

# И РУДЫ и МЕТАЛЛЫ



научно-технический журнал

№ 2 июнь – август 2020

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### **Иванов Анатолий Иннокентьевич**

главный редактор  
доктор геолого-минералогических наук,  
научный руководитель ЦНИГРИ

### **Черных Александр Иванович**

заместитель главного редактора  
кандидат геолого-минералогических наук,  
генеральный директор ЦНИГРИ

### **Жаркова Вера Сергеевна**

заместитель главного редактора  
заведующая редакционно-оформительским отделом ЦНИГРИ

### **Вартанян Сергей Серопович**

кандидат геолого-минералогических наук,  
советник генерального директора ЦНИГРИ

### **Волчков Алексей Гордеевич**

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

### **Голубев Юрий Конкордьевич**

кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом алмазов ЦНИГРИ

### **Горячев Николай Анатольевич**

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

### **Звездов Вадим Станиславович**

кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом металлогении ЦНИГРИ

### **Кременецкий Александр Александрович**

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

### **Кряжев Сергей Гаврилович**

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

### **Кузнецов Владимир Вениаминович**

кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий отделом цветных металлов ЦНИГРИ

### **Наумов Евгений Анатольевич**

кандидат геолого-минералогических наук,  
заместитель генерального директора по научной работе ЦНИГРИ

### **Похиленко Николай Петрович**

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

### **Проскурнин Василий Фёдорович**

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

### **Седельникова Галина Васильевна**

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

### **Толстов Александр Васильевич**

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

### **Фридовский Валерий Юрьевич**

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

#### Учредитель

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

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

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

Москва ЦНИГРИ 2020



# СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА,  
ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И РАЗВЕДКИ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Владимирцева О. В., Шатилова Л. В.,  
Гвоздева И. А., Бондаренко Н. В.**

Типоморфные признаки  
самородного золота ручья Снежный,  
Республика Саха (Якутия)



04

PROGNOSIS, PROSPECTING  
AND EXPLORATION: TECHNIQUES  
AND METHODS

**Vladimirtseva O. V., Shatilova L. V.,  
Gvozdeva I. A., Bondarenko N. V.**

Typomorphic features of native gold,  
Snezhny stream, Republic of Sakha  
(Yakutia)

**Карамышев А. В.,  
Фёдорова К. С., Тарасов А. В.**

Прогноз скрытого золотого оруденения в  
пределах Центрально-Колымского района  
по комплексу геолого-геофизических  
признаков методом распознавания

10

**Karamyshev A. V.,  
Fedorova K. S., Tarasov A.V.**

Forecast for concealed gold mineralization  
within Central Kolyma region based on a set  
of geological and geophysical features  
by identification method

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Мельников А. В., Степанов В. А.**

Геологическая позиция находок уникальных  
самородков золота Нового Южного Уэльса  
(Австралия) и Приамурья (Россия)

25

GEOLOGY OF ORE DEPOSITS

**Melnikov A. V., Stepanov V. A.**

The geological position of unique gold  
nuggets discovered in New South Wales  
(Australia) and the Amur region (Russia)

**Москвитина М. Л., Дамдинов Б. Б.,  
Дамдинова Л. Б., Извекова А. Д.**

Минеральные ассоциации кварц-сульфидных  
руд Зун-Холбинского золоторудного  
месторождения, Восточный Саян

33

**Moskvitina M. L., Damdinov B. B.,  
Damdinova L. B., Izvekova A. D.**

Mineral associations of quartz-sulfide ores,  
Zun-Kholba gold deposit, Eastern Sayany

**Серавина Т. В., Кузнецов В. В.,  
Кудрявцева Н. Г., Кузнецова Т. П.,  
Елшина С.Л.**

Серебро-свинцово-цинковые  
месторождения в вулканогенных  
ассоциациях Черемшанского рудного узла,  
Дальнегорский рудный район

**СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
АЛМАЗОВ**

**Горев Н. И., Колесник А. Ю.,  
Николенко Е. И., Протсенко Е. В.,  
Старостин П. В., Шахурдина Н. К.**

История формирования  
среднепалеозойских кимберлитов Алакит-  
Мархинского поля, Западная Якутия

**Кедрова Т. В., Богущ И. Н., Зинчук Н. Н.,  
Бардухинов Л. Д., Липашова А. Н.**

Алмазы укугутской свиты россыпи  
Нюрбинская, Накынское кимберлитовое  
поле Сибирской платформы

**ГЕОЛОГИ О ВОЙНЕ**

Фрагменты из книги  
А. А. Константиновского «Далёкие голоса»

**ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ**

Морозова А. Ф.  
Хачатрян Г. К.

**ПАМЯТИ**

Б. А. Яцкевича  
Б. К. Михайлова  
А. А. Черемисина  
Б. Я. Вихтера  
А. Г. Воларович

47

58

69

78

87

90

**Seravina T. V., Kuznetsov V. V.,  
Kudryavtseva N. G., Kuznetsova T. P.,  
Elshina S. L.**

Silver-lead-zinc deposits in volcanogenic  
associations of the Cheremshansky ore cluster,  
Dalnegorsky ore district

**GEOLOGY OF DIAMOND  
DEPOSITS**

**Gorev N. I., Kolesnik A. Yu.,  
Nikolenko E. I., Protsenko E. V.,  
Starostin P. V., Shakhurdina N. K.**

Formation history of middle paleozoic  
kimberlites of the Alakit-Markha field,  
Western Yakutia

**Kedrova T. V., Bogush I. N., Zinchuk N. N.,  
Bardukhinov L. D., Lipashova A. N.**

Diamonds from the ukugut suite of the  
Nyurbinskaya placer, Nakyn kimberlite field

**GEOLOGISTS ABOUT THE WAR**

A. A. Konstantinovskiy  
Fragments of the book «Distant voices»

**OUR CONGRATULATIONS**

Morozov A. F.  
Khachatryan G. K.

**IN MEMORIUM**

B. A. Yatskevich  
B. K. Mihailov  
A. A. Cheremisina  
B. Ya. Vihter  
A. G. Volarovitch



## ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА РУЧЬЯ СНЕЖНЫЙ, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)

*Район среднего течения р. Адыча (Верхоянский район, Республика Саха (Якутия)) характеризуется широким развитием экзогенной золотоносности. По результатам изучения типоморфных признаков золота из техногенных отложений руч. Снежный предполагается золото-сурьмяный рудно-формационный тип коренного источника, сделаны выводы о формировании золотоносности в процессе единого заключительного цикла россыпеобразования, выделен промежуточный коллектор, представленный четвертичными отложениями II надпойменной террасы, служащий источником ложковой россыпи.*

*Ключевые слова: экзогенная золотоносность, источник россыпи, промежуточный коллектор, внутреннее строение золота, среднее течение р. Адыча*

В среднем течении р. Адыча широко развита экзогенная золотоносность. Предположительными коренными источниками питания россыпей служат многочисленные рудопроявления малосульфидной золотокварцевой и золото-антимонит-кварцевой рудных формаций [3]. Несмотря на значительный объём поисковых и разведочных работ, многие проявления остаются недостаточно изученными, для многих россыпей не установлены коренные источники, не определён их рудно-формационный тип, не выяснена роль промежуточных коллекторов.

При исследовании россыпных объектов важное значение имеет изучение типоморфизма самородного золота россыпей: гранулометрического состава, морфологии, степени её изменения, наличия сростков с другими минералами, рельефа поверхности, пробности и внутреннего строения, выявления первичных структур роста и структур эпигенетического преобразования, т. е. комплекса признаков, которые позволяют судить о характере коренных источников, а также о преобразованиях золота в корях выветривания и россыпях [4].

Россыпные объекты среднего течения р. Адыча, связанные с отложениями древних террас и современными аллювиальными, расположены в пределах Адычанской зоны протяжённостью более 150 км и шириной до 20 км, контролируемой Чаркы-Индибирским надвигом и системами глубинных разломов северо-западного простирания.

Для исследований было отобрано золото из россыпи руч. Снежный, относящегося к бассейну р. Адыча. Данная россыпь ложкового типа известна с 50-х годов XX в., отработывалась с конца 80-х, при этом сведения о типоморфизме золота весьма отрывочны, коренные источники россыпей не локализованы [1].

Техногенные отложения представлены плохо сортированными песчано-галечными образованиями мощностью до 1 м, в каче-

**Владмирцева  
Ольга Владимировна**

аспирант<sup>1</sup>  
olga\_9\_4@mail.ru

**Шатилова  
Людмила Викторовна**

старший научный сотрудник<sup>2</sup>  
shatilova@tsnigri.ru

**Гвоздева  
Ирина Анатольевна**

научный сотрудник<sup>2</sup>  
gvozdevairina@yandex.ru

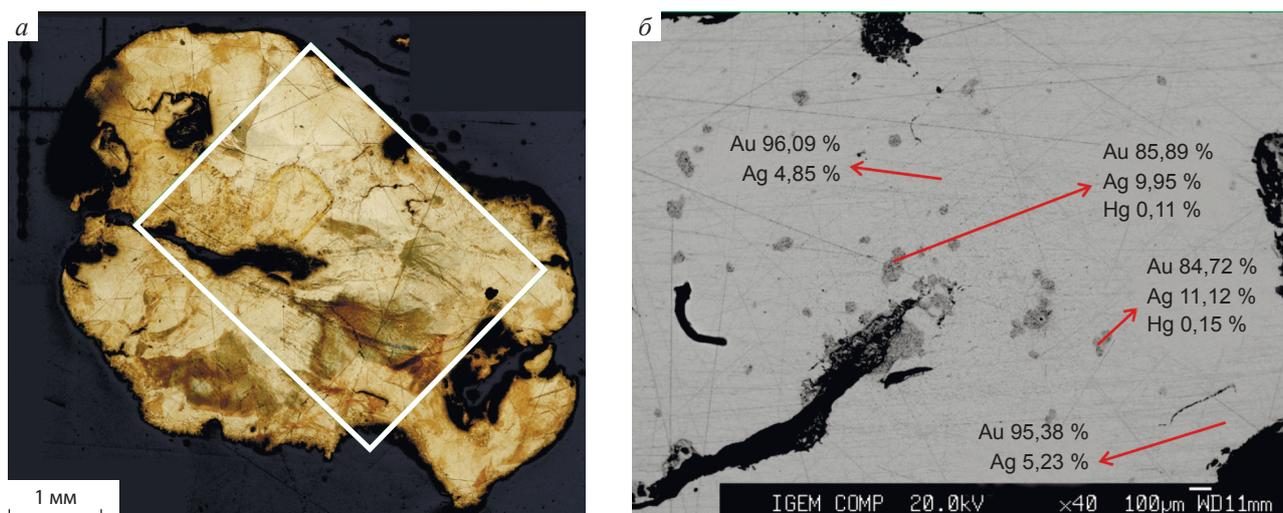
**Бондаренко  
Николай Викторович**

кандидат геолого-минералогических наук  
заведующий отделом благородных металлов<sup>2</sup>  
nicolasbond@yandex.ru

<sup>1</sup> Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва

<sup>2</sup> ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», г. Москва





**Рис. 1. ВЫСОКОПРОБНОЕ ЗОЛОТО (953–960 ‰) ЗЕРНИСТОГО СТРОЕНИЯ С ПРИЗНАКАМИ ДЕФОРМАЦИИ ДВОЙНИКОВ И ФРАГМЕНТАРНО ПРОЯВЛЕННОЙ ТОНКОЙ КОРРОЗИОННОЙ ОБОЛОЧКОЙ (а), ОКРУГЛЫЕ ОБОСОБЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ПРОБНОСТИ (847–858 ‰) В ВЫСОКОПРОБНОЙ МАТРИЦЕ (б):**

зерно 11 (монтированный полированный шлиф; а – травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ , б – в отражённых электронах)

стве плотика выступают алевролиты и аргиллиты верхнего отдела норийского яруса триасовой системы. Пески залегают на глубине 0,2 м, мощность аллювиальных отложений не превышает 3 м. Прорадка золота в плотик составляет 0,2–0,4 м, среднее содержание – 15 г/м<sup>3</sup>, порядка 90 % металла относится к фракции +2 мм [1].

По результатам изучения гранулометрических и морфологических характеристик [2], источником золота россыпи руч. Снежный предположительно является промежуточный коллектор, сложенный четвертичными ( $Q_{2-3}$ ) отложениями II террасы Адычанской ступени, в области распространения которых водоток берёт своё начало.

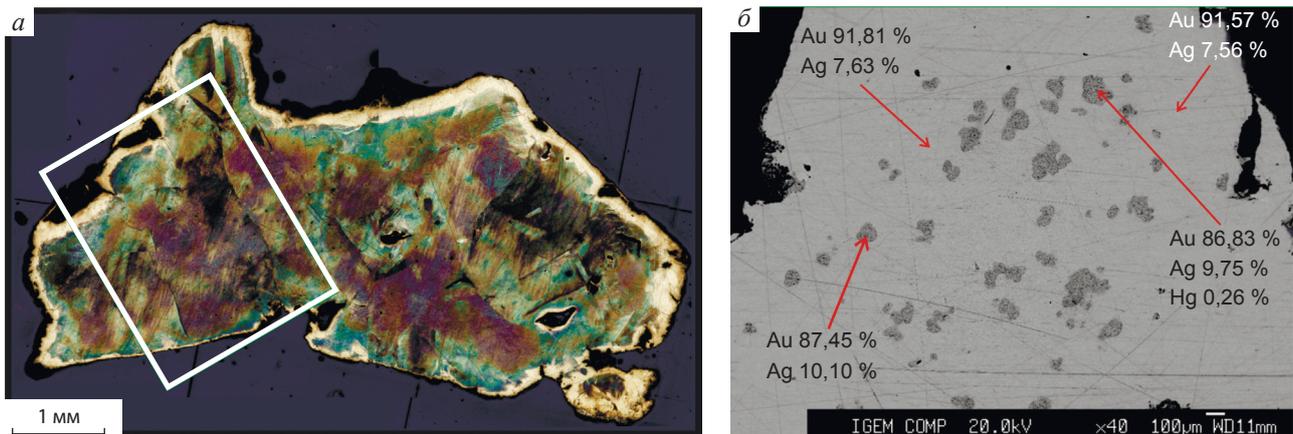
Для установления источника питания были изучены пробность и внутреннее строение 11 золотин класса крупности -5+2,5 мм. Пробность золотин (75 измерений) определялась методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на микроанализаторах JXA-8200 фирмы JEOL в ЦКП «ИГЕМ-аналитика» (ИГЕМ РАН, аналитик Е. В. Ковальчук) и Camebax-microbeam с волновой дисперсией (ФГБУ «ИМГРЭ», аналитик О. А. Набелкин) [2]. Внутреннее строение изучалось методом многоступенчатого структурного травления полированных срезов монтированных золотин раствором  $\text{CrO}_3$  в  $\text{HCl}$ .

Золото представлено тёмно-жёлтыми среднеокатанными уплощёнными гемиидиоморфными

золотинами и хорошо окатанными лепёшковидными частицами, а также зеленовато-жёлтыми полуокатанными сростками пластинчатых кристаллов с шагреневато-ямчатой поверхностью с сохранившимися незначительными примазками гидроксидов железа.

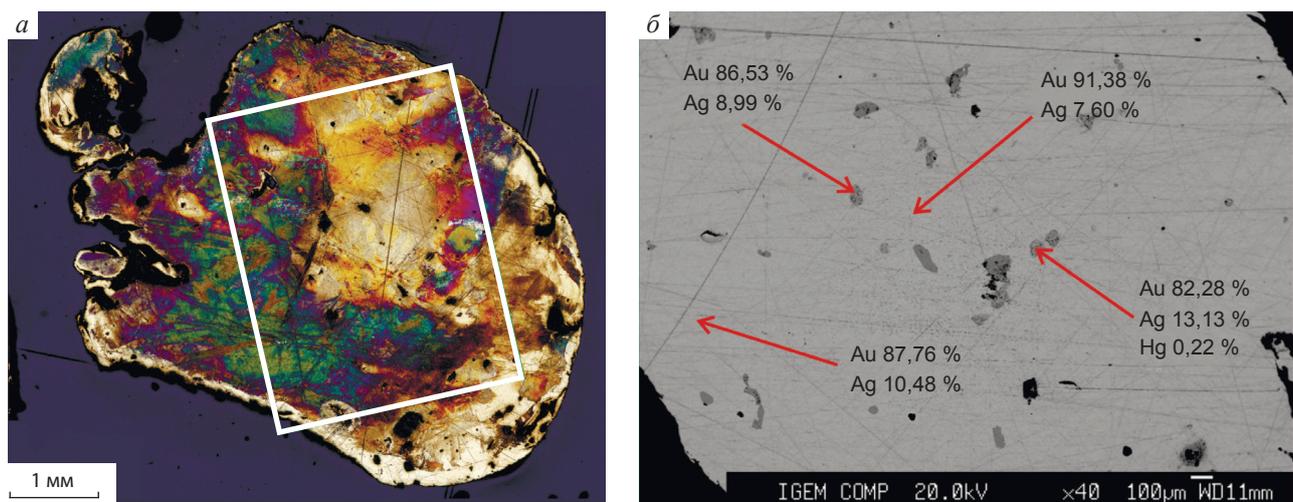
Пробность и внутреннее строение золота в значительной степени изменчивы. Пробность варьирует от 545 до 960 ‰, распределение её двумодальное с пиками высокопробного (пять золотин) и низкопробного (пять золотин). В высокопробном (910–960 ‰) золоте при фотографировании в отражённых электронах обычно отчётливо видны мелкие округлые обособления средней (820–880 ‰) пробности.

При последующем травлении для высокопробного золота установлено зернистое строение с элементами двойникования и деформациями, а также проявленной в той или иной мере последующей пятнистой неоднородностью (рис. 1, 2). Пятнистая неоднородность характеризуется преобладанием окраски лилово-бурого цвета. Подобные цвета, нетипичные для высокопробного золота, вероятно, обусловлены наличием в золотилах тончайших (1–2 мкм) микровключений аурустибита, который при реакции с  $\text{HCl}$  образует тёмно-бурый налёт. Также присутствует высокопробное золото (920 ‰), обрастающее относительно низкопробным (810 ‰)



**Рис. 2. ЗОЛОТО НЕОДНОРОДНОГО СОСТАВА КРУПНОЗЕРНИСТОГО ДЕФОРМИРОВАННОГО СТРОЕНИЯ С ПРОЯВЛЕНИЯМИ ПЯТНИСТОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ И КОРРОЗИОННЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ НЕРАВНОМЕРНОЙ МОЩНОСТИ ПО ПЕРИФЕРИИ (а), МНОГООБРАЗНЫЕ ОБОСОБЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ПРОБНОСТИ (868–874 ‰) В ВЫСОКОПРОБНОЙ (915–918 ‰) МАТРИЦЕ (б):**

зерно 7 (монтированный полированный шлиф, а – травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ , б – в отражённых электронах)



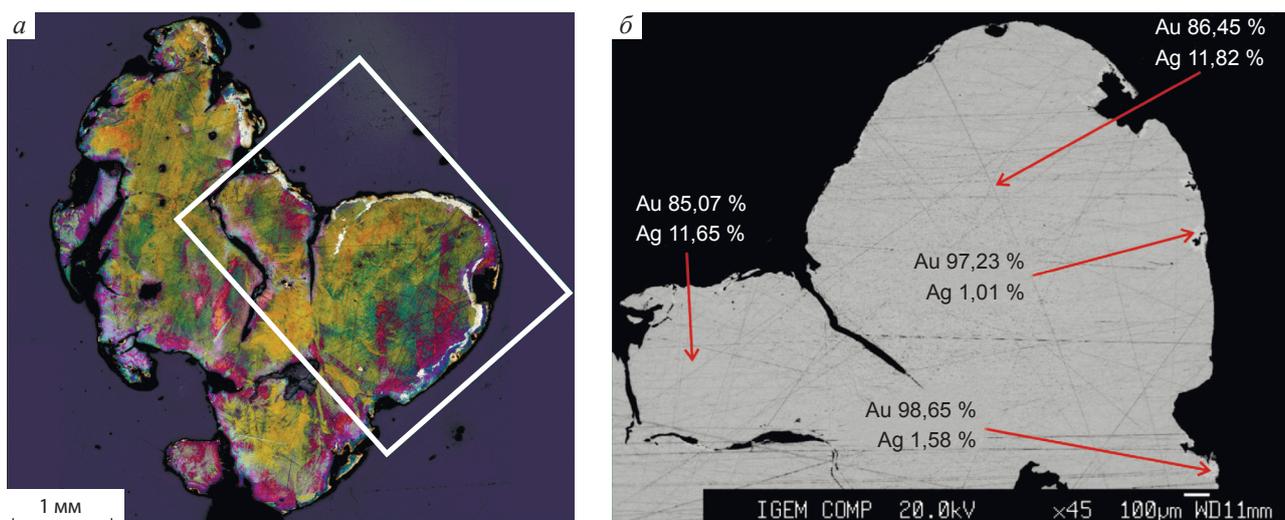
**Рис. 3. ОБРАСТАНИЕ ВЫСОКОПРОБНОГО ЗОЛОТА (913 ‰) ОТНОСИТЕЛЬНО НИЗКОПРОБНЫМ (822 ‰) ПЯТНИСТО-НЕОДНОРОДНОГО СТРОЕНИЯ (а), НЕОДНОРОДНОЕ СТРОЕНИЕ МАТРИЦЫ (б):**

зерно 4 (монтированный полированный шлиф, а – травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ , б – в отражённых электронах)

пятнисто-неоднородного строения с образованием зоны промежуточного состава (865–875 ‰), возможно, за счёт диффузионных процессов (рис. 3).

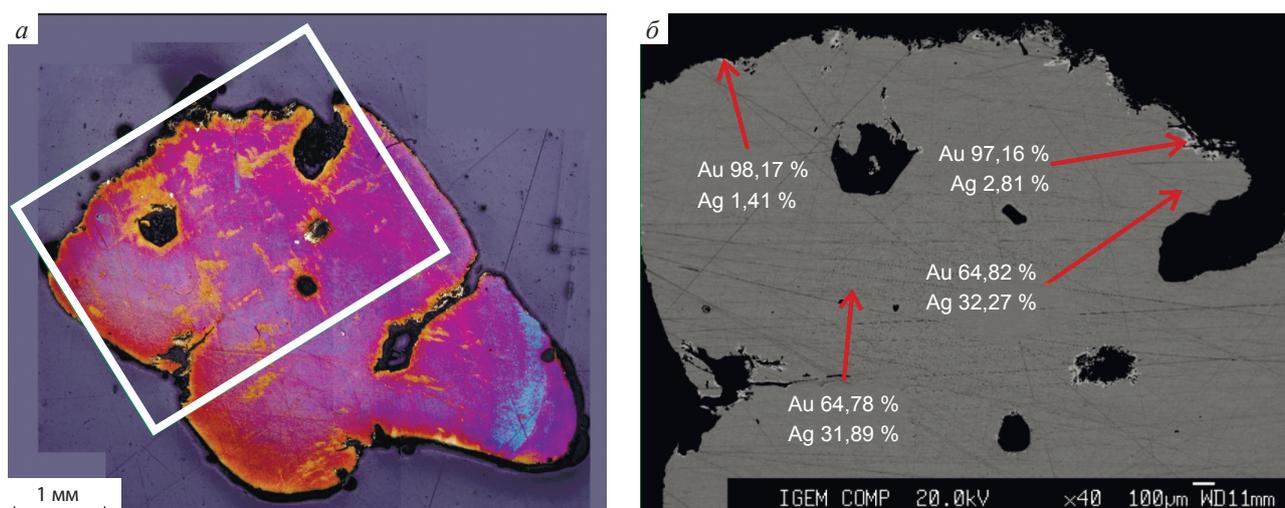
В золоте средней (850–864 ‰) пробы, по данным РСМА, матрица относительно однородная, а при структурном травлении выявляется зернистое пятнисто-неоднородное строение с признаками деформаций (рис. 4).

Низкопробное (545–700 ‰) золото по результатам РСМА также характеризуется однородной матрицей. Структурное травление обнаруживает наличие двух генераций низкопробного золота, формирующих как самостоятельные выделения (рис. 5), так и сращения (рис. 6). Для выделений золота пробы 545–650 ‰ типично монотипное слабоzonальное ненарушенное строение, а для



**Рис. 4. ЗОЛОТО СРЕДНЕЙ ПРОБНОСТИ (850–864 ‰) ЗЕРНИСТОГО ПЯТНИСТО-НЕОДНОРОДНОГО ДЕФОРМИРОВАННОГО СТРОЕНИЯ С ЗАРОДЫШЕВОЙ КОРРОЗИОННОЙ ОБОЛОЧКОЙ (а), ФРАГМЕНТ ЗОЛОТИНЫ (б):**

зерно 3 (монтированный полированный шлиф, а – травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ , б – в отражённых электронах)



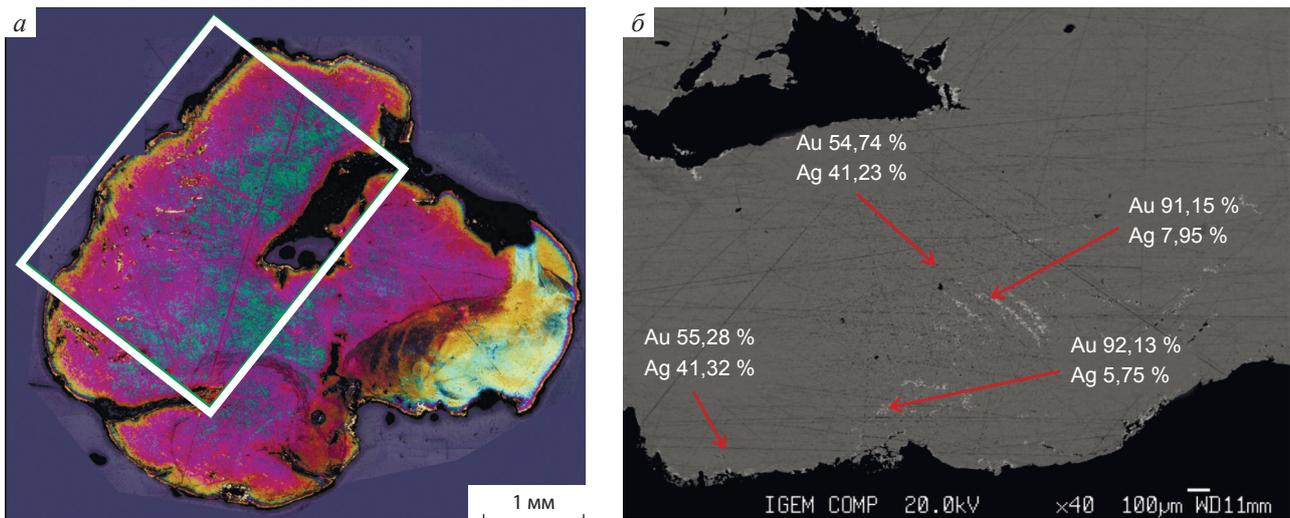
**Рис. 5. МОНОЗЕРНИСТОЕ СЛАБОЗОНАЛЬНОЕ СТРОЕНИЕ НИЗКОПРОБНОГО (648 ‰) ЗОЛОТА С ФРАГМЕНТАРНОЙ ЗАРОДЫШЕВОЙ КОРРОЗИЕЙ (а), ФРАГМЕНТ ЗОЛОТИНЫ (б):**

зерно 9 (монтированный полированный шлиф, а – травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ , б – в отражённых электронах)

золота пробыности 695–700 ‰ – крупнозернистое пятнисто-неоднородное с элементами зональности и следами деформаций.

Гипергенные преобразования весьма слабые. В высокопробном золоте они представлены тонкой коррозионной оболочкой, в низкопробном отмечены лишь фрагментарные проявления зародышевой коррозии тонкогубчатого строения по пери-

ферии золотин и границам минеральных включений. Такие незначительные гипергенные преобразования характерны для россыпного золота Яно-Колымской зоны и обусловлены холодным климатом, препятствующим активному формированию коррозионных кайм. Вместе с тем относительно более интенсивные коррозия и окатанность высокопробного золота могут быть результатом его от-



**Рис. 6. СРАСТАНИЕ НИЗКОПРОБНОГО ЗОЛОТА ДВУХ ГЕНЕРАЦИЙ (а), ФРАГМЕНТ ЗОЛОТИНЫ (б):**

зерно 8 (монтированный полированный шлиф, а – травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ , б – в отражённых электронах)

ложения на верхних горизонтах коренного источника и поступления в промежуточный коллектор на более ранних стадиях формирования.

На основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы.

Размерность золотинок, их морфология, вариации пробности и внутреннее строение в целом соответствуют комплексу типоморфных признаков самородного золота проявлений золото-антимонит-кварцевого типа (уплощённые гемиидиоморфные и кристаллические формы выделений, преобладание высокопробного золота при заметной роли низкопробного, общая бедность примесями, моно- и полизернистое строение с проявлением эпикристаллизационных деформаций) [5].

Лилово-бурая окраска плёнок травления на золоте говорит о вероятном присутствии микровключений минерала, в состав которого входит элемент халькофильной группы, что характерно для золота Среднеадычанского района и служит косвенным показателем рудно-формационного типа коренного источника.

Незначительная глубина коррозионных преобразований золота как высокой, так и низкой пробности свидетельствует о поступлении золота в современную россыпь руч. Снежный в процессе единого заключительного цикла россыпеобразования.

Геолого-геоморфологическая обстановка в районе руч. Снежный, а также существенное преобла-

дание средне- и хорошо окатанного золота крупных гранулометрических классов позволяют предполагать в качестве источника современной ложковой россыпи промежуточный коллектор, которым, по мнению авторов, могут быть отложения II надпойменной террасы. Присутствие зародышевых высокопробных коррозионных оболочек в золотинок отражает неблагоприятные гидро- и термохимические условия для развития гипергенных преобразований, соответствующие промежуточному коллектору в зоне развития многолетнемерзлых пород.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимирцева О. В. О вероятном источнике аллювиальных россыпей золота руч. Куранах и руч. Снежный (Верхоянский район, Якутия) // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 6. – С. 10–14.
2. Владимирцева О. В., Набелкин О. А., Субботин Н. А. Вещественные особенности гипогенных и гипергенных образований золота техногенных отложений ручья Снежный (Верхоянский район, Якутия) // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 10. – С. 15–20.
3. Государственная геологическая карта. М-6 1:200 000. Листы Q-53-XVII, XVIII / А. Н. Вишневецкий, А. А. Булатов; ред. А. В. Зимкин. – Л. [СПб.]: ВСЕГЕИ, 1964.
4. Николаева Л. А. Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. – М.: Недра, 1978. – 102 с.

5. Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н., Яблокова С. В., Шатилова Л. В. Самородное золото рудных и россыпных месторождений России : Атлас. – 2-е изд. / Отв. ред. Б. К. Михайлов. – М. : Акварель, 2015. – 200 с.

#### REFERENCES

1. Vladimirtseva O. V. O veroyatnom istochnike allyuvial'nykh rossypei zolota ruch. Kuranakh i ruch. Snezhnyi (Verkhoyanskii raion, Yakutiya) [On the probable source of alluvial gold placers Kuranakh and Snezhnyi (Verkhoyansk district, Yakutia)], *Razvedka i okhrana nedr [Prospect and protection of mineral resources]*, 2019, No 6, pp. 10–14. (In Russ.).
2. Vladimirtseva O. V., Nabelkin O. A., Subbotin N. A. Veshchestvennye osobennosti gipogennykh i gipergennykh obrazovaniy zolota tekhnogennykh otlozheniy ruch'ya Snezhnyi (Verkhoyanskii raion, Yakutiya) [Real features of hypogenic and hypergenic gold formations of technogenic deposits of the Snezhnyi stream (Verkhoyansk district, Yakutia)], *Razvedka i okhrana nedr [Prospect and protection of mineral resources]*, 2019, No 10, pp. 15–20. (In Russ.).
3. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta. Masshtab 1:200 000. Listy Q-53-XVII, XVIII [State geological map. Scale 1: 200 000. Sheets Q-53-XVII, XVIII], ed. A. N. Vishnevskii, A. A. Bulatov, A. V. Zimkin, Leningrad, VSEGEI Publ., 1964.
4. Nikolaeva L. A. Geneticheskie osobennosti samorodnogo zolota kak kriterii pri poiskakh i otsenke rud i rossypei [Genetic features of native gold as criteria in the search and evaluation of ores and placers], Moscow, Nedra Publ., 1978, 102 p.
5. Nikolaeva L. A., Gavrilov A. M., Nekrasova A. N., Yablokova S. V., Shatilova L. V. Samorodnoe zoloto rudnykh i rossypnykh mestorozhdeniy Rossii : Atlas, 2-e izd. [Native gold in lode and placer deposits of Russia, Atlas, 2nd ed.], ed. B. K. Mikhailov, Moscow, Akvarel' Publ., 2015, 200 p.

## TYPOMORPHIC FEATURES OF NATIVE GOLD, SNEZHNY STREAM, REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Vladimirtseva O. V. (postgraduate<sup>1</sup>)

Shatilova L. V. (senior researcher<sup>2</sup>)

Gvozdeva I. A. (researcher<sup>2</sup>)

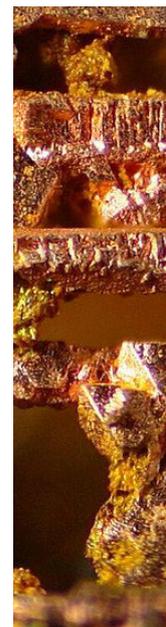
Bondarenko N. V. (PhD, Head of precious metals department<sup>2</sup>)

<sup>1</sup> S. Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI), Moscow (Russia)

<sup>2</sup> Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals (FSBI TsNIGRI), Moscow (Russia)

*The area of Adycha river (Verkhoyansk district, Republic of Sakha (Yakutia)) midstream is characterized by extensive exogenetic gold potential development. Based on study results of typomorphic gold features from Snezhny stream technogenic deposits, Au-Sb ore formation native source type is suggested; its development within a single final placer formation cycle is concluded; an intermediate reservoir represented by Quaternary deposits of II flood-plain terrace, which is a ravine placer source, is identified.*

*Keywords: exogenetic gold potential, placer source, intermediate reservoir, internal gold structure, Adycha river midstream.*





## ПРОГНОЗ СКРЫТОГО ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО РАЙОНА ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОЛОГО- ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ МЕТОДОМ РАСПОЗНАВАНИЯ

*В работе представлены результаты формализованной (количественной) оценки перспективности Центрально-Колымского района (ЦКР) на золотое оруденение по комплексу геофизических, геологических и геохимических признаков методом ИПС. Метод основан на алгоритме распознавания образов и предполагает разделение множества изучаемых объектов на два класса: «рудные», которые по совокупности анализируемых признаков имеют максимальное сходство с известными эталонами (ранга рудных узлов, полей или месторождений), и условно «безрудные», для характеристики которых оценивается вмещающая среда, включающая в себя площадь за пределами выбранных эталонов. Показано, что в геофизических полях проявлены важные особенности геологического строения известных золоторудных полей и узлов ЦКР. Установлены прогнозно-поисковые геолого-геофизические и геохимические признаки (критерии локализации), характерные для Аян-Юряхской и Инь-Яли-Дебинской структурно-формационных зон. Выделены площади, перспективные на выявление новых золоторудных месторождений в пределах ЦКР.*

*Ключевые слова: Центрально-Колымский регион, прогноз оруденения, золоторудные месторождения, распознавание образов, прогнозно-поисковые геолого-геофизические признаки.*

### Карамышев Андрей Викторович

магистрант, инженер<sup>1,2</sup>  
and.karamysheff2011@yandex.ru

### Фёдорова Ксения Сергеевна

аспирант, геофизик 1 категории<sup>2</sup>  
ksfedorova24@gmail.com

### Тарасов Андрей Вячеславович

кандидат геолого-минералогических наук  
доцент кафедры геофизики,  
ведущий геофизик<sup>1,2</sup>  
avtarasov@mail.ru

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского», г. Санкт-Петербург

На протяжении более 80 лет Центрально-Колымский регион (ЦКР) является крупнейшим центром золотодобычи на Дальнем Востоке России. В нём известно множество коренных и россыпных месторождений золота, в том числе такие крупные, как Наталкинское. Несмотря на относительно хорошую изученность, ЦКР остаётся перспективным на обнаружение новых крупных золоторудных месторождений. Одним из актуальных методов локализации подобных объектов является формализованное прогнозирование с использованием компьютерных методов распознавания образов (РО). Несмотря на то что первые целенаправленные попытки использования вероятностно-статистических методов для решения геологических задач относятся ещё к началу 1960-х гг., широкое распространение они получили только в последние годы в условиях повсеместного перехода к цифровым типам данных.

В качестве прогнозных признаков в алгоритмах РО обычно используются геофизические данные, объективно отражающие характер естественных полей и характеризующиеся преимущественно равномерным покрытием изучаемой территории, что имеет первостепенное значение при применении статистических методов прогноза.

УДК 553.411(571.56)

© А. В. Карамышев, К. С. Фёдорова, А. В. Тарасов, 2020

DOI: 10.24411/0869-5997-2020-10010

В то же время прямые геологические данные, являющиеся в своей основе суммой результатов точечных наблюдений, зачастую неравномерно распределённых в пределах рассматриваемой площади и представляющие субъективное отражение геологической обстановки конкретным наблюдателем, практически лишены основного недостатка косвенных данных, а именно неоднозначности интерпретации. Другой важной составляющей комплекса прогнозных признаков являются также геохимические данные, аномалии которых в отдельных случаях позволяют достаточно точно локализовать непосредственно рудные объекты. Поэтому мы считаем рациональным использование в качестве рабочего набора прогнозных признаков сбалансированной комбинации косвенных геофизических параметров с прямыми геологическими данными, преобразованными в статистически интерпретируемые количественные переменные.

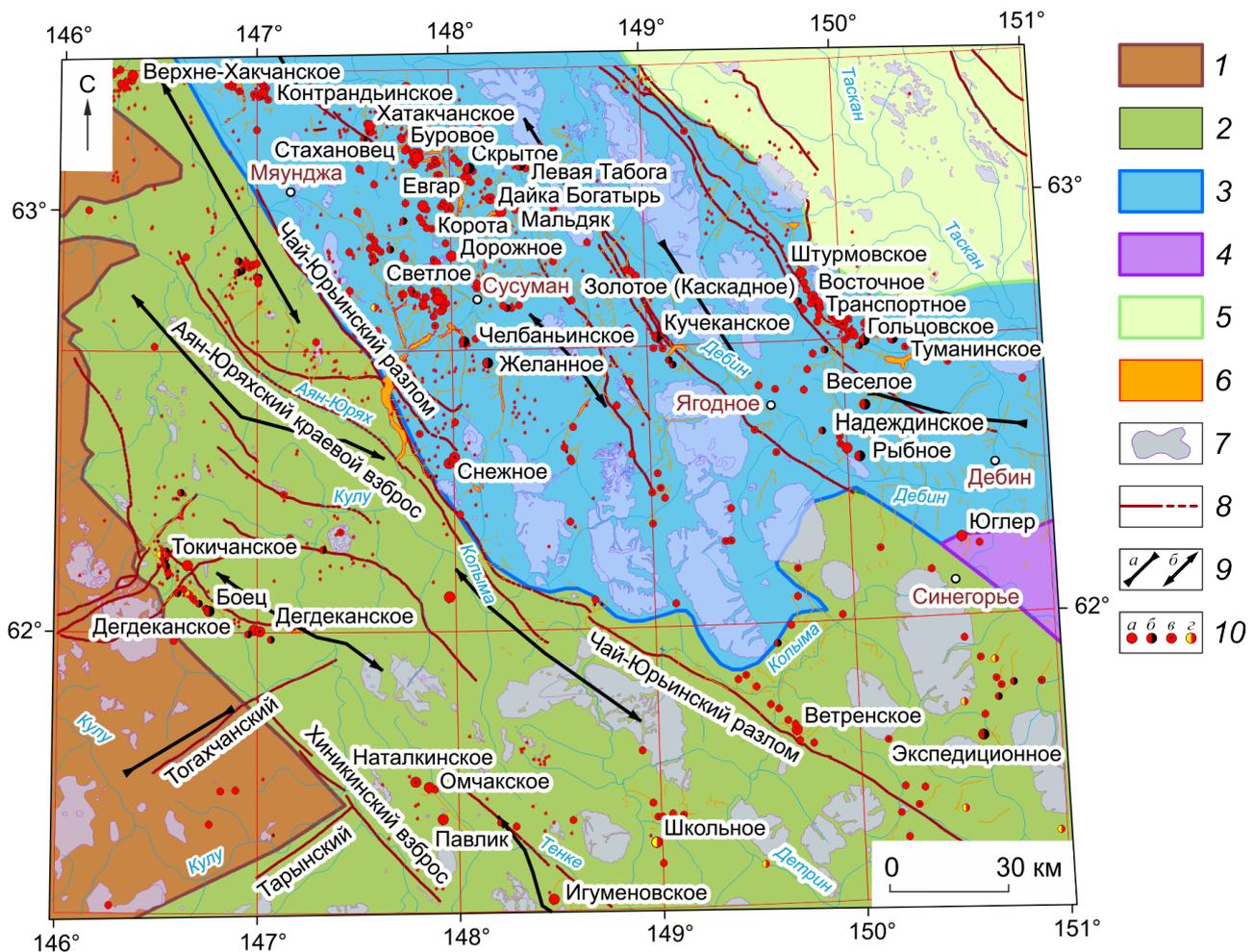
Область исследований расположена в пределах крупнейшего на северо-востоке Азии Яно-Колымского золоторудного пояса, протягивающегося в северо-западном направлении от верховьев р. Колымы более чем на тысячу километров. Административно участок относится преимущественно к Магаданской области, а в номенклатуре ГКК соответствует центральной и восточной частям листа Р-55, а также крайней западной части листа Р-56 (от Р-55-IX на северо-западе до Р-56-ХІХ на юго-востоке).

В структурно-тектоническом отношении ЦКР условно выделяется в пределах Яно-Колымской складчатой системы, входящей в инфраструктуру Верхояно-Чукотской складчатой области и имеющей региональную северо-западную ориентировку. Территория Яно-Колымского складчатого пояса является составной частью северо-восточной аккреционной окраины Евразии и характеризуется блоковой структурой с преобладанием горизонтальных дислокаций [9]. В составе региона традиционно выделяются две крупные линейные структуры – антиклинорная (юго-западная), состоящая преимущественно из пермских и триасовых отложений (Аян-Юряхская), и синклинорная (северо-восточная), сложенная осадками триас-юрского возраста (Иньяли-Дебинская) (рис. 1). Тектонически им соответствует группа террейнов различного происхождения. Доаккреционные структуры на рассматриваемой территории представлены группой блоков, дочерних для палеоокраины сибирского континента.

Кулар-Нерский (Яно-Колымский) террейн пассивной континентальной окраины занимает юго-западную часть участка, примыкая на западе, за его пределами, к Охотскому массиву и Верхоянскому поясу. Сложен террейн комплексом пород осадочного клина восточной окраины Палеосибири, представленным в основании шельфовыми терригенными пермскими толщами. Выше по разрезу они сменяются триасовыми и ниже-среднеюрскими более глубоководными алевролитово-песчаниковыми отложениями глубокого шельфа и континентального склона, иногда с прослоями вулканогенного материала (рис. 2).

Расположенный северо-восточнее Иньяли-Дебинский террейн окраинного бассейна (микроокеана) отделяет Кулар-Нерский террейн от Омулёвского (Индиширо-Колымская складчато-надвиговая система). Юго-западная граница представлена крупным сдвигом, переходящим на юге в надвиг (Чай-Юрьинский разлом). Северо-восточная граница перекрыта надвиговыми пластинами соседнего Омулёвского террейна. Иньяли-Дебинский синклинорий, соответствующий одноимённому террейну в структурном плане, не имеет полного с ним совпадения, поскольку его южная (Бахапчинская) ветвь отнесена к соседнему Вилигинскому террейну. Иньяли-Дебинский террейн представляет собой, вероятно, наиболее глубоководный фрагмент мезозойского окраинного моря, отделённого от океана островным Омулёвским блоком. Сложен террейн преимущественно относительно глубоководными тонкотерригенными осадками верхнего триаса, нижней и средней юры.

Занимающий юго-восток территории Вилигинский террейн задугового бассейна, территориально соответствующий Аян-Юряхской зоне, по всей видимости, представляет собой аллохтон, надвинутый на триасовые толщи Кулар-Нерского террейна. Нижние части разреза Вилигинского террейна представлены морскими пермскими отложениями, включающими все три отдела перми и составляющими не менее 70 % площади. Характерной особенностью данной толщи является наличие в её составе горизонтов диамиктитов – тёмно-серых алевролитов с включениями обломков средних и кислых вулканитов и осадочных пород. Пермско-триасовые толщи террейна интерпретируются как образования задугового бассейна Кони-Тайгоносской островодужной системы [9].



**Рис. 1. ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СХЕМА ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА, ПО МАТЕРИАЛАМ ГГК-1000/3:**

террейны: 1 – Яно-Колымский, 2 – Вилигинский, 3 – Иньяли-Дебинский, 4 – Балыгчанский, 5 – Омулёвский; б – участки россыпной золотоносности; 7 – интрузивные тела; 8 – крупные разрывные нарушения; 9 – оси крупных антиклиналей (а) и синклиналей (б); 10 – золоторудные объекты: а – золото кварцевые, б – золото-сульфидные, в – золото-сульфидно-кварцевые, г – золото-серебряные (размер кружка характеризует величину золоторудного объекта – от месторождения до пункта минерализации)

Структурообразующую роль в строении территории играет система глубинных разрывных нарушений северо-западного простирания (Чай-Юрьинский, Тенькинский и др. разломы) (см. рис. 1, 2). Они выражены мощными зонами дробления или сериями субпараллельных разломов, отчётливо проявленных в геофизических полях и являющихся важным фактором локализации золотого оруденения. Разрывные нарушения низших рангов представлены тремя системами различной ориентировки. Субширотные разломы, образующие с северо-

западными сопряжённую динамопару с углом сжатия до 140°, достаточно многочисленны, однако характеризуются меньшими амплитудами смещения и протяжённостью в первые сотни километров. Разломы же субмеридионального и северо-восточного простирания сравнительно редки и имеют малую протяжённость, однако также играют существенную роль в локализации магматических тел и золотого оруденения [2].

Отличительная черта Яно-Колымского складчатого пояса – широкое распространение магматиче-



Структурная позиция золоторудных объектов ЦКР определяется сочетанием дизъюнктивных и пликативных форм (см. рис. 1). Преимущественными зонами локализации рудных тел служат непосредственно оперяющие трещины флюидопроводящих зон глубинных разломов и замковые части складок, выполняющих функцию ловушек для минерализованных рудоносных растворов [2]. Следует также отметить особое значение надвиговых структур, как непосредственно вмещающих жильные тела, так и приводящих к формированию во фронтальных частях рамповых антиклиналей, в которых локализуются объёмные жильно-штокверковые системы наталкинского типа.

Непосредственно источником рудного вещества магматические интрузивные и вулканические тела выступают соответственно для объектов золото-редкометалльной и золото-серебряной формаций. При формировании же золото-кварцевых месторождений магматизм служит фактором мобилизации рудного вещества, а интрузивные тела выступают в качестве благоприятной рудовмещающей среды и играют роль хрупких коллекторов. Большая часть крупных рудных объектов ЦКР связывается с плутонами раннемеловой диорит-гранодиоритовой ассоциации.

Метаморфические факторы локализации оруденения сводятся к мобилизации рудного вещества в ходе процессов регионального зеленосланцевого, а также дислокационного и контактового метаморфизма.

Приуроченность большинства значимых рудных объектов к единому литолого-стратиграфическому уровню может указывать на существование в пермских углеродистых отложениях первичной гидротермально-осадочной сульфидной минерализации, впоследствии регенерированной на коллизионном этапе и вовлечённой в формирование крупных месторождений [5, 6].

Формализованная (количественная) оценка перспективности площади по комплексу геофизических признаков выполнена с использованием принципов распознавания образов (РО). Для оптимальной локализации перспективных участков с помощью методов РО необходимо наличие представительных данных с эталонами прогнозируемых типов месторождений.

Отмеченные особенности локализации Au оруденения в пределах ЦКР были приняты во внимание, и с их учётом для оценки перспективности

площади в качестве первичных материалов были использованы:

- геолого-структурная основа – набор векторных слоёв (карт) с сопроводительной информацией, включающий данные стратиграфии, тектоники, магматизма и распределения известных золоторудных объектов;
- геофизическая основа – матрицы аномально-гравитационного и магнитного полей масштаба 1:200 000;
- геохимические данные – материалы литохимического опробования потоков рассеяния для набора элементов (Au, Ag, As, Cr, Cu, Ni, Pb).

Ниже представлены результаты, полученные при использовании технологии формализованного компьютерного прогноза, основанной на алгоритмах РО и программно реализованной Д. С. Зеленецким [3] как метод ИПС (информационный параметр сходства). Метод предполагает разделение множества изучаемых объектов на два класса: «рудные», которые по совокупности анализируемых признаков имеют максимальное сходство с известными эталонами (ранга рудных узлов, полей или месторождений), и условно «безрудные», для характеристики которых оценивается вмещающая среда. Сравнение распределений для групп объектов указанных классов производится по критерию Пирсона, оценка полезности признака для решения задачи выделения областей, сходных с заданными эталонами, – по его информативности, а выделение областей, сходных с объектами исследований, – по сумме частных информативностей интервалов значений (ИПС).

Кроме исходных геофизических полей рассчитан базовый (по опыту работ) набор их трансформант, отражающих важные элементы геологического строения рудовмещающих участков. К ним относятся:

- горизонтальный (и его модуль) и вертикальный градиенты аномально-магнитного и гравитационного полей, эффективно фиксирующие локальные приповерхностные неоднородности, контакты контрастных по физическим свойствам пород и разрывные нарушения;
- матрицы послойной (частотной) фильтрации, отражающие влияние геологических образований, распределённых по заданным интервалам глубин;
- различные характеристики пространственной изменчивости и связей исходных потенциаль-

ных полей, их локальных (приповерхностных) и региональных (глубинных) составляющих, подчёркивающие характерные особенности геологического строения территории;

- статистические параметры (дисперсия, энтропия, число экстремумов и др.), рассчитанные в скользящем окне ранга рудного поля (узла).

Для выявления геофизических признаков локализации эталонных объектов выполнен сравнительный анализ связи аномалий исходных полей и их трансформант с особенностями геологического строения и размещения известных золоторудных полей и узлов. В итоге установлено, что собственно рудные тела и зоны минерализации слабо проявлены в геофизических данных. Гораздо лучше выделяются некоторые пространственно связанные с ними рудоконтролирующие структуры. Разрывные нарушения маркируются линейными магнитными аномалиями и зонами пониженных значений локальных составляющих поля силы тяжести. Кислые интрузивы, как установленные, так и предполагаемые, чётко фиксируются отрицательными гравитационными аномалиями, обрамлёнными зонами повышенных значений. Именно в пределах последних часто локализуются золоторудные объекты.

По комплексу геохимических данных был выполнен компонентный анализ и выделены факторы, пространственные распределения значений которых наилучшим образом коррелируют с расположением известных рудных объектов в ранге рудных полей.

На основании геологических материалов для территории ЦКР рассчитаны матрицы значений таких количественных параметров, как плотность даек на единицу площади и удалённость от крупных разрывных нарушений и гранитных массивов. Прогнозная информативность этих признаков для ЦКР обуславливается значимостью глубинных рудоконтролирующих разломов и интрузивных комплексов как важного фактора локализации золоторудных объектов в пределах Верхояно-Колымской складчато-надвиговой системы [1, 4].

В итоге экспертного анализа выявлены наиболее информативные признаки, использованные для дальнейших прогнозных построений методом ИПС, выполняемых в два этапа. На первом оценивается информативность набора признаков, описывающих анализируемые объекты. На втором по совокупности выявленных информативных при-

знаков рассчитываются значения ИПС, характеризующего степень сходства с соответствующим эталоном каждой элементарной ячейки исследуемой площади (рис. 3).

Частная информативность  $\text{Inf}(j, i)$   $i$ -го интервала значений  $j$ -го геофизического признака в методе ИПС рассчитывается по формуле:

$$\text{Inf}(j, i) = P_m(j, i) - P_s(j, i) \quad (1),$$

где  $P_m(j, i)$  – частота встречи значений  $j$ -го геофизического признака из  $i$ -го интервала в выборке для объектов исследований (например, месторождений);

$P_s(j, i)$  – частота встречи значений из  $i$ -го интервала в выборке по всей площади исследований.

Информативность  $j$ -го признака в целом оценивается по формуле:

$$\text{Inf}(J) = \sum_{i=1}^{i=K} (\text{Inf}(j, i) \times \text{Inf}(j, i)) / P_s(j, i) \quad (2),$$

где  $K$  – общее количество интервалов, на которое разбит весь диапазон значений оцениваемого признака.

Информационный параметр сходства определяется как сумма частных информативностей значений признаков, характеризующих рассматриваемую точку:

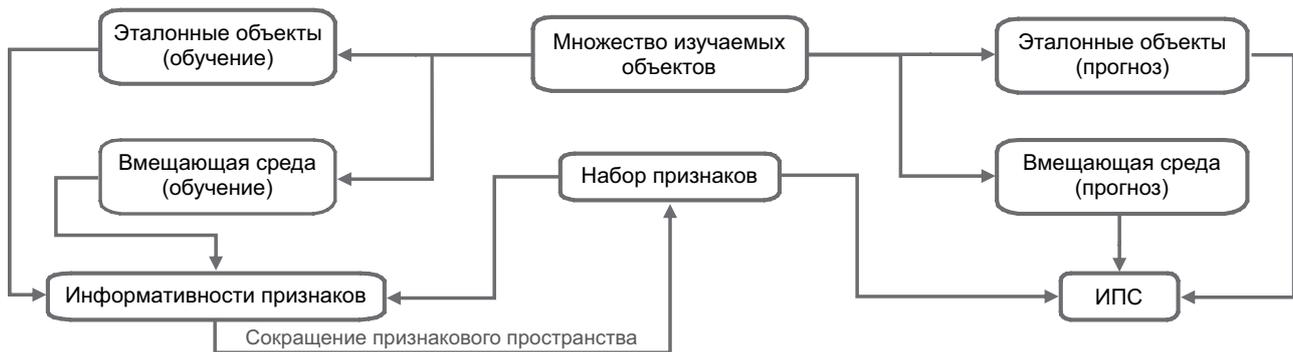
$$\text{Inf}(S) = \sum_{j=1}^{j=N} (\text{Inf}(j, i)) \quad (3).$$

При  $\text{Inf}(j, i) < 0,0$ , т. е. при частоте встречи значений из рассматриваемого интервала в выборке по эталонным объектам меньшей, чем в выборке по площади в целом, интервал не информативен. Для удобства выбора интервалов при расчёте информативности использовались нормированные значения геофизических параметров в усл. ед. (квантилях). Это позволяет легко задавать интервалы, имеющие равную вероятность встречи на территории исследований.

При определении частоты встречаемости для объектов исследований в зависимости от имеющейся информации возможно задать их положение в разной форме:

- координатами реальных контуров объектов, описывающих их границы;
- координатами точки, соответствующей объекту (его условному центру).

При задании положения объекта в виде точек возможно введение дополнительных параметров, учитывающих ранг объекта. Это могут быть весо-



**Рис. 3. БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМА ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРОГНОЗА ПО МЕТОДУ ИПС**

вые коэффициенты или радиус окружности, условно принимаемой за границы объекта, причём в зависимости от ранга объекта радиус его может меняться в соответствии с заданным коэффициентом. При задании реальных контуров ранг объекта специально не задаётся и не учитывается.

По результатам анализа таблиц информативности ( $Inf(J)$ ) для всех введённых на первом этапе признаков (полей и их трансформант) произведено сокращение признакового пространства и отобраны наиболее информативные поля и их трансформанты, использованные в дальнейшем для построения карты информационного параметра сходства с конкретным типом эталонов.

При расчёте параметра ИПС для различных структурно-формационных зон в пределах ЦКР использовались следующие наборы признаков (в порядке убывания относительной информативности) (табл. 1).

Отметим (рис. 4), что трансформанты магнитного поля, такие как энтропия и параметр *tilt* (отношение вертикального градиента к полному горизонтальному) хорошо выделяют элементы дизъюнктивной тектоники, в том числе крупные рудо-контролирующие разломы, тогда как аномалии поля силы тяжести лучше подчёркивают проявления магматического фактора локализации оруденения. На картах энтропии и вертикальной составляющей градиента, отражающих локальные аномалии от малоглубинных источников, выделяются зоны обрамления крупных интрузивов и невоскрытые приповерхностные массивы, а полученная методом послышной фильтрации составляющая поля силы тяжести от слоя 4–5 км характеризует корневые части массивов, зоны подводящих каналов и другие глубинные структуры. Те же факторы локализации оруденения отражают и матрицы, полученные непосредственно по геологическим дан-

### 1. ИНФОРМАТИВНЫЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ

Аян-Юряхская СФЗ	Иньяли-Дебинская СФЗ
Геохимический фактор $F1 = 0,954 \cdot \lg(\text{Au}) + 0,954 \cdot \lg(\text{As})$ (золото-сульфидно-кварцевое оруденение в черносланцевых толщах)	Энтропия магнитного поля
Составляющая поля силы тяжести от слоя 4–5 км	Плотность распределения даек на единицу площади
Энтропия магнитного поля	Геохимический фактор $F2 = 0,68 \cdot \lg(\text{Au}) + 0,16 \cdot \lg(\text{Ag}) + 0,15 \cdot \lg(\text{As}) - 0,56 \cdot \lg(\text{W}) - 0,22 \cdot \lg(\text{Cu}) - 0,19 \cdot \lg(\text{Mo})$
Плотность распределения даек на единицу площади	Удалённость от крупных разрывных нарушений
Удалённость от крупных разрывных нарушений	Вертикальный градиент гравитационного поля
Удалённость от гранитных массивов	Удалённость от гранитных массивов
Вертикальный градиент гравитационного поля	Составляющая поля силы тяжести от слоя 4–5 км
Энтропия гравитационного поля	Энтропия гравитационного поля
Параметр <i>tilt</i> магнитного поля	Параметр <i>tilt</i> магнитного поля

## 2. ЭТАЛОННЫЕ ОБЪЕКТЫ В СОСТАВЕ ГРУППОВЫХ ЭТАЛОНОВ ДЛЯ КАЖДОЙ ИЗ ЗОН

Месторождение	Ранг	Тип
<i>Аян-Юряхская СФЗ</i>		
Верхне-Хакчанское	МС	Au-Q
Дегдеканское	МК	Au-Q
Омчакское	ММ	Au-Q
Павлик	МК	Au-Q
Игуменовское	МС	Au-Q
Токичанское	ММ	Au-Q
Боец	ММ	Au-Sf
Дегдеканское	МС	Au-Sf-Q
Наталкинское	МК	Au-Sf-Q
<i>Иньяли-Дебинская СФЗ</i>		
Светлое	ММ	Au-Q
Евгар	ММ	Au-Q
Стахановец	ММ	Au-Q
Контрандъинское	ММ	Au-Q
Хатакчанское	ММ	Au-Q
Дорожное	ММ	Au-Q
Мальдяк	ММ	Au-Q
Штурмовское	ММ	Au-Q
Восточное	ММ	Au-Q
Ветренское	ММ	Au-Q
Надеждинское	ММ	Au-Q
Юглер	ММ	Au-Q
Челбаньинское	ММ	Au-Sf
Левая Табога	ММ	Au-Sf
Скрытое	ММ	Au-Sf
Желанное	ММ	Au-Sf
Кучеканское	ММ	Au-Sf
Туманинское	ММ	Au-Sf
Гольцовское	ММ	Au-Sf
Весёлое	ММ	Au-Sf
Рыбное	ММ	Au-Sf
Экспедиционное	ММ	Au-Sf
Буровое	ММ	Au-Sf-Q
Корота	ММ	Au-Sf-Q
Дайка Богатырь	ММ	Au-Sf-Q
Снежное	ММ	Au-Sf-Q
Золотое (Каскадное)	ММ	Au-Sf-Q
Транспортное	ММ	Au-Sf-Q

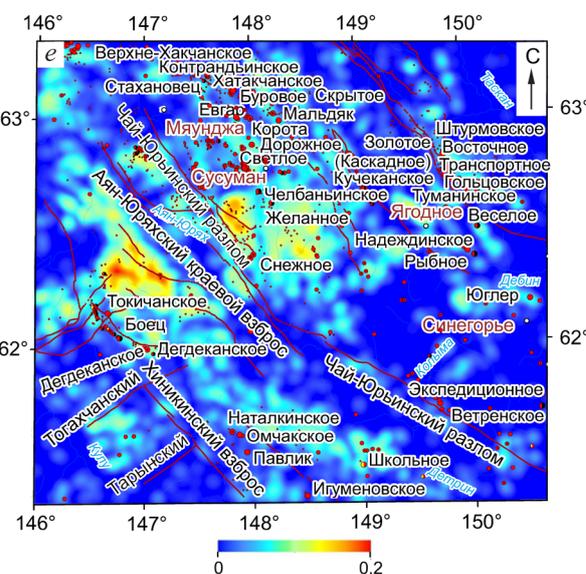
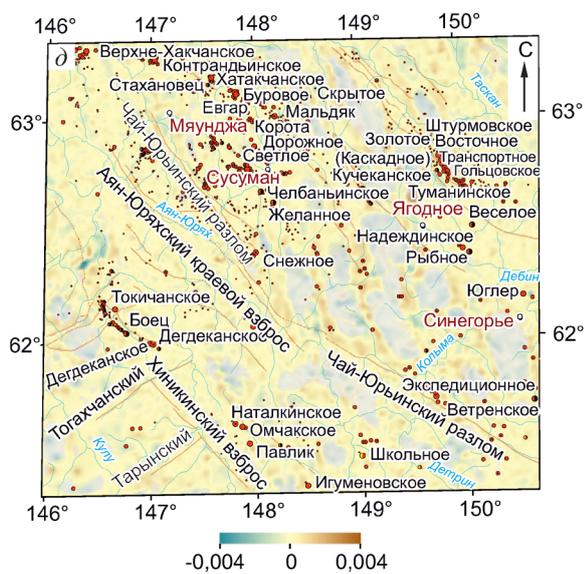
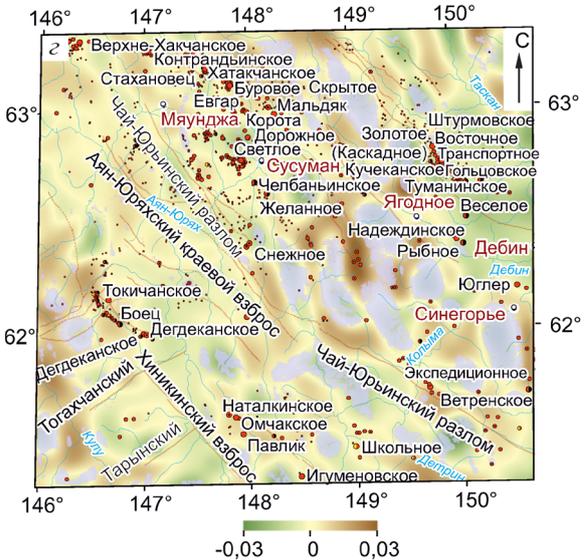
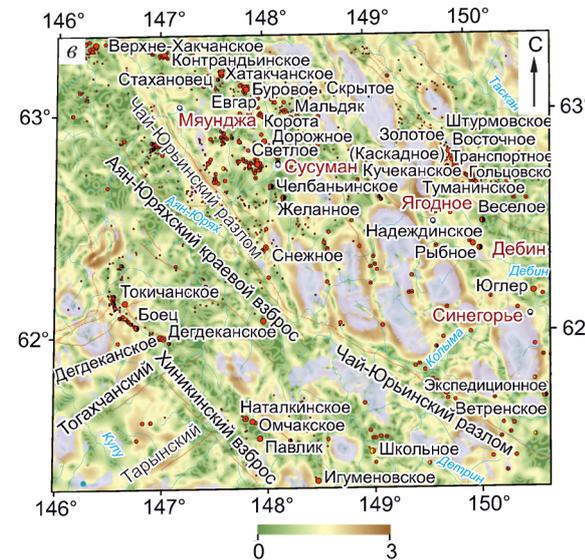
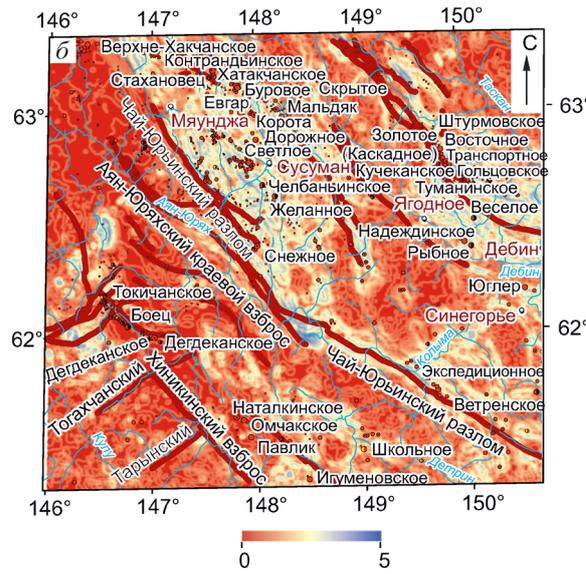
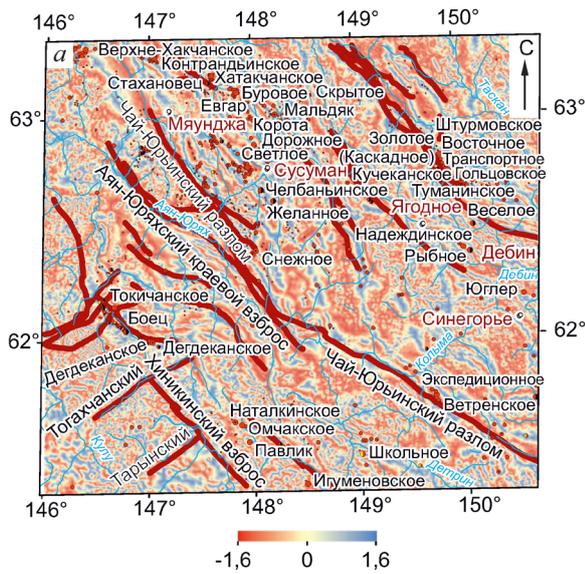
Примечание. ММ, МС и МК – месторождение малое, среднее и крупное соответственно; типы оруденения: Au-Q – золото-кварцевый, Au-Sf – золото-сульфидный, Au-Q-Sf – золото-кварц-сульфидный.

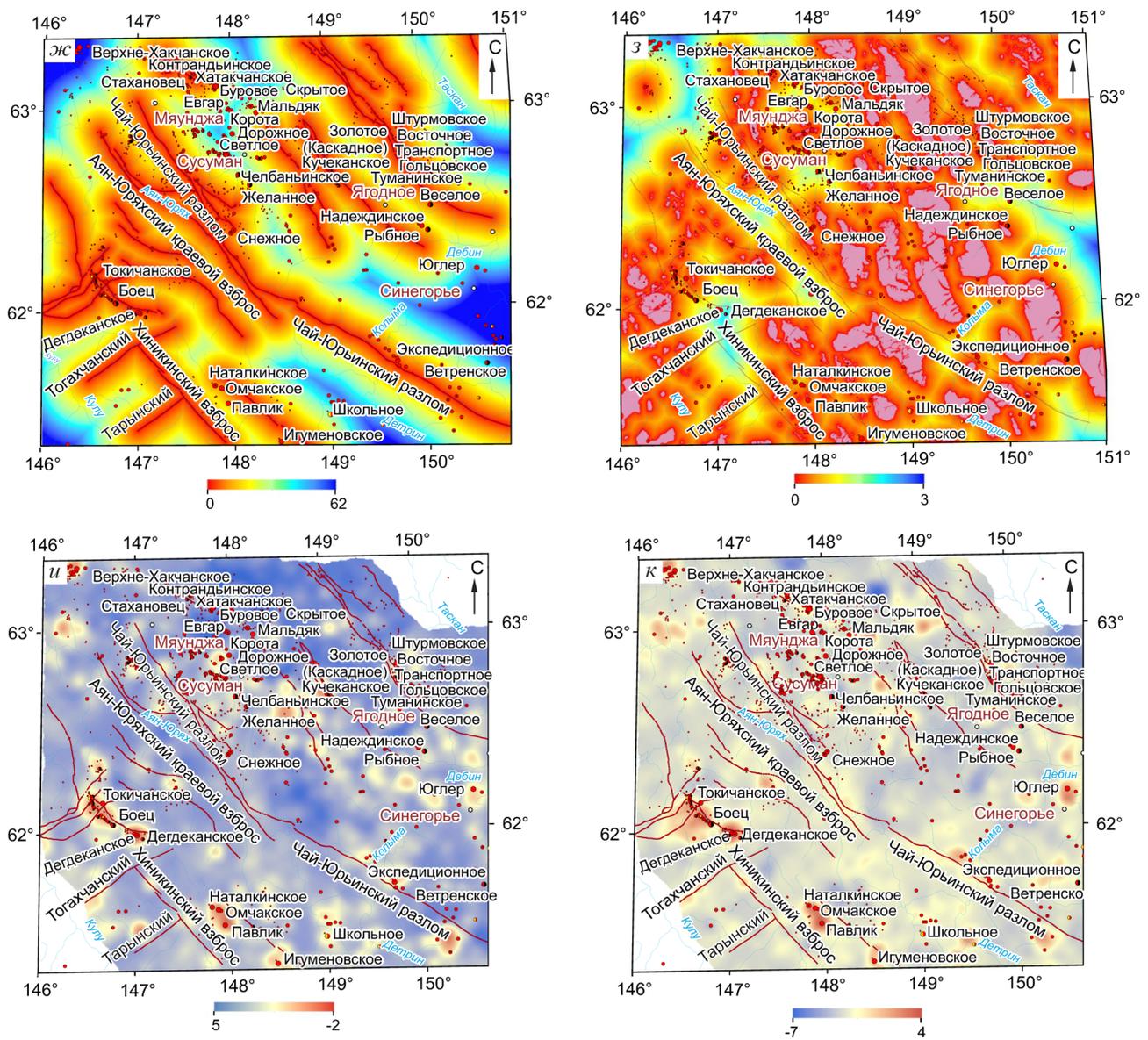
ным (рис. 4, е–з). Крупные рудные узлы образуют на периферии дайковых ареалов линейные пояса, параллельные зонам глубинных разломов. Региональная минерагеническая специфика Аян-Юряхской и Иньяли-Дебинской зон проявляется в различии состава элементов-спутников золотого оруденения по данным геохимии (см. рис. 4, и, к).

Полученные с использованием указанного набора признаков карты ИПС для эталонов известных месторождений, таких как Наталкинское, Ветренское и др., характеризуются хорошей корреляцией аномалий параметра перспективности с реальным распределением известных золоторудных узлов в пределах рассматриваемой СФЗ, что позволяет предполагать возможность их использования для локализации скрытых рудных объектов (рис. 5).

Расчёт ИПС производился отдельно для Аян-Юряхской и Иньяли-Дебинской СФЗ, поскольку, как показала практика, информативность карты, полученной на основании эталона, расположенного в одной из зон, при переходе в другую для ряда объектов резко снижается. Это следует связывать, по видимости, с существенными различиями структурно-тектонических обстановок и, следовательно, условий локализации оруденения в каждой из зон. В то же время различия значений прогнозных признаков для эталонных месторождений с различными типами золото-кварцевой минерализации вопреки первоначальному предположению оказались в данном масштабе несущественны, что позволило далее рассчитать ИПС на основании двух групповых эталонов, включающих большинство известных крупных золоторудных месторождений в пределах каждой из зон (табл. 2). Сводная карта ИПС (рис. 6) получена путём объединения матриц ИПС Аян-Юряхской и Иньяли-Дебинской СФЗ.

По результатам экспертной интерпретации полученных данных на основании априорной геологической информации проведена разбровка аномалий ИПС и составлена схема участков, потенциально перспективных для локализации новых золоторудных объектов. Критерием выделения того или иного участка как потенциально перспективного служила в первую очередь интенсивность соответствующей аномалии параметра ИПС. На схему вынесены только участки, расположенные за пределами известных рудных узлов, использованных в качестве эталонов, поскольку интенсивные аномалии в пределах последних связа-





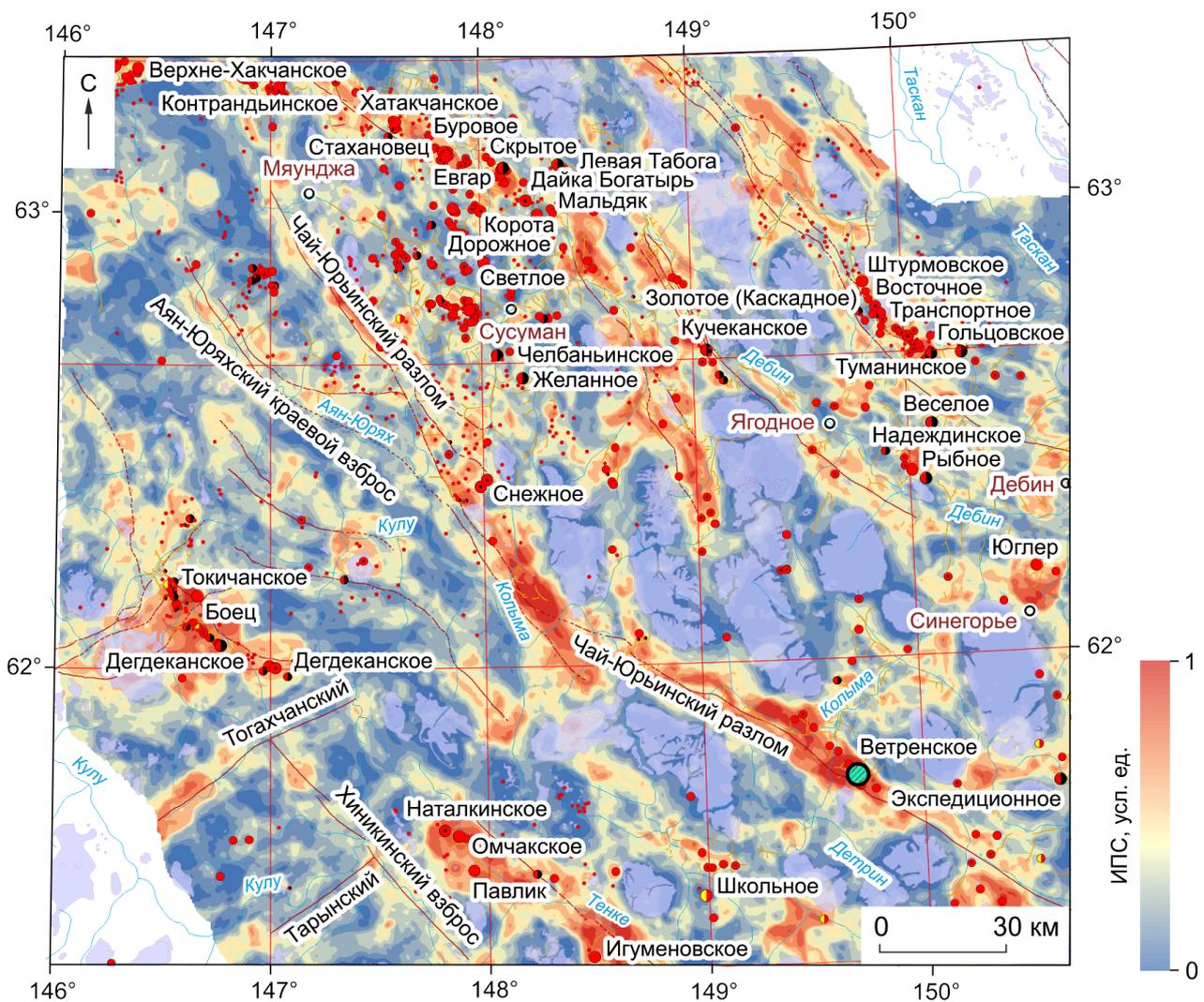
**Рис. 4. КАРТЫ ЗНАЧЕНИЙ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА:**

а – энтропия магнитного поля (усл. ед.); б – параметр магнитного поля (усл. ед.); в – энтропия гравитационного поля (усл. ед.); г – составляющая поля силы тяжести от слоя 4–5 км (мГал); д – вертикальный градиент гравитационного поля (мГал/м); е – плотность даек (ед/км<sup>2</sup>); ж – удалённость от гранитных массивов (км); з – удалённость от крупных разрывных нарушений (км); и – геохимический фактор 1 (Au + As); к – геохимический фактор 2 (Au + Ag + As-W-Cu-Mo); остальные усл. обозн. см. рис. 1

ны исключительно с использованием при расчёте групповых эталонов и не несут полезной информации. Как можно заметить, даже в исходном виде полученная карта ИПС на качественном уровне вполне отвечает ожидаемому распределению перспективных площадей: заведомо безрудные участки выходов интрузивных массивов закономерно

отражены пониженными значениями, а наиболее интенсивные аномалии тяготеют к зонам крупных разрывных нарушений и обрамлению гранитоидных тел.

Во многом такая картина соответствует рассматриваемой некоторыми авторами концепции преимущественной локализации крупных золоторудных



**Рис. 5. КАРТА ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРА ИПС ДЛЯ ЭТАЛОНА ВЕТРЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:**

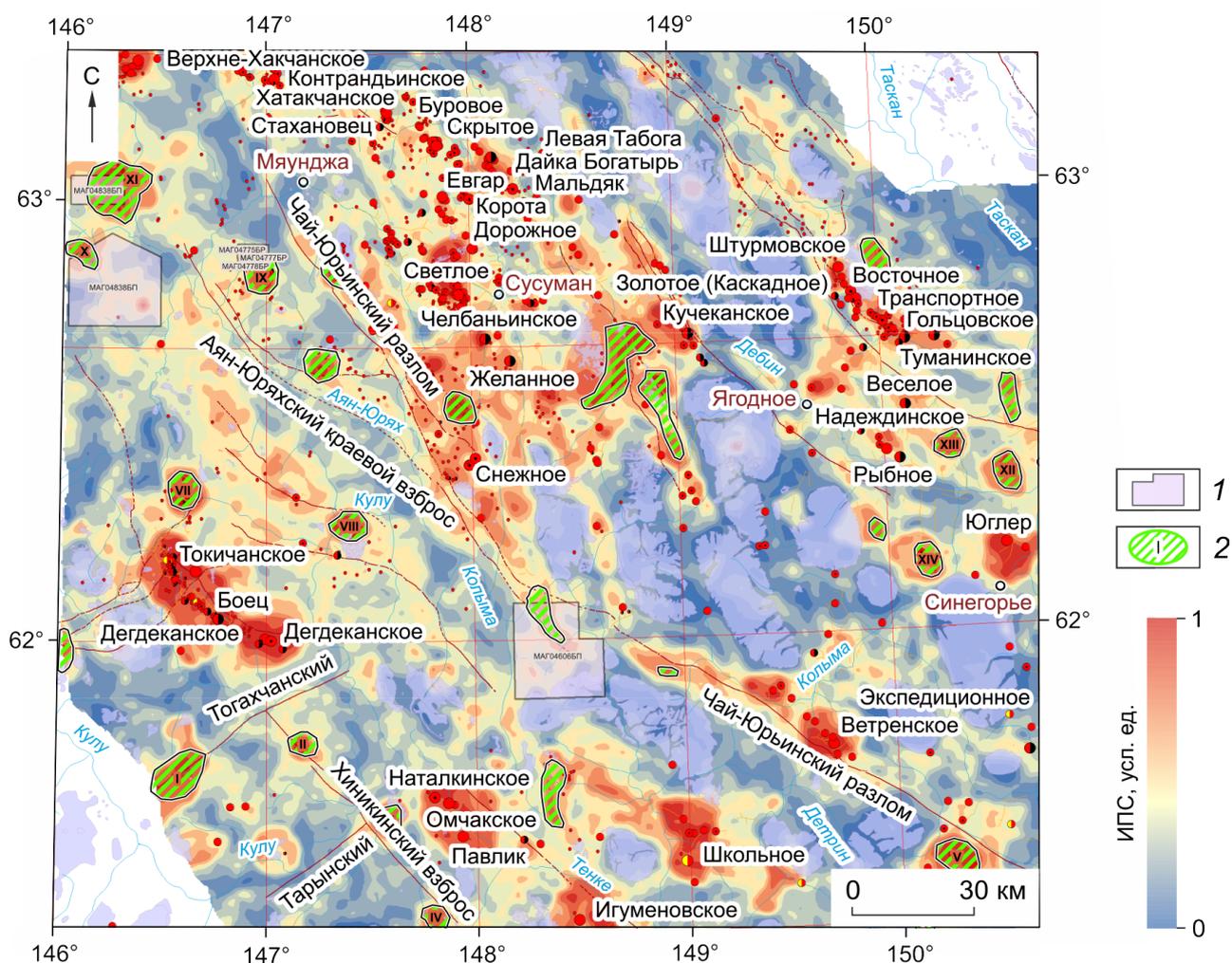
заштрихованный кружок – эталонный объект

объектов Яно-Колымского складчатого пояса в зонах обрамления гранитоидных массивов и купольных структур, сформированных на участках пересечения глубинных разломов [1]. В пределы аномальных участков зачастую попадают ранее установленные золоторудные проявления, что также говорит в пользу достоверности проведённого формализованного прогноза. Однако в целях минимизации влияния на конечный результат возможных ошибок, связанных с потенциальным несовершенством статистического алгоритма, была произведена оценка каждой аномальной площади на предмет её соответствия формальным критериям локализации золотого оруденения.

Всего выделено 26 потенциально перспективных участков, 14 из которых попадают в пределы Аян-Юряхской зоны (см. рис. 6).

По результатам формализованного прогноза наибольшей перспективностью на обнаружение крупнообъёмного золоторудного объекта обладает территория Аян-Юряхской СФЗ, а именно линейные зоны обрамления крупных разломов: Чай-Юрьинского, Тенькинского, Тогахчанского и др., особенно участки их сближения с гранитоидными массивами.

Так, существенный интерес, по нашему мнению, представляет перспективная площадь (I), выделенная к югу от Дегдеканского рудного узла. Она



**Рис. 6. СВОДНАЯ КАРТА ПАРАМЕТРА ИПС ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНО-КОЛЫМСКОГО РЕГИОНА СО СХемой ПОТЕНЦИАЛЬНО ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКОВ:**

1 – лицензионные участки; 2 – потенциально перспективные участки

располагается в зоне крупного Тогахчанского разлома северо-восточной ориентировки в непосредственной близости от слабо вскрытого, но хорошо проявленного в геофизических полях крупного гранодиорит-порфирового массива в составе Тас-Кыстабытского комплекса. Такая геолого-структурная позиция представляется наиболее благоприятной для локализации крупного золоторудного объекта. Аналогичную обстановку можно наблюдать, например, на расположенном в 50 км к северу крупном Дагдеканском рудном узле, лежащем на пересечении глубинного северо-западного Тенькинского разлома с дизъюнктивами северо-восточной ориентировки в окружении раннемеловых интрузивных массивов.

Сходным образом выделяется цепочка перспективных участков (II, III, IV) на периферии северо-западного Хиникинского взброса на участке его пересечения с северо-восточным Тарыньским региональным разломом к юго-западу от Омчакского рудного узла. Две из трёх аномалий ИПС в данной зоне тяготеют к Тенгкечанскому и Пересыпкинскому гранодиоритовым массивам.

Заслуживает внимания пара локальных аномалий ИПС к юго-востоку от крупного гранитного Сибердыкского массива, также частично не вскрытого. В пределах северной аномалии (V), более крупной и несколько менее интенсивной, уже установлен ряд золотокварцевых рудопроявлений (Удачный, Крутой, Чабылкан, Обо), локализованных в

контактных частях мелких гранодиоритовых штоков и минерализованных зонах дробления. Площадь же к югу, в междуречье Бол. Чабылкан – Хилгыча (VI), где на границе рассматриваемого участка выделена другая аналогичная аномалия, стоит, на наш взгляд, более детально изучить.

Перспективный участок в левобережье р. Арга-Юрях (VII) расположен на северной границе крупного нескрытого интрузивного массива субмеридиональной ориентировки, отчётливо выделяющегося в поле силы тяжести. Выходящие на дневную поверхность его апикальные части – небольшие массивы Кривой и Бодрый – представлены плагиогранитами и отнесены к позднеюрскому Нера-Бохачинскому комплексу. У южной границы этого массива расположена северная оконечность Арга-Юрях-Дегдеканского золоторудного узла. Входящее в его состав Токичанское месторождение находится на периферии упомянутого погребённого интрузива непосредственно в зоне пересечения Тенькинского глубинного разлома серией субпараллельных сбросо-сдвигов северо-восточной ориентировки. В сходной геолого-структурной позиции находится и рассматриваемая аномальная зона на севере массива, где Хинке-Кулинский краевой взброс сближается с самым северным в группе разломов северо-восточного направления, геометрию которого в значительной мере повторяет русло р. Арга-Юрях. На этой площади уже известно рудопоявление Бодрое и ряд пунктов золотой минерализации, а также многочисленные россыпи, однако благоприятное сочетание рудоконтролирующих факторов позволяет допустить существование в пределах данного участка и других неизвестных рудных объектов. Аналогичные выводы можно сделать и о другом перспективном участке, выделенном восточнее, в устье р. Улахан-Матрайбыт (VIII), в пределах той же Хинке-Кулинской зоны разломов, но на границе сравнительно более позднего по времени образования штока Таятах в составе Басугунинского комплекса.

Показательным примером эффективности используемой методики может служить интенсивная локальная аномалия ИПС в верхнем течении р. Бол. Хатыннах (IX). В её пределах сконцентрировано значительное количество рудопоявлений, однако объекты в ранге месторождений на момент проведения работ не были обнаружены, и участок не был внесён в групповой эталон. При этом известно, что на основании результатов гео-

логоразведочных работ 2018–2019 гг. на рудопоявлении Петух – наиболее перспективном объекте Верхне-Хатыннахской площади – общий ресурсный потенциал участка был оценён более чем в 95 т золота. Начало работ по добыче планируется ООО «Новая рудная компания» на 2021 г.

Ряд выделенных потенциально перспективных участков, как, например, группа на северо-западе рассматриваемой территории, в верхнем течении р. Аян-Юрях (X, XI), также частично перекрывается участками с действующими лицензиями на коренное золото, что в перспективе при условии проведения в их пределах поисково-разведочных работ может послужить дополнительным независимым источником данных для верификации результатов работы рассматриваемого прогнозного алгоритма.

Отсутствие в пределах Иньяли-Дебинской зоны крупных эталонных объектов, сопоставимых по масштабам с Наталкинским или Дегдеканским месторождениями, которым при расчете ИПС присваивался приоритетный вес, в сочетании с более сложным внутренним строением и повышенной тектонической подвижностью террейна, что подтверждается обилием интрузивных тел и ареалов даек разнообразного состава [8], приводит к снижению контрастности рудных объектов по отношению к вмещающей среде и существенно усложняет задачу формализованного прогноза. Легко заметить, что аномалии ИПС в пределах Иньяли-Дебинской зоны, особенно северо-западной её части, характеризуются сравнительно невысокими значениями, приближающимися к фоновым, и отсутствием чётких границ. Более уверенно перспективные участки можно выделить на востоке зоны (XII, XIII, XIV), в левобережье р. Колымы, где аномалии параметра перспективности связаны в первую очередь с мелкими нескрытыми интрузивными массивами, по видимости, гранитоидными штоками Басугунинского комплекса, подобными массиву Одинокий. К минерализованным зонам дробления в северном обрамлении этого массива приурочены месторождения Надежнинское и Рыбное. Внимания также заслуживает участок, выделенный на северо-восточной границе позднемелового массива Хатыннах, с противоположной стороны которого расположен богатый Штурмовской рудный узел.

Полученные результаты демонстрируют эффективность методики совместного использования геофизических, геохимических и геологических данных при формализованном прогнозировании

вании. Выделенные за пределами известных рудных узлов потенциально перспективные участки могут быть приняты во внимание при планировании направления поисковых и ревизионно-оценочных работ в ЦКР.

Следует отметить, что ключевым фактором, определяющим результативность работы прогнозного алгоритма, является правильный подбор геологически обоснованных признаков, отвечающих модели искомого объекта. Как показывает практика,

при использовании корректного набора информативных параметров эффективное прогнозирование возможно даже с использованием простейших статистических методов. Однако получающие всё большее распространение и активно совершенствуемые методы машинного обучения, в частности технологии распознавания образов с использованием искусственных нейронных сетей, открывают новые перспективы для повышения достоверности результатов формализованного прогноза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров В. И., Ворошин С. В., Сидоров В. А. Наталкинское золоторудное месторождение. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – 250 с.
2. Горячев Н. А. Геология и происхождение мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии : автореф. дис. на соискание учёной степени д-ра геол.-минерал. наук : специальность 04.00.11 «Геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений, металлогения» / Горячев Николай Анатольевич // СКВНИИ ДВО РАН. – Владивосток, 2000. – 53 с.
3. Зеленецкий Д. С., Асламов Ю. В., Аристов В. В. Оперезающее геофизическое обеспечение прогнозно-металлогенических исследований масштаба 1:500 000 в Яно-Колымской золоторудной провинции // Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений – достижения и перспективы : сборник тезисов докладов. – М., 2008. – С. 82–83.
4. Золоторудные месторождения России / Под ред. М. М. Константинова. – М. : Акварель, 2010. – 365 с.
5. Константинов М. М., Быстрова А. К., Фридовский В. Ю. Стратиграфические уровни локализации месторождений золота и серебра в Верхоянской и Центрально-Колымской металлогенических провинциях // Тихоокеанская геология. – 2002. – Т. 21. – № 6. – С.105–111.
6. Кряжев С. Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродистотерригенных комплексах : автореф. дис. на соискание учёной степени д-ра геол.-минерал. наук : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» / Кряжев Сергей Гаврилович. – М., 2017. – 52 с.
7. Шарфутдинов В. М., Хасанов И. М. Геофизическая характеристика золоторудных месторождений на юге Яно-Колымского металлогенического пояса // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2013. – № 3. – С. 24–34.
8. Шахтыров В. Г. Сдвиговые структурные ансамбли и золотое оруденение Яно-Колымской складчатой системы : автореф. дис. на соискание учёной степени д-ра геол.-минерал. наук : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» / Шахтыров Василий Григорьевич. – Иркутск : Иркутский ГТУ, 2009. – 50 с.
9. Шникерман В. И., Полуботко И. В., Васькин А. Ф., Петухов В. В. [и др.]. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-55 – Сусуман. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 520 с.

#### REFERENCES

1. Goncharov V. I., Voroshin S. V., Sidorov V. A. Natalkinskoe zolotorudnoe mestorozhdenie [Natalka gold ore deposit], Magadan, SVKNII DVO RAN Publ., 2002, 250 p.
- Goryachev N. A. Geologiya i proiskhozhdenie mezozoi-skikh zoloto-kvartsevykh zhil'nykh poyasov Severo-Vostoka Azii : avtoref. dis. na soiskanie uchen. stepeni d-ra geol.-mineral. nauk : spetsial'nost' 04.00.11 "Geologiya, poiski i razvedka rudnykh i nerudnykh mestorozhdenii, metallogeniya" [Geology and origin of the Mesozoic gold-quartz vein belts of Northeast Asia. Extended abstract of Doctor's thesis], Vladivostok, SVKNII DVO RAN Publ., 2000, 53 p.
3. Zelenetskii D. S., Aslamov Yu. V., Aristov V. V. Operezha-yushchee geofizicheskoe obespechenie prognozno-metallogenicheskikh issledovaniy masshtaba 1:500 000 v Yano-Kolymskoi zolotorudnoi provintsii [Advanced geo-

- physical support for predictive metallogenic studies of 1:500 000 scale in the Yano-Kolyma gold ore province], *Prognoz, poiski, otsenka rudnykh i nerudnykh mestorozhdenii – dostizheniya i perspektivy : sbornik tezisov dokladov* [Forecast, prospecting, evaluation of ore and non-metallic deposits – achievements and prospects: Abstracts of Papers], Moscow, 2008, pp. 82–83. (In Russ.).
4. Zolotorudnye mestorozhdeniya Rossii [Gold deposits in Russia], Moscow, Akvarel' Publ., 2010, 365 p.
  5. Konstantinov M. M., Bystrova A. K., Fridovskii V. Yu. Stratigraficheskie urovni lokalizatsii mestorozhdenii zolota i serebra v Verkhoyanskoi i Tsentral'no-Kolymaskoi metallogenicheskikh provintsiyakh [Stratigraphic levels of localization of gold and silver deposits in the Verkhoyansk and Central Kolyma metallogenic provinces], *Tikhookeanskaya geologiya* [Russian Journal of Pacific Geology], 2002, V. 21, No 6, pp. 105–111. (In Russ.).
  6. Kryazhev S. G. Geneticheskie modeli i kriterii prognoza zolotorudnykh mestorozhdenii v uglerodisto-terrigennykh kompleksakh : avtoref. dis. na soiskanie uchen. stepeni d-ra geol.-mineral. nauk : spetsial'nost' 25.00.11 "Geologiya, poiski i razvedka tverdykh poleznykh iskopaemykh, minerageniya" [Genetic models and forecasting criteria for gold deposits in carbonaceous-terrigenous complexes: Extended abstract of Doctor's thesis], Moscow, 2017, 52 p.
  7. Sharafutdinov V. M., Khasanov I. M. Geofizicheskaya kharakteristika zolotorudnykh mestorozhdenii na yuge Yano-Kolymaskogo metallogenicheskogo poyasa [Geophysical characteristics of gold deposits in the south of the Yano-Kolyma metallogenic belt], *Vestnik SVNTs DVO RAN* [Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch], 2013, No 3, pp. 24–34. (In Russ.).
  8. Shakhtyrov V. G. Sdvigovye strukturnye ansambli i zolotoe orudnenie Yano-Kolymaskoi skladchatoi sistemy : avtoref. dis. na soiskanie uchen. stepeni d-ra geol.-mineral. nauk : spetsial'nost' 25.00.11 "Geologiya, poiski i razvedka tverdykh poleznykh iskopaemykh, minerageniya" [Striking Structural Ensembles and Gold Mineralization of the Yano-Kolyma Fold System], Irkutsk, Irkutskii GTU Publ., 2009, 50 p.
  9. Shpikerman V. I., Polubotko I. V., Vas'kin A. F., Petukhov V. V., et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Verkhoyano-Kolymaskaya. List P-55 – Susuman. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Verkhoyano-Kolymaskaya series. Sheet P-55 - Susuman. Explanatory letter], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2016, 520 p.

## FORECAST FOR CONCEALED GOLD MINERALIZATION WITHIN CENTRAL KOLYMA REGION BASED ON A SET OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL FEATURES BY IDENTIFICATION METHOD

Karamyshev A. V. (undergraduate, engineer<sup>1,2</sup>)

Fedorova K. S. (postgraduate, 1st category geophysicist<sup>2</sup>)

Tarasov A. V. (PhD, associate Professor of geophysics department<sup>1,2</sup>)

<sup>1</sup> FSBEI Saint Petersburg State University, Saint Petersburg (Russia)

<sup>2</sup> FSBI A. P. Karpinsky Russian Research Geological Institute, Saint Petersburg (Russia)

*The paper presents results of a formalized (quantitative) assessment for Central Kolyma region (CKR) gold mineralization potential based on a set of geophysical, geological and geochemical features using IRP method. The method is based on image identification algorithm and involves division of numerous study targets into 2 classes: «ore» deposits, which are most similar to the known standard ore clusters, fields or deposits in terms of all the analyzed features, and conventionally «barren»; to characterize them, host environment including an area beyond the selected standard deposits is assessed. It is shown that geophysical fields display essential geological structure features of CKR known gold fields and clusters. Forecasting-prospecting geological/geophysical and geochemical features (localization criteria) typical of Ayan-Yuryakhskaya and Inyali-Debinskaya structural-formation zones are revealed. Areas prospective for new gold deposit discovery within CKR are recognized.*

*Keywords: Central Kolyma region, mineralization forecast, gold deposits, image identification, forecast and search geological and geophysical features.*

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ НАХОДОК УНИКАЛЬНЫХ САМОРОДКОВ ЗОЛОТА НОВОГО ЮЖНОГО УЭЛЬСА (АВСТРАЛИЯ) И ПРИАМУРЬЯ (РОССИЯ)

*Сравнивается геологическое строение мест находок уникального самородка золота «Плита Холтермана» (Австралия) и гнезда крупных самородков в Амурской области (Россия). Показано, что в обоих случаях коренными источниками самородков служило оруденение золото кварцевой формации. Самородок «Плита Холтермана» образован за счёт разрушения верхней части крупного золоторудного месторождения Хилл Энд, которое представлено серией стратиформных кварцевых жил. Гнездо обнаружено при отработке россыпи Гарь-2 Ясенского рудно-россыпного узла Приамурской провинции. В районе россыпи преобладают проявления золото кварцевой формации. Здесь прогнозируется выявление золоторудного месторождения золото кварцевого типа.*

*Ключевые слова: самородки золота, месторождение, россыпь, золото кварцевая формация.*

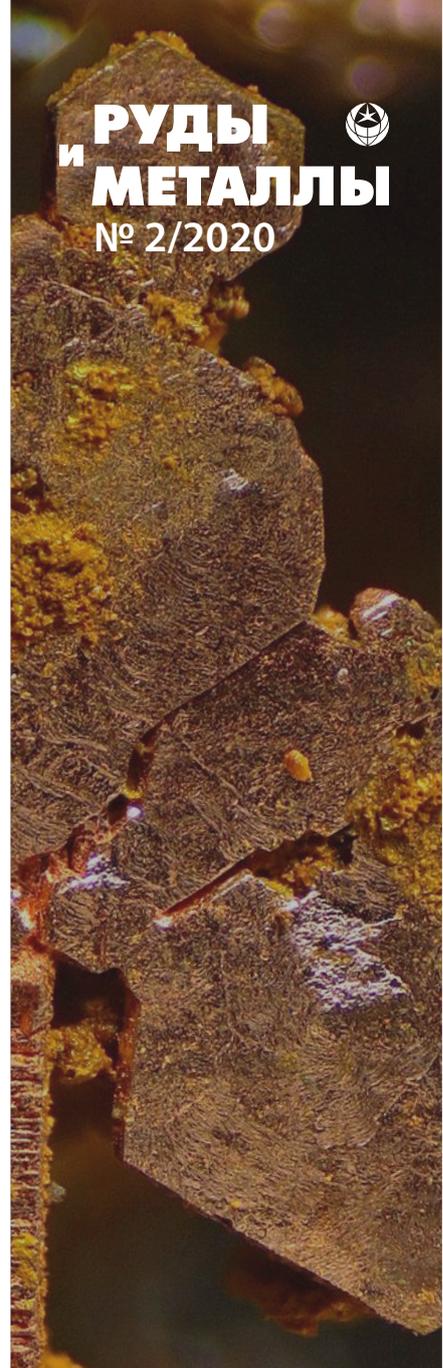
Золотые самородки – удивительные, загадочные, редчайшие природные образования. Их находка всегда рассматривалась как неожиданная удача и внезапное богатство. Каждый самородок – единственный в своём роде.

Золотой самородок – маленькое чудо природы, запечатлевшее в себе длительные процессы отложения золота в рудных жилах, разрушение руд и свою неповторимую «жизнь» металла в аллювиальной среде с его накоплением на плотике многочисленных водотоков разветвлённой речной сети.

Самородки золота, в том числе крупные и уникальные, встречаются главным образом в россыпях, поэтому о первоначальной принадлежности их к конкретным золоторудным месторождениям можно только догадываться. К тому же обычно сведения о самородках ограничиваются их массой и формой, часто не указывается даже проба золота, не говоря о примесях. Это затрудняет отнесение самородков к определённым рудным месторождениям. Чтобы хотя бы отчасти заполнить данный пробел, нами приведено описание двух уникальных образований: самородка «Плита Холтермана» (Австралия) и гнезда крупных самородков в Амурской области (Россия).

Самородок «Плита Холтермана» был обнаружен в 1872 г. в районе золоторудного месторождения Хилл Энд, расположенного в шт. Новый Южный Уэльс. Самородок имел форму треугольной плиты длиной 144 см, шириной 66 см, толщиной 10 см. Масса самородка с кварцем составляла 235 кг, золота – 83,2 кг (рис. 1).

За годы эксплуатации месторождения Хилл Энд (1865–1918 гг.) на нём добыто около 55 т золота. Прогнозные ресурсы в недрах составляют порядка 6 т при среднем содержании Au в руде 3,65 г/т.



### Мельников Антон Владимирович

кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории рудогенеза<sup>1</sup>  
Anton1972@mail.ru

### Степанов Виталий Алексеевич

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор  
главный научный сотрудник<sup>2</sup>  
vitstepanov@yandex.ru

<sup>1</sup> Институт геологии и природопользования  
ДВО РАН,  
г. Благовещенск

<sup>2</sup> Научно-исследовательский  
геотехнологический центр ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский



Золотое оруденение представлено серией стратиформных малосульфидных кварцевых жил. Вмещающие породы – сланцы и граувакковые песчаники формации Чесли силурийского возраста. Эта формация является частью глубоководных сланцево-песчаниково-кремниевых вулканогенно-осадочных отложений, выполняющих крупный силурийско-девонский прогиб. Отложения были деформированы в позднедевонское время с образованием крутонаклонных складок меридионального простирания. Основной рудовмещающей структурой служит антиклиналь Хилл Энд меридионального простирания. Рудное поле вытянуто на 10 км вдоль приядерной части антиклинальной структуры при ширине около 3–4 км. В нескольких километрах к югу от месторождения песчано-сланцевые породы прорваны гранитным массивом Брунбун позднего палеозоя [9].

Большинство кварцевых жил являются послонно-параллельными. Они простой плитообразной формы на крыльях антиклинали и седловидной в замковой её части. Кварцевые жилы также вытянуты в меридиональном направлении и обычно наклонены под углом 60–70° к востоку в непосредственной близости от рудника Хилл-Энд, однако в других местах они могут быть наклонены на восток или запад. Менее развиты секущие жилы и зоны брекчий, приуроченные к разрывным нарушениям. На пересечении жил нередко формируются рудные столбы. Золотоносные жилы в основном имеют мощность около 10–20 см, иногда до 30–40 см. Длина некоторых жил достигает 600 м. Жилы Звёзды Мира и Майка на руднике Хокинс-Хилл прослежены на глубину более 200 м. Богатое золотое оруденение распространено до глубины 120 м от поверхности (рис. 2).

Жилы состоят главным образом из кварца с примесью карбонатов, мусковита и хлорита. Содержание рудных минералов не превышает первых процентов. Среди них преобладает пирит, в меньших количествах присутствуют пирротин, марказит, халькопирит, галенит, арсенопирит, сфалерит и самородное золото. Золото образует мелкие самостоятельные выделения, реже встречается в зёрнах других рудных минералов. В зальбандах жил отмечаются узкие оторочки хлорит-карбонат-серицитового состава.

Золотое оруденение неравномерно распределено в жилах, залегающих в разных частях антиклинали. В её восточном крыле находятся наибо-

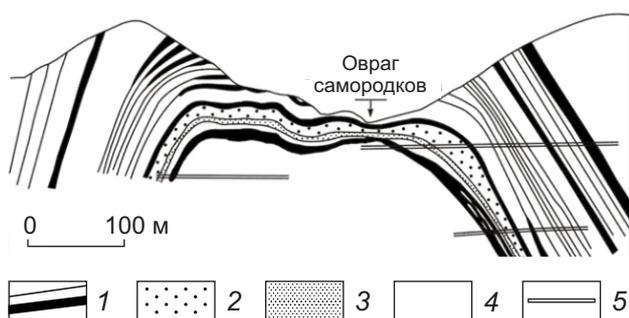


Рис. 1. САМОРОДОК «ПЛИТА ХОЛТЕРМАНА»

лее богатые золотоносные жилы. Располагающиеся в ядре структуры седловидные жилы слабозолотоносные или безрудные. Кварцевые жилы западного крыла антиклинали слабозолотоносны.

На месторождении выделены пять этапов рудообразования [7, 10]. В два первых этапа отлагались кварц, мусковит и пирротин, в третий, четвёртый и пятый из гидротермальных растворов осаждалось основное количество сульфидов и золота. Наиболее значительное накопление золота происходило в III и IV этапы. Процесс осуществлялся при снижении температуры гомогенизации газожидких включений в кварце от 350–280 до 210–150 °С. Основное количество золота и сульфидов отложилось в интервале температур 340–293 °С. Жидкие включения в жильном кварце представляли собой флюиды с низкой солёностью, обогащённые H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>.

Состав доминирующей газовой фазы из газожидких включений в кварце варьирует от азота на ранних стадиях процесса до метана во время основного отложения золота и до богатого углекислым газом на поздней стадии минерализации. Изотопный анализ серы из сульфидов золотоносных жил показал, что её источником служили де-



**Рис. 2. ПОПЕРЕЧНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ЧЕРЕЗ ЦЕНТРАЛЬНУЮ ЧАСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХИЛЛ ЭНД [9]:**

1 – кварцевые жилы; 2 – алевролиты; 3 – песчаники; 4 – сланцы; 5 – штольни

вонские турбидитовые толщи ( $\delta^{34}\text{S}$  -2,8–17,8 ‰). Время формирования золотого оруденения определено изотопным  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом по мусковиту в интервале от 370–380 до 340–345 млн лет, т. е. от позднего девона до раннего карбона. Но основное рудоотложение произошло в интервале от 356 до 343 млн лет (ранний карбон). В связи с амагматичностью структуры месторождения выдвигается предположение о метаморфическом генезисе рудоносных флюидов. Метаморфизм вмещающих оруденение терригенных толщ произошёл в раннекаменноугольное время при параметрах  $P$  2,9 кбар и  $T$  420 °C [8].

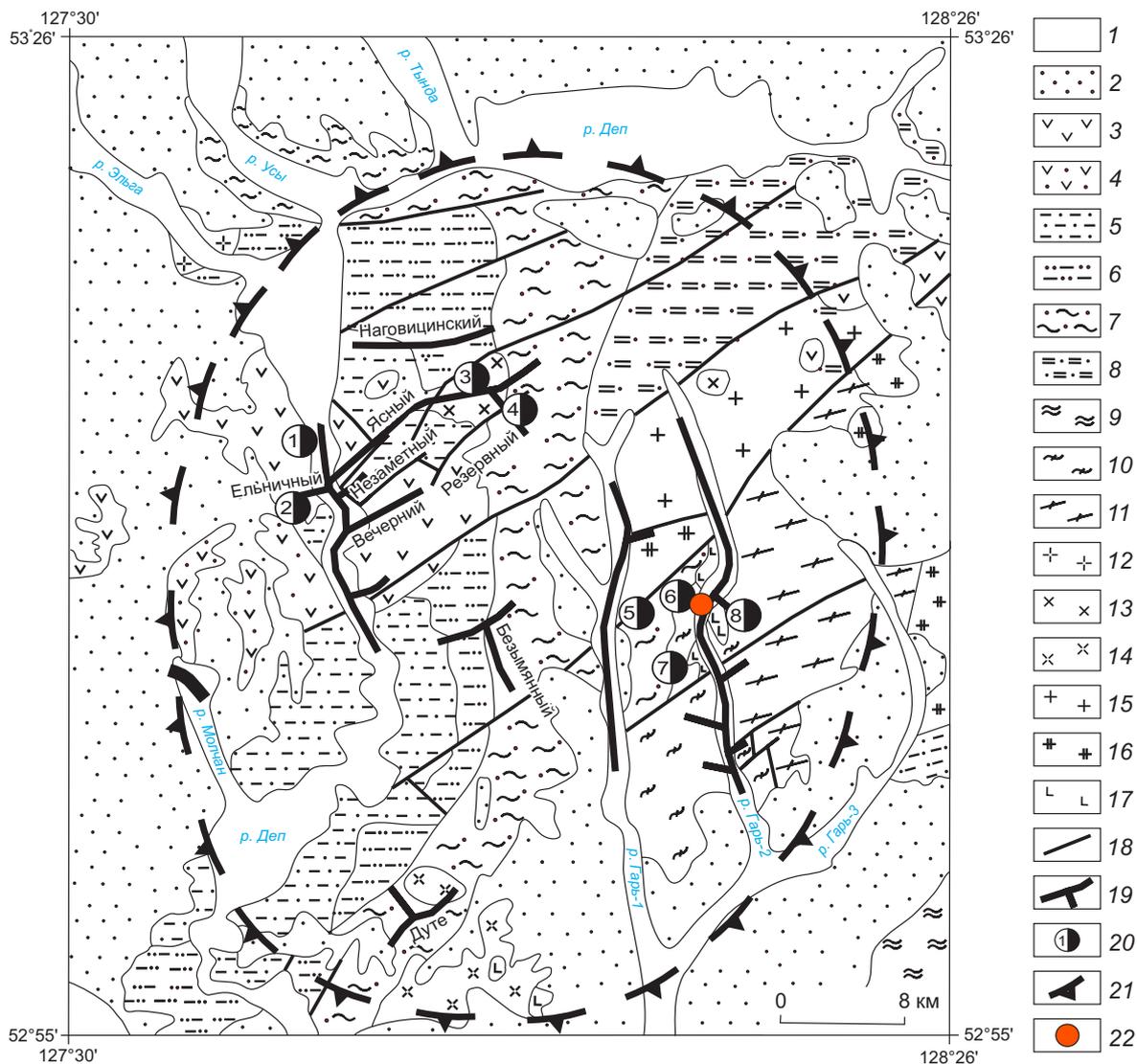
Скопление самородков золота Амурской области выявлено в 1966 г. в Ясненском рудно-россыпном узле Северо-Буреинской металлогенической зоны Приамурской провинции [2] при разведке и эксплуатации россыпи р. Гарь-2. Всего в гнездовом скоплении было найдено 665 самородков золота массой от 10 г до первых килограммов. Самый крупный из них весил 6990 г, а общая масса составила 79 кг [3]. В плотике россыпи расположено кварцево-жильное проявление рудного золота Каракатица. За счёт его размыва предполагается появление в россыпи гнезда самородков, общая масса которых сопоставима с массой самого крупного в мире самородка «Плита Холтермана».

Ясненский рудно-россыпной узел находится в низовьях р. Деп, притока р. Зея. В пределах узла имеется ряд промышленных россыпей, из которых добыто около 15 т золота, а также проявления рудного золота. Узел приурочен к западной

оконечности Умлекано-Огожинского вулканического пояса. Золотое оруденение вмещают докембрийские породы фундамента вулканического пояса и раннемеловые вулканиты (рис. 3). В геологическом строении узла участвуют главным образом стратифицированные образования. Наиболее древние – амфиболиты и гнейсы позднего архея, слагающие крупный блок в восточной части узла в бассейнах рек Гарь-2 и Гарь-3. С юго-запада к ним примыкают сланцы и зеленокаменные породы раннего протерозоя. В юго-восточном углу площади ограниченно развиты мраморизованные известняки, метагравелиты и метаконгломераты позднего рифея. К северо-западу и западу от докембрийских образований залегают терригенные толщи поздне триасового, средне- и позднеюрского возрастов, занимающие большую часть площади узла. Они закономерно сменяют друг друга от поздне триасовых отложений на северо-востоке узла до позднеюрских образований на западе. В западной части узла в бассейне р. Деп на верхнеюрских песчано-сланцевых отложениях залегают вулканогенно-осадочные породы, ещё выше андезиты, трахиандезиты, андезидациты раннего мела. По периферии узла повсеместно присутствуют рыхлые песчано-галечные осадки плиоцен-неоплейстоценового возраста, фиксирующие внешнюю границу узла. В долинах рек развиты аллювиальные песчано-галечные отложения квартала.

Интрузивные образования ограниченно развиты на западной и юго-западной периферии узла. Наиболее древними являются метагипербазиты и метагаббро раннего протерозоя, слагающие небольшие тела среди сланцев того же возраста и ксенолиты в гранодиорит-порфирах раннего мела. Граниты и лейкограниты ордовика образуют небольшие интрузии в восточной части узла. Крупную трещинную интрузию северо-восточного простирания слагают позднепалеозойские граниты в верховьях рек Гарь-1 и Гарь-2. Отдельные небольшие интрузии в западной части узла представлены диоритами и кварцевыми диоритами, гранит-порфирами и гранодиорит-порфирами раннего мела.

В пределах узла широко развиты разрывные нарушения северо-восточной и субмеридиональной ориентировки, контролирующие размещение интрузивных и вулканогенных образований. Терригенные образования триасового и юрского возрастов слагают восточное периклинальное замыкание крупной синклинали складки субширот-



**Рис. 3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ЯСНЕНСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА [2]:**

1 – аллювиальные песчано-галечные отложения (Q); 2 – алевриты, глины, пески, галечники ( $N_2-Q_{NP}$ ); 3 – андезиты, трахиандезиты, дациандезиты и их туфы ( $K_1$ ); 4 – песчаники, алевролиты, аргиллиты ( $K_1$ ); 5 – песчаники, прослои алевролитов и аргиллитов ( $J_3$ ); 6 – песчаники, прослои алевролитов, аргиллитов, каменных углей ( $J_{2-3}$ ); 7 – песчаники, прослои алевролитов, гравелитов, конгломератов, туффитов ( $J_2$ ); 8 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, гравелиты ( $T_3$ ); 9 – известняки метаморфизованные, метагравелиты, метаконгломераты ( $RF_3$ ); 10 – сланцы кварц-эпидот-хлоритовые, кварц-серпичитовые, метаморфизованные туфы (PR); 11 – амфиболиты с пластами биотитовых гнейсов, линзами мраморов ( $AR_2$ ); 12 – гранит-порфиры ( $K_1$ ); 13 – диориты, кварцевые диориты ( $K_1$ ); 14 – гранодиорит-порфиры ( $K_1$ ); 15 – граниты, лейкограниты ( $C_{2-3}$ ); 16 – граниты, лейкограниты, гранодиориты (O); 17 – метагипербазиты, метагаббро (PR); 18 – разломы; 19 – россыпи золота; 20 – рудопроявления золота (1 – Усть-Эльгинское, 2 – Ельничное, 3 – Ясное, 4 – Резервное, 5 – Гарь-1-2, 6 – Каракатица, 7 – Победа, 8 – Гарь-2); 21 – граница рудно-россыпного узла; 22 – место находок самородков золота

ного простираения, шарнир которой погружается на запад. В ядре складки обнажаются вулканиты и вулканогенно-осадочные образования раннего мела. Фундаментом терригенно-вулканогенного прогиба служат докембрийские образования от позд-

неархейского до рифейского возраста, слагающие вытянутый в меридиональном направлении блок в восточной части узла.

В целом Ясенскому рудно-россыпному узлу отвечает поднятый блок, вытянутый в меридио-

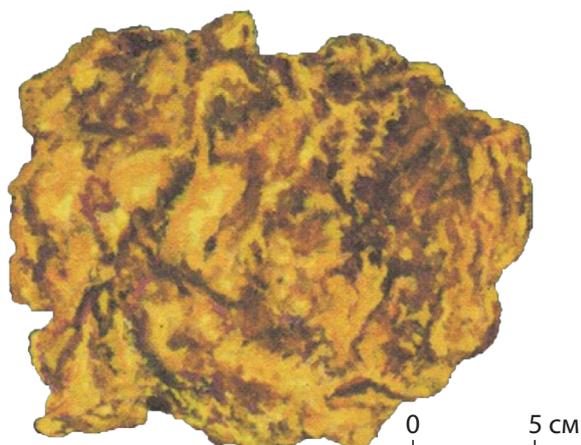


Рис. 4. МУЛЯЖ САМОРОДКА «АМУРСКИЙ ЧЕМПИОН-2» [5]

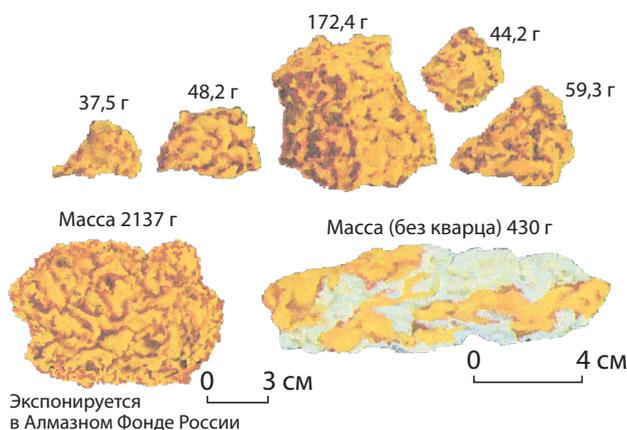


Рис. 5. МУЛЯЖИ ХАРАКТЕРНЫХ САМОРОДКОВ ЗОЛОТА ИЗ РОССЫПИ р. ГАРЬ-2 [5]

нальном направлении и окружённый рыхлыми осадками миоцен-неоплейстоценового возраста. Блок представляет собой восточное периклинальное замыкание Депской впадины мезозойского возраста, залегающей на докембрийском фундаменте. Уникальность Ясенского узла состоит в том, что он является слабоэродированным выступом докембрийских и мезозойских пород в окружении рыхлых неоген-четвертичных осадков.

Магнитное поле центральной части Ясенского узла от 0 до -100, редко -200 нТл. С севера, востока и юга полукругом располагается цепочка окаймляющих узел положительных аномалий поля  $\Delta T$  интенсивностью от 1100–1200 до 4000 нТл, которым соответствуют интрузии основного и ультраосновного составов в пределах блока докембрий-

ского основания мезозойских складчатых образований [2]. Узел хорошо выражен в геохимических полях по литохимическим потокам рассеяния золота, серебра, свинца, меди и молибдена.

Золотое оруденение и россыпи золота тяготеют к центральной, приядерной, части узла. Выделяются две группы проявлений золота. Одна из них, включающая проявления Усть-Эльгинское, Ельничное, Ясное и Резервное, размещается в бассейне нижнего течения р. Деп и приурочена к вулканитам и интрузиям раннемелового возраста. Эти проявления представлены кварц-сульфидными жилами золото-полиметаллической формации. Другая группа рудопоявлений (Гарь-1-2, Каракатица, Победа) располагается в верховьях рек Гарь-1 и Гарь-2 и приурочена к метаморфическим образованиям докембрия. Оруденение этой группы проявлений малосульфидное золотокварцевое. Проявления представлены кварцевыми и карбонатно-кварцевыми жилами мощностью от 0,2 до 3 м. Содержание золота достигают промышленных значений.

Гнездо самородков было обнаружено при разведке и отработке россыпи Гарь-2, откуда добыто более 3 т золота. Золото в россыпи средней крупности и крупное, до самородков, слабой степени окатанности. Форма золотин комковидная, пластинчатая, дендритовидная, проволоковидная и крючковатая. Часто встречаются сростки золотин с кварцем. Проба золота колеблется в пределах 778–946 ‰, средняя – 925 ‰. В разрезе аллювия россыпи в районе руч. Каракатица отмечается приплотиковый горизонт коры выветривания зеленокаменных пород. К этому горизонту приурочено слабоокатанное дендритовидной формы золото и основное количество крупных самородков. Самородки были сосредоточены на небольшом по площади участке долины, примерно 80 x 100 м.

Большая часть самородков представляла собой жильный кварц, сцементированный крупными выделениями самородного золота. Самые крупные самородки – «Амурский чемпион-1» и «Амурский чемпион-2», они весили 6990 и 6140 г соответственно (рис. 4). Всего отобрано 49 крупных (массой более 1 кг) самородков. Они имели явно выраженный «рудный» облик с кавернозно-бугристой поверхностью, комковидную или пластинчатую форму (рис. 5, б). Поверхность самородков была настолько шероховатой и буквально колючей на ощупь, что при осмотре осыпались мелкие остроугольные золотишки. Некоторые крупные самородки представляли



**Рис. 6. САМОРОДОК ПЛАСТИНЧАТОЙ ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ МАССОЙ 325 г ИЗ РОССЫПИ р. ГАРЬ-2**

собой неокатанные части кварцевой жилы мощностью 10–15 см, насыщенные мелкими выделениями высокопробного золота [5]. Очевидно, что самородки золота в сростках с кварцем представляли собой в коренном залегании единое золото-кварцевое гнездо, сопоставимое по общей массе с самым крупным в мире самородком «Плита Холтермана».

Детальное исследование самородков и сравнение их с россыпным золотом р. Гарь-2 проведено группой исследователей ДВГИ ДВО РАН и комбината «Амурзолото» [3]. Проба наиболее крупного самородка «Амурский чемпион-1» составляла 992 ‰. Это почти чистое «червонное» золото. Из примесей в нём отмечались (%): Ag (0,61), As (0,02), Cu и Pb по 0,009. Средняя проба россыпного золота в руч. Каракатица ниже – 933,5 ‰. Химический анализ кварца из самородка показал, что в его составе преобладает SiO<sub>2</sub> (95,6 %). Наиболее распространены примеси (%): Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,14), FeO (0,34), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,39), TiO<sub>2</sub> (0,22), CaO (0,44), K<sub>2</sub>O (0,18), Na<sub>2</sub>O (0,15). Это свидетельствует о наличии в кварце минеральных примесей – кальцита, полевых шпатов, рутила, пирита. Температура гомогенизации газовой-жидких включений в кварце составляет 300–280 °С. Это совпадает с интервалом температур формирования самородного золота месторождения Хилл Энд (340–290 °С). Золото, отложившееся в трещинах в этом кварце, очевидно, выпадало из раствора при более низкой температуре.

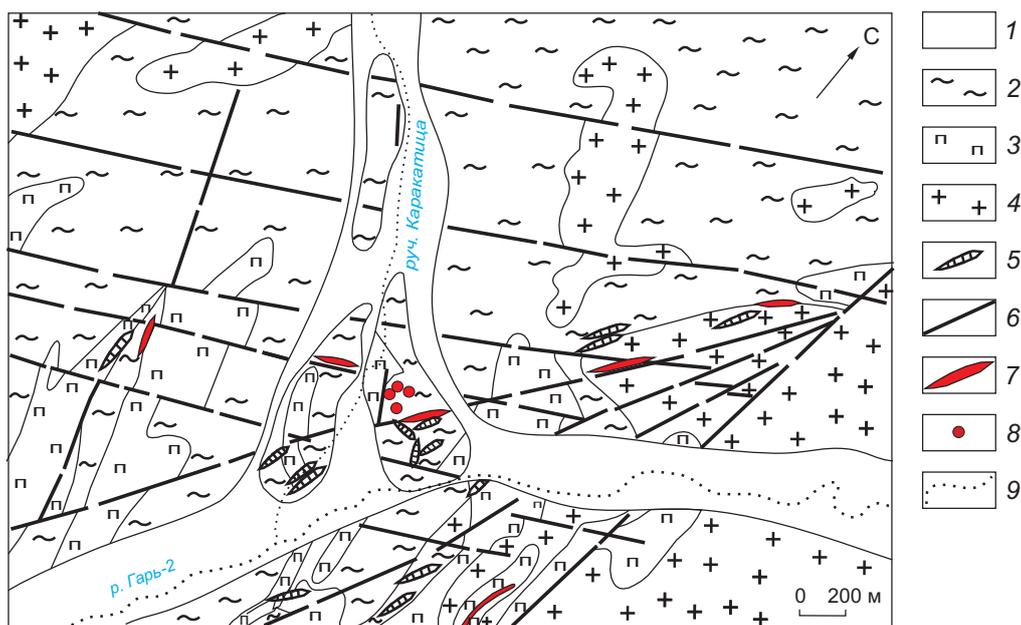
*Проявление Каракатица* расположено на правобережье р. Гарь-2 в районе устья руч. Каракатица. Вмещающие породы – серпентиниты, филли-

товидные сланцы и песчаники раннего палеозоя, прорванные серией раннемеловых даек диоритовых порфиритов (рис. 7).

В минерализованной зоне среди лиственитов канавами вскрыты три кварцевые и 10 кварц-карбонатных жил. Их протяжённость около 100 м при мощности 0,2–3 м. Гнездо самородков находилось в непосредственной близости от одной из золотоносных жил в приплотиковой части россыпи Гарь-2. В кварцевых жилах содержание золота изменяется от 1,0 до 9,2 г/т. В кварц-карбонатных жилах установлены (%): Zn до 0,1, As – 0,05, W и Sn – по 0,02, Ni и Cr – 0,3, Cu – 0,01, Co – 0,02. Золото присутствует также в окварцованных серпентинитах в количестве до 0,4 г/т. Рудопроявление Каракатица отнесено к малосульфидной золото-кварцевой формации.

Сравнительный анализ геологического строения и золотого оруденения в местах находок уникального самородка «Плита Холтермана» и гнезда самородков в Приамурье показал следующее. В обоих случаях коренными источниками самородков служило оруденение золото-кварцевой формации. Н. В. Петровская отмечала, что за рубежом наиболее крупные самородки встречены в Калифорнии и Аризоне (США), Канаде и Австралии. Наиболее частые находки самородков характерны для областей распространения малосульфидного золотого оруденения. При этом большинство самородков представлено жильным кварцем с включениями золота [4]. С месторождениями малосульфидной золото-кварцевой формации связано также большое количество самородков в россыпях Центральной Колымы [1]. Происхождение их объясняется тем, что крупные выделения золота, в том числе и самородки, характерны для верхней, фронтальной, части месторождений золото-кварцевой формации этого региона [6].

Кварцевые жилы, вмещающие уникальные самородки золота в Австралии и Амурской области России, были сравнительно маломощными. Мощность жилы, вмещающей «Плиту Холтермана», составляет 10 см, а крупные самородки Ясенского узла представлены фрагментами кварцевых жил мощностью 10–15 см. Совпадает и температура гомогенизации газовой-жидких включений в кварце. Она составляет 300–280 °С для кварца из самородков Приамурья и 340–293 °С для кварца месторождения Хилл Энд. Одна из особенностей самородков – отсутствие включений рудных минералов,



**Рис. 7. РУДОПРОЯВЛЕНИЕ КАРАКАТИЦА, ПО Н. Г. ВЛАСОВУ, 1974 г.:**

1 – аллювиальные отложения (Q); 2 – филлитовидные сланцы, метаморфизованные песчаники и зеленокаменные породы (RF); 3 – серпентиниты (K<sub>1</sub>); 4 – порфиритоиды (PZ<sub>3</sub>); 5 – дайки диоритов, диоритовых порфиритов и микродиоритов (K<sub>1</sub>); 6 – разрывные нарушения; 7 – кварц-карбонатные жилы и прожилки; 8 – место массовых находок самородков золота; 9 – водотоки

даже таких обычных для месторождений золото-кварцевой формации, как арсенопирит и галенит. Самородки россыпи Гарь-2 обладают чрезвычайно высокой пробой золота (992 ‰), проба золота «Плиты Холтермана» неизвестна: самородок был отправлен на переплавку.

Не вызывает сомнения происхождение самородка «Плита Холтермана» за счёт разрушения верхней части золото-кварцевого месторождения Хилл Энд. Из него добыто несколько десятков тонн золота, поэтому масса самородка адекватна параметрам месторождения. Но в районе россыпи Гарь-2 промышленное месторождение золота до сих пор не выявлено. Образование самородков за счёт размыва известных слабозолотоносных кварцевых и кварц-карбонатных жил проявления Каракатица

маловероятно. Тем не менее наличие значительного скопления золота в одном гнезде указывает на перспективы обнаружения промышленного золоторудного месторождения. Вероятно, большая часть рудных тел последнего находится на глубине. Об этом свидетельствует слабая эродированность Ясенского рудно-россыпного узла, который является выступом докембрийских и мезозойских пород в окружении рыхлых неоген-четвертичных осадков. По-видимому, в его пределах вскрыта самая верхняя часть золоторудной колонны с уникальным гнездом самородков, состоящих из «червонного» золота 992 ‰. Поэтому авторы предполагают бассейн р. Гарь-2 перспективным на поиски промышленного месторождения золото-кварцевого типа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альшевский А. В. Крупнейшие колымские самородки золота // Золотодобыча. – 2010. – № 144. – С. 17–20.
2. Мельников А. В., Степанов В. А. Рудно-россыпные узлы южной части Приамурской золотоносной провинции. – Благовещенск: АмГУ, 2013. – 222 с.
3. Моисеенко В. Г., Карнаух Ю. А., Краснов Г. Ф. К вопросу о генезисе самородков золота месторождения Гарь-II // Вопросы золотоносности Дальнего Востока. – Благовещенск: ДВНЦ, 1971. – С. 132–136.
4. Петровская Н. В. Самородное золото. – М.: Мир, 1973. – 347 с.

5. Родионов В. Н. Амурские самородки золота. – Зея : Зейская типография, 2010. – 42 с.
6. Степанов В. А. Зональность золотокварцевого оруденения Центральной Колымы. – Владивосток : Дальнаука, 2001. – 70 с.
7. Lu J., Seccombe P. K., Eldridge C. S. SHRIMP S-isotope evidence for fluid mixing during gold mineralization in a state-belt gold deposit (Hill End, NSW, Australia) // *Chemical Geology*. – 1996. – V. 127. – pp. 229–240.
8. Seccombe P. K., Hicks M. N. The Hill End goldfield, NSW, Australia – early metamorphic deposition of auriferous quartz veins // *Mineralogy and petrology*. – 1989. – V. 40. – pp. 257–273.
9. Seccombe P. K., Lu J. Timing of mineralization and source of fluids in a slate-belt auriferous vein system, Hill End goldfield, NSW, Australia // *Lithos*. – 1996. – № 38. – pp. 147–165.
10. Seccombe P. K., Lu J., Andrew A. S., Gulson B. L. Nature and evolution of metamorphic fluids associated with turbidite-hosted gold deposits: Hill End, NSW, Australia // *Mineralogical Magazine*. – 1993. – V. 57, I. 388. – pp. 423–436.

## REFERENCES

1. Al'shevskii A. V. Krupneishie kolymskie samorodki zolota [The largest Kolyma nuggets of gold], *Zolotodobycha [Gold mining]*, 2010, No 144, pp. 17–20. (In Russ.).
2. Mel'nikov A. V., Stepanov V. A. Rudno-rossypnye uzly yuzhnoi chasti Priamurskoi zolotonosnoi provintsii [Ore placers in the southern part of the Amur gold province], *Blagoveshchensk, AmGU Publ.*, 2013, 222 p.
3. Moiseenko V. G., Karnaukh Yu. A., Krasnov G. F. K voprosu o genezise samorodkov zolota mestorozhdeniya Gar-II [On the genesis of gold nuggets of the Gar-II deposit], *Voprosy zolotonosnosti Dal'nego Vostoka [Gold issues of the Far East]*, Blagoveshchensk, DVNTs Publ., 1971, pp. 132–136. (In Russ.).
4. Petrovskaya N. V. Samorodnoe zoloto [Native gold], Moscow, Mir Publ., 1973, 347 p.
5. Rodionov V. N. Amurskie samorodki zolota [Amur gold nuggets], Zeя, Zeiskaya tipografiya Publ., 2010, 42 p.
6. Stepanov V. A. Zonal'nost' zolotokvartseвого orudene-niya Tsentral'noi Kolymy [Zoning of the golden quartz mineralization of Central Kolyma], Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2001, 70 p.
7. Lu J., Seccombe P. K., Eldridge C. S. SHRIMP S-isotope evidence for fluid mixing during gold mineralization in a state-belt gold deposit (Hill End, NSW, Australia), *Chemical Geology*, 1996, V. 127, pp. 229–240.
8. Seccombe P. K., Hicks M. N. The Hill End goldfield, NSW, Australia – early metamorphic deposition of auriferous quartz veins, *Mineralogy and petrology*, 1989, V. 40, pp. 257–273.
9. Seccombe P. K., Lu J. Timing of mineralization and source of fluids in a slate-belt auriferous vein system, Hill End goldfield, NSW, Australia, *Lithos*, 1996, No 38, pp. 147–165.
10. Seccombe P. K., Lu J., Andrew A. S., Gulson B. L. Nature and evolution of metamorphic fluids associated with turbidite-hosted gold deposits: Hill End, NSW, Australia, *Mineralogical Magazine*, 1993, V. 57, I. 388, pp. 423–436.

## THE GEOLOGICAL POSITION OF UNIQUE GOLD NUGGETS DISCOVERED IN NEW SOUTH WALES, AUSTRALIA, AND THE AMUR REGION, RUSSIA

Melnikov A. V. (PhD, leading researcher of ore genesis laboratory<sup>1</sup>)

Stepanov V. A. (PhD, Professor, chief researcher<sup>2</sup>)

<sup>1</sup> Institute of Geology and Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk (Russia)

<sup>2</sup> Research Geotechnological Center FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky (Russia)

*A comparative description of the geological structure typical of discovery areas of a unique nugget known as the Holtermann Plate (New South Wales, Australia) and a nest of large nuggets comparable in weight to it (Amur region, Russia) is given. It was shown that in both cases gold-quartz mineralization was the primary nugget source. The Holtermann Plate nugget is formed by destruction of the upper part of the major Hill End gold deposit, which is represented by a series of stratiform quartz veins. A nest consisting of 665 nuggets with a total weight of 79 kg was found when mining the Gar-2 placer of the Yasnensky ore-placer cluster of the Amur province. In the placer area, gold-quartz occurrences predominate. Gold-quartz type gold deposits are forecasted to be identified there.*

*Keywords: gold nuggets, deposit, placer, gold-quartz formation.*

## МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИИ КВАРЦ-СУЛЬФИДНЫХ РУД ЗУН-ХОЛБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ВОСТОЧНЫЙ САЯН

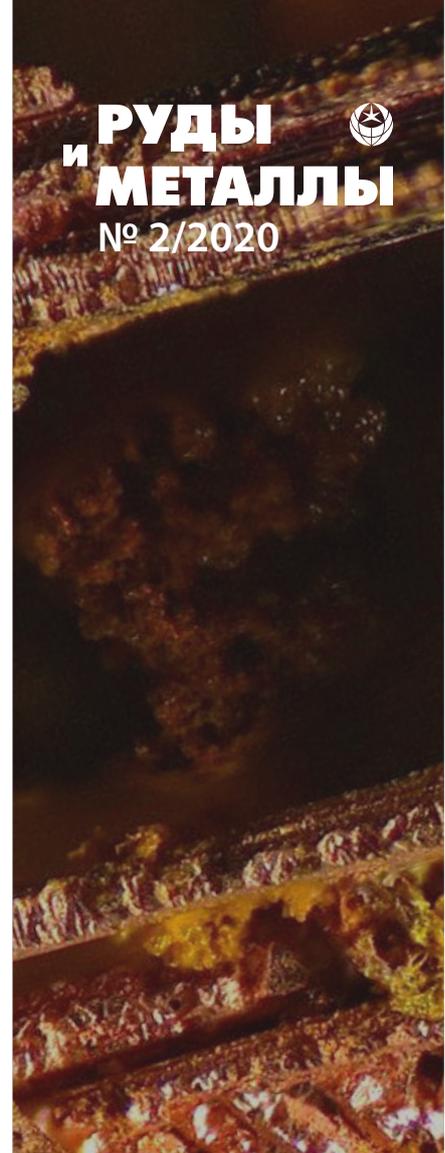
Приведены результаты исследования минерального состава кварц-сульфидных руд крупнейшего в Восточном Саяне Зун-Холбинского золоторудного месторождения. Выделены три минеральных типа руд: сливные пирит-пирротиновые, кварц-карбонат-сульфидные и кварц-полиметаллические. Самородное золото встречается в виде выделений в пирите-2 по трещинам или краям, а также отлагается совместно с другими рудными минералами (халькопиритом, сфалеритом, галенитом). Золото отлагается не только в пирите-2, но и в пирротине и кварц-карбонатной массе. Золото, отлагавшееся в кварц-карбонат-сульфидную стадию, имеет пробы от 634 до 926 ‰, в полиметаллическую – от 467 до 860 ‰, в *Vi*-теллуридную – от 327 до 693 ‰. Кроме того, выявлена зависимость состава примесных минеральных ассоциаций от рудовмещающих породных комплексов. Источником *Vi* могла послужить лампрофировая дайка, а минералы *Ni* появляются в рудах на участках развития блоков лиственитизированных пород – продуктов тектоно-метасоматических преобразований ультрабазитов. По взаимоотношениям минералов установлены четыре рудные ассоциации: пирит-пирротиновая, кварц-карбонат-сульфидная, кварц-полисульфидная и *Vi*-теллуридная, соответствующие дорудному этапу и трём последовательным стадиям рудообразующего процесса.

Ключевые слова: Восточный Саян, Зун-Холбинское золоторудное месторождение, минеральные ассоциации, золото.

Зун-Холбинское золоторудное месторождение, открытое в 1955 г. геологами О. Ф. Горнаковым и А. Г. Лакиным, размещается в юго-восточной части Восточного Саяна в пределах Боксон-Гарганской структурно-металлогенической зоны [6].

Оно имеет длительную историю изучения и разведки. Многие известные учёные и исследователи описывали геологическое строение, состав вмещающих пород и руд месторождения, выдвигали мнения о генезисе золотого оруденения [2, 3, 5, 8, 14]. Но, несмотря на это, многие вопросы, касающиеся особенностей минерального состава руд, условий рудоотложения, источников рудного вещества, последовательности минералообразования, а также генезиса золотого оруденения остаются дискуссионными.

Рудные тела на месторождении не имеют чётких геологических границ и представляют собой тектонически нарушенные и гидротермально изменённые породы разного состава. В целом на объекте выделяются два типа рудных тел: минерализованные зоны и жилообразные рудные тела [4, 13]. Главные минералы руд (пирит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит и др.) определены достаточно давно. Кроме того, все исследователи отмечали наличие в рудах минеральных фаз примесных компонентов:



**Москвитина  
Мария Леонидовна**

магистрант<sup>2</sup>  
homashca@mail.ru

**Дамдинов  
Булат Батуевич**

доктор геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник<sup>1</sup>  
damdinov@mail.ru

**Дамдинова  
Людмила Борисовна**

кандидат геолого-минералогических наук  
старший научный сотрудник<sup>1</sup>  
ludamdinova@mail.ru

**Извекова  
Александра Дмитриевна**

аспирант<sup>1</sup>  
boxjer@mail.ru

<sup>1</sup> ФГБУН Геологический институт СО РАН,  
г. Улан-Удэ

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Бурятский государственный  
университет имени Доржи Банзарова»,  
г. Улан-Удэ



Bi, Te, As и др. Однако их место в общей последовательности минералообразования так и не было установлено. В большинстве опубликованных работ эти минералы лишь перечислены как редкие или второстепенные и не отнесены к определённой минеральной ассоциации. Проведённые нами минералогические исследования кварц-сульфидных руд месторождения позволили выявить последовательность отложения рудных минералов и выделить стадии рудообразующего процесса.

В ходе экспедиционных работ на Зун-Холбинском месторождении авторы исследовали девять горизонтов (1290, 1340, 1390, 1440, 1490, 1740, 2032, 2082, 2300) в подземных и поверхностных горных выработках. Изучались геолого-структурные особенности рудных тел (Северное-1, 2, 3, Вавиловское, Сульфидное, Дорожное) и их взаимоотношения с вмещающими породами.

Состав пород и руд анализировался по шлифам и аншлифам с использованием рудно-петрографических микроскопов марок Полам и *Olympus BX-51*. Химический состав рудных минералов исследовался в ЦКП «Аналитический центр минералого-геохимических и изотопных исследований» ГИН СО РАН на сканирующем электронном микроскопе *Leo-1430* с энергодисперсионной приставкой для количественного анализа *Inca-Energy* (аналитики С. В. Канакин, Е. А. Хромова).

Зун-Холбинское золоторудное месторождение приурочено к Урик-Китойской золоторудной зоне и располагается в пределах Самарта-Холбинской зоны разломов северо-западного простирания. В строении Холбинского рудного поля участвуют породы Гарганской глыбы, сланцево-карбонатные отложения, породы офиолитовой ассоциации, гранитоиды сумсунурского комплекса и единичные дайки лампрофиров (рис. 1).

Гарганская глыба, представляющая собой выступ кристаллического фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента, сложена гнейсогранитами, гранодиоритами, плагиогранитами, кварцевыми диоритами. Породы выступа являются самыми древними в Восточном Саяне. По изотопным датировкам, значения возраста соответствуют интервалу 2000–3240 млн лет. Согласно последней U-Pb датировке возраст пород основания Гарганской глыбы – архейский (2900 млн лет) [1, 10].

Сланцево-карбонатные отложения относятся к иркутской свите и представляют собой неоптерозойские отложения чехла Тувино-Монгольского

микроконтинента. Иркутская свита сложена песчанистыми и кварцевыми тонкослоистыми известняками с прослоями углеродисто-карбонатно-терригенных отложений. Возраст отложений данной свиты оценивается в 1250 млн лет [9].

Породы офиолитовой ассоциации представлены метасоматически изменёнными ультрабазитами, которые превращены в листвениты и тальк-карбонатные породы, а также метаэффузивами и сланцами ильчирской толщи (оспинская свита).

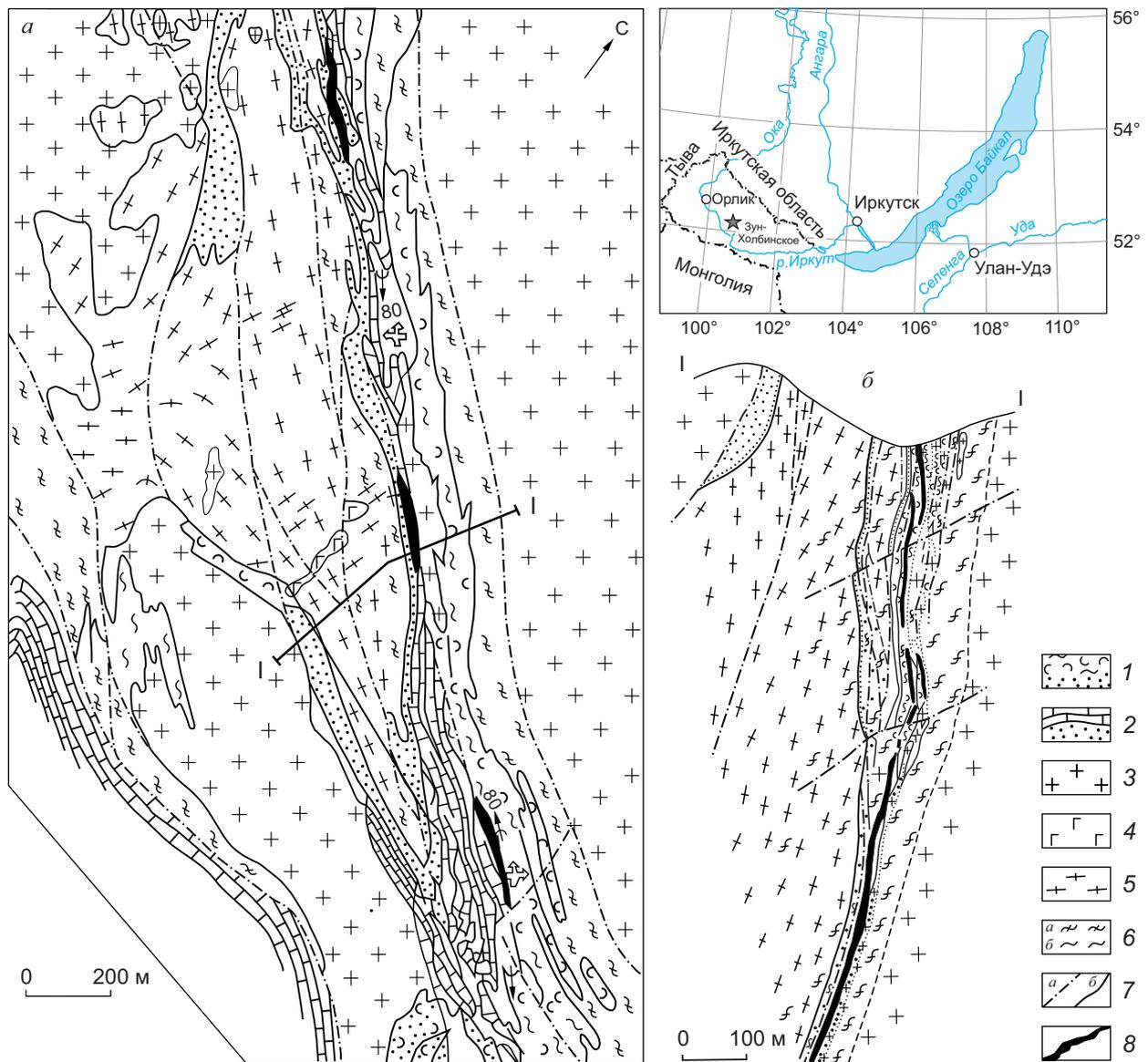
В минеральном составе кварц-тальк-карбонатного лиственита преобладает карбонат (до 50 об. %), содержатся мелкие чешуйки талька (до 40 об. %), а оставшиеся 10 % приходятся на долю кварца, слагающего как отдельные зёрна, так и мелкие скопления зёрен в виде глазок углеродистого вещества, а также рудного минерала, представленного мелкими округлыми выделениями и агрегатами неправильной формы.

Породы ильчирской толщи (оспинская свита) на месторождении представлены метаморфизованными базальтами и андезитами, которые тесно ассоциируют с углеродисто-глинисто-кремнистыми сланцами, чередующимися с песчаниками. Среди сланцев присутствуют тела сливных сульфидных руд, местами золотоносные [11].

Сумсунурский комплекс включает биотитовые и амфибол-биотитовые гранодиориты, плагиограниты, биотит-роговообманковые диориты и роговообманковые эпидотизированные полевошпатовые граниты. Породы комплекса вблизи рудных тел подвержены тектоно-метасоматическим изменениям и превращены в березиты, милониты, катклазиты.

Дайки лампрофиров встречаются в виде единичных тел. Как и другие породы на месторождении, они претерпели интенсивные тектонические деформации, в результате чего были разбиты на серию линзовидных тел (рис. 2), что свидетельствует об их дорудной или внутрирудной природе. Лампрофиры представляют собой тёмно-зелёные мелкозернистые породы с порфировидной структурой. Около 60 % объёма породы слагают вкрапленники оливина, пироксена (авгит, диопсид) и биотита. Размер вкрапленников варьирует от 1 до 2,5 мм. Основная масса – плагиоклаз, клинопироксен, биотит, магнетит.

Все породы месторождения подвержены интенсивным тектоническим деформациям и входят в Самарта-Холбинскую сдвиговую зону. Разломы

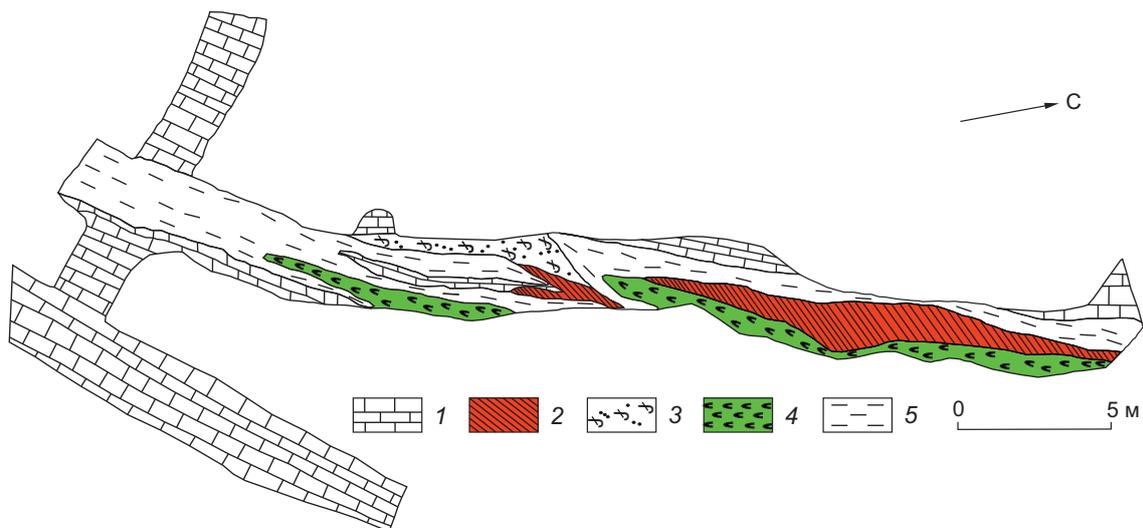


**Рис. 1. СХЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЗУН-ХОЛБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (а – ПЛАН, б – РАЗРЕЗ ПО РАЗВЕДОЧНОМУ ПРОФИЛЮ I-I) [12]:**

1 – углеродистые сланцы, вулканиты и туфотурбидиты ильчирской толщи (PR<sub>3</sub>); 2 – терригенно-кремнисто-карбонатные отложения иркутской свиты (PR<sub>3</sub>); 3 – плагиограниты и гранодиориты сумсунурского комплекса (PR<sub>3</sub>); 4 – дайки габбро и габбродиабазов (PR<sub>3</sub>); 5 – гнейсы и гранитогнейсы Гарганской глыбы (AR<sub>2</sub>); 6 – зоны катаклаза (а) и милонитизации (б); 7 – разрывные нарушения (а), геологические границы (б); 8 – золоторудные тела

состоят из серии линзующихся и ветвящихся субпараллельных разрывов северо-западного простирания, пересекающих Самарта-Холбинскую структуру вдоль осевой поверхности [12]. Эти разрывы в сланцах и карбонатных породах чехла Гарганской глыбы проявляются как крутопадающие зоны расланцевания пород мощностью до 10–30 м,

а в гнейсогранитах её основания образуют мощные зоны милонитизации и катаклаза, сопровождающиеся березитизацией, окварцеванием и сульфидизацией пород [12]. Таким образом, рудовмещающий субстрат представляет собой крупноблоковый меланж, вследствие чего рудные тела часто имеют линзовидную и ячеистую морфологию.



**Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПЛАН ГОР. 1440:**

1 – известняки; 2 – рудное тело; 3 – околорудные метасоматиты (березиты); 4 – дайка лампрофиров; 5 – углеродистые сланцы

Как уже отмечалось, Зун-Холбинское месторождение неоднократно изучалось, и каждый исследователь предлагал свою типизацию его руд. Самая известная типизация основана на текстурно-структурных особенностях и включает четыре типа руд [12, 15]: слоисто-полосчатые с послойной сульфидной минерализацией; массивные колчеданные, колчеданно-полиметаллические и линзовидно-полосчатые метасоматические кварц-сульфидные; кварцевые и сульфидно-кварцевые жилы; зоны прожилкования и прожилково-вкрапленные руды.

А. В. Бражник выделил четыре продуктивных минеральных комплекса, которые характеризуются определёнными возрастными взаимоотношениями. Комплексы были диагностированы по текстурно-структурным особенностям и типоморфным признакам основных рудных минералов [2]: пиритовый, пирит-пирротиновый, пирит-полисульфидный, полисульфидный.

Нами изучены наиболее промышленно значимые кварц-сульфидные руды, в которых, согласно преобладающим рудным минералам, были выделены следующие минеральные типы: сливные пирит-пирротиновые, кварц-карбонат-сульфидные (пиритовые), кварц-полиметаллические (пирит-сфалерит-галенитовые).

*Сливные пирит-пирротиновые руды* сложены сплошным агрегатом сульфидных минералов, со-

держание которых достигает 90 % (рис. 3, з). Главные сульфидные минералы – пирротин (60–70 %) и пирит (25–30 %), второстепенные (5–7 %) – халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит. Сливные пирит-пирротиновые руды слагают небольшие (до первых метров по длинной оси) линзовидные тела в рудоконтролирующих зонах дробления преимущественно на нижних горизонтах месторождения.

*Кварц-карбонат-сульфидные руды* – самый распространённый тип руд, слагающий практически все главные рудные тела на месторождении (см. рис. 3, а, б). Такие руды макроскопически представляют собой чередование полос серого, тёмно-серого, белого и почти прозрачного кварца, окварцованного серовато-белого карбоната и сульфидных прослоев. Сульфидные участки наблюдаются также в виде гнёзд, линз, прожилков и вкрапленности. Текстуры руд полосчатые, пятнистые, реже прожилково-вкрапленные. Содержание сульфидов варьирует от 2 до 40 %. Основная их часть приходится на пирит (70–80 %), в подчинённом количестве присутствуют халькопирит, сфалерит, галенит и др.

*Кварц-полиметаллические руды* залегают только на верхних горизонтах месторождения и представлены системами кварц-полисульфидных жил и прожилков (см. рис. 3, в). Сульфиды слагают гнёзда, прожилки и вкрапленность в кварце, а их содержания могут достигать 70 %, хотя чаще жилы отно-



**Рис. 3. ТИПЫ РУД ЗУН-ХОЛБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:**

*а* – полосчатая кварц-сульфидная руда в тектонической зоне; *б* – типичная кварц-карбонат-сульфидная руда; *в* – кварц-полиметаллическая руда; *г* – выход линзы пирротиновых руд в тектонической зоне

сительно малосульфидные. Главные рудные минералы – пирит, сфалерит, галенит, халькопирит.

В целом среди рудных минералов Зун-Холбинского месторождения установлены 13 минеральных видов, главными из которых являются пирит, пирротин, галенит, сфалерит, халькопирит. Среди второстепенных и редких минералов диагностированы арсенопирит, самородный висмут, гессит, тетраэдрит, тетрадимит, шеелит, викингит, а также самородное золото.

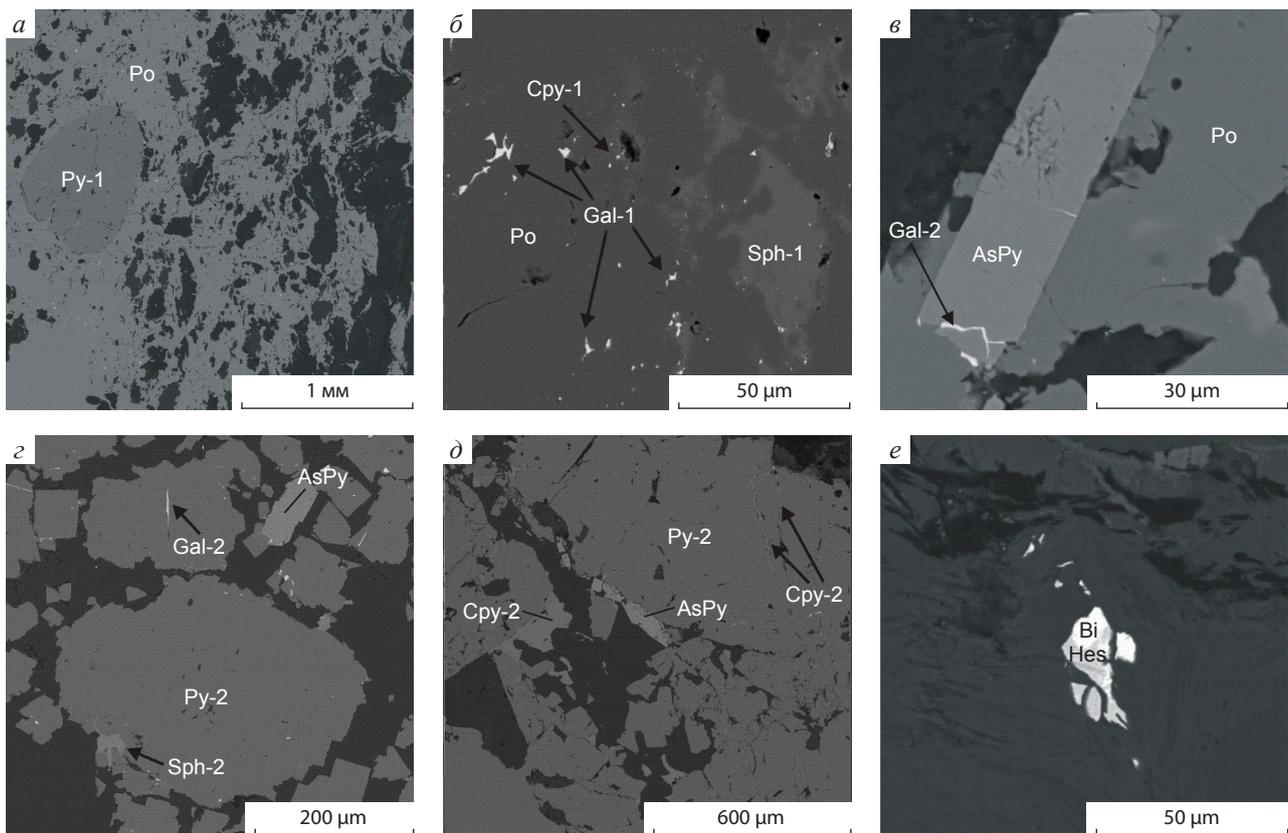
*Пирит* представлен тремя генерациями. Пирит первой генерации (пирит-1) образует округлые выделения наподобие конкреций размером от 10 до 50 мкм, которые сцементированы между собой ксеноморфным пирротинным агрегатом (рис. 4, *а*). Пирит второй генерации (пирит-2) слагает гипидиоморфные зёрна размером от 10 мкм до 1 мм ромбической, прямоугольной, квадратной и неправильной форм, иногда со сглаженными углами (см. рис. 4, *г, д*). Пирит третьей генерации (пирит-3) отлагается в меньших количествах по сравнению с двумя первыми генерациями и слагает редкие выделения с извилистыми очертаниями, которые совместно с другими рудными минералами образуют единую ксеноморфную массу (рис. 5, *в, е*).

*Пирротин* слагает крупнозернистый ксеноморфный агрегат, который цементирует округлые зёрна пирита-1, встречается в составе небольших линзовидных тел сливных руд (см. рис. 4, *а*).

*Сфалерит* присутствует в двух генерациях. Сфалерит первой генерации (сфалерит-1) находится в виде редких выделений в ксеноморфном пирротинном агрегате (см. рис. 4, *б*). Выделения имеют неправильную форму с извилистыми очертаниями, а их границы с пирротинным агрегатом слегка размыты. Сфалерит второй генерации (сфалерит-2) слагает выделения, которые по краям, трещинам и в виде включений замещают пирит-2 (см. рис. 4, *г*). Участками сфалерит-2 совместно с пиритом-3 и галенитом-2 образуют единые аллотриоморфнозернистые агрегаты.

*Галенит* представлен двумя генерациями. Галенит первой генерации (галенит-1) слагает мелкие единичные выделения неправильной формы в ксеноморфном пирротинном агрегате (см. рис. 4, *б*). Галенит второй генерации (галенит-2) образует выделения, которые по краям, трещинам и в виде включений в центральных частях замещают пирит-2 и арсенопирит (см. рис. 4, *в, г*). Совместно с пиритом-3 и сфалеритом-2 в некоторых местах руды формируют единый аллотриоморфнозернистый агрегат.

*Халькопирит* также встречается в двух генерациях. Первая генерация (халькопирит-1) присутствует в виде выделений неправильной формы с извилистыми очертаниями в ксеноморфной основной массе пирротинного агрегата (см. рис. 4, *б*). Границы между выделениями халькопирита-1 и пирро-



**Рис. 4. МОРФОЛОГИЯ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ. ИЗОБРАЖЕНИЯ В ОБРАТНОРАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНАХ:**

*a* – округлые выделения пирита-1 сцементированы ксеноморфным пирротинном; *б* – халькопирит-1, сфалерит-1, галенит-1 «сидят» в пирротинном агрегате; *в* – кристалл арсенопирита по трещинам замещается галенитом-2; *г* – пирит-2 по трещинам замещается сфалеритом-2 и галенитом-2; *д* – прожилки халькопирита-2 замещают пирит-2; *е* – сросток самородного висмута и гессита образует самостоятельное выделение в кварц-карбонатной массе; Py – пирит, Po – пирротин, Cpy – халькопирит, Sph – сфалерит, Gal – галенит, AsPy – арсенопирит, Bi – самородный висмут, Hes – гессит

тином слегка размыты, как и у сфалерита-1. Халькопирит второй генерации (халькопирит-2) является продуктом замещения пирита-2 и развивается по краям и трещинам (см. рис. 4, *д*). Кроме того, халькопирит-2 слагает самостоятельные выделения небольшого размера в нерудной матрице.

*Арсенопирит* слагает идиоморфные зёрна таблитчатой и ромбической форм, иногда со сглаженными краями. Чаще всего образует кристаллические включения в пирротине и кварце. По трещинам замещается галенитом-2 (см. рис. 4, *в*).

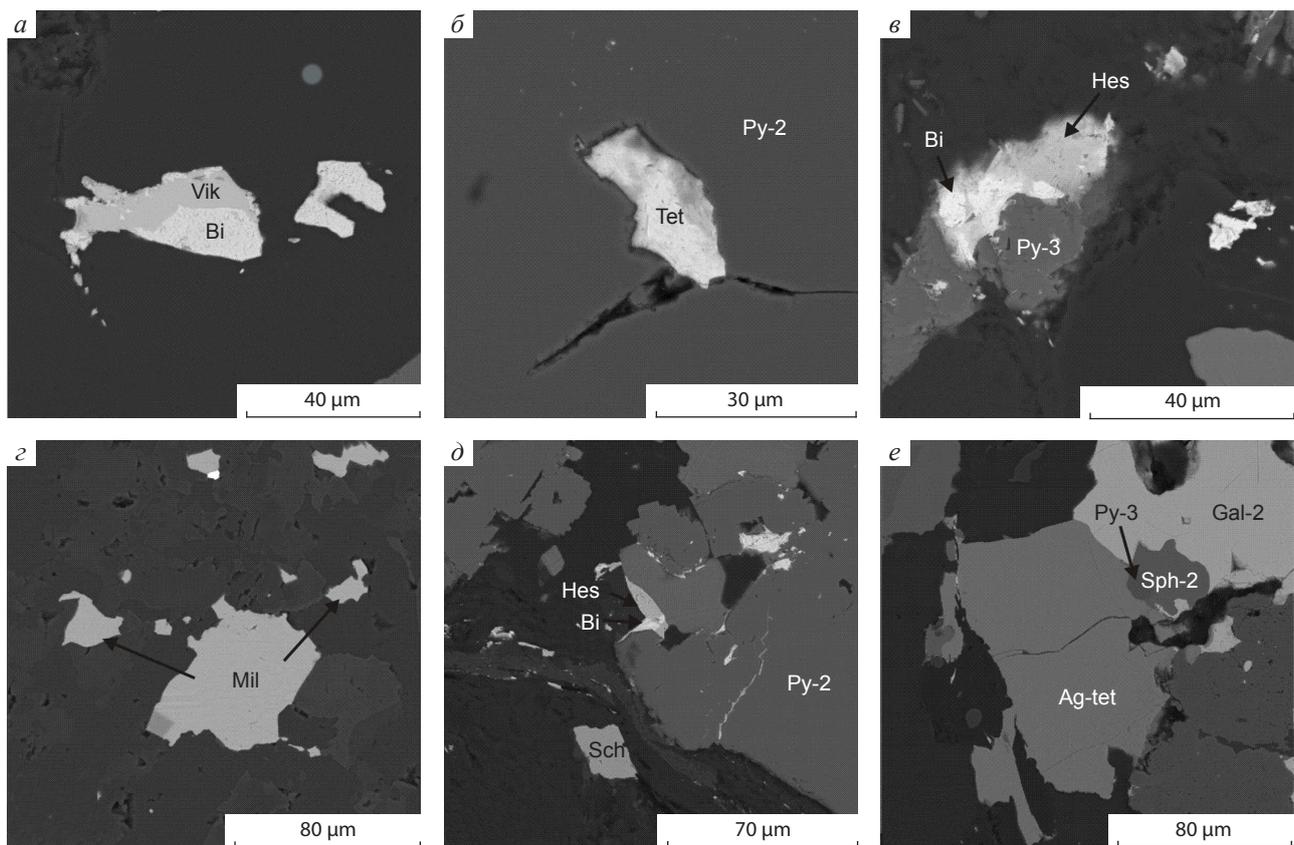
*Единые агрегаты самородного висмута, гессита* ( $\text{Ag}_{1,99}\text{Te}_{1,01}$ ) и *викингита* ( $\text{Pb}_{6,63}\text{Ag}_{5,69}\text{Bi}_{14,11}\text{S}_{29,57}$ ) образуют ксеноморфные выделения удлинённой, округлой и неправильной форм (см. рис. 4, *е*; рис. 5, *а*). Эти выделения чаще всего отлагаются в пири-

те-3 (см. рис. 5, *в*) и халькопирите-2, реже образуют секущие прожилки в галените-2. Иногда встречаются в нерудной массе.

*Тетрадимит* ( $\text{Bi}_{1,99}\text{Te}_{1,88}\text{S}_{1,13}$ ) в виде единичных зёрен отлагается в пирите-2 по трещинам. Имеет неправильную форму с извилистыми очертаниями (см. рис. 5, *б*).

*Ag-тетраэдрит* отлагается в ассоциации с галенитом-2, пиритом-3, сфалеритом-2, образуя выделения неправильной формы с округлыми или заострёнными краями (см. рис. 5, *е*). Средний состав минерала рассчитывается на формулу  $(\text{Cu}_{6,70}\text{Ag}_{3,12}\text{Au}_{0,15})_{9,97}(\text{Zn}_{0,32}\text{Fe}_{1,71})_{2,03}(\text{Sb})_{4,05}(\text{S})_{12,95}$ .

*Шеелит* ( $\text{Ca}_{1,12}\text{W}_{1,13}\text{O}_{3,75}$ ) диагностирован в виде единичного зерна ромбической формы в нерудной кварц-карбонатной массе (см. рис. 5, *д*).



**Рис. 5. МОРФОЛОГИЯ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ. ИЗОБРАЖЕНИЕ В ОБРАТНОРАССЕЯННЫХ ЭЛЕКТРОНАХ:**

*a* – самостоятельное выделение самородного висмута и викингита в кварц-карбонатной массе; *б* – зерно тетрадимита развивается по трещине в пирите-2; *в* – единое выделение самородного висмута и гессита замещает пирит-3; *г* – выделения миллерита в кварц-карбонатной массе; *д* – идиоморфное зерно шеелита со сглаженными углами в кварц-карбонатной массе; *е* – Ag-тетраэдрит совместно со сфалеритом-2, галенитом-2, пиритом-3 образуют единые гипидиоморфные выделения; Bi – самородный висмут, Vik – викингит, Tet – тетрадимит, Hes – гессит, Mil – миллерит, Sch – шеелит, Ag-tet – Ag-тетраэдрит, Py – пирит, Sph – сфалерит, Gal – галенит

*Миллерит* диагностирован в виде единичных выделений в кварц-карбонатной массе (см. рис. 5, *г*).

В таблице приведён химический состав редких минералов и минералов переменного состава.

В ходе исследований была сделана попытка выяснить закономерности изменения пробыности золота в зависимости от гипсометрического уровня, типа руды, а также от состава золотосодержащего минерального парагенезиса. Для упрощения изложения материала термин «самородное золото» употребляется для всего ряда золотосеребряных минералов – электрума, кюстелита и собственно самородного золота.

По морфологии диагностированы разнообразные формы выделения *самородного золота*: округлые, каплевидные, столбчатые, вытянутые с округ-

лыми краями, амёбообразные, прожилковидные, серповидные золотины, а также выделения неправильной формы. Однако установлено, что пробаность золота не зависит от его морфологии.

Большинство обнаруженных выделений самородного золота пространственно приурочены к агрегатам пирита-2. Выделяются три его разновидности: мономинеральные включения золота в пирите; золото, приуроченное к трещинам, порам и границам зёрен пирита-2; полиминеральные сростания золота с другими рудными минералами – халькопиритом, сфалеритом, галенитом.

Золото первой разновидности встречается реже, чем остальные. Слагает округлые, столбчатые, каплевидные включения в пирите-2 (рис. 6, *а*), что может свидетельствовать о его сингенетичности

## СРЕДНИЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ

Минералы	Сумма	Fe	Ca	Cu	Zn	Au	Ag	Cd	W	Pb	Bi	Sb	As	Te	S	O
Арсенопирит (n = 14)	100,23	35,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,65	-	22,04	-
Викингит (n = 1)	100,04	-	-	-	-	-	10,45	-	-	23,34	50,13	-	-	-	16,12	-
Гессит (n = 12)	100,39	0,64	-	-	-	-	61,67	-	-	-	-	-	-	36,81	1,07	-
Самородный Bi (n = 14)	99,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,93	-	-	-	-	-
Сфалерит (n = 24)	100,29	6,28	-	-	59,68	-	-	0,82	-	-	-	-	-	-	33,49	-
Ag-тетраэдрит (n = 7)	100,79	5,30	-	23,64	1,15	1,62	18,69	-	-	-	-	27,36	-	-	23,04	-
Тетрадимит (n = 3)	100,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60,34	-	-	34,66	5,24	-
Шеелит (n = 2)	100,14	1,27	14,12	-	-	-	-	-	65,84	-	-	-	-	-	-	18,93

с пиритом. Пробность золота варьирует от 646 до 926 %.

Минералы золота второй разновидности встречаются чаще других и представляют собой прожилки, а также округлые, серповидные, каплевидные и неправильной формы выделения с извилистыми очертаниями, которые отлагаются по трещинам, порам и располагаются на границах зёрен пирита-2 (см. рис. 6, б). Золото этой группы отлагалось после образования пирита-2. Пробность золота – от 467 до 860 %.

К третьей разновидности относятся выделения золота, которые ассоциируют с халькопиритом, галенитом и сфалеритом и образуют полиминеральные агрегаты, слагающие выделения неправильной формы в пирите-2 (см. рис. 6, в). Морфология золота и ассоциирующих минералов свидетельствует об их появлении позже пирита-2. Пробность золота – от 469 до 821 %.

Самородное золото отмечается в виде включений округлой и каплевидной форм не только в пирите-2, но и непосредственно в кварце и карбонате (см. рис. 6, г). Взаимоотношения зёрен золота с кварцем и карбонатными минералами может указывать на их синхронное образование. Пробность золота – от 634 до 813 %.

В пирротиновом агрегате самородное золото присутствует в виде ксеноморфных вытянутых и прожилковидных золотин, а также выделений неправильной формы с извилистыми очертаниями (см. рис. 6, д). Местами оно замещает краевые части

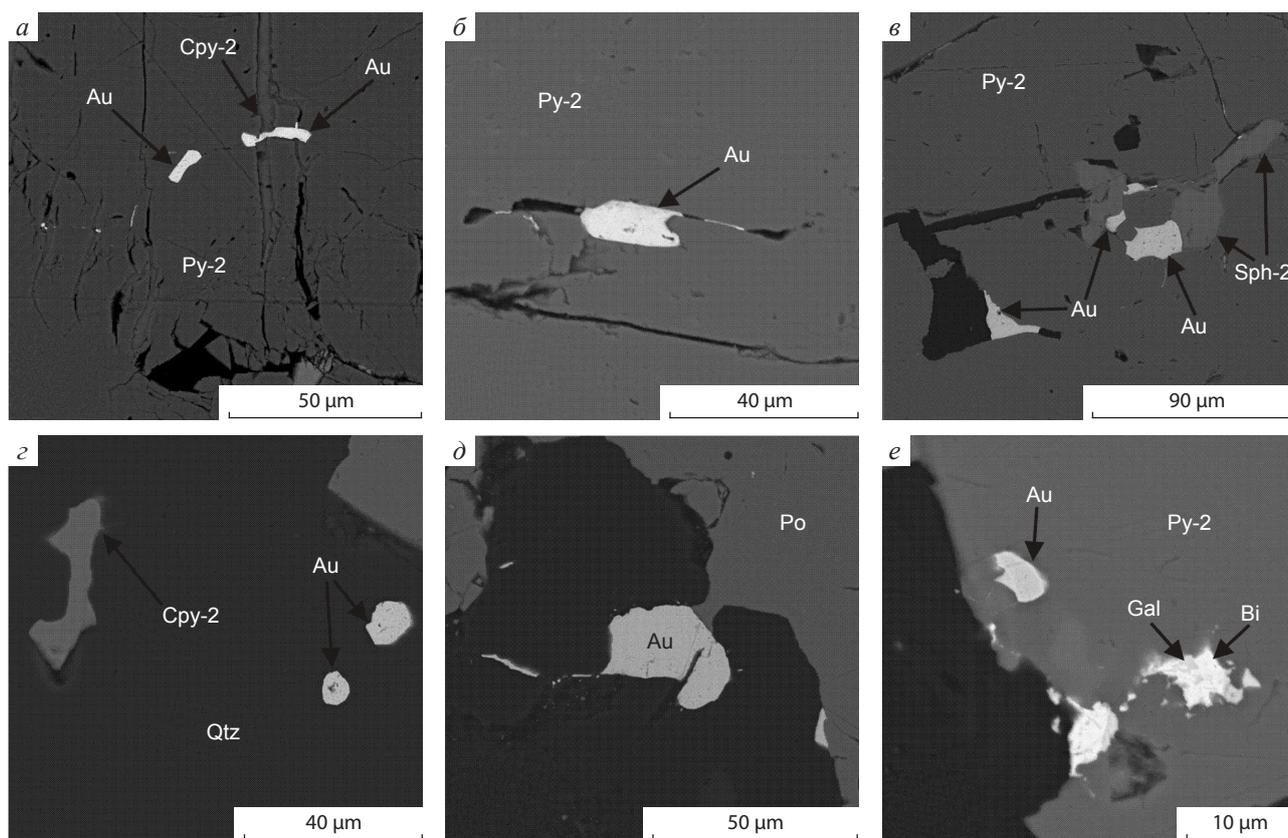
зёрен пирротина. Такие соотношения говорят об эпигенетическом характере золота по отношению к пирротину. Пробность золота – от 693 до 732 %.

Следует отметить, что интервалы значений пробности золота во всех перечисленных вариантах его соотношений с другими рудными минералами перекрываются.

Золото, находящееся в ассоциации с самородным висмутом, имеет низкую пробность и отвечает по составу кюстелиту (см. рис. 6, е).

Исследования показали, что химический состав самородного золота не зависит от глубины залегания руд, интервалы пробности золота на разных гипсометрических уровнях перекрываются.

Рудная минерализация Зун-Холбинского золоторудного месторождения отличается высокой степенью сложности, отражающей многостадийное рудообразование. Геологическими наблюдениями установлено, что появление некоторых второстепенных минералов связано с изменениями характера рудовмещающего субстрата. Так, источником висмута могла служить лампрофировая дайка, поскольку все Bi-содержащие минералы в рудах диагностированы только вблизи её выхода (см. рис. 2), тогда как на других участках месторождения Bi-минерализация отсутствует. В пределах развития блоков лиственизированных пород – продуктов тектоно-метасоматических преобразований ультрабазитов – в рудах появляются минералы никеля (миллерит), а шеелит формируется в рудах, развитых по зонам тектоно-метасоматических пре-



**Рис. 6. ВАРИАЦИИ МОРФОЛОГИИ ЗОЛОТА. ИЗОБРАЖЕНИЯ В ОБРАТНОРАССЯННЫХ ЭЛЕКТРОНАХ:**

*a* – вытянутое мономинеральное выделение золота в пирите-2; *б* – выделение самородного золота в трещине пирита-2; *в* – сростки золота с сфалеритом-2; *г* – мономинеральные выделения золота в кварце; *д* – выделение золота с извилистыми очертаниями замещает пирротин; *е* – выделения кюстелита в ассоциации с самородным висмутом; Au – золото, Py – пирит, Sph – сфалерит, Qtz – кварц, Po – пирротин, Bi – самородный висмут

образований в гранитоидах. Такое распределение минералов – результат поступления, по крайней мере, части рудообразующих компонентов из рудовмещающих пород.

Пирит-пирротиновые тела, которые относятся к одноимённому типу руды, фиксируются в виде линз среди околорудных тектонитов и совместно с вмещающими литокомплексами (фрагменты известняков, сланцев, гранитоидов, гранитогнейсов, ультрабазитов и т. д.) входят в состав образований зоны рудовмещающего меланжа. Следовательно, их формирование связано с дорудным этапом развития Зун-Холбинского месторождения. Тела аналогичных пирротиновых руд достаточно широко распространены в пределах юго-восточной части Восточного Саяна [7]. Опираясь на данные предшественников [8, 11], можно сделать вывод о том, что наблюдаемые в настоящее время в рудном поле

месторождения тела пирит-пирротинового состава представляют собой реликты первичных субмаринных гидротермально-осадочных сульфидных руд. Их формирование происходило до появления главных кварц-сульфидных руд месторождения.

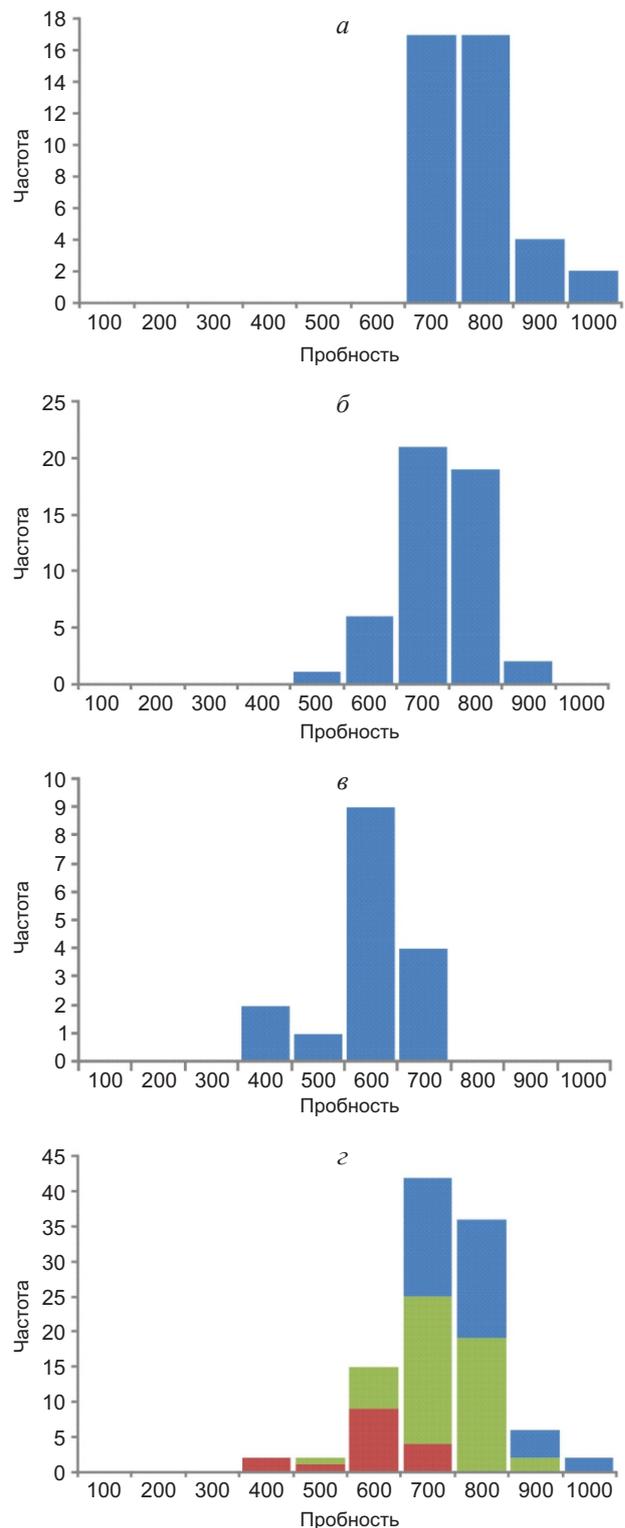
На дорудном этапе образовались рудные минералы, слагающие вышеописанные сульфидные тела и отнесённые к *пирит-пирротиновой ассоциации*: пирит-1 и цементирующий его пирротиновый материал с выделениями сфалерита-1 и халькопирита-1. Неправильная форма выделений и размытая граница с агрегатом пирротина могут свидетельствовать о принадлежности сфалерита-1 и халькопирита-1 к реликтам первичных гидротермально-осадочных сульфидных руд.

Позднее сформировались минералы главной *кварц-карбонат-сульфидной ассоциации*. Их образование обусловлено воздействием флюидов,

приведшим к появлению околорудных кварц-серицитовых метасоматитов, послойной сульфидизации и окварцеванию известняков, формированию кварц-карбонат-сульфидных минерализованных зон по известнякам и тектонитам. Эта стадия характеризуется формированием основного количества кварца, а также массовым отложением пирита-2. Пирит-пирротиновые руды по трещинам и порам подвергаются замещению минералами более поздних стадий (галенит-1 и др.). В небольших количествах отложились арсенопирит, шеелит и миллерит. Вместе с минералами этой же стадии происходило отложение самородного золота, которое замещает краевые части пирротиновых руд, а также присутствует в виде каплевидных включений в пирите-2 и самостоятельных выделений в кварц-карбонатной матрице. Руды данной стадии количественно преобладают на месторождении.

На следующей стадии отлагались минералы *кварц-полиметаллической ассоциации*. Корродированные участки пирита-2 по краям, трещинам и в виде включений в центральных частях залечиваются массово отлагающимися сульфидными минералами: галенитом-2, сфалеритом-2, халькопиритом-2, пиритом-3. Также в ассоциации с упомянутыми рудными минералами образуется Ag-тетраэдрит. Соотношение этих минералов (наличие индукционных граней и участков с субграфической структурой) говорит об их синхронном отложении. На этой стадии продолжало отлагаться самородное золото, образующее мономинеральные прожилки и неправильные ксеноморфные выделения в пирите-2, а также совместные агрегаты с минералами полиметаллической ассоциации – халькопиритом-2, галенитом-2 и сфалеритом-2, развивающиеся по краям и трещинам пирита-2.

Редкие минералы – тетрадимит, гессит, викингит, самородный висмут в виде моно- или полиминеральных агрегатов – корродируют пирит-3 или присутствуют в виде секущих прожилков в минералах предыдущей кварц-полиметаллической ассоциации. Морфология зёрен и характер выделений редких минералов свидетельствуют об их отложении после всех вышеперечисленных минеральных ассоциаций, что позволяет выделить позднюю *Vi-теллуридную ассоциацию*. Минералы золота этой ассоциации характеризуются низкой пробностью по сравнению с самородным золотом, отложившимся в предыдущие стадии. Некоторые выделе-



**Рис. 7. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБНОСТИ ЗОЛТА:**

а – кварц-карбонат-сульфидная ассоциация; б – полиметаллическая ассоциация; в – Vi-теллуридная ассоциация; г – общая гистограмма распределения золота для минеральных ассоциаций

Минералы	Дорудный этап	Ассоциации рудного этапа		
	Пирит-пирротиновая ассоциация	Кварц-карбонат-сульфидная	Кварц-полиметаллическая	Vi-теллуридная
Кварц	■	■	■	
Карбонат	■	■	■	
Пирит-1	■			
Пирит-2		■		
Пирит-3			■	
Пирротин	■			
Галенит-1		■		
Галенит-2			■	
Сфалерит-1	■			
Сфалерит-2			■	
Халькопирит-1	■			
Халькопирит-2			■	
Арсенопирит		■		
Самородный Vi				■
Гессит				■
Шеелит		■		
Тетрадимит				■
Викингит				■
Ag-тетраэдрит			■	
Миллерит				■
Золото		■	■	■

**Рис. 8. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОТЛОЖЕНИЯ МИНЕРАЛОВ КВАРЦ-СУЛЬФИДНЫХ РУД ЗУН-ХОЛБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:**

чёрный цвет – главные минералы, оранжевый – второстепенные, голубой – редкие, жёлтый – золото

ния соответствуют по составу кюстелиту, который отмечается в рудах в небольшом количестве.

Изучение самородного золота разных минеральных ассоциаций показывает, что интервалы его пробности в разных типах руд перекрываются (рис. 7, а–в). Лишь золото, отлагающееся в составе поздней ассоциации, отличается относительно низкой пробностью. В то же время общее распределение пробности самородного золота для всех рассмотренных типов кварц-сульфидных руд – одномодальное. Характер гистограммы отвечает нормальному закону распределения с модальным значением пробности в интервале 600–700 ‰ и примерно равными отклонениями в обе стороны. Такое распределение может свидетельствовать о едином источнике золота для всех типов кварц-сульфидных руд.

Таким образом, в рудах Зун-Холбинского месторождения установлены четыре последовательные минеральные ассоциации, отвечающие дорудно-

му этапу и трём стадиям рудообразующего процесса (рис. 8). Причём в большинстве случаев в одних и тех же образцах могут быть признаки наложения минеральных парагенезисов разных стадий, что усложняет картину распределения рудных минералов и самородного золота в кварц-сульфидных рудах.

Выводы:

- В ходе исследования на Зун-Холбинском месторождении выделены три основных типа кварц-сульфидных руд, различающихся по составу: пирит-пирротиновые, кварц-карбонат-сульфидные и кварц-полиметаллические.
- Самородное золото встречается в виде выделений различной формы в пирите-2, развиваясь по трещинам и краям или отлагаясь совместно с другими рудными минералами (халькопиритом, сфалеритом и галенитом). Кроме того, золото отлагается в пирротине и кварц-карбонатной основной массе.

- Пробность золота не зависит от морфологии его выделений и глубины залегания руд. Золото, отлагавшееся в кварц-карбонат-сульфидную стадию, имеет пробность от 634 до 926, полиметаллическую – 467–860, Ви-теллуридную – 327–693 ‰.
- Выявлена зависимость состава примесных минеральных ассоциаций от рудовмещающих породных комплексов. Источником висмута могла служить лампрофировая дайка, а минералы никеля появляются в рудах на участках развития листовитизированных пород – продуктов тектоно-метасоматических преобразований ультрабазитов.

- Помимо пирит-пирротиновых тел, которые образовались в дорудный этап формирования Зун-Холбинского месторождения, установлено три последовательные стадии минералообразования: кварц-карбонат-сульфидная, кварц-полиметаллическая и Ви-теллуридная.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ГИН СО РАН при финансировании Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № АААА-А17-117011650012-7), частичной финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-05-00489а.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимова И. В. Возраст фундамента Гарганской глыбы (Восточный Саян): результаты U-Pb геохронологических исследований // Изотопные системы и время геологических процессов: материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии. – СПб., 2009. – Т. 1. – С. 35–36.
2. Бражник А. В. Золоторудное месторождение Зун-Холба (Бурятия) // Руды и металлы. – 1993. – № 3–6. – С. 80–90.
3. Бражник А. В. Условия локализации золотого оруденения Зун-Холбинского месторождения (Восточный Саян) : специальность 04.00.11 «Геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений, металлогения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Бражник Андрей Валентинович. – М., 1995. – 26 с.
4. Гордиенко И. В., Роцектаев П. А., Гороховский Д. В. Окинский рудный район Восточного Саяна: геологическое строение, структурно-металлогеническое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. – 2016. – № 5. – С. 405–429.
5. Гребенщикова В. И., Шмотов А. П. Этапы формирования Зун-Холбинского золоторудного месторождения (Восточный Саян) // Геология и геофизика. – 1997. – № 4. – С. 756–764.
6. Дамдинов Б. Б. Типы благороднометалльного оруденения юго-восточной части Восточного Саяна: состав, условия формирования и генезис : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. д-ра геол.-минерал. наук / Дамдинов Булат Батуевич. – Улан-Удэ, 2018. – 52 с.
7. 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.
8. Жмодик С. М., Миронов А. Г., Жмодик А. С. Золотоцентрирующие системы офиолитовых поясов (на примере Саяно-Байкало-Муйского пояса). – Новосибирск : Академическое изд-во «ГЕО», 2008. – 304 с.
9. Кузнецов А. Б. Sr-хемостратиграфия карбонатных отложений осадочного чехла Тувино-Монгольского микроконтинента // Доклады академии наук. – 2010. – Т. 432, № 3. – С. 350–355.
10. Кузьмичев А. Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонские этапы. – М. : Пробел-2000, 2004. – 192 с.
11. Миронов А. Г., Жмодик С. М. Золоторудные месторождения Урик-Китойской металлогенической зоны (Восточный Саян, Россия) // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41, № 1. – С. 54–69.
12. Миронов А. Г., Роцектаев П. А., Жмодик С. М., Куликов А. А., Карманов Н. С. Зун-Холбинское золоторудное месторождение // Месторождения Забайкалья. – Чита-Москва, 1995. – С. 56–66.
13. Роцектаев П. А., Миронов А. Г., Дорошкевич Г. И. [и др.]. Золото Бурятии / под ред. А. Г. Миронова. – Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2000. – 463 с.
14. Феофилактов А. Г. О механизме структурного контроля золотого оруденения Зун-Холбинского месторождения (Восточный Саян) // Геология рудных месторождений. – 1992. – № 4. – С. 100–106.
15. Zhmodik S. M., Dobretsov N. L., Mironov A. G., Roshchektaev P. A., Karmanov N. S., Kulikov A. A., Nemirovskaya N. A., Ochirov Y. C. Mineralogical and geochemical signatures of hydrothermal-sedimentary origin of gold ore formations of the Kholba deposits, Eastern Sayan, Russia // Resource geology. – 1993. – Special issue, № 17. – pp. 287–313.

## REFERENCES

- Anisimova I. V. Vozrast fundamenta Garganskoi glyby (Vostochnyi Sayan): rezul'taty U-Pb geokhronologicheskikh issledovaniy [Foundation age of the Gargana block (East Sayan): results of U-Pb geochronological studies], *Izotopnye sistemy i vremya geologicheskikh protsessov: materialy IV Rossiiskoi konferentsii po izotopnoi geokhronologii* [Isotope systems and the time of geological processes: proceedings of the IV Russian Conference on Isotope Geochronology], St. Petersburg, 2009, V. 1, pp. 35–36. (In Russ.).
- Brazhnik A. V. Zolotorudnoe mestorozhdenie Zun-Kholba (Buryatiya) [Zun-Kholba gold ore deposit (Buryatia)], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 1993, No 3–6, pp. 80–90. (In Russ.).
- Brazhnik A. V. Usloviya lokalizatsii zolotogo orudneniya Zun-Kholbinskogo mestorozhdeniya (Vostochnyi Sayan) : spetsial'nost' 04.00.11 "Geologiya, poiski i razvedka rudnykh i nerudnykh mestorozhdenii, metallogeniya" : avtoref. dis. na soiskanie uchen. step. kand. geol.-mineral. nauk [Localization conditions for gold mineralization of the Zun-Kholbinsky deposit (East Sayan): Extended abstract of candidate's thesis], Moscow, 1995, 26 p.
- Gordienko I. V., Roshchektaev P. A., Gorokhovskii D. V. Okinskii rudnyi raion Vostochnogo Sayana: geologicheskoe stroenie, strukturno-metallogenicheskoe raionirovanie geneticheskie tipy rudnykh mestorozhdenii, geodinamicheskie usloviya ikh obrazovaniya i perspektivy osvoeniya [Okinsk ore district of East Sayan: geological structure, structural and metallogenic zoning, genetic types of ore deposits, geodynamic conditions of their formation and development prospects], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2016, No 5, pp. 405–429. (In Russ.).
- Grebenshchikova V. I., Shmotov A. P. Etapy formirovaniya Zun-Kholbinskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Vostochnyi Sayan) [Stages of the formation of the Zun-Kholbinsky gold ore deposit (East Sayan)], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 1997, No 4, pp. 756–764. (In Russ.).
- Damdinov B. B. Tipy blagorodnometall'nogo orudneniya yugo-vostochnoi chasti Vostochnogo Sayana: sostav, usloviya formirovaniya i genesis : spetsial'nost' 25.00.11 "Geologiya, poiski i razvedka tverdykh poleznykh iskopaemykh, minerageniya" : avtoref. dis. na soiskanie uchen. step. d-ra geol.-mineral. nauk [Types of noble metal mineralization in the southeastern part of the East Sayan: composition, formation conditions and genesis: Extended abstract of Doctor's thesis], Ulan-Ude, 2018, 52 p.
- Damdinov B. B., Damdinova L. B., Zhmodik S. M., Mironov A. G. Sostav i usloviya formirovaniya zolotonosnykh pirrotinovykh rud Vostochnogo Sayana (na primere rudoproyavleniya Ol'ginskoe) [Composition and conditions for the formation of gold-bearing pyrrhotite ores of the East Sayan (by the example of the Olginsky ore occurrence)], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2019, V. 60, No 5, pp. 666–687. (In Russ.).
- Zhmodik S. M., Mironov A. G., Zhmodik A. S. Zolotokontsentriruyushchie sistemy ofiolitovykh poyasov (na primere Sayano-Baikalo-Muiskogo poyasa) [Gold-concentrating systems of ophiolite belts (on the example of the Sayan-Baikal-Muy belt)], Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo "GEO" Publ., 2008, 304 p.
- Kuznetsov A. B. Sr-khemostratigrafiya karbonatnykh otlozhenii osadochnogo chekhla Tuvino-Mongol'skogo mikrokontinenta [Sr-chemostratigraphy of the carbonate deposits of the sedimentary cover of the Tuva-Mongolian microcontinent], *Doklady akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2010, V. 432, No 3, pp. 350–355. (In Russ.).
- Kuz'michev A. B. Tektonicheskaya istoriya Tuvino-Mongol'skogo massiva: rannebaikal'skii, pozdnebaikal'skii i rannekaledonskie etapy [The tectonic history of the Tuva-Mongolian massif: Early Baikalsk, Late Baikalsk and Early Caledonian stages], Moscow, Probel-2000 Publ., 2004, 192 p.
- Mironov A. G., Zhmodik S. M. Zolotorudnye mestorozhdeniya Urik-Kitoiskoi metallogenicheskoi zony (Vostochnyi Sayan, Rossiya) [Gold deposits of the Urik-Kitoisk metallogenic zone (East Sayan, Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 1999, V. 41, No 1, pp. 54–69. (In Russ.).
- Mironov A. G., Roshchektaev P. A., Zhmodik S. M., Kulikov A. A., Karmanov N. S. Zun-Kholbinskoe zolotorudnoe mestorozhdenie [Zun-Kholbinskoye gold ore deposit], *Mestorozhdeniya Zabaikal'ya* [Transbaikalia deposits], Chita and Moscow, 1995, pp. 56–66.
- Roshchektaev P. A., Mironov A. G., Doroshkevich G. I., et al. Zoloto Buryatii [Gold of Buryatia], ed. Mironov A. G., Ulan-Ude, BNTs SO RAN Publ., 2000, 463 p.
- Feofilaktov A. G. O mekhanizme strukturnogo kontrolya zolotogo orudneniya Zun-Kholbinskogo mestorozhdeniya (Vostochnyi Sayan) [On the mechanism of structural control of gold mineralization of the Zun-Kholbinsky deposit (East Sayan)], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 1992, No 4, pp. 100–106. (In Russ.).
- Zhmodik S. M., Dobretsov N. L., Mironov A. G., Roshchektaev P. A., Karmanov N. S., Kulikov A. A., Nemirovskaya N. A., Ochirov Y. C. Mineralogical and geochemical signatures of hydrothermal-sedimentary origin of gold ore formations of the Kholba deposits, Eastern Sayan, Russia, *Resource geology*, 1993, Special issue, No 17, pp. 287–313.

## MINERAL ASSOCIATIONS OF QUARTZ-SULFIDE ORES, ZUN-KHOLBA GOLD DEPOSIT, EASTERN SAYANY

Moskvitina M. L. (undergraduate<sup>2</sup>)

Damdinov B. B. (PhD, leading researcher<sup>1</sup>)

Damdinova L. B. (PhD, senior researcher<sup>1</sup>)

Izvekova A. D. (postgraduate<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> FSBSI Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude (Russia)

<sup>2</sup> FSBEI D. Banzarov Buryat State University, Ulan-Ude (Russia)

*The paper presents study results of mineral composition for the main quartz-sulfide ores within Zun-Kholba gold deposit, the largest in Eastern Sayany. Three mineral ore types are revealed: compact pyrite-pyrrhotite, quartz-carbonate-sulfide and quartz-polymetallic. Native gold is represented by four morphological types: rounded and drop-like inclusions in nonmetalliferous mass; irregular intergrowths with other ore minerals (galena, sphalerite, chalcopyrite); angular ingrowths of gold grains in quartz and pyrite; veinlet-like gold discharge along fractures in pyrite. However, no dependence of native gold composition on morphology as well as ore occurrence depth is noted. The general fineness values range varies from 350‰ to 950‰. In terms of mineral relationships, four ore associations are established: pyrite-pyrrhotite, quartz-carbonate-sulfide, quartz-polysulfide and sulfosalt corresponding to the pre-ore stage and three successive ore formation stages.*

*Keywords: Eastern Sayany, Zun-Kholba gold deposit, mineral associations, gold.*





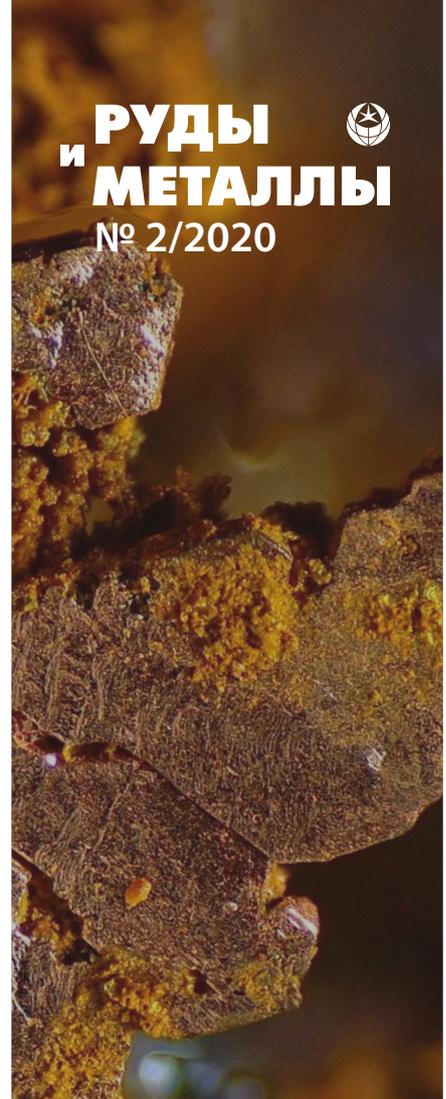
## **СЕРЕБРО-СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ВУЛКАНОГЕННЫХ АССОЦИАЦИЯХ ЧЕРЕМШАНСКОГО РУДНОГО УЗЛА, ДАЛЬНЕГОРСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН**

*Серебро-свинцово-цинковые месторождения Черемшанского рудного узла (Дальнегорский рудный район, Таухинская минерагеническая зона) характеризуются рудными телами жильного, стратиформного и штокверкового типов. Промышленное полиметаллическое оруденение локализовано за пределами жерловых зон палеовулканических аппаратов, в системах разрывных нарушений, в породах алеврито-песчаниковой и базальт-андезит-дацит-риолитовой формаций мелового возраста. Главные рудные минералы – пирротин и сфалерит, в подчинённом количестве присутствуют пирит, галенит, халькопирит, арсенопирит, марказит, пентландит, буланжерит. Эталонными месторождениями являются Красногорское и Майминовское.*

*Ключевые слова: Дальнегорский рудный район, Черемшанский рудный узел, серебро-свинцово-цинковые месторождения.*

Расширение сырьевой базы свинца и цинка необходимо для воспроизводства запасов полиметаллических руд, компенсирующих их добычу. Один из наиболее перспективных регионов РФ по развитию минерально-сырьевой базы полиметаллических руд – Приморский край. Проведёнными ранее прогнозно-металлогеническими исследованиями в Дальнегорском рудном районе выявлены основные закономерности размещения полиметаллических месторождений. К настоящему времени накоплен значительный объём материалов, позволяющих обосновать продуктивность известных рудоносных уровней. Вместе с тем большая часть территории Дальнегорского рудного района недостаточно изучена. В пределах Черемшанского рудного узла авторами впервые выполнены литолого-фациальный и палеоструктурный анализы условий локализации полиметаллических руд.

В позднем мезозое в Сихотэ-Алиньской металлогенической провинции начинает формироваться Алиньский вулcano-плутонический пояс. С эволюцией строения пояса связано формирование вулканитов риолит-дацит-андезит-базальтового состава и комагматичных с ними интрузий гранитов и гранодиоритов, с которыми связано полиметаллическое оруденение Дальнегорского рудного района, расположенного в пределах Таухинской минерагенической зоны [2]. Дальнегорский рудный район имеет длительную историю изучения. Его освоение началось с 1909 года, однако детальные геологические исследования велись с 60-х годов прошлого века. Район характеризуется наличием ряда месторождений и проявлений скарнового и VMS типов, парагенетически связанных с палеовулканами и крупными вулcano-тектоническими структурами. Вследствие исчерпания запасов место-



### **Серавина Татьяна Валерьевна**

кандидат геолого-минералогических наук  
зам. зав. отделом цветных металлов  
tanyaseravina@gmail.com

### **Кузнецов Владимир Вениаминович**

кандидат геолого-минералогических наук  
зав. отделом цветных металлов

### **Кудрявцева Нелли Георгиевна**

кандидат геолого-минералогических наук  
старший научный сотрудник

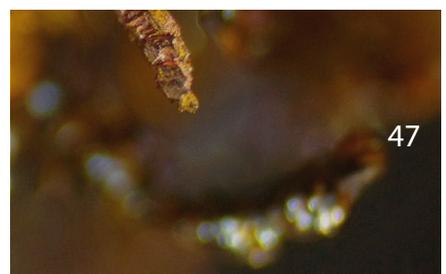
### **Кузнецова Татьяна Петровна**

кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник

### **Елшина Светлана Львовна**

старший научный сотрудник

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



рождений скарнового типа, обрабатываемых в районе, в настоящее время особый интерес представляет Черемшанский рудный узел, включающий полиметаллические месторождения [1, 5, 6].

Рудный узел географически расположен в междуречье Черемуховой и Лидовки, а также на левобережье р. Черемуховой, сложен верхнемеловыми породами жерловых, околожерловых и промежуточных фаций вулканизма (последовательно дифференцированная базальт-андезит-дацит-риолитовая формация). Вулканиды слагают вулканотектонические структуры, осложнённые синвулканическими разломами, создающими блоковую структуру. Наиболее крупной вулканотектонической структурой рудного узла является Арцевская кальдера площадью 290 км<sup>2</sup>. Она довольно чётко выделяется по смене фациальной обстановки, проявлению экстрюзивно-интрузивной деятельности, тектоническим и металлогеническим признакам. Южная граница кальдеры проходит по полукольцевым разломам, которые служат границей раздела разновозрастных толщ вулканидов, восточная подчёркивается серией северо-восточных разломов, дайками среднего и кислого составов того же направления [3]. На площади наиболее распространены разломы северо-западного, субмеридионального направлений, контролирующие дайки габбродолеритов и рудные тела. Среди пород базальт-андезит-дацит-риолитовой формации в виде горстообразных тектонических блоков выходят терригенные отложения раннемелового возраста (алеврито-песчаниковая формация) (рис. 1).

Алеврито-песчаниковая формация представлена породами валанжинского яруса: полимиктовыми песчаниками, алевролитами, реже глинистыми сланцами. По литологическому составу они разделены на две толщи: песчаниковую с редкими линзами и прослоями алевролитов и флишоидную, в которой между горизонтами массивных песчаников мощностью 300–400 м выделяются пачки с переслаиванием песчаников и алевролитов при преобладании первых. Общая мощность нижнемеловых отложений не менее 2000 м.

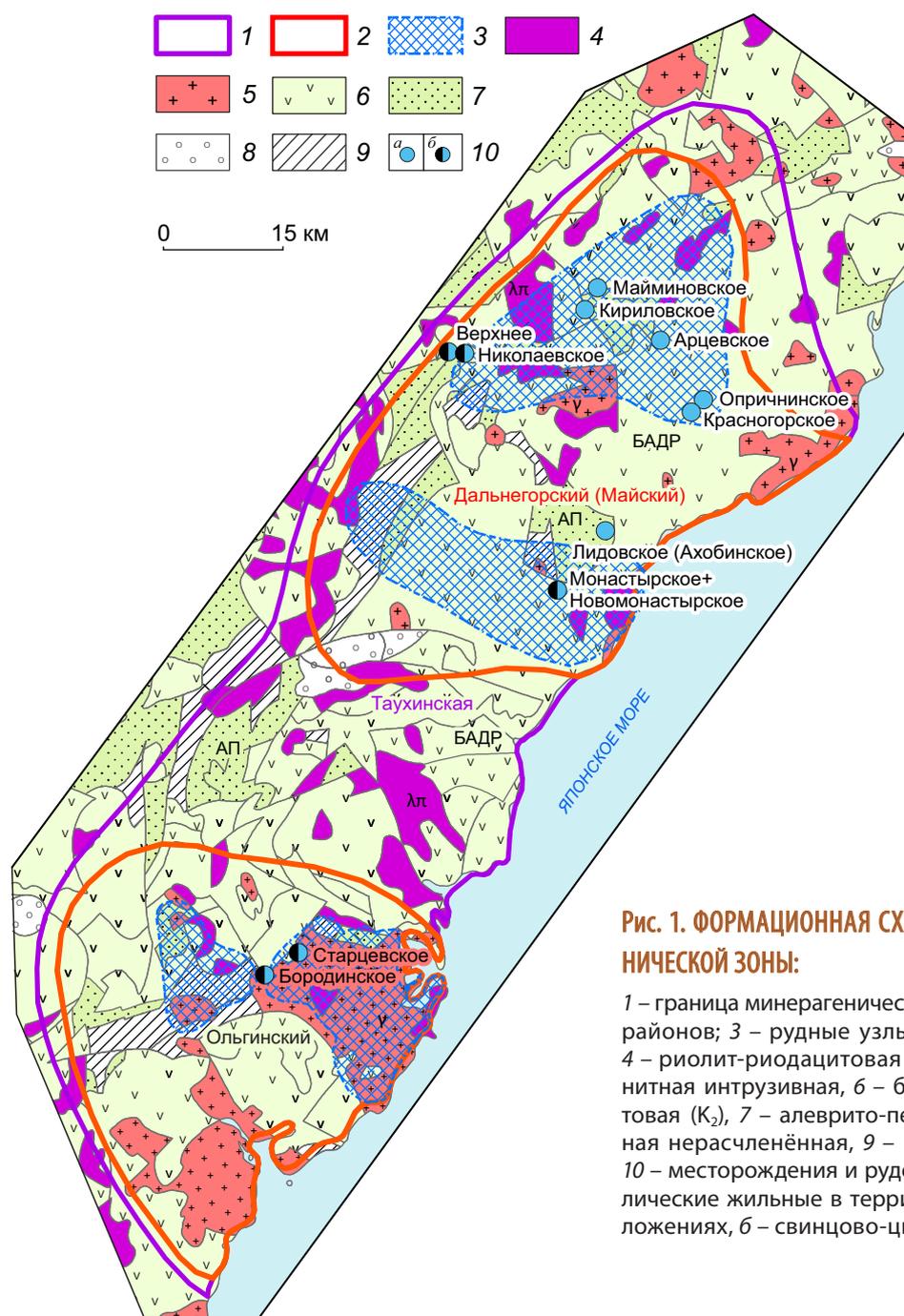
К последовательно дифференцированной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации относятся вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы турон-сантонского возраста (приморская серия ( $K_2pr$ )) (рис. 2). Среди пирокластических и туфогенно-осадочных пород формации преобладают туфы различной размерности, кремнистые туф-

фиты, туфоалевролиты, туфопесчаники. В составе средней субформации развиты вулканиды кислого состава, которые слагают большую часть площади рудного узла. Пирокластическая фация представлена двумя толщами вулканогенных образований. Нижняя толща сложена туфами риолитов, туффитами, туфопесчаниками, отмечаются горизонты андезитовых порфиритов; верхняя – преимущественно риолитами, кластолавами и лавами риолитов, в подчинённом количестве присутствуют туфы риолитов с кластическим материалом различной размерности, алевролиты, туфопесчаники и туфоалевролиты, псаммитовые туффиты.

Нижняя часть разреза верхней субформации представлена риолитами, реже их туфами, средняя сложена андезитами, верхняя – туфоконгломератами, риолитами, их туфами и туффитами.

Андезиты формации состоят из порфировых выделений плагиоклаза и стекловатой основной массы афанитовой структуры. Фенокристаллы составляют от 10 до 35 % от объёма породы и представлены удлинёнными кристаллами плагиоклаза таблитчатой формы размером от 0,5 до 3,0 мм (рис. 3, а). Основная масса пород криптозернистая, состоит из хлоритизированного стекла, на фоне которого выделяются мельчайшие микролиты плагиоклаза. Основная масса частично изменена (на 20 %): серицитизирована, карбонатизирована. Серицит развит в виде тончайших прожилков и прожилковидных выделений, а карбонат в виде пятен. К серициту тяготеет мелкая вкрапленность рудного минерала. Размер отдельных скоплений пирита составляет от 0,5 × 0,7 до 2,0 × 2,0 мм. Структура породы порфировая с гиалопилитовой основной массой. Акцессорные минералы – циркон и апатит.

Лавы риодацитового состава также имеют порфировую структуру. В виде фенокристаллов отмечаются единичные кристаллы плагиоклаза размером от 0,2–0,5 до 1 мм (см. рис. 3, б). Плагиоклазы изменены: одни серицитизированы, другие – альбитизированы. Основная масса тонко-мелкозернистая, состоит преимущественно из полевых шпатов, сосюритизированных, в результате чего они приобретают буроватую окраску. Основная масса слабо серицитизирована и хлоритизирована. Хлорит развивается по стеклу, а серицит образует тонкие нитевидные выделения, подчёркивающие флюидальную структуру породы. Кроме того, в основной массе выделяются пятнистые гранобластовые агрегаты, состоящие из альбита, реже кварца и пи-



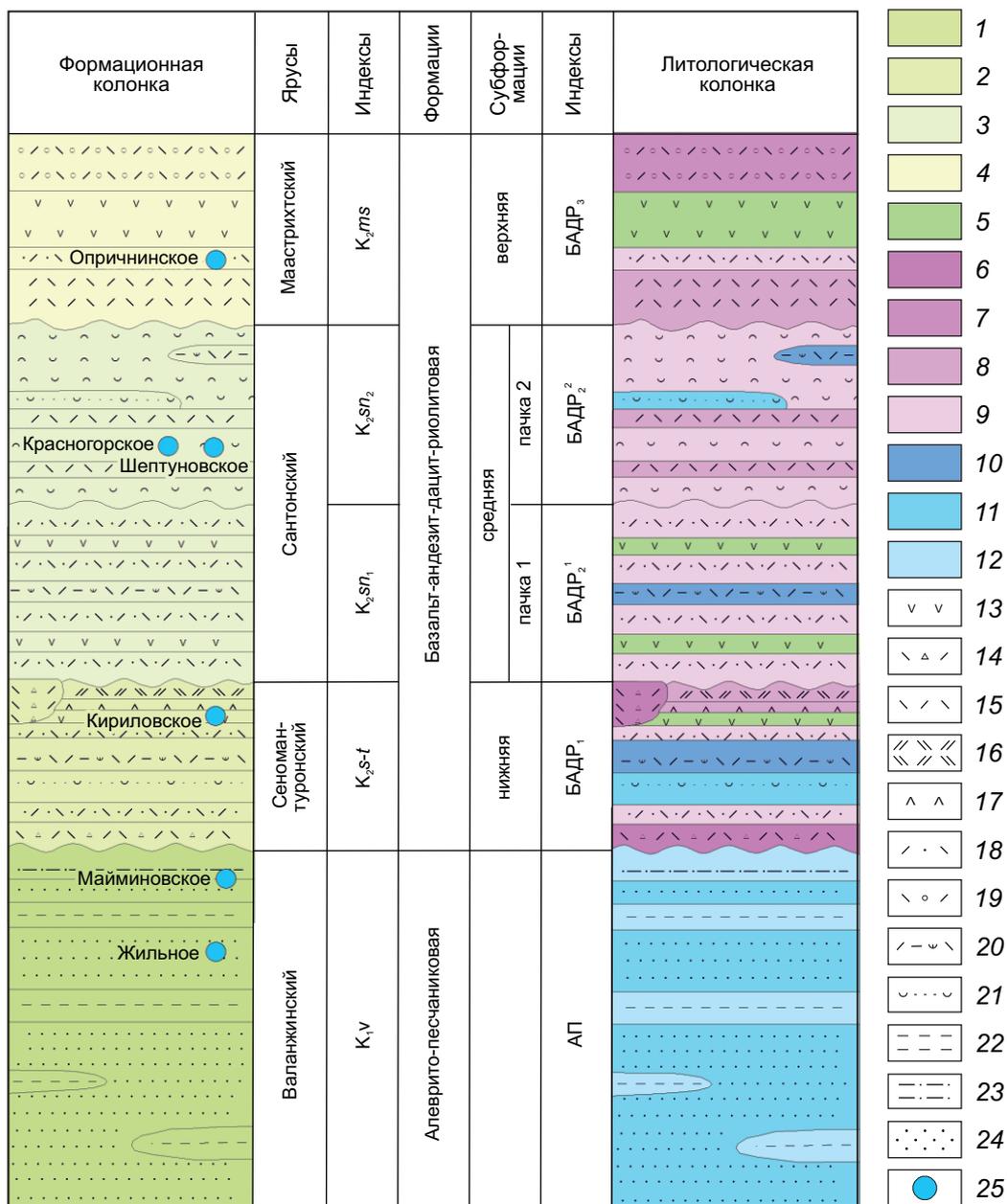
**Рис. 1. ФОРМАЦИОННАЯ СХЕМА ТАУХИНСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ:**

1 – граница минерагенической зоны; 2 – границы рудных районов; 3 – рудные узлы; геологические формации: 4 – риолит-риодацитовая (субвулканическая), 5 – гранитная интрузивная, 6 – базальт-андезит-дацит-риолитовая ( $K_2$ ), 7 – алеврито-песчаниковая ( $K_1$ ), 8 – надрудная нерасчленённая, 9 – подрудная нерасчленённая; 10 – месторождения и рудопроявления (а – полиметаллические жильные в терригенных и вулканогенных отложениях, б – свинцово-цинковые скарновые)

рита. Кварц образует также невыдержанные прожилки с кристаллами пирита. К крупным (от  $1,0 \times 0,5$  до  $3,0 \times 2,0$  мм) скоплениям пирита приурочен мусковит. Акцессорные минералы – циркон, апатит.

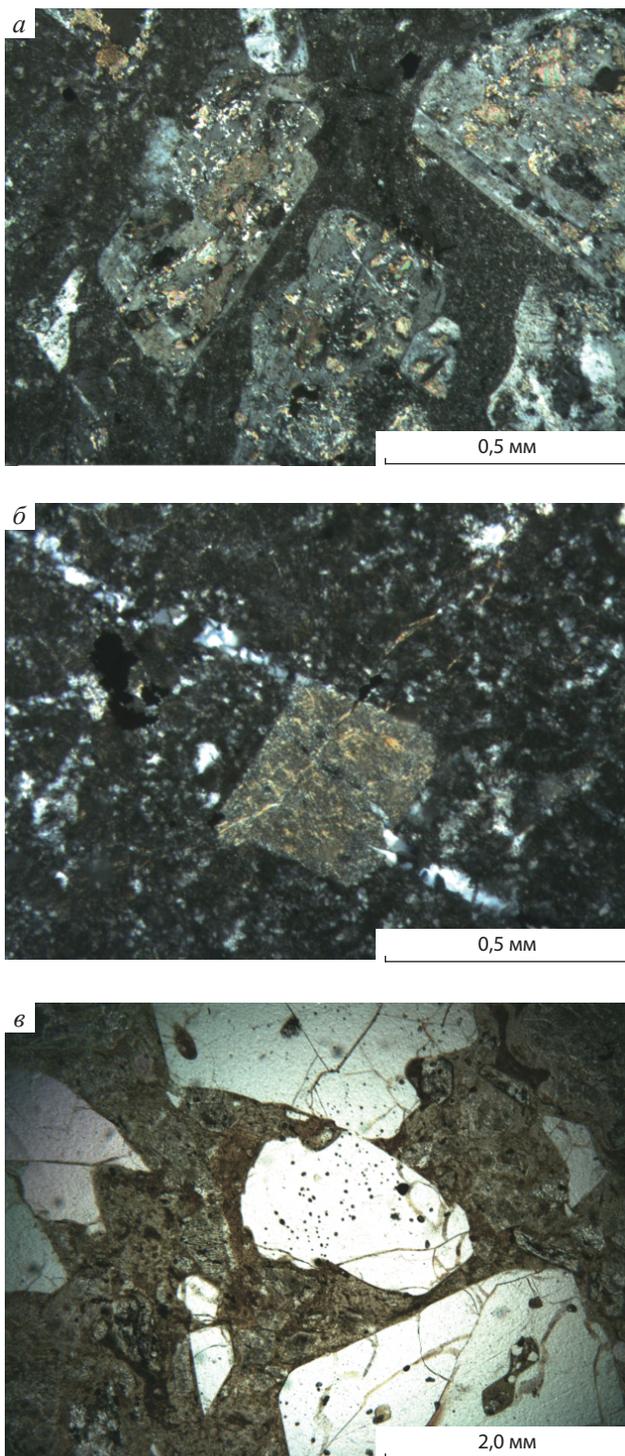
Туфолавы риолитового состава характеризуются обломочной текстурой. Среди обломков, составляющих 60–70 % объёма породы, выделяются два типа (см. рис. 3, в). Крупные обломки, похожие на фенокристаллы, округлой или остроугольной

формы, размером от 1,5–2,0 до 3,0 мм представлены кварцем, плагиоклазом, калиевым полевым шпатом; мелкие остроугольной формы, размером от 0,2–0,3 до 0,6–0,7 мм – кварцем и плагиоклазом. Полевые шпаты раздроблены и неравномерно изменены: альбитизированы, серицитизированы, карбонатизированы. Часто обломки полевых шпатов рассечены тонкими прожилками серицита и карбоната или полностью замещены этими мине-



**Рис. 2. ФОРМАЦИОННАЯ И ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ КОЛОНКИ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЧЕРЕМШАНСКОГО РУДНОГО УЗЛА С ПОЛОЖЕНИЕМ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ В РАЗРЕЗЕ РУДОНОСНОЙ ФОРМАЦИИ:**

геологические формации: 1 – алеврито-песчаниковая (валанжинский ярус), 2–4 – базальт-андезит-дацит-риолитовая (сеноман-маастрихтский ярус): 2 – нижняя субформация (сеноман-туронский ярус), 3 – средняя субформация (сантонский ярус), 4 – верхняя субформация (маастрихтский ярус); фации вулканогенных пород основного и среднего составов: 5 – промежуточная зона (лавы базальтов, андезибазальтов, андезитов); фации вулканогенных пород кислого состава: околожерловая зона (6 – лавобрекчии риолитов, 7 – туфы риолитового состава грубообломочные), промежуточная зона (8 – лавы риолитов, риодацитов, дацитов, 9 – мелко- и среднеобломочные туфы риолитового состава); фации вулканогенно-осадочных пород удалённой зоны: 10 – туффиты кислого состава, 11 – туфопесчаники, песчаники мелко- и среднезернистые, 12 – алевролиты, аргиллиты; литологические разновидности пород: 13 – базальты, андезибазальты, андезиты, 14 – лавобрекчии риолитов, 15 – лавы риолитов, 16 – лавы риодацитов, 17 – лавы дацитов, 18 – туфы риолитового состава мелко- и среднеобломочные, 19 – туфы риолитового состава грубообломочные, 20 – туффиты кислого состава, 21 – туфопесчаники, 22 – алевролиты, 23 – аргиллиты, 24 – песчаники мелко- и среднезернистые; 25 – месторождения и рудопроявления



**Рис. 3. ПОРОДЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ БАЗАЛЬТ-АНДЕЗИТ-ДАЦИТ-РИОЛИТОВОЙ ФОРМАЦИИ:**

*a* – андезит (фенокристаллы серицитизированного плагиоклаза погружены в афанитовую основную массу);  
*б* – лава риодацитового состава порфировой структуры; *в* – туфолава риолитового состава

ралами. Кварц также раздроблен и пересекается прожилками серицита с рудным минералом (пиритом). Основная масса криптозернистая, кварц-полевошпатового состава, слабосерицитизированная, карбонатизированная. Серицит развит в виде тонких нитевидных выделений, а пятнистый карбонат – радиально-лучистый.

По данным Г. И. Литвинова, изменённые породы на территории рудного узла представлены продуктами гидротермального (серицитизация, хлоритизация, эпидотизация, окварцевание, сульфидизация, карбонатизация), в меньшей степени контактового метаморфизма (ороговикование) в экзоконтактах гранитоидных интрузий. Наибольшее ороговикование связано с телами гранит-порфиров, где ширина контакто-изменённых пород достигает 0,5, редко 1 км. Для Черемшанского рудного узла характерна совокупность ряда вулканогенных гидротермальных месторождений и проявлений, парагенетически связанных с палеовулканами, крупными вулканотектоническими структурами и зонами разноориентированных разломов, сформированными в период позднемиоценового вулканизма. Основная генетическая особенность объектов рудного узла – принадлежность к гидротермальному, близповерхностному субвулканическому типу, который преимущественно представлен богатым серебром полиметаллическим оруденением. В подчинённом количестве выявлены проявления оловянно-полиметаллической серебряной, золотосеребряной молибденовой, редкометалльной формаций, роль которых изучена слабо.

В пределах Черемшанского рудного узла известны месторождения и рудопроявления, локализованные среди пород алевроитопесчаниковой формации раннего мела (Майминовское, Жильное) и базальт-андезит-дацит-риолитовой позднего мела (Красногорское, Кириловское, Опричинское, Шептуновское, Арцевское и др.), которые относятся к серебро-свинцово-цинковому типу (ноيون-тологойскому) в вулканогенных ассоциациях (см. рис. 2). Практически на всех изученных объектах разломы ограничивают северо-западные рудные зоны, а иногда являются основными рудовмещающими структурами и тем самым формируют рудные поля. На месторождениях и рудопроявлениях рудного узла выявлено гнездово-прожилково-вкрапленное сульфидное оруденение, приуроченное к кварц-серицит-хлоритовым, серицит-хлоритовым или кварц-баритовым метасоматитам.

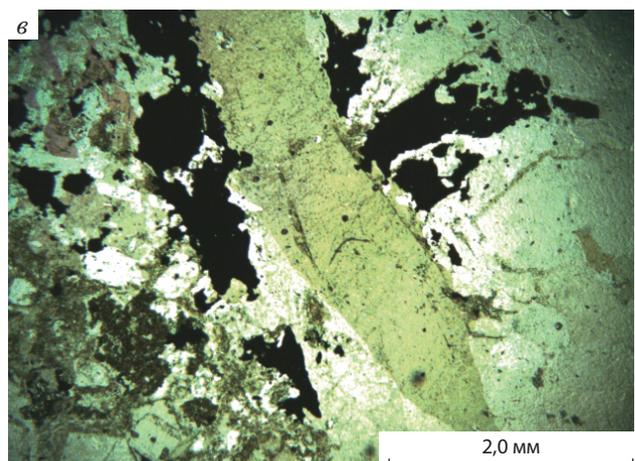
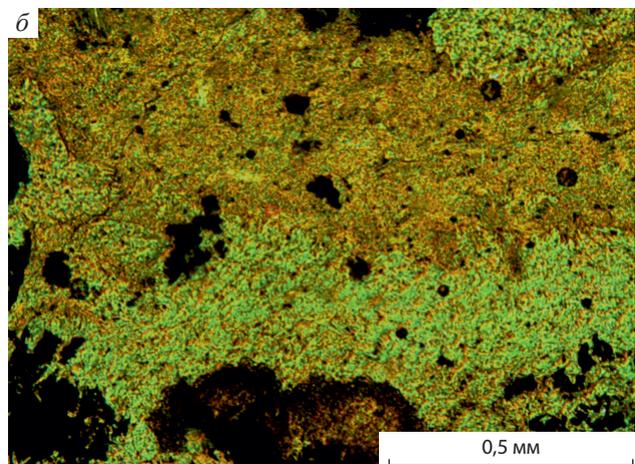
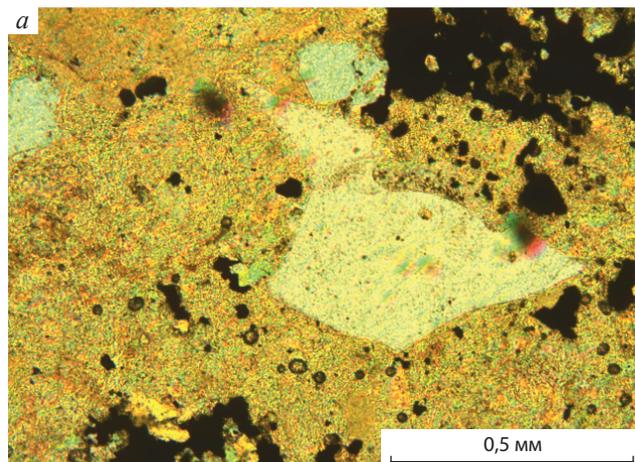
Кварц-серицитовые метасоматиты (с пиритом) имеют обломочную текстуру (рис. 4, а) и развиваются по туфам риодацитового состава. Крупные обломки представлены кварцем размером от 0,5 до 3,0 мм и плагиоклазом размером от 0,3 до 2,0 мм, интенсивно серицитизированным. Мелкие обломки (0,04–0,05 мм) также представлены кварцем и серицитизированным плагиоклазом. Основная масса тонко-мелкозернистая, неравномерно изменённая. В ней отмечаются мелкие чешуйки биотита, замещённого мусковитом.

Серицит-хлоритовые метасоматиты (с пиритом) имеют полосчатую текстуру, которая обусловлена чередованием полос, состоящих из серицита мощностью 0,2–0,5 мм и хлорита мощностью до 1,0 мм. Центральная часть хлоритовых полос выполнена пиритом (см. рис. 4, б).

Кварц-баритовые породы (с рудным минералом) состоят из кварца и барита. Кристаллы барита вытянутой формы, размером до 4,0 мм, кварц размером до 2,0 мм (см. рис. 4, в). Между крупными кристаллами кварца и барита отмечаются те же минералы, но меньших размеров (1,0–0,2 мм). Между зёрнами кварца развиты чешуйчатые выделения хлорита, серицита, в небольшом количестве карбоната. Отмечаются также скопления мелких чешуек биотита, замещённого мусковитом. Рудный минерал – гематит, развитый по пириту, приурочен как к крупным кристаллам кварца и барита, так и к мелким, заполняет промежутки между ними. С рудным минералом ассоциирует хлорит и серицит. Акцессорные минералы – апатит и сфен.

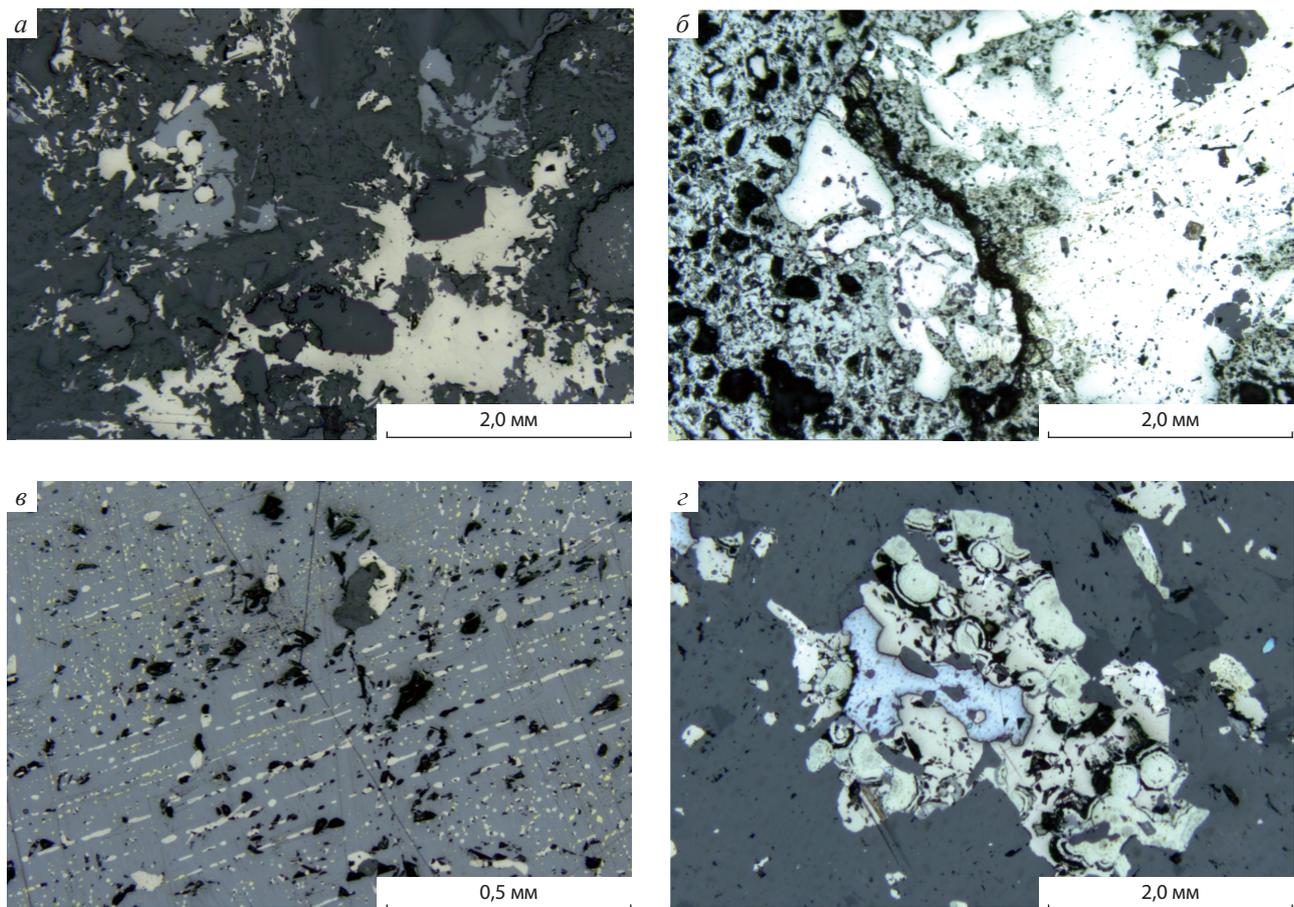
Ведущим типом руд является полиметаллический свинцово-цинковый, в меньшей степени полиметалльно-серебряный и собственно серебряный. Среди сульфидов преобладают пирротин и сфалерит, также присутствуют пирит, галенит, халькопирит, арсенопирит, марказит, пентландит, буланжерит. Из жильных минералов в сростании с сульфидами встречаются кварц, серицит, хлорит, барит. Среди минералов серебра в рудах установлены фрейбергит, пираргирит, полибазит, стефанит, самородное серебро, акантит [4, 7].

Пирротин образует тонкую вкрапленность, гнёзда изометрической или неправильной формы, ветвящиеся короткие прожилки (мономинеральные или в ассоциации с другими сульфидами) с неровными, коррозионными границами, насыщенные многочисленными реликтовыми включениями нерудных минералов вмещающих пород (рис. 5, а).



**Рис. 4. ГИДРОТЕРМАЛЬНО ИЗМЕНЁННЫЕ ПОРОДЫ:**

а – кварц-серицитовый метасоматит с пиритом, развитый по обломочной породе; б – серицит-хлоритовый метасоматит с пиритом (серицит – жёлтый, хлорит – зелёный); в – барит-кварцевая порода с рудным минералом (барит – кристалл жёлто-зелёного цвета)



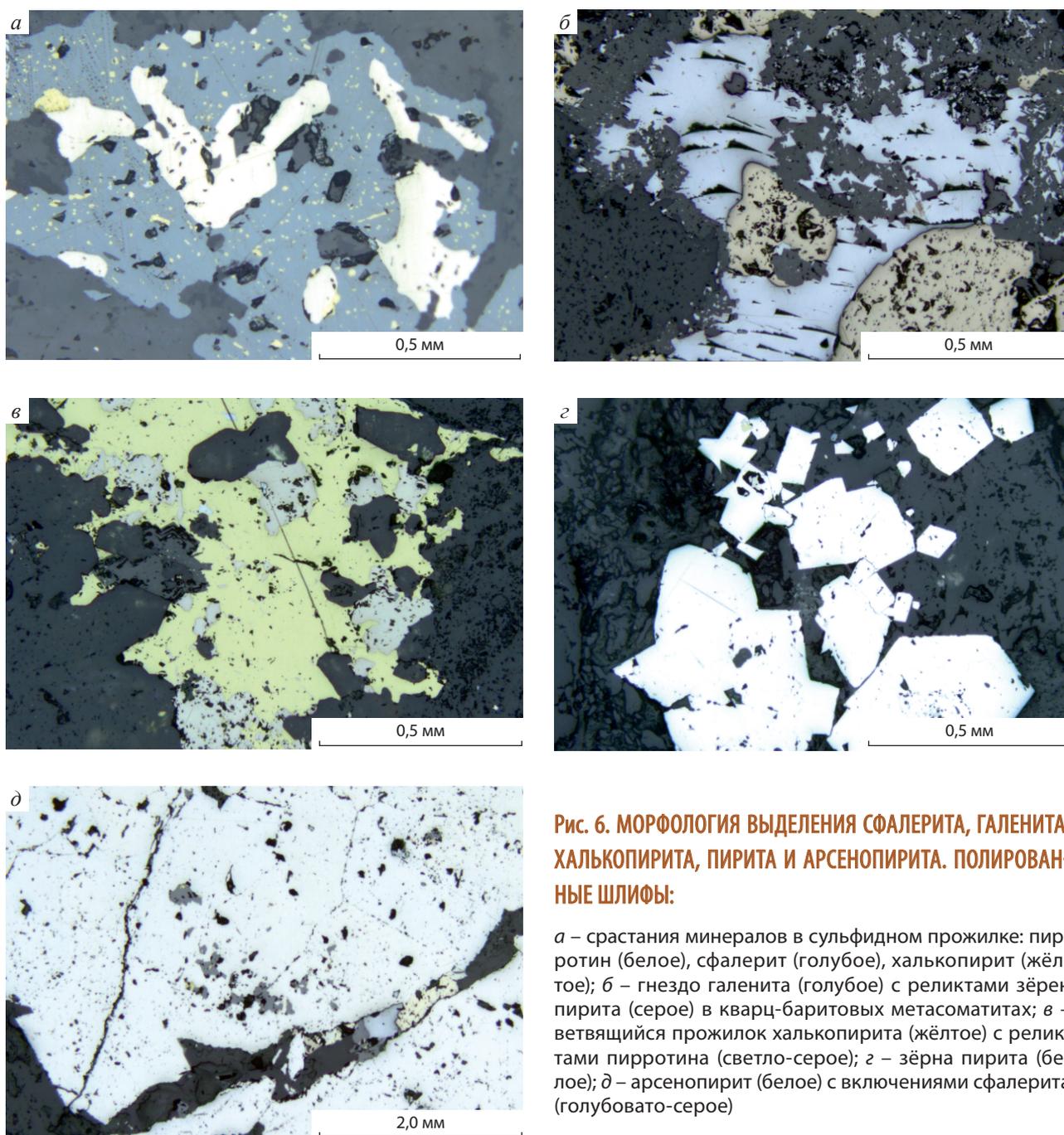
**Рис. 5. MORFOЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПИРРОТИНА. ПОЛИРОВАННЫЕ ШЛИФЫ:**

*а* – гнёзда пирротина (желтовато-белое) и сфалерита (серое) в серицит-хлоритовых метасоматитах; *б* – раздробленные зёрна пирита (белое) цементируются марказитом (серое) с реликтами пирротина (желтовато-серое); *в* – эмульсионная вкрапленность пирротина (светло-серое) и халькопирита (жёлтое), трассирующая двойниковые швы в сфалерите (серое), а также мелкие гнёзда пирротина в интерстициях зёрен сфалерита; *г* – выделение галенита (голубое) в пирротине (серое) замещается марказитом (зеленовато-серое) с образованием структуры «птичий глаз»

Отмечаются также более крупные гнёзда пирротина размером до 9–10 мм, сложенные среднезернистым агрегатом зёрен. Эти агрегаты цементируют трещиноватые зёрна пирита в зонах дробления (см. рис. 5, б). Кроме того, пирротин в ассоциации с халькопиритом образует тонкую эмульсионную вкрапленность в сфалерите, которая часто расположена вдоль двойниковых швов или тяготеет к центральным частям зёрен сфалерита (см. рис. 5, в). В полях пирротина фиксируются редкие мелкие гнёзда халькопирита и сфалерита. Пирротин в этих скоплениях нередко интенсивно замещается марказитом с образованием различных коррозионных структур и структуры «птичий глаз» (см. рис. 5, г).

Сфалерит наиболее часто встречается в ассоциации с пирротинном, реже с галенитом, пиритом, халькопиритом. Сфалерит мелко- или среднезернистый, с полисинтетическими двойниками (рис. 6, а). Галенит присутствует в зонах минерализации так же, как халькопирит, образует мелкие гнёзда в метасоматитах, ксеноморфные по отношению к зёрнам нерудных минералов (см. рис. 6, б). Отмечаются также мелкие гнёзда галенит-халькопирит-пирротинного и галенит-сфалеритового составов.

Халькопирит наблюдается в виде мелких выделений в интерстициях зёрен пирротина, реже в виде вкрапленности во вмещающих породах. Кро-



**Рис. 6. MORFOЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СФАЛЕРИТА, ГАЛЕНИТА, ХАЛЬКОПИРИТА, ПИРИТА И АРСЕНОПИРИТА. ПОЛИРОВАННЫЕ ШЛИФЫ:**

*а* – срастания минералов в сульфидном прожилке: пирротин (белое), сфалерит (голубое), халькопирит (жёлтое); *б* – гнездо галенита (голубое) с реликтами зёрен пирита (серое) в кварц-баритовых метасоматитах; *в* – ветвящийся прожилок халькопирита (жёлтое) с реликтами пирротина (светло-серое); *з* – зёрна пирита (белое); *д* – арсенипирит (белое) с включениями сфалерита (голубовато-серое)

ме того, встречаются редкие гнёзда и прожилки халькопирит-сфалеритового и халькопирит-галенит-пирротинового составов (см. рис. 6, в).

Пирит является второстепенным минералом в зонах сульфидной минерализации. Его содержание редко превышает 4–5 %. Отмечаются вкрапленность, гнёзда и прожилки пирита в ассоциации с пирротинном, сфалеритом, реже с другими суль-

фидами. Пирит образует мелкие зёрна, тяготеющие к периферии сульфидных прожилков. В полях пирротина фиксируются относительно крупные (до 2,5–3 мм) зёрна пирита, не содержащие включений, местами раздробленные. Трещины цементируются марказитом. Иногда пирит образует вкрапленность отдельных зёрен и их скоплений. Зёрна размером до 1 мм, идиоморфные (кубы и пента-

гондодекаэдра) или частично огранённые. В пирите имеются мелкие включения рудных и нерудных минералов (см. рис. 6, з).

Арсенопирит наблюдается в виде густой вкрапленности зёрен призматической или неправильной формы размером до 1 мм. В ассоциации с арсенопиритом отмечаются мелкие выделения буланжерита и сфалерита, образующие включения изометрической или неправильной формы размером 0,03–0,05 мм или приуроченные к интерстициям зёрен арсенопирита (см. рис. 6, д).

Фрейбергит – самый распространённый из серебряных минералов. Он образует выделения, размеры которых иногда достигают нескольких сантиметров, а общее количество его в некоторых участках рудных тел может составлять не менее 10 % от общего количества рудных минералов. Форма выделения фрейбергита в рудах достаточно разнообразна. Чаще всего это вкрапленные зёрна или гнездообразные выделения главным образом в сростании с галенитом. Пираргирит, полибазит, стефанит, самородное серебро и акантит находятся в рудах в виде микроскопических выделений. Размер их зёрен колеблется от первых микрометров до нескольких десятых миллиметра [4, 7]. Наиболее часто вкрапленные зёрна минералов серебра встречаются в галените и фрейбергите. Установлены они также в сфалерите и пирите.

Описанные выше типы руд были подробно изучены на Красногорском и Майминовском месторождениях, которые являются эталонными для Черемшанского рудного узла.

Майминовское серебро-полиметаллическое месторождение расположено на западе рудного узла. В структурном плане рудное поле месторождения локализовано на пересечении северо-западной зоны Смысловского разлома и субмеридиональной Лидовской рудоконцентрирующей структуры в северной части Аликовского поднятия. Рудные тела месторождения формируют серию жил северо-западного простирания в осадочных породах алеврито-песчаниковой формации раннего мела. Представлены кварц-сульфидными жилами и минерализованными зонами дробления в окварцованных породах. Мощность рудных тел от 0,1 до 14,4 м, в среднем 1,85 м. Среднее содержание металлов: Pb – 3,92 %, Zn – 4,47 %, Ag – 252 г/т [4].

Красногорское месторождение размещается в пределах Арцевской вулкано-тектонической депрессии, выполненной вулканогенно-осадочны-

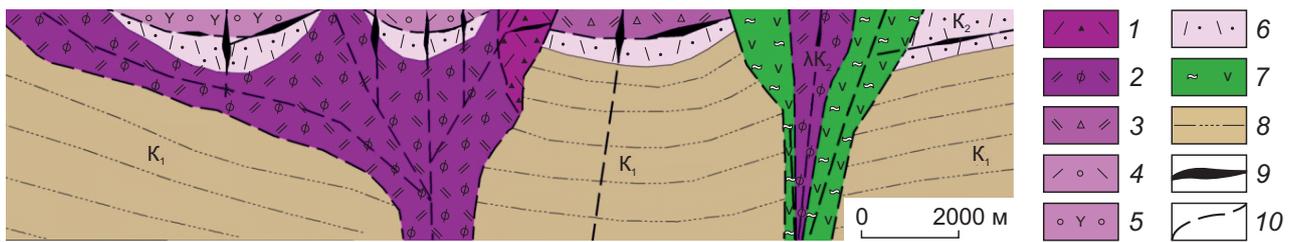
ми породами базальт-андезит-дацит-риолитовой формации позднего мела. На северо-западе эти породы несогласно перекрывают интенсивно дислоцированные отложения алеврито-песчаниковой формации раннего мела [3]. Из вулканических структур низшего порядка наиболее интересна Красногорская депрессия с жерлами, пространственно совпадающая с площадью Красногорского рудного поля, к которому приурочено одноимённое месторождение (Г. И. Литвинов и др., 1982; Д. Н. Кузнецов и др., 1985).

Красногорское месторождение относится к богатой серебром полиметаллической формации, к группе вулканогенных гидротермальных месторождений и состоит из рудных тел жильного типа, сформированных в заключительную стадию вулканизма. Промышленное полиметаллическое оруденение представлено жильным типом, рудные тела которого локализованы за пределами жерла палеовулкана в двух системах разрывных нарушений, являющихся основными рудовмещающими структурами. Помимо разрывных нарушений развиты межпластовые и внутрисластовые, которые контролируют пологое стратифицированное оруденение.

По данным Г. И. Литвинова, изменённые породы зоны подводящего канала вмещают непромышленное полиметаллическое и оловянное оруденение и единичные жилородные зоны серебряной минерализации (рис. 7).

На месторождении выявлено 27 жилородных полиметаллических рудных тел и минерализованных зон, пространственно образующих два разобшённых участка. Рудные тела представлены вкрапленно-прожилковыми зонами, большинство которых не прослежено до выклинивания. Олово-серебро-полиметаллические руды формировались синхронно с протяжёнными сереброносными галенит-сфалеритовыми жильными телами [7].

В заключение можно сделать вывод, что рудовмещающими геологическими формациями в изученном районе являются алеврито-песчаниковая и базальт-андезит-дацит-риолитовая. Соотношение в их составе кремнисто-терригенных и вулканогенных отложений определяется, с одной стороны, близостью вулканических аппаратов (субвулканических отложений, относящихся к жерловым фациям вулканизма), с другой, – характером и интенсивностью вулканической активности в пределах будущих рудных полей и месторождений. Для



**Рис. 7. ГЕОМЕТРИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ КРАСНОГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (по Г. И. Литвинову и др., 1982 г.; Д. Н. Кузнецову и др., 1985 г.):**

фашии вулканогенных пород кислого состава: жерловая зона (1 – автомагматические брекчии риолитов и риодацитов, 2 – риолиты и риодациты), околожерловая зона (3 – лавобрекчии риолитов и риодацитов, 4 – туфобрекчии риолитов и дацитов, 5 – туфы различного состава крупнообломочные), промежуточная зона (6 – туфы риолитового, риодацитового и дацитового составов мелкообломочные); фашии вулканогенных пород основного состава (жерловая зона): 7 – андезиты, андезибазальты и базальты; фашии терригенно-осадочных пород (удалённая зона): 8 – песчаники, алевролиты, алевроиты и их переслаивание; 9 – серебро-свинцово-цинковые руды; 10 – разрывные нарушения

месторождений характерны рудные зоны, контролируемые секущими и согласными синвулканическими разрывными нарушениями.

Выделяются две минеральные ассоциации: сфалерит-халькопирит-пиритовая и серебро-арсено-

пирит-галенитовая, которые пространственно совмещены в пределах единых рудных тел. Ассоциации формировались постепенно, в течение одной стадии, по механизму придонного замещения нелигитифицированного осадка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Прогноз и поиски месторождений свинца и цинка в вулканогенных (VMS) и терригенно-карбонатных ассоциациях (SEDEX) // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М., 2019. – Т. 2. – С. 173–176.
2. Раткин В. В., Симаненко Л. Ф., Кузнецов Д. Н., Король Р. В. Олово-цинковое оруденение Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса // Геология рудных месторождений. – 1990. – № 2. – С. 68–77.
3. Рогулина Л. И. Рудно-формационный анализ Арчевской рудоносной структуры Дальнегорского района (Приморский край, Россия) // Тихоокеанская геология. – 2017. – Т. 38, № 2. – С. 75–91.
4. Рогулина Л. И., Свешникова О. Л., Воропаева Е. Н. Благороднометалльная минерализация полиметаллических руд Майминового месторождения (При-
5. Серавина Т. В., Кузнецов В. В. Опыт и результаты прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений 2009–2017 гг. // Руды и металлы. – 2018. – № 3. – С. 16–25.
6. Серавина Т. В., Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Кузнецова С. В. Колчеданно-серебро-свинцово-цинковое оруденение Черемшанского рудного узла // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов». – М., 2018. – С. 144–145.
7. Симаненко Л. Ф., Раткин В. В., Турчин В. А. Минеральные ассоциации олово-полиметаллических порфировых руд палеовулкана г. Красной (Красногорское месторождение, Дальнегорский рудный район) // Тихоокеанская геология. – 2015. – Т. 34, № 2. – С. 44–60.

#### REFERENCES

1. Kuznetsov V. V., Seravina T. V. Prognost i poiski mestorozhdenii svintsia i tsinka v vulkanogennykh (VMS) i terri-genno-karbonatnykh assotsiatsiyakh (SEDEX) [Forecast and search for deposits of lead and zinc in volca-
- nogenic (VMS) and terrigenous-carbonate associations (SEDEX)], *Materialy XIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Novye idei v nauках o Zemle"* [Materials of the XIV International Scientific and Practical Con-

- ference "New Ideas in Earth Sciences"], Moscow, 2019, V. 2, pp. 173–176. (In Russ.).
- Ratkin V. V., Simanenkov L. F., Kuznetsov D. N., Korol' R. V. Olovo-tsinkovoe orudnenie Vostochno-Sikhote-Alinskogo vulkanicheskogo poyasa [Tin-zinc mineralization of the East Sikhote-Alin volcanic belt], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 1990, No 2, pp. 68–77. (In Russ.).
  - Rogulina L. I. Rudno-formatsionnyi analiz Artsevskoi rudonosnoi struktury Dal'negorskogo raiona (Primorskii krai, Rossiya) [Ore-formation analysis of the Artsevska ore-bearing structure of the Dalnegorsky district (Primorsky Krai, Russia)], *Tikhookeanskaya geologiya* [Russian Journal of Pacific Geology], 2017, V. 38, No 2, pp. 75–91. (In Russ.).
  - Rogulina L. I., Sveshnikova O. L., Voropaeva E. N. Blagorodnometall'naya mineralizatsiya polimetallicheskih rud Maiminovskogo mestorozhdeniya (Primor'e) [Noble metal mineralization of polymetallic ores of the Maiminovskiy deposit (Primorye)], *Zapiski Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva* [Notes of the Russian Mineralogical Society], 2010, V. 138, No 5, pp. 29–40. (In Russ.).
  - Seravina T. V., Kuznetsov V. V. Opyt i rezul'taty prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenii 2009–2017 gg. [Experience and results of the forecast and searches for pyrite-polymetallic deposits in 2009–2017], *Rudy i metally* [Ores and metals], 2018, No 3, pp. 16–25. (In Russ.).
  - Seravina T. V., Kuznetsov V. V., Kudryavtseva N. G., Kuznetsova S. V. Kolchedanno-serebro-svintsovo-tsinkovoe orudnenie Cheremshanskogo rudnogo uzla [Pyrite-silver-lead-zinc mineralization of the Cheremshansky ore cluster], *Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdenii blagorodnykh i tsvetnykh metallov"* [Materials of the VIII International scientific-practical conference "Scientific and methodological foundations of forecasting, prospecting and evaluation of precious and non-ferrous metal deposits"], Moscow, 2018, pp. 144–145. (In Russ.).
  - Simanenkov L. F., Ratkin V. V., Turchin V. A. Mineral'nye assotsiatsii olovo-polimetallicheskih porfirovykh rud paleovulkana g. Krasnoi (Krasnogorskoe mestorozhdenie, Dal'negorskii rudnyi raion) [Mineral associations of tin-polymetallic porphyry ores of the paleovolcano of the city of Krasnoye (Krasnogorsk deposit, Dalnegorsky ore district)], *Tikhookeanskaya geologiya* [Russian Journal of Pacific Geology], 2015, V. 34, No 2, pp. 44–60. (In Russ.).

## SILVER-LEAD-ZINC DEPOSITS IN VOLCANOGENIC ASSOCIATIONS OF THE CHEREMSHANSKY ORE CLUSTER, DALNEGORSKY ORE DISTRICT

Seravina T. V. (PhD, Deputy Head of base metals department)

Kuznetsov V. V. (PhD, Head of base metals department)

Kudryavtseva N. G. (PhD, senior researcher)

Kuznetsova T. P. (PhD, leading researcher)

Elshina S. L. (senior researcher)

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

*Silver-lead-zinc deposits of the Cheremshansky ore cluster (Dalnegorsky ore district, Taukhinskaya mineragenic zone) are characterized by vein, stratiform and stockwork ore bodies. Economic polymetallic mineralization is localized outside the vent zones of paleovolcanic structures, in faulting systems, in Cretaceous silty-sandstone and basalt-andesite-dacite-rhyolite rocks. The main ore minerals are pyrrhotite and sphalerite; subordinate pyrite, galena, chalcopyrite, arsenopyrite, marcasite, pentlandite, and boulangerite are also present. Standard deposits are Krasnogorskoye and Maiminovskoye.*

*Keywords: Dalnegorsky ore district, Cheremshansky ore cluster, silver-lead-zinc deposits.*





## ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ КИМБЕРЛИТОВ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО ПОЛЯ, ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ

Сформировавшиеся в среднем палеозое кимберлитовые поля Западной Якутии в течение длительного периода неоднократно подвергались денудации. Эрозионный срез кимберлитов отождествляется с реконструированной мощностью вмещающей толщи, включающей осадочные и магматические породы раннего и среднего палеозоя. Абсолютный возраст кимберлитов, содержащих обломки верхнедевонских базальтов и ксенолитов осадочных пород с фауной силура и девона, широко варьирует. Величина эрозионного среза отдельных диатрем противоречит их морфогенетическому облику. Алаakit-Мархинское поле включает около 100 кимберлитовых тел, по многим из которых имеются надёжные абсолютные датировки и другие сведения, позволяющие судить о возрасте и уровне денудации. Рассмотрены особенности кимберлитообразования, обусловленные стадийностью, разъясняющие причины несоответствия морфологии и глубины эрозионного среза отдельных диатрем. Подтверждается двухстадийное проявление среднепалеозойской эпохи образования кимберлитов: позднесилурийско-раннедевонское и позднедевонско-раннекаменноугольное. В последней стадии выделяются три подстадии: позднедевонская, позднедевонско-раннекаменноугольная и раннекаменноугольная. Рубежи определены отличием уровня эрозионного среза и геологического строения кимберлитов каждой подстадии, что имеет важное значение при прогнозировании и поисках коренных месторождений алмазов. Полихронность кимберлитов позволяет объяснить особенности современного облика диатрем и ответить на дискуссионные вопросы, связанные с их образованием.

*Ключевые слова:* алмаз, кимберлит, эрозионный срез, средний палеозой, абсолютный возраст, ксенолит, Западная Якутия.

Коренные месторождения алмазов и около половины кимберлитовых полей России (13 из 27), локализованных на территории Якутской алмазоносной провинции (ЯАП), формировались в среднем палеозое, хотя имеются сведения и о более раннем раннепалеозойском внедрении (в венде, кембрии, ордовике, силуре) отдельных диатрем [8, 9, 27]. Большинство исследователей признаётся, что практически все погребённые кимберлитовые тела в той или иной мере эродированы [1]. В зависимости от уровня денудации на поверхность выходят различные горизонты диатрем, т. е. их геологоморфологический облик и внутреннее строение позволяют в первом приближении определять уровень денудации. В геологическом строении крупных кимберлитовых трубок выделяются следующие фациальные горизонты (сверху вниз): 0–200 м – кратерный (туфы, туфобрекчии, осадочно-вулканические и осадочные породы); 0–450 м – жерловый

### Горев Николай Иванович

кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник<sup>1</sup>  
NIGorev00@gmail.com

### Колесник Александр Юрьевич

заведующий лабораторией<sup>1</sup>  
KolesnikAYu@alrosa.ru

### Николенко Евгений Игоревич

кандидат геолого-минералогических наук  
заведующий лабораторией<sup>1,2</sup>  
NikolenkoEl@alrosa.ru

### Проценко Елена Викторовна

заведующая отделом<sup>1</sup>  
ProtsenkoEV@alrosa.ru

### Старостин Пётр Вячеславович

младший научный сотрудник<sup>1</sup>  
StarostinPV@alrosa.ru

### Шахурдина Надежда Константиновна

старший научный сотрудник<sup>1</sup>  
ShakhurdinaNK@alrosa.ru

<sup>1</sup> Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

<sup>2</sup> ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

(воронкообразный) с конусностью до 45° (туфобрекчии, брекчии порфиоровые, на глубине автолитовые); от 300–400 до 800–1500 м – центральный (столбообразный) с конусностью 80–87° (порфиоровые и массивные кимберлиты); 800–1500 м – нижний (рудоподводящие дайки, штокверки – массивные, порфиоровые фации с малым количеством обломков).

Указанные горизонты в строении крупных диатрем не имеют однозначных границ и часто довольно условны. Тем не менее многими исследователями отмечается приуроченность различного типа пород к определённым интервалам кимберлитовых трубок [5, 14]. Большое количество отклонений не позволяет использовать текстурно-структурный и вещественный признаки кимберлитов в качестве надёжного критерия оценки глубины эрозионного среза диатрем.

Наиболее точным способом определения масштаба денудации рудных тел и вмещающих толщ считается палеогеологический метод, позволяющий восстанавливать их прежние разрезы [2, 19, 21 и др.]. Однако, в отдельных случаях наблюдаются существенные принципиальные расхождения величины эрозионного среза некоторых диатрем, установленной различными способами. Таким несоответствием является, в частности, наличие кратерных построек в ряде глубокоэродированных по палеогеологическим построениям кимберлитовых трубок (тр. Юбилейная и др.) [4]. Эти факты требуют разъяснения, поскольку могут иметь важное значение при поисках коренных месторождений алмазов и решении ряда теоретических вопросов алмазной геологии – минералогической и петрохимической зональности кимберлитов и проч. [5, 12].

Первые сведения по палеогеоморфологии районов кимберлитобразования, позволяющие определить уровень денудации рудовмещающих пород и отдельных кимберлитовых полей и диатрем Якутской алмазоносной провинции, принадлежат Ф. Ф. Брахофогелю и другим исследователям [2, 16 и др.]. Эта информация периодически пополняется и уточняется [7, 21 и др.]. Основная причина существующих недочётов и противоречий кроется в низкой достоверности восстановленной мощности эродированных толщ, непредставительном количестве исследованных ксенолитов осадочных пород из кимберлитов, недостаточной точности определения абсолютного возраста, отсутствии точной геологической привязки изученных образцов.

Следует также учитывать, что эрозионный срез кимберлитовых тел не всегда тождествен величине денудации потенциально рудовмещающих пород. Причинами этого может быть следующее:

- кимберлитовые тела и их отдельные фазы внедрялись в разное время, когда средне- и нижнепалеозойские породы ещё не сформировались или, напротив, уже в той или иной мере разрушились;
- одновременно внедрившиеся трубки при расчленённом рельефе могли иметь различный гипсометрический уровень поверхности.

К примеру, одни из них располагались в долинах рек и низинах, другие – на водоразделах, а следовательно, эродировались на разную величину. Следует признать, что эрозионный срез конкретного кимберлитового тела можно однозначно сопоставлять с реконструированной мощностью только тех отложений, ксенолиты которых оно содержит.

Наиболее изученным и информативным в плане среднепалеозойского седиментогенеза с последующей деструкцией ниже- и среднепалеозойских пород является Алакит-Мархинское кимберлитовое поле (АМКП). Оно включает около 100 рудных тел, в том числе шесть месторождений, частично или полностью перекрытых верхнепалеозойскими отложениями. Пять месторождений, находящихся в разработке, исследованы наиболее детально. Анализ фактического материала показывает, что кимберлиты АМКП, как, впрочем, и других среднепалеозойских полей ЯАП, отличаются широким возрастным диапазоном и различным уровнем денудации (таблица) [7]. Важным возрастным репером кимберлитовых тел, помимо абсолютного возраста, являются палеонтологически датированные ксенолиты вмещающих осадочных пород, нередко погружённые в диатремы на глубину до 200–500 м ниже своего стратиграфического положения, а отдельные образцы до 1000 м и более [19 и др.]. Находки таких образцов позволяют определять не только геологический возраст трубок, но и стратиграфическую последовательность палеоразреза рудовмещающей толщи (рис. 1).

На данном рисунке отчётливо устанавливается факт приуроченности отдельных эпох кимберлитобразования к перерывам в осадконакоплении, так называемым палеотектоническим нишам [2, 10, 18]. Этим стадиям отвечает значительное уменьшение скорости осадконакопления, вплоть до полно-

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО ПОЛЯ

Трубки, месторождения	Эрозионный срез рудовмещающих пород, м	Эрозионный срез месторождений, м [2, 7]		Возраст кимберлитовых трубок	
		достоверный	предполагаемый	Датированные ксенолиты [2, 19]	Абсолютный возраст, млн лет [2, 8, 9, 24, 27]
Краснопресненская	325	–	До 100	–	–
Юбилейная	450	450 ?	200–450	$O_1ar - D_3fr$	341–354, 366
Айхал	500	500 ?	200–500	$D_3fr$	$(344-384) \pm 24$
Заря	480	–	100–480	–	$358 \pm 4$
Комсомольская	490	240	–	–	409, 419, 422
Сытыканская	490	–	200–300	$O_1tr - S_1l$	$384 \pm 14, 344$

го прекращения, появления перерывов в осадко-накоплении и размывов. Слабовыраженные палеотектонические ниши в районе АМКП фиксируются в среднем и позднем ордовике и конце позднего силура – раннем девоне, а наиболее масштабная, совпадающая с деструктивной стадией среднепалеозойского этапа тектоно-магматического развития, приходится на конец девона – ранний карбон. Она отличается региональным стратиграфическим перерывом и значительным эрозионно-денудационным срезом (сотни метров) средне-нижнепалеозойских пород и кимберлитов. Заканчивается деструктивная стадия пенепленизацией поверхности раннего палеозоя и формированием мощных кор выветривания (см. рис. 1) [10, 18].

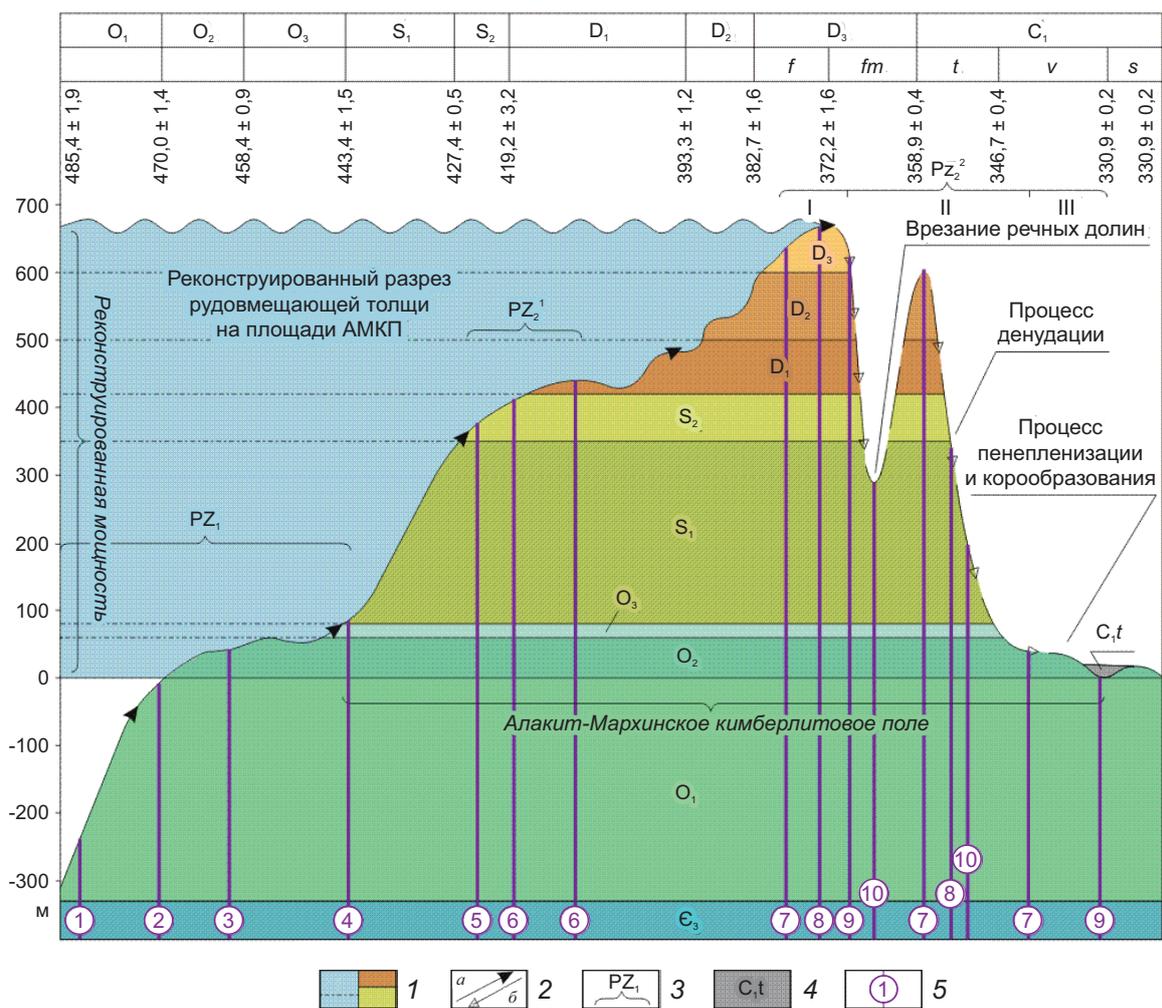
Анализ имеющихся данных абсолютного возраста кимберлитов ЯАП позволяет выделить раннепалеозойскую эпоху с абсолютным возрастом более 430 млн лет и две среднепалеозойские: позднесилурийско-раннедевонскую (420–400 млн лет) и позднедевонско-раннекаменноугольную (380–350 млн лет) [8, 9, 24, 27], удовлетворительно совпадающие по времени с образованием отмеченных выше палеотектонических ниш (см. рис. 1).

Кимберлитовые тела раннепалеозойской эпохи в пределах АМКП представлены тр. Липа с единственной датировкой  $439 \pm 1$  млн лет [9 и др.]. Тем не менее анализ абсолютного возраста кимберлитовых тел других среднепалеозойских полей ЯАП с определённой долей вероятности позволяет выделять средне-позднеордовикскую и вендско-раннекембрийскую эпохи [8], что подтверждается наличием на этих геохронологических уровнях палеотектонических ниш. К ордовикской эпохе относится тр. Амакинская в Мирнинском поле, а максимальное количество кимберлитовых тел с регулярными ран-

непалеозойскими датировками, включая и вендские, встречается в северных полях ЯАП: Далдынском (тр. Удачная с отдельными датами в интервале 509–699 млн лет), Чомурдахском, Укукитских и др. [9 и др.].

То есть кимберлитовые тела с допозднесилурийским абсолютным возрастом правомерно выделять в отдельный раннепалеозойский этап кимберлитообразования. Связано это ещё и с тем, что сформированные в ордовике диатремы, как следует из рисунка, отличаются меньшим уровнем денудации, а в пределах АМКП они, как и более древние, могут не выходить на уровень эрозионного среза. Такие тела не являются «слепыми», так как они в раннем палеозое прорывались на земную поверхность, а затем были погребены под более молодыми образованиями. Несколько «слепых» кимберлитовых тел вскрыто карьером тр. Удачная, а также обнаружено при разведке глубоких горизонтов тр. Мир (геологические фонды АК «АЛРОСА»). Примером незавершённого становления кимберлитовой диатремы является тр. Одинцовская, отнесённая к «полуслепым» [23]. Особенностью кимберлитового магматизма раннепалеозойского этапа является также то, что его проявления не образуют самостоятельных кимберлитовых полей (пока не известны). То есть внедрение раннепалеозойских кимберлитов предшествовало формированию на данной площади более масштабных среднепалеозойских рудных полей, в отдельных диатремах которых раннепалеозойские кимберлиты выполняют первые (ранние) фазы.

На площади АМКП среднепалеозойская эпоха, по определениям абсолютного возраста и датированному ксеногенному материалу осадочных пород из кимберлитов, включает две стадии: поздне-



**Рис. 1. ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА ОБРАЗОВАНИЯ СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ (на примере Алакит-Мархинского поля):**

1 – разновозрастные отложения нижнего и среднего палеозоя; 2 – стадии геологического развития: а – конструктивная (процесс ниже-среднепалеозойского осадконакопления), б – позднедевонско-раннекаменноугольная деструктивная (процессы денудации, пенеппенизации, корообразования); 3 – эпохи и стадии кимберлитобразования: раннепалеозойская эпоха (PZ<sub>1</sub>); среднепалеозойская эпоха (PZ<sub>2</sub>): позднесилурийско-раннедевонская стадия (PZ<sub>2</sub><sup>1</sup>), позднедевонско-раннекаменноугольная стадия (PZ<sub>2</sub><sup>2</sup>): I подстадия, II подстадия, III подстадия; 4 – тегюрюкская кимберлитоперекрывающая толща (C,t); 5 – кимберлитовые трубки: 1 – Удачная (Далдынское кимберлитовое поле), 2 – Снежинка, Уральская (Чомурдахское кимберлитовое поле), 3 – Амакинская (Мирнинское кимберлитовое поле), 4 – Липа и последующие трубки (Алакит-Мархинское кимберлитовое поле), 5 – Чукукская, 6 – Комсомольская, 7 – Юбилейная, 8 – Айхал, 9 – Краснопресненская, 10 – Сытыканская

силурийско-раннедевонскую и позднедевонско-раннекаменноугольную [9, 24 и др.].

К кимберлитам позднесилурийско-раннедевонской стадии относятся трубки Дружба – 431 ± 1 млн лет, Чукукская (бывшая Акар-С) – 430 ± 2 млн лет, Комсомольская (см. табл., рис. 1). Перечисленные кимберлитовые тела внедрялись, когда девонские отложения отсутствовали, т. е. для магматических

образований данной стадии они являлись перекрывающими. Так как мощность девонских отложений в пределах АМКП составляла 250 м [2], то эрозионный срез этих трубок будет на 250 м меньше позднедевонских.

Кимберлиты позднедевонско-раннекаменноугольной стадии по фазам внедрения подразделяются на три подстадии: позднедевонскую, поздне-

девонско-раннекаменноугольную и раннекаменноугольную (см. рис. 1), отличающиеся уровнем денудации и другими особенностями, приведёнными ниже.

Для кимберлитов ранних (дофаменских) фаз характерна максимальная глубина денудации, сопоставимая с реконструированной мощностью рудовмещающих пород, оцениваемой для АМКП в  $650 \pm 50$  м [2] и 320–550 м [7]. Из известных месторождений к данной стадии относятся отдельные фазы трубок Айхал и Юбилейная (см. табл., рис. 1) и других кимберлитовых тел, содержащих датированные ксенолиты осадочных пород позднего девона.

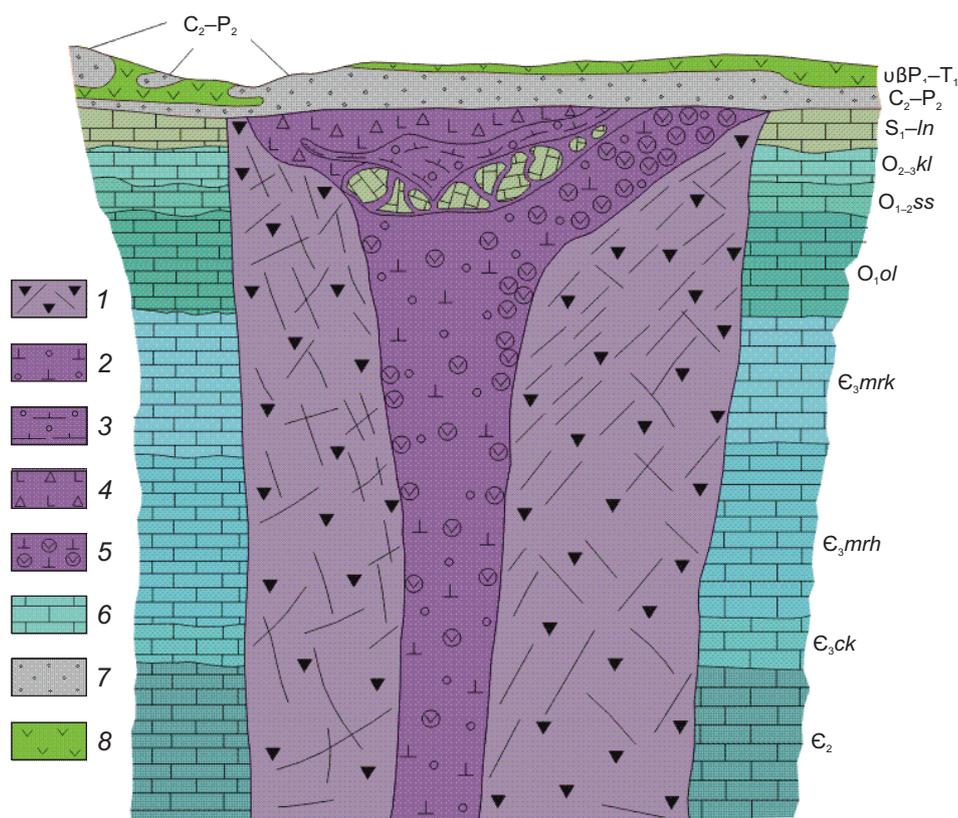
В фаменский и турнейский века кимберлиты внедрялись в процессе эрозионно-денудационного разрушения отложений среднего и раннего палеозоя. В фаменском веке на фоне регионального воздымания платформы происходило интенсивное врезание речных долин, характеризующихся V-образным поперечным профилем и крутым уклоном русла. В такой палеогеографической обстановке становление кимберлитовых тел (или их отдельных фаз) осуществлялось одновременно как на водоразделах, где могли сохраняться девонские отложения, так и в долинах рек, вскрывающих силурийские породы (см. рис. 1). Абсолютные отметки кровли диатрем, находящиеся в различных геоморфологических обстановках, могли отличаться на сотни метров, следовательно, на такую же величину разнится и уровень их эрозионного среза. В начале каменноугольного периода (турнейский век) изменялся морфологический тип долин на трапецевидный и корытообразный с преобладанием у водотоков боковой эрозии. Параллельно с расширением речных долин и выполаживанием водораздельных пространств продолжалось внедрение диатрем. То есть, кимберлиты фаменских и турнейских фаз эродированы на различную величину: от 550 м – ранние фазы, до 100–50 м – более поздние (рис. 2, см. табл., рис. 1). Из известных месторождений к данной подстадии относится тр. Сытыканская (см. табл.), в которой отсутствуют датированные ксенолиты девона. Не исключено, что в это же время внедрялись отдельные фазы трубок Айхал и Юбилейная.

Кимберлиты поздних раннекаменноугольных фаз (визейский и серпуховский века), согласно обзору абсолютных датировок [9], представлены тр. Москвичка ( $333 \pm 12$  млн лет), а по наличию сохра-

нившихся кратерных построек – трубками Краснопресненская и Юбилейная (см. рис. 1, 2). В геологической истории региона ранний карбон характеризуется процессами пенепленизации и корообразования [13, 18], соответствующими по возрасту тегюрюкской толще, датированной визейским – серпуховским веками [6]. Толща перекрывает тр. Краснопресненская [22].

Выше отмечалось, что основные противоречия (несоответствия) возникают при сопоставлении глубины эрозионного среза кимберлитовых трубок Юбилейная и Айхал, составляющей по результатам палеогеологических реконструкций 450–500 м (см. табл.), с незначительным уровнем денудации их кратерных фаций. У крупных кимберлитовых трубок Африки (Мвадуи, Орапа) с сохранившимися кратерными валами глубина кратерных воронок составляет порядка 200 м [25]. По нашему мнению, наиболее вероятной причиной установленного несоответствия является многофазный характер и, как следствие, полихронность, присущая крупным диатремам, в том числе всем коренным месторождениям алмазов АМКП. Их первые фазы внедрялись в конце девона, а завершающие – в начале карбона (см. рис. 1). Данной точке зрения не противоречат широкий диапазон изотопных дат, присутствие девонских ксенолитов в кимберлитах и наличие чашеобразных расширений в верхней части трубок с сохранившимися кратерными фациями. То есть, морфогенетический облик диатрем даёт возможность уточнять время их внедрения и геоморфологическое положение на завершающей стадии формирования. В трубках взрыва, расположенных в долинах водотоков, кратерные чаши выполняются обычно терригенным стратифицированным материалом. Если это склон, то в кратерных воронках преобладают делювиально-пролювиальные образования. Кратерные фации диатрем, внедрившихся на водораздельных пространствах, отличаются обилием глин и материала кор выветривания вмещающих пород.

*Трубка Юбилейная* имеет чётко выраженный чашеобразный раструб глубиной до 230 м. Кратерные фации, представленные стратифицированной вулканогенно-осадочной толщей мощностью до 150 м, содержат в основании большой объём ксенолитов вмещающих пород [22]. Эрозионный срез, судя по современному облику трубки, вряд ли превышает 50–100 м. Хотя кимберлиты первой фазы внедрения, если учитывать находки ксенолитов



**Рис. 2. СХЕМАТИЧЕСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ТР. ЮБИЛЕЙНАЯ, ПО [26]:**

1 – порфировые кимберлиты (I фаза внедрения); 2 – автолитовая кимберлитовая брекчия (II фаза внедрения); 3 – такситовая и атакситовая кимберлитовые брекчии; 4 – кимберлитовая туфобрекчия; 5 – автолиты порфирового кимберлита в кимберлитовой брекчии; 6 – нижнепалеозойские терригенно-карбонатные породы, вмещающие кимберлиты; 7 – верхнепалеозойские терригенно-осадочные породы, перекрывающие кимберлиты; 8 – породы трапповой ассоциации (P<sub>3</sub>-T<sub>1</sub>)

осадочных пород силура и девона, срезаны на глубину до 450 м (см. табл.).

Трубка Юбилейная – яркий пример крупных диатрем, характеризующихся многостадийностью и широким интервалом (до 30 млн лет) формирования. Её первая фаза внедрялась в позднем девоне (см. рис. 1). Она представлена порфировым кимберлитом, слагающим рудный столб цилиндрической формы, типичной для средних горизонтов трубок взрыва с эродированным раструбом (см. рис. 2). В конце турнейского – начале визейского века, после завершения активной стадии эрозионно-денудационного процесса, на площади АМКП, включая и тр. Юбилейная, произошло внедрение более поздних кимберлитовых фаз, практически не подвергшихся эрозии (см. рис. 2) [12, 26].

Трубка Айхал – раструб практически отсутствует, кратерные фации представлены небольшим

линзовидным телом вулканогенно-осадочного состава и кимберлитовыми туфами [25], являющимися, вероятно, наиболее глубокой частью кратерной постройки. Эрозионный срез трубки ~ 200 м, а её первых фаз – 500 м (см. табл.).

Трубка Краснопресненская имеет поверхность с явно выраженным раструбом до глубины 150 м и чашеобразным углублением 80–100 м, заполненным кратерными фациями. Кратерная часть диатремы перекрыта осадочными отложениями тегюрюкской толщи раннего карбона мощностью до 51 м [23]. Данные по ксенолитам и абсолютному возрасту кимберлитов отсутствуют. Эрозионный срез последних фаз трубки минимальный, а первых не ясен из-за отсутствия фактических данных как по абсолютному возрасту кимберлитов, так и по ксенолитам осадочных пород. Высока вероятность, что ранние фазы присутствуют, на что ука-

зывают обширные ореолы кимберлитовых минералов в позднепалеозойских терригенных коллекторах на участке её локализации (материалы ГРК АК «АЛРОСА»).

*Трубка Сытыканская* состоит из двух самостоятельных тел. Их внедрение произошло, вероятно, в раннем карбоне, судя по абсолютным датировкам [9] и отсутствию ксенолитов пород девонского возраста (см. табл.), когда девонские и частично силурийские отложения были размыты. Кратерные фации отсутствуют, хотя в северо-восточном теле, состоящем из двух фаз, сохранился фрагмент раструба. Существенные различия вещественного состава кимберлитов, кристалломорфологических и прочих особенностей алмазов в разных телах [22] указывают либо на существенный временной разрыв между фазами внедрения, либо на независимые промежуточные очаги. Эрозионный срез отдельных фаз трубки различный и колеблется в интервалах 50 – 100 – 300 м.

*Трубка Комсомольская* менее денудирована, поскольку её срез меньше реконструированного на мощность перекрывающих девонских отложений (250 м). Отсутствие кратерных фаций, но сохранившийся фрагмент раструба говорят о её среднем уровне денудации, ориентировочно 200 м.

*Трубка Заря* – данные по ксенолитам и абсолютному возрасту кимберлитов отсутствуют. Судя по морфологии рудного тела, эрозионный срез последних фаз составляет ~ 200–300 м.

Вышеизложенное свидетельствует о том, что кимберлитовые трубки различных стадий (подстадий) отличаются не только возрастом, но и уровнем денудации. При этом наиболее поздние фазы срезаны минимально, они в основном и обуславливают современный облик диатрем.

В итоге выполненных исследований следует подчеркнуть, что эрозионный срез кимберлитовых тел АМКП во многом связан с их возрастом, однако эта зависимость не прямая, часто имеет сложный характер, определяемый другими факторами.

Кимберлитовые тела раннепалеозойской эпохи кимберлитообразования эродированы на различную величину, но в целом небольшую: досилурийские трубки – минимально, а не вскрытые эрозионными процессами – не затронуты вообще.

Кимберлиты позднесилурийско-раннедевонской стадии (тр. Комсомольская и др.) срезаны на реконструированную мощность рудовмещающих

пород без учёта мощности девонских отложений, являющихся для них перекрывающими.

Кимберлиты позднедевонско-раннекаменноугольной стадии (к которой относятся все месторождения АМКП, кроме тр. Комсомольская) эродированы следующим образом:

- кимберлиты отдельных фаз ранней подстадии эродированы максимально – на восстановленную мощность рудовмещающих отложений (отдельные фазы тр. Айхал, Юбилейная и др.);
- кимберлиты отдельных фаз средней подстадии эродированы дифференцированно: от максимума – диатремы, сформированные в конце девона – начале карбона, до минимума – внедрившиеся в конце турнейского – начале визейского века, по завершении активных эрозионно-денудационных процессов. К данной подстадии относятся кимберлитовые тела (или их отдельные фазы), содержащие только силурийские ксенолиты.

Кимберлитовые тела (отдельные фазы) поздней раннекаменноугольной подстадии (тр. Краснопресненская, Юбилейная) эродированы в минимальном объёме.

Таким образом, приведённые материалы показывают, что крупные кимберлитовые тела и все коренные месторождения АМКП имеют многофазное строение, свидетельствующее об их полихронном характере. Наиболее отчётливо (однозначно) это выражено у тр. Юбилейная, первые фазы которой, судя по датированным ксенолитам осадочных пород, внедрялись во франском веке позднего девона, а последние, исходя из практически не разрушенной кратерной постройки, – в визейском веке раннего карбона. То есть, формирование отдельных диатрем продолжалось первые десятки миллионов лет, а АМКП в целом – более 80 млн лет, судя по абсолютным датировкам кимберлитов и наличию в них ксенолитов осадочных пород силура и девона [2, 9]. На длительность процесса кимберлитообразования указывал в своих работах С. И. Костровицкий [11, 12]. По его мнению, существенные различия вещественного состава отдельных разновидностей кимберлитов и ряд других особенностей – «неоспоримый аргумент самостоятельности отдельных фаз внедрения мантийного (а не внутритрубочного) их происхождения, который чрезвычайно важен для понимания механизма формирования кимберлитов» [11, 12]. Наиболее масштабная и продуктивная эпоха среднепалеозойского

кимберлитообразования в пределах АМКП приходится на завершающую – деструктивную стадию среднепалеозойского этапа тектоно-магматического развития.

В геологической литературе кимберлиты отмеченных выше стадий и подстадий объединяются обычно в единую среднепалеозойскую (позднедевонско-раннекаменноугольную) эпоху кимберлитообразования [2]. По-видимому, это справедливо, поскольку в рамках одной трубки взрыва принято выделять или фазы внедрения, или разновидности (типы) кимберлитовых пород, хотя наличие многостадийных магматических тел (массивов) геологами не оспаривается. Имеющиеся данные по абсолютным датировкам и ксеногенным реперам в кимберлитах не всегда позволяют достоверно устанавливать возрастную принадлежность и взаимоотношение отдельных фаз и, как следствие, стадий и подстадий. Тем не менее, не стоит игнорировать тот факт, что отдельные фазы практически всех месторождений АМКП эродированы на различную величину, часто значительную. Это, несо-

мненно, следует учитывать при поисковых работах. Так, в зависимости от уровня денудации месторождения в минералогических ореолах (главный поисковый признак) могут доминировать кимберлитовые минералы с типоморфными признаками, характерными для отдельной фазы внедрения и т. д.

Для уточнения возраста кимберлитов и глубины их эрозионного среза рекомендуется дополнительное изучение ксенолитов осадочных пород из кимберлитовых месторождений ЯАП. Высокая информативность микрофауны и, особенно, конодонтов, для которых разработаны детальные зональные шкалы для раннего и среднего палеозоя Сибири, указывает на оптимальный метод их изучения.

Таким образом, комплексное изучение палеогеологии рудных полей – уровня денудации рудовмещающих пород, возраста кимберлитов и ксенолитов из них, строения кратерных фаций, магматической и геохимической зональности диатрем – ещё один шаг на пути успешного решения задачи поисков коренных месторождений алмазов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобривич А. П., Бондаренко М. Н., Гневушев М. А., Красов А. М., Смирнов Г. И., Юркевич Р. К. Алмазные месторождения Якутии / Под ред. В. С. Соболева. – М. : Госгеолтехиздат, 1959. – 527 с.
2. Брахфогель Ф. Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. – Якутск : ЯФ СО АН, 1984. – 128 с.
3. Брахфогель Ф. Ф., Зайцев А. И., Шамшина Э. А. Возраст кимберлитовых магматитов – основа прогнозирования алмазности территорий // Отечественная геология. – 1997. – № 9. – С. 20–24.
4. Брахфогель Ф. Ф., Ковальский В. В., Корзилов А. Н. [и др.] Возраст и денудационный срез одной из кимберлитовых трубок Алаakitского поля // Минералогия и геохимия кимберлитовых и трапповых пород. – Якутск, 1979. – С. 40–51.
5. Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г. Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. – Новосибирск : Наука. Сиб. предприятие РАН, 1997. – 574 с.
6. Ващенко Е. М., Крючков А. И., Лелюх М. И. [и др.]. О нижнекарбоневом миоэпороновом комплексе северо-восточного борта Тунгуской синеклизы // Палинология и полезные ископаемые : тезисы докладов VI Всесоюзной палинологической конференции. – Минск, 1989. – С. 49–50.
7. Горев Н. И., Шахурдина Н. К., Салихов Р. Ф., Проценко Е. В. К вопросу об эрозионном срезе кимберлитов Алаakit-Мархинского рудного поля // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 20–31.
8. Дэвис Г. Л., Соболев Н. В., Харьков А. Д. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутии, полученные уран-свинцовым методом по цирконам // Доклады Академии наук. – 1980. – Т. 254, № 1. – С. 175–179.
9. Зайцев А. И., Смелов А. П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции. – Якутск : ИГАБМ СО РАН, 2010. – 108 с.
10. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т. О количестве эпох мощного корообразования и кимберлитового магматизма в неогее Земли // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков алмазных месторождений. – Мирный, 1998. – С. 48–51.
11. Костровицкий С. И. Геохимические особенности минералов кимберлитов. – Новосибирск : Наука, 1986. – 263 с.
12. Костровицкий С. И., Специус З. В., Яковлев Д. А., Фонддер-Флаасс Г. С., Суворова Л. Ф., Богуш И. Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции. – Мирный : НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). – 2015. – 480 с.

13. Матухин Р. Г. Девон и нижний карбон Сибирской платформы (состав, условия осадконакопления, минерагения). – Новосибирск : Наука, СО, 1991. – 164 с.
14. Милашев В. А. Петрохимия кимберлитов Якутии и факторы их алмазоносности // Труды НИИГА. – Л. [СПб.] : Недра, 1965. – Т. 139. – 160 с.
15. Общая стратиграфическая (геохронологическая) шкала. Стратиграфический кодекс России. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2019. – 96 с.
16. Отнюков Н. И. Новые данные о глубине денудационного среза кимберлитовых трубок Мало-Ботуобинского района // Геология и геофизика. – 1971. – С. 143–147.
17. Рожков И. С., Михалев Г. П., Прокопчук Б. И., Шамшина Э. А. Алмазоносные россыпи Западной Якутии. – М. : Наука, 1967. – 280 с.
18. Савко А. Д., Шевырев Л. Т., Зинчук Н. Н. Эпохи мощного корообразования и алмазоносного магматизма в истории Земли. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 1999. – 102 с.
19. Тарабукин В. П. Конодонты из ксенолитов осадочных пород в кимберлитовых трубках Далдыно-Алакитского района (восточная часть Сибирской платформы) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2003. – № 2. – С. 102–112.
20. Тарабукин В. П. Определение миграции ксенолитов осадочных пород в кимберлитовых трубках на основе изучения конодонтов // Отечественная геология. – 2012. – № 5. – С. 45–48.
21. Тарабукин В. П., Каныгин А. В., Смирнов Д. Л., Павлушин А. Д., Буянкина Л. П. [и др.]. Находки палеозойских конодонтов в ксенолитах кимберлитовых трубок Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 6. – С. 834–842.
22. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Зуев В. М. История алмаза. – М. : Недра, 1997. – 601 с.
23. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Геолого-генетические основы шлихо-минералогического метода поисков алмазных месторождений. – М. : Недра, 1995. – 348 с.
24. Шамшина Э. А. Возраст кимберлитовых магматитов – основа прогнозирования алмазоносности территорий // Новые идеи в науках о Земле : тезисы докладов III Международной конференции. – М., 1997. – Т. 2. – С. 192.
25. Hawthorne J. B. Model of a kimberlite pipe // Physics and Chemistry of the Earth. – 1975. – V. 9. – pp. 1–15.
26. Kimberlites of Yakutia. Field guide book. – Novosibirsk : United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy SB RAS, 1995. – 108 p.
27. Sun J., Liu C., Tappe S., Kostrovitsky S. I., Wu F., Yakovlev D., Yang Y., Yang J. 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. – pp. 283–295.

## REFERENCES

1. Bobrievich A. P., Bondarenko M. N., Gnevushev M. A., Kravsov A. M., Smirnov G. I., Yurkevich R. K. Almaznye mestorozhdeniya Yakutii [Diamond deposits of Yakutia], ed. V. S. Sobolev, Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1959, 527 p.
2. Brakhfogel' F. F. Geologicheskie aspekty kimberlitovogo magmatizma severo-vostoka Sibirskoi platformy [Geological aspects of kimberlite magmatism of the northeast of the Siberian platform], Yakutsk, YaF SO AN Publ., 1984, 128 p.
3. Brakhfogel' F. F., Zaitsev A. I., Shamshina E. A. Vozrast kimberlitovykh magmatitov – osnova prognozirovaniya alamazonosnosti territorii [Age of kimberlite magmatites – the basis for predicting diamond deposits], *Otechestvennaya geologiya* [Native geology], 1997, No 9, pp. 20–24. (In Russ.).
4. Brakhfogel' F. F., Koval'skii V. V., Korzilov A. N. et al. Vozrast i denudatsionnyi srez odnoi iz kimberlitovykh trubok Alakitskogo polya [Age and denudation section of one of the kimberlite pipes of the Alakitsky field], *Mineralogiya i geokhimiya kimberlitovykh i trappovykh porod* [Mineralogy and geochemistry of kimberlite and trap rocks], Yakutsk, 1979, pp. 40–51. (In Russ.).
5. Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G. Petrokhimicheskie modeli almaznykh mestorozhdenii Yakutii [Petrochemical models of diamond deposits in Yakutia], Novosibirsk, Nauka Sib. predpriyatie RAN Publ., 1997, 574 p.
6. Vashchenko E. M., Kryuchkov A. I., Lelyukh M. I. et al. O nizhnekarbonovom miosporovom komplekse severo-vostochnogo borta Tunguskoi sineklizy [About the lower carbonic myospore complex of the northeast side of the Tungus syncline], *Palinologiya i poleznye iskopayemye : tezisy dokladov VI Vsesoyuznoi palinologicheskoi konferentsii* [Palynology and minerals: abstracts of the VI All-Union Palynological Conference], Minsk, 1989, pp. 49–50. (In Russ.).
7. Gorev N. I., Shakhurdina N. R., Salikhov R. F., Protchenko E. V. K voprosu ob erozionnom sreze kimberlitov Alakit-Markhinskogo rudnogo polya [On the issue of erosion

- section of kimberlites of Alakit-Markhinsky ore field], *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki [Arctic and Subarctic Natural Resources]*, 2020, V. 25, № 1, pp. 20–31. (In Russ.).
8. Dehvis G. L., Sobolev N. V., Khar'kiv A. D. Novye dannye o vozraste kimberlitov Yakutii, poluchennye uran-svintsovym metodom po tsirkonam [New data on the age of kimberlites of Yakutia obtained by the uranium-lead method for zircons], *Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 1980, V. 254, No 1, pp. 175–179. (In Russ.).
  9. Zaitsev A. I., Smelov A. P. Izotopnaya geokhronologiya porod kimberlitovoi formatsii Yakutskoi provintsii [Isotope geochronology of rocks of the kimberlite formation of the Yakutsk province], Yakutsk, IGABM SO RAN Publ., 2010, 108 p.
  10. Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. O kolichestve epokh moshchnogo koroobrazovaniya i kimberlitovogo magmatizma v neogee Zemli [On the number of epochs of powerful crust formation and kimberlite magmatism in the Neogean of the Earth], *Geologiya, zakonomernosti razmeshcheniya, metody prognozirovaniya i poiskov almaznykh mestorozhdenii [Geology, distribution patterns, methods for forecasting and searching for diamond deposits]*, Mirnyi, 1998, pp. 48–51. (In Russ.).
  11. Kostrovitskii S. I. Geokhimicheskie osobennosti mineralov kimberlitov [Geochemical features of kimberlite minerals], Novosibirsk, Nauka Publ., 1986, 263 p.
  12. Kostrovitskii S. I., Spetsius Z. V., Yakovlev D. A., Fon-der-Flaass G. S., Suvorova L. F., Bogush I. N. Atlas korennykh mestorozhdenii almazov Yakutskoi kimberlitovoi provintsii [Atlas of primary diamond deposits of the Yakut kimberlite province], Mirnyi, NIGP AK «ALROSA» (PAO) Publ., 2015, 480 p.
  13. Matukhin R. G. Devon i nizhnii karbon Sibirskei platformy (sostav, usloviya osadkonakopleniya, minerageniya) [Devon and lower carbon of the Siberian platform (composition, sedimentation conditions, mineralogeny)], Novosibirsk, Nauka SO Publ., 1991, 164 p.
  14. Milashev V. A. Petrokhimiya kimberlitov Yakutii i faktory ikh almazonosnosti [Petrochemistry of kimberlites of Yakutia and factors of their diamond content], *Trudy NIIGA [Proceedings of NIIGA]*, Leningrad, Nedra Publ., 1965, V. 139, 160 p.
  15. Obshchaya stratigraficheskaya (geokhronologicheskaya) shkala. Stratigraficheskii kodeks Rossii [General stratigraphic (geochronological) scale. Stratigraphic Code of Russia], St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2019, 96 p.
  16. Otnyukov N. I. Novye dannye o glubine denudatsionno-go sreza kimberlitovykh trubok Malo-Botuobinskogo raiona [New data on the depth of the denudation cut of kimberlite pipes of the Malo-Botuobinsky district], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 1971, pp. 143–147. (In Russ.).
  17. Rozhkov I. S., Mikhalev G. P., Prokopchuk B. I., Shamshina E. A. Almazonosnye rossypi Zapadnoi Yakutii [Diamond placers in Western Yakutia], Moscow, Nauka Publ., 1967, 280 p.
  18. Savko A. D., Shevyrev L. T., Zinchuk N. N. Epokhi moshchnogo koroobrazovaniya i almazonosnogo magmatizma v istorii Zemli [Epochs of powerful crust formation and diamondiferous magmatism in the history of the Earth], Voronezh, Voronezhskii gosudarstvennyi universitet Publ., 1999, 102 p.
  19. Tarabukin V. P. Konodonty iz ksenolitov osadochnykh porod v kimberlitovykh trubkakh Daldyno-Alakitskogo raiona (vostochnaya chast' Sibirskei platformy) [Conodonts from xenoliths of sedimentary rocks in kimberlite pipes of the Daldyno-Alakit region (eastern part of the Siberian platform)], *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy. Geological correlation]*, 2003, No 2, pp. 102–112. (In Russ.).
  20. Tarabukin V. P. Opredelenie migratsii ksenolitov osadochnykh porod v kimberlitovykh trubkakh na osnove izucheniya konodontov [Determination of xenolith migration of sedimentary rocks in kimberlite pipes based on the study of conodonts], *Otechestvennaya geologiya [Native geology]*, 2012, No 5, pp. 45–48. (In Russ.).
  21. Tarabukin V. P., Kanygin A. V., Smirnov D. L., Pavlushin A. D., Buyankina L. P. et al. Nakhodki paleozoiskikh konodontov v ksenolitakh kimberlitovykh trubok Sibirskei platformy [Finds of Paleozoic conodonts in xenoliths of kimberlite pipes of the Siberian platform], *Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics]*, 1999, V. 40, No 6, pp. 834–842. (In Russ.).
  22. Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Zuev V. M. Istoriya almaza [Diamond history], Moscow, Nedra Publ., 1997, 601 p.
  23. Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Geologo-geneticheskie osnovy shlikho-mineralogicheskogo metoda poiskov almaznykh mestorozhdenii [Geological and genetic foundations of the schlich method for prospecting diamond deposits], Moscow, Nedra Publ., 1995, 348 p.
  24. Shamshina E. A. Vozrast kimberlitovykh magmatitov – osnova prognozirovaniya almazonosnosti territorii [Age of kimberlite magmatites – the basis for predicting the diamond content of territories], *Novye idei v nauках o Zemle : tezisy dokladov III Mezhdunarodnoi konferentsii [New ideas in Earth sciences: abstracts of the III International Conference]*, Moscow, 1997, V. 2, pp. 192. (In Russ.).
  25. Hawthorne J. B. Model of a kimberlite pipe, *Physics and Chemistry of the Earth*, 1975, V. 9, pp. 1–15.
  26. Kimberlites of Yakutia. Field guide book, Novosibirsk, United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy SB RAS, 1995, 108 p.

27. Sun J., Liu C., Tappe S., Kostrovitsky S. I., Wu F., Yakovlev D., Yang Y., Yang J. 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, pp. 283–295.

## FORMATION HISTORY OF MIDDLE PALEOZOIC KIMBERLITES OF THE ALAKIT-MARKHA FIELD, WESTERN YAKUTIA

Gorev N. I. (PhD, leading researcher<sup>1</sup>)

Kolesnik A. Yu. (Head of laboratory<sup>1</sup>)

Nikolenko E. I. (PhD, Head of laboratory<sup>1,2</sup>)

Protsenko E. V. (Head of department<sup>1</sup>)

Starostin P. V. (junior researcher<sup>1</sup>)

Shakhurdina N. K. (senior researcher<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> Research geological enterprise, ALROSA JSC, Mirny (Russia)

<sup>2</sup> Institute of Geology and Mineralogy, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, (Russia)

*Kimberlites of the Alakit-Markha field formed in the middle Paleozoic and were repeatedly eroded over a long time period. Measured surface kimberlite erosion is compared with the reconstructed thickness of the host rocks, which includes sedimentary and igneous rocks of the Tunguska syncline. The surface erosion of host rocks of individual kimberlites contradicts to their size and shape. Kimberlite formation features by stages are considered. The discrepancy between kimberlite size and shape, and volume of host rocks surface erosion is explained. The two-stage manifestation of the middle Paleozoic kimberlite formation is confirmed: late Silurian – early Devonian and late Devonian – early Carboniferous. Three sub-stages are distinguished in the last stage.*

*Keywords: diamond, kimberlite, erosion, middle Paleozoic, absolute age, xenolith, Western Yakutia.*



## АЛМАЗЫ УКУГУТСКОЙ СВИТЫ РОССЫПИ НЮРБИНСКАЯ, НАКЫНСКОЕ КИМБЕРЛИТОВОЕ ПОЛЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

*Исследованы алмазы верхней залежи россыпи Нюрбинская. Приведены минералогическая и оптико-спектротомическая характеристики алмазов из отложений укугутской свиты. Выявлены закономерности размещения алмазов с теми или иными параметрами в плане россыпи. Установлен зональный характер распределения алмазов укугутской свиты по габитусу, содержанию суммарного азота и степени агрегации этой примеси, степени сохранности, содержанию окрашенных, ожелезненных камней и кристаллов со скульптурами травления. Зафиксированы признаки сортировки кристаллов в процессе осадконакопления.*

*Ключевые слова: алмазы, россыпи ближнего сноса, Накынское кимберлитовое поле.*

Накынское кимберлитовое поле (НКП) Сибирской платформы (СП) – уникальный полигон для исследований алмазов. В его пределах разведаны погребённые высокопродуктивные трубки Нюрбинская, Ботубинская, менее продуктивные дайкообразные тела Майское и Мархинское и алмазоносные дайки, сопряжённые с трубками [4, 7]. К этим коренным источникам, локализованным в зоне Диагонального разлома, генетически и пространственно приурочены погребённые россыпи алмазов [8]. Продуктивность нижнеюрских отложений, перекрывающих коренные месторождения НКП, связана с величиной мезозойского среза трубок Нюрбинская и Ботубинская, которая определяется на этой территории в 30–40 м [5]. Известно, что основным источником формирования россыпи является тр. Нюрбинская, причём большая часть алмазов заключена в продуктивных отложениях укугутской свиты ( $J_1uk$ ) [11]. Отложения свиты имеют плащеобразное распространение, мощность их изменяется от 1,5 до 18 м, при этом резкое её сокращение отмечено над кимберлитами тр. Нюрбинская [5].

За 2004–2019 гг. нами исследованы минералогические и оптико-спектротомические свойства 5658 кристаллов алмаза, извлечённых из отложений укугутской свиты, залегающей от участка россыпи, примыкающего к тр. Нюрбинская, до юго-западного фланга в 5 км от неё. Алмазы извлечены из керновых проб 294 скважин (рис. 1), пройденных в ходе геологоразведочных работ Ботубинской, Мирнинской и Вилюйской экспедиций АК «АЛРОСА» (ПАО). Минералогические исследования проведены с использованием классификации Ю. Л. Орлова [9], с разделением алмазов отдельных генетических разновидностей по габитусу и морфологическим типам кристаллов [1, 2]. Изучены гранулометрия алмазов, кристалломорфологические особенности (разновидности, габитус, морфологические типы кристаллов, двойники и сростки,



**Кедрова  
Татьяна Владимировна**  
старший научный сотрудник  
tvkedr@mail.ru

**Богуш  
Ирина Николаевна**  
кандидат геолого-минералогических наук  
ведущий научный сотрудник  
irinabogush2165@gmail.com

**Зинчук  
Николай Николаевич**  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор  
академик Академии наук РС (Якутия)  
главный научный сотрудник  
nzninchuk@rambler.ru

**Бардухинов  
Леонид Данилович**  
заведующий лабораторией  
BardukhinovLD@alrosa.ru

**Липашова  
Алла Николаевна**  
старший научный сотрудник  
LipashovaAN@alrosa.ru

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



## 1. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИЗУЧЕННЫХ АЛМАЗОВ ИЗ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ТРУБОК НАКЫНСКОГО ПОЛЯ И ОТЛОЖЕНИЙ УКУГУТСКОЙ СВИТЫ РОССЫПИ НЮРБИНСКАЯ

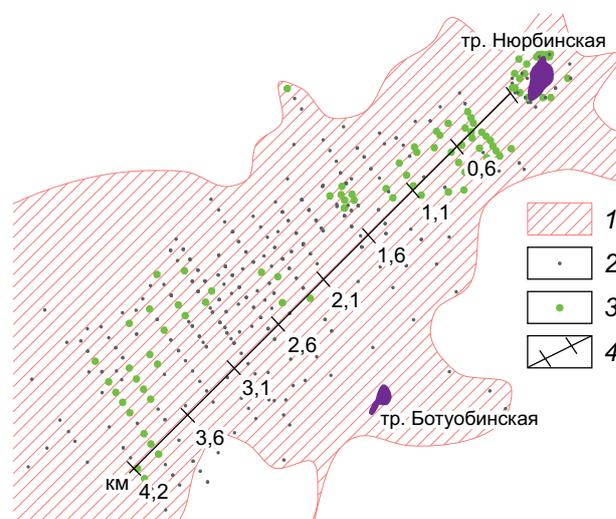
Наименование трубок, свит	Число	Класс крупности, мм									
		-8+4		-4+2		-2+1		-1+0,5		-0,5+0,2	
		%	мг	%	мг	%	мг	%	мг	%	мг
Кимберлиты тр. Нюрбинская (гор. +175...+145 м)	4610	0,1	133,0	2,3	31,8	40,4	4,8	57,2	0,7	-	-
Кимберлиты тр. Ботуобинская (гор. +175...+85 м)	1180	0,3	277,0	3,7	43,2	34,9	5,4	60,3	0,8	0,8	0,2
Отложения укугутской свиты	5658	0,1	156,1	3,7	35,3	29,5	5,0	66,3	0,7	0,4	0,1

Примечание. % – доля алмазов от общего числа; мг – средняя масса кристаллов.

скульптуры травления), прозрачность, окраска и ожелезнение, фотолюминесценция, твёрдые включения в алмазах, сохранность, трещиноватость, характер сколов и степень механического износа. Физиографическое изучение выполнено под биноклями *Leica Wild M420*. Для возбуждения фотолюминесценции при визуальном определении цвета свечения использован лазер АИЛ-3 ( $\lambda$ -337 нм). Спектры оптической плотности регистрировались на ИК-Фурье спектрометрах *VERTEX 70 (Bruker)* с микроскопом *Hyperion 2000* и ФСМ-1201. Суммарный азот ( $N_{tot}$ ) определялся сложением выявленных концентраций этой примеси в А-, В-, С-формах в соответствии с работами [12, 13]. Содержание В2-дефектов оценивалось по коэффициенту поглощения полосы на 1358–1380  $cm^{-1}$ , а размер – по положению максимума его полосы [10]. Относительные погрешности определения коэффициентов поглощения для центров А, В1 и В2 составили менее 10 %.

Максимальное число алмазов (до 417 шт. в одной скважине) извлечено из отложений укугутской свиты в непосредственной близости от карьера тр. Нюрбинская (в пределах 1 км). В остальной части россыпи число алмазов по отдельным скважинам варьирует от 1 до 54, причём в половине скважин этот показатель не превышает пяти кристаллов.

Изучены алмазы гранулометрических классов от -8+4 до -0,5+0,2 мм. Среди них наиболее представительными по числу являются кристаллы класса -1+0,5 мм (табл. 1). В среднем гранулометрические характеристики алмазов из отложений укугутской свиты (доля камней различной крупности и средняя масса кристаллов) близки к таковым из трубок Нюрбинская и Ботуобинская. В россыпи несколько повышено содержание кристаллов крупностью -1+0,5 мм. На участке россыпи в районе тр. Ботуобинская, удалённом более чем на 2 км от карьера

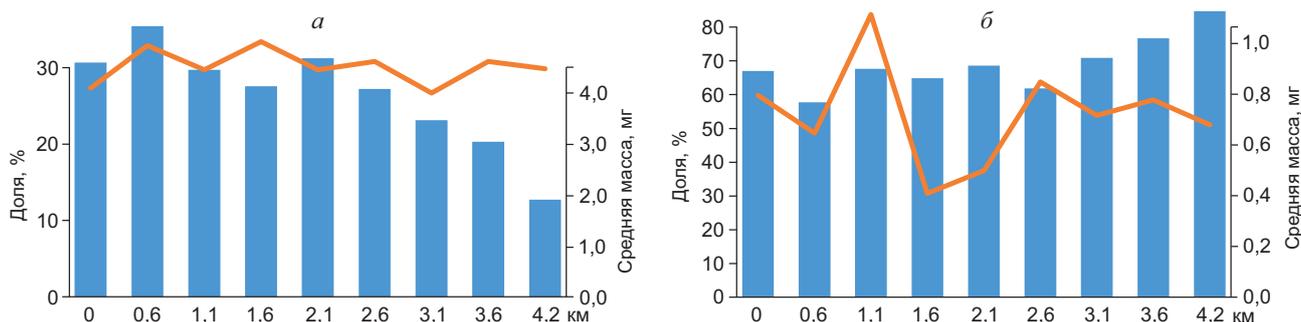


**Рис. 1. СХЕМА ИЗУЧЕННОСТИ АЛМАЗОВ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ УКУГУТСКОЙ СВИТЫ РОССЫПИ НЮРБИНСКАЯ:**

1 – контур россыпи Нюрбинская, по данным Вилюйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО); 2 – исследованные скважины; 3 – скважины с числом изученных кристаллов > 10 шт.; 4 – шкала расстояния/анализируемые участки россыпи

тра тр. Нюрбинская, отмечается постепенное снижение числа алмазов крупностью -2+1 мм (рис. 2). Для кристаллов класса -1+0,5 мм наблюдается обратная закономерность, их доля возрастает на юго-западном фланге россыпи. Средняя масса алмазов различных участков россыпи изменяется закономерно, для кристаллов класса -2+1 мм вариации незначительны.

Большинство алмазов укугутских отложений представлены кристаллами разновидности I (93 %), среди которых в близком содержании присутствуют кристаллы октаэдрического и переходного габитусов (22–24 %), чуть реже ламинарные ром-



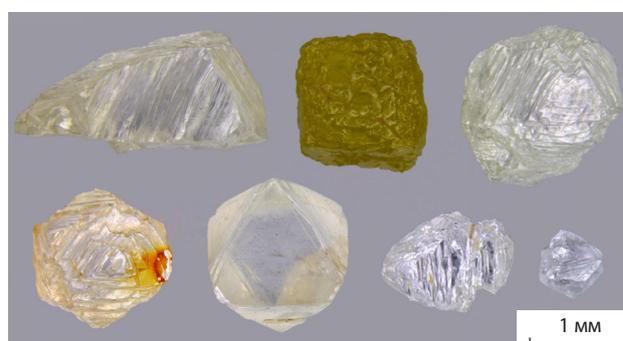
**Рис. 2. ДИАГРАММА ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДОЛИ (%) И СРЕДНЕЙ МАССЫ (мг) КРИСТАЛЛОВ КЛАССОВ -2+1 (а), -1+0,5 мм (б) ПО МЕРЕ УДАЛЕНИЯ ОТ ТР. НЮРБИНСКАЯ**

бододекаэдры (18 %). Округлые додекаэдровиды встречаются редко (2 %), заметно содержание осколков без признаков кристаллографической огранки (24 %). Помимо алмазов разновидности I в выборке присутствуют кристаллы разновидностей IV (6 %) и VIII (1 %). Как известно, к алмазам разновидности IV относят кристаллы с бесцветным прозрачным ядром и внешней мутной оболочкой, окрашенной в молочно-белые, серые, жёлтые и зелёные цвета [9], которая обычно целиком покрывает ядро. В отложениях укугутской свиты среди кристаллов разновидности IV фиксируются индивиды с частично сохранившейся оболочкой. Доля октаэдров возрастает с увеличением крупности, а содержание осколков максимально в классах -1+0,5 и -0,5+0,2 мм. Среди алмазов различного габитуса доминируют индивиды со сноповидной, сноповидно-занозистой штриховкой, а также с полицентрическим строением граней (рис. 3).

Преобладают камни с розово-сиреневой фотолюминесценцией (49 %) при заметной доле кристаллов с жёлтым, жёлто-зелёным свечением (29 %). Характер свечения алмазов различной крупности практически не отличается.

По характеру морфологии и фотолюминесценции алмазы укугутской свиты в среднем занимают промежуточное положение между трубками Нюрбинская и Ботубинская, в том числе при анализе кристаллов сопоставимых классов крупности. В плане россыпи, с удалением от границы карьера тр. Нюрбинская, постепенно уменьшается содержание кристаллов октаэдрического габитуса (табл. 2).

На участке россыпи в 2,1–2,6 км от тр. Нюрбинская отмечается максимальное содержание ламинарных ромбододекаэдров и алмазов переходных



**Рис. 3. ОБЩИЙ ВИД АЛМАЗОВ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ УКУГУТСКОЙ СВИТЫ**

форм, здесь же присутствует минимальное число осколков. Данный участок пространственно сопряжён с тр. Ботубинская, и большинство кристаллов извлечено из отложений к северо-западу от неё. Далее на юго-запад повышенное содержание кристаллов переходных форм сохраняется, а доля ламинарных ромбододекаэдров и осколков возвращается к прежнему уровню.

Алмазы укугутской свиты отличаются высоким содержанием индивидов со скульптурами травления, которые в среднем составляют 48 % исследованных алмазов. Повышенное содержание таких кристаллов характерно для верхних горизонтов тр. Ботубинская (53 %), в то время как среди алмазов тр. Нюрбинская их доля не превышает одной трети выборки. Скульптуры представлены чаще всего каналами травления («шрамами»), иногда довольно глубокими. Помимо алмазов с классическими «шрамами» в виде борозд на поверхности встречаются индивиды с узкими сквозными каналами (рис. 4). Доля окрашенных кристаллов

в отложениях укугутской свиты довольно низкая (28 %), в основном они дымчато- и лилово-коричневого цвета. Следует отметить, что содержание цветных кристаллов из кимберлитов верхних горизонтов тр. Нюрбинская чуть выше, чем в тр. Ботубобинская, однако в целом довольно близкое (27 и 20 % соответственно). По данному параметру алмазы из отложений укугутской свиты ближе к таковым из тр. Нюрбинская. Содержание кристаллов с окраской и скульптурами травления возрастает в классах -2+1 и -4+2 мм. Повышенное содержание кристаллов со скульптурами сохраняется при сравнении алмазов одной крупности.

Анализ распределения кристаллов со скульптурами травления в россыпи показал, что в половине скважин доля таких индивидов составляет 50 % и более. Уже в пределах карьера тр. Нюрбинская содержание кристаллов со скульптурами травления в укугутских отложениях на 11 % выше, чем в кимберлитах верхних горизонтов. На участке от 1 до 2,5 км к юго-западу от тр. Нюрбинская, в том числе в районе тр. Ботубобинская, наблюдается снижение частоты встречаемости цветных алмазов.

Среди алмазов укугутской свиты относительно часто и независимо от их крупности встречаются ожелезнённые кристаллы (7 %) и камни с зелёны-

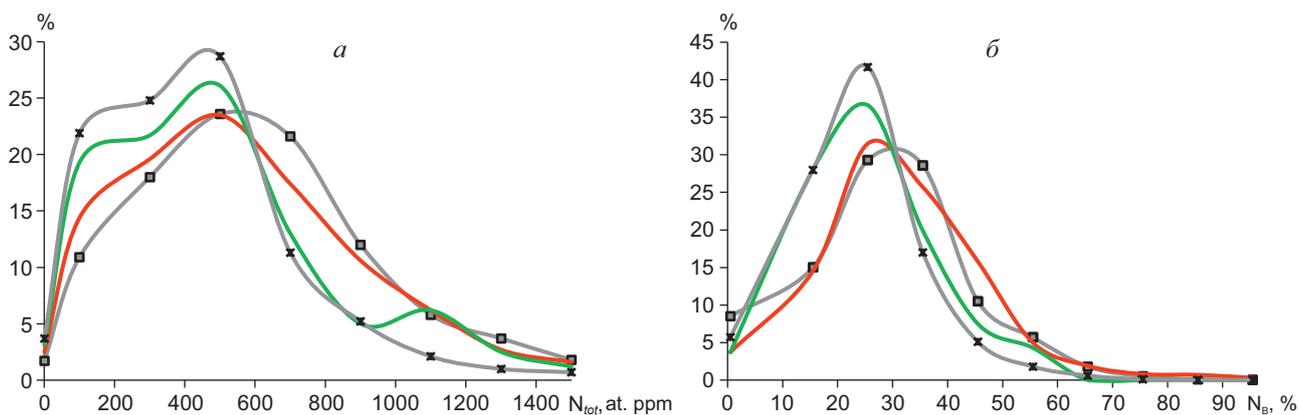


**Рис. 4. АЛМАЗ СО СКВОЗНЫМ КАНАЛОМ ТРАВЛЕНИЯ ИЗ РОССЫПИ НЮРБИНСКАЯ**

ми пятнами пигментации, позеленением по трещинам и окраской «морская волна» (3 %). Среди алмазов верхних горизонтов тр. Нюрбинская такие кристаллы составляют десятые доли процента. По содержанию ожелезнённых камней алмазы россыпи близки к таковым из тр. Ботубобинская. В укугутских отложениях на расстоянии около 500 м от карьера тр. Нюрбинская помимо индивидов с зелёной пигментацией найден сросток кристаллов разновидности I с бурым пятном. Пигментация такого цвета чаще отмечается на алмазах докембрийских

## 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЛМАЗОВ РАЗЛИЧНОГО ГАБИТУСА ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ УКУГУТСКОЙ СВИТЫ В ПЛАНЕ РОССЫПИ НЮРБИНСКАЯ, отн. %

Трубки / участки россыпи, км	Число	Разновидность I						Разновидность IV	Разновидность VIII
		Октаэдры	Переходные формы	Ламинарные ромбододекаэдры	Округлые додекаэдровиды	Осколки	Прочие		
Кимберлиты тр. Нюрбинская (гор. +175...+145 м)	4610	27,1	21	16,4	1,2	24,5	2,6	5,9	1,2
Россыпь в пределах карьера	1004	25,1	19,2	19,2	2,8	23,4	2,3	6,8	1,2
0–0,6	2911	22,4	24,8	17	2,3	23,1	2,8	5,9	1,7
0,6–1,1	440	23,2	22,7	18,4	2,7	25,7	3,6	3,2	0,5
1,1–1,6	264	20,5	22,7	20,1	1,5	27,3	3	4,9	0
1,6–2,1	122	20,5	23	18,9	1,6	28,7	4,1	3,3	0
2,1–2,6	173	16,2	27,7	26,6	0,6	19,1	1,7	6,9	1,2
2,6–3,1	223	17	27,4	20,6	1,8	27,8	2,2	2,2	0,9
3,1–3,6	214	19,2	24,8	17,3	3,7	26,2	3,7	4,2	0,5
3,6–4,2	286	15	24,5	20,3	2,1	28	3,5	5,6	1
В среднем алмазы из отложений свиты	5658	21,8	23,7	18,3	2,4	24,1	2,9	5,5	1,3
Кимберлиты тр. Ботубобинская (гор. +175...+85 м)	1180	13,4	26,2	25,9	1,2	22,3	3	7,5	0,5



**Рис. 5. РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЛМАЗОВ ПО СОДЕРЖАНИЮ СУММАРНОГО АЗОТА (а) И АЗОТА В В-ФОРМЕ (%) (б) ИЗ УКУГУТСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РОССЫПИ НЮРБИНСКАЯ, ТРУБОК НЮРБИНСКАЯ И БОТУОБИНСКАЯ**

алмазоносных формаций, однако в данном случае комплекс «признаков древности» [1] отсутствует. Как данный индивид, так и в целом кристаллы из отложений укугутской свиты не имеют признаков механического износа. Однако среди них обнаружены кристаллы с матировкой, заходящей на поверхность скола, предположительно механического происхождения (0,6 %). По внешнему виду такие поверхности отличаются от классической матировки, являющейся результатом окисления алмаза в приповерхностных условиях [1]. Кристаллы с такой матировкой имеют крупность от 4 до 0,5 мм, встречаются на различных участках россыпи и не зафиксированы в пределах карьера трубок. По доле алмазов с включениями (38 %), а также двойников и сростков (15 %) в среднем и в классах -2+1 и -1+0,5 мм алмазы укугутской свиты занимают промежуточное положение между трубками Ботубинская и Нюрбинская, чаще ближе к показателям для тр. Ботубинская.

Содержание ожелезнённых алмазов в укугутских отложениях резко возрастает на расстоянии 1,6 км от карьера тр. Нюрбинская и сохраняется высоким до юго-западного фланга россыпи. Доля кристаллов с пигментацией максимальна в пределах 1 км от тр. Нюрбинская. Вариации содержания кристаллов с включениями, а также двойников и сростков алмазов в россыпи незначительны (в пределах 10 %). Минимальное содержание агрегатов алмазов зафиксировано в пределах карьера тр. Нюрбинская.

Сохранность (целостность) алмазов укугутской свиты невысокая, половина выборки представле-

на обломками (33 %) и осколками (24 %) кристаллов. Доля целых и в незначительной степени повреждённых камней составляет всего 19 %. Максимальное число осколков наблюдается среди алмазов классов -1+0,5 (30 %) и -0,5+0,2 мм (52 %). Наиболее высокая степень сохранности характерна для кристаллов класса -4+2 мм. По характеру сколов среди изученных алмазов чаще всего и в близком содержании встречаются индивиды с механическими, техногенными (30 %), комбинационными (33 %), несколько реже протоматическими (24 %) сколами. Различия по характеру сколов алмазов наиболее представительных по числу классов крупности находятся в пределах 10 %. Большинство алмазов имеет трещины (58 %), в основном единичные поверхностные и глубокие. Доля трещиноватых камней выше среди кристаллов класса > 1 мм. Более высокая степень сохранности кристаллов из отложений укугутской свиты характерна для части россыпи в районе карьера тр. Нюрбинская и участка в 2,1 км от неё (к северо-западу от тр. Ботубинская). На этих же участках уменьшается содержание обломков и осколков алмазов и несколько снижается доля трещиноватых камней.

По данным ИК-спектроскопии, основную часть изученных алмазов укугутской свиты представляют алмазы с общей концентрацией азота в диапазоне от 100 до 900 at. ppm (рис. 5, а). Кристаллы с малыми (до 400 at. ppm) и средними (от 400 до 800 at. ppm) концентрациями структурного азота присутствуют в близких долях – 34 и 41 % соответственно, а высокоазотистые (от 800 до 2500 at. ppm) индивиды составляют 23 %.

## 3. УСРЕДНЁННЫЕ СОДЕРЖАНИЯ ДЕФЕКТОВ В АЛМАЗАХ РОССЫПИ НЮРБИНСКАЯ И ТРУБОК НЮРБИНСКАЯ И БОТУОБИНСКАЯ

Трубки / участки россыпи, км	Число	$N_{tot}$ , at. ppm	A, at. pm	B, at. pm	B, %	$B_2$ , $cm^{-1}$	$V_{B_2}$ , $cm^{-1}$	H, $cm^{-1}$
Кимберлиты тр. Нюрбинская (гор. +175...+145 м)	774	594	407	188	29	6,3	1368	1,9
Россыпь в пределах карьера	70	495	304	191	37	5,7	1368	1,4
0–0,6	1285	557	362	195	33	5,7	1368	2,2
0,6–1,1	355	588	380	208	34	6,1	1367	2,9
1,1–1,6	234	571	391	180	29	5,5	1361	2,2
1,6–2,1	101	548	366	182	32	5,6	1366	3,0
2,1–2,6	161	506	359	147	26	4,2	1366	1,9
2,6–3,1	211	509	347	163	30	4,9	1366	1,6
3,1–3,6	207	587	385	202	32	5,7	1366	2,8
3,6–4,2	242	652	427	225	32	6,0	1367	2,1
В среднем алмазы из отложений свиты	2887	564	371	193	32	5,6	1367	2,3
Кимберлиты тр. Ботуобинская (гор. +175...+85 м)	1163	418	311	107	25	3,1	1366	1,3

Распределение по содержанию суммарного азота имеет основной максимум на 400–600 at. ppm. Среднее содержание структурной примеси по выборке 564 at. ppm. «Безазотных» алмазов (с концентрацией < 25 at. ppm, тип IIa) ~ 2 %, остальные можно отнести к физическому типу Ia. Распределение по содержанию азота в В-форме имеет основной максимум на 25 % (см. рис. 5, б). Коэффициенты поглощения  $B_2$ -центров в спектрах достигают 55,6  $cm^{-1}$ , а у 72 % кристаллов типа Ia они > 2  $cm^{-1}$ . Содержания примеси водорода повышены у 47 % алмазов, коэффициент поглощения узкой линии на 3107  $cm^{-1}$  у них более 1  $cm^{-1}$ , но редко превышает 10  $cm^{-1}$  (4,5 % таких индивидов). Усреднённое значение по выборке составляет 2,3  $cm^{-1}$ .

Основные формы алмазов разновидности I характеризуются большим разбросом значений ИК-параметров. Среди октаэдров больше индивидов, обогащённых азотом, по сравнению с кристаллами переходных форм, ламинарными и округлыми ромбододекаэдрами этой разновидности. Концентрации примеси водорода в среднем повышены у ламинарных и округлых ромбододекаэдров и кубов. Сравнение кристаллов классов -2+1 и -1+0,5 мм показало близость анализируемых ИК-параметров. В среднем по содержанию суммарного азота, примеси азота в А- и В-форме, степени агрегации алмазы из отложений укугутской свиты ближе к таковым из верхних горизонтов тр. Нюрбинская (табл. 3).

Анализ распределения алмазов с данными свойствами в россыпи показал, что к северо-западу от тр. Ботуобинская выделяется участок, удалённый от карьера тр. Нюрбинская на 2,1–2,6 км, где доминируют средне- и малоазотистые кристаллы с пониженной степенью агрегации этой примеси. Алмазы участка ближе к кристаллам из кимберлитов верхних горизонтов тр. Ботуобинская (см. рис. 5, табл. 3).

Таким образом, проведёнными комплексными исследованиями установлено, что алмазы из отложений укугутской свиты обладают признаками, характерными для Накынского кимберлитового поля в целом [6]. К ним относятся: преобладание в сумме кристаллов октаэдрического и переходного габитусов, заметная доля ламинарных ромбододекаэдров разновидности I, низкая доля округлых додекаэдроидов, относительно высокое содержание алмазов с оболочкой разновидности IV, резкое преобладание камней с розово-сиреневым свечением, низкое содержание кристаллов с синне-голубой люминесценцией. Основная часть кристаллов ассоциации имеет средние концентрации примеси азота и среднюю степень агрегации этой примеси. По сравнению с верхними горизонтами трубок Нюрбинская и Ботуобинская для отложений укугутской свиты в среднем характерно более высокое содержание кристаллов класса -1+0,5 мм, чаще встречаются кристаллы с зелёными пятнами

пигментации и окраской «морская волна». По остальным параметрам алмазы укугутской свиты занимают промежуточное положение между трубками Нюрбинская и Ботуобинская.

Анализ распределения свойств алмазов укугутской свиты в россыпи позволили выявить следующее. На участке россыпи в пределах 1 км от тр. Нюрбинская среди алмазов свиты повышается (относительно показателей в пределах карьера трубки) доля кристаллов класса -2+1 мм на фоне пониженного содержания кристаллов < 1 мм. Здесь же, а также в отложениях в пределах карьера тр. Нюрбинская, наблюдается повышенное содержание кристаллов со скульптурами травления и индивидов с повышенной степенью агрегации примеси азота. Алмазы с такими параметрами свойственны дайке рядом с тр. Нюрбинская.

В отложениях укугутской свиты на расстоянии 2,1–2,6 км от тр. Нюрбинская и далее юго-западнее установлено постепенное снижение доли алмазов класса -2+1 мм и увеличение содержания кристаллов класса -1+0,5 мм вплоть до крайнего фланга россыпи в 4,2 км от тр. Нюрбинская. Участок в 2,1–2,6 км от тр. Нюрбинская находится ближе всего к тр. Ботуобинская и сопряжён с ней. Здесь зафиксированы увеличение доли ламинарных ромбододекаэдров разновидности I и индивидов с пониженным содержанием суммарного азота и степенью агрегации данной примеси, повышение степени сохранности алмазов, понижение доли окрашенных камней. По совокупности морфологических и оп-

тико-спектроскопических параметров алмазы данной части россыпи максимально близки к таковым из верхних горизонтов тр. Ботуобинская. Юго-западнее данной территории доля ламинарных ромбододекаэдров и осколков возвращается к прежнему уровню, повышается содержание окрашенных камней, увеличивается доля средне- и высокоазотистых индивидов с несколько повышенной степенью агрегации примеси азота. В целом с удалением от тр. Нюрбинская до крайнего юго-западного фланга россыпи в отложениях укугутской свиты наблюдаются планомерное снижение частоты встречаемости кристаллов октаэдрического габитуса, алмазов с высокой степенью прозрачности, повышение содержания камней с травлением и ожелезнением.

Выполненные исследования позволили определить закономерности размещения алмазов в осадочных отложениях. Распределение свойств алмазов укугутской свиты россыпи Нюрбинская имеет зональный характер, обусловленный образованием россыпи за счёт нескольких генетических источников. В то же время отмечаются признаки сортировки кристаллов в процессе осадконакопления. В результате комплексного анализа типоморфных свойств алмазов выделены ореолы распространения кристаллов из трубок Нюрбинская и Ботуобинская, установлены признаки поступления в осадочные отложения алмазов из мелких кимберлитовых тел даечного типа, что следует учитывать при планировании поисковых работ на данной территории.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В. П., Ефимова Э. С., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Атлас морфологии алмазов России. – Новосибирск : СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 2000. – 291 с.
2. Бокий Г. Б., Безруков Г. Н., Ключев Ю. А., Налетов А. М., Непша В. И. Природные и синтетические алмазы. – М. : Наука, 1986. – 221 с.
3. Граханов О. С. Рельеф погребённого карбонатного цоколя и его роль в формировании раннеюрской россыпи алмазов Средне-Мархинского района // Наука и образование. – 2009. – № 3. – С. 54–59.
4. Граханов О. С., Серов И. В. Древние россыпи ближнего сноса Средне-Мархинского алмазоносного района // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2009. – № 3. – С. 22–27.
5. Граханов С. А., Шаталов В. И., Штыров В. А., Кычкин В. Р., Сулейманов А. М. Россыпи алмазов России. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2007. – 457 с.
6. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Борис Е. И., Липашова А. Н. Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // Руды и металлы. – 1999. – № 3. – С. 18–31.
7. Квасница В. Н., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм микрокристаллов алмаза. – М. : Недра. – 1999. – 224 с.
8. Килижеков О. К., Толстов А. В. Закономерности образования и размещения промышленных россыпей алмазов в Накынском кимберлитовом поле (Якутская алмазоносная провинция) // Наука и образование. – 2017. – № 1 (85). – С. 12–20.
9. Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. – 2-е изд. – М. : Наука, 1984. – 264 с.
10. Соболев Е. В., Ленская С. В., Лисойван В. И. О пластинчатых образованиях в структуре природных ал-

мазов // Журнал структурной химии. – 1968. – Т. 9, № 6. – С. 1029–1033.

11. Толстов А. В., Килижеков О. К., Неустроев Р. Г., Гре-чишников Д. Н., Копылов Г. Н., Разумов А. Н., Яхин Ш. М. Особенности геологического строения, условий залегания и системы разведки погребённой россыпи алмазов Нюрбинская // Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения : материалы XIV Международного

совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. – Новосибирск, 2010. – С. 660–665.

12. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond // *Philosophical Magazine Part B*. – 1995. – V. 72. – pp. 351–361.
13. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond // *Philosophical Magazine Part B*. – 1994. – V. 69. – pp. 1149–1153.

## REFERENCES

1. Afanas'ev V. P., Efimova E. S., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. Atlas morfologii almazov Rossii [Atlas of morphology of diamonds in Russia], Novosibirsk, SO RAN, NITs OIGGM Publ., 2000, 291 p.
2. Bokii G. B., Bezrukov G. N., Klyuev Yu. A., Naletov A. M., Nepsha V. I. Prirodnye i sinteticheskie almazы [Natural and synthetic diamonds], Moscow, Nauka Publ., 1986, 221 p.
3. Grakhanov O. S. Rel'ef pogrebenного karbonatного tsokolya i ego rol' v formirovaniі ranneyurskoi rossypi almazov Sredne-Markhinskogo raiona [The relief of the buried carbonate basis and its role in the formation of the Early Jurassic diamond placer of the Middle Markha region], *Nauka i obrazovanie [The Education and Science Journal]*, 2009, No 3, pp. 54–59. (In Russ.).
4. Grakhanov O. S., Serov I. V. Drevnie rossypi blizhnego snosa Sredne-Markhinskogo almazonosnogo raiona [Ancient placers of the near demolition of the Middle Markhinsky diamondiferous region], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration]*, 2009, No 3, pp. 22–27. (In Russ.).
5. Grakhanov S. A., Shatalov V. I., Shtyrov V. A., Kychkin V. R., Suleimanov A. M. Rossypi almazov Rossii [Placers of diamonds in Russia], Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo "Geo" Publ., 2007, 457 p.
6. Zinchuk N. N., Koptil' V. I., Boris E. I., Lipashova A. N. Tipomorfizm almazov iz rossypei Sibirskoi platformy kak osnova poiskov almaznykh mestorozhdenii [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as the basis for the search for diamond deposits], *Rudy i metally [Ores and Metals]*, 1999, No 3, pp. 18–31. (In Russ.).
7. Kvasnitsa V. N., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. Tipomorfizm mikrokrystallov almaza [Typomorphism of diamond microcrystals], Moscow, Nedra Publ., 1999, 224 p.
8. Kilizhekov O. K., Tolstov A. V. Zakonomernosti obrazovaniya i razmeshcheniya promyshlennykh rossypei almazov v Nakynskom kimberlitovom pole (Yakutskaya almazonosnaya provintsiya) [Patterns of formation and placement of industrial diamond placers in the Nakyn kimberlite field (Yakutsk diamondiferous province)], *Nauka i obrazovanie [The Education and Science Journal]*, 2017, No 1 (85), pp. 12–20. (In Russ.).
9. Orlov Yu. L. Mineralogiya almaza. [Mineralogy of diamond.], Moscow, Nauka Publ., 1984, 264 p.
10. Sobolev E. V., Lenskaya S. V., Lisoivan V. I. O plastinchatykh obrazovaniyakh v strukture prirodnykh almazov [About lamellar formations in the structure of natural diamonds], *Zhurnal strukturnoi khimii [Journal of Structural Chemistry]*, 1968, V. 9, No 6, pp. 1029–1033. (In Russ.).
11. Tolstov A. V., Kilizhekov O. K., Neustroev R. G., Grechishnikov D. N., Kopylov G. N., Razumov A. N., Yakhin Sh. M. Osobennosti geologicheskogo stroeniya, uslovii zaleganiya i sistemy razvedki pogrebennoi rossypi almazov Nyurbinskaya [Features of the geological structure, bedding conditions, and the exploration system of the buried diamond placer Nyurbinskaya], *Rossypi i mestorozhdeniya kor vyvetrivaniya: sovremennye problemy issledovaniya i osvoeniya : materialy XIV Mezhdunarodnogo soveshchaniya po geologii rossypei i mestorozhdenii kor vyvetrivaniya [Placers and deposits of weathering crust: current problems of research and development: materials of the XIV International meeting on the geology of placers and deposits of weathering]*, Novosibirsk, 2010, pp. 660–665. (In Russ.).
12. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond, *Philosophical Magazine Part B*, 1995, V. 72, pp. 351–361.
13. Boyd S. R., Kiflawi I., Woods G. S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond, *Philosophical Magazine Part B*, 1994, V. 69, pp. 1149–1153.

## DIAMONDS FROM THE UKUGUT SUITE OF THE NYURBINSKAYA PLACER, NAKYN KIMBERLITE FIELD

**Kedrova T. V.** (senior researcher)

**Bogush I. N.** (PhD, leading researcher)

**Zinchuk N. N.** (PhD, Professor, Academician of the Academy of Sciences of Sakha Republic (Yakutia)),  
chief researcher

**Bardukhinov L. D.** (Head of laboratory)

**Lipashova A. N.** (senior researcher)

Research geological enterprise, ALROSA JSC, Mirny (Russia)

*Diamonds of the upper deposit of the Nyurbinsky placer have been studied. Mineralogical and optical-spectroscopic characteristics of diamonds from deposits of Ukugut suite are shown. Location patterns of diamonds with certain placer parameters have been revealed. The zonal mode of distribution for Ukugut suite diamond properties is established due to concentration peculiarities of material from different primary sources. At the same time, signs of crystal sorting as a result of sedimentation processes were recorded.*

*Key words: diamonds, placers, Nakyn kimberlite field.*



## Фрагменты из книги А. А. Константиновского «Далёкие голоса»

### ГРОЗНОЕ И ПРЕКРАСНОЕ

*Продолжение. Первую часть см. «Руды и металлы» № 1/2020*

Москва после 16 октября совсем опустела. Серая, холодная погода усиливала неуютное впечатление. Многие улицы ощетинились «ежами» – противотанковыми заграждениями. Во дворах и переулках на стенах домов чернели надписи огромными буквами: «Бомбоубежище», «Газоубежище». Город мне чем-то неуловимо напоминал полнотью облетевший осенний лес, приготовившийся к зиме. Во всём сквозило тревожное ожидание: войдут немцы или нет. Воздушные налёты следовали один за другим. Часто случалось, что, когда объявляли тревогу и начинали жутко завывать сирены, самолётов не было, а час спустя, когда по радио звучало: «Угроза воздушного нападения миновала, отбой», налетали бомбардировщики. Происходило это и ночью, и среди бела дня. Я насчитывал до восьми тревог только за день. Осколки от зенитных снарядов уже не были редкостью: те, что помельче, в изобилии валялись на железной крыше нашего дома, а более крупные пробивали её и падали на чердак. Кроме фугасных бомб, сверху летели и маленькие зажигательные. Их тушили в ящиках с песком дежурившие на крышах. Одна такая бомбочка с выпотрошенным нутром долго служила нам с братом копилкой для мелочи: у неё была удобная, плотно завинчивающаяся массивная крышка. Серебристый корпус легко стругался – полученная крошка вспыхивала от спички ослепительным огнём. После войны выяснилось, что «крышка» на самом деле была тупорылым головным взрывателем. А мы-то колотили им орехи!

Несмотря на частые налёты, разрушенных домов было не так уж много. Бомбили в основном заводские окраины. В центре города больше доставалось почему-то району Арбата и Замоскворечью. Каменные стены там во многих переулках были испещрены оспинами от осколков. Запомнился один жилой, наполовину разбомблённый дом. Он стоял на Моховой наискось от станции метро «Библиотека Ленина» вблизи особняка, заня-

того в то время музеем Калинина. Мы проходили с мамой мимо него и с ужасом услышали глухие крики заживо погребённых. Техники не было, и на горах битого кирпича, обломков стен и рухнувших перекрытий устало ковырялось несколько человек с кирками и ломками.

<...>

В убежище ходили только в начале регулярных налётов. Увидев первые разрушенные дома, мы поняли, что в неглубоких подвалах в случае прямого попадания ждёт братская могила, и на свой риск и страх, как и большинство москвичей, стали оставаться дома. В тёмное время надо было соблюдать светомаскировку. Для этого существовали специальные шторы из чёрной плотной бумаги, днём наматывающиеся на горизонтальную рейку. При малейшей щели, сквозь которую наружу проникал свет, со двора раздавался истошный, с матерщиной, крик бдительной дворничихи.

Лишь однажды мы не рискнули остаться дома: с вечера распространился слух, что ночью будет массированный налёт. Усталый после дежурства, Андрей остался, а нас мама повела укрыться на станцию метро «Маяковская». Вместе с массой людей спустились по неподвижному эскалатору на полутёмную станцию, где, по маминому выражению, «яблоку некуда было упасть». Пришлось вместе с новоприбывшими сойти по дощатому трапу на рельсы и двинуться вглубь слабо освещённого тоннеля. Однако и здесь «спальные» места между рельсами и чёрными стенами, выложенными тюбингами, были заняты. Люди на разостланных газетах и подстилках лежали вповалку, как в люльке, ногами к путям, головой к стенам. Место нашлось, только когда мы, протопав по шпалам с километр, очутились, вероятно, где-то под Пушкинской площадью либо под нашим домом.

Андрей веселился, выслушав рано утром всё это: бомбежки в ту ночь, несмотря на ясную погоду, вообще не было.



В считанные дни октября стало голодно. Воцарилась карточная система. Коммерческие магазины ещё работали, но мы в них не ходили – то ли из-за высоких цен, то ли из-за огромных очередей. Школы бездействовали, и днём мы были предоставлены самим себе. Слоняясь без дела по двору или унылому коридору нашей коммунальной квартиры, мы особенно остро чувствовали голод. Довоенные товарищи-одноклассники почти все эвакуировались, играть было не с кем. Во дворах осталась отборная шпана, особенно в нашей «Бахрушинке». В ходу у хулиганья были лезвия от безопасных бритв – так называемые «писки». <...> Их спутницы – развратные девчонки-малолетки с подпухшими глазами – тоже были вооружены. В дешёвых перстеньках у них были укреплены обломки бритвенных лезвий, и они тоже могли полоснуть наискось через всё лицо.

К счастью, оставался Волик, живший в одном из переулков Старого Арбата. Мы проводили время то у него, то у нас дома, играя в шашки, шахматы или на специально расчерченном листе в морской бой. Однажды он заинтриговал нас с Мишкой, сказав, загадочно посмеиваясь, что ждёт момента, когда начнут грабить продовольственные магазины: в очередях об этом упорно поговаривают. Я в свою очередь поделился своим планом: когда пойдёт грузовая трамвайная платформа, нагруженная мешками с мукой, то на крутом повороте у начала Тверского бульвара можно заранее поло-

жить на рельс толстую гайку. Платформу тряхнёт, и один из драгоценных мешков может свалиться наземь. Ну, а тут уж не зевать... Мечты голодных подростков!

В окрестностях Москвы остались неубранными поля, и горожане тайно (за это грозила тюрьма!) ездили по ночам выкапывать из-под снега картошку и свёклу. Наша самоотверженная мама сначала с Аликом, потом и одна не раз отправлялась на этот опасный промысел. К утру, валясь с ног от усталости, но счастливая добычей, она привозила в тяжёлом мешке картошку, сахарную свёклу, а если везло – кочан-другой замёрзшей, как бульжник, капусты. Насквозь замороженную картошку невозможно было сохранить впрок, она быстро портилась.

Поэтому мы наедались до отвала. До сих пор помню её сладковатый привкус. Оттаявшую сахарную свёклу мама резала дольками, как мармелад, и тушила на воде в кастрюльке. С ней пили чай и кофе: сахара практически не было. (Кстати, ароматный натуральный кофе я впервые испробовал именно в октябре, в начале голодного времени. Его хочешь не хочешь приходилось выкупать, так как этот далеко не первой необходимости продукт был почему-то включён в скудный карточный рацион. До войны из экономии мы пили только кофе «Здоровье» из желудей, жжёного овса и ещё чего-то дрянного, но безвредного для организма).

В то тревожное время к нам зачастил в гости дядя Гриша – неунывающий, бородатый, пузатый, с глазами навывкате, как у Синей Бороды на гравах Доре, эпикуреец и умница. Он приходился дядей по материнской линии маме, Алику с Мишей-старшим и Мухе – Григорий Владимирович Зубков, сын известного профессора Московского университета. В то время ему было около шестидесяти. Дядя Гриша был великий книголюб и по призванию философ. В соответствии с характером он предпочитал лёгкое чтение и обожал Дюма. До войны он, как человек азартный, много играл на бильярде и был завсегдатаем ипподрома (часто в компании с дядей Мишей). Когда случался хороший выигрыш, он накопил всякой всячины, и мама с Мушкой устраивали праздничное чаепитие. Усаживаясь в кресло, отдуваясь и пошучивая, он расправлял пышную бороду и заводил разговоры на самые различные темы. Нас с Галкой увлекали рассказы о приключенческих книгах его юности. Когда воспоминания о них дяде Грише

надоедали, он принимался учить нас шахматным дебютам, так как обычное начало игры тяготило нас своим однообразием.

С недавних пор разговоры пошли на серьёзные темы. Он клеймил советскую власть и, кипятясь, почти выкрикивал, что она разрушила православную веру, уничтожила настоящую интеллигенцию и разорила крестьян. Особенно доставалось НКВД: чуть ли не половину народу упрятали по тюрьмам и лагерям. Мама с Мушкой готовы были зажать ему рот и умоляли говорить тише. Однажды, когда мы случайно оказались вдвоём, он уселся в своё любимое облезлое кресло и стал доказывать мне, как взрослому, страшную суть революции. Октябрьская, говорил он, в упор разглядывая меня своими выпуклыми глазами, в точности повторила все фазы Великой французской: переворот, передел частной собственности в форме грабежа, заманчивые звонкие лозунги, затем захват власти кучкой наиболее активных и – казни, казни, казни... Сначала царской семьи (у французов – королевской), потом самих революционеров, своих недавних сподвижников, а там уж сочувствующих и ни в чём не повинных. Незнакомое слово «узурпация» и крылатое высказывание о Сатурне, пожирающем своих детей, я услышал впервые от дяди Гриши именно в том давнем разговоре.

Произнося накипевшее в душе, он сердито вращал глазами, шевелил седыми косматыми бровями, сопел. Логика была железной. Он заставил меня ещё больше усомниться в светлом предзнаменовании советского строя. Вскоре дядюшка поднялся и ушёл восвояси, оставив меня глубоко озадаченным.

По вечерам разговоры такого рода возобновлялись с новой силой. На возможный приход немцев дядя Гриша, к моему ужасу и стыду, смотрел положительно: цивилизованный, работающий народ, они сметут деспотический, кровавый и насквозь лживый режим. Говоря всё это, он испытующе, исподлобья поглядывал на Андрея. Тот отмалчивался либо сумрачно возражал. Мушка бегала между ними взад и вперёд по комнате и кипятилась: «Немцы – культурные люди, в этом нечего сомневаться!» Мама молчала, но я знал, что она поддерживает Андрея. Алик колебался. Но однажды дядя Миша своим беспечным высоким голосом запальчиво ляпнул, что уж лучше работать под властью трудолюбивых и любящих порядок немцев, чем терпеть произвол НКВД и за здорово живёшь про-

пасть в концлагере или сгнить в тюремной камере. Выражение лица его при этом было как у обиженного и решившегося высказать всю правду ребёнку. Он добавил, что считает официальную пропаганду о немецких зверствах враньём. Это положило конец Аликиным сомнениям. Он возмутился, и братья чуть было всерьёз не поссорились. Как и мама с Андреем, Алик в неприятии сталинского режима был солидарен с дядей Гришей, но тем не менее все трое не допускали и мысли о жизни в оккупации.

В тот вечер дядя Гриша решил разрядить обстановку. Он принёс из дому гитару, загадочно позвенел струнами, настраивая, сделался серьёзен и вдруг, к моему удивлению, запел неожиданно высоким и чистым голосом: «Позарастили стёжки-дорожки, где проходили милого ножки, позарастили мохом-травой, где мы гуляли, милый, с тобою...». Аккомпанировал он себе мастерски. Мама под села к роялю, быстро подобрала мелодию и запела вторым голосом. Я был поражён и песней, и совместным звучанием гитары с роялем.

Все в молчании уселись за стол и призадумались в тёплом свете низко висящего абажура, позванивая чайными ложечками в стаканах с кипятком, – размешивали сахарин. Дядя Гриша в одиночестве допел песню, закрыл пухлой ладонью струны. Внезапно раздумчивое, доброе выражение его лица изменилось, и он зло, с затаённой болью, выдохнул в пространство:

– Забыли, сукины дети, со своей пропагандой родные песни!

В самом деле, только недавно, с осени, открылся нам с братом чудный мир русских народных песен: раньше их попросту не было слышно. Мы узнали имена таких певцов, как Лемешев и Михайлов. Видно, о патриотизме и славной старине власть вспомнила, лишь когда прижало. Толчком-разрешением, как я теперь думаю, послужило известное обращение Сталина к народу третьего июля сорок первого года: «... Пусть защищает вас в этой войне мужественный образ наших великих предков» – вождь перечислил полководцев, начиная с Александра Невского.

С осенью сорок первого неразрывно связались у меня в памяти и новые по тому времени песни, созвучные грозной поре. Особенно «Вставай, страна огромная, вставай на смертный бой!» Её необыкновенная мелодия, мощное хоровое исполнение и мрачно-торжественный ритм, тя-

жёлый и мерный, как неотвратимое возмездие, хватали за душу. <...> Почти такое же действие имела песня про оборону Москвы с мужественным и отрывистым, как марш, мотивом:

...Не смять богатырскую силу,  
Могуч наш заслон огневой,  
Мы выроем немцам могилу  
В туманных полях под Москвой!

Мы не дрогнем в бою  
За столицу свою,  
Нам родная Москва дорога.  
Нерушимой стеной,  
Обороной стальной  
Разгромим, уничтожим врага!

Алику эти песни нравились. Я чувствовал, хотя он не признавался. Врождённая насмешливость не давала ему покоя: «Может ли ярость быть благородной? Можно ли обороной стальной разгромить врага?» – не раз спрашивал он меня.

Эвакуация из Москвы продолжалась, но Андрей у себя на работе в МОГЭСе отказался отправить нас в тыл. Нам он объяснил свой отказ тем, что уверен, что Москву немцам не взять. (А ведь фронт проходил в то время в 30–40 километрах от города. Откуда Андрей черпал уверенность?)

\* \* \*

28 октября оказалось для нас днём второго рождения. Я помню его в мельчайших деталях. Переждав очередную тревогу, мы побывали в «Детском мире» на Арбате, и мама купила Мишке обещанное пружинное ружьёцо со стрелкой. После обеда застелили вместе с Галкой и братом стол байковым одеялом и сыграли несколько партий в азартные «блшки» – разноцветные костяные пластинки, круглые и прямоугольные, пришедшие к нам из давнего мамино детства. Потом большой компанией собрались в кино на картину «Антон Иванович сердится». Фильм шёл в «Метрополе» на Театральной площади. Но посмотреть его нам было не суждено.

Из дому вышли втроём: мама, Мишка и я. Муха с Галкой задерживались и должны были догнать нас (Андрей, как всегда, дежурил на работе.) Было около четырёх часов пополудни, проглянуло солнце. Мы бодро шагали вниз по улице Горького, Мишук временами скакал вприпрыжку, как козлик. У коммерческого диетического магазина напро-



тив Центрального телеграфа вытянулась огромная очередь, заполнившая весь широкий тротуар. Мы прошли до её хвоста, когда вдруг забухали зенитки, хотя объявления тревоги не было. Прохожие стали задирать головы и заволновались: «Вон он, вон он!» Я посмотрел в небо над высоким зданием телеграфа, но увидел только сплетение антенн и проводов, скреплённых крестовинами, похожими на маленькие самолётики. Это явно было не то. В толпе росло возбуждение, все показывали руками. Но я так и не успел рассмотреть: мама резко бросила нас с Мишкой на тротуар, пронзительно крикнув окружающим: «Ложись!» Однако никто не лёг. Наоборот, люди уставились с недоумением. Я стал подыматься...

И тут страшно грохнуло. Казалось, лопнуло небо. Землю под нами сильно трянуло. В вихре пыли ударил в нос знакомый уже острый запах взрывчатки. Мама потом говорила, что она за городским шумом услышала свист падающей бомбы, а грохот взрыва ей почему-то показался похожим на треск резко раздираемого брезента. В момент взрыва она и Мишук лежали плашмя слева от меня, я невольно загородил их, начав приподниматься над асфальтом. На нас надвигался встречный пешеход – высокий мужчина. На его лице застыло удивление при виде того, как мы распластались на тротуаре.



В следующий миг, когда всё потонуло в чудовищном грохоте, его швырнуло ударной волной назад, он упал навзничь и судорожно забил ногами. Мы лежали оглушённые. Солнце на какое-то время померкло. Сверху сыпались оконные стёкла, куски земли, камней и асфальта. Я почти ничего не слышал – в ушах стоял страшный звон.

Мы вскочили на ноги и вместе с немногими уцелевшими панически кинулись под арку рядом с магазином «Сыр», уводящую в Георгиевский переулок. Я бросил взгляд на того мужчину. Он, видимо, был убит наповал – первая смерть на моих глазах. Из-под неподвижного тела на серый асфальт быстро расплзлась лужица крови. Кругом валялись тела.

С первых же шагов я почувствовал неладное: что-то постороннее тупо давило на левую лопатку, будто к ней через одежду прижимали нагретую сковороду. Я догадался, что ранен. Тут же промелькнула дурацкая мысль: «Лётчик не виноват. Он не специально. Идёт война!» – видимо, сказывалась агитация дяди Гриши и Мушки. Когда мы вбежали под арку, я спросил маму, нет ли дырки у меня на спине в зимнем пальтишке. Отрывисто дыша, она на ходу ответила, что не видит. В следующий миг страшно грохнуло второй раз где-то поблизости, и сверху снова хлынули стекла. Мне показалось, что началось светопреставление, сей-

час начнут рушиться многоэтажные каменные громады.

Нас было человек десять. Пробежав арку, свернули налево к тыльной стороне магазина и увидели открытую служебную дверь. Тут грохнуло в третий раз. Все, как обезумевшее стадо, ворвались в неё и ринулись вниз, под каменные своды в спасительные глубины и сумрак. Однако нас остановил человек в рабочем халате и направил в подвал подсобки напротив. Я почувствовал, что лопатка мокнет, и снова попросил маму посмотреть дырку. На этот раз она увидела её.

Косясь на небо, броском пересекли узкий проезд и с облегчением спустились в подвал. Открылась невесёлая картина. Сюда уже успели притащить часть пострадавших, со всех сторон слышались крики и стоны. <...> Мне стало нехорошо, голова кружилась. Я снял кожаную шапку-ушанку, машинально ощупал затылок и вдруг обнаружил громадную кровотокающую шишку. Шапка на сгибе оказалась пробитой – зияло двойное отверстие с рваными краями. Мама в этот момент нагнулась к Мишухе: стёкла порезали ему ногу... Бедная наша мама!

Дальнейшее помнится смутно. К бомбоубежищу подали крытую полторку и погрузили раненых. Нас с братцем посадили в кабину. Мамы не было видно, и я занервничал. Шофер успокоил:

«Там она, в кузове». Машина тронулась. С забинтованной головой я сначала чувствовал себя героем и бодро посматривал по сторонам. Когда выехали из арки на улицу Горького, шофёр неожиданно резко сказал мне, чтобы я не смотрел направо, а только в его сторону. Не понимая, в чём дело, я подчинился. Ведь там, куда хотелось посмотреть, недавно стояла огромная очередь и остался лежать убитый на моих глазах мужчина. Два года спустя я понял, почему так резко распорядился шофёр. В этих дворах жил мой одноклассник Колька Взнуздаев. Сразу после взрыва, пока не оцепили, он выбежал на улицу и увидел, что очередь в диетический была превращена в месиво, а вдоль тротуара стекал ручей крови. Напротив вышибленной центральной двери магазина посредине улицы чернела широкая воронка. <...>

Колька рассказал и о двух других бомбах, упавших сразу после нашей. Одна угодила в портал Большого театра, повредив Аполлона с его четвёркой бронзовых коней и вызвав жуткую панику в ЦУМе – Центральном универмаге, рядом. Другая упала на Неглинную улицу, тоже напротив скопления людей у входа в магазин.

Много позже я понял, что у «нашей» бомбы угол разлёта осколков практически равнялся 180 градусам – они во многих местах перебили тротуарный камень, поразили лежащих вроде меня, уничтожили стоящих в очереди и оставили внушительные выбоины на стенах от первого до последнего этажа окружающих высоких домов. Бомба, стало быть, разорвалась, едва коснувшись головным взрывателем асфальта. Такие взрыватели «без колпачка», как объяснил нам десять лет спустя преподаватель на занятиях по военному делу в университете, ставят не на фугасные, а только на осколочные бомбы и снаряды для поражения живой силы противника. Иными словами, «наша», а может быть, и две остальные бомбы вовсе не предназначались для разрушения крупных объектов. Немецкий лётчик не промазал по Телеграфу, как мы тогда думали, а прицельно положил бомбы по местам скопления людей, чтобы вызвать панику.

\* \* \*

Машина свернула налево к Охотному Ряду. Я временами, видимо, терял сознание. Помню, пришёл в себя на Садовой у клиники Склифосовского: шофёр осторожно тряс меня. Но нас не приняли:

клиника была переполнена. Сильно болели спина и затылок, но приходилось держаться и сидеть прямо: откинуться на спинку сиденья я не мог. Мы поехали куда-то в сторону Колхозной площади. Я смотрел на холодный закат и, отвернувшись от Мишухи, беззвучно плакал.

Принял нас областной клинический институт – МОКИ, на Второй Мещанской. Раненых, в том числе и меня, уложили на низенькие носилки на полу в приёмном покое (помню, как неприятно поразило впервые услышанное слово «покой»), и началось долгое тревожное ожидание. Наконец погрузили на каталку и привезли в операционную. Там я увидел хирурга Николая Ильича Соколова, имени которого никогда не забуду. Приступая к операции, он приободрил меня, назвал Александром Македонским и заговорщически подмигнул. Я стал меньше бояться, но настораживали рукава его белого халата, почти до локтей красные от крови. Видно, немало работы было у него в этот злополучный день.

Осколок, попавший мне в убойное место под левую лопатку, обнаружить не удалось – требовался рентген. А из затылка, покончив со спиной, Николай Ильич быстро извлёк и бросил на простыню перед моим носом небольшой кусочек металла, шутливо заметив: «Сохрани детям на память!»

Ночь после операции была тяжёлой. Всё болело, повязка стягивала грудь и не давала дышать, к тому же вскоре промокла. В палате потусторонним светом горела синяя лампочка, за плотно зашторенными окнами то и дело принимались выть сирены и ожесточённо лупили зенитки, отчего содрогались стёкла. Дежурившая возле моей кровати молоденькая медсестра с длинной косой дремала на стуле (как я потом узнал, её приставил ко мне на ночь Николай Ильич, так как опасался, что осколок проник в грудную клетку).

К утру рентгеновский аппарат наладили, и меня повезли на снимок. Я ничего не подозревал о возможных серьёзных последствиях и с обидой думал о сердитой женщине-рентгенологе, которая безжалостно и плотно прижала больное плечо к столу, когда включали аппарат. Получив мокрый ещё снимок, она быстро прошла с ним к окну и стала разглядывать на просвет. Я на всякий случай замер в ожидании. «Слава богу!» – воскликнула эта неласковая врачиха с явным облегчением. И показала: угловатый осколок оказался не в груди, а сидел в мякоти левого плеча. На дымчатом фоне

он выделялся прозрачным окошечком. Женщина неожиданно весело смотрела на меня: «Будешь жить. Ранение-то касательное! – Тут она заметила у меня на плече вздувшийся пузырь ожога и снова взглянула на снимок. – Так вот от чего ожог! А мы-то с Николаем Ильичом вчера гадали... Осколок изнутри прожёт! Ну, это пустяки. Он тебе его на перевязке вытащит».

Маму с Мишкой Николай Ильич в нарушение инструкций распорядился оставить на ночь в больнице: транспорт не ходил, налёт следовал за налётом. Позвонить домой не удалось, и бедный Андрей сходил с ума: Муха с Галкой не сомневались, что нас накрыла бомба. Они шли следом и видели взрыв: чёрный столб мгновенно заполнил широкую улицу и взметнулся много выше высокого здания Центрального телеграфа.

В МОКИ (он при мне превратился в военный госпиталь) я пробыл месяц. Суровая была пора: Москва висела на волоске, её непрерывно бомбили. Транспорт не ходил, но мама почти каждый день приходила ко мне, добираясь пешком через безлюдный город и прячась по дороге от патрулей в подъезды или подворотни после сигналов воздушной тревоги.

Из страшных эпизодов вспоминается кончина пожилого человека с исхудавшим лицом, ввалившимися неподвижными глазами и крупными мозолистыми руками. Его привезли на каталке и положили на соседнюю с моей койку. Он попал кряду под две бомбы. При разрыве первой на заводском дворе его тяжело ранило в грудь и живот. Вторая бомба в ближайшую же ночь угодила в больницу. Изувеченного, его едва вытащили из-под завалов. Старый рабочий прожил после этого недолго. Хрипел и всё просил меня хоть слегка разрезать ему залубневшие от засохшей крови бинты: трудно дышать. На вторую ночь меня разбудили его стоны. Я позвал дежурную сестру, но она только безнадежно развела руками. Рано утром ему пытались сделать переливание крови, но дело не заладилось, где-то были закупорки, и поздно вечером Николай Иванович умер. При свете неизменной синей лампочки и пушечном громе его длинное тяжёлое тело переложили на каталку и увезли.

Запомнился еще политрук, про которого фронтовики, посмеиваясь, втихомолку говорили, что он слишком долго кричал «За Родину, за Сталина!», поднимая над головой гранату. В результате она разорвалась в его руке. Несчастный был так изранен,



что его нельзя было бинтовать. Он лежал на простыне обнажённым, забинтована была лишь культи правой руки. От гибели его спасла каска. Над койкой был укреплен каркас, покрытый одеялами, а внутри, как в тесной палатке, горели лампочки для обогрева. Оттуда тянуло лекарствами и ещё чем-то, от чего становилось страшно.

Начав поправляться, я стал замечать красивых медсестёр (впрочем, они почти все казались мне тогда красивыми). Кроме девушек из постоянного персонала, к нам на этаж приходили стайками студентки-практикантки, очаровательные в своих белых халатах и шапочках. Они не раз принимались участливо расспрашивать меня об обстоятельствах ранения, и я страшно конфузился, отвечая, в то время как сердце радостно пело: меня заметили! Во время перевязок я млел от прикосновений их быстрых пальцев, не подавая виду, терпел боль и замирал, когда в заключение они иной раз гладили меня по голове. Я быстро привязывался, и потому бывало горько до слёз, когда они навсегда исчезали из виду. А происходило это часто: после практики их прямым ходом отправляли на фронт, грохотавший уже в дачной местности. Это окружало моих избранниц героическим ореолом и усиливало неизъяснимое томление: я страдал от очередного расставания и невозможности идти вместе с ними на подвиг, туда, где совершалось самое главное.

С передовой поступало много раненых, и на нашем этаже почти не осталось гражданских. Прибывающие вносили оживление – держались в основном молодецки, с фронтовым шиком. Мы с радостью узнавали, что немцев можно с успехом побеждать, что страх первых месяцев войны прошёл. Крутясь среди них, я наслушался, как «давали прикурить» фрицам возле Истры и Крюкова (фронт в конце ноября проходил между станциями Фирсановка и Сходня Октябрьской железной дороги), как приходилось самим драпать, о горе-танках Т-26, насмешливо прозванных «Прощай, Родина!» за слабую броню, о девушках-связистках, медсёстрах. <...> Помню, рассказывал кто-то о друге, умиравшем на его глазах в медсанбате. Того окружили медсёстры: «Плохо тебе, миленький?» – и раненый прохрипел, стараясь напоследок улыбнуться: «Да я среди вас как в раю!»

Мне нравился весёлый молодой боец. Оставшись без руки, он не унывал, всюду ухаживал за медсёстрами и вообще за женским персоналом, балагурил, научился ловко скручивать «козью ножку», зажигать спичку и прикуривать без посторонней помощи. Расспросив меня о бомбе у Центрального телеграфа, погубившей особенно много людей, он бодро заключил: «Значит, Сашок, тебе с братом на руду смерть от огня не написана. Долго жить будете!» Он всегда что-нибудь тихо мурлыкал. <...> Но иногда становился задумчив и тогда запевал новые песни, которые мы недавно услышали по радио: про золотой огонёк или про оставленную в тылу девушку. До сих пор звучит в памяти его совсем юношеский голос: «Второй стрелковый храбрый взвод теперь моя семья, привет-поклон тебе он шлёт, моя любимая!»

Обе песни навек связались с тревожными ночами, тусклой синей лампочкой палаты, грохотом зениток, перевязками, улыбками медсестёр – госпиталем МОКИ незабываемого сорок первого.

\*\*\*

Впереди была ещё долгая война: разгром немцев и наше долгожданное наступление под Москвой, беспросветный, мертвящий мрак и холод первой военной зимы с её коптилками, жалкими дровами, дымными печками-буржуйками прямо на изрубленном паркете и – настоящий голод. Он пришёл на смену хоть и страшной, но всё же чем-то живой, насыщенной событиями поре бомбё-

жек, когда ещё оставались рядом мужчины и когда можно было раздобыть хоть какую-то еду. Умерла от дистрофии пожилая дальняя родственница – тётя Аида Благова, пришла весть о героической гибели Миши Ястребова под Сухиничами 23 января сорок второго года и его посмертном награждении орденом Ленина. Мы попрощались с ним тогда, в конце октября, выходит, навсегда. Никогда не забуду его незащищённый, по-детски открытый взгляд... Машура, Мишина старшая сестра, недавно вспомнила поразившие её слова, невзначай сказанные братом, когда он прощался на пороге дома перед отправкой на фронт: «Я знаю, что меня убьют, а вы будете жить...».

В марте призвали Алика. Он прошёл ускоренное обучение в Горьком, храбро сражался в составе 3-й танковой армии генерала Рыбалко, дважды форсировал Днепр, после освобождения Киева и Фастова был тяжело ранен – война для него окончилась. Два ордена получил уже в госпитале.

Той же весной вскоре после призыва Алика угодил в больницу с крайним истощением Андрей: у него опухли, как колоды, обе ноги. Но и находясь там, пошучивал: «Бороду не сбрею, пока союзники не откроют второй фронт!» После выпски, не вынеся мук голода, он добровольно ушёл воевать и попал в армию того же славного Рыбалко. Войну закончил среди цветущих майских садов Праги после лихого марш-броска на танковой броне.

Бились как рыба об лёд мама с Мушкой. Спасая нас от голода, они, кроме основной службы, подрабатывали чем придётся, были даже пожарниками. Всю войну ради донорских карточек сдавали кровь, а однажды нужда заставила обеих согласиться на роль подопытных кроликов. В особой лаборатории проверяли действие новых боевых отравляющих веществ, отчего у обеих на теле остались страшные рубцы. В летнюю пору ещё совсем не старые сёстры громко стучали по тротуарам тяжёлыми деревянными подмётками босоножек с грубым брезентовым верхом – копиями средневековых французских сабо и прообразами современных «платформ», а за городом щеголяли в галошах на босу ногу или просто босиком. Летом с мешком на перевязи, зимой с самодельными салазками мама в одиночку, иногда со мной отправлялась в небезопасные странствия по дальним деревням – менять остатки одежды на продукты. По весне сажали картошку (точнее, обрезки с «глазками») – то в пар-

ке на территории клиники на Девичьем поле, где много лет работала Мушка, то на глинистых ко-согорах среди безжизненных пустырей и свалок железного лома за Калужской заставой. С появлением первой зелени пробуждались новые надежды. До сих пор помню отвратительный вкус супа из лебеды, который заедали крошачимися лепёшками из кофейной гущи и перетёртых в муку высушенных картофельных очисток...

Незадолго до конца войны открылась ужасающая правда о немецких лагерях смерти. Дядя Гриша поначалу отказывался верить: сталинская агитка. Потом под давлением фактов поник своей большой и умной головой.

Но пришёл наконец замечательный день 9 мая 1945 года, когда по радио загредел торжествующий бас Левитана – войне конец, мир!

Поздним вечером вчетвером с мамой, подростком за годы войны Мишуткой и моим одноклассником Колей Рожновым, прошедшим горнило работы подростком на военном заводе, мы впервые вольно шли вместе с толпами ошалевшего от небывалой радости народа прямо посередине улицы Горького вниз к Охотному Ряду, через место падения «нашей» бомбы и беспрестанно, до хрипоты, кричали «ура!»... Мы выжили, мы дожили до казавшейся несбыточной, недостижимо далёкой Победы!

Страшная битва между Сциллой и Харибдой закончилась. Но смягчения жестокого режима многострадальный народ не дождался. Всё осталось попрежнему. И всё-таки: какая была грозная и...



прекрасная пора! Она отступает, уходит всё дальше. Новые события постепенно заслоняют свершившееся под Москвой осенью сорок первого. Остаются только песни того времени да глубокие выбоины от осколков на каменных стенах старых домов.

## Об авторе



*Александр Александрович Константиновский родился 30 ноября 1930 г. в Воронеже. После окончания географического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова работал в Таджикистане, Приамурье, в Алданской и Колымской экспедициях Всероссийского аэрогеологического треста, участвовал в среднemasштабной геологической съёмке (Южное Верхоянье, хребет Джугджур, Приколымье, хребты Момский и Черского). Внёс существенный вклад в изучение стратиграфии и тектоники названных районов. С 1972 г. работает в ЦНИГРИ.*

*В 1991 г. А. А. Константиновский защитил докторскую диссертацию, посвящённую геолого-генетическим основам поисков месторождений алмазов и золота на территории бывшего СССР. Опубликовал более 70 научных работ. Его имя хорошо известно специалистам в нашей стране и за рубежом.*

Иллюстрации В. Ю. Козловой



14 июля 2020 г. исполнилось 70 лет **Андрею Фёдоровичу Морозову**, крупному организатору геологической службы России, заместителю руководителя Федерального агентства по недропользованию, заслуженному геологу Российской Федерации.

Около тридцати лет назад Андрей Фёдорович Морозов, специалист с университетским образованием (выпускник геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (1973)), кандидат геолого-минералогических наук (1979), плодотворно трудившийся в Полярно-Уральской геологоразведочной экспедиции ПГО «Полярноуралгеология», принял решение посвятить себя работе в системе управления государственной геологической службой – в аппарате Мингео СССР, затем Комитета Российской Федерации по геологии и использованию недр, Министерства природных ресурсов России, Роснедр. Сегодня коллеги сравнивают многогранную деятельность Андрея Фёдоровича с искусством дирижёра симфонического оркестра, который спокойно выполняет свою миссию – так, что кажется, будто музыка рождается сама собой.

Спектр вопросов, решение которых Андрей Фёдорович Морозов успешно курирует на протяжении многих лет, необычайно широк: проведение региональных геолого-геофизических и геолого-съёмочных работ, гидрогеологических и инженерно-геологических съёмок, работ специального геологического назначения, научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ, а также автоматизация и информатизация геологической отрасли.

Важнейший аспект его деятельности – сопровождение заявки Российской Федерации на установление внешней границы континентального шельфа в Северном Ледовитом океане в Комиссии по границам континентального шельфа ООН и соответствующей её подкомиссии. Результаты 52-й сессии данной подкомиссии в марте 2020 г., на которой А. Ф. Морозов представил подготовленные под его руководством материалы батиметрических исследований, позволяют надеяться на положительное решение вопроса об изменении внешней границы континентальной окраины, благодаря чему в Северном Ледовитом океане Россия может обрести за пределами 200-мильной исключительной зоны территорию общей площадью 1,2 млн км<sup>2</sup> с прогнозными ресурсами углеводородного сырья – от 5 до 10 млрд т условного топлива.

Значителен вклад А. Ф. Морозова в организацию международного научно-технического сотрудничества. Одно из направлений этой работы – проведение ежегодных рабочих встреч с представителями геологических служб России, Дании, Канады, Норвегии и США по арктической проблематике. В течение многих лет при его активном участии реализуются международные геологические проекты «Европроба», ведётся приграничное сотрудничество в области геологического изучения стран СНГ, Монголии и Китая, благодаря чему российские геологические предприятия и институты получили доступ к новым зарубежным технологиям и геологической информации. Высокий уровень признания российской научной школы в международных геологических организациях подкреплён работами, которые выполняются в рамках межправительственных соглашений при методическом руководстве Андрея Фёдоровича. В их числе – создание тектонических карт Азии и интеграция в национальную и международную геолого-картографическую информационную системы, в частности, в проект создания динамической геологической карты Мира «One-Geology».

В течение многих лет Андрей Фёдорович Морозов организует региональные геолого-геофизические и геолого-съёмочные работы, участвует в последовательном формировании государственной политики в области региональных геологических исследований территории страны и её арктического шельфа. Он инициировал создание в 1992 г. Ассоциации руководителей геолого-съёмочных предприятий и вместе с коллегами сумел внедрить в практику геолого-съёмочных работ компьютерные технологии, обеспечить переход на новую концепцию геолого-съёмочных и картосоставительских работ в России, создать современную научно-методическую основу для составления и подготовки к изданию

комплектов государственных геологических карт нового поколения масштабов 1:1 000 000–1:200 000, решить множество вопросов технического и технологического перевооружения предприятий. В трудные годы на рубеже веков Андрею Фёдоровичу Морозову удалось сохранить сеть федеральных унитарных геолого-съёмочных предприятий, акционерных обществ и обществ с ограниченной ответственностью как основу геологической службы Российской Федерации, и сегодня эти организации решают сложнейшие задачи по составлению Государственной геологической карты нашей страны.

Андрей Фёдорович всегда берёт на себя ответственность за развитие наукоёмких, перспективных направлений в работе отечественной геологической службы. Освоение и внедрение во всех ведомственных геологических организациях систем ГИС ПАРК, ArcInfo/ArcGis, которые позволяют обрабатывать геологическую информацию и формировать геоинформационные пакеты – гигантский проект, осуществлённый благодаря его постоянной поддержке и железной воле. А. Ф. Морозов с коллегами обеспечил компьютеризацию всех видов геологического производства – от полевых работ и наблюдений, аналитических исследований, прогнозных и геологических построений до формирования и приёмки конечной геолого-картографической продукции и геологических отчётов. Под его непосредственным руководством разработана и в 2020 г. запущена в эксплуатацию федеральная государственная информационная система «Единый фонд геологической информации о недрах», позволяющая потребителям получать доступ к оцифрованной геологической информации, находящейся на хранении в геологических фондах, с использованием современных информационно-телекоммуникационных технологий.

Андрей Фёдорович Морозов всемерно способствует внедрению принципов проектного управления при проведении работ по развитию государственного мониторинга подземных вод и государственного геологического информационного обеспечения, включая цифровизацию недропользования. Так, благодаря его настойчивости в 2019 г. обеспечено проведение комплексного геологического обследования в районе возникновения оползня в долине р. Бурея.

Большое внимание Андрей Фёдорович уделяет развитию детско-юношеского геологического движения России. Продолжатель известной российской династии геологов, он понимает, насколько важна такая работа для прихода в профессию талантливой молодёжи. Именно благодаря его многолетним усилиям движение сохранилось в сложные годы на рубеже веков, расширилось и в настоящее время насчитывает свыше 100 организационных структур более чем в 50 регионах России. Постоянно повышается статус проводимых Роснедрами геологических олимпиад, которые стали международными, число их участников неизменно растёт.

Андрей Фёдорович Морозов – автор свыше 300 научных публикаций. Он главный, ответственный редактор, соавтор целого ряда научно-методических руководств (общегеологической, минерагенической, компьютерного сопровождения, поисковой и других серий) и аналитических обзоров (по региональной геологии, строению земной коры, минерагеническому потенциалу недр России и др.) – более сотни книг, которые стали настольными для геологов, в первую очередь съёмщиков и поисковиков, а также востребованы научными сотрудниками, преподавателями вузов, студентами.

Многолетняя плодотворная работа Андрея Фёдоровича Морозова отмечена высокими государственными и ведомственными наградами и званиями, среди которых Орден Почёта, орден «За морские заслуги», звание «Заслуженный геолог РФ», знаки «Почётный разведчик недр», «Отличник разведки недр», «Первооткрыватель месторождения», почётный знак «За отличие в службе» и многие другие.

Учёный совет ЦНИГРИ и редколлегия журнала сердечно поздравляют Андрея Фёдоровича Морозова с юбилеем и желают крепкого здоровья и неизменного успеха во всех начинаниях, неисчерпаемой энергии и радостных, счастливых событий, украшающих жизнь!



31 июля 2020 года исполнилось 65 лет доктору геолого-минералогических наук **Галине Карленовне Хачатрян**, крупному российскому специалисту в области инфракрасной спектроскопии алмаза.

Более тридцати лет ведущий научный сотрудник ЦНИГРИ Галина Карленовна Хачатрян изучает минералогию месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. В ЦНИГРИ она работает с 1981 г., со времени окончания аспирантуры на кафедре минералогии МГУ им. М. В. Ломоносова и защиты кандидатской диссертации.

В начале 1980-х гг. сотрудники ЦНИГРИ вели комплексные исследования кристалломорфологических и физико-химических свойств алмазов, и Галина Карленовна внесла значительный вклад в данную работу, показавшую, что алмазы разных месторождений различаются по распределению

примесей азота и водорода в кристаллах и эти особенности можно использовать при прогнозе и поисках алмазных месторождений. Открытие Г. К. Хачатрян и её коллег защищено тремя авторскими свидетельствами СССР на изобретения.

Исследования Галины Карленовны Хачатрян хорошо известны российской и зарубежной научной общественности. Она опубликовала результаты более 90 научных работ в отечественных и зарубежных журналах, неоднократно выступала с докладами на международных конференциях, является соавтором трёх монографий, а также методических рекомендаций, оптимизирующих решение задач прогноза и поисков месторождений алмазов. С момента открытия первых алмазоносных трубок в Архангельской области Галина Карленовна заинтересовалась проблемой типоморфизма алмазов Восточно-Европейской платформы. При её активном участии разработано методическое руководство по комплексному исследованию алмазов, созданы атласы по минералогии алмазов Урала и Архангельской области, подготовлен отчёт по подсчёту запасов месторождения им. М. В. Ломоносова. Совместно со специалистами АК «АЛРОСА» Г. К. Хачатрян провела комплексные исследования типоморфизма алмазов Сибирской платформы.

Анализ обширных данных распределения оптически-активных центров в кристаллах алмаза позволили Галине Карленовне Хачатрян выявить типоморфизм алмазов из различных алмазоносных провинций, кимберлитовых полей, отдельных трубок в пределах кимберлитового поля, а также особенности различных морфологических разновидностей и классов крупности кристаллов из одного месторождения. Материалы её докторской диссертации «Азот и водород в алмазах мира как индикаторы их генезиса и критерии прогноза и поисков коренных алмазных месторождений» помогают существенно развить представления о минерации алмаза.

В последние годы Галина Карленовна занимается разработкой и внедрением метода ИК-спектроскопии в практику исследований пород и руд месторождений благородных и цветных металлов. Она создала уникальный каталог эталонных спектров минералов для ИК-Фурье микроскопа и разработала принципиально новую экспресс-методику диагностики минералов в шлихах, позволяющую повысить чувствительность и достоверность анализа шлиховых проб, значительно расширить возможности шлихо-минералогического метода поисков рудных месторождений.

Галина Карленовна очень доброжелательный, интеллигентный человек, обладает прекрасным чувством юмора, её уважают и любят коллеги.

Редколлегия журнала «Руды и металлы» сердечно поздравляет Галину Карленовну Хачатрян с юбилеем и желает ей отличного здоровья и семейного благополучия, уникальных объектов будущих исследований и новых открытий!



07.01.1948 – 12.06.2020

12 июня 2020 года скончался член Общественного совета Роснедр, министр природных ресурсов в 1999–2001 гг., Геолог с большой буквы – **Борис Александрович Яцкевич**.

Б. А. Яцкевич родился в 1948 г. В 1972 г. окончил геологический факультет Воронежского государственного университета. В том же году был направлен в качестве молодого специалиста в Ухтинскую геологоразведочную экспедицию Ухтинского территориального геологического управления Коми АССР, где прошёл трудовой путь от старшего техника до главного геолога Полярно-Уральского производственного геологического объединения.

Основная часть производственной и научной деятельности Б. А. Яцкевича была связана с поисками и разведкой бокситов Варыквинской группы месторождений Среднего Тимана в Республике Коми. При его непосредственном участии было открыто Восточное месторождение бокситов. Разработанная Б. А. Яцкевичем модель геологического строения самого сложного в группе Верхне-Щугорского месторождения бо-

кситов была положена в основу подсчёта запасов, которые были в дальнейшем успешно защищены в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых.

В 1985 г. во Всесоюзном научно-исследовательском геологическом институте им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ) Б. А. Яцкевич защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук «Условия формирования и критерии прогнозирования девонской сублатеритной формации Среднего Тимана». Разработанные в ней научные положения определили стратегию работ на бокситы в регионе в конце 80-х – начале 90-х гг. При непосредственном участии Б. А. Яцкевича в 1986–1987 гг. было открыто Парнокское месторождение марганца на Приполярном Урале.

В 1990 г. Б. А. Яцкевич был приглашён на работу в Государственный комитет РСФСР по геологии и использованию топливно-энергетических и минерально-сырьевых ресурсов на должность начальника отдела геологии твёрдых полезных ископаемых и региональных работ. С 1992 г. Борис Александрович занимал должность заместителя председателя Комитета по геологии и природным ресурсам РФ, преобразованного в последующем в Комитет РФ по геологии и использованию недр Министерства экологии и природных ресурсов РФ.

В 1996 г. Борис Александрович был назначен статс-секретарем – первым заместителем министра во вновь образованном Министерстве природных ресурсов Российской Федерации. В качестве статс-секретаря Минприроды участвовал в разработке основополагающих нормативных правовых актов, регулирующих отношения в сфере недропользования и воспроизводства минерально-сырьевой базы России, в том числе Закона о недрах и Положения о порядке лицензирования пользования недрами.

В 1999 г. Борис Александрович был назначен министром природных ресурсов Российской Федерации.

В 2000 г. под руководством Б. А. Яцкевича Правительством Российской Федерации была разработана и утверждена Государственная программа геологического изучения арктического шельфа Российской Федерации, реализация которой завершилась заявкой России в комиссию ООН по расширению шельфа в Арктике более чем на 1,5 млн км<sup>2</sup>.

В 2000–2001 гг. по инициативе Б. А. Яцкевича было проведено беспрецедентное техническое перевооружение геологоразведочных предприятий государственной геологической службы. В результате многие направления геологоразведочных работ в России стремительно нарастили эффективность и компетенции и занимают теперь передовые позиции в мире. В это же время к празднованию 300-летия горно-геологической службы России по инициативе Бориса Александровича и с участием практически всех геологических предприятий России была осуществлена глубокая реконструкция здания Геолкома России на Васильевском острове в Санкт-Петербурге – предмета гордости и символа российской геологической службы.

В должности первого заместителя министра, затем министра природных ресурсов Российской Федерации в соответствии с принятой в то время практикой Б. А. Яцкевич возглавлял совет директоров ОАО «Лензолото». Добыча золота обществом в этот период выросла с 1,5 до 11 т в год.

За годы трудовой деятельности Б. А. Яцкевич был отмечен различными наградами: в 1996 г. – благодарностью Правительства Российской Федерации; в 1997 г. – званием «Почётный разведчик недр»; в 1999 г. – знаком «Шахтёрская слава» 3-й степени; в 2000 г. – памятным нагрудным знаком «За заслуги в изучении недр Республики Коми», юбилейной медалью «За заслуги в разведке недр Приморского края», знаком «Шахтёрская слава» 2-й степени, медалью «300 лет немецко-русского сотрудничества в горном деле»; в 2001 году – почётным знаком им. В. Н. Татищева «За пользу отечеству» и премией Правительства Российской Федерации. В 2001 г. за работу (в соавторстве) «Экзогенная золотоносность и платиноносность Российской Федерации – комплект карт» Б. А. Яцкевичу присуждена премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники. В 1995 г. Б. А. Яцкевич избран действительным членом (академиком) Международной академии минеральных ресурсов. С 1998 г. Б. А. Яцкевич – действительный член Академии горных наук. В 2020 г. награждён памятным знаком Роснедр в честь 75-летия Победы в Великой Отечественной войне.

Федеральное агентство по недропользованию выражает глубокое соболезнование родным, друзьям, коллегам и близким покойного. Мы помним его как блестящего геолога, эрудита, энергичного, конструктивного реформатора, внимательного и заботливого Человека.





5.08.1950 – 21.05.2020

21 мая 2020 года скоропостижно скончался **Борис Константинович Михайлов**, государственный советник Российской Федерации 2-го класса, крупный специалист в вопросах развития экономических механизмов модернизации минерально-сырьевого сектора России, один из ведущих геологов нашей страны. Борис Константинович возглавлял ЦНИГРИ в 2012–2015 гг. и до последнего дня продолжал сотрудничать с нашим институтом.

Заслуженный геолог РФ (2005 г.), лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники (2007 г.), Почётный разведчик недр, Борис Константинович Михайлов был незаурядным человеком. Его многолетний и плодотворный труд был отмечен медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени и многими отраслевыми наградами.

Выпускник Новосибирского государственного университета, геолог Борис Константинович Михайлов накапливал профессиональный опыт, работая в составе геолого-геофизических экспедиций в разных регионах страны (в Магаданской, Оренбургской областях), в Центральной геофизической экспедиции Северо-Восточного территориально-

го геологического управления, где прошёл путь от молодого специалиста до главного геолога. В 1992 г. Борис Константинович был назначен главным геологом, затем начальником отдела региональных геолого-геофизических, гидрогеологических и геоэкологических работ Северо-Восточного комитета по геологии и использованию недр «Севвостгеолком». В общей сложности он проработал в Магаданской области и на Чукотке почти 30 лет.

Профессионализм Бориса Константиновича Михайлова, талант организатора, умение решать сложные вопросы сделали его очень востребованным специалистом. В 1997–1999 гг. он – геолог филиала компании BHP Group Resources Pty. Ltd., затем геолог проекта представительства фирмы BHP Minerals International Exploration Inc.

В 1999 г. Борис Константинович работал в аппарате Комитета природных ресурсов по Магаданской области МПР РФ в должности заместителя председателя – начальника отдела, затем заместителя руководителя Комитета.

В 2001 г. он был назначен начальником отдела геолого-экономических и стоимостных оценок Управления стратегического планирования МПР РФ, затем – начальником Управления минерально-сырьевых ресурсов МПР РФ.

2004–2012 гг. – период его напряжённой и плодотворной работы в Федеральном агентстве по недропользованию: Б. К. Михайлов возглавлял Управление геологии и лицензирования твёрдых полезных ископаемых, затем – Управление геологии твёрдых полезных ископаемых. Одновременно он занимался научными исследованиями и в 2010 г. успешно защитил диссертацию «Развитие экономических механизмов модернизации минерально-сырьевого сектора России на инновационной основе».

В 2012 г. геолог с сорокалетним стажем, опытный руководитель, кандидат экономических наук Борис Константинович Михайлов принял руководство над Центральным научно-исследовательским геологоразведочным институтом цветных и благородных металлов и оставался директором ЦНИГРИ до 2015 г. В сложный период жизни института он смог усилить практическую значимость научных исследований и развить новые направления работ.

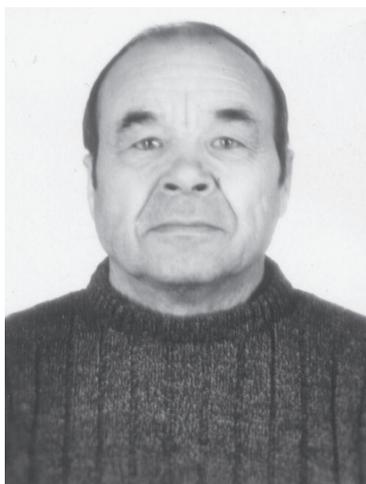
Борис Константинович – инициатор и автор многих ключевых проектов в российской геологии в XXI веке: широкомасштабной переоценки ресурсного золоторудного потенциала Магаданской области на основе изучения большеобъёмных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах; разработки и внедрения в практику ГРП научно-методического сопровождения; системного геолого-экономического и стоимостного анализа крупных регионов России; программно-целевых принципов планирования ГРП и др.



Широчайшая эрудиция Бориса Константиновича, его неординарные организаторские способности, умение правильно выбрать приоритетные направления в области планирования геологоразведочных работ различных стадий и любовь к геологии снискали ему заслуженный авторитет и уважение среди геологов нашей страны и за рубежом. Настоящий профессионал, он всю свою жизнь до последнего дня отдал геологии. Его практические достижения и идеи совершенствования геологической отрасли нашли отражение во многих производственных отчётах, научных трудах, фундаментальных докладах на международных геологических конгрессах, конференциях, заседаниях в МПРИЭ РФ и Роснедрах.

Нам трудно представить, что нашего друга и соратника нет больше с нами. Коллектив ЦНИГРИ выражает глубокие соболезнования родным, друзьям и коллегам Бориса Константиновича Михайлова.





4.04.1938 – 4.05.2020

Ушёл из жизни **Черемисин Алексей Аркадьевич**, старший научный сотрудник отдела геолого-экономической оценки месторождений и апробации прогнозных ресурсов, кандидат геолого-минералогических наук, крупный специалист в области геологии, прогнозирования и оценки месторождений и рудопроявлений благородных и цветных металлов, а также алмазов.

Алексей Аркадьевич начал работать в ЦНИГРИ в 1968 г. Он изучал закономерности размещения и условий локализации оруденения многих месторождений на территории Российской Федерации, Йемена, Марокко. Был ответственным исполнителем многих работ по комплексной геолого-экономической оценке месторождений и рудных районов России – Урала, Читинской, Иркутской и Амурской областей, Республики Бурятия; соавтором металлогенической карты Урала по золоту масштаба 1:1 000 000.

Алексей Аркадьевич принимал активное участие в работах для федеральных нужд по геолого-экономическому сопровождению объектов ГРП на твёрдые полезные ископаемые, разработке инвестиционных

проектов геологического изучения перспективных объектов благородных металлов и других твёрдых полезных ископаемых в пределах первоочередных минерально-сырьевых центров экономического развития.

Он был участником и ответственным исполнителем работ, связанных с технико-экономической оценкой многочисленных рудных месторождений благородных и цветных металлов на территориях Ямало-Ненецкого АО, Республики Бурятия, Республики Саха (Якутия), Урала, многих крупных и уникальных месторождений, в том числе золоторудного месторождения Сухой Лог (Иркутская область). В числе его работ геолого-экономическая оценка крупного медно-порфирового месторождения Песчанка (Чукотский АО), полиметаллических Холоднинское и Озёрное (Республики Бурятия), золоторудного месторождения Клён (Чукотский АО), свинцово-цинкового месторождения Сардана (Якутия), медно-никелевого месторождения Вуручайвенч (Мурманская область) и многих других.

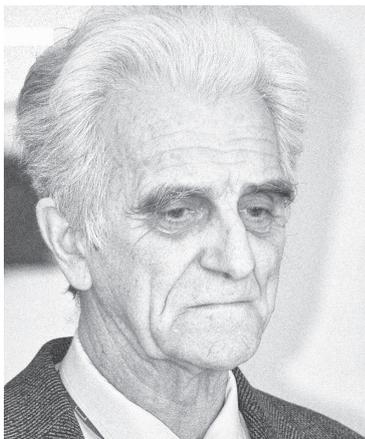
Долгие годы Алексей Аркадьевич Черемисин работал внештатным экспертом Государственной комиссии по запасам, оказывая помощь при представлении материалов по вопросам методики разведки, разработки параметров разведочных кондиций и подсчёта запасов.

Большое значение он уделял такому важному делу, как обучение молодых кадров. Обладая глубокими знаниями, Алексей Аркадьевич стремился передавать молодым геологам свой опыт по всему спектру особенностей геологоразведочного процесса в области прогнозирования, поисков и изучения геологического строения месторождений, оценки прогнозных ресурсов и подсчёта запасов. Он постоянно помогал начинающим специалистам.

Алексей Аркадьевич Черемисин внёс заметный вклад в укрепление минерально-сырьевой базы России. Результаты его научных исследований отражены более чем в 50 публикациях.

За успешный труд и активное участие в деятельности института А. А. Черемисин награждён медалями «В память 850-летия Москвы», «Ветеран труда», знаками «Отличник разведки недр», «Почётный разведчик недр», юбилейным знаком «300 лет горно-геологической службы России», почётной грамотой Мингео СССР.

Алексей Аркадьевич Черемисин прожил яркую жизнь настоящего Геолога, его отличали глубокая человечность, подлинная интеллигентность, жизнелюбие, оптимизм. Алексей Аркадьевич навсегда останется в нашей памяти как высокий профессионал, светлый и жизнерадостный человек.



12.01.1934 – 16.07.2020

16 июля 2020 года после тяжёлой и продолжительной болезни ушёл из жизни ветеран ЦНИГРИ **Борис Яковлевич Вихтер**, кандидат геолого-минералогических наук, крупный специалист в области металлогении, поисков и оценки месторождений золота.

Более 50 лет Борис Яковлевич работал в ЦНИГРИ и до последнего времени, уже находясь на заслуженном отдыхе, поддерживал отношения с коллегами и принимал участие в научной деятельности института.

После окончания Московского института цветных металлов и золота Б. Я. Вихтер в течение трёх лет работал в Октябрьской экспедиции 1-го Главного управления Мингео СССР, где занимался поисками месторождений радиоактивного сырья на территории Алданского щита. В 1961 г. он пришёл работать в ЦНИГРИ.

В первые годы работы в институте основным направлением научной деятельности Б. Я. Вихтера стало изучение закономерностей размещения полиметаллических и золоторудных месторождений Северного Кавказа. Итогом этих исследований явилась защита в 1969 г. кандидатской диссертации «Развитие герцинского интрузивного магматизма Урупо-Лабинского района (Сев. Кавказ) в связи с его золотоносностью».

В течение многих лет Борис Яковлевич активно занимался изучением закономерностей размещения золоторудных месторождений Средней Азии, исследовал геологические и металлогенические особенности Афганистана, в результате чего были разработаны критерии прогноза и поисков месторождений благородных металлов для геологических условий различных районов, определены направления ГРП. Выполненные Б. Я. Вихтером исследования обеспечили разработку геолого-генетических моделей золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах, что способствовало успешному решению прогнозно-поисковых задач.

В дальнейшем Б. Я. Вихтер был ответственным исполнителем исследований Уральской золоторудной провинции (Северный, Приполярный, Полярный Урал, Тиман). Он стал одним из авторов прогнозно-металлогенической карты масштаба 1:500 000 этого региона, на которой намечены основные направления ГРП на цветные и благородные металлы для территорий ХМАО, ЯНАО, Республики Коми.

С 2002 г. Б. Я. Вихтер участвовал в выполнении базовых проектов ГРП Роснедр, обеспечивал подготовку материалов по выбору объектов для включения в Программы ГРП Роснедр по Уральскому и Кавказскому регионам. Он осуществлял научно-методическое сопровождение прогнозно-поисковых и прогнозно-оценочных работ на золоторудных объектах этих регионов, которые были направлены на локализацию и оценку прогнозных ресурсов, разрабатывал рекомендации по определению целесообразности и первоочередным направлениям ГРП на выявление и локализацию прогнозных ресурсов стратегических ТПИ.

Результаты полевых исследований и научных изысканий Б. Я. Вихтера нашли отражение во многих отчётах, методических руководствах, статьях, докладах на конференциях, монографиях.

В последние годы Борис Яковлевич был прикован к постели, но продолжал принимать участие в конференциях, ежегодно проходящих в ЦНИГРИ, с заочными докладами, публиковал научные статьи.

В Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов коллеги хранят память о Борисе Яковлевиче Вихтере.



13.01.1939 – 5.07.2020

На 82 году жизни скончалась **Алла Георгиевна Воларович**, ветеран ЦНИГРИ, автор эффективных методов регистрации геологических данных, позволивших повысить качество, объективность и производительность документационных работ при изучении и разведке рудных месторождений.

Алла Георгиевна работала в институте с 1957 года и в течение многих лет (1963–1985 гг.) вела оригинальные исследования по фотодокументации геологоразведочных работ на золоторудных месторождениях различных типов. Она участвовала в создании единой системы работы с керном и руководила фотодокументационными работами на Мурунтауской глубокой скважине. Ею проведена документация важнейших месторождений России, Казахстана, Киргизии и обоснованы принципиальные предпосылки практического использования крупномасштабных геологических фотоснимков с учётом их разрешающей возможности. Эти разработки легли в основу её кандидатской диссертации. Алла Георгиевна – автор монографии «Методика геологической фотодокументации золоторудных месторождений».

В 1980-е годы результаты исследований по применению фотометода в ходе предварительной и детальной разведки золоторудных месторождений различных промышленных типов позволили Алле Георгиевне составить Методические рекомендации, утверждённые Министерством геологии СССР и внедрённые производственными геологическими организациями.

В 1989 году Алла Георгиевна Воларович стала заведующей музея ЦНИГРИ «Руды благородных, цветных металлов и алмазов» и сумела вдохнуть в него новую жизнь, расширив коллекции и создав оригинальную музейную экспозицию. Она была не только знатоком многих золоторудных объектов, но и увлечённым коллекционером минералогических редкостей, которые передала в музейный фонд. Её энтузиазм вдохновлял коллег, также даривших свои полевые сборы музею института. Человек творческий, разносторонне одарённый, интеллигентный, необыкновенно эрудированный, Алла Георгиевна любила музейную работу: тщательно вела документацию о дарителях рудного материала, создавала небольшие изящные выставки, приуроченные к различным событиям в жизни института, с удовольствием встречала посетителей музея, необычайно живо и интересно умела рассказать о каждом экспонате. Она дарила людям радость. И память об Алле Георгиевне Воларович живёт в сердцах коллег.

*Дирекция, учёный совет, профком,  
коллектив ЦНИГРИ*