка почти повсеместен в метаморфических породах и коррелируется с разложением или перекристаллизацией осадочного пирита во время метаморфизма зеленосланцевой фации, где оно может происходить при схожих температурах как в региональных метаморфических породах, так и при метаморфизме зоны субдукции. Вынос золота, Sb, Ag и W совпадает с потерей As в региональных метаморфических комплексах.

Содержание С и S изменяется в некоторых случаях, но остается неизменным в других. Такие металлы, как Cu, Pb и Zn, обычно сохраняются в процессе метаморфизма, но известны и исключения, когда эти элементы постепенно выносились при метаморфизме верхней зеленосланцевой и нижней амфиболитовой фаций. Хлор может быть утерян при метаморфической дегидратации в некоторых метаморфических комплексах, тогда как F сохраняется. Большинство литофильных элементов проявляют консервативное поведение во время метаморфического улутучивания, включая REE, HFSE и LILE, за исключением Cs, N, U и В в некоторых комплексах, где истощение в одних случаях связано с дегидратацией, а в других, возможно, с началом анатексиса. Потеря флюида может быть ограничена во время высокобарического метаморфизма и в отложениях с обильными карбонатами; в этих условиях вынос рассеянных элементов может быть незначительным.

Метаморфическая дегидратация является эффективным и мощным механизмом концентрации рассеянных элементов в рудных месторождениях. Связь между метаморфизмом метаосадков

и кварц-сульфидными месторождениями золота в складчатых поясах является наиболее изученной. Некоторые другие типы месторождений, вероятно, также связаны с определенными типами метаморфических флюидов.

Список литературы:

1. Stepanov A. S. A review of the geochemical changes occurring during metamorphic devolatilization of metasedimentary rocks // Chemical Geology. – 2021. – V. 568. – P. 120080.

**Столяренко В. В.** <sup>1</sup>(stolyarenko@tsnigri.ru), **Минаков А. В.** <sup>2</sup>(min.aldan@mail.ru),  
**Алферова В. А.** <sup>1</sup>(alferova@tsnigri.ru), **Рябوشапко А. Г.** <sup>1</sup>(ryaboshapko@tsnigri.ru),  
**Минаева С. В.** <sup>1</sup>(minaeva@tsnigri.ru)

<sup>1</sup>ФГБУ «ЦНИГРИ», <sup>2</sup>АО «Якутскгеология» Алданское ОП

### ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ УЧАСТКА ЧУЛКОВСКИЙ В ПРЕДЕЛАХ ТОММОТ-ЭЛЬКОНСКОЙ ПЛОЩАДИ

*Рассмотрены особенности геологического строения и золоторудной минерализации рудопроявления Чулковское, относящегося к лебединскому типу. Золото-серебряное оруденение локализуется в виде залежей лебединского типа как непосредственно в доломитах, так и в силлах сиенит-порфириров, а также в субвертикальных зонах дробления в субщелочных породах.*

*Выявлены основные характерные признаки самородного золота: гранулометрия, морфология и минералы спутники. Установлено наличие крупного золота, оказывающего влияние на достоверность опробования руд традиционными методами. Показана идентичность золота, полученного как из проб протолок, так и из структурного элювия.*

*Ключевые слова: Томмот-Эльконская площадь, участок Чулковский, разрывные нарушения, оруденение, самородное золото.*

В металлогеническом отношении Томмот-Эльконская площадь расположена на стыке юго-западного фланга Лебединского и Нимгерканского рудных узлов Центрально-Алданского золоторудного района.

Для площади характерно многоярусное строение. Нижний ярус, представленный кристаллическим фундаментом, сложен раннепротерозойскими гнейсами и кристаллосланцами, смятыми в складки и рассеченными многочисленными разломами. Верхний – платформенный чехол, образован вендско-нижнекембрийскими карбонатными и юрскими терригенными породами.

Одним из основных факторов, влиявших на развитие золоторудной площади, является ее нахождение в узле пересечения зон дофанерозойских разломов Томмот-Эльконской, СВ простирания и Юхтино-Пуриканской СЗ простирания, что определяет широкое развитие сети разрывных нарушений, от субвертикальных до пологонаклонных, и мелко-блоковое строение. Разрывные нарушения различного простирания, вплоть до субмеридианального, вмещают ранне-позднемиловые дайки ортофириров, сиенит-порфириров, эпидейцитовых порфириров, щелочных трахитов, бостонитов, минетт колтыконского, нижнеякобитского и томмотского комплексов и фиксируются зонами катаклаза, брекчирования, рассланцевания и трещиноватости.

Геологическое строение участка характеризуется переслаиванием доломитов усть-юдомской свиты венда, залегающей субгоризонтально на метаморфических породах архей-протерозойского фундамента и субгоризонтальных силлов сиенит-порфириров верхне-селигдарского комплекса мощностью 20–45 м.

Вся толща прорвана серией даек ортофириров, сиенит-порфириров, минетты, бостонитов и мелкими штоками шонкинитов. В пределах этого участка выявлена золоторудная зона субмеридианального

простирается – зона Чулковская. В ее пределах золоторудная минерализация широко развита в породах осадочного чехла, более локально в дайках и их экзоконтактах и максимально проявлена в силле сиенит-порфиров верхнеселигдаского комплекса.

Золоторудная минерализация приурочена к четырем зонам дробления, образуя субпараллельные золоторудные тела мощностью от первых метров до 40–80 м. В породах осадочного чехла гидротермальные изменения выражаются в лимонитизации и анкеритизации, в силле сиенит-порфиров мезозойского возраста – в калишпатизации, пирит-кварцевом прожилковании и последующей лимонитизации за счёт окисления пирита.

В пределах зоны Чулковская было выделено три рудные зоны.

Рудная зона 1 представлена силлами сиенит-порфиров селигдарского комплекса и доломитами усть-юдомской свиты. Выделяется и рудный интервал мощностью 30,0 м, содержание золота – 1,74 г/т. В пределах рудной зоны 1 золотоносны как сиенит-порфиры, так и доломиты. Наравне с золотым оруденением рудные образования содержат значимые концентрации серебра – до 124 г/т.

Рудная зона 2 представлена контактом дайки сиенит-порфиров с доломитами в узле пересечения с субмеридианальными разломами, где образовалась мощная зона интенсивно лимонитизированных и метасоматически измененных пород с пирит-кварцевой минерализацией. Мощность зоны в канаве составляет 25 м, содержание золота – 1,11 г/т. В скважине мощность зоны уменьшается до 10,5 м, но средневзвешенное содержание золота увеличивается до 2,7 г/т.

Рудная зона 3 представлена зоной дробления на контакте штока шонкинитов с породами осадочного чехла, где сформировались мощные (до 30–40 м) зоны скарнов диопсид-флогопит-кальцитового состава. Средняя мощность зоны по канаве составляет порядка 19,0 м с содержаниями золота 3,48 г/т.

Во вторичных ореолах рассеяния рудоносная зона Чулковская, представленная вертикальными зонами дробления, фиксируется контрастными положительными аномалиями Au, Ag, Pb, W, As. Менее контрастно выражены ореолы кадмия и цинка, сурьма не образует площадные или линейные аномалии и проявляется лишь точечно.

Таким образом, в результате проведенных поисковых работ установлено, что золото-серебряное оруденение на участке Чулковский локализуется в виде залежей лебединского типа как непосредственно в базальном горизонте доломитов, так и в силлах сиенит-порфиров, а также в субвертикальных зонах дробления в субщелочных породах

При изучении золотого оруденения было проведено сопоставление особенностей самородного золота (морфологические и гранулометрические характеристики, оценка степени окатанности, наличие сростков), полученного при шлихоминералогическом опробовании структурного элювия, с золотом, выделенным из протоочных проб.

При просмотре шлихов, полученных из борздовых проб, установлено, что количество выделенных знаков самородного золота различается в исследованных пробах на порядок и варьируется от нескольких единиц до десятков.

В шлихах, полученных из структурного элювия, количество выделенных знаков самородного золота больше и варьируется от десятков до сотен знаков Au, что объясняется обогащением в процессе формирования физической коры выветривания.

Все выделенные знаки золота во всех пробах близки по своим цветовым характеристикам, с незначительными вариациями и смещением оттенка в сторону светло-желтого. Предположительно пробность золота составляет 600–800‰, редко до 900‰. При этом существенно различаются их гранулометрические и морфологические характеристики.

При изучении гранулометрического состава самородного золота, выделенного из протоочных проб и из шлихов, определение размера золотин и разделение на классы крупности, ввиду малого размера навесок, проводилось не при помощи ситового анализа, а под бинокулярным микроскопом. Соотношение различных классов крупности оценивалось визуально (полуколичественно).

Ряд протоочных проб, отобранных из оруденелых пород, вскрывающихся в канавах и являющихся продуцентами россыпного золота на этой площади, показал значимое количество (порядка 30–60 %) золота «крупных» классов – +0,6 мм.

В расчистках, отобранных из структурного элювия, отмечалось аналогичное соотношение металла данных классов, хотя класс +0,6 мм отмечался реже. При этом выход золота класса +0,3 мм составляет (40–65 %).

В ряде случаев наблюдалось несоответствие низких содержаний золота, полученных по данным пробирного анализа, и большого количества знаков золота, в том числе относительно крупных классов – +0,3 мм, полученного как из протолок, так и из структурного элювия. Данный факт однозначно свидетельствует о неравномерном распределении самородного золота в рудах различного морфологического типа на участке Чулковский, что может приводить к значительному влиянию «эффекта самородка» на результаты анализа и к систематическому занижению содержания золота при использовании проб малого объема.

Золото, полученное из бороздовых проб и из структурного элювия, характеризуется разнообразием морфологических форм, с преобладанием гемиидоморфных (комбинированных) форм, с большой долей золота комковидной, интерстициальной, губчатой и трещинно-каркасной (цементационной) морфологии с мелкопористой или ячеистой поверхностью и неровными острыми краями. Часто отмечаются кристаллы и сростки кристаллов. Губчатое самородное золото в ряде случаев представлено полифазным минеральным агрегатом мелких изометричных золотин, сцементированных гидроксидами Fe. Значимая часть золотин, полученных из проб протолок, находится в «рубашках» гидроксидов железа и марганца, часто отмечаются сростки с кварцем.

Установленные морфологические особенности изученного элювиального самородного золота позволяют с высокой вероятностью говорить о незначительной степени его окатанности. Основное количество представлено почти неокатанными золотинами, у которых лишь притуплены острые концы выступов и изогнуты наиболее тонкие ответвления. Часто отмечаются сростки золота (до 20 % от общего количества металла) с минералами вмещающих пород с кварцем, гидрогетитом и полевым шпатом. Подобные признаки характерны именно для элювиальных россыпей и однозначно свидетельствуют об отсутствии перемещений подавляющего количества частиц самородного золота при формировании рыхлых отложений.

Необходимо отметить, что существенная доля губчатого самородного золота представляет собой полифазный минеральный агрегат, состоящий из очень мелких изометричных выделений самородного золота и гидроксидов Fe. Такие сростки, вероятно, являются результатом гипергенного преобразования пирита с густой вкрапленностью или гнездовыми скоплениями мелкой вкрапленности самородного золота. Данные образования при легком надавливании рассыпаются на несколько частиц, и также могут свидетельствовать об отсутствии перемещения от коренного источника, что свидетельствует в пользу автохтонного происхождения подавляющей части полученного шлихового металла.

По минеральному составу золотое оруденение Чулковского рудопроявления относится к золото-сульфидно-кварцевой формации с серебро-золотым типом руд.

В настоящее время участок Чулковский является наиболее перспективным для данной площади. В пределах рудной зоны Чулковская подсчитаны прогнозные ресурсы рудного золота и попутного серебра. Всего по категории P<sub>1</sub> оценено 16,9 т золота при среднем содержании 1,89 г/т и 59,1 т серебра при содержании 6,6 г/т; по категории P<sub>2</sub> оценено 12,1 т золота при содержании 1,88 г/т и 41,6 т серебра при содержании 6,4 г/т.

## ВОЗМОЖНОСТИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

*Использование нейронных сетей для обработки массива накопленной геологической информации позволяет повысить эффективность планирования геологоразведочных работ, автоматизировать процесс формирования проектной документации на проведение алмазопроисковых работ. Вилюйская ГРЭ адаптирует технологии нейросетевого обучения для решения прикладных геологических задач, в частности определения геологического разреза в конкретной точке местности с учетом ранее полученной геологической информации.*

*Ключевые слова: нейронные сети, первичные геологические данные, прогноз, геологоразведка, RSearch, ИСИХОГИ, АЛРОСА.*

Компания АЛРОСА для достижения стратегических целей по сохранению и укреплению лидерских позиций на мировом алмазном рынке активно поддерживает и развивает геолого-информационные технологии, что позволяет двигаться к достижению одной из основных целей – повышению эффективности геологоразведочной деятельности. Достижение поставленной цели невозможно без адаптации, модернизации и автоматизации геологических процессов.

Поисковое бурение – довольно дорогостоящий процесс, поэтому одним из важнейших этапов при проведении ГРР является процесс «планирования бурения». Необходимо выбирать наиболее эффективную сеть бурения, позволяющую максимально охватить исследуемую площадь при минимальных затратах, учитывая вводные геологические параметры. Исследуя геологический разрез района, анализируя работы прошлых периодов необходимо определить общие параметры горных пород, их мощности, глубину залегания и т. д. Все это будет учтено при подготовке проектных геологических разрезов, ляжет в основу при подсчете затрат на проведение буровых работ. Все выше описываемые процессы в настоящее время полностью или частично выполняются в ручном режиме, что значительно сказывается на скорости и качестве их выполнения (человеческий фактор). Это обусловлено, в первую очередь, отсутствием единых баз данных, охватывающих большие площади, использованием разрозненных справочников и т. д.

В АК «АЛРОСА» идет активный процесс оцифровки накопленной информации по работам прошлых лет, хранящимся в геологических фондах. Параллельно этому процессу практически во всех геологических подразделениях первичная геологическая информация поступает и хранится сразу в цифровом виде в информационной системе ИСИХОГИ [5]. Данная система обеспечивает сбор и хранение первичной геолого-геофизической информации в единой базе данных (БД) и ее унификацию. За последнее десятилетие в БД ИСИХОГИ [1] накоплен значительный массив данных на территорию деятельности АК «АЛРОСА», что позволяет приступить к ее вовлечению для обработки в автоматизированных системах и алгоритмах нейронных сетей. Применение нейронных сетей (НС) для аналитики данных позволяет значительно повысить производительность и степень точности прогнозирования при решении геологических задач. Ниже представлена одна из задач для применения НС с использованием накопленной информации БД ИСИХОГИ.

Основным ресурсом для НС являются базы данных [1, 2, 4], которые содержат значительный объем информации по горным выработкам, привязанным в пространстве, в особенности по буровым скважинам: геологическое документирование, ГИС, опробование, категории пород по буримости и т. д. Используя НС для обработки данных по буровым скважинам возможно решать многие задачи – от построения проектных геологических разрезов для аналитики до выбора оптимальной сети бурения и подсчета общего объема ГРР для последующего подсчета затрат на проведение работ. При этом изменение любого одного входного параметра моментально будет учтено и позволит быстро произвести пересчет данных по планированию.

Чтобы в автоматическом режиме строить проектные геологические разрезы на основе информации, содержащейся в БД, необходимо построить модель НС [3], которая описывает целевую среду: на выходе – прогноз названия породы в заданной географической точке на заданной глубине по данным соседних пробуренных на исследуемом участке скважин.

Для решения задачи выделяем из всех доступных данных ИСИХОГИ следующие:

1. Числовые данные. Координатная привязка, включающая X-Y скважин в проекции Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger 19N - EPSG:28479.

2. Категориальные данные. Вид исследования: Интервальное опробование, Литология, Геофизический пласт, Категории пород по буримости, ГИС (Гамма-Каротаж, Электро-каротаж, Оптический каротаж и т. д.).

3. Категориальные данные. Стратиграфический возраст, свита (J1or2, AR1va, O1-2sh и т. д.);

4. Числовые данные. Z скважин + Глубина залегания породы (от–до).

5. Категориальные данные. Название породы (Суглинки, Известняк, Доломит, Автолитовая кимберлитовая брекчия и т. д.).

Выполняем предварительную подготовку данных, так как нейронные сети работают только с числами.

Координатную привязку нормируем в диапазон от 0 до 1, разделим на 100-категорий с интервалом деления 0,01. Получаем категориальные данные, исключаем риск перевеса параметра при обучении сети.

Стандартизируем входные данные по глубине обнаруженных пород, так как первоначально интервалы имеют разную длину, что критично для НС. Глубина залегания породы различна, разбиваем ее на интервалы 0,1 м, информацию по литологии и названию пород дублируем. После глубину залегания породы кодируем в отрезке от 0 до 10 000, получаем вектор, состоящий из 0 и 1, описывающий глубину на интервале до 1000 метров. При этом добавляем к текущему интервалу по глубине значение Z в точке бурения скважины.

Полученные категориальные данные кодируем в One-Hot-Encoding. После объединяем в два входных вектора для подачи в нейронную сеть. Получаем наборы данных: 1 набор = данные по стратиграфии, виду исследования, координатной привязке. Итого около 1000 значений; 2 набор = данные из п. 1 + данные по глубине. Итого около 11 000 значений;

Первый набор характеризует категориальные данные с координатной привязкой, второй набор дополняется информацией по глубине, которая может перебить данные из первого набора, так как содержит 10 000 значений против 1000 в первом наборе. Поэтому первичная модель должна состоять из двух входов, в процессе обучения данные объединяются. Получаем следующую архитектуру:

```
Set2 = Input(shape = (11000,)) #2 набор
```

```
layer1 = Dense(16384, activation = "relu")(Set2); layer2 = Dense(8192, activation = "relu")(layer1); layer2 = Dropout (0.25)(layer2); layer2 = BatchNormalization()(layer2); layer3 = Dense(2048, activation = "relu")(layer2); layer3 = Dropout (0.25)(layer3); layer3 = BatchNormalization()(layer3)
```

```
layer4 = Dense(1024, activation="relu")(layer3)
```

```
Set1 = Input(shape = (1000,)) #1 набор
```

```
Layer5 = Dense(4096, activation = "relu")(Set1); Layer5 = Dropout (0.25)(Layer5); Layer5 = Batch Normalization()(Layer5); Layer6 = Dense(2048, activation = "relu")(Layer5); Layer6 = Dropout (0.25)(Layer6); Layer6 = BatchNormalization()(Layer6); Layer7 = Dense(1024, activation = "relu")(Layer6)
```

```
avg = Average()( [layer4, Layer7] ) #Объединяем наборы
```

```
Layer8 = Dense(768, activation = "relu")(avg); Layer9 = Dense(512, activation = "relu")(Layer9)
```

```
classification = Dense(317, activation = 'softmax')(Layer9) # Классификация
```

В процессе обучения архитектуру НС необходимо оптимизировать с помощью генетических алгоритмов. Для обучения в целях классификации применяется оптимизатор Adam с шагом схождения  $1e-3$ , среднеквадратическая ошибка (Mean Square Error), метрику считаем по средней абсолютной ошибке (Mean absolute error). Данные настройки оптимальны для первичного обучения сети для решения задачи классификации. Итогом обучения будет спрогнозированная литологическая разность породы с учетом пространственной привязки, глубины залегания, возраста. Применять НС можно в ситуациях, когда на территории производились горно-буровые

работы, накоплен некоторый объем геологической информации и требуется постановка новых работ. Оптимальный рекомендуемый интервал для бурения между скважинами будет определен в процессе опытного применения сети и выполнения заверочных работ для подтверждения полученных результатов.

Прогнозируемая глубина разреза будет определяться прогнозом от Z-рельефа до 1000 м с фиксацией нижней границы предполагаемой глубины по породам, обнаруженным в соседних скважинах. Это позволит спрогнозировать глубину проектной скважины, разреза.

Выводы:

1. Использование НС позволяет прогнозировать литологический состав и возраст пород в любой точке, строить проектные разрезы с учетом данных, полученных на основе пробуренных на исследуемом участке скважин.

2. НС можно эффективно применять для обработки первичной геологической информации.

Список литературы:

1. Goncharov E. M., Temchuk K. N., Zarochintseva V. A., Ratkov S. S., Suslonov Yu. V., Salikhov R. F., Salikhova V. V., Parkhomenko E. P., Gritsenko A. V. Informaion system for integration, storage and processing of geological information (ISIHOGI) // Database registration certificate RU 2015621826, 28.12.2015. Application № 2015620831 of 30.06.2015.
2. Kovalchuk O. E., Zabelin A. V., Pomazansky B. S., Kedrova T. V. RSEARCH-Геопривязка // Database registration certificate RU 2016620820, 20.06.2016. Application № 2016620532 of 28.04.2016.
3. Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangelskaya E. Deep learning. Dive into the world of neural networks. – Spb. : Peter publishing house, 2018.
4. Zabelin A. V., Pomazansky B. S., Kedrova T. V. RSEARCH-Стратиграфия // Database registration certificate RU 2016620831, 21.06.2016. Application № 2016620531 of 28.04.2016.
5. Zarochintseva V. A., Ratkov S. S., Suslonov Yu. V., Galperin M. B. Program for management of the field version of the information system for integration, storage and processing of geological and geophysical information (SIHOGI) // Certificate of registration of the computer program RU 2019614783, 04.12.2019. Application No. 2018664239 of 12.11.2018.

**Сычев С. Н.**<sup>1,2</sup> ([sergey\\_sychev@vsegei.ru](mailto:sergey_sychev@vsegei.ru)), **Рогов А. В.**<sup>1</sup> ([aleksandr\\_rogov@vsegei.ru](mailto:aleksandr_rogov@vsegei.ru)),  
**Лебедева О. Ю.**<sup>1,2</sup> ([olga\\_lebedeva@vsegei.ru](mailto:olga_lebedeva@vsegei.ru))  
<sup>1</sup> ФГБУ «ВСЕГЕИ», <sup>2</sup> ФГБОУВО «СПбГУ»

## ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РУДНЫЕ ОБЪЕКТЫ ОМУЛЕВСКОГО ПОДНЯТИЯ (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

*В результате геологического доизучения площади листов Q-55-XXIX, XXX впервые выявлена золоторудная минерализация в двух медно-порфировых объектах. Агынджинская площадь характеризуется обширным распространением медной минерализации и наличием нескольких типов оруденения. К медно-порфировому типу приурочено золотое оруденение. Рассошинская площадь имеет сложное геологическое строение и золото-медно-молибден-порфировый тип оруденения. Объекты обладают высокой перспективностью и требуют постановки поисковых работ.*

*Ключевые слова: медно-порфировое оруденение, перспективная площадь, Омuleвское поднятие, золотое оруденение.*



В результате геологического доизучения площади листов Q-55-XXIX, XXX впервые выявлена золоторудная минерализация в двух медно-порфировых объектах, расположенных в центральной части Омудевского поднятия. Агындинская перспективная площадь находится в северо-западной части Рассошинской складчато-надвиговой зоны, а Рассошинская – в центральной части Арга-Тасской. Рассошинская зона сложена кембрийско-ордовикскими, девон-раннеюрскими вулканогенными и осадочными образованиями, Арга-Тасская – базальтами и сланцами позднего палеозоя–раннего мезозоя. Границы перспективных площадей определяются разломами, ограничивающими выходы рудоносных образований.

*Агындинская перспективная площадь.* Медное оруденение в верховьях р. Агынджа обнаружено в 1974 году Е. П. Сурмиловой с коллегами в ходе геологосъемочных работ [1]. В 80-х годах прошлого века коллективами СВКНИИ [10] и ВСЕГЕИ [3] здесь установлено значительно более широкое распространение медной минерализации и типов оруденения.

Медные руды локализуются в булгутской осадочно-вулканогенной толще верхнего ордовика. Значительную долю в ее разрезе (около 50%) занимают вулканиты: трахиандезиты, трахиандезибазальты и их туфы, которые образуют четко выраженные потоки и покровы мощностью до 20 м, переслаивающиеся с песчаниками, конгломератами и с отдельными горизонтами известняков и доломитов. Обломки в терригенных породах идентичны перечисленным эффузивам. В пределах булгутской толщи располагается ряд рвущих субвулканических тел трахитов и даек трахидолеритов мощностью до 30 м. Трахиты и трахидолериты отнесены к раннемеловому (валанжинскому) комплексу [7]. По петрографическим характеристикам породы булгутской толщи соответствуют вулканическим образованиям шошонитовой формации.

Проявления медного оруденения распространены повсеместно в булгутской толще в между-речье Агынджа и Трюлинья. Наибольшее распространение имеют вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды в вулканических образованиях. Вкрапленная минерализация сопоставима с месторождениями типа «мантос» Чилийско-Перуанской меденосной провинции, где руды развиты в верхних частях потоков миндалекаменных андезитов [10]. Прожилково-вкрапленное (медно-порфировое) оруденение наложено и в основном приурочено к субвулканическим телам трахитов валанжина. В окаймляющих ордовикские вулканиты девонских известняках и доломитах также наблюдается прожилково-вкрапленная минерализация. Значимым рудно-формационным типом на перспективной площади являются медные песчаники, которые перемежаются с медистыми базальтами, впервые открытыми при геологосъемочных работах [1]. Главные рудные минералы представлены борнитом, халькопиритом, халькозином, ковеллином и пиритом. Метасоматические изменения представлены пропилитами и березитами. Чаще всего встречающиеся содержания в штучных пробах 1–3% меди для вкрапленного и прожилково-вкрапленного типов, а для медистых песчаников 0,5–0,7%, при среднем по всем типам около 1,3%. Подсчитанные ресурсы меди категории  $P_3$  при составлении паспорта перспективного объекта составляют 4,352 млн тонн меди на площадь 32 км<sup>2</sup> [9]. Содержания серебра в медных рудах Агындинской площади варьируют от 1 до 150 г/т, при минимальных содержаниях серебра в 5 г/т его ресурсы категории  $P_3$  оцениваются в 218 тонн на аналогичную площадь [9].

Золотое оруденение на данной территории впервые выявлено в 2019 году. Оно связано с субвулканическим телом брекчированных трахитов валанжинского возраста, рвущим образования булгутской толщи. Тело расположено в северо-восточной части выходов пород ордовика в непосредственной близости к контакту с карбонатами девона, отчетливо видно на космоснимке и имеет значительные параметры: протяженность до 5 км и мощность до 170 м.

В четырех штучных пробах были выявлены содержания золота от 5,5 до 11 г/т. Пробы отобраны из близподошвенной и прикровельной части по двум водотокам вкост секущим рудное тело и расположенным на удалении в 1,5 км друг от друга. Для данного тела подсчитаны локализованные ресурсы  $P_3$ , которые при протяженности 5 км, мощности 20 м и глубине 100 м при среднем содержании золота 0,8 г/т и меди 1,3% составили 28 тонн и 455 тыс. тонн, соответственно [6].

*Рассошинская перспективная площадь.* Рудный объект открыт впервые в 2017 году. В ходе работ в пределах Рассошинского гранитного массива (водораздел ручьев Сестра и Готический) выделены по штучному опробованию молибденитовые проявления с содержаниями молибдена до 0,2%, в экзоконтактной части массива обнаружено видимое золото с содержанием 105 г/т,

серебра 9,74 г/т. В других экзоконтактовых проявлениях содержания золота достигали 1,16 г/т. В ходе указанных работ были также выявлены маломощные (до 2 м) зоны скарирования с содержаниями цинка до 1,72 %.

На следующем этапе работ производилась аэрогеофизическая съемка и составление геохимической основы, по совокупности результатов которых в непосредственной близости (в 1–5 км) от Рассошинского массива, к северо-западу был выделен участок для наземных заверочных работ [4]. В ходе заверки были получены карты геофизических полей, которые позволили сделать вывод о наличии зон повышенной проводимости, поляризуемости и калиевого метасоматоза, с которыми связано оруденение, также было выявлено 27 пунктов минерализации. Установлено, что надинтрузивная зона Рассошинского массива подвержена гидротермально-метасоматическим изменениям (калишпатизация, березитизация и аргиллизация) и характеризуются повышенными содержаниями золота (до 3,33 г/т), серебра (до 210 г/т), меди (до 33 %), молибдена (до 116 г/т), свинца (до 4,4 %), цинка (до 1,1 %). Следует отметить, что в 2 км к востоку от пород Рассошинского массива закартирован покров трахитов валанжинского возраста [7].

В пределах выделенного рудного узла площадью 350 км<sup>2</sup> с золото-медно-молибден-порфировым оруденением были подсчитаны прогнозные ресурсы категории P<sub>3</sub>, которые составили 112 тонн золота, 2,07 млн тонн меди и 100 тыс тонн молибдена [8]. Рассошинская перспективная площадь (55 км<sup>2</sup>) включает в себя сам массив и северо-западное его обрамление.

На наш взгляд вышеописанные объекты, расположенные на Омuleвском поднятии, обладают высокой перспективностью, что отмечается и другими исследователями [5]. Наиболее значимым и экономически выгодным для освоения является медное оруденение на Агынджинской площади, хотя внимания и постановки поисковых работ заслуживают оба перспективных рудных объекта.

Возможна связь золото-медно-порфировых объектов территории с валанжинским умеренно-щелочным вулканизмом, ведь для Баимской рудной зоны, расположенной в пределах Олойского вулканического пояса, установлена связь берриас-валанжинского щелочного магматизма с формированием Au-Mo-Cu минерализации [2].

#### Список литературы:

1. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Среднеколымская. Лист Q-55-XXIX, XXX (устье р. Булкут). Объяснительная записка // Е. П. Сурмилова, Г. А. Максимова. – М., 1987. – 115 с.
2. Кара Т. В., Лучицкая М. В., Катков С. М., Белоусова Е. А. Позднеюрско-раннемеловая вулканоплутоническая ассоциация Олойского пояса Западной Чукотки: уран-свинцовые SIMS и LA-ICP-MS данные // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2019. – № 3. – С. 421–433.
3. Кропачев А. П., Коновалов А. Л., Федорова Н. П. Медное оруденение на северо-западе Омuleвского поднятия // Стратиформное оруденение Якутии. – Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1988. – С. 98–110.
4. Лазарев Ф. Д., Кирплюк П. В., Онищенко А. Н. Прогнозирование рудно-магматических систем на основе аэрофизических данных при ГДП-200 // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 4. – С. 26–34.
5. Петров О. В., Киселев Е. А., Шпикерман В. И., Змиевский Ю. П. Прогноз размещения месторождений золото-медно-порфирового типа в вулканоплутонических поясах восточных районов России по результатам работ составления листов Госгеолкарты-1000/3 // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 80. – С. 50–73.
6. Рогов А. В., Сычев С. Н., Лебедева О. Ю., Усманова Е. С. Паспорт учета перспективного объекта № 5661398 [Электронный ресурс]. – URL : <http://p3.vsegei.ru>.
7. Сычев С. Н., Лебедева О. Ю., Худoley А. К., Соколов С. Д., Рогов А. В., Маклашин В. С., Львов П. А. Валанжинский умеренно-щелочной магматизм Рассошинского и Арга-Тасского террейнов (Северо-Восток России) // Докл. РАН. Науки о Земле. – 2021. – Т. 501, № 1. – С. 34–42.

8. Сычев С. Н., Терехов А. В., Молчанов А. В., Рогов А. В., Мельников П. В., Онищенко А. Н., Кирплюк П. В., Лазарев Ф. Д. Паспорт учета перспективного объекта № 566138 [Электронный ресурс]. – URL : <http://p3.vsegei.ru>.
9. Шпикерман В. И., Коновалов А. Л. Паспорт учета перспективного объекта № 5661318 [Электронный ресурс]. – URL : <http://p3.vsegei.ru>.
10. Шпикерман В. И., Мерзляков В. М., Лычагин П. П., Савва Н. Е., Гагиев М. Х., Ликман В. Б. Медное оруденение в ордовикских вулканитах на востоке Якутской АССР // Тихоокеанская геология. – 1988. – № 4. – С. 55–64.

**Тарасов А. С. (tarasov@tsnigri.ru), Куликов Д. А., Карпухина М. В., Толкушкина Е. А.,  
Хромов В. М., Фролова А. С.  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ УКРУПНЕННОЙ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ  
ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ  
КАТЕГОРИИ  $P_1$  И  $P_2$  ЗА 2020–2021 ГГ.**

*По результатам проведения в 2020–2021 гг. в рамках Госзадания апробации прогнозных ресурсов ФГБУ «ЦНИГРИ» выполнена укрупненная геолого-экономическая оценка ряда объектов цветных и благородных металлов. Определены основные показатели экономической оценки – общие инвестиционные вложения и годовые эксплуатационные затраты. Анализ результатов позволил наметить основные факторы, приводящие к отрицательной экономической оценке по ряду объектов с прогнозными ресурсами.*

*Ключевые слова: прогнозные ресурсы, категория  $P_1$  и  $P_2$ , благородные и цветные металлы, укрупненная геолого-экономическая оценка, инвестиционные вложения, эксплуатационные затраты.*

При проведении апробации прогнозных ресурсов кат.  $P_1$  и  $P_2$  предусматривается выполнение геолого-экономической оценки эффективности их освоения по укрупненным показателям (УГЭО). ФГБУ «ЦНИГРИ» за 2020–2021 гг. в рамках Госзадания выполнена укрупненная геолого-экономическая оценка по 23 объектам (57 вариантов оценки) с прогнозными ресурсами благородных и цветных металлов (БЦМ), а также по 15 объектам рудного золота, серебра и меди Магаданской области и по 2 объектам распределенного недропользования.

Геолого-экономическая оценка эффективности освоения прогнозных ресурсов БЦМ выполняется укрупненно на основе уточненных рабочей группой ЦНИГРИ количества и параметров прогнозных ресурсов.

Одними из основных показателей экономической оценки являются общие инвестиционные вложения, необходимые для освоения того или иного объекта и годовые эксплуатационные затраты. Эти показатели принимаются через удельные инвестиционные и эксплуатационные затраты в расчете на 1 т руды, которые, в свою очередь, определяются по аналогии с эксплуатируемыми месторождениями с привлечением корреляционных зависимостей последних от годовой производительности по руде, разработанных ЦНИГРИ в рамках выполнения Госзадания в 2020 г.

Из 23 объектов с прогнозными ресурсами БЦМ, изучаемых за счет средств госбюджета в 2020–2021 гг., 15 объектов имеют положительные экономические показатели, прогнозных ресурсы по которым апробированы и включены в кадастр Росгеолфонда, 8 объектов характеризуются отрицательными экономическими показателями их эксплуатации, прогнозных ресурсы по которым проходят по внутреннему учету ЦНИГРИ.

Выполнен анализ результатов укрупненной геолого-экономической оценки прогнозных ресурсов благородных и цветных металлов категории  $P_1$  и  $P_2$  по объектам, имеющим положительные и отрицательные экономические показатели.

Определены основные причины отрицательных экономических показателей по ряду объектов с прогнозными ресурсами БЦМ:

- низкая степень обоснования прогнозной оценки объекта на площади проектируемых работ;
- проектами поисковых работ определяются достаточно большие (300 и более км<sup>2</sup>) площади объекта изучения, которые для стадии поисковых работ зачастую не полностью изучаются;
- малое количество прогнозных ресурсов, даже при достаточно высоком их содержании (Ваганская площадь, Красногорско-Кабурчакская площадь, Каларское рудопроявление);
- низкое содержание полезных компонентов в сравнении с содержаниями их в эксплуатируемых месторождениях (Малахитовое рудное поле, Ходжарская площадь, Дерясь-Юрягинская площадь, рудопроявление Жаркий);
- сложные горнотехнические условия, в частности высокий коэффициент вскрыши или подземный способ отработки (Лукинское рудопроявление, золоторудные объекты Магаданской области, расположенные под россыпями);
- на одном объекте сильная разобщенность нескольких участков с прогнозными ресурсами – до 10–45 км (Окино-Ийская площадь);
- одновременное сочетание ряда негативных факторов.

**Третьяченко В. В. (29VVT@mail.ru)**  
**ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)**

#### СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ НА АЛМАЗЫ ЮГО-ВОСТОЧНОГО БЕЛОМОРЬЯ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

*Рассмотрены вопросы формационной типизации раннегерцинских вулканических образований Юго-Восточного Беломорья и их контроля относительно структур неоархея–палеопротерозоя, а также платформенного этапа развития региона. Дан авторский вариант формационно-минерагенического районирования с выделением Архангельской (Двинской) алмазонной области в составе раннегерцинской Кольско-Двинской субпровинции кимберлитов и карбонатитов, которая, в свою очередь, является составным таксоном региональной Карело-Кольско-Двинской провинции кимберлитов и карбонатитов.*

*Ключевые слова: Архангельская (Двинская) алмазонная область, Зимнебережный алмазонный район, формационная типизация, вулканический комплекс, геотектоническая позиция, коллизионный ороген, рифтогенная зона, минерагеническое районирование, кимберлитовое (пикритовое) поле.*

В отличие от других алмазонных провинций, на территории Юго-Восточного Беломорья (ЮВБ) весьма отчетливо выражены индикационные типоморфные признаки раннегерцинских вулканических образований, установленных в районах Кулойского плато и Онежского полуострова, где они образуют территориально-сближенные сообщества тел, приуроченных к различным структурам фундамента и платформенного чехла. В этих условиях проблема минерагенического районирования может быть решена только в рамках системного подхода по выделению основных факторов прогноза алмазности территории, которыми являются формационная типизация вулканитов и их геотектоническая позиция при надлежащей оценке информативности ореолов ИМК и алмазов в промежуточных коллекторах [5, 6].

**Формационная типизация.** Рассматривая вопросы формационной типизации вулканитов ЮВБ, мы должны исходить прежде всего из общепринятых базовых основ формационного анализа вулканических образований в соответствии с действующими Петрографическим кодексом

[3] и рекомендациями Петрографического комитета по классификации и номенклатуре магматических пород [2].

В свете этих требований и рекомендаций предопределяется необходимость выделения здесь, прежде всего, ряда таких таксонов как вулканическая формация–субформация (мегакомплекс) и вулканический комплекс как базовый таксон более низкого ранга. При этом согласно Петрографическому кодексу вулканический комплекс – это конкретная ассоциация пород, слагающих геологические тела и их территориально-сближенные совокупности, с общими чертами вещественного состава, морфологии, строения, образованная в течение единого этапа эволюции вулканического процесса в ограниченный отрезок времени. Важнейшим признаком вулканического комплекса следует считать постоянство и устойчивость структурно-вещественных параметров, границами его следует считать резкие нарушения этого признака, которые совпадают с перерывами в вулканическом процессе и изменениями в его характере.

При этом все разнообразие раннегерцинских щелочно-ультраосновных вулканитов ЮВБ в полной мере соответствует семейству щелочных пикритов [2] с выделением в его составе собственно кимберлитов, беспироксеновых щелочных пикритов, фельдшпатоидных пикритов и оливиновых мелилититов, что исключает отнесение к оливиновым мелилититам, а тем более к мелилититам пород Чидвинско-Ижмозерской группы, тр. Суксомы, а также Верхотинских трубок и части Кепинских тел, в составе которых нацело отсутствуют вкрапленники клинопироксена. На востоке ЮВБ развиты вулканиты, соответствующие толеитовым базальтам нормального ряда.

По совокупности базовых петрологических критериев вещественного плана, а также возраста и специфики геологического строения основных сообществ раннегерцинских вулканических образований ЮВБ в качестве наиболее крупных региональных формационных таксонов здесь выделяются щелочно-ультраосновная формация ЮВБ в составе Зимнебережного и Ненокско-Чидвинского мегакомплексов (410–340 млн лет) и Сояна-Пинежский долерит-базальтовый комплекс (390–380 млн лет) долерит-базальтовой формации ВЕП [5–7].

*Зимнебережный мегакомплекс* кимберлитов-беспироксеновых щелочных пикритов объединяет глиноземистые кимберлиты Золотицкого и кимпикриты Верхотинского комплексов, а также железо-титанистые: кимберлиты Черноозерского (тр. им. В. Гриба) комплекса, пикриты и кимберлиты Кепинского, Мегорского, и Мельского комплексов, которые расположены в центральной части Зимнего Берега. При этом, алмазоносные кимберлиты включают в себя низкотитанистый Золотицкий (м-е им. М. В. Ломоносова) и умеренно титанистый Черноозерский (м-е им. В. Гриба) комплексы, глубинный этап формирования которых происходил при умеренном воздействии расплавленного мантийного метасоматоза [4] в рамках наиболее позднего этапа становления 375–340 млн лет [5–7].

Не алмазоносные и весьма убого алмазоносные высокотитанистые кимберлиты и кимпикриты Кепинского и Мегорского комплексов (390–380 млн лет), а также глиноземистые кимпикриты Верхотинского комплекса (375–340 млн лет) характеризуются высокой интенсивностью процессов расплавленного мантийного метасоматоза [4] и окислительным режимом становления [5–7].

*Ненокско-Чидвинский мегакомплекс* (390–380 млн лет) включает в себя глиноземистые фельдшпатоидные пикриты Чидвинско-Ижмозерского и Суксомского комплексов, а также оливиновые мелилититы Ненокского, которые расположены главным образом в южной части Зимнего Берега и в районе Онежского полуострова [5–7].

**Геотектоническая позиция.** Выделенные мегакомплексы занимают резко различное структурное положение. При этом определяющее значение следует придавать новым данным по геодинамике структур кристаллического фундамента (рифей – ранний венд) плитного этапа развития [1, 6, 7], а также изучению приповерхностных и глубинных горизонтов литосферы, основанному на геофизических параметрах [1].

*Алмазоносные кимберлиты Золотицкого и Черноозерского комплексов* контролируются главным образом структурами сжатия: осевой ортогнейсовой зоной палеопротерозойского коллизии Лапландско-Кольско-Двинского орогена (1,8–2,0 млрд лет – Зимнебережный блок, который в отличие от нижеуказанного Северодвинского, по данным МТЗ, характеризуется

как высокоомный, что указывает на наличие мощного литосферного кила); Зимнебережно-Полтинской зоной краевых дислокаций внешней зоны Притиманского перикратона (рифей – ранний венд); центральной зоной раннегерцинского Кольско-Кулойско-Вычегодского валообразного поднятия.

*Неалмазоносные фельдшпатоидные пикриты и оливиновые мелилититы Ненокского, Чидвинско-Ижмозерского и Суксомского комплексов* приурочены к парагнейсовому юго-западному форланду Лапландско-Кольско-Двинского орогена (Северодвинский блок), который в рифее – раннем венде был унаследован Кандалакшско-Двинской рифтогенной зоной. Относительно Кольско-Кулойско-Вычегодского валообразного поднятия это уже его юго-западный фланг.

**Минерагеническое районирование.** В свете вышеизложенного отметим прежде всего, что приведенная выше формулировка вулканического комплекса достаточно близка сути такого минерагенического таксона, как кимберлитовое (пикритовое) поле, которое по В. А. Милашеву являет собой ограниченный по площади блок земной коры с пространственно-сближенной группой однотипных по вещественному составу вулканических тел, формирование которых происходило при сходных термодинамических и тектонических условиях в узком возрастном диапазоне. В иерархии системного подхода это самостоятельный минерагенический таксон, который занимает промежуточное положение между районом и трубкой (кустом, цепочкой трубок).

Выделение минерагенических таксонов ранга района и поля в пределах ЮВБ основывается на их соответствии выделенным мегакомплексам и комплексам. Границы районов определяются главным образом приуроченностью их к основным структурам кристаллического фундамента и рифея – раннего венда, а выделенные в их пределах поля соответствуют характерным морфоструктурам раннекаменноугольного палеорельефа кимберлитовмещающего цоколя при наличии или отсутствии информативных ореолов ИМК и алмазов в промежуточных коллекторах [5–7].

Таким образом, в качестве основных минерагенических районов в пределах ЮВБ выделяются [5–7]:

1. Высокоперспективный Зимнебережный кимберлит-пикритовый алмазоносный район, включающий в себя Золотицкое, Черноозерское, Кепинское, Верхотинское, Мегорское и Мельское поля, контролируемые главным образом ортогнейсовой зоной коллизионного Лапландско-Кольско-Двинского орогена (Зимнебережный блок), Зимнебережно-Полтинской зоной краевых дислокаций внешней зоны Притиманского перикратона рифея – раннего венда, а также апикальной зоной раннегерцинского Кольско-Кулойско-Вычегодского поднятия;

2. Архангельский район фельдшпатоидных пикритов – оливиновых мелилититов с Чидвинско-Ижмозерским, Суксомским и Ненокским полями, контролируемый парагнейсовым юго-западным форландом Лапландско-Кольско-Двинского орогена (Северодвинский блок), Кандалакшско-Двинской рифтогенной зоной рифея – раннего венда и юго-западным флангом раннегерцинского Кольско-Кулойско-Вычегодского поднятия [6, 7];

Итак, исходя из базовых принципов минерагенического районирования, блок земной коры с раннегерцинскими щелочно-ультраосновными вулканитами ЮВБ, определен в ранге Архангельской (Двинской) алмазоносной области, как составной таксон раннегерцинской Кольско-Двинской субпровинции кимберлитов и карбонатитов, которая рассматривается в рамках региональной Скандинавско-Кольско-Двинской (Восточно-Европейской [8]) провинции кимберлитов и карбонатитов. Ранее выделенный минерагенический таксон в ранге Архангельской алмазоносной провинции на сегодняшний день является устаревшим понятием и может рассматриваться только в историческом плане, учитывая значимость открытия алмазоносных кимберлитов на северо-западе Восточно-Европейской платформы.

Список литературы:

1. Божко Н. А., Прусакова Н. А. Особенности тектонического строения Лапландско-Беломорского гранулитогнейсового пояса и перспективы его коренной алмазоносности // Отечественная геология. – 2021. – № 6. – С. 45–64.

2. Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография. Ч. 1. – М. : Наука, 1983. – 368 с.
3. Петрографический кодекс России: Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. – С-П. : ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.
4. Саблуков С. М., Саблукова Л. И., Гриффин В. Л. Распределение редких элементов в глубинных минералах кимберлитов как признак плюмовых процессов на севере Русской платформы // Труды IX международного семинара «Глубинный магматизм, его источники и плюмы». – Миасс, 2009. – С. 135–170.
5. Третьяченко В. В. Минерагеническое районирование кимберлитовой области Юго-Восточного Беломорья : специальность 25.00.11. «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. геол.-минер. наук / Третьяченко Владимир Васильевич. – М. : МГУ, 2008. – 220 с.
6. Третьяченко В. В. Архангельская кимберлит-пикритовая область (особенности формационного состава, геотектонической позиции и минерагенического районирования, прогноз алмазности) // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). – Мирный, 2018. – С. 199–209.
7. Третьяченко В. В. Состояние и актуальные вопросы минерагенического районирования Архангельской кимберлитовой области // Сборник тезисов докладов X Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2021. – С. 223–225.
8. Фролов А. А., Лапин А. В., Толстов А. В., Зинчук Н. Н., Белов С. В., Бурмистров А. А. Кимберлиты и карбонатиты (взаимоотношения, минерагения, прогноз). – М. : НИИ-Природа, 2005. – 540 с.

**Усманова Ш. В.<sup>1</sup> (Shaxina\_u@mail.ru), Каримова Ф. Б.<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup> НУУз им. Мирзо Улугбека, <sup>2</sup> Институт геологии и геофизики Х. М. Абдуллаева**

### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЁШЛИК (АЛМАЛЫКСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ)

*В статье описана геологическая характеристика месторождения Ёшлик: особенности стратиграфии отложений палеозоя, мезозоя и кайнозоя, магматические образования и тектоника. Для изучаемого месторождения показано значение расчленения интрузивных пород, участвующих в локализации оруденения. В частности, можно указать, что сиенит-диориты включают 58% запасов руд, в меньшей степени диориты – 35% и кварцевые монзонит-порфиры – около 7%, а роль остальных пород в локализации рудных тел незначительна. Кроме того, геолого-структурная специфика месторождения Ёшлик определяется двумя системами разломов.*

*Ключевые слова: рудогенез, интрузивная порода, риолит, дайка, сиенит-диорит, штокообразный, месторождение Ёшлик.*

Месторождение Ёшлик расположено на северном склоне Кураминского хребта в пределах Алмалыкского рудного района. Площадь месторождения сложена сиенито-диоритами, диоритами и прорывающими их кварцевыми монзонит-порфирами алмалыкского типа. Вмещающие их песчано-карбонатные отложения, риолиты и андезидациты сохранились в интрузивных породах в виде небольших останцов только на участке Северо-Западный Балыкты [1].

Средне-верхнедевонские песчано-карбонатные отложения ( $D_{2-3}$ ) ложатся как на андезидациты ( $D_1^3$ ), так и на риолиты ( $D_1^2$ ). Взаимоотношения этих пород хорошо наблюдаются на участке Северо-Западный Балыкты и к югу от него.

Интрузии и вмещающие их породы в значительной своей части перекрыты четвертичными отложениями (лессами, галечниками).

Основными рудовмещающими породами Ёшлик (Шаякубов, Голованов, Рахубенков, 1983) являются сиенито-диориты (58% запасов руд), в меньшей степени – диориты (35%) и, наконец, кварцевые монцонит-порфиры (около 7%). Роль остальных пород в локализации рудных тел крайне незначительна [3].

Риолиты ( $D_1^2$ ) широко развиты только на участке Северо-Западный Балыкты. Здесь они слагают центральную часть участка и простираются далее на юг. Залегают риолиты в виде пластообразных тел мощностью от 40 м (на севере) до 400 м (на юге). Общая площадь их распространения составляет около 0,3 км<sup>2</sup>. Кроме того, риолиты развиты в юго-западной части Центрального участка за Кальмакырским разломом, где они также залегают в виде пластообразного тела.

Андезидациты ( $D_1^3$ ) в виде небольшого выхода площадью около 15 тыс. м<sup>2</sup> отмечаются только на участке Северо-Западный Балыкты. Здесь они занимают юго-восточную окраину участка и тянутся дальше на юго-восток-восток за его пределы в виде пластообразного тела мощностью до 20–40 м, рудные тела в них не обнаружены.

Карбонатные (известняки и доломиты) отложения ( $D_{2-3}$ ) обнажаются только на участке Северо-Западный Балыкты в виде небольших останцов (площадью до 27 тыс. м<sup>2</sup>).

Кроме того, они установлены в виде небольших ксенолитов (до 100 м<sup>2</sup>) буровыми скважинами на глубинах до 100 м на Центральном участке и до 600 м на участке Северо-Западный Балыкты (скв. 287, 482, 310 и др.).

Сиенито-диориты  $S_2$  развиты в центральной и западной частях месторождения. Они выходят за его пределы, образуя крупное тело площадью 240 км<sup>2</sup>.

Диориты  $S_2$  слагают восточную часть Центрального участка и частично Северо-Западный Балыкты. На Центральном участке они образуют тело, вытянутое с запада на восток и погружающееся в том же направлении от 0–85 м на западе до 565 м на востоке. На глубине диориты постепенно переходят в сиенито-диориты. На участке Северо-Западный Балыкты диориты окаймляют выходы карбонатных пород.

Кварцевые монцонит-порфиры прорывают сиенито-диориты и диориты. На поверхности они обнажаются только на участке Северо-Западный Балыкты; вскрываются в отдельных скважинах на глубине 100 и более метров под лессовидными породами Центрального участка. На глубине около 1000 м от поверхности апофизы порфировых пород соединяются в единое тело штокообразной формы [4].

К наиболее молодым интрузивным породам относятся дайки диоритовых порфиритов. Они встречены единичными скважинами в виде маломощных тел с неясными элементами залегания. В восточной части месторождения отмечаются маломощные (около 1 м) дайки кварцевых сиенит-аплитов.

Геолого-структурная специфика Алмалыкского рудного поля и месторождения Ёшлик определяется двумя системами разломов.

Первая система представлена несколькими разломами север-северо-западного простирания, не имеющими явного выражения на современной поверхности (не обновлявшимися в эпоху альпийского горообразования). С ними связано размещение малых интрузивов (в частности, вытянутого на север-северо-запад жиллообразного тела кварцевых монцонит-порфиров), а также полей рудоносных метасоматитов.

Вторую систему представляют субширотные разломы – Карабулакский, Кальмакырский, Бургундинский. Они хорошо выражены зонами катаклаза, сопровождаются своими гидротермальными образованиями. Субширотные разломы долгоживущие, контролируют размещение рудной минерализации и обновлялись в альпийское время [2].

#### Список литературы:

1. Медно-порфировые месторождения Алмалыка // Под ред. Х. Т. Туляганова и др. – Ташкент : Фан, 1974. – 186 с.
2. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. – М. : Недра, 1982. – 669 с.



3. Шаякубов Т. Ш., Голованов И. М., Цой Р. В. [и др.]. Полезные ископаемые // Геология и полезные ископаемые Республики Узбекистан. – Ташкент : Университет, 1998. – С. 534–618.
4. Рудные месторождения Узбекистана // Под ред. Н. А. Ахмедова. – Ташкент : ГИДРОИНГЕО, 2001. – 611 с.

**Федоров Д. Т. (dtfedorov@tsnigri.ru)**  
**ФГБУ «ЦНИГРИ»**

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ МИРОВОГО РЫНКА МЕДИ

*Рассмотрено состояние и перспективы мирового рынка меди, динамика затрат на поиски и разведку металла. Дается ценовой прогноз в условиях ожидаемого роста добычи и потребления меди.*

*Ключевые слова: медь, мировой рынок, запасы, производство, потребление, цены, баланс рынка.*

Рынок рафинированной меди с объемом около 25 млн т является третьим по величине из всех используемых металлов, уступая лишь железу и алюминию. Значение меди в промышленности чрезвычайно велико, а динамика рынка имеет высокую корреляцию с колебаниями мировой экономики. Высокая электропроводность, теплопроводность, пластичность и коррозионная устойчивость меди обусловили значительный объем ее применения в различных областях промышленности. До 75 % всей выпускаемой в мире рафинированной меди используется в производстве электропроводников, включая различные виды кабеля и провода.

В 2019 г. мировое потребление рафинированной меди составило 23,6 млн т, увеличившись на 0,3 % по сравнению с 2018 г., преимущественно за счет роста спроса в производстве кабельно-проводниковой продукции. В 2020 г. потребление сократилось на 0,8 % до 23,4 млн т. Главным мировым потребителем меди оставался Китай, доля которого в 2020 г. выросла до 54 %, поскольку, несмотря на пандемию, Китай стал быстро восстанавливать свою экономику. По предварительным оценкам, в 2021 г. мировое потребление выросло на 4 % до 24,4 млн т, что было связано с восстановлением темпов роста мировой экономики, в 2022 г. прогнозируется его рост на 3 % до 25,1 млн т, а в 2023–2025 гг. среднегодовой рост темпов потребления составит также около 3 %. Спрос на медь будет поддержан правительственными инфраструктурными проектами (например, в Китае и США), а также экологическими инициативами и связанными с ними «зелеными» проектами, поскольку возрастет выпуск электромобилей, установок для солнечной и ветровой электрогенерации.

Производство рафинированной меди в мире в 2019 г. увеличилось на 0,3 %, по сравнению с 2018 г., составив 23,5 млн т. В 2020 г. оно увеличилось на 1,7 % до 23,9 млн т. Наибольший рост выпуска продемонстрировал Китай, продолжающий расширять плавильные и рафинировочные мощности. Выпуск рафинированной меди в КНР в 2020 г. вырос на 1 % до 9 млн т, а доля страны в мировом производстве достигла 38 %. Лишь около 20 % китайского производства обеспечивается собственной добычей, а остальное за счет импорта медных концентратов и лома. По оценкам, в 2021 г. мировое производство выросло на 1,3 % до 24,2 млн т, в 2022 г. прогнозируется его рост на 4,5 % до 25,3 млн т, а в 2023–2025 гг. среднегодовой рост темпов производства составит около 2,5 %.

В 2021 г., по предварительным оценкам, рынок перешел в состояние слабого дефицита (–230 тыс. т), биржевые запасы снизились до 314 тыс. т, что соответствует чуть более чем четырем дням мирового потребления. Предполагается, что в 2022–2025 гг. рынок будет находиться в сбалансированном состоянии с преобладанием небольшого дефицита. Опережающий рост спроса будет компенсироваться увеличением сбора и переработки медных ломов в условиях высоких цен, а также ростом добычи в результате дополнительного вовлечения в переработку относительно более бедных руд (забалансовых при низких ценах).

В начале 2020 г. цена меди находилась на уровне 6,2 тыс. долл. США/т, но резко снизилась до 4,6 тыс. долл. США/т в марте на фоне развивающейся пандемии коронавируса COVID-19. Однако уже в апреле, после того как в Китае завершился период жестких карантинных мер и началось восстановление экономической активности, динамика цены на медь сменилась на положительную. Восстановление мировой экономики в 2021 г. от последствий пандемии позволило цене меди уже в первом квартале превысить уровень 9000 долл. США за ту и большую часть г. держаться выше этого значения, достигнув в мае исторического максимума в 10724 долл. США за ту. Средняя цена меди в 2021 г. достигла максимального значения за всю историю – 9317 долл. США за ту. Аналитики прогнозируют, что благодаря повышенному спросу на металл цена меди в ближайшее десятилетие сохранится на высоком уровне, и ее среднегодовые значения будут лежать в диапазоне от 8000 до 9300 долл. США за т.

Добыча меди в мире в 2020 г. снизилась на 1,5%, до 20,6 млн т, что было связано преимущественно с пандемией коронавируса, а также перебоями в работе рудников из-за забастовок в Чили и Перу. По предварительным оценкам, в 2021 г. мировая добыча меди выросла на 2,9% до 21,2 млн т, в 2022 г. прогнозируется ее рост на 7,5% до 22,8 млн т, а в 2023–2025 гг. среднегодовой рост темпов производства составит около 3,5–4%. Ведущим мировым производителем меди является чилийская государственная компания Codelco (1,7 млн т меди или 8% мировой добычи). В пятерку крупнейших также входят Glencore, BHP, Freeport-McMoRan, добывающие 1,2–1,3 млн т, и Southern Copper (около 1 млн т). Крупнейшим медным рудником является чилийский рудник Escondida (1,2 млн т меди или около 6% мировой добычи), управляемый компанией BHP.

По данным USGS (Геологической службы США), суммарные запасы меди категории Proved & Probable Reserves в мире составляют по состоянию на 2021 г. около 870 млн т, а прогнозные ресурсы (Measured & Indicated Resources) – порядка 2100 млн т. Таким образом, при текущем уровне добычи промышленность обеспечена запасами меди на 40 лет, а с учетом ресурсов – более чем на 100 лет. Крупнейшими запасами и ресурсами обладает Чили (около 700 млн т в пересчете на медь). За ней следуют США и Перу (по 200 млн т), а также Австралия и ДР Конго (около 130 млн т) и Россия (100 млн т).

По расчетам аналитиков, после заметного (–24%) снижения до 1,76 млрд долл. США в 2020 г. вследствие пандемии затраты на разведку месторождений меди в мире в 2021 г. выросли на 32% г/г и составили 2,31 млрд долл. США. Исторически за последние 15 лет максимальные затраты (4,7 млрд долл.) пришлось на 2012 г., а минимальные (1,58 млрд долл.) – на 2016 г. Отмечается высокая корреляция между ценами на медь и средствами, которые компании готовы выделять на поисково-разведочные работы. Максимальные затраты на поиски и разведку месторождений меди в 2021 г. приходились на Чили (400 млн долл. США), США (360 млн долл.), Австралию (300 млн долл.), Канаду (200 млн долл.) и Перу (150 млн долл.).

#### Список литературы:

1. Годовой отчет ПАО «ГМК «Норильский никель» за 2020 год [Электронный ресурс]. – URL: <https://ar2020.nornickel.ru/> (дата обращения 18.03.2022).
2. Прокладывая курс к безуглеродному будущему – Норникель, ноябрь 2021 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.nornickel.ru/upload/iblock/a2f/strategy\\_day\\_presentation\\_2021.pdf](https://www.nornickel.ru/upload/iblock/a2f/strategy_day_presentation_2021.pdf) (дата обращения 18.03.2022).
3. УГМК: Рынок меди. Итоги первого полугодия 2021 года 2021 [Электронный ресурс]. – URL: [https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1642067305&tld=ru&lang=ru&name=Obzor-rynka-medi\\_1-plg-2021.pdf](https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1642067305&tld=ru&lang=ru&name=Obzor-rynka-medi_1-plg-2021.pdf) (дата обращения 18.03.2022).
4. LME Copper Official Prices [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lme.com/en/Metals/Non-ferrous/LME-Copper#Averages> (дата обращения 18.03.2022).
5. Mineral Commodity Summaries 2021 by U.S. Geological Survey [Электронный ресурс]. – URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf> (дата обращения 18.03.2022).
6. Southern Copper's Presentation, May 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.southern-coppercorp.com/ENG/invrel/INFDLPresentations/pp210504.pdf> (дата обращения 18.03.2022).

## ПАЛЕОЗОЙСКИЕ РИОЛИТЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РУДНОГО АЛТАЯ

*Приведено объяснение неоднородного внутреннего строения кремнекислых вулканитов базальт-риолитовой формации девона Рудного Алтая. Предложено обоснование выделения среди кремнекислых вулканитов двух типов, различных по степени газонасыщенности исходных расплавов, а также принадлежности одного из типов риолитов к игнимбрикам.*

*Ключевые слова: игнимбрики, кремнекислые вулканиты, газонасыщенные вулканиты, летучие компоненты.*

Девонская контрастная базальт-риолитовая формация, продуктивная на колчеданно-полиметаллическое оруденение [4], представляет собой толщу осадочно-вулканогенных пород, ведущая роль среди которых принадлежит текстурно-структурно- и фациально неоднородным кремнекислым вулканитам [5]. Всестороннее изучение и расчленение последних имеет как научное, так и практическое значение.

Кремнекислые вулканиты по степени газонасыщенности исходных расплавов подразделяются на два типа: производные высокотемпературной «сухой» вязкой магмы, обеднённой летучими компонентами, и производные флюидизированной подвижной магмы остаточных расплавов-рассолов, обогащенных летучими компонентами, ведущая роль среди которых отводится воде и фтору [3, 5].

Почти идентичные по химическому составу вулканиты значительно отличаются по петрографическим признакам [1], что связано с составом летучих компонентов исходных магм и режимом их отделения от расплавов [2]. С последними большинство исследователей Рудного Алтая пространственно, а многие и генетически, связывает колчеданно-полиметаллическое оруденение, по-разному, однако, трактуя их генетическую природу и возрастную принадлежность [5].

Наиболее важна и интересна группа вулканитов второго типа, отвечающая по всей совокупности петрографических и геологических признаков игнимбрикам.

В разрезе контрастной формации отсутствуют вулканические породы промежуточного состава между кислыми и основными членами формации. Однако нередко интенсивная хлоритизация кислых стёкол в игнимбриках и присутствие в них фенокристаллов оливина и пироксенов послужило основанием для отнесения данных кремнекислых вулканитов к породам повышенной основности (главным образом андезитам) [5].

### Список литературы:

1. Авдонин В. В., Дороговин Б. А., Округин В. М. Признаки ликвации в среднедевонских вулканогенных породах (Лениногорский район, Рудный Алтай) // Вестник Московского государственного университета. Геология – 1975. – № 6. – С. 70–74.
2. Караулов В. Б., Филатова Л. К., Никитина М. И. Девонские геологические формации Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай) // Известия вузов. Геология и разведка. – 1997. – № 2. – С. 27–31.
3. Маракушев А. А., Яковлева Е. Б. Генезис кислых лав // Вестник Московского государственного университета. Геология. – 1975. – № 1. – С. 3–23.
4. Филатов Е. И., Ширай Е. П. Формационный анализ рудных месторождений. – М. : Недра, 1988. – 144 с.
5. Филатова Л.К., Филатов Е.И. Кремнекислые вулканиты девонской базальт-риолитовой формации Рудного Алтая // Вестник Российского университета дружбы народов. – 2015. – № 1. – С. 37–43.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АЛМАЗАХ И ЕГО СООТНОШЕНИЕ  
С АЛМАЗОНОСНОСТЬЮ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК

*Соотношение структурных примесей в алмазах и алмазоносности кимберлитов демонстрируется на примере представительных выборок алмазов из крупнейших месторождений мира, а также других трубок Якутии, Архангельской области, Южной Африки, Бразилии, Канады с высокой, средней и низкой алмазоносностью. Выявлена тенденция увеличения алмазоносности трубок с ростом среднего общего содержания структурного азота в кристаллах и его отношения к содержанию водорода. Установлена отрицательная корреляция алмазоносности кимберлитовых трубок и степени агрегации азота в алмазах. Эти соотношения зависят не только от характеристик мантийного источника углерода алмазов, но и от термодинамических условий их кристаллизации. Данные по распределению структурных примесей азота и водорода в кристаллах необходимо учитывать при прогнозной оценке алмазоносности новых кимберлитовых трубок.*

*Ключевые слова: алмаз, алмазоносность, структурные примеси, азот, водород.*

При оценке потенциальной алмазоносности кимберлитов часто используют химический состав минералов-спутников алмаза (хромистый пироп, хромшпинелид и др.), которые служат индикаторами химизма и термодинамических параметров мантийного алмазообразования. Однако данные по минералам-спутникам редко сопоставляют с генетически информативными типоморфными характеристиками самих алмазов. Это особенно важно с учетом того, что не все минералы-спутники сингенетичны алмазу.

В ряду типоморфных свойств алмаза первостепенное значение имеют структурные примеси, которые захватывались кристаллами непосредственно в процессе их роста. В алмазах из кимберлитов главными являются изоморфная примесь азота, представленная парами и тетраэдрическими группами атомов (А- и В-дефекты соответственно), а также химически адсорбированная примесь водорода в виде винильных или винилиденовых групп.

Как было показано нами ранее [2], углерод алмаза и содержащиеся в нем азотные и водородные дефекты имеют единые источники, представляющие собой компоненты древнейшей биомассы, погруженной в мантию вместе с вмещающими породами при субдукции. Исходя из этого можно ожидать наличие положительной корреляции между содержаниями структурных примесей в кристаллах алмаза и алмазоносностью мантийных пород. Вместе с тем соотношение концентраций химических элементов в ассоциации С-Н-Н в среде кристаллизации алмаза зависит не только от изначального состава биомассы (разное содержание азота), но и от термодинамических условий алмазообразования.

Взаимосвязь структурных примесей в алмазах и алмазоносности кимберлитов демонстрируется на примере представительных выборок алмаза из крупнейших месторождений мира, а также других трубок с высокой, средней и низкой алмазоносностью. Сопоставление характеристик алмазов из трубок Якутии, Архангельской области, Южной Африки, Бразилии, Канады (40 объектов) проводилось с использованием базы данных, разработанной в ЦНИГРИ, а сведения по содержаниям алмазов в трубках заимствованы из литературы.

**Общее содержание азота в алмазах ( $N_{tot}$ ).** Из всех известных в мире трубок наивысшей алмазоносностью (>3 кар/т) характеризуются якутские трубки Интернациональная, им. XXIII съезда КПСС, Мир, Нюрбинская, Ботуобинская и Айхал, которые относят к категории весьма высокоалмазоносных [1]. Алмазы всех этих трубок, кроме Айхала, имеют в общей массе относительно повышенное среднее содержание азота ( $N_{tot} \sim 450-550 \text{ at. ppm}$ ).

На месторождении им. М.В. Ломоносова Архангельской области установлено, что трубки Архангельская и им. Карпинского-1, которые содержат преимущественно высокоазотные ( $N_{tot} \sim 1370-1400 \text{ at. ppm}$ ) алмазы, характеризуются более высокой алмазоносностью (1-1,2 кар/т),

чем соответственно трубки Ломоносова и Пионерская (0,5–0,7 кар/т) с низкоазотными алмазами ( $N_{tot} \sim 180\text{--}300$  ат. ppm).

**Степень агрегации азота в алмазах ( $\%N_B$ ).** Относительное содержание в кристаллах азота в В-форме отражает температуру алмазообразования.

В Золотицком поле Архангельской области в алмазах из пяти трубок, относящихся к месторождению им. М. В. Ломоносова среднее значение  $\%N_B$  составляет 23–30. В отличие от этого низкоалмазоносные трубки Золотицкого поля содержат алмазы с повышенным средним значением  $\%N_B \sim 41\text{--}50$ .

Для алмазов из месторождений Якутии и Архангельской области выявлена отчетливая отрицательная корреляция между средним значением степени агрегации азота в кристаллах ( $\%N_B$ ) и содержаниями алмазов в трубках. В виде тенденции это прослеживается и для трубок всех алмазоносных провинций мира.

**Содержание водорода в алмазах.** Изучено соотношение средних содержаний азота и водорода (N/H) в выборках алмаза из кимберлитовых трубок, характеризующихся весьма высокой, высокой, средней и низкой алмазоносностью. Установлено, что наибольшие содержания алмазов наблюдаются в трубках с определенным соотношением среднего содержания азота и водорода в кристаллах, а именно максимальным по азоту и минимальным по водороду. Из всех изученных объектов такими параметрами обладают трубки Интернациональная, Мир, им. XXIII съезда КПСС, Ботуобинская.

По соотношению азота и водорода в кристаллах построена диаграмма, на которой представлены области распространения трубок с разной степенью алмазоносности. Характерно, что минимальным содержанием азота по отношению к водороду обладают наиболее глубинные алмазы из трубок района Жуина в Бразилии. Согласно предварительной оценке, эти трубки являются средне- и низкоалмазоносными.

Для алмазов из кимберлитов выявлена тенденция уменьшения  $N_{tot}$ , N/H и, соответственно, увеличения  $\%N_B$  с глубиной алмазообразования. По распределению азота в кристаллах можно сделать вывод о том, что алмазы Южной Африки в целом являются более глубинными по сравнению с алмазами Якутии, что является одной из возможных причин разной степени алмазоносности трубок сопоставляемых регионов.

Таким образом, при прогнозе алмазоносности новых кимберлитовых трубок нужно учитывать данные по распределению структурных примесей азота и водорода в кристаллах.

#### Список литературы:

1. Подчасов В. М., Минорин В. Е., Богатых И. Я., Голубев Ю. К., Граханов С. А., Кривонос В. Ф., Подвысоцкий В. Т., Харьков А. Д., Эринчек Ю. М., Ягнышев Б. С. Геология, прогнозирование, методика поисков, оценки и разведки месторождений алмазов. Кн. 1. / отв. ред Митюхин С. И. – Якутск : СО РАН, 2004. – 548 с.
2. Хачатрян Г. К. Азот и водород в кристаллах алмаза в аспекте геолого-генетических и прогнозно-поисковых проблем алмазных месторождений // Отечественная геология. – 2013. – № 2. – С. 24–42.

Хачатуров М. М. (hachaturov@tsnigri.ru), Зайцева М. Н., Филиппова С. С.  
ФГБУ «ЦНИГРИ»

## МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОД МУЛИНСКОЙ ПЛОЩАДИ КЛИЧКИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

*Рассмотрены и кратко охарактеризованы метасоматические процессы в породах Мулинской площади, перспективных на выявление золотополиметаллической минерализации, роль в рудообразовании и причины метасоматических изменений.*

*Ключевые слова: метасоматоз, вулканизм, кольцевые структуры центрального типа.*

Мулинская площадь расположена в Кличкинском рудном районе (Забайкалье), относится к Приаргунской минерагенической зоне [2, 3].

Площадь сложена вулканогенно-кремнисто-терригенной формацией (ВКТ), которая представлена тремя субформациями: вулканогенно-терригенной (ВКТ<sub>3</sub>J<sub>3</sub>), базальт-андезит-дацитовый (ВКТ<sub>2</sub>J<sub>2-3</sub>), базальт- (андезит)-дацитовый углерод-кремнисто-терригенной (ВКТ<sub>1</sub>J<sub>2</sub>) и моласовой формацией (МJ<sub>1-2</sub>). Юрские образования прорваны субвулканическими телами риолитов и мелкими штоками средне-позднеюрских моноцитов и граносиенитов, реже сиенит-порфирами. Рудоносными субформациями являются ВКТ<sub>3</sub>J<sub>3</sub> и ВКТ<sub>2</sub>J<sub>2-3</sub>.

В пределах Мулинской площади наиболее крупным вулканическим центром является Мулинская вулканическая постройка, по сути представляющая собой кальдеру обрушения, сложенную андезитами, трахиандезитами, трахибазальтами, лавобрекчиями и туфолавами преимущественно среднего состава субщелочного ряда и дацитами, которые следует относить к базальт-андезит-дацитовый субформации (ВКТ<sub>2</sub>J<sub>2-3</sub>). Высокое содержание калия в этих породах свидетельствует о высокой вязкости расплава, чем объясняется кольцевое распространение субщелочных разновидностей, указанных выше, положение которых соответствует кольцевой структуре центрального типа [5].

В центральной части ВТС находится Мулинский гипабиссальный шток, имеющий лополитообразную форму и сложенный сиенитами, граносиенитами, порфиоровыми сиенитами, сходный по строению с субвулканическим телом сиенитов на месторождении Нойон-Тологой. Сиенитовый шток внедряется в вулканогенные породы, представленные андезитами, трахиандезитами, дацитами, трахибазальтами. Контакты Мулинского штока и вмещающих вулканических пород подвержены процессу вторичных метасоматических изменений, классифицируемых как процесс пропилитизации, кроме того, процесс поствулканической пропилитизации широко проявлен на больших площадях по породам среднего и основного состава.

В результате метасоматических изменений андезитов и трахиандезитов образуются минеральные ассоциации: альбит, хлорит, эпидот, пирит, а при изменении дацитов и трахидацитов – хлорит, серицит, кварц, пирит. Данные минеральные ассоциации характерны для пропилитов. Вблизи рудных зон пропилитизированные породы иногда полностью замещаются вторичными околорудными изменениями кварц-серицит-карбонатного, хлорит-карбонатного состава.

Серицит-кварц-карбонатная порода лепидогранобластовой структуры, в которой полевые шпаты замещены кварцем, серицитом, карбонатом, а промежутки между ними выполнены кварцем. Повсеместно отмечается тонковкрапленный пирит.

Хлорит-карбонатные породы, лепидогранобластовой структуры, пятнистой текстуры развита, вероятно, по породам среднего состава.

В породах, подверженных процессу пропилитизации, промышленного оруденения, подтвержденного аналитическими данными, пока не установлено. Однако видимая рудная минерализация в керне скважин, представленная сфалеритом, галенитом в ассоциации с пиритом, содержанием порядка 1 % от массы породы отмечается на глубине от 270–300 м. Зоны рудной минерализации приурочены к метасоматитам кварц-серицит-карбонатного состава, близкими к березитам. В целом ряде работ показано, что низкотемпературный процесс пропилитизации предшествует формированию оруденения [1, 4]. Породы фации пропилитизации и наложенные

на них процессы формирования окolorудных кварц-карбонат-серицитовых метасоматитов в пределах Мулинской площади являются благоприятным поисковым признаком для обнаружения полиметаллической минерализации. Изучение метасоматитов Мулинской площади будет продолжено по мере поступления фактического материала.

Список литературы:

1. Василевский М. М. Вулканизм, пропилитизация и оруденение. – М. : Недра, 1973. – 280 с.
2. Кузнецов В. В., Брель А. И. [и др.]. Особенности строения и минералогическая характеристика руд полиметаллического месторождения в вулканогенных ассоциациях (VMS) Нойон-Тологой // Отечественная геология. – 2021. – № 6. – С. 65–84.
3. Кузнецов В. В., Брель А. И. [и др.]. Металлогения приаргунской структурно-формационной зоны // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 32–43.
4. Русинов В. Л. Геологические и физико-химические закономерности пропилитизации. – М. : Наука, 1972. – 204 с.
5. Тарабарко А. Н. Структура и золото-полиметаллическое оруденение Мулинской рудно-магматической системы : специальность 25.00.11 "Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения" : автореф. дис. на соискание учёного степен. канд. геол.-минерал. наук / Тарабарко Александр Николаевич. – Иркутск. – 2001. – 160 с.

**Черкасов М. М.<sup>1</sup> (mirinfo@alrosa.ru), Самсонов Н. Ю.<sup>1</sup>, Гудин А. Н.<sup>1</sup>,  
Проскурнин В. Ф.<sup>2</sup> (vsegei@vsegei.ru), Шнейдер А. Г.<sup>2</sup>, Кисельников Ю. В.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> АК «АЛРОСА» (ПАО), <sup>2</sup> ФГБУ «ВСЕГЕИ»**

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВОЙ ФОРМАЦИИ В ПРЕДЕЛАХ БОРЗОВСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ НА П-ВЕ ЧЕЛЮСКИН (ПОЛУОСТРОВ ТАЙМЫР)**

*Комплексный анализ фондовых и опубликованных материалов позволяет прогнозировать на территории Таймыро-Североземельской золотоносной провинции объекты золото-сульфидно-кварцевой формации, приуроченные к минерализованным зонам в пределах Борзовской перспективной площади, сходные с золоторудными объектами районов складчатых областей позднего докембрия Енисейского кряжа и Восточного Саяна.*

*Ключевые слова: полуостров Таймыр, мыс Челюскин, Борзовская перспективная площадь, золото, золото-сульфидно-кварцевая формация, прогнозные ресурсы.*

Борзовская площадь расположена на самой северной материковой части России, полуострове Челюскин. Этот полуостров является важной золотороссыпной и золоторудной территорией Таймыро-Североземельской золотоносной провинции, имеет серьезные перспективы открытия золоторудных месторождений. Сейчас здесь проводятся поисковые работы за счет недропользователей на рудное золото, разведка и разработка россыпных месторождений. В рамках новой программы по развитию Арктической зоны Российской Федерации полуостров Челюскин рассматривается в качестве одного из ключевых районов по наращиванию производственного потенциала. Исключительно важным в этом плане является выполнение геологоразведочных работ за счет средств федерального бюджета, в первую очередь на рудное золото.

Наиболее полный обзор и анализ вопросов геологической, геофизической, геохимической изученности территории, включающей Борзовскую площадь, приведен в отчете по групповой геологической съемке масштаба 1:200 000 в изданных государственных геологических картах масштабов 1:200 000 [2] и 1:1 000 000 [3, 4]. Значимые сведения по полезным ископаемым, в том числе непосредственно на Борзовской площади, изложены в тематических работах КНИИГиМС.

Борзовская площадь располагается в пределах Борзовского потенциального рудного узла Мамонтовско-Лаптевской минерагенической зоны Карской минерагенической области Таймыро-Североземельской минерагенической провинции. В геолого-структурном отношении площадь приурочена к Мамонтовско-Лаптевской позднерифейской аккреционной зоне Центрально-Таймырской складчатой мегазоны [1, 6]. В строении узла участвуют верхерифейские островодужные базальты, андезиты, дациты (борзовская толща) и несогласно перекрывающие их карбонатно-терригенные углеродистые отложения (продольнинская толща), зеленосланцево-метаморфизованные и сложномятые. Они со структурным несогласием перекрыты верхневендско-нижнепалеозойскими карбонатно-терригенными углеродистыми неметаморфизованными отложениями и прорваны позднепалеозойскими гранодиоритами лодочниковского комплекса.

В пределах узла широко развиты метаморфические и гидротермально-метасоматические образования (ГМО), связанные с двумя типами процессов: позднерифейским динамометаморфизмом и позднепалеозойским образованием гранитоидов. К ранним образованиям отнесены динамометаморфиты и сопряженные пропилиты, березиты, сульфидно-кварцевые жилы, к поздним – контактовые роговики, скарноиды, пропилиты и слабопроявленные березит-аргиллизиты. Выявленные на рассматриваемой территории ГМО характерны для тектоногенной пропилит-серицитолитовой и оксеталитовой региональных метасоматических формаций [5].

В пределах площади имеются проявления, пункты минерализации и геохимические аномалии Au, Ag, W, Bi, Te, Mo, U, Th, Fe, Zn, Cu, Ni [2]. В южной и северной частях Борзовской площади обнаружены площадные литохимические аномалии золота с содержанием 0,01–0,9 г/т и крупные шлиховые ореолы золота. Золотоносными в пределах узла являются все типы сульфидной минерализации. На локальных участках установлены повышенные содержания золота до 0,8–4 г/т и серебра до 10–100 г/т. Для рудного узла, в рамках которого выделена Борзовская площадь, приняты прогнозные ресурсы золота категории  $P_3$  в количестве 125 т (паспорт учета перспективного объекта № 2660737 от 01.04.2013).

Комплексный анализ материалов позволяет предположить полигенетичность зон минерализации Борзовского потенциального рудного узла. Прогнозируемый рудно-формационный тип объекта – золото-сульфидно-кварцевый, ожидаемый геолого-промышленный тип – золото-сульфидно-кварцевый жильно-прожилково-вкрапленный в тектонически деформированных и метасоматически измененных карбонатно-терригенно-вулканогенных углеродистых образованиях. В целом геолого-структурная и металлогеническая позиции Борзовской площади типичны для золоторудных районов с месторождениями золото- (сульфидно)-кварцевой формации складчатых областей позднего докембрия (типа Енисейского Кряжа, Восточного Саяна). В пределах Борзовской площади предлагается постановка поисковых работ с локализацией ресурсов до категории  $P_2$ .

#### Список литературы

1. Верниковский В. А. Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области. Новосибирск : СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996. – 202 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Таймырская. Листы Т-47-XXVIII, XXIX, XXX (р. Марга); Т-48-ХІХ, ХХ; ХХІ (п. ст. Челюскин); Т-48-ХХІІ, ХХІІІ, ХХІV (о-в Самуила); Т-48 ХХV, ХХVІ, ХХVІІ (плато Лодочникова); Т-48-ХХVІІІ, ХХІХ, ХХХ (залив Симса) / ред. Н. С. Малич. – СПб., 2000. – 186 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Листы Т-45-47 (о. Октябрьской Революции) и Т-48-50 (о. Большевик). Объяснительная записка / ред. Н. С. Малич. – СПб. : Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2003. – 213 с.
4. Качурина Н. В., Макарьев А. А., Макарьева Е. М. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серии Северо-Карско-Баренцевоморская и Таймырско-Североземельская. Лист Т-45–48 – м. Челюскин. Объяснительная записка. – СПб. : Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. – 568 с.



5. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. – 2012. – Т. 354. – 560 с.
6. Проскурнин В. Ф. Минерагенический анализ Таймыро-Североземельского региона и оценка его золотоносного потенциала : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. на соискание учен. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Проскурнин Василий Федорович. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2013. – 40 с.

**Черных А. И. (tsnigri@tsnigri.ru), Иванов А. И., Наумов Е. А.  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

#### МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА ЗОЛОТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ – ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

*Приведены основные сведения о состоянии минерально-сырьевой базы (МСБ) золота Российской Федерации и тенденциях ее развития. Определен ряд проблем, от решения которых зависит дальнейшее наращивание МСБ золота: кадровый дефицит в области рудной геологии, ухудшение структуры запасов золота, отсутствие востребованных недропользователями крупных месторождений в нераспределенном фонде недр, исчерпание поискового задела, крайне недостаточный объем научно-исследовательских работ на золото и др. Предложены направления для решения некоторых проблем: внедрение механизмов финансирования работ по заявительному принципу и обороту лицензий, проведение прогнозно-минерагенических работ, развитие технологических исследований, значительное увеличение НИОКР в области прогноза и поисков золотого оруденения и др.*

*Ключевые слова: золото, минерально-сырьевая база, запасы, добыча, заявительный принцип, поисковые работы, прогнозно-минерагенические работы.*

Золото относится к высоколиквидным видам твердых полезных ископаемых (ТПИ) и является одним из наиболее востребованных видов полезных ископаемых. В «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года» золото отнесено к группе ТПИ, недостаточно обеспеченных запасами, что определяет необходимость целевого изучения состояния и перспектив развития его минерально-сырьевой базы. Среди всех видов ТПИ на золото выдано больше всего лицензий – 7493 ед., т.е. 77% от общего количества, по данным на 01.01.2022. Финансирование геологоразведочных работ (ГРР) на золото от всех видов ТПИ в последние пять лет составляет около 52–63% за счет средств недропользователей и около 59% за счет федерального бюджета. Золото является одним из наиболее ценных видов экспортного сырья. В 2021 г., по данным Федеральной таможенной службы России, объем экспорта золота из РФ в натуральном выражении составил около 302 т, в денежном – 17,4 млрд долл.

Российская Федерация занимает одно из ведущих мест в мире по запасам, объемам добычи и экспорту золота. Основу МСБ золота страны (балансовые запасы категорий АВС<sub>1</sub> С<sub>2</sub> по состоянию на 01.01.2021 г.) составляют собственно золоторудные (около 10 500 т) и комплексные (около 3690 т) месторождения. В отличие от большинства золотоносных районов мира значительная доля балансовых запасов сосредоточена и в россыпных месторождениях (около 1120 т).

В последние годы в РФ непрерывно возрастает объем добычи золота из всех типов месторождений: в 2014 г. около 312 т, а в 2020 г. уже около 428 т. Несмотря на то, что в 2018–2020 гг. темпы роста добычи замедлились, в ближайшие годы предполагается ее дальнейший рост, прежде всего за счет разработки крупных месторождений. Вместе с тем за последние 20 лет в области восполнения МСБ золота накопился ряд проблем, без скорейшего решения которых невозможно дальнейшее наращивание запасов золота и увеличение добычи в средне- и долгосрочной перспективе.

1. Самой важной проблемой является дефицит квалифицированных кадров в области геологического изучения ТПИ и золота, в частности, что напрямую сказывается на восполнении МСБ золота. Без комплексного решения этой проблемы невозможно преодоление многих других проблем в области геологического изучения недр.

2. В нераспределенном фонде недр (НРФН) отсутствуют привлекательные для недропользователей золоторудные средние и крупные по запасам месторождения. Последние крупные золоторудные месторождения Кючус и Култуминское лицензированы в 2021 и 2022 годах. Так, с 01.01.2017 г. по 01.01.2021 г. для собственно золоторудных месторождений доля запасов, находящихся в распределенном фонде недр (РФН), выросла с 70,1 до 91,2%, для россыпных – с 53,8 до 59,6%, для комплексных месторождений высокая доля РФН на уровне 90% осталась без изменения.

3. Наблюдается стабильное ухудшение структуры запасов золота РФ. В общих балансовых запасах золота собственно золоторудных месторождений доля запасов непромышленной категории  $C_2$  в балансовых запасах постоянно увеличивается – с 34 в 2006 г. до 45% в 2020 г.

4. С каждым годом возрастают потери золота при его добыче – в 2004 г. разница между показателями списания балансовых запасов и производством золота в целом из всех типов месторождений составляла 15,1%, а в 2020 г. уже 23,3%. Это связано, в первую очередь, с увеличением технологических потерь на стадии переработки руд собственно золоторудных месторождений в связи с ухудшением их качества и увеличением в общей добыче золота доли комплексных месторождений, характеризующихся относительно более низкими технологическими показателями его извлечения.

5. Несмотря на то, что с 2014 г. по «заявительному принципу» на золото выданы 4151 лицензия на россыпное и 1064 лицензии на коренное золото (данные на 01.01.2022), эффект от него в плане подготовки балансовых запасов невысокий – так, с 2014 г. подготовлены лишь 74,4 т балансовых запасов золота, в том числе 45 т по семи коренным объектам. Все же в ближайшие годы мы ожидаем увеличения ежегодной доли прироста запасов золота на участках, выданных по «заявительному принципу», по отношению к общему объему прироста запасов. Главные причины недостаточной эффективности ГРП по «заявительному принципу» – отсутствие эффективных механизмов финансирования, недостаточно глубокий анализ геологических данных с точки зрения локализации рудоносных структур и перспективных локальных участков, применение неэффективных методик поисков в условиях «закрытых» территорий.

В определенной степени эффективность «заявительного принципа» может повысить лицензирование участков с прогнозными ресурсами категорий  $P_1$  и  $P_2$ , но такую возможность необходимо распространить на территорию всей страны. Но еще более актуальным является создание условий для увеличения объемов проведения реальных ГРП. По имеющимся оценкам, геологические работы ведутся не более чем на 10% участков, лицензированных по «заявительному принципу». Для активизации ГРП по таким лицензиям необходимо в первую очередь создать эффективные механизмы финансирования ГРП и оборота лицензий. Нужно создать возможности для продления сроков пользования недрами лицензиантам, которые проводят ГРП, и ужесточить контроль с прекращением права пользования недрами для тех, кто их не проводит.

6. Одна из острейших проблем восполнения МСБ – это резкое снижение количества перспективных участков, подготовленных для проведения поисковых работ. За средства федерального бюджета проводятся в основном поисковые работы, что приводит к еще большему исчерпанию поискового задела. Выбор новых перспективных площадей для проведения таких работ осуществляется преимущественно на основе анализа геологических, геофизических и геохимических материалов советского периода. При этом по мере отбора для проведения поисковых работ самых лучших в имеющемся банке участков степень обоснованности постановки поисковых работ неминуемо снижается. Это приводит к удорожанию ГРП и постоянному увеличению стоимости прироста тонны прогнозных ресурсов золота в рамках госконтрактов на фоне снижающегося финансирования за счет средств федерального бюджета. Так, в 2014 г. объем бюджетного финансирования на ТПИ составлял около 17,1 млрд руб., в том числе на золото 7,9 млрд руб., а в 2021 г. на ТПИ – 4,9 млрд руб., в том числе на золото 2,6 млрд руб. Как следствие, снижается результативность завершенных поисковых работ на золото. И если

в 2014 г. было подготовлено около 443,1 т условных запасов золота ( $C_2 + 0,7P_1 + 0,5P_2$ ), то в 2021 г. – 131,6 т.

Для восполнения поискового задела необходимо развертывание в перспективных рудных районах РФ геологоразведочных работ ранних стадий, прежде всего прогнозно-минерагенических (ПМР). Этот вид работ должен проводиться в слабоизученных в поисковом плане регионах (Арктическая зона РФ, ДФО, СФО), а в старых горнорудных районах – для локализации участков, перспективных на «традиционное» оруденение в скрытом и перекрытом залегании и на выявление объектов новых геолого-промышленных типов. Целевым назначением ПМР является выделение перспективных площадей для постановки поисковых работ с подготовкой апробированных прогнозных ресурсов категории  $P_2$ , а также  $P_3$ . ПМР ориентирован на отдельный вид полезных ископаемых (геолого-промышленный тип) или группу генетических связанных полезных ископаемых. Работы должны проводиться в пределах металлогенических границ рудных районов или узлов для выявления в их пределах закономерностей локализации полезных ископаемых. В процессе выполнения ПМР производятся сбор и анализ имеющихся дистанционных, геологических, геофизических, геохимических и металлогенических данных в целях выделения перспективных участков для дальнейшей полевой заверки прогнозных построений. Полевые исследования должны включать комплекс геохимических и геофизических методов, горные, буровые и другие виды работ. Предусматривается широкое использование современных лабораторно-аналитических методов, направленных на уточнение многофакторных прогнозно-поисковых моделей и эффективных прогнозно-поисковых комплексов.

7. Резкое снижение объемов финансирования в 2010–2015 гг. на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) привело к их сокращению в структуре работ научных предприятий МПРиЭ РФ. Для повышения эффективности прогноза и поисков золотого оруденения, особенно в условиях санкций, необходимо развитие НИОКР, направленных на создание и совершенствование современных технологий прогноза, поисков, разведки, добычи и технологий переработки. Это становится особенно актуальным в связи с расширением геологоразведочных работ, ориентированных на скрытое оруденение и поиски в сложных горно-таежных ландшафтах, где стандартные методы поисков (геологические маршруты, литохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния) неэффективны.

**Черных А. И. (chernykh@tsnigri.ru), Окулов А. В. (okulov@tsnigri.ru),  
Арсентьева И. В. (arsenteva@tsnigri.ru), Кряжев С. Г. (kryazhev@tsnigri.ru),  
Позднякова Н. Н. (pozdneyakova@tsnigri.ru)  
ФГБУ «ЦНИГРИ»**

#### **ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ШАМАНСКОГО РУДНОГО УЗЛА КИЗАС-АНЗАССКОГО РУДНОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)**

*Рассмотрены основные пространственные закономерности локализации рудного и россыпного золота Шаманского рудного узла и его наиболее перспективной части – Кизасского участка, вещественный состав руд, типоморфные характеристики рудного и россыпного золота, термолюминесцентные и газохроматографические особенности рудного кварца, химический и изотопный составы пирита вмещающих пород и золотоносных ассоциаций.*

*Ключевые слова: Шаманский рудный узел, Кизас-Анзасский рудный район, коренная и россыпная золотоносность, шаманская свита.*

Кизас-Анзасский полиметаллически-железо-золоторудно-россыпной район находится в южной части Республики Хакасия в междуречье Абакана и Большого Анзаса. В пределах рудного района обосновано выделение Джарганского золотополиметаллического, Анзасского

золотожелезородного и Шаманского золоторудного узлов. Джарганский узел расположен в северной части рудного района и приурочен к полю раннекембрийских вулканогенно-осадочных пород нижнемонокской свиты. Анзасский узел размещен в юго-восточной части рудного района и приурочен к породам нижнемонокской свиты, прорванным раннекембрийскими плагиогранитами и телам габброидного лысогорского комплекса. Шаманский рудно-россыпной узел занимает центральную часть Кизас-Анзасского золоторудно-россыпного района и приурочен к раннекембрийским породам шаманской свиты [1].

Геологическое изучение рудного района началось в 40-х гг. XIX века и было связано с отработкой богатых россыпей в бассейнах рек Кизас и Большой Анзас. Сведения о количестве добытого россыпного золота разнятся. По некоторым оценкам, из россыпей Шаманского узла добыто более 24 т золота, при этом россыпи р. Левый Кизас с притоками имеют максимальную продуктивность для Алтае-Саянского региона. Попытки обнаружить сопоставимые по объемам золотоносности рудные объекты до сих пор не давали положительного результата. С конца XIX века на территории рудного узла известны проявления и пункты минерализации золота убогосульфидного золото кварцевого жильного и прожилкового типов. Кроме того, в 2000-х гг. стали появляться данные о наличии золото-сульфидно-кварцевого жильно-прожилкового и штокверкового типов в зонах дробления и метасоматически измененных пород. Актуальность наших исследований определяется необходимостью выявления масштабных коренных источников золота на основе анализа имеющихся и вновь полученных данных о коренной и россыпной золотоносности.

Шаманский золоторудно-россыпной узел охватывает поле развития отложений шаманской свиты нижнего кембрия. В составе свиты выделяются три подсвиты, отложения которых представлены туфами основного и кислого составов, туфопесчаниками, туфосланцами, кремнистыми и глинисто-кремнистыми, часто углеродистыми сланцами и алевролитами, песчаниками, алевролитами, сланцами с пачками песчанистых мергелей, известковистых алевролитов и глинистых известняков. Отложения шаманской свиты смяты в линейные складки северо-восточной ориентировки. Главные разломные структуры также имеют северо-восточное простирание. Кроме того, широко развиты разломы северо-западной, реже субширотной и субмеридиональной ориентировки. К разнонаправленным системам разломов приурочены многочисленные кварцевые жилы и прожилки.

Сложное складчатое строение, наличие разноориентированных, отличающихся по кинематике разломов свидетельствуют о нескольких этапах деформации пород Шаманского узла и важной роли структурно-тектонического минерагенического фактора формирования золотого оруденения. Не менее важен, вероятно, стратиграфический минерагенический фактор. Подавляющее большинство известных проявлений и пунктов минерализации золота приурочено к полю пород шаманской свиты, что может говорить о ее рудоконтролирующей роли и изначально повышенном содержании золота.

На основе анализа имеющихся данных о золотоносности Шаманского узла наибольший интерес для выявления оруденения промышленного масштаба представляет Кизасский участок, охватывающий верховья р. Левый Кизас с притоками (р. Безымянка, руч. Веселый). Кизасский участок сложен породами шаманской свиты, в геолого-структурном плане приурочен к северо-западному крылу Кизасской антиклинали вблизи области ее сопряжения с Курчепской синклиналью (сложенной отложениями чеханской и кинской свит). Характерно, что наиболее богатые участки золотых россыпей находятся в области сочленения р. Безымянка, руч. Веселый и р. Левый Кизас, руч. Троицкий, а также в верховьях и по левым притокам р. Левый Кизас, т. е. в целом тяготеют к северной части Кизасской площади. Напротив, в южной части площади (руч. Успенский, среднее и верхнее течение р. Безымянка и др.) россыпная золотоносность проявлена на уровне мелких небогатых россыпей и шлиховых ореолов. Существенное значение для локализации россыпей имели, безусловно, карбонатные отложения, широко распространенные как раз в области нижнего течения рек Кизас, Безымянка, руч. Веселый. Наличие карбонатных отложений предопределило широкое развитие карстовых полостей, благоприятных для отложения россыпного золота. Немаловажную роль в накоплении золота сыграло наличие в указанных областях участков с резким выполаживанием уклона русел рек.

Рудопроявления золота известны также преимущественно в северной части площади – это район горы Троицкой, водоразделы рек Безымянка–Кизас, левобережье р. Левый Кизас. На склоне горы Троицкой выявлена также делювиальная россыпь. В южной части известно одно рудопоявление – Успенское. На основе анализа рудной и россыпной золотоносности с учетом геологических данных и материалов предшественников выделены две минерализованные зоны – Троицко-Левокизасская в северной части и Успенская в южной части. Для зон характерно развитие интенсивной железистой карбонатизации, пиритизации и серицитизации пород. Внутри минерализованных зон на участках интенсивного жильного и прожилкового окварцевания выделено несколько золоторудных зон. Все известные на Кизасском участке рудопоявления золота локализованы в пределах упомянутых рудных зон. Рудопоявления относятся к золото кварцевому убогосульфидному типу.

На данном этапе исследований устанавлены две продуктивные минеральные ассоциации: 1) золото – (халькопирит) – пирит – Fe-карбонат – серицит (парагонит) – кварц (карбонаты обычно дорудные и формируются на рудоподготовительной стадии); 2) золото – гематит – халькопирит, борнит, халькогениды и гидрокарбонаты меди – (серицит/парагонит) – кварц (халькогениды и гидрокарбонаты меди формируются за счет замещения халькопирита и борнита, что подтверждается результатами изучения аншлифов).

По данным авторов, пробность золота в рудах варьируется от среднепробного до высокопробного – 847–968 ‰. Близкие значения пробности на уровне 885–977 ‰ зафиксированы и для золота в россыпи р. Безымянка. Высокая пробность золота в целом может указывать на значительную глубину формирования оруденения. Об этом же свидетельствует незначительная в целом доля примесей – 0,2 ‰. Преобладание правильных форм указывает на условия свободного роста, наличие которых может зависеть от различных факторов. К ним относится, например, высокая степень деформации вмещающих пород и жильного кварца, разгрузка рудоносных растворов в условиях заполнения трещин отрыва, отложение золота в пустотах выщелачивания.

В отношении химического состава пирита, который широко распространен как во вмещающих породах в виде метакристаллов, так и в составе золотоносных жил, было определено следующее: пирит из золотоносных кварцевых жил существенно не отличается от пирита из вмещающих пустых пород. В пирите из золотоносных ассоциаций были установлены эмульсионная вкрапленность золота и более поздние по отношению к пириту замещающие его кварцевые агрегаты с видимым золотом. Изотопные исследования также не выявили существенных отличий в составе пирита из золотоносных и незолотоносных ассоциаций; состав серы указывает на осадочный источник. Так, в пирите и халькопирите золотоносных ассоциаций по данным анализа  $\delta^{34}\text{S}$  были установлены значения от +3,7 до +6,5 ‰, в пирите из вмещающих пород – от +0,7 до +10,1 ‰. По результатам изучения золото кварцевых руд методом ИСП МС были установлены лишь спорадические повышенные значения меди и серебра, аномальные концентрации остальных элементов в рудах не обнаружены.

По результатам термолюминесцентного и газохроматографического анализов, рудный кварц часто не отличается от безрудного. Такие параметры часто имеет так называемый метаморфогенный кварц. В связи с изложенным роль окварцевания в локализации золотого оруденения весьма неоднозначная. Нельзя исключать, что кварц является золотоносным в тех участках, где он прорывает изначально золотоносные отложения шаманской свиты.

Таким образом, на основе проведенных исследований и с учетом обобщений материалов предшественников можно сделать следующие выводы. Типоморфные признаки рудного и россыпного золота, включая пробность, в целом весьма сходны. Это указывает на то, что источником россыпного золота служили в том числе рудопоявления, находящиеся на современном уровне эрозионного среза. Выполненные исследования не позволяют однозначно говорить о ведущей роли пирита как первичного концентратора золота. Можно предполагать, что степень золотоносности кварцевых жил в значительной степени определяется наличием золота во вмещающих породах и его последующим перераспределением. В пользу этого предположения также свидетельствует пространственная приуроченность участков повышенной золотоносности к породам шаманской свиты. На основе анализа рудной и россыпной золотоносности и результатов предшествующих работ выделены две минерализованные зоны – Троицко-Левокизасская

и Успенская, при этом основные перспективы в отношении коренного оруденения связываются с Троицко-Левокизасской зоной.

Список литературы:

1. Арсентьева И. В., Брысин М. П., Черных А. И., Гвоздева И. А. Перспективы золотоносности Анзас-Кизасской площади (Республика Хакасия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции. – М. : ЦНИГРИ, 2018. – С. 40–41.

**Чижова И. А.** <sup>1</sup> (tchijova@igem.ru), **Кузнецов В. В.** <sup>2</sup> (okt@tsnigri.ru)  
<sup>1</sup> ФГБУН «ИГЕМ» РАН, <sup>2</sup> ФГБУ «ЦНИГРИ»

#### МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТИПА ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

*На основе детального логико-информационного анализа геологических данных (параметрических моделей) по месторождениям полиметаллического типа Рудноалтайской минерагенической зоны разработана технология их экспресс-оценки. Алгоритм допускает корректное применение для идентификации минерального типа, частей околорудного пространства, масштабыности новых рудопроявлений, образованных в сходных геологических условиях.*

*Ключевые слова:* Рудноалтайская минерагеническая зона, полиметаллические месторождения, логико-информационная модель, параметрическая модель, экспресс-оценка.

Возможности перевода недооцененных месторождений, рудопроявлений и точек минерализации в промышленные месторождения во многом связаны с определением степени их аналогии с эталонными промышленными объектами. Сравнение обычно осуществляется путем анализа совокупности поисковых критериев и признаков, выявляемых геологическими, геохимическими и геофизическими методами исследований.

Применение компьютерной технологии при этом обеспечивает высокую степень оперативности и точность анализа используемых геолого-геохимических, петрофизических, петрохимических и геофизических данных исследуемого объекта и сравнения этих данных с данными по эталонным объектам, характеризующимся разными масштабами оруденения и специфическими свойствами их минеральных типов и параметров околорудных пространств.

В процессе оценки перспективных площадей большой интерес для геолога представляет получение обоснованных заключений по ряду задач:

1. Заключение об ожидаемом формационном (минеральном) типе оруденения;
2. Опознание элементов рудного или околорудного пространства, к которому следует отнести объект оценки;
3. Заключение о масштабе прогнозируемого оруденения.

Необходимые правила для решения поставленных задач могут быть построены как на основе знаний экспертов, так и в результате математической обработки имеющейся базы данных по эталонным объектам (эвристические и расчетно-логические правила). Такие расчетные правила успешно разрабатываются с помощью логико-информационных методов (ЛИМ), разработанных в ИГЕМ РАН [1, 3]. Эти методы по современной классификации можно отнести к методам искусственного интеллекта и машинного обучения, поскольку модели и решающие правила для решения прогнозных задач формируются на основе компьютерного анализа эталонной выборки объектов исследования из базы данных, описанных в системе геологических, геофизических, минералогических, геохимических характеристик.

В данной работе в качестве описаний эталонных объектов впервые при использовании ЛИМ анализировались их параметрические модели. Технология отрабатывалась на основе параметрических моделей месторождений и рудных полей Рудноалтайской минерагенической зоны [2].

Для полного описания представителей данной группы месторождений эталонные объекты были подобраны с учетом проявления различных минеральных типов (колчеданно-полиметаллический и полиметаллический) и различной масштабности (мелкие, средние, крупные). Для анализа использовалась база данных, содержащая сведения по 20 месторождениям (9 колчеданно-полиметаллическим и 11 полиметаллическим).

В качестве эталонных объектов отобраны преимущественно детально разведанные месторождения, что обеспечило получение достаточно полного объема информации. Параметрические модели представляют собой геолого-поисковые модели, в которых геологическое пространство, заключающее месторождение, охарактеризовано системой соподчиненных элементов, признаков и критериев, получивших применительно к различным частям пространства количественные (параметрические) оценки.

Параметрические модели строятся на основе расчленения объема, занимаемого конкретным месторождением, на ряд пространств: рудоносное (РМ), фланговое (РФ), надрудное (НР) и подрудное (ПР). Соответственно, в базе данных по эталонным месторождениям хранятся сведения, сформированные по аналогии с моделями для рудоносного, флангового, над- и подрудного пространств.

Зоны геологического пространства описаны системой факторов и признаков, в число которых, как следует из генетических построений и опыта прогноза и поисков месторождений колчеданного семейства, включены стратиграфо-литолого-фациальные, магматические, структурные (в первую очередь, конседиментационные и синвулканические), а также показатели, характеризующие состав, морфологию, зональность и интенсивность гидротермально-метасоматических изменений; морфологию, состав и положение рудных тел в структурах месторождений и разрезах рудовмещающих толщ; геохимические и геофизические аномалии, сопровождающие месторождения.

В структуру описания были включены следующие данные (263 бинарных признака (со значениями 1 и 0, означающими присутствие или отсутствие признака на объекте )):

1. породы, слагающие рудные поля и месторождения, и их формационная принадлежность;
2. рудоконтролирующие и рудовмещающие структуры;
3. метаморфические и гидротермально-метасоматические изменения;
4. морфология и условия залегания рудных тел;
5. минеральные типы руд (для рудовмещающей части разреза);
6. зоны проявления сульфидной минерализации (для надрудной, фланговой и подрудной частей разреза);
7. главные элементы геохимических ореолов;
8. геофизические поля.

В результате обработки данных по эталонным объектам полиметаллического типа выявлены системы информативных признаков и получена количественная оценка степени их важности для определения принадлежности части окolorудного пространства, а также масштабности оруденения. Построенные на их основе решающие правила позволили получить результаты с достаточной степенью надежности (качество распознавания не менее 72 %).

При оценке масштаба объекта наиболее значимыми оказались формационные, литолого-фациальные, структурные и геохимические признаки.

Максимальное значение качества распознавания (81,8 %) получено для правила, построенного для рудоносного пространства, а минимальное значение – для над- и подрудного.

По каждому варианту систем информативных признаков анализировалось различие эталонных групп месторождений (мелкие, средние, крупные объекты), достигнутое по расчетным показателям. Граница классов определялась через полусумму максимального и минимального значений информационного веса эталона в соседних классах.

Для использования логико-информационных моделей для оценки нового объекта необходимо описать его в системе информативных признаков, вычислить информационный вес как сумму

разделяющих весов тех признаков, которые проявлены на данном объекте, а затем сравнить полученную величину с оценками эталонных объектов.

Таким образом, использование систем информативных признаков с оценкой их разделяющих способностей (логико-информационных моделей), созданных в результате компьютерного анализа данных параметрических моделей месторождений и рудных полей Рудноалтайской минерагенической зоны, показывает свою высокую эффективность при прогнозе и поисках полиметаллических месторождений. Их применение позволило переоценить известные рудные поля и выявить приоритетные направления для постановки поисковых работ в рудном районе.

*Работа выполнена в рамках государственного задания.*

Список литературы:

1. Константинов Р. М. Математические методы количественного прогноза рудоносности. – М. : Недра. – 1979. – 127 с.
2. Кузнецов В. В., Чижова И. А. Опыт разработки и применения интеллектуально-графических компьютерных систем // Руды и металлы. – 2021. – № 1. – С. 26–41.
3. Чижова И. А. Логико-информационное моделирование при прогнозно-металлогеническом анализе перспективных площадей // Современные проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. – М. : ИГЕМ РАН, 2010. – С. 59–84.

**Шатилова Л. В.<sup>1</sup> (shatilova@tsnigri.ru), Бондаренко Н. В.<sup>1</sup>,  
Позднякова Н. Н.<sup>1</sup>, Ковальчук Е. В.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> ФГБУ «ЦНИГРИ», <sup>2</sup> ИГЕМ РАН**

**ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВНУТРЕННЕМ СТРОЕНИИ И СОСТАВЕ  
САМОРОДНОГО ЗОЛОТА УЧУЙСКОГО РУДНОГО УЗЛА  
(АДЫЧА-ТАРЫНСКАЯ ЗОНА, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))**

*Впервые изучены внутреннее строение и состав самородного золота рудных полей Учуйское и Луч. Полученные данные позволяют предполагать полистадийность процесса рудоотложения вблизи гранитного массива в зоне тектонической активности и дальнейшее преобразование золота под действием высоких температур в результате гидротермально-метасоматических преобразований.*

*Ключевые слова: Учуйский рудный узел, самородное золото, внутреннее строение.*

В региональном плане Учуйский рудный узел расположен в пределах центральной (Джолокагской) части Адычанской золотоносной зоны, входящей в состав Верхояно-Колымской металлогенической провинции. Джолокагский сегмент золотоносной зоны охватывает юго-восточный фланг Куларо-Нерского черносланцевого пояса, область его сочленения с Новолучинским тектономагматическим рядом, а также фронтальную часть Чакры-Индибирского надвига.

Для данной территории размещение оруденения имеет линейно-узловой характер. Линейность обусловлена продольной ориентировкой главных складчатых и разрывных структур. Подавляющее большинство рудных объектов, независимо от их формационной принадлежности, приурочено к продольным тектоническим нарушениям, разграничивающим складчатые сооружения и структурно-фациальные зоны. Узловой характер размещения оруденения вызван влиянием поперечных, реже дугообразных тектонических разломов северо-восточного простирания.

В геологическом строении рудного узла принимают участие терригенные отложения норийского возраста, представленные алевролитами, в меньшей степени аргиллитами и пластами песчаников. Породы терригенно-осадочной толщи преобразованы в условиях кремнисто-серицит-



хлоритовой фации позднего метабазиса, а на юго-восточном и северо-западном флангах они испытали метаморфические изменения хлорит-серицит-мусковитовой фации термальных куполов [1].

В пределах рудного узла, по работам предшественников, установлены малые месторождения и рудопоявления золото-кварц-малосульфидной, золото-сурьмяной и золото-сульфидной формаций. В пределах Учуйского рудного узла выделены одноименное рудное поле и рудное поле Луч. Для рудного поля Учуйское характерно развитие арсенопирит-пиритового типа руд золото-кварц-малосульфидной формации. На рудном поле Луч оруденение золото-кварц-малосульфидного типа пространственно совмещается с рудами золото-сульфидной формации сульфидизированных песчаников [2, 3, 6].

Распределение содержания Au и Ag в отдельных золотилах и установление набора и концентрации второстепенных элементов-примесей в них определялось рентгеноспектральным микроанализом (РСМА) в ИГЕМ РАН (г. Москва). Внутреннее строение самородного золота исследовалось методом многократного структурного травления раствором  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$  [4, 5].

В жилах № 1 и № 5 рудного поля Учуйское пробность золота, по данным РСМА, варьирует от 842 до 884 ‰, отмечаются примеси Te и Hg.

Внутреннее строение разномзернистое, двойниковое, реже монокристаллическое, с признаками эндогенных преобразований – развитием по периферии диффузионных зон, обедненных Ag, неравномерной мощности. В структуре золота жилы № 1 отмечаются деформации (изгибы и обрывы) двойников и проявлена тонкая фазовая неоднородность, вследствие распада твердого раствора. Также встречаются единичные межзерновые высокопробные прожилки и зародышевая коррозия, свидетельствующие о начальных преобразованиях этого золота в зоне окисления.

Золото из метасоматически измененных песчаников с кварцевым прожилкованием рудного поля Учуйское весьма сходно с золотом из жильных образований по составу и внутреннему строению. Пробность его, по данным РСМА, составляет 850–891 ‰, из микропримесей присутствуют в статистически значимых количествах Te и Hg.

Строение золота разно- и монотернистое, с двойниками, эндогенными преобразованиями – неравномерной мощности диффузионными зонами повышенной пробности и с расплывающимися границами двойников, вплоть до возникновения пятнистой неоднородности, а также в отдельных случаях со следами начальной дезинтеграции зерен. В единичных случаях встречаются гетерофазные частицы – сростания золота деформированной пятнисто-неоднородной, с двойниками, структуры и более низкопробного золота неяснозонального строения.

В жиле Луч одноименного рудного поля золото золото-кварц-малосульфидного и золото-антимонит-кварцевого типов имеет близкие состав и строение, отмечено его сходство с золотом рудного поля Учуйское.

Пробность золотин золото-кварц-малосульфидного типа, по данным РСМА, варьирует в пределах 845–873 ‰, а золото-антимонит-кварцевого типа – 851–900 ‰. В золоте обоих типов отмечаются примеси Te и Hg.

Для всего золота характерно зернистое двойниковое внутреннее строение с развитием неравномерно проявленных диффузионных зон, обедненных Ag, и участков с пятнисто-неоднородной структурой. Двойники обрывающиеся и нарушенные, с размытыми границами. В редких случаях в структуре золота кварц-малосульфидного типа отмечаются признаки начальной дезинтеграции, а антимонит-кварцевого типа – признаки перекристаллизации и тонкая фазовая неоднородность. Золото в гипергенных условиях преобразовано незначительно, что подтверждается наличием в структуре одной золотины мелких межзерновых высокопробных прожилков по границам рекристаллизованных зерен.

Золото из сульфидизированных песчаников рудного поля Луч идентично золоту гидротермалитов. По данным РСМА, пробность золотин составляет 852–892 ‰, из элементов-примесей присутствуют Te и Hg.

Структура золота также моно- и разномзернистая, двойниковая, часто со структурами распада твердых растворов в центральной части зерен. В большинстве изученных золотин выявляются нарушение двойников, пятнистая неоднородность и диффузионная кайма, обедненная Ag. В редких случаях встречаются гетерофазные золотины, где золото неяснозернистого зонального строения, вероятно более низкопробное, отмечается в виде нарастаний или обособлений в золоте

со структурами распада. Гипергенные преобразования проявлены слабо: в единичной золотине обнаруживаются высокопробные межзерновые прожилки.

Таким образом, для самородного золота Учуйского рудного узла, по данным РСМА, характерны средняя пробность (842–900‰) и постоянные микропримеси Те и Нг в количестве 0,1–0,25%, концентрации остальных оказались ниже пределов чувствительности прибора. Внутреннее строение золотин в основном разномзернистое, двойниковое, с признаками эпигенетических преобразований в виде деформированных обрывающихся двойников, пятнистой и тонкой фазовой неоднородности (структуры распада твердых растворов), иногда – начальной дезинтеграции и перекристаллизации.

Состав самородного золота и его внутреннее строение в гидротермальных жильных образованиях и метасоматически измененных вмещающих породах для рудных полей Учуйское и Луч сходны.

Большое количество в структуре золотин двойников роста отражает, на взгляд авторов, обстановку дефицита свободного пространства, что частично согласуется с представлениями о наложении золотой минерализации на сформированные ранее минеральные ассоциации.

Особенностью структуры золотин является развитие фрагментарных или сплошных диффузионных зон, обедненных Ag, различной мощности, что типично для золота, отлагавшегося в ореолах гранитоидных массивов.

О возможном полистадийном процессе рудогенеза в пределах Учуйского рудного узла свидетельствует присутствие в сульфидизированных песчаниках гетерофазных золотин – частиц средней пробности неясномзернистой неоднородной структуры, в которых более низкопробное золото отмечается в виде нарастаний или обособлений зонального строения.

Золото незначительно преобразовано в гипергенных условиях, о чем свидетельствуют редкие мелкие межзерновые высокопробные прожилки в структуре единичных выделений.

Сходство состава и внутреннего строения самородного золота рудных полей Учуйское и Луч, по мнению авторов, показывает, что все структурно-морфологические типы золотого оруденения имеют тесную пространственную и генетическую связь в рамках единого гидротермально-метасоматического этапа рудогенеза.

#### Список литературы:

1. Бондаренко Н. В., Иванов М. А., Фесенко М. А., Селиванов П. В. Геологическое строение и типоморфизм золота месторождения Учуй Джолокагского рудного района // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2012. – № 6. – С. 72–76.
2. Буянкин А. Г., Султанаев Р. Г., Коваленко А. И. [и др.]. Отчёт о результатах поисковых работ на золото в пределах Адычанской золотоносной зоны в междуречье верховьев Адычи-Джолокага в 1998–2003 гг. – Якутск : Янгеология, 2003.
3. Классен Г. А. Отчёт по подсчёту запасов Учуйского золоторудного месторождения. – Якутск : ГРО ЯГПУ, 1947.
4. Николаева Л. А. [и др.]. Самородное золото России: атлас. – М. : Акварель, 2015. – 200 с.
5. Николаева Л. А. [и др.]. Типоморфизм самородного золота. Методические рекомендации для гео-логоразведочных работ. – М. : ЦНИГРИ, 2021. – 74 с.
6. Сенотрусов Ю. И. Геологическое доизучение с общими поисками масштаба 1:50 000 в бассейне верхнего течения р. Джолокаг на площади листов: Q-54-73-А-в, г; Б-в, г; В-а, б; Г; 74-А-в, г; Б-в, г; В, Г; 75-В; 86-А, Б; 87-А-а, б в 1993-2001 гг. – Якутск : Янгеология, 2001.

**Шишкина О. Ю. (osiskina464@gmail.com)  
НУУз им. Мирзо Улугбека**

## СОВРЕМЕННЫЕ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УЧАСТКАХ АЛМАЛЫКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА УЗБЕКИСТАНА

*Приведено описание применения магниторазведочных методов при поисках рудных месторождений в Алмалыкском рудном районе на участках Ургаз, Шаугаз, Абджаз.*

*Ключевые слова: магниторазведка, магнитометр, магнитная съемка, магнитная аномалия, аномальное магнитное поле, гранодиорит, монцонит-порфир, вулканические постройки, золотое оруденение.*

В 2013–2020 годах силами ГП «Центральная ГГЭ», ГУП «Регионалгеология» и ЗАО «Аэрогеофизическая разведка» в пределах Алмалыкского рудного района на участках Ургаз, Шаугаз, Абджаз проведена наземная магнитная съемка масштаба 1:10 000, а также аэромагнитная съемка масштаба 1:25 000. Таким образом, появилась возможность не только сравнить данные наземной и аэромагнитной съемок, но и увеличить глубину интерпретации и, соответственно, прогноза.

В геологическом строении всех трех участков принимают участие силурийские песчано-сланцевые отложения, магматические образования, вулканогенно-осадочные отложения верхнего палеозоя и кайнозойские осадочные отложения.

Наземная магнитная съемка выполнялась по сети 100×20 высокоточными протонными магнитометрами Оверхаузера GSM-19 и GSM-19G производства «GEMSystemsInc» (Канада). Магнитометры системы GSM-19 измеряют абсолютные значения магнитного поля  $T$  и являются вторым стандартом для измерения магнитного поля Земли, имея разрешение абсолютной точности 0,01 и 0,2 нТл во всей области температур. GSM-19G представляет собой современную систему, объединяющую высокочувствительный магнитометр Оверхаузера GSM-19 и градиентометр.

В результате проведенных полевых работ составлена карта аномального магнитного поля с сечением изолиний 10 нТл.

Наиболее ярко в магнитных полях проявлены структурно-тектонические и литолого-стратиграфические факторы контроля золотого оруденения.

На участке Ургаз по данным магниторазведки была выделена серия тектонических нарушений преимущественно северо-восточного и субширотного простираний, которые фиксируются отрицательными узколинейными магнитными аномалиями. По изменению характера магнитного поля четко прослеживается Ургазский разлом, обусловленный резкой сменой знака значений магнитного поля от -150 нТл на юго-западе площади исследований Ургаз до +160 нТл на северо-востоке. Сам разлом прослеживается по градиентной зоне – по нулевому значению аномалий.

По локальным минимумам магнитного поля выделена зона гидротермально-измененных пород, потенциально-перспективная на обнаружение золоторудной минерализации.

На участке Шаугаз магнитной съемкой выявлены положительные и отрицательные магнитные аномалии различных размеров, интенсивности и ориентировки, картирующие породы разной намагниченности. Положительными магнитными аномалиями отмечаются штоки магнитных гранодиоритов, монцонит-порфиров, сиенито-диоритов, а также некки и штоки андезитов. Отрицательными аномалиями и магнитными минимумами – некки и штоки дацитов.

Проведенными работами установлено, что большинство вторичных ореолов золота, меди, мышьяка приурочены к локальным положительным магнитным аномалиям либо тяготеют к ним. Сделано предположение, что мелкими изометричными магнитными аномалиями трубчатого типа, совмещенными с ореолами золота, могут отмечаться по аналогии с месторождением золота Кочбулак золотоносные трубки.

На севере участка по сопряженным положительным и отрицательным магнитным аномалиям выделены две предполагаемые вулканические постройки, перспективные на поиски золотого оруденения. К выделенным структурам магнитного поля приурочены вторичные ореолы золота и меди.

На северо-востоке и юге участка выделены две локальные положительные магнитные аномалии и одна отрицательная (на юге), перспективные на медно-порфировое оруденение.

На участке Абджаз магнитной съемкой выявлены положительные и отрицательные магнитные аномалии различных размеров, интенсивности и ориентировки, картирующие магнитные разности пород. Положительными магнитными аномалиями отмечаются штоки магнитных гранодиоритов, монзонит-порфиров, сиенито-диоритов, а также субвулканические интрузии, штоки, неки прямо намагниченных андезитов, андезидацитов, риодацитов. Отрицательными аномалиями и магнитными минимумами преимущественно – неки и штоки обратно намагниченных субвулканических образований, реже гранитоидные породы.

Проведенными работами установлено, что большинство вторичных ореолов золота, меди, мышьяка приурочены к локальным положительным и отрицательным магнитным аномалиям, либо тяготеют к ним. Сделано предположение, что мелкими изометричными магнитными аномалиями трубчатого типа, совмещенными с ореолами золота, могут отмечаться по аналогии с месторождением золота Кочбулак золотоносные трубки.

На севере участка в районе месторождения бирюзы Унгурикан выделена предполагаемая вулканическая постройка, перспективная на поиски золотого оруденения.

На юге участка в районе рудопроявления Пистали выделена локальная аномальная структура магнитного поля, перспективная на поиски золотого оруденения.

Аэромагнитная съемка выполнена в масштабе 1:25 000 (расстояние между рядовыми маршрутами составило 250 м) разведочной платформой серии «Импульс А7-450», для магниторазведки – Scintrex CS-3 (CS-L). Съемка выполнялась на вертолетах типа Ми-8МТВ.

Аномальное магнитное поле участков Ургаз, Шаугаз, Абджаз, по данным аэромагниторазведки, характеризуется сложным строением с изменением интенсивности от -380 до 1230 нТл при высоком среднем уровне 320 нТл. На большей части площади наблюдаются средние показатели, контролирующие вулканические покровы. Высокоинтенсивные (более 500 нТл) и обширные (около 4×8 км) аномальные зоны на западе и востоке маркируют интрузии среднего–основного состава различных комплексов. Такие же аномалии, но меньшие по размерам и амплитуде отмечаются на юге и в центре. Сглаженные максимумы (более 400 нТл), зафиксированные на севере, сопровождают упомянутые крупные интрузии, перекрытые кайнозойским чехлом. Зоны минимальных величин на севере площади контролируют терригенно-осадочные отложения карбона и девона.

В результате выполненных магниторазведочных работ установлены корреляционные зависимости между характером распределения геофизических полей и геологическим строением площади.

**Яковлев И. В.** <sup>1</sup> (igor.yakovlev@igm.nsc.ru), **Мальковец В. Г.** <sup>2</sup> (MalkovetsVG@alrosa.ru),

**Гибшер А. А.** <sup>2</sup> (GibsherAA@alrosa.ru)

<sup>1</sup> ИГМ СО РАН, <sup>2</sup> НАЦ ВГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)

## ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПЕРЕРАБОТКИ АЛМАЗОНОСНОГО КИЛЯ МЕТАСОМАТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХНЕМУНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

*В работе приводятся данные минералогического и геохимического исследования минералов-спутников алмаза из перидотитовых ксенолитов, протолочных и шлиховых проб ряда кимберлитовых тел Верхнемунского кимберлитового поля (Сибирский кратон). По результатам*

исследований выявлено наличие блока высокодеплетированных перидотитов в литосферной мантии под Верхнемунским кимберлитовым полем. Отмечается умеренная степень метасоматической переработки литосферной мантии вторичными метасоматическими процессами, однако их вклад может варьировать для разных кимберлитовых тел Верхнемунского поля.

*Ключевые слова:* литосферная мантия, кимберлит, перидотитовый ксенолит, минералы-спутники алмаза.

Проблемы оценки алмазоносности кимберлитовых тел, а также их прогнозирования до сих пор являются ключевыми в алмазодобывающей промышленности. Известно, что количество алмазов на тонну кимберлитового сырья и их качество во многом зависят от степени метасоматического преобразования карбонатитовыми и силикатными расплавами перидотитов в литосферной мантии, через которую происходило внедрение кимберлитовой магмы. Определить степень метасоматической переработки алмазоносного кила и мощность «алмазоносного окна» возможно путем изучения ксенолитов перидотитов из кимберлитов, а также их дезинтегрированных фрагментов из тяжелой фракции.

В качестве объекта исследований выбрано Верхнемунское алмазоносное кимберлитовое поле, расположенное в верховьях р. Мун в 180 км к северо-востоку от г. Удачный. Возраст кимберлитов данного поля принимается как среднепалеозойский ( $D_3-C_1$ ). К настоящему времени в пределах поля известны 23 кимберлитовых тела (18 трубок и 5 даек). Кимберлитовые тела образуют три линейно расположенные цепочки северо-западного простирания.

Исследовано 1690 зерен граната и 1311 зерен оливина из протолочных и шлиховых проб 13-ти кимберлитовых тел Верхнемунского кимберлитового поля. Для выяснения характера метасоматических процессов в литосферной мантии нами также были изучены геохимические характеристики гранатов из ксенолитов перидотитов трубки Комсомольская-Магнитная (35 зерен) и гранатов из шлиховых проб трубок Комсомольская-Магнитная (310 зерен) и Деймос (146 зерен).

Химический состав минералов определялся методом РСМА на приборе Jeol JXA 8100 в ЦКП «Многоэлементных и изотопных исследований» ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) и в ОЛО ГРП (ЦАЛ) (г. Мирный). Содержания редких элементов в гранатах определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с помощью прибора Agilent 7700cs с системой лазерной абляции Photon Machines Excite Excimer в GEMOC National Key Centre, Macquarie University (г. Сидней, Австралия). Для определения  $PT$  условий образования гранатов использовался термометр Griffin (1995) [3], работа которого основана на реакции обмена Ni между оливином и гранатом.

Исследование химического состава оливинов из перидотитовых ксенолитов, а также протолочных и шлиховых проб показало, что содержание Fo (форстеритовый минал) в оливинах варьирует от 81,9 до 94,2 мол.%, при этом 16 % оливинов из всех трубок имеют Fo > 93 мол.%. Наибольшее число высокомагнезиальных оливинов приходится на трубку Комсомольская-Магнитная (23 % оливинов с Fo > 93 мол.%). Достаточно высокая пропорция оливинов с повышенными содержаниями Fo указывает на наличие блока высокодеплетированных пород в литосферной мантии под Верхнемунским кимберлитовым полем.

В целом в кимберлитовых телах Верхнемунского поля подавляющее большинство гранатов относится к лерцолитовому парагенезису (~70–80 %), присутствуют гранаты верлитового парагенезиса (~5 %), в поле гранатов гарцбургит-дунитового парагенезиса попадает ~15–25 %, к гранатам алмазной ассоциации относится ~6 % от всех исследованных гранатов (по Н. В. Соболеву, 1974) [1]. Однако пропорции гранатов различных генетических типов могут значительно отличаться в пределах не только всего поля, но и каждой линейной цепочки кимберлитовых трубок. Отмечается достаточно высокий процент (относительно других известных трубок Якутской алмазоносной провинции) гранатов с низкими содержаниями CaO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (в особенности для трубки Деймос).

На диаграмме хондрит-нормализованных спектров распределения REE исследованные гранаты отчетливо разделяются по содержанию MREE и HREE на две группы. К группе 1 (~80–85 % гранатов трубки Комсомольская-Магнитная, ~50–60 % гранатов трубки Деймос) относятся гранаты со спектрами распределения редкоземельных элементов, типичными для гранатов

из фертильной мантии, к группе 2 (~15–20 % гранатов трубки Комсомольская-Магнитная, 40–50 % гранатов трубки Деймос) относятся гранаты с синусоидальными спектрами, которые характерны для минеральных включений перидотитовых гранатов в алмазах. Для гранатов первой группы характерны высокие содержания MREE и HREE и обеднение LREE с  $La/Yb < 1$ , по распределению  $CaO-Cr_2O_3$  гранаты первой группы попадают в поле лерцолитового парагенезиса. В зависимости от степени обогащения LREE гранаты второй группы попадают в поля гарцбургит-дунитового парагенезиса до лерцолитового и даже верлитового. Предполагается, что образование гарцбургит-дунитовых гранатов с синусоидальными спектрами РЗЭ связано с метасоматическим воздействием карбонатитовых расплавов/флюидов, обогащенных LREE и обедненных HFSE, MREE и HREE. Последующее обогащение граната тяжелыми РЗЭ отражает воздействие силикатного метасоматоза – на этом этапе происходит смещение состава гранатов в область бедных  $Cr_2O_3$  составов, характерных для гранатов лерцолитов на диаграмме  $Cr_2O_3-CaO$ .

На основании ранее реконструированной палеогеотермы по клинопироксенам (использовался мономинеральный клинопироксеновый термометр Nimis, Taylor (2000)) под трубкой Комсомольская-Магнитная было установлено, что мощность литосферной мантии на момент образования трубки составляла ~220 км, значение теплового потока составило 34,5 мВ/м<sup>2</sup> [2].

По содержаниям Y (г/т) в гранатах и температурам равновесия, рассчитанным с применением мономинерального гранатового термометра [4], сделан вывод, что положение основания деплетированной (относительно неизменной) литосферы («Y край») находится на глубинах ~180–190 км при проецировании на геотерму ( $T \sim 1170$  °С для гранатов трубки Деймос и ~1180 °С для гранатов трубки Комсомольская-Магнитная). Таким образом область алмазного окна под Верхнемунским полем распространяется с глубин 125 км (пересечение палеогеотермы с линией границы равновесия графит/алмаз) до 180–190 км (химическая граница деплетированной литосферы).

Отмечаются различия составов гранатов из трубок Деймос и Комсомольская-Магнитная по распределениям Y, Zr и Ti. Так, для трубки Деймос характерны деплетированные гранаты (~70 % гранатов) с низкими содержаниями Y, Zr, Ti; к гранатам с признаками силикатного метасоматоза (высокие содержания Y, Zr, Ti) относится ~20 % гранатов, также присутствует ~10 % гранатов с признаками флогопитового метасоматоза (высокие содержания Zr, низкие содержания Y). Для трубки Комсомольская-Магнитная, напротив, характерны гранаты с признаками силикатного метасоматоза (~75 % гранатов), деплетированных гранатов ~18 %, гранатов с признаками флогопитового метасоматоза ~7 %.

Температуры равновесия гранатов были спроецированы на геотерму с учетом химической границы литосферы, проведенной по «Y краю». Построены разрезы мантийной колонны под трубками Комсомольская-Магнитная и Деймос. Для трубки Комсомольская-Магнитная наблюдается высокая концентрация гранатов из деплетированных пород (гарцбургитов (в среднем ~20–30 %) и низкокальциевых гарцбургитов) на глубинах 110–180 км ( $T = 750-1050$  °С). С глубины 180 км начинает увеличиваться доля лерцолитовых гранатов, их высокие температуры равновесия ( $T = 1300-1600$  °С) и микроэлементный состав указывают на влияние метасоматических процессов, связанных с силикатным расплавом. Аналогичный разрез мантийной колонны наблюдается и для трубки Деймос, за исключением значительной доли гранатов из сильно деплетированных низкокальциевых гарцбургитов на глубинах 120–180 км (от 40 до 90 %).

*Выводы.* Результаты исследования составов оливинов свидетельствуют о наличии блока высокодеплетированных пород в литосферной мантии под Верхнемунским кимберлитовым полем.

По результатам исследования составов гранатов сделан вывод об умеренной степени переработки литосферной мантии карбонатитовыми расплавами/флюидами. Также в небольшой степени отмечается присутствие следов флогопитового метасоматоза. Начиная с глубин 180–190 км, в разрезе мантийной колонны преобладают фертильные гранаты из деформированных лерцолитов, подвергшиеся высокой степени метасоматической переработки силикатными расплавами; такие метасоматические преобразования способствуют растворению алмазов в перидотитах литосферной мантии.

Область распространения перидотитов (не подверженных в значительной степени силикатному метасоматозу) алмазной фации глубинности в литосферной мантии («алмазное окно»), в районе Верхнемунского поля во время кимберлитового магматизма распространялась с глубин 125 до 190 км (мощность ~55–65 км).

Список литературы:

1. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск : Наука, 1974. – 265 с.
2. Dymshits A. M., Sharygin I. S., Malkovets V. G., Yakovlev I. V., Gibsher A. A., Alifirova T. A., Vorobei S. S., Potapov S. V., Garanin V. K. Thermal state, thickness, and composition of the lithospheric mantle beneath the Upper Muna Kimberlite Field (Siberian Craton) constrained by clinopyroxene xenocrysts and comparison with Daldyn and Mirny Fields // Minerals. – 2020. – Vol. 10, №. 6. – P. 549.
3. Griffin W. L., Ryan C. G. Trace elements in indicator minerals: area selection and target evaluation in diamond exploration // Journal of geochemical Exploration. – 1995. – Vol. 53. – №. 1–3. – P. 311–337.

- 2 **Агашева Е. В., Агашев А. М., Гудимова А. И., Малыгина Е. В., Червяковский В. С., Прусакова Н. А., Щукин В. С., Голубев Ю. К., Похиленко Н. П.**  
СОСТАВ И СТРОЕНИЕ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ В РАЙОНЕ ЛАБОАЛМАЗОНОСНОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ЦНИГРИ-АРХАНГЕЛЬСКАЯ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ): ДАННЫЕ ПО СОСТАВУ КСЕНОКРИСТОВ ГРАНАТ
- 4 **Алферова В. А., Селиванов П. В., Бондаренко Н. В., Бужинская Е. В., Ковальчук Е. В.**  
ЗОНАЛЬНОСТЬ ПИРИТОВ ЗОЛОТОРУДНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ШИЛГОН
- 6 **Антонец А. В., Агибалов О. А.**  
КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЗОЛОТОНОСНОСТИ РУДНО-РОССЫПНЫХ РАЙОНОВ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ
- 8 **Антонов А. Е., Нуртаев Б. С.**  
ЗОЛОТОРУДНЫЕ ТРЕНДЫ КЫЗЫЛКУМОВ
- 10 **Антонова Т. А., Липашова А. Н.**  
ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОКСИДОВ ИЗ СВЯЗУЮЩЕЙ МАССЫ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ АЙХАЛ
- 13 **Артемьев Д. С.**  
ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАЙСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЧУКОТСКИЙ АО)
- 15 **Афанасьев В. П.**  
ОСОБЕННОСТИ РОССЫПНОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
- 17 **Ачилов А. Р., Джуманиязов Д. И.**  
МАГМАТИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ АЛТЫНТАУСКОГО ИНТРУЗИВА
- 19 **Бабаянц П. С., Калмыков Б. А., Трусов А. А.**  
СОВРЕМЕННЫЕ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА
- 21 **Бабаянц П. С., Контарович О. Р., Корди П. С., Трусов А. А.**  
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ДЕТАЛЬНЫХ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИ
- 23 **Бабаянц П. С., Иванов А. И., Контарович О. Р.**  
АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ И ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ НА ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ
- 25 **Баранов Л. Н., Толстов А. В.**  
РОЛЬ АПАТИТ-МАГНЕТИТОВЫХ РУД В МИНЕРАГЕНИИ МАССИВА ТОМТОР
- 28 **Барышев А. Н.**  
МИНЕРАГЕНИЯ НОРИЛЬСКИХ CU-NI МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАК ПЕРМОТРИАСОВОЕ ВЫПЛАВЛЕНИЕ МАГМ ИЗ РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКОГО БАЗАЛЬТОВОГО СЛОЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ, ВМЕЩАЮЩЕГО ВУЛКАНОГЕННЫЕ КОЛЧЕДАННЫЕ РУДЫ, И ГЕОСТРУКТУРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СРЕДЫ



- 30 Богославец Н. Н.**  
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ВМЕЩАЮЩИХ  
ОРУДЕНЕНИЕ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОДАК (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)
- 33 Божко Н. А.**  
КИМБЕРЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ
- 36 Ванин В. А., Мазукабзов А. М.**  
НАУЧНЫЙ ПАРАДОКС МЕСТОРОЖДЕНИЯ-ГИГАНТА СУХОЙ ЛОГ
- 38 Викентьев И. В.**  
МЕТАЛЛОГЕНИЯ УРАЛА: КОЛЧЕДАННЫЕ И ЗОЛОТОРУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
- 41 Волков А. В., Галямов А. Л.**  
НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ
- 43 Воробьев С. А., Миляев С. А.**  
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, НЕ ВЫХОДЯЩИХ НА СОВРЕМЕННУЮ  
ЭРОЗИОННУЮ ПОВЕРХНОСТЬ
- 46 Галямов А. Л., Волков А. В., Мурашов К. Ю.**  
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СВЯЗЬ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ С ГЛУБИННЫМИ  
СТРУКТУРАМИ ТАЙМЫРА
- 48 Голубев С. Ю., Колесникова Т. И.**  
АДАПТАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ШЛИХО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ  
ПОИСКОВ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ  
ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНОЙ СЕДИМЕНТАЦИИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ЯКУТИИ  
(ОЛЕНЕКСКОЕ ПОДНЯТИЕ)
- 51 Голубев Ю. К., Прусакова Н. А., Лаптев М. М.**  
ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ В АРКТИЧЕСКОЙ  
ЗОНЕ РФ
- 53 Голубева Ю. Ю.**  
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МСБ АЛМАЗОВ РФ
- 56 Гончаров Е. М., Ратьков С. С., Борисов В. В., Тюпанов С. Н.**  
ИС «ЕДИНОЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО» – ТЕХНОЛОГИЯ  
КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА МНОГОМЕРНЫХ ГЕОДАНЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ЗАДАЧ
- 58 Горячев И. Н., Паршин А. В.**  
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА  
(СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)
- 60 Дамдинов Б. Б., Горячев Н. А., Москвитина М. Л., Дамдинова Л. Б., Извекова А. Д.**  
МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЗУН-ХОЛБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

- 63 Дементеев Л. И., Попенко Г. С.**  
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ РУДНЫХ КОНКРЕЦИЙ (ЮЖНЫЙ УЗБЕКИСТАН)
- 65 Джуманиязов Д. И., Каримова Ф. Б.**  
МЕТАСОМАТИТЫ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ТУКМАН (ЗАПАДНЫЙ УЗБЕКИСТАН)
- 67 Дорожкин А. Л., Бушарина С. В., Люлько М. С.**  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР ПО РУДНЫМ ОБЪЕКТАМ
- 69 Ефанова Л. И., Майорова Т. П., Пархачева К. Г.**  
ПЕРСПЕКТИВЫ КОРЕННОЙ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ХРЕБТА ЕНГАНЕПЭ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)
- 71 Житков В. Г., Ананьев Ю. С., Поцелуев А. А.**  
СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ РУДНЫХ РАЙОНОВ АЛТАЯ ПО МАТЕРИАЛАМ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК
- 73 Жукова И. А., Степанов А. С., Шао-Йонг Джианг**  
УНИКАЛЬНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ MOUNT WELD В ЗАПАДНОЙ АВСТРАЛИИ
- 74 Звездов В. С.**  
МОДЕЛИ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ
- 76 Звездов В. С., Чурилова Т. А.**  
ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ПРИРОДЫ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД НА РАЗМЕЩЕНИЕ И MORFOLOGИЮ РУДОНОСНЫХ РАССЛОЕННЫХ ИНТРУЗИВОВ НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА
- 79 Зинчук Н. Н.**  
О ТЕКТОНИКЕ ДРЕВНИХ КРАТОНОВ И МИНЕРАГЕНИИ АЛМАЗА
- 82 Зинчук Н. Н., Зинчук М. Н.**  
ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ В ТЕРРИГЕННЫХ ФОРМАЦИЯХ В СВЯЗИ С ПОИСКАМИ АЛМАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
- 86 Иванов А. С., Зинченко В. Н.**  
ВЫЧИСЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НАТРИЯ В ПИРОПАХ КИМБЕРЛИТОВ ЧЕРЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ СОДЕРЖАНИЙ ТИТАНА И МАРГАНЦА
- 87 Иванов А. С., Специус З. В.**  
НОВЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНЕЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ РАЗНЫХ БЛОКОВ КИМБЕРЛИТОВ
- 88 Иванова И. И., Рюмин Р. В., Краснов А. Н.**  
ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ТИПА НА ТЕРРИТОРИИ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АДАПТИВНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

- 90 Игнатов П. А., Еременко Р. У., Толстов А. В., Овчинников И. М.**  
ПЕРСПЕКТИВЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СКАНДИЯ В МАЛО-БОТУОБИНСКОМ,  
СРЕДНЕ-МАРХИНСКОМ И ЫГЫАТТИНСКОМ АЛМАЗОНОСНЫХ РАЙОНАХ  
ЯКУТИИ
- 93 Калинин Ю. А., Росляков Н. А.**  
ЗОЛОТОНОСНЫЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ  
АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ
- 95 Килижеков О. К., Яхин Ш. М., Симонов В. В., Разумов А. Н., Толстов А. В.**  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ ТРУБКИ МИР
- 97 Кириллина А. В., Мальцев М. В., Бережнев И. И.**  
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ КИМБЕРЛИТОВ В ЫГЫАТТИНСКОМ  
АЛМАЗОНОСНОМ РАЙОНЕ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ
- 99 Козлов Г. А.**  
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ СТРАТИФОРМНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА  
И ЦИНКА В ПАЛЕЗОЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ  
ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
- 101 Колова Е. Е., Глухов А. Н., Акинин В. В., Ползуненков Г. О., Аленичева А. А.,  
Приيمنко В. В., Касаткин Н. С., Шпикерман В. И.**  
ВОЗРАСТНЫЕ РУБЕЖИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ  
ОХОТСКО-ЧАУНСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ
- 104 Конкин В. Д.**  
СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЕ ПРИЗНАКОВ ЗОЛОТОНОСНОСТИ ПРОВИНЦИЙ  
С ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫМИ ФОРМАЦИЯМИ
- 107 Коногорова Д. В., Павлушин А. Д., Бардухинов Л. Д.**  
АЛМАЗЫ РЕДКОЙ ФОРМЫ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ АЛРОСА КАК КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ  
ПРОЦЕССОВ АЛМАЗООБРАЗОВАНИЯ
- 109 Коньшев В. О., Русских А. А.**  
К НАПРАВЛЕНИЮ РАБОТ ПО ПОИСКАМ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ РОССЫПЕЙ  
КЫВВОЖСКОГО ЗОЛОТОНОСНОГО ПОЛЯ СРЕДНЕГО ТИМАНА
- 112 Костина Е. Д., Агибалов О. А.**  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ НА  
МЕСТОРОЖДЕНИИ ЛОРА И ПОИСКОВОМ УЧАСТКЕ ХРУСТАЛЬНЫЙ-1 С ЦЕЛЬЮ  
УТОЧНЕНИЯ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ ПРИЗНАКОВ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО  
ОРУДЕНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ШХИПЕРОВСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ  
(МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)
- 114 Костровицкий С. И.**  
КОНТРАСТНЫЕ СОСТАВЫ КИМБЕРЛИТОВ – ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ
- 116 Кряжев С. Г.**  
ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ  
ЗОЛОТОНОСНЫХ ФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ В УГЛЕРОДИСТО-ТЕРРИГЕННЫХ  
КОМПЛЕКСАХ

- 117 Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Серавина Т. В.**  
ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ  
МЕТАЛЛОВ БОЛЬШОГО АЛТАЯ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ  
ОБСТАНОВКАХ
- 119 Кужугет Р. В., Анкушева Н. Н., Прокопьев И. Р., Редина А. А.**  
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ  
AU-VI МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАРДАНСКОГО РУДНОГО УЗЛА  
(ВОСТОЧНАЯ ТУВА, РОССИЯ)
- 121 Кузнецов В. В., Серавина Т. В.**  
ПРОГНОЗ И ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА В ВУЛКАНОГЕННЫХ  
АССОЦИАЦИЯХ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ
- 123 Лебедева М. И.**  
О ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ РАЗВИТИЯ В ОБЛАСТИ МЕТОДИЧЕСКОГО  
И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
- 125 Лебедева М. И., Белоусова А. А.**  
ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ НСАМ  
№ 392-Х/РС С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ  
ПРИ ГРР НА ТПИ
- 126 Лебедева М. И., Кит А. Ю.**  
АНАЛИЗ ОТРАСЛЕВОЙ БАЗЫ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ, ДОПУЩЕННЫХ  
(РЕКОМЕНДОВАННЫХ) К ПРИМЕНЕНИЮ ПРИ ЛАБОРАТОРНО-АНАЛИТИЧЕСКОМ  
ОБЕСПЕЧЕНИИ ГРР НА ТПИ
- 127 Литвиненко И. С.**  
ШЛИХОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКИХ ЗОЛОТОНОСНЫХ РАЙОНОВ (СЕВЕРО-ВОСТОК  
РОССИИ) КАК ИНДИКАТОРЫ ФОРМАЦИОННОГО И МИНЕРАЛЬНОГО ТИПОВ  
ИХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ
- 130 Лихоман О. А.**  
РОЛЬ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ОБРАЗОВАНИИ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА  
(ОРЕНБУРГСКИЙ УРАЛ)
- 133 Лобанов К. В., Докучаев А. Я., Кулаков Ф. В., Чичеров М. В.**  
ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ПЕРВОГО В РОССИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДИ В КОНЦЕ  
XV ВЕКА
- 135 Любимова А. В., Толмачева Е. Р., Деев К. В.**  
ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КАРТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ГИС
- 137 Мамедов В. И., Макарова М. А., Боева Н. М., Шипилова Е. С., Лопухин М. А.**  
К ПРОБЛЕМЕ ОБРАЗОВАНИЯ БЕМИТА В ЛАТЕРИТНЫХ БОКСИТОНОСНЫХ  
ПОКРОВАХ ПРОВИНЦИИ ФУТА ДЖАЛОН-МАНДИНГО (ЗАПАДНАЯ АФРИКА)

- 140 Мансуров М. И., Каландаров Б. Г., Исмаилова А. М., Мамедова А. Г., Кулиев И. Ф., Шамиев Р. А., Гусейнов А. И., Мамедова Т. А.**  
ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОД, ВЫЯВЛЕННЫЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)
- 143 Мансуров М. И., Керимли У. И.**  
ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ И ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ МЕХМАНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)
- 145 Махоткин И. Л.**  
ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ НОВЫХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АЛМАЗОВ НА ВЕРХОТИНСКОМ ВЫСТУПЕ ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ИМК
- 148 Махоткин И. Л.**  
ПОИСКИ И МЕТОДИКА ОПРОБОВАНИЯ РЕНТАБЕЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ С НИЗКИМИ И ВЕСЬМА НИЗКИМИ СОДЕРЖАНИЯМИ АЛМАЗОВ
- 149 Мизерная М. А., Мирошникова А. П., Кузьмина О. Н., Черненко З. И., Зикирова К. Т.**  
ИНВЕСТИЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР РУДНОГО АЛТАЯ
- 151 Милаушкин М. В., Мальковец В. Г., Гибшер А. А., Яковлев И. В.**  
ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД ИЗ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ ВЕРХНЕМУНСКОГО ПОЛЯ
- 154 Минина О. В.**  
АККАРГИНО-ШАЛКАРСКИЙ РИФТОГЕННЫЙ ПРОГИБ НА ВОСТОКЕ ЮЖНОГО УРАЛА – ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ЗОНА С ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИМ КОЛЧЕДАННЫМ ОРУДЕНЕНИЕМ
- 156 Михайлов В. В., Степанов С. Ю.**  
АССОЦИАЦИИ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ В ГАББРОИДАХ ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА
- 159 Мишенин С. Г., Юрченко О. С., Утюпин Ю. В., Хилько А. П.**  
ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЙОНОВ ПОЛИХРОННОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНОГО МАГМАТИЗМА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
- 161 Молчанов А. В., Артемьев Д. С., Ашихмин Д. С., Лебедев И. О.**  
ЛОМАМСКИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО ЗОЛОТО-МЕДНО-МОЛИБДЕНОВО-РУДНЫЙ РАЙОН – ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОРФИРОВОГО СЕМЕЙСТВА (ПО МАТЕРИАЛАМ ГДП-200/2)
- 164 Молчанов В. П., Андросов Д. В., Юдаков А. А., Иванников С. И.**  
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МЕТАЛЛОНОСНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ИНТРУЗИЙ УЛЬТРАБАЗИТОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ (ПРИМОРЬЕ)

- 166 Мясников Ф. В.**  
АЛМАЗОНОСНАЯ ЛИТОСФЕРА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ  
(ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ)
- 169 Назаров Ж. А.**  
ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ И ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ КОКПАТАССКОГО ТИПА ГОР БУКАНТАУ
- 170 Нематуллаев С. Ю., Джуманиязов Д. И.**  
ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПИСТАЛИ (СЕВЕРНЫЙ НУРАТАУ)
- 173 Никулин И. И.**  
АЛМАЗОНОСНЫЙ ЭЛЮВИЙ СИЛУРИЙСКОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОЛЛЕКТОРА  
ВИШЕРСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ЗОНЫ (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)
- 174 Остапенко Д. В.**  
ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕГО  
ПАЛЕОЗОЯ В ПРЕДЕЛАХ СЮЛЬДЮКАРСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ (СКП)
- 177 Павлушин А. Д., Степенчиков Д. Г.**  
МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ СИММЕТРИЙНЫЙ АНАЛИЗ РЕАЛЬНОЙ ФОРМЫ  
КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫЯВЛЕННЫХ ТИПОМОРФНЫХ  
ПРИЗНАКОВ В ПРАКТИКЕ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫХ ЗАДАЧ
- 179 Пак Н. Т., Альпиев М. Е., Альпиев Е. А., Ивлева Е. А.**  
НЕТРАДИЦИОННЫЙ ТИП ЗОЛОТО-МЕДНЫХ РУД В СЕРПЕНТИНИТАХ  
НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОЗЫМЧАК (КЫРГЫЗСТАН)
- 181 Пактовский Ю. Г.**  
ОБОСНОВАНИЕ ЭОЛОВОГО ТИПА АЛМАЗОНОСНЫХ РОССЫПЕЙ НА УРАЛЕ  
(ПЕРМСКИЙ КРАЙ)
- 183 Пальянова Г. А., Мурзин В. В., Беляева Т. В., Кузнецов С. К., Боровиков А. А.**  
ПАЛЛАДИСТОЕ ЗОЛОТО: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, МИНЕРАЛЬНЫЕ  
АССОЦИАЦИИ, ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
- 185 Печенкин И. Г.**  
БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЭКЗОГЕННО-ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОМ РУДОГЕНЕЗЕ
- 188 Подмогов Ю. Г., Керцман В. М., Мойланен Е. В.**  
ВОЗМОЖНОСТИ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОГНОЗА  
И ПОИСКА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
- 190 Подмогов Ю. Г., Керцман В. М., Мойланен Е. В.**  
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ  
ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВ
- 192 Попов И. В.**  
ДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЗМА «ЗАЯВИТЕЛЬНОГО ПРИНЦИПА» НА АБЦМ  
НА ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

- 194 Прокопьев И. Р., Дорошкевич А. Г., Старикова А. Е., Малютина А. В.**  
ПЕТРОГЕНЕЗИС И РУДОНОСНОСТЬ ЧАДОБЕЦКОГО ЩЕЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА  
(СИБИРСКИЙ КРАТОН, КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)
- 197 Проскурнин В. Ф., Граханов С. А., Шнейдер А. Г., Гавриш А. В.**  
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРЕННЫХ И РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
АЛМАЗОВ НА ВОСТОЧНО-ТАЙМЫРСКОЙ ПЛОЩАДИ
- 199 Прусакова Н. А., Голубев Ю. К., Дак А. И., Громцев К. В., Орлов М. В.**  
ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ НА КОРЕННУЮ  
АЛМАЗОНОСНОСТЬ
- 202 Раков Л. Т., Киселева Г. Д., Коваленкер В. А.**  
ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ЗОЛОТОНОСНОМ  
W-МО-ПОРФИРОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ БУГДАЙНСКОЕ ПО ДАННЫМ  
ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ В КВАРЦЕ МЕТОДОМ ЭПР
- 204 Рязанов К. П., Калугин П. С.**  
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СТРАТИФОРМНОГО И ЖИЛЬНОГО  
СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО И МАРГАНЦЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПАЛЕОЗОЙСКИХ  
КАРБОНАТНЫХ ТОЛЩАХ О. ВАЙГАЧ И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЮГОРСКОГО  
ПОЛУОСТРОВА (НЕНЕЦКИЙ АО)
- 207 Саблуков С. М., Саблукова Л. И.**  
НОВЫЕ ДАННЫЕ О МАГМАТИЗМЕ НЕНОКСКОГО ПОЛЯ И ПЕРСПЕКТИВАХ  
АЛМАЗОНОСНОСТИ ОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА (АРХАНГЕЛЬСКАЯ  
АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)
- 209 Седых Е. М., Бардухинов Л. Д.**  
УСТОЙЧИВОСТЬ КАЧЕСТВЕННЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
АЛМАЗА ТРУБКИ МИР С ГЛУБИНОЙ
- 211 Селиванов П. В., Муравьев В. С.**  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИВИЗНЫ РЕЛЬЕФА ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ РАЗРЫВНЫХ  
НАРУШЕНИЙ НА УЧАСТКЕ ШИЛГОН (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))
- 213 Соснин Е. П.**  
СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ РАСХОЖДЕНИЙ  
АНАЛИЗОВ ПРОБ
- 215 Спирина А. В.**  
ДИНАМОМЕТАМОРФИЗМ КОЛЧЕДАНЫХ РУД НОВО-УЧАЛИНСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)
- 218 Степанов А. С.**  
МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ ДЕГИДРАТАЦИЯ: ВАЖНЕЙШИЙ ФАКТОР  
РУДООБРАЗОВАНИЯ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ
- 219 Столяренко В. В., Минаков А. В., Алферова В. А., Рябошапка А. Г., Минаева С. В.**  
ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ УЧАСТКА ЧУЛКОВСКИЙ В ПРЕДЕЛАХ  
ТОММОТ-ЭЛЬКОНСКОЙ ПЛОЩАДИ

- 222 Суслонов Ю. В., Забелин А. В., Ратьков С. С.**  
ВОЗМОЖНОСТИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ
- 224 Сычев С. Н., Рогов А. В., Лебедева О. Ю.**  
ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РУДНЫЕ ОБЪЕКТЫ  
ОМУЛЕВСКОГО ПОДНЯТИЯ (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)
- 227 Тарасов А. С., Куликов Д. А., Карпухина М. В., Толкушкина Е. А., Хромов В. М.,  
Фролова А. С.**  
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ УКРУПНЕННОЙ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ  
ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ КАТЕГОРИИ  
P<sub>1</sub> И P<sub>2</sub> ЗА 2020–2021 ГГ.
- 228 Третьяченко В. В.**  
СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО  
РАЙОНИРОВАНИЯ НА АЛМАЗЫ ЮГО-ВОСТОЧНОГО БЕЛОМОРЬЯ  
И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА  
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ
- 231 Усманова Ш. В., Каримова Ф. Б.**  
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЁШЛИК  
(АЛМАЛЫКСКОЕ РУДНОЕ ПОЛЕ)
- 233 Федоров Д. Т.**  
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ МИРОВОГО РЫНКА МЕДИ
- 235 Филатова Л. К., Филиппова С. С.**  
ПАЛЕОЗОЙСКИЕ РИОЛИТЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РУДНОГО АЛТАЯ
- 236 Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е.**  
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АЛМАЗАХ И ЕГО СООТНОШЕНИЕ  
С АЛМАЗОНОСНОСТЬЮ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК
- 238 Хачатуров М. М., Зайцева М. Н., Филиппова С. С.**  
МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОД МУЛИНСКОЙ ПЛОЩАДИ  
КЛИЧКИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)
- 239 Черкасов М. М., Самсонов Н. Ю., Гудин А. Н., Проскурнин В. Ф., Шнейдер А. Г.,  
Кисельников Ю. В.**  
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНО-  
КВАРЦЕВОЙ ФОРМАЦИИ В ПРЕДЕЛАХ БОРЗОВСКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ  
ПЛОЩАДИ НА П-ВЕ ЧЕЛЮСКИН (ПОЛУОСТРОВ ТАЙМЫР)
- 241 Черных А. И., Иванов А. И., Наумов Е. А.**  
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА ЗОЛОТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ –  
ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
- 243 Черных А. И., Окулов А. В., Арсентьева И. В., Кряжев С. Г., Позднякова Н. Н.**  
ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ШАМАНСКОГО РУДНОГО УЗЛА КИЗАС-АНЗАССКОГО  
РУДНОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)



- 246 Чижова И. А., Кузнецов В. В.**  
МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ И ВЫБОРА  
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТИПА  
ДЛЯ ПОСТАНОВКИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ
- 248 Шатилова Л. В., Бондаренко Н. В., Позднякова Н. Н., Ковальчук Е. В.**  
ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВНУТРЕННЕМ СТРОЕНИИ И СОСТАВЕ САМОРОДНОГО  
ЗОЛОТА УЧУЙСКОГО РУДНОГО УЗЛА (АДЫЧА-ТАРЫНСКАЯ ЗОНА,  
РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))
- 251 Шишкина О. Ю.**  
СОВРЕМЕННЫЕ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УЧАСТКАХ  
АЛМАЛЫКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА УЗБЕКИСТАНА
- 252 Яковлев И. В., Мальковец В. Г., Гибшер А. А.**  
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПЕРЕРАБОТКИ АЛМАЗОНОСНОГО КИЛЯ  
МЕТАСОМАТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХНЕМУНСКОГО  
КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР



# УДОКАНСКАЯ МЕДЬ

ЗОЛОТОЙ СПОНСОР



**АЭРОГЕОФИЗИКА**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ПАРТНЕРЫ



ГЕОВЕБИНАРЫ

МИНЕРАЛЬНЫЕ  
РЕСУРСЫ РОССИИ  
**МРР** ОТРАСЛЕВОЙ  
ЖУРНАЛ  
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ



**РАЗВЕДКА НЕДР  
И ОХРАНА НЕДР**

ISSN 0034-026X

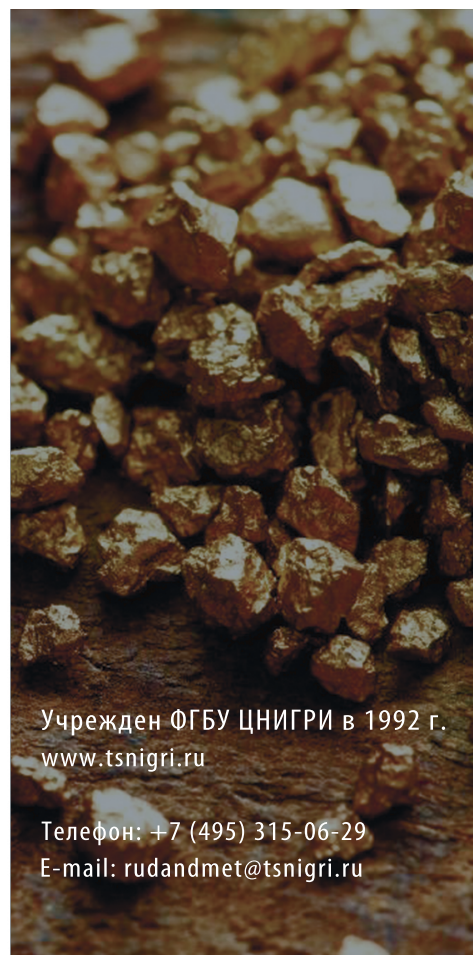
ОСНОВАН В 1931 ГОДУ

**РУДЫ  
и  
МЕТАЛЛЫ**  
научно-технический журнал



## ТЕМЫ ПУБЛИКАЦИЙ

- ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО В СФЕРЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ
- МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА РОССИИ
- КОНЪЮНКТУРА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
- ПРОГНОЗ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ
- ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ
- ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГРП
- ПЕРЕРАБОТКА И АНАЛИЗ РУД



Учрежден ФГБУ ЦНИГРИ в 1992 г.  
[www.tsnigri.ru](http://www.tsnigri.ru)

Телефон: +7 (495) 315-06-29  
E-mail: [rudandmet@tsnigri.ru](mailto:rudandmet@tsnigri.ru)

# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ



Выпускается  
с 1933 года



ISSN 0869-7175

**ОТЕЧЕСТВЕННАЯ  
ГЕОЛОГИЯ**

История формирования  
и развития геологической мысли  
в Российской империи

25

Модель формирования  
и развития геологической мысли  
в Российской империи

25

Современные структуры земной  
коры и литосферы

82

№ 2 / 2016

**Отечест  
гео**

Модель формирования  
и развития геологической мысли  
в Российской империи

25

**Отечест  
геоло**

Развитие геологических идей  
в развитии геологической мысли  
и освоении природных ресурсов  
в условиях перехода к рыночной  
экономике

4-5/2003

**12/1992**

Литогенное рудообразование  
новый тип золотого оруденения  
структурно-метасоматический комплекс  
пачинского массива

**СОВЕТСКАЯ  
ГЕОЛОГИЯ**

10/1984

Ежемесячный  
научный журнал

**СОВЕТСКАЯ  
ГЕОЛОГИЯ**

12 • 1981

**СОВЕТСКАЯ  
ГЕОЛОГИЯ**

1975  
9

**ПРОБЛЕМЫ  
СОВЕТСКОЙ  
ГЕОЛОГИИ**

Под редакцией  
акад. И. М. Губкина

СБОРНИК  
47

**PROBLEMS  
OF SOVIET  
GEOLOGY**

I. M. Gubkin  
Editor

ГОСТЕХТЕХНИКА

1936



ISBN 978-5-95657-034-1

УДК 553.4/8.043

Научно-техническое издание

Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов XI Международной научно-практической конференции. (12–15 апреля 2022 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). М. : ЦНИГРИ. 2022. 268 с.

В сборник включены 114 докладов, представленных на XI Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». В тезисах докладов представлены материалы по следующим темам: минерагения АБЦМ; приоритетные направления прогнозных и поисковых работ на АБЦМ; перспективные объекты для постановки геологоразведочных работ на АБЦМ различных стадий; опыт проведения и результаты геологоразведочных работ на АБЦМ объектов распределенного и нераспределенного фондов недр; 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.

Сдано в набор 28.03.2022.

Подписано в печать 06.04.2022

Печать цифровая. Тираж 150 экз.

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

117545, Москва, Варшавское шоссе, дом 129, корп. 1