

# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 2–3 / 2025

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

## УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии  
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский  
геологоразведочный институт  
цветных и благородных металлов

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:  
А.И.Иванов

Е.А.Наумов (зам. главного редактора),  
Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),  
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),

Е.М.Аксенов, А.Н.Барышев, А.И.Варламов,  
С.С.Вартанян, В.Д.Конкин, А.А.Кременецкий,  
С.Г.Кряжев, М.И.Логвинов, Г.А.Машковцев,  
И.Ф.Мигачёв, А.И.Черных, А.Ю.Розанов,  
Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,  
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов, Г.К.Хачатрян

## Содержание

### ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

*Гермаханов А. А.*  
Основные результаты геологоразведочных работ на  
твёрдые полезные ископаемые в 2024 году и задачи  
на 2025 год ..... 3

### МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Кряжев С. Г., Двуреченская С. С., Окулов А. В.,  
Федак С. И.*  
Золото-медно-скарновое оруденение Баранчинской  
площади (Горный Алтай) ..... 21

*Степанов В. А., Мельников А. В.*  
Позднемеловое оруденение и магматизм Софийского  
золотоносного узла ..... 40

### МИНЕРАГЕНИЯ

*Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Серавина Т. В.,  
Иваненкова Е. В.*  
Структурно-формационное и металлогеническое  
районирование Большого Алтая ..... 50

### ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

*Шатилова Л. В., Позднякова Н. Н., Столяренко В. В.,  
Минаева С. В.*  
Особенности структуры и морфологии самородного  
золота Верхне-Якутского потенциального рудно-  
го поля ..... 61

Редакция: *Т. М. Папеско, А. П. Фунтикова*  
Компьютерная верстка: *А. Д. Юргина*

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования 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»

Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации  
№ 01217 от 03 июня 1992 г.

Подписано в печать 24.06.2025

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

Телефон: (495) 315-43-65, доб. 272. E-mail: [ogeo@tsnigri.ru](mailto:ogeo@tsnigri.ru)

Сайт: <https://www.tsnigri.ru/ru/info/zhurnal-otchestvennaya-geologiya>

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

## Основные результаты геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые в 2024 году и задачи на 2025 год

**Аннотация.** Проведён анализ результатов геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые, выполненных в 2024 г. на территории Российской Федерации как за счёт средств федерального бюджета, так и за счёт средств недропользователей. Определены задачи на 2025 г.

**Ключевые слова:** минерально-сырьевая база, лицензирование, недра, прирост запасов, твёрдые полезные ископаемые.

ГЕРМАХАНОВ АСЛАМБЕК АСХАТОВИЧ, заместитель руководителя Федерального агентства по недропользованию  
Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), г. Москва

## The principal results of geological exploration for solid mineral resources in 2024 and the planned activities for 2025

A. A. GERMAHANOV

The Federal Subsoil Resources Management Agency, Moscow

**Annotation.** Analysis is performed for the results of geological exploration for solid minerals in the Russian Federation in 2024, funded by both the federal sources and miners. The activities for 2025 are planned.

**Key words:** mineral base, licensing, subsoil resources, reserves growth, solid minerals.

Работа Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) совместно с Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды) позволяет России поддерживать ведущие места в мире по запасам ряда твёрдых полезных ископаемых (ТПИ). На территории Российской Федерации находятся 229 видов твёрдых полезных ископаемых, и содержатся они в более чем 15 100 месторождениях твёрдых полезных ископаемых. На рис. 1 показана роль минерально-сырьевого комплекса России и отражено отчётливое представление о тех полезных ископаемых, добыча которых надёжно обеспечивает нашу национальную безопасность на мировом рынке сырья (золото, медь, МПП, никель и др.).

По ключевым видам сырья мы традиционно находимся в мировых лидерах и наши позиции только укрепляются. Во многом это обеспечива-

ется современными разработками стратегии реализации государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» (ГП «ВИПР»), заложенными в Стратегии развития МСБ России до 2035 г. и, с её доработкой с учётом ряда поручений Президента, в Стратегии развития МСБ России до 2050 г.

Бюджетное финансирование геологоразведочных работ (ГРР) на ТПИ 2024 г. по ГП «ВИПР» осуществлялось в рамках двух программ: комплекса процессных мероприятий (КПМ) и первого этапа Федеральной программы «Геология: возрождение легенды» (ФП «ГВЛ-1»). Структура финансирования приведена на рис. 2.

В 2024 г. геологоразведочные работы на твёрдые полезные ископаемые за счёт средств федерального бюджета выполнялись почти на всей территории России (за исключением Южного ФО),

### Состояние минерально-сырьевой базы ТПИ России



Рис. 1. Положение РФ в запасах и добыче ведущих видов ТПИ (по данным за 2023 г.)

наибольшее количество объектов расположено в Дальневосточном и Сибирском федеральных округах. Основной исполнитель – АО «Росгеология»; работы на отдельных объектах выполнялись АО «Алроса» ПАО, ОАО «УГСЭ». Продолжено исполнение обязательств перед МОМД по изучению полезных ископаемых дна Мирового океана (в Атлантическом и Тихом океанах).

Всего в 2024 г. ГРП на ТПИ по Госпрограмме «ВИПР» на сухопутной части России проводились на сорока двух объектах (27 по КПП и 15 по ФП «ГВЛ-1»), в том числе на двадцати одном завершающемся, одиннадцати переходящих и десяти новых объектах. Из них работы на дефицитные виды сырья проводились на двенадцати объектах (на одном завершающемся, пяти переходящих и четырёх новых).

В структуре финансирования 2024 г. на ГРП по ГП «ВИПР» (КПП и ФП «ГВЛ-1») в сухопутной части РФ, в сумме составляющего 4,42 млрд руб., большая часть бюджетных затрат – 3,05 млрд руб. – приходилась на объекты КПП, в том числе на завершённые в 2024 г. – 0,99 млрд руб., на переходящие объекты – 1,34 млрд руб., на новые –

1,61 млрд руб. Затраты на завершение объектов ФП «ГВЛ-1» составили 1,38 млрд руб. Финансирование изучения полезных ископаемых дна Мирового океана составило 1,5 млрд руб. (см. рис. 2).

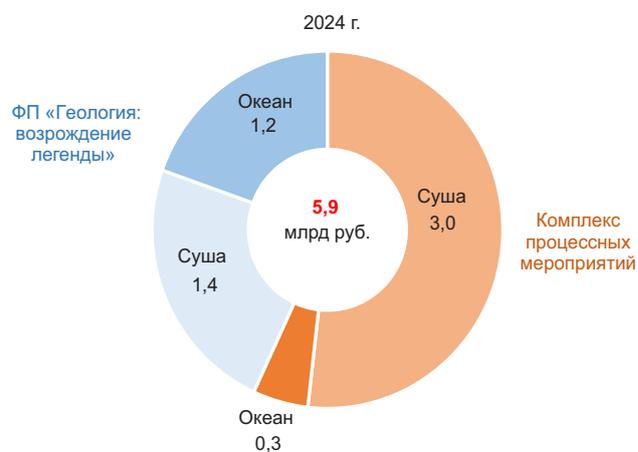


Рис. 2. Структура финансирования ГРП на ТПИ в 2024 г. по ГП «ВИПР»



Рис. 3. Структура бюджетных затрат на проведение ГРП на ТПИ в 2024 г. по ГП «ВИПР» в сухопутной части РФ

Распределение финансирования ГРП в 2024 г. по видам ТПИ, а также по федеральным округам отражено на рис. 3. Следует отметить, что 19 % всех бюджетных ассигнований приходилось на ГРП в Арктической зоне РФ (АЗРФ), в которую в том числе входит северная часть Сибирского и Дальневосточного федеральных округов.

Геологоразведочные работы в 2024 г. за средства федерального бюджета в основном были направлены на высоколиквидные стратегические полезные ископаемые – благородные и цветные металлы, доля которых в общем объёме финансирования 2024 г. составила 55 % (см. рис. 3). При этом на долю дефицитных видов ПИ приходилось всего 34 % от общего финансирования.

Из двадцати семи объектов, изучаемых в рамках КМП, по шести ГРП были завершены в 2024 г. (рис. 4).

Из шести завершённых объектов в рамках КМП два объекта завершены досрочно по независящим от результатов ГРП причинам: в связи с расширением границ ООПТ (Герасимовский, золото, Приморский край) или неполучением разрешительных документов Министерства лесного комплекса (Мэдэский, марганец, Иркутская область).

В рамках I этапа ФП «ГВЛ-1» работы завершились на всех пятнадцати объектах этого проекта (рис. 5): на золото и серебро – по восьми объектам, на цветные металлы – по четырём объектам, на чёрные металлы – по одному объекту и на неметаллические полезные ископаемые – по двум объектам. На шести объектах проводились оценочные работы с подсчётом запасов кат.  $C_1$  и  $C_2$ , а на девяти объектах – поисковые работы с оценкой прогнозных ресурсов кат.  $P_1$  и  $P_2$  (см. рис. 5). Завершены ГРП на объектах «ГВЛ-1» достаточно успешно – задания по приросту прогнозных ресурсов и балансовых запасов для большей части ТПИ выполнены (рис. 6, табл. 1).

Как следует из табл. 1, по большей части видов ТПИ получен суммарный прирост запасов и прогнозных ресурсов, близкий иликратно превышающий ожидаемые показатели. Бюджетная эффективность реализованных проектов составила 185 млрд руб.

Результаты, наиболее близкие к предусмотренным в Т(Г)З, получены на следующих объектах: золото – Делянكيرская площадь (Республика Саха (Якутия)), Шамейская площадь (Свердловская область); серебро – Депутатская площадь (Республика Саха (Якутия)); медь, цинк – Южно-Подольская площадь (Республика Башкортостан), бентонитовые глины – Устиновская площадь (Приморский край).

По результатам завершившихся в 2024 г. поисковых работ, на Делянكيرской площади установлена минерализованная зона протяжённостью 8,0 км<sup>2</sup>, в пределах которой выделены два золоторудных проявления – Красивое и Тунгусское (рис. 7). Рудопроявления представлены жильно-прожилковыми зонами золото-кварц-малосульфидной минерализации, мощность которых достигает 30 м. Выявленные содержания золота варьируют от 1,7–1,8 до 2,8–5,4 г/т. По Делянكيرской площади апробированы ПР золота кат.  $P_1$  – 22,77 т (ср. сод. 2,3 г/т) и кат.  $P_2$  – 92,45 т (ср. сод. 3,5 г/т), итого:  $P_1 + P_2$  – 115,22 т золота (ср. сод. 3,6 г/т), что отвечает потенциально крупному золоторудному объекту с достаточно высокими

# КПМ ГП

27 объектов

в т.ч. на дефицитные ПИ – 10 объектов

Стоимость работ 2024 г.

**3,05** млрд руб.

в т.ч. на дефицитные ПИ – 1,4 млрд руб.  
 АЗРФ – 0,6 млрд руб.  
 ДВФО – 2,3 млрд руб.

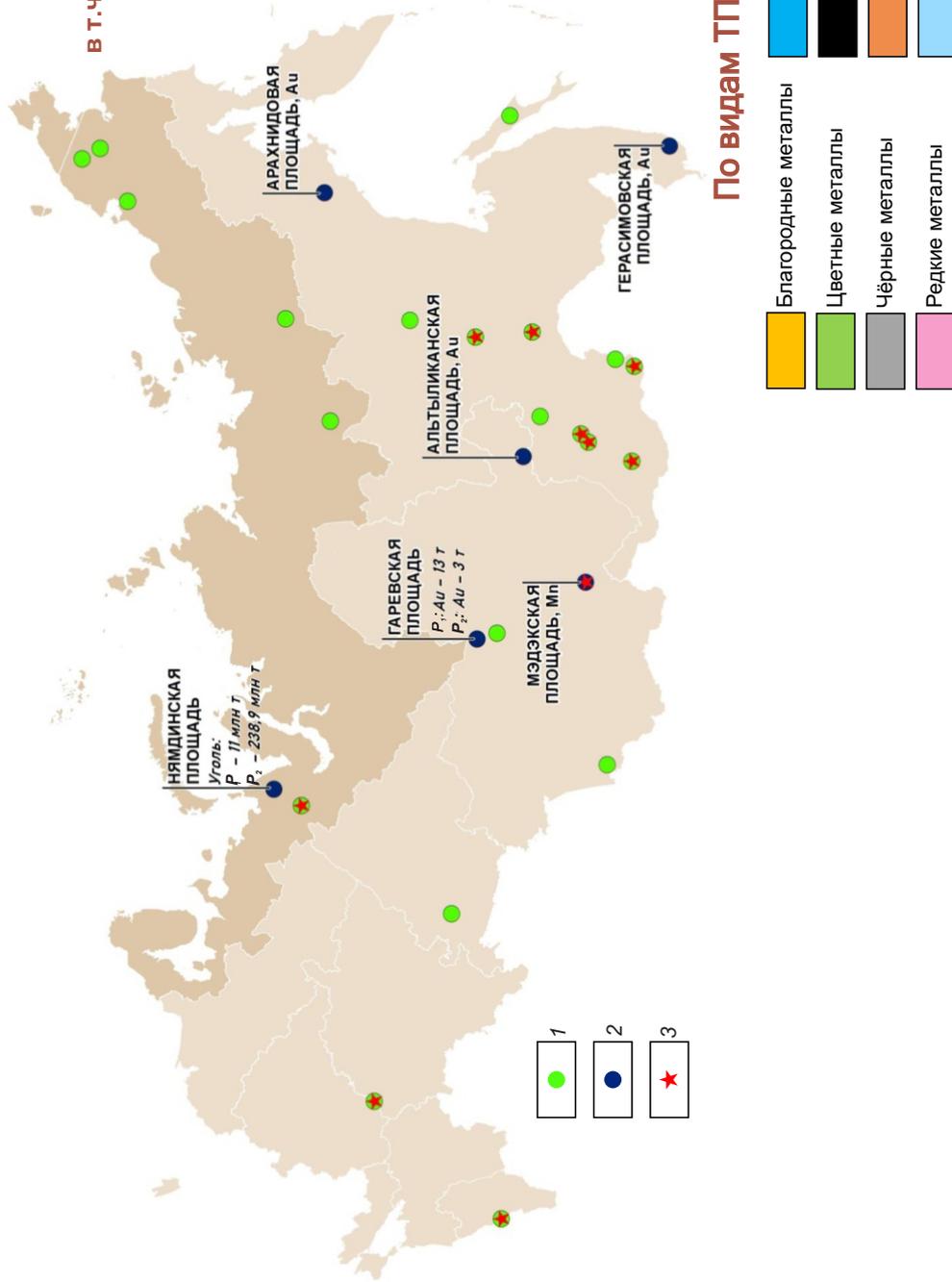


Рис. 4. Объекты ГРР на ТПИ в рамках КПМ в 2024 г.: объекты: 1 – переходящие на 2025 г. (21 объект), 2 – завершённые в 2024 г. (6 объектов), 3 – на дефицитные ПИ (10 объектов)

# ФП «ГВЛ-1»

## 2022–2024 гг.

Количество объектов

### 15 объектов

в т.ч. на дефицитные ПИ – 2 объекта

## Стоимость Госконтрактов

### 4,2 млрд руб. (ежегодно – 1,4 млрд руб.

в т.ч. на дефицитные ПИ – 0,3 млрд руб.

АЗРФ – 0,88 млрд руб.

ДФФО – 1,83 млрд руб.

Бюджетная эффективность

### 185 млрд руб.

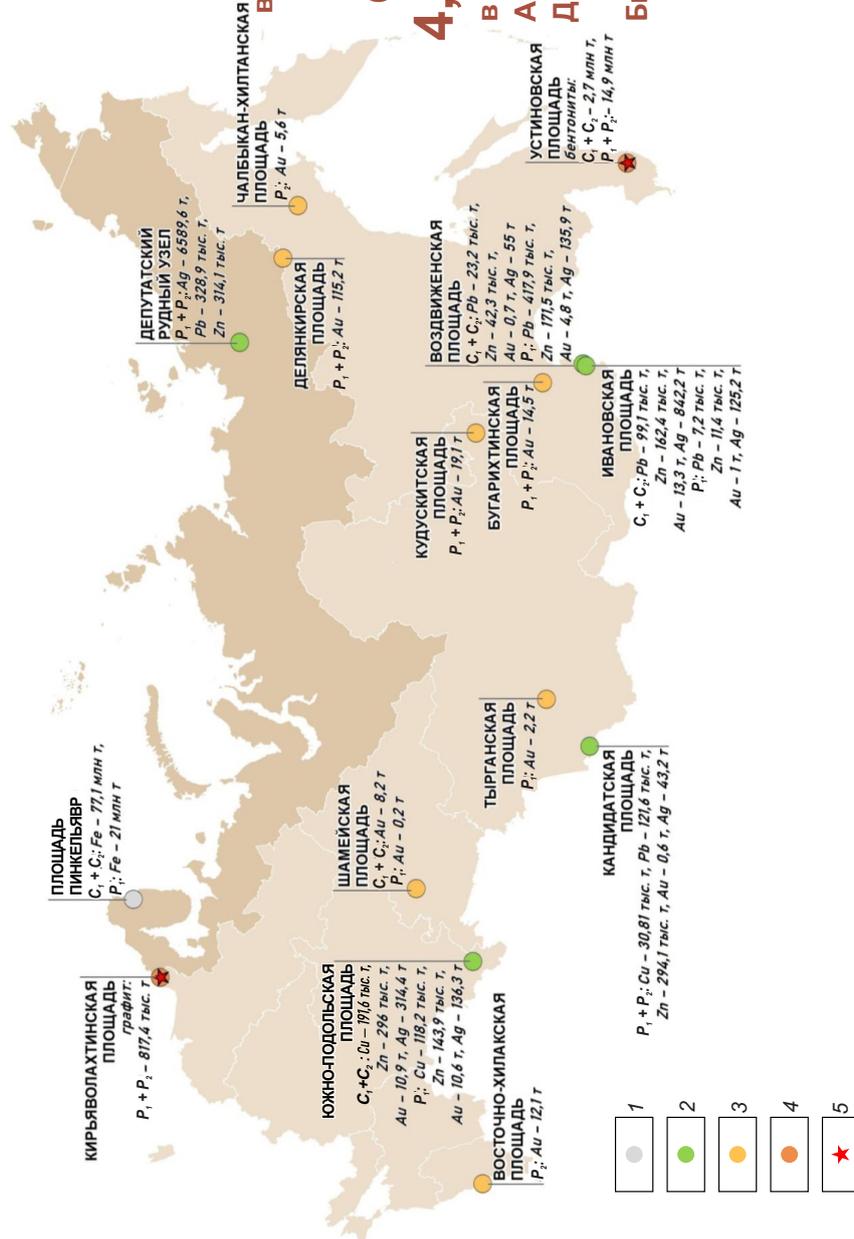


Рис. 5. Объекты ГРР на ТПИ в рамках I этапа федерального проекта «Геология: возрождение легенды» в 2024 г.:

металлы: 1 – чёрные, 2 – цветные, 3 – благородные, 4 – неметаллические ПИ; 5 - объекты на дефицитные ПИ (2 объекта)

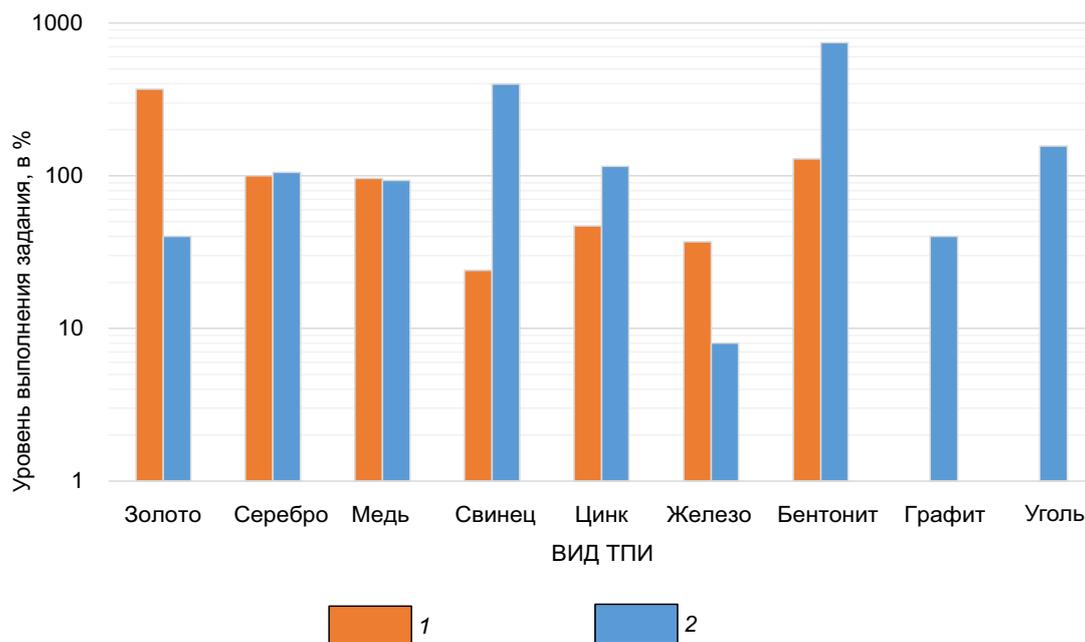


Рис. 6. Результаты выполнения геологического задания по приросту балансовых запасов и прогнозных ресурсов ТПИ по Госконтрактам, завершённым в 2024 г.:

категории: 1 –  $C_1 + C_2$ , 2 –  $P_1 + P_2$

Табл. 1. Прирост запасов и прогнозных ресурсов ТПИ по завершённым в 2024 г. объектам ФП «ГВЛ-1»

ТПИ	Выполнение задания		
	План	Факт	%
Прогнозные ресурсы кат. $P_1 + P_2$			
Золото, т	300	188,2	63
Серебро, т	6700	7030	105
Медь, тыс. т	160	149	93
Свинец, тыс. т	220	876	398
Цинк, тыс. т	810	935	115
Железо, млн т	250	21	8
Бентонит, млн т	2	14,9	745
Графит, тыс. т	2	0,8	40
Запасы кат. $C_1 + C_2$			
Золото, т	9	33,2	369
Серебро, т		1211,7	100
Медь, тыс. т	200	191,6	96
Свинец, тыс. т	520	122,3	24
Цинк, тыс. т	1065	500,7	47
Железо, млн т	210	77,1	37
Бентонит, млн т	2,1	2,7	129

содержаниями золота. Объект рекомендуется к проведению оценочных работ.

В пределах Шамейской площади в 2024 г. по результатам оценочных работ на каждом из четырёх участков (Партизанском, Рудничном, Южном и Безымянный Лог) локализованы от восьми до сорока семи золоторудных тел средней мощностью 2,9–4,5 м, протяжённостью по простиранию 73–301 м, по падению 38–62 м (рис. 8). Средние содержания золота в рудных телах варьируют от 0,35 до 8,05 г/т. Руды золото-сульфидно-кварцевого типа со свободным мелким и крупным золотом. В качестве оптимальной схемы обогащения предложено гравитационное обогащение с цианированием гравитационного концентрата с извлечением золота на уровне 88,31–91,23 %. Получен прирост балансовых запасов золота кат.  $C_1$  – 5176,5 кг и кат.  $C_2$  – 3067,2 кг. Выявленное среднее по масштабу Шамейское месторождение рудного золота рекомендовано для лицензирования.

В пределах Депутатской площади на флангах одноимённого сереборудного узла на рудопроявлениях Булатский и Юбилейный локализованы суммарно 17 потенциальных рудных тел протя-

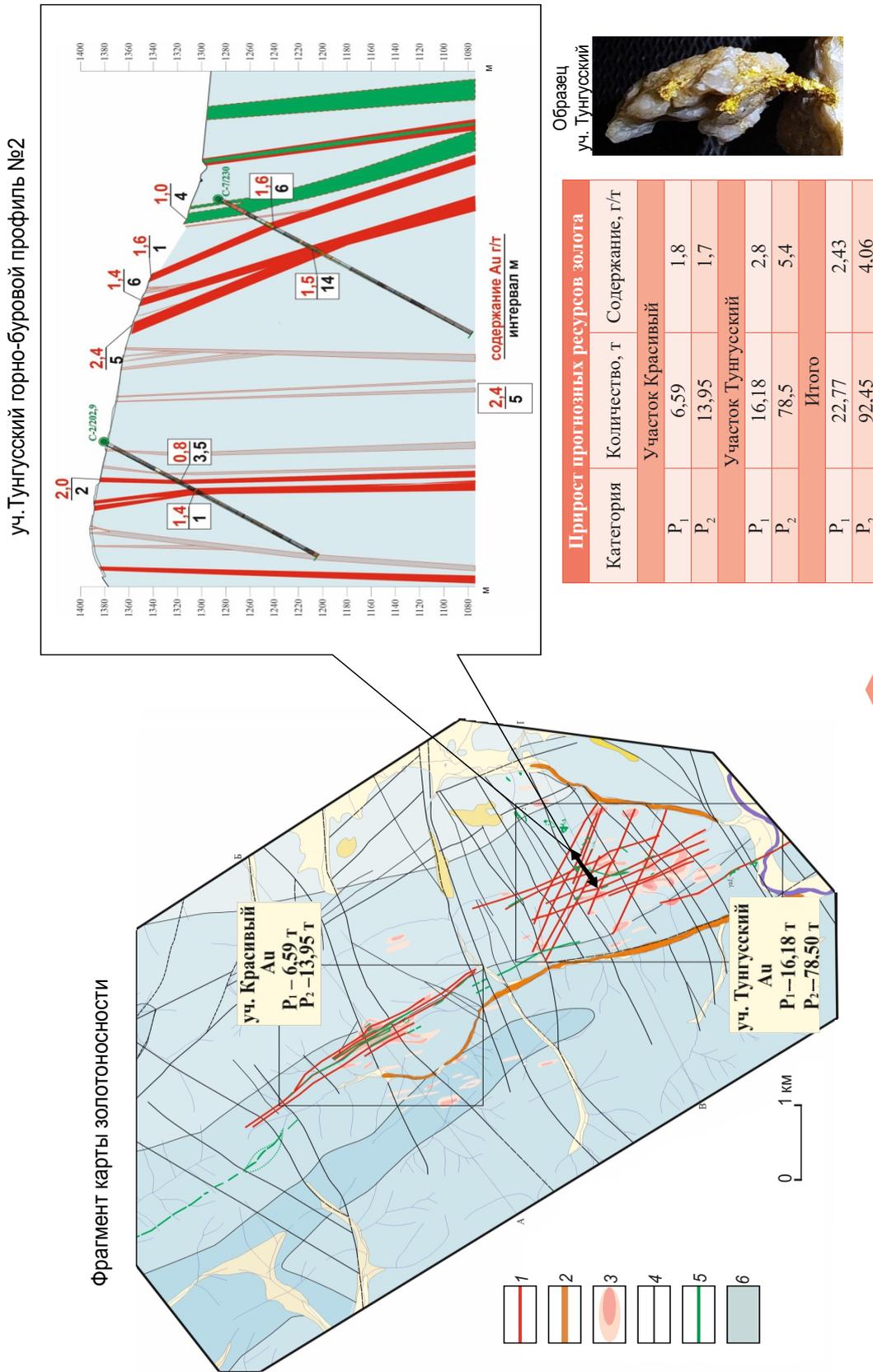
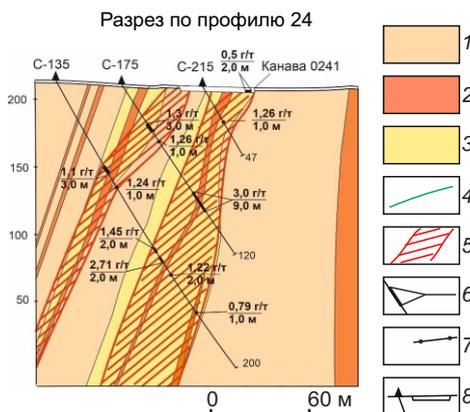
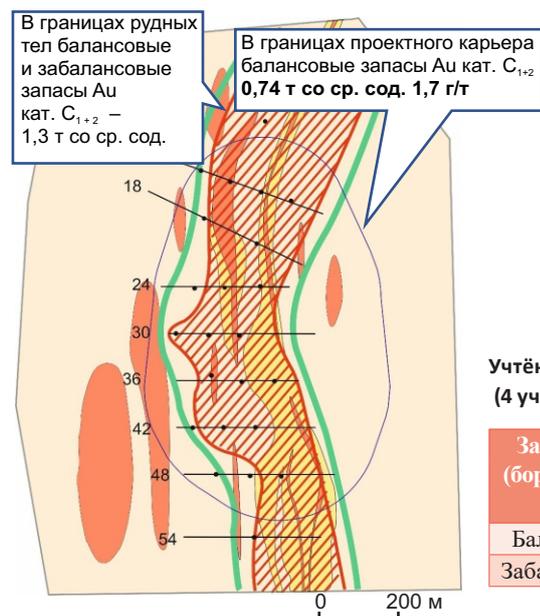


Рис. 7. Позиция золоторудных тел на плане и в разрезе рудопроявлений Красивое и Тунгусское Делянкинской площади:

1 – рудные зоны; 2 – россыпи; 3 – аномалии Au ВОР; 4 – разломы; 5 – дайки; 6 – песчаники, сланцы

План северной части участка Партизанский. Шамейское месторождение



Учётные Госбалансом запасы Au Шамейского месторождения (4 участка/7 карьеров)

Запасы Au (борт. 0,3 г/т), в т.ч.	Кат. C <sub>1</sub>		Кат. C <sub>2</sub>		Всего C <sub>1+2</sub>	
	Кол-во	Ср. Au	Кол-во	Ср. Au	Кол-во	Ср. Au
Балансовые	5,18 т	1,75 г/т	3,07 т	1,7 г/т	8,24 т	1,73 г/т
Забалансовые	1,92 т	1,52 г/т	0,99 т	1,39 г/т	2,91 т	1,47 г/т

Рис. 8. Положение рудных тел золото-сульфидно-кварцевых руд на плане и в разрезе Шамейского месторождения (северная часть участка Партизанский):

1 – аповулканогенные отложения среднего состава, D<sub>1-2</sub>; 2 – интрузивные породы кислого-среднего состава, C<sub>1-2</sub>-P<sub>1</sub>; 3 – метасоматиты кварц-серицит-карбонат-сульфидного состава; 4 – границы золотоносной минерализованной зоны; 5 – рудные тела на плане (проекция на поверхность) и в разрезе; 6 – рудные сечения на разрезе (ср. сод. Au/мощность); 7 – профили оценочных горно-буровых работ на плане и их номера; 8 – оценочные скважины и канава в разрезе, на плане

жённостью от 180 м до 1,16 км со средними мощностями 0,9–5,6 м и средними содержаниями серебра 371–4756 г/т (рис. 9). Выявленные руды пригодны для переработки по технологии двухстадийной флотации. Апробированы прогнозные ресурсы рудного серебра по категории P<sub>1</sub> – 3440,9 т (450,97 г/т), по категории P<sub>2</sub> – 4097,7 т (813,88 г/т). Также оценены прогнозные ресурсы категорий P<sub>1</sub> и P<sub>2</sub> для попутных свинца и цинка, составившие: свинец – 256 тыс. т (3,36 %) и 138,7 тыс. т (2,76 %); цинк – 208,7 тыс. т (2,74 %) и 138,9 тыс. т (2,76 %). Укрупнённая геолого-экономическая оценка показала экономическую эффективность отработки апробированных для рудопроявлений Булатское и Юбилейное прогнозных ресурсов серебра, отвечающих крупному по масштабу месторождению серебра. Объект перспективен для дальнейших оценочных работ.

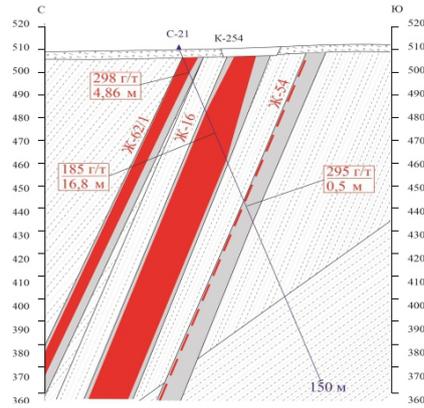
В Республике Башкортостан в Сибайском горнорудном районе в результате завершённых в 2024 г. оценочных работ на Южно-Подольском участке выявлены субпластовые золото-медно-

цинковоколчеданные рудные тела на двух сближенных уровнях рудолокализации (рис. 10). Подсчитаны запасы кат. C<sub>1</sub>: медь – 61 тыс. т, цинк – 85,7 т, золото – 5,9 г/т, серебро – 96,8 т; кат. C<sub>2</sub>: медь – 130,6 тыс. т, цинк – 210,4 т, золото – 5,0 г/т, серебро – 217,6 т; прогнозные ресурсы кат. P<sub>1</sub>: медь 118,2 тыс. т, цинк – 143,9 тыс. т, золото – 10,6 т, серебро – 136,3 т. По результатам ТЭО временных разведочных кондиций, выявленные руды, оконтуренные по бортовому содержанию условной меди 0,7 %, рентабельны для отработки. Таким образом, в результате проведённых оценочных ГРП в районе с хорошо развитой инфраструктурой выявлен средний по масштабам запасов объект, подготовленный для проведения аукциона.

Подводя итог ГРП на ТПИ, выполненных в рамках ФП «ГВЛ-1» на сухопутной части РФ, следует отметить, что эти работы на всех объектах, несмотря на ряд встречавшихся объективных трудностей, были завершены в срок; по ряду из них были получены результаты, близкие к ожидаемым или превышавшие их.



В разрезе вскрывается скважиной № 21 Зрудных тела на глубину 150 м мощностью 0,5–16,8 м Сод. Ag. 185–298 г/т



Апробированные прогнозные ресурсы Ag для флангов Депутатского рудного узла

Категория	Количество, т	Среднее содержание, г/т	Средняя мощность, м
P <sub>1</sub>	3441	450,97	2,17
P <sub>2</sub>	4098	813,88	1,79

Рис. 9. Положение рудных тел серебряных руд на плане и в разрезе флангов Депутатского рудного узла (на примере рудопроявления Булатский)

В настоящее время Федеральное агентство по недропользованию проводит работу в отношении перспективных участков недр, выявленных в ходе работ 2024 г., для проведения Аукционов.

Немаловажным и обособленным направлением ГРР, выполняемых за счёт федерального бюджета в рамках ГП «ВИПР», является исполнение обязательств перед МОМД по изучению полезных ископаемых дна Мирового океана.

В 2024 г. такие работы выполнялись на 11 объектах, включая 2 объекта на железомарганцевые конкреции (ЖМК) и 5 объектов на кобальтоносные железомарганцевые корки (КМК) в Тихом океане, а также 4 объекта на глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС) в Атлантическом океане.

Финансирование рассматриваемых работ 2024 г. составило 1,41 млрд рублей, из них 0,26 млрд руб. в рамках КПМ ГП «ВИПР» и 1,15 млрд руб. в рамках ФП «ГВЛ-1».

В результате завершённых работ по шести объектам (в том числе по трём объектам в рамках ФА «ГВЛ-1») получен прирост прогнозных ресурсов и запасов (рис. 11):

- по КМК ресурсов категории P<sub>1</sub> – 132,3 млн т, запасов категории C<sub>2</sub> – 3,6 млн т;
- по ЖМК запасов категории C<sub>2</sub> – 12,5 млн т;
- по ГПС ресурсов категории P<sub>2</sub> – 147 млн т.

Говоря о направлениях ГРР на ТПИ в 2025 г., следует отметить, что они определены «Стратегией развития минерально-сырьевой базы РФ до 2050 г.» (Распоряжение Правительства РФ от 11.07.2024 № 1838-р), разработанной с учётом ряда поручений Президента РФ.

Общая структура финансирования ГРР на ТПИ 2025 г. по ГП «ВИПР» проиллюстрирована на рис. 12.

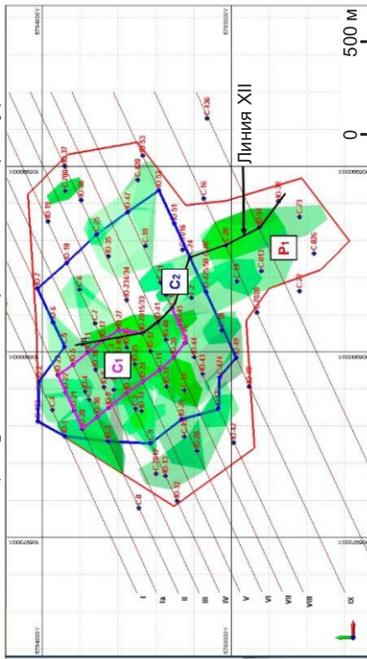
Всего в 2025 г. геологоразведочные работы на твёрдые полезные ископаемые на суше по ГП «ВИПР» предусматриваются на шестидесяти трёх объектах, в том числе по КПМ – на двадцати пяти объектах и ФП «ГВЛ-2» – на тридцати восьми объектах (рис. 13).

Совокупный объём годового финансирования ГРР на ТПИ в сухопутной части РФ составляет 6,3 млрд руб., из них на объекты КПМ ГП «ВИПР» приходится 2,67 млрд руб., на объекты ФП «ГВЛ-2» – 3,58 млрд руб. Наибольший объём затрат планируется на Дальневосточный и Сибирский федеральные округа – 89 % (5,6 млрд руб.), в Арктической зоне – 17 % (1,05 млрд руб.).

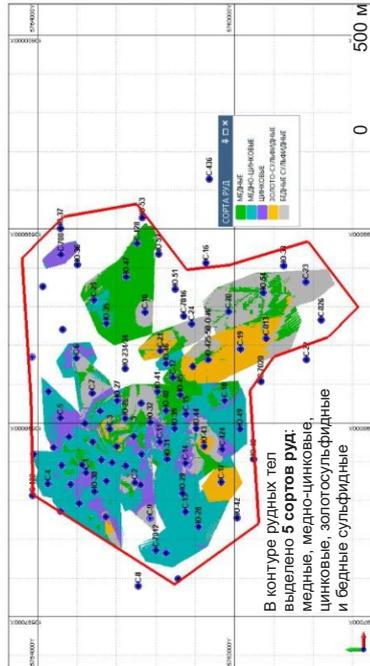
Наибольшая доля финансирования запланирована на объекты цветных металлов (31 %), на уран и благородные металлы – 17 и 14 % соответственно, на остальные виды ПИ (уголь, алмазы, неметаллы, редкие и чёрные) – от 6 до 10 %. При этом

### Южно-Подольское месторождение

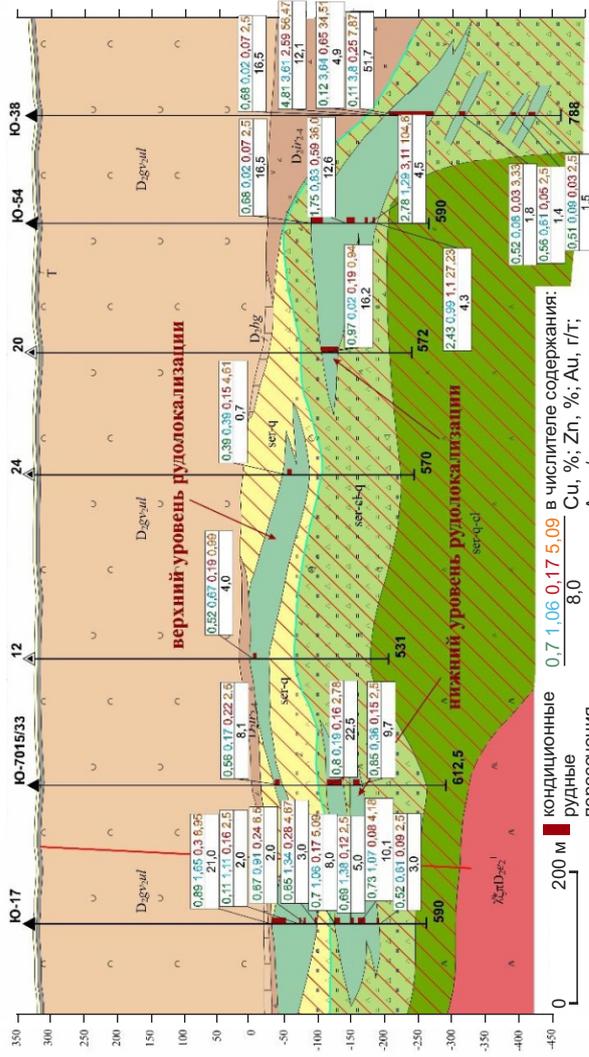
План размещения рудных тел с контурными подсчётами запасов кат. C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> и оценки прогнозных ресурсов кат. P<sub>1</sub>



План размещения сортов руд в контурах рудных тел



### Геологический разрез Южно-Подольского месторождения по линии XII



#### Параметры рудных тел:

протяжённость по простиранию 50–70 м,  
протяжённость по падению 50–500 м,  
средняя мощность 8 м (от <1,0 до 52 м),  
средние содержания: Cu – 1,2 %, Zn – 1,9 %, Au – 0,7 г/т, Ag – 20,3 г/т.

Запасы объекта прошли экспертизу ФБУ «ГКЗ», прогнозные ресурсы апробированы Роснедра

Прирост запасов и прогнозных ресурсов	Медь, тыс. т	Цинк, тыс. т	Золота, т	Серебра, т
C <sub>1</sub>	61	85,7	5,0	96,8
C <sub>2</sub>	130,6	210,4	5	217,6
P <sub>1</sub>	118,2	143,9	10,6	136,3

Рис. 10. Положение рудных тел медно-цинковоколчеданных руд в плане и разрезе Южно-Подольского месторождения



Рис. 11. Геологическое изучение и оценка ресурсов ТПИ дна Мирового океана. Результаты ГРП 2024 г. и план на 2025 г.

на дефицитные виды ТПИ ассигнования 2025 г. составляют 3,4 млрд руб. или 53 % от общего финансирования ГРП на ТПИ.

В рамках КПМ в 2025 г. начинаются ГРП на четырёх новых объектах, завершаются работы на одиннадцати объектах, дальнейшее продолжение работ в 2026 г. предусматривается на десяти объектах ГРП, с ассигнованиями соответственно

424,6 млн руб., 1,22 млрд руб. и 1,03 млрд руб. (см. рис. 13).

По итогам завершаемых в 2025 г. Госконтрактов по одиннадцати объектам ожидается прирост прогнозных ресурсов категорий  $P_1 + P_2$ : золота – 160 т; серебра – 3 тыс. т; меди – 1 млн т; титана – 45 млн т; урана – 50 тыс. т. Кроме того, ожидается прирост запасов категорий  $C_1 + C_2$ : вольфрама – 25 тыс. т; плавикового шпата – 7 млн т.

Важной особенностью II этапа федерального проекта «Геология: возрождение легенды» (ФП «ГВЛ-2») в 2025 г. является реализация в его рамках разработанной по поручению Президента Программы ГРП на ТПИ на Дальнем Востоке и Сибири, предусматривающей наращивание геологоразведочных работ с целью обеспечения комплексного социально-экономического и инфраструктурного развития этих макрорегионов (рис. 14).

Всего в рамках II этапа ФП «ГВЛ-2» в 2025 г. начаты ГРП на ТПИ по тридцати восьми объектам. Общая стоимость работ на весь период их выполнения составляет 17,24 млрд руб., в том числе на дефицитные виды ТПИ – 10,41 млрд руб. (21 объект). На проведение работ в Арктической зоне РФ предусматриваются общие затраты в размере 3,4 млрд руб. (7 объектов).

Объём годового финансирования в 2025 г. составляет 3,6 млрд руб. При этом затраты на поисковые и оценочные ГРП составят 2,88 млрд руб.

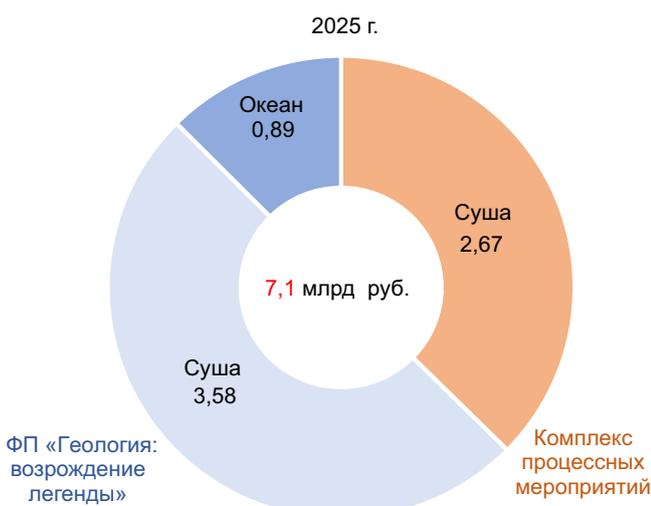


Рис. 12. Структура финансирования ГРП на ТПИ в 2025 г. по ФП «ВИПР»

# КПМ ГП «ВИПР» 2025 г.

Количество объектов

**25** объектов в т.ч.  
на дефицитные ПИ – 10 объектов

Стоимость работ 2025 г.  
**2,67** млрд руб.

в т.ч. на дефицитные  
ПИ – 1,25 млрд руб.  
АЗРФ – 0,4 млрд руб.  
ДВФО – 1,8 млрд руб.

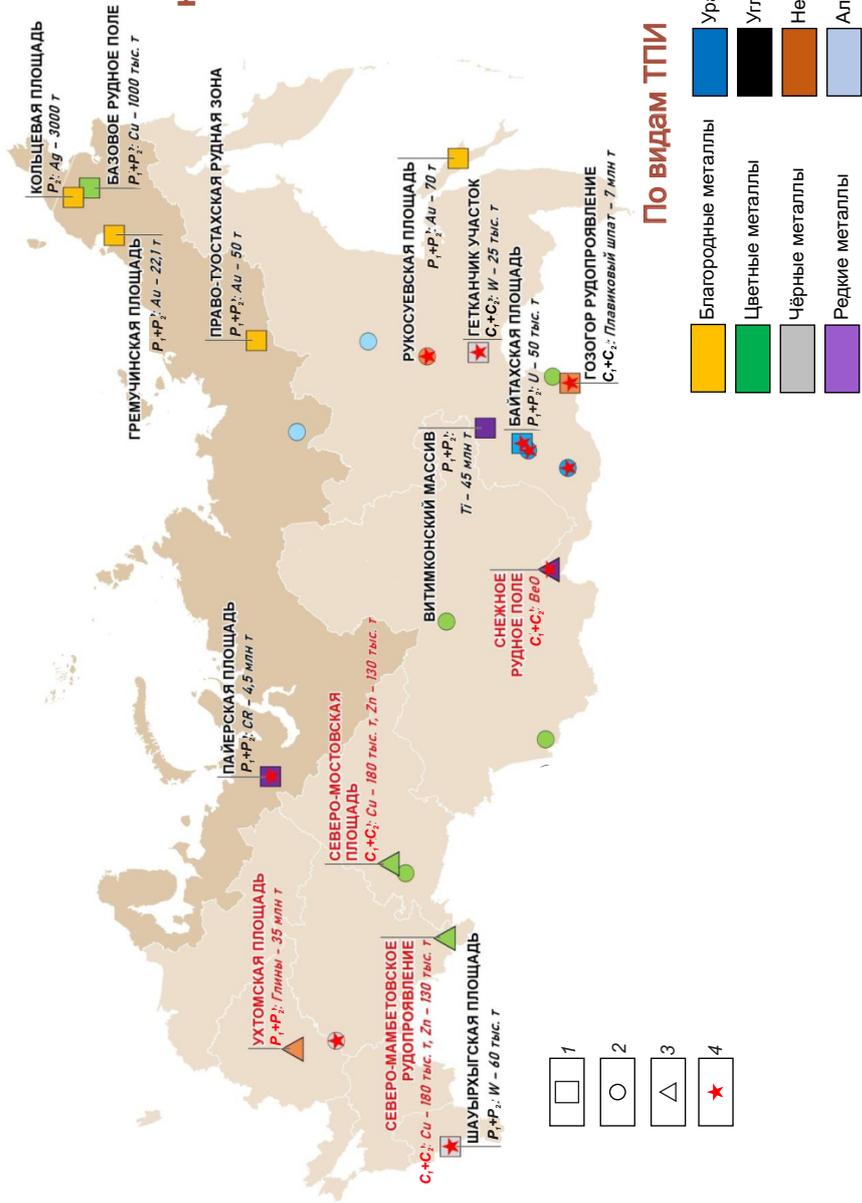


Рис. 13. Объекты ГРР на ТПИ в рамках КПМ в 2025 г.:

1 – объекты с завершаемыми работами в 2025 г. (11 объектов); 2 – объекты, переходящие на 2026 г. (10 объектов); 3 – новые объекты с началом работы в 2025 г. (4 объекта); 4 – объекты на дефицитные ПИ (10 объектов)

Ожидаемый прирост запасов и прогнозных ресурсов\*

ТПИ	Ресурсы кат. Р <sub>1+2</sub>	Запасы кат. С <sub>1+2</sub>
Золото, т	168	13
Серебро, т	1000	310
Медь, тыс. т	1400	120
Свинец, тыс. т	960	45
Цинк, тыс. т	2000	
Алмазы, млн карат	80	
Титан, млн т	5	
Циркон, млн т	3	
Вольфрам, тыс. т	305	
Молибден, млн т	0,8	
Хром, млн т	23	
Олово, тыс. т	18	
Литий млн т	0,6	
Уран, тыс. т	130	3
Плавиновый шпат, млн т	3	
Графит, млн т	3	
Уголь, млн т	375	355

Примечание. \* – по результатам поисковых и оценочных ГРР.

# ФП «ГВЛ-2» 2025-2027 гг.

## 38 Новых объектов

В т. ч. на дефицитные ПИ – 21 объект

## ОБЩАЯ СТОИМОСТЬ РАБОТ

**17,8 млрд руб.**

В т. ч. на дефицитные – 11,58 млрд руб.

## БЮДЖЕТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

**716 млрд руб.**

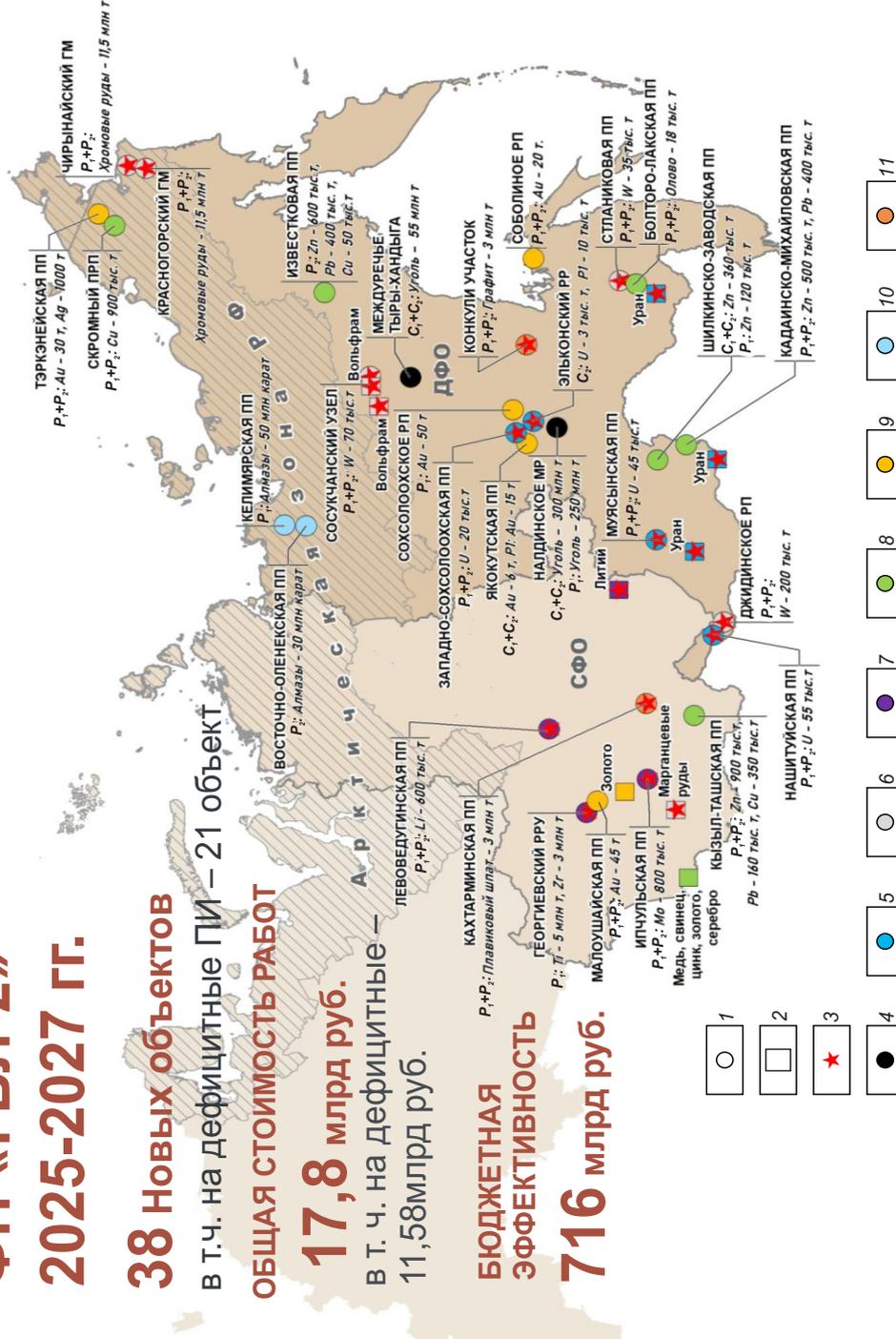


Рис. 14. Объекты ГРР на ТПИ в рамках II этапа федерального проекта «Геология: возрождение легенды» в 2025 г.:

1–3 – объектов и оценочных работ (29 объектов), 2 – прогнозно-минералогических работ (9 объектов), 3 – на дефицитные ПИ (21 объект); 4 – угли; 5 – уран; металлы: 6 – чёрные, 7 – редкие, 8 – цветные, 9 – благородные; 10 – алмазы; 11 – неметаллические ПИ

по двадцати девяти объектам, на прогнозно-минералогические работы – 0,72 млрд руб. по девяти объектам.

Основные объёмы поисковых и оценочных работ предусматриваются в Дальневосточном регионе (по финансированию – 83 %), нацеленных на широкий спектр полезных ископаемых, преимущественно на цветные металлы (33 %), уран (22 %) и благородные металлы (15 %), а также на чёрные металлы, алмазы, уголь и неметаллические ПИ (см. рис. 14).

При этом приоритетными для ГРР определены: Республика Саха (Якутия) (9 объектов), Чукотский АО (4 объекта), Хабаровский край (4 объекта).

В Сибирском регионе поисковые и оценочные ГРР направлены главным образом на редкие (36 %) и цветные металлы (35 %) в Томской области, Республике Хакасия и Красноярском крае.

Прогнозно-минералогические работы в 2025 г. на территории Дальневосточного региона начаты на пяти объектах: в Республике Бурятия, Забайкальском крае и Еврейской АО – на уран, в Республике Саха (Якутия) – на двух объектах на вольфрам. В Сибирском ФО эти работы выполняются в Иркутской области – на литий, в Республике Алтай – на марганцевые оксидные руды, в Алтайском крае – на золото-серебросодержащие полиметаллические руды, в Кемеровской области – на золото.

Также в 2025 г. по исполнению обязательств по контрактам с Международным органом по морскому дну предусматриваются продолжение разведочных ГРР на КМК и ЖМК в двух районах Тихого океана и оценочные ГРР на площади рудного узла Семенова на Атлантическом океане в рамках II этапа ФП «ГВЛ-2», всего на девяти объектах, в том числе четырёх новых, с общим финансированием 0,89 млрд руб. (см. рис. 11).

В целом динамика финансирования ГРР на ТПИ в рамках ГП «ВИПР» на 2025 г. и последующие годы может характеризоваться возрастающей ролью затрат по ФП «ГВЛ-2» (с 2,6 в 2024 г. до 8,0 млрд руб. в 2026–2027 гг.) при соответствующем росте общих ассигнований до объёма 2014 г. (рис. 15).

Важное значение имеют геологоразведочные работы за счёт средств недропользователей.

По результатам работ 2024 г., на государственный баланс впервые поставлены запасы двухсот двенадцати месторождений (в том числе 4 месторождения поставлены за счёт средств федерального бюджета), из них: золото – 188 (в том числе россыпное – 175), неметаллические полезные ископаемые – 16, цветные металлы – 3, уголь – 2, серебро – 2, железные руды – 1 (рис. 16).

Из них наиболее значимые:

- золоторудное месторождение Древний в Магаданской области с запасами 104 т золота и 24 т серебра;



Рис. 15. Динамика финансирования ГРР на ТПИ в рамках ГП «ВИПР» в период 2014–2027 гг.

- золоторудное месторождение Делювиальное в Республике Саха (Якутия) – 12 т золота и 13,4 т серебра;

- золоторудное месторождение Сабыгыл в Магаданской области – 12,9 т золота и 2,1 т серебра;

- Мариинское техногенное месторождение в Свердловской области – 2961,2 кг изумрудов, 156,6 кг александритов, 436,3 кг фенакита, 1203,5 кг хризоберилла, 155 197,8 кг берилла ювелирно-поделочного.

- Сибирское угольное месторождение в Кемеровской области – 561,5 млн т угля.

На более чем трёхстах семидесяти объектах произошли изменения запасов за счёт переоценки, пересчёта и прочих работ, выполненных за счёт собственных средств недропользователей. Наиболее значимые приросты запасов получены на следующих месторождениях:

- золоторудное месторождение Гросс в Республике Саха (Якутия) – 198,7 т золота и 850,4 т серебра;

- Ведугинское золоторудное месторождение в Красноярском крае – 118 т золота и 2,6 т серебра.

В 2024 г. объём затрат на геологоразведку недропользователями составил 88 млрд руб. (см. рис. 16), что на 28 % больше, чем в 2023 г. Из них по «заявительному» принципу – 31,3 млрд руб. (+41 % *рост относительно 2023 г.*). Практически все затраты направлены на воспроизводство высоколиквидных видов сырья на Дальнем Востоке, в меньшей степени – в Сибири.

В 2025 г. недропользователями планируется существенное наращивание объёмов финансирования, до 126,6 млрд рублей, из них по «заявительному» принципу – 68 млрд руб. Структура затрат по видам ПИ в целом сохранится, при этом на благородные металлы и алмазы они снизятся до 73 и 5 % соответственно, на цветные и редкие металлы, напротив, возрастут до 14 %.

За последние 10 лет проявляется (рис. 17) положительная динамика лицензирования как в целом, так и по «заявительному принципу». В 2024 г. наблюдается небольшое снижение как по действующим лицензиям – 1 %, относительно 2023 г., так и по заявительному принципу на 4 % относительно 2023 г.

В 2024 г. были проведены 207 аукционов на право пользования недрами, из них состоявшиеся признаны 101; лицензированы 4 объекта стратегических дефицитных видов сырья (табл. 2), в их числе:

- 1 рений, молибден: Ак-Сугское (АО «Перспективные горнорудные проекты») в Республике Тыва;

- 1 литий: Мраморное рудное поле (АО «Интегра-Бизнес») в Кемеровской области-Кузбасс;

- 1 хромовые руды: Западное (АО «ЧЭМК») в Ямало-Ненецком АО;

- 1 молибден: Ямтульская площадь (ООО «Золото Сервис Плюс») в Хабаровском крае.

Доход бюджета по итогам года от аукционов и лицензирования составил 17,1 млрд руб. Это высокий показатель.

В 2025 г. планируется провести 151 аукцион, в том числе по пяти объектам дефицитного сырья. Прогнозируемый доход в бюджет ожидается в количестве порядка 17,6 млрд руб.

В первые месяцы 2025 г. по двум объектам аукцион проведён, выданы две лицензии на месторождения урана Тетрахское (АО «Хиагда») в Республике Бурятия и Шиرونдукуйское (ПАО «ППГХО») в Забайкальском крае.

Объём финансирования вырос на 28 % относительно 2024 г. По «заявительному принципу» рост составил 41 % относительно 2023 г.

Сведения о других наиболее значимых объектах, по которым запланировано проведение аукционов, представлены в табл. 2.

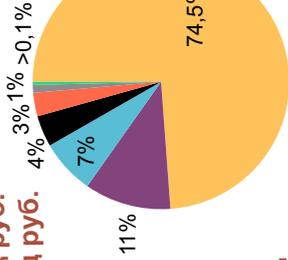
Успешная реализация КПМ ГП «ВИПР» и ФП «ГВЛ-1», а также программ социально-экономического и стратегического развития регионов во многом обеспечивается работой подведомственных Роснедра институтов (ФГБУ «ЦНИГРИ», ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ВНИИОкеангеология») по решению широкого круга отраслевых задач – от обоснований территорий приоритетного развития и интенсификации ГРР, выбора приоритетных объектов для Программ ГРР до оценки промежуточных и конечных результатов ГРР с апробацией ПР ТПИ. Так, по завершённым в 2024 г. поисковым проектам получен значительный прирост прогнозных ресурсов ТПИ, практически все эти объекты с апробированными прогнозными ресурсами ТПИ в настоящее время передаются в лицензирование. Объекты оценочных ГРР, выбранные для постановки ГРР в качестве приоритетных, завершили в 2024 г. открытием новых месторождений (Шамейского, Ивановского, Южно-Подольского, Устиновского, Пинкельявр) с постановкой на учёт Госбаланса запасов цветных, благородных, чёрных металлов и неметаллических ПИ. По результатам геологического изучения и оценки ресурсов ТПИ дна Мирового

Средства недропользователей

2024 г.

88 млрд руб.

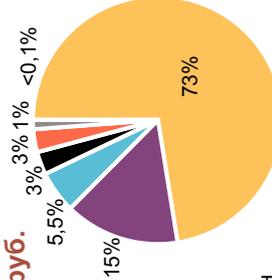
В т.ч. по «заявительному» принципу – 31,1 млрд руб.  
 АЗРФ – 15,1 млрд руб.  
 ДВФО – 65,0 млрд руб.



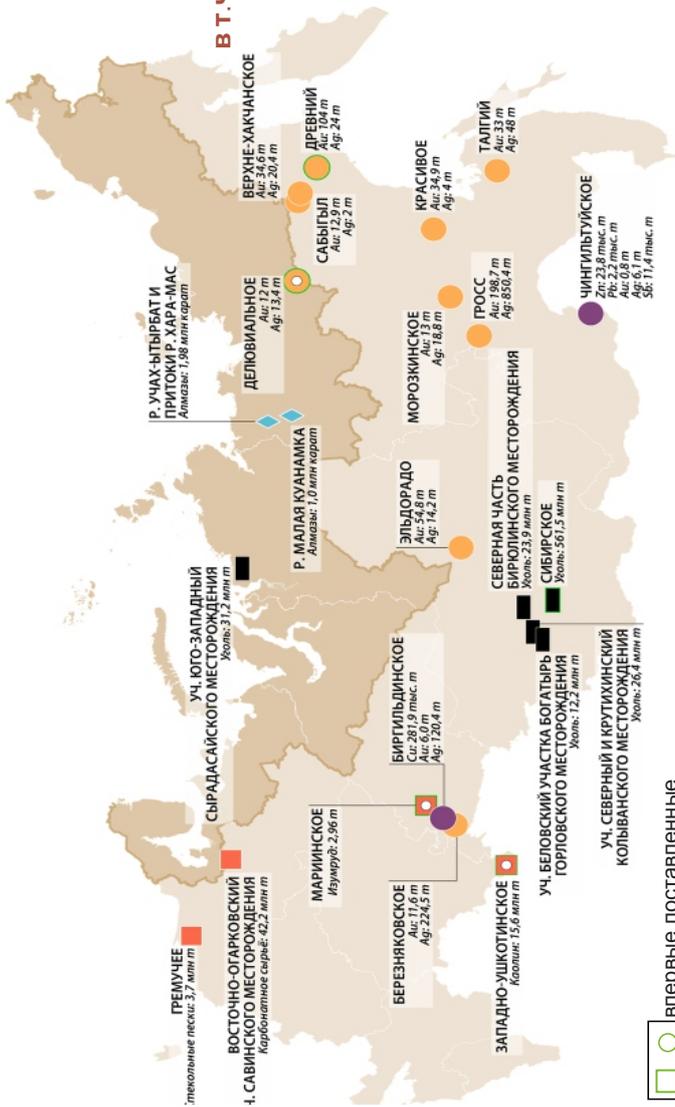
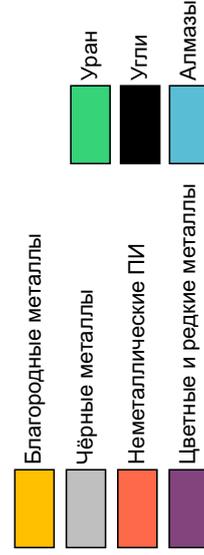
2025 г.

126,5 млрд руб.

В т.ч. по «заявительному» принципу – 68,0 млрд руб.  
 АЗРФ – 21,4 млрд руб.  
 ДВФО – 83,6 млрд руб.



Финансирование по видам ТПИ



Основные результаты 2024 г.

Вид ПИ, ед. изм.	Прирост запасов
Золото, т	837,2
Серебро, т	1 771,2
Алмазы, млн карат	3,2
Медь, тыс. т	410,8
Железные руды, тыс. т	674
Сурьма, тыс. т	22,8
Цинк, тыс. т	23,8
Свинец, тыс. т	2,2
Уголь, млн т	694,7

**+ 212** месторождений  
 в т.ч. **175** месторождений  
 россыпного золота

Рис. 16. Наиболее значимые результаты ГРР на ТПИ за счёт средств недропользователей в 2024 г. и планы на 2025 г.



Рис. 17. Динамика количества действующих лицензий

Табл. 2. Сведения об аукционах на стратегические дефицитные виды ТПИ, проведённых в 2024 г. и планируемых к проведению в 2025 г.

Вид ПИ	Запасы/ресурсы	Месторождение	Внутреннее потребление	Размер платежа, млн руб.	План лицензирования
<b>2024 г.</b>					
Хром, тыс. т	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> – 2900	Западное	1,2	107	<b>Выполнено</b>
Литий, тыс. т	P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> – 77	Мраморное рудное поле	1–1,5 (LCE)	496	<b>Выполнено</b>
Молибден, тыс. т	P <sub>2</sub> – 44	Ямтульская площадь	3,2	22	<b>Выполнено</b>
	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> – 78	Ак-Сугское (УНФЗ)	3,2	3822	<b>Выполнено</b>
Рений, т	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> – 83		н/д		
<b>2025 г. (факт + план)</b>					
Уран, т	6429 (заб.)	Тетрахское (УНФЗ)	10,4	147	<b>Выполнено</b>
	8008	Широндукуйское (УНФЗ)		872	<b>Выполнено</b>
Плавленый шпат, тыс. т	BC <sub>1</sub> C <sub>2</sub> – 905	Шахтерское	187	217	2025
Графит, тыс. т	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> – 118 P <sub>1</sub> – 23	Курейское	20	35	2025
	P <sub>1</sub> P <sub>2</sub> – 817	Кирияволахтинская площадь		10	2025
Титан, тыс. т	P <sub>1</sub> – 11 556	Гремяха-Вырмес	0,4	221	2025
	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> – 895 Заб. – 2643	Америка		296	2025
	P <sub>2</sub> – 15 000	Салмагорское		115	2025
	P <sub>1</sub> – 683	Анташейское		4	2025
Хром, тыс. т	Заб. – 87 P <sub>1</sub> – 735	Хабарнинское5/II	1,2	23	2025
	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> – 102	Качкинское		25	2025
Вольфрам, тыс. т	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> – 7 P <sub>1</sub> – 6	Тенкергин	1,5–2	110	2025
	3 (заб.)	Белухинское		29	2025
	13	Одинокое		1683	2025
Марганец, млн т	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub> – 30	Порожинское	1,47	1500	2025
Молибден, тыс. т	P <sub>1</sub> – 12	Шахтаминская	3,2	153	2025

океана расширились перспективы для оценочных, разведочных и дальнейших эксплуатационных работ.

В завершение статьи подведём основные итоги работы Федерального агентства по недропользованию в части твёрдых полезных ископаемых за 2024 г.:

1. Завершены работы по двадцати семи объектам за счёт федерального бюджета, в том числе по шести объектам в Мировом океане; обеспечен прирост **запасов**: золота – 33,2 т; серебра – 1212 т; меди – 192 тыс. т; свинца – 122,3 тыс. т; цинка – 501 тыс. т; железных руд – 22,6 млн т; бентонита – 2662 млн т; КМК – 3,6 млн т, ЖМК – 12,5 млн т; **прогнозных ресурсов**: золота – 204 т; серебра – 7030 т; меди – 149 тыс. т; свинца – 876 тыс. т; цинка – 935 тыс. т; железных руд – 54,5 млн т; графита – 0,8 млн т; КМК – 132,3 млн т, ГПС – 147 млн т.

2. Успешно завершена ФП «ГВЛ-1» – в 100 % госконтрактов выявлены объекты с локализованными запасами и прогнозными ресурсами;

3. Начата реализация Программ геологоразведочных работ Дальнего Востока и Сибири – в рамках ФП «ГВЛ-2» с 2025 г. планируются 38 объектов с бюджетными ассигнованиями 14,24 млрд руб.

4. Проведена переориентация ГРР в соответствии с требованиями Стратегии развития МСБ РФ до 2050 г. на дефицитные ПИ – в 2024 г. выполнялись ГРР на двенадцати объектах с долей финансирования 34 %; в плане 2025 г. предусматривается 31 такой объект с долей финансирования 53 %.

5. В 2024 г. увеличился на 28 % объём инвестиций недропользователей в ГРР на ТПИ, при этом доля инвестиций в геологоразведку по «заявительному» принципу возросла на 41 %. Наибольшие объёмы затрат направлены на воспроизводство высоколиквидных видов сырья на Дальнем Востоке и в Сибири.

6. Открыты 212 месторождений за счёт недропользователей.

7. Обеспечено поступление в бюджет 17,1 млрд рублей за счёт лицензирования.

Статья поступила в редакцию 23.05.25; одобрена после рецензирования 09.06.25; принята к публикации 09.06.25.  
The article was submitted 23.05.25; approved after reviewing 09.06.25; accepted for publication 09.06.25.

## Золото-медно-скарновое оруденение Баранчинской площади (Горный Алтай)

**Аннотация.** Определены вещественный состав и последовательность формирования золото-медно-скарнового оруденения, выявленного на Баранчинской площади. Пироксен-гранатовые скарны интенсивно замещены борсодержащим везувианом, который в свою очередь замещается боросиликатами, находящимися в парагенезисе с золото-сульфидной минерализацией. Боросиликаты представлены турмалином, аксинитом, датолитом, а также окаямалитом, впервые выявленном на территории России. Рудные минералы преимущественно представлены халькопиритом, борнитом, виттихенитом, самородным висмутом и электрумом. Оруденение было сформировано щёлочно-хлоридными растворами в интервале температур 385–330 °С при давлении около 1000 бар. В качестве ближайшего аналога рассмотрено месторождение Карагу на Горном Алтае.

**Ключевые слова:** Горный Алтай, Баранча, золото, скарны, аксинит, датолит, окаямалит, флюидные включения.

КРЯЖЕВ СЕРГЕЙ ГАВРИЛОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела <sup>1</sup>, kryazhev@tsnigri.ru

ДВУРЕЧЕНСКАЯ СВЕТЛАНА СТЕПАНОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник <sup>1</sup>, dvurechenskaya@tsnigri.ru

ОКУЛОВ АЛЕКСЕЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель начальника отдела <sup>1</sup>, okulov@tsnigri.ru

ФЕДАК СТЕПАН ИВАНОВИЧ, ведущий инженер <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

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

## Skarn-related gold-copper mineralization of the Baranchinskaya area (Gornyi Altai)

S. G. KRYAZHEV <sup>1</sup>, S. S. DVURECHENSKAYA <sup>1</sup>, A. V. OKULOV <sup>1</sup>, S. I. FEDAK <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals" (FSBI "TSNIGRI"), Moscow

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Institution "All-Russian Geological Research Institute of A.P. Karpinsky" (Karpinsky Russian Geological Institute), St. Petersburg

**Annotation.** The composition and sequence of formation of skarn-related gold-copper mineralization of the Baranchinskaya area have been determined. The pyroxene-garnet skarns are intensely replaced by boron-containing vesuvianite that in turn is replaced by borosilicates in paragenesis with gold-sulfide mineralization. The borosilicates are represented by tourmaline, axinite, and datolite, as well as by okayamalite first found in Russia. Ore minerals are mainly represented by chalcopyrite, bornite, wittichenite, native bismuth, and electrum. The ore mineralization was formed by alkaline-chloride solutions in the temperature range of 385–330 °C at a pressure of about 1000 bar. The Karagu deposit in the Gornyi Altai is considered as the closest analogue.

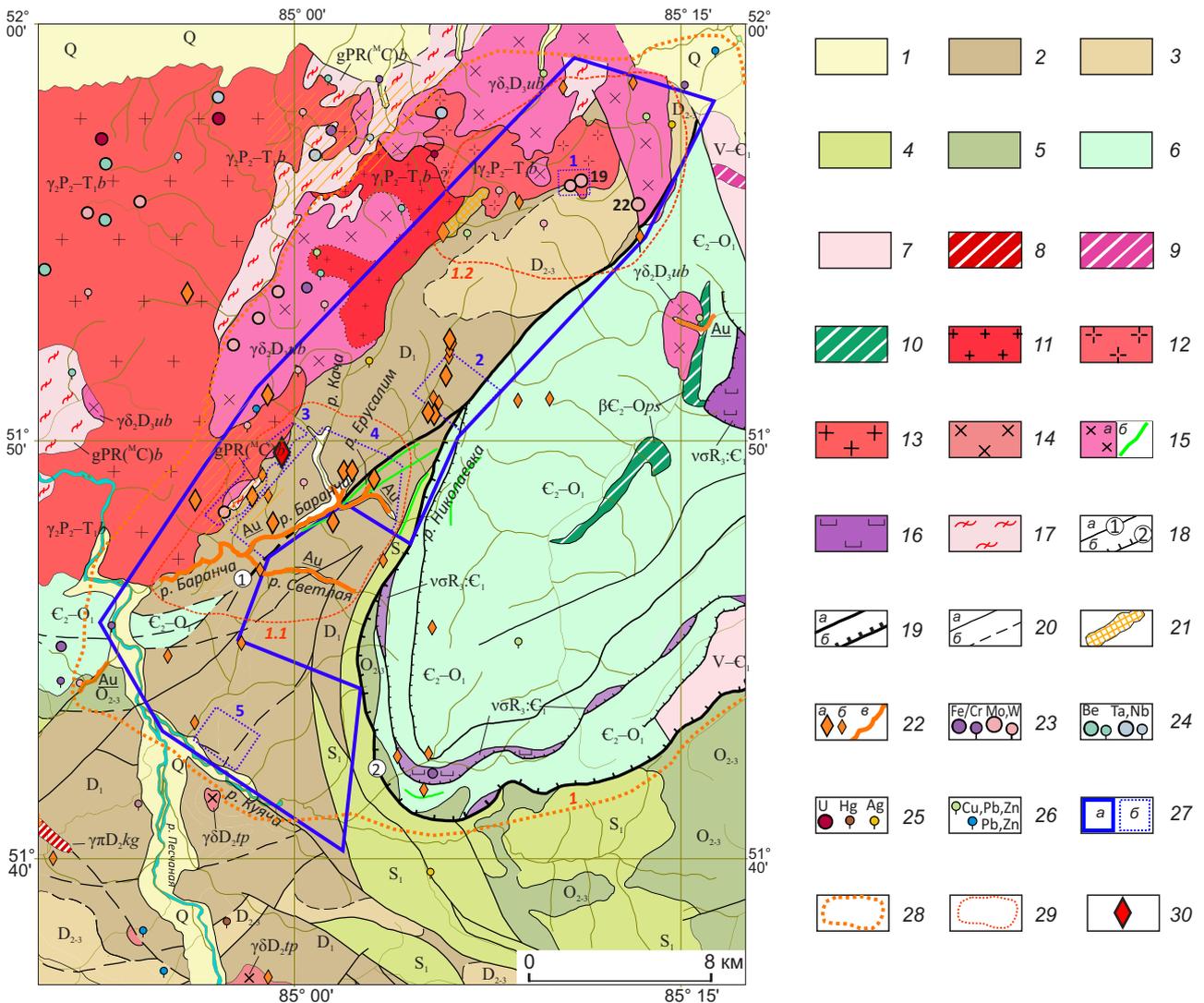
**Key words:** Gornyi Altai, Barancha, gold, skarns, axinite, datolite, okayamalite, fluid inclusions.

**Введение.** Баранчинская площадь находится на границе номенклатурных листов М-45-І и М-45-ІІ, в географическом плане – на северных отрогах Чергинского хребта Горного Алтая, в области перехода структур последнего к Предальтайской равнине.

В металлогеническом отношении площадь приурочена к западной части одноимённого Баранчинского золоторудно-россыпного узла, большая часть которого приходится на лист М-45-ІІ. Согласно тектоническому районированию территории листа М-45-ІІ (Кривчиков, 2001 ф), рудный узел находится в области сложного тектонического строения и приурочен к участку сопряжения структур Ануйского тектонического блока и Каменского аллохтона, частично – Белокурихинского аллохтона ІІ порядка. При этом Баранчинское золото-

рудное и Щемилдовское молибден-вольфрамовое с золотом рудные поля приурочены к структурам Ануйского тектонического блока, «зажатым» между двумя другими (рис. 1).

Ануйский блок сложен главным образом карбонатно-терригенными отложениями барагашской свиты ( $D_1br$ ), нижняя часть которой представлена песчаниками, алевролитами, известняками, в верхней преобладают известняки с прослоями терригенных пород. Формирование этих отложений происходило в условиях шельфа пассивной континентальной окраины. Позднее ограниченно проявился андезитовый вулканизм, в связи с которым сформировались андезиты, андезито-базальты, дациты, риолиты и туфы куяганской свиты ( $D_2kg$ ). Интрузивные образования проявлены весьма ограниченно и представлены дайками диоритовых порфиритов



усть-беловского комплекса ( $\delta\pi D_3ub$ ), ориентировка которых обычно совпадает с простиранием главных разломных структур.

Ануйский блок с востока вдоль зоны Каркылинского надвига граничит с Каменским аллохтоном. Последний сложен флишоидно-вулканогенными отложениями песчанинской толщи ( $\epsilon_1-O_1ps$ ). Отложения представлены пестроцветными песчаниками, алевролитами, филлитами, туффитами, а также базальтоидами, редко риодацитами и яшмоидами, накопление которых отвечает условиям междугового бассейна. Стратифицированным отложениям синхронны силлы долеритов песчанинского базальтового комплекса ( $\beta \epsilon_2-O_1ps$ ). Магматические образования в пределах блока проявлены весьма ограничено и представлены малыми телами диоритовых порфиритов онгудайского комплекса ( $\delta\pi D_{1-2}og$ ) и гранодиоритов усть-беловского комплекса ( $\gamma\delta 2D_3ub$ ). Отложения кембрия–ордовика нарушены чешуйчатым веером надвигов, ориентировка которых повторяет расположение Каркылинского надвига, при этом зоны надвигов маркируются линзовидными телами базит-ультрабазито-

вого состава, которые принято относить к офиолитовой ассоциации ( $\nu\sigma R_3:\epsilon_1$ ).

Белокурихинский аллохтон имеет сложное строение, представлен разновозрастными интрузивными породами преимущественно кислого состава ( $D_2, P_2-T_1$ ), однако содержит в себе глыбы метаморфических пород протерозойского фундамента (PR). Последние образованы гнейсами, кристаллосланцами, амфиболитами Белокурихинского полиметаморфического комплекса (gPR ( $^M C$ )b). Интрузивные магматические породы представлены как минимум двумя комплексами – усть-беловским (гранодиориты,  $\gamma\delta 2D_3ub$ ) и белокурихинским (граниты, лейкограниты,  $\gamma P_2-T_1b$ ), который и формирует основной объём магматических пород блока.

*Металлогения* Баранчинского рудного узла и смежных с ним территорий весьма сложна и разнообразна. В западной его части, в контуре Баранчинской площади, выделены 2 рудных поля – на севере Щемиловское (Осокинско-Батунковское) вольфрамное с молибденом и золотом и Баранчинское золоторудно-россыпное в центральной части площади.

**Рис. 1. Схематическая геологическая карта прогнозируемого Баранчинского золоторудного узла и его обрамления.** По материалам (Кривчиков и др., 2001ф; Селин и др., 2016ф), с уточнениями и изменениями авторов:

1 – четвертичные отложения нерасчленённые (Q); 2 – ранний девон ( $D_1$ ), Барагашская свита (песчаники, алевролиты, известняки); 3 – средний–поздний девон ( $D_{2-3}$ ), Куяганская свита (андезиты, андезибазальты, базальты, дациты, риолиты и их туфы, Малафеевская свита (алевролиты, глинистые сланцы, известняки); 4 – ранний силур ( $S_1$ ), Полатинская и Куячинская свиты, Куячинская толща (известняки, известковистые песчаники, алевролиты); 5 – средний–поздний ордовик ( $O_{2-3}$ ), Ханхаринская свита, Верхнеануйская серия (алевролиты, песчаники, прослой известняков); 6 – средний кембрий–ранний ордовик ( $\epsilon_2-O_1$ ), Песчанинская толща (пестроцветные песчаники, алевролиты, филлиты, туффиты, базальты); 7 – венд–ранний кембрий ( $V-\epsilon_1$ ), Каимская свита (филлиты, метаалевролиты, базальты, долериты, известняки); 8 – средний девон ( $\gamma\pi D_2kg$ ), Куяганский комплекс (гранит-порфиры); 9 – ранний–средний девон ( $\delta\pi D_2og$ ), Онгудайский комплекс (диоритовые порфиры); 10 – средний кембрий–ранний ордовик ( $\beta \epsilon_2-O_1ps$ ), Песчанинский комплекс базальтовый (силлы долеритов); 11–13 – средняя пермь–ранний триас, Белокурихинский комплекс; 11 – первая фаза (?) ( $\gamma_1 P_2-T_1b$ ?), меланограниты, 12 – вторая фаза ( $\gamma_2 P_2-T_1b$ ), лейкограниты, 13 – вторая фаза ( $\gamma_2 P_2-T_1b$ ), граниты; 14 – средний девон ( $\gamma\delta D_2tp$ ), топольнинская ассоциация (гранодиориты); 15 – поздний девон, Усть-Беловский комплекс, вторая фаза (гранодиориты) ( $a - \gamma\delta_2 D_3ub$ ,  $b - \delta\pi D_3ub$ ); 16 – позднерифейско(?)–раннекембрийские ( $\nu\sigma R_3:\epsilon_1$ ) мафит-ультрамафитовые (офиолитовые) образования; 17 – протерозой (gPR ( $^M C$ )b), Белокурихинский комплекс полиметаморфический (гнейсы, кристаллослацы, амфиболиты); 18 – разрывные нарушения:  $a$  – сложной кинематики,  $b$  – надвиги (цифрами обозначены: 1 – Сарасинско-Инский разлом, 2 – Каркылинский надвиг); 19 – разрывные нарушения рудоконтролирующие (?):  $a$  – сложной кинематики,  $b$  – надвиги; 20 – геологические границы:  $a$  – достоверные,  $b$  – предполагаемые; 21 – зоны скарнов; 22 – рудопроявления золота ( $a$ ), пункты минерализации золота ( $b$ ), россыпи золота ( $v$ ); 23–24 – рудопроявления и пункты минерализации: 23 – железа, вольфрама, молибдена, 24 – бериллия, тантала, ниобия; 25 – рудопроявления урана, пункты минерализации ртути, серебра; 26 – рудопроявления меди-свинца-цинка, свинца-цинка; 27–29 – контуры: 27 – Баранчинской поисковой площади 2014–2016 гг. ( $a$ ), участков детализационных работ (1 – Щемиловский, 2 – Верхне-Баранчинский, 3 – Лысуха, 4 – Баранчинский, 5 – Барашек) ( $b$ ), 28 – Баранчинского золоторудно-россыпного узла и 29 – рудных полей: Баранчинского (1.1), Щемиловского (1.2); 30 – местоположение канавы 72-1

Золотоносные россыпи на рассматриваемой территории были открыты ещё в первой половине XIX в., их отработка с длительными перерывами продолжалась до конца 1990-х гг. Россыпи золота известны по р. Баранча (среднее и верхнее течение), а также по её левым притокам – рекам Светлая, Николаевка, руч. Иерусалимский (Ерусалим), в нижнем течении её правого притока р. Качи. Золотоносность правых притоков р. Баранча (Подсумный, Светленький, Лысуха) слабая, обычно не превышает десятых–первых сотен мг/м<sup>3</sup> (Николенко, 1995 ф).

Головки россыпей рек Светлая и Николаевка приурочены к зоне Куячинского надвига, золотоносная часть долины р. Баранча и руч. Иерусалим – к зоне Сарасинско-Инского разлома. Примечательно, что зоны разломов подчёркиваются дайками среднего–основного состава усть-беловского комплекса.

В целом суммарная учтённая добыча золота из россыпей бассейна р. Баранча составила почти 500 кг.

Распределение золота россыпи р. Баранча по классам крупности имеет некоторые особенности. Верхний и средний участки характеризуются наиболее высокими содержаниями фракции +1 мм (55–66 %), с заметной тенденцией её убывания вниз по течению; в нижнем участке россыпи наблюдается резкое снижение крупности металла – доля фракции золота +1 мм падает до 12–23 %. Во всех классах преобладают комковатые, лепёшковидные, дендритовидные и друзовидные формы зёрен с шероховатой и ямчатой поверхностью, хорошей, средней, реже плохой окатанностью. В нижнем участке незначительно увеличивается доля хорошо окатанных зёрен. Пробность золота варьирует в пределах 905–980 ‰, составляя в среднем 950 ‰. Золоту из карстовых карманов россыпи свойственна плохая окатанность и повышенная крупность.

Россыпь р. Светлой характеризуется содержанием фракции +1 мм от 63 до 95 % в верхней части, на нижнем участке содержание фракции +1 мм составляет 20–33 %. Встречались самородки весом 18–48 г. Отмечались сростки с кварцем. Из сопутствующих присутствовали осмистый иридий в количестве 3–10 г на 1 кг золота, весовые содержания хромита. Россыпь отрабатывалась вручную открытым и подземным способом. Пробность золота варьирует в пределах 920–940 ‰.

Золото россыпи р. Николаевки характеризуется повышенной крупностью, в нижнем её участке, включая руч. Иерусалим, содержание класса крупности +1 мм составляет 80–91 %. Максимальный размер золотин до 6,9 мм в сечении отмечен в руч. Иерусалим, в р. Николаевка размер зёрен достигает 4,3 мм в сечении. Крупность золота в верхней части россыпи заметно снижается – класс +1 мм в пределах 60–64 %. Пробность золота по р. Николаевка – 900–950 ‰, составляя в среднем 935 ‰, по руч. Иерусалим пробность возрастает до 960 ‰.

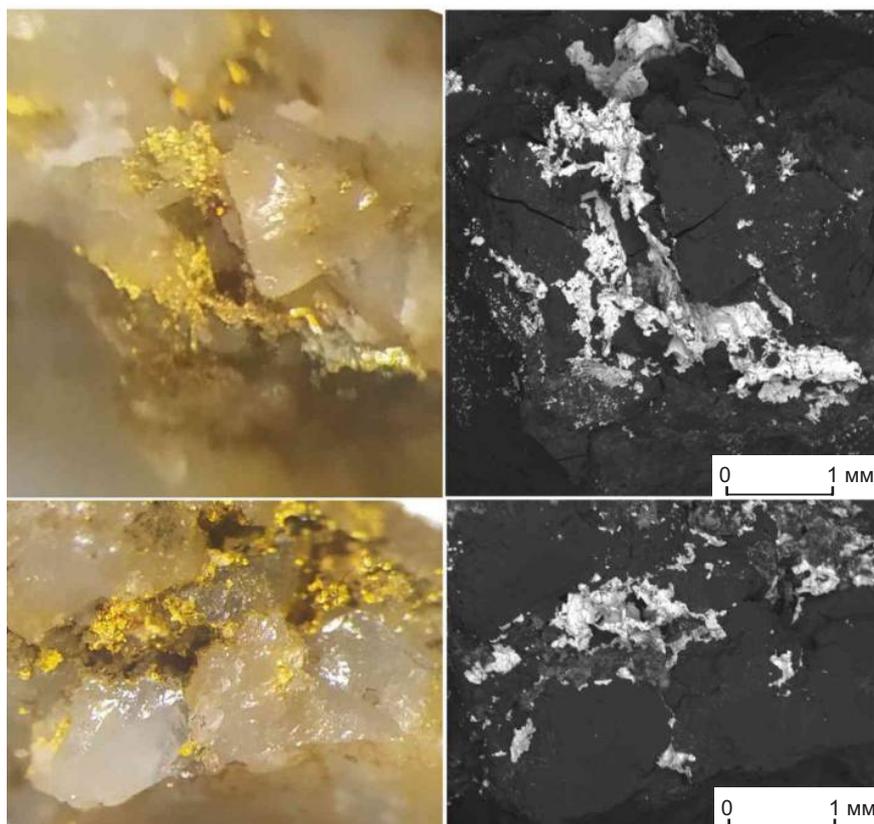
Минеральные выделения осмистого иридия из россыпей бассейна р. Баранчи представлены в виде изометричных окатанных плоских зёрен серебристо-белого цвета с ярким металлическим блеском, размером в доли мм, максимально до 1 мм (Николенко, 1995 ф).

Наличие в россыпях крупного металла, самородков золота, а также сростков самородного золота с кварцем указывает на то, что источником россыпного золота служили золотоносные кварцевые жилы и зоны жильно-прожилкового окварцевания. При этом, однако, намечается пространственная связь россыпей и разломных зон с телами гипербазитов, которые, вероятно, являются источником осмистого иридия.

В период 2014–2016 гг. на Баранчинской площади выполнялись поисковые работы на рудное золото (Селин, 2016 ф), по результатам которых наличие коренного золотого оруденения было подтверждено только на двух участках (Лысуха и Баранчинский), находящихся в пределах Баранчинского рудного поля.

Участок Баранчинский сложен слабометаморфизованными вулканогенно-терригенно-карбонатными отложениями барагашской свиты. Золотое оруденение участка связано с маломощными, 1–2 м, зонками катаклаза и кварц-кальцитовый минерализации в дайках диоритовых порфиринов, гранит-порфиринов, реже в окварцованных терригенно-карбонатных породах с максимальными содержаниями золота 4,3 г/т. В плотике р. Светлая известны находки кварцевых жил с видимым золотом (рис. 2), пробность которого составляет 920–950 ‰.

На участке Лысуха золотое оруденение с промышленными содержаниями серебра, меди, висмута и бора связано с зонами скарнов, которые приурочены к области контакта гранитоидов усть-беловского комплекса и терригенно-карбонатных



**Рис. 2. Самородное золото в жильном кварце из плитки россыпи р. Светлая:**

справа – изображение в отражённых электронах

отложений барагашской свиты. Тела скарнов достигают мощности 150 м. При этом золоторудные тела в пределах зон скарнов относительно маломощные (до 3 м), характеризуются средним содержанием 1,3 г/т при максимальных содержаниях золота до 31 г/т и серебра свыше 100 г/т. Содержания меди на уровне 1–2 %, висмута – до 0,05 %, бора ( $B_2O_3$ ) – до 6–8 %. Скарны, очевидно, служили благоприятной средой для формирования руд.

В статье представлены результаты изучения вещественного состава и условий формирования золото-скарновой минерализации, выявленной на участке Лысуха.

**Методика исследований.** Штуфные пробы для исследований массой 0,5–1 кг были отобраны авторами из полотна канавы К72–1, вскрывшей мощную зону развития метасоматитов и рудной минерализации, наиболее представительную по степени проявленности всех стадий минерало-

образования. Номер каждой пробы в знаменателе отражает её положение (в метрах) в канаве 72–1.

Различные по составу метасоматические зоны выпиливали из штуфов. Из срезов были изготовлены прозрачные шлифы и аншлифы. Остатки, раздробленные до фракции –0,5 мм, использовали для анализа минерального и элементного состава пород.

Минеральный состав проб определяли методом рентгенофазового анализа лёгкой, тяжёлой немагнитной и электромагнитной фракции (дифрактометр ДРОН-2), состав рудных минералов уточняли путём просмотра смонтированных аншлифов.

Мультиэлементный ICP-MS анализ проб после 4-х кислотного разложения выполнен в аккредитованном Аналитическом центре «ЦНИГРИ» на масс-спектрометре Elan6100 (аналитик Е. Торина). Содержания Au уточнены методом пробирного анализа с гравиметрическим окончанием.

Минералы	Апоскарновые метасоматиты	
	«Ретроградные» скарны	Пропилиты
Пироксен	1	
Везувиан	1	
Волластонит	1	
Кальцит		2
Эпидот-цоизит		2
Амфибол		2
Сфен		2
Апатит		2
Полевые шпаты		2
Кварц	1	2
Турмалин		2
Аксинит		2
Датолит		2
Окаямалит		2
Никелин		2
Герсдорфит		2
Леллингит		2
Халькопирит		2
Борнит		2
Халькозин		2
Сфалерит		2
Галенит		2
Тетраэдрит		2
Аннивит		2
Виттихенит		2
Хедлейит		2
Самородный Вi		2
Электрум		2



Рис. 3. Схема последовательности формирования золото-медно-скарновых руд:

минералы: 1 – главные, 2 – второстепенные

Рентгеноспектральный микроанализ рудных минералов выполнен на микрозондовом анализаторе Cameca SX-100, оснащённом волновыми спектрометрами (аналитик Н. Н. Кононкова).

Микротермометрические анализы индивидуальных флюидных включений проводились в прозрачно-полированных пластинках с использованием криотермокамеры УМТК+ конструкции ЦНИГРИ, позволяющей выполнять охлаждение и нагревание препаратов от -180 до +600 °С с измерением температур фазовых переходов во включениях посредством хромель-алюмелевой термопары с точностью ±0,2 °С. Камеру калиб-

ровали при температурах тройной точки чистой CO<sub>2</sub> (-56,6 °С), температурах плавления льда в стандартных растворах NaCl (от -18° до -1 °С), температурах плавления AgNO<sub>3</sub> (210 °С) и K<sub>2</sub>CrO<sub>7</sub> (398 °С).

Изотопный состав кислорода и углерода карбонатов выполнен по стандартной методике [12], включающей реакцию минерала с H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> при 75 °С с последующим анализом CO<sub>2</sub> на изотопном масс-спектрометре МИ-1201. В качестве стандартного образца использовали карбонат КН-2 (аттестованные значения δ<sup>13</sup>C<sub>PDB</sub> +1,97 ‰, δ<sup>18</sup>O<sub>SMOW</sub> +27,8 ‰). Погрешность анализа не превышает ±0,2 ‰ для δ<sup>13</sup>C и ±0,4 ‰ для δ<sup>18</sup>O.

**Результаты исследований.** Изученный фрагмент рудопроявления Лысуха представляет собой тело в различной степени преобразованных диффузионных пироксен-гранатовых скарнов мощностью 8 м (интервал 58–66 м), приуроченное к контакту известняков и алюмосиликатных пород. Скарны сложены мелкозернистым агрегатом граната андрадит-гроссулярового ряда, содержащим неравномерно распределённые скопления мелких кристаллов диопсида. В результате петрографических и минераграфических исследований установлена следующая последовательность формирования наложенного на скарны оруденения (рис. 3).

Среди апоскарновых метасоматитов мы выделяем две разновидности, которые были сформированы последовательно в рамках единого этапа минералообразования.

*Волластонит-везувиановые метасоматиты («ретроградные скарны»)* образуются путём практически полного замещения пироксена и граната сначала везувианом, а затем более локально развитым волластонитом (рис. 4, табл. 1). При этом в породах существенно возрастают содержания только Mg, Ti, As и В. Установлено, что указанные элементы наряду с Ca и Fe на рассматриваемой площади закономерно входят в состав везувиана (табл. 2).

*Пропилиты* накладываются как на скарны, так и на волластонит-везувиановые метасоматиты (рис. 5, см. табл. 1) и сложены эпидот-цоизитом, клиноцоизитом и амфиболом актинолит-тремолитового ряда. В подчинённом количестве отмечаются кварц, альбит, калиевый полевой шпат, аксессуарные минералы представлены апатитом и сфеном. Соответственно, в пропилитах фиксируются повышенные концентрации К и Na. Бор

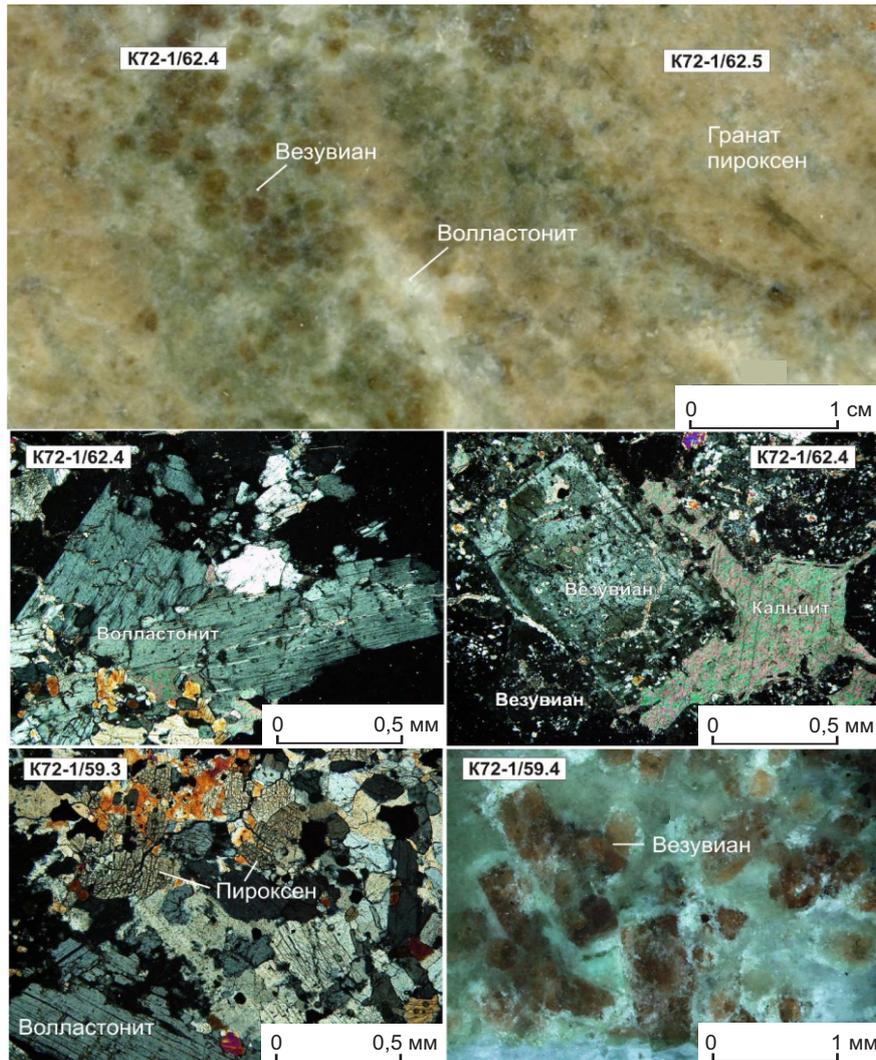


Рис. 4. Замещение пироксен-гранатовых скарнов везувианом и волластонитом

практически полностью выносятся и, возможно, переотлагается во внутренней зоне в форме боросиликатов.

**Боросиликатная минерализация.** Особенностью апоскарновых метасоматитов, развитых на уч. Лысуха, является присутствие существенного количества минералов бора. За пределами золоторудного тела отмечены чёрный турмалин и розовато-фиолетовый (марганцовистый) аксинит (см. рис. 5). В рудном теле широко развиты датолит  $\text{Ca}_2\text{B}_2[\text{SiO}_4]_2[\text{OH}]_2$  (рис. 6) и окаямалит  $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{SiO}_7$  (рис. 7). Указанные минералы отчётливо замещают пироксен, волластонит и везувиан, в ряде случаев содержание боросиликатов достигает 50 % от массы руд.

Окаямалит относится к весьма редким минералам [11], на территории России он встречен впервые. Минерал диагностирован по дифрактограмме (основные линии, Å: 2,65 (100), 2,86 (60), 3,47 (40), 1,92 (40), 1,64 (20), 2,12 (20)) в комплексе с данными ICP-MS анализа (см. табл. 2, содержания кальция и бора близко соответствуют теоретическим).

**Рудные минералы.** Главными рудными минералами служат халькопирит и борнит (рисунки 8, 9 и таблицы 3, 4), которые находятся в тесной парагенетической ассоциации с датолитом и окаямалитом. В рудах минералы меди распределены весьма неравномерно. Среди второстепенных и редких минералов распространены халькозин, виттихенит, самородный висмут, сфалерит, галенит,

Табл. 1. Вещественный состав метасоматитов

Минералы	Номера проб						
	K72-1/62.5	K72-1/62.4	K72-1/65.6	K72-1/65.5	K72-1/59.5	K72-1/59.4	K72-1/59.3
	Зона						
	S	V	V	P	S (+P)	V	P
Содержание, %							
Кальцит	5	10	9	17	4	10	24
Везувиан	–	40	50	–	–	70	5
Гранат	75	10	32	–	50	15	–
Пироксен	15	5	6	35	25	–	< 1
Волластонит	5	35	3	–	–	–	15
Эпидот, цоизит	–	–	–	40	15	–	–
Амфибол	–	–	–	4	–	–	–
Кварц	–	–	–	3	5	–	–
Полевые шпаты	–	–	–	1	1	–	–
Апатит, сфен	–	–	–	< 1	–	–	–
Датолит	–	< 1	–	–	–	5	50
Халькопирит	–	< 1	–	–	–	–	1
Борнит	–	< 1	–	–	–	1	6
Минералы Bi	–	–	–	–	–	–	< 1
Элементы	Содержание, г/т (по данным ICP MS)						
Au	0	0	0	0	0	1	2
Ag	2	1	4	0	0	15	165
As	204	237	460	38	27	529	200
Sb	42	39	129	17	20	119	43
Co	8	10	6	6	5	12	11
Ni	19	23	10	26	12	22	19
Cu	160	88	773	118	164	2641	34 412
Zn	168	221	135	262	153	148	257
Pb	4	5	2	25	5	8	292
Bi	21	24	34	6	3	81	937
W	30	32	5	2	2	4	18
Sn	7	3	62	8	4	22	13
Ba	3	2	1	51	22	1	3
Ti	2134	3187	1806	3027	1415	4512	916
V	57	26	66	115	80	32	19
Cr	21	45	18	62	41	77	16
Mn	1277	862	774	655	1132	606	484
Na	99	86	0	1217	900	49	25
K	122	39	0	2180	997	12	48
Содержание, мас.% (по данным ICP MS)							
Ca	18,2	19,91	19,90	10,02	11,75	17,22	25,20
Mg	1,87	2,63	1,41	2,78	1,00	2,16	1,16
Fe	2,70	1,95	4,93	3,68	2,59	3,06	2,07
B	0,06	0,11	0,60	0,03	0,01	0,72	2,58

Примечание. Метасоматические зоны: S – пироксен-гранатовая, V – волластонит-везувиановая, P – пропилитовая.

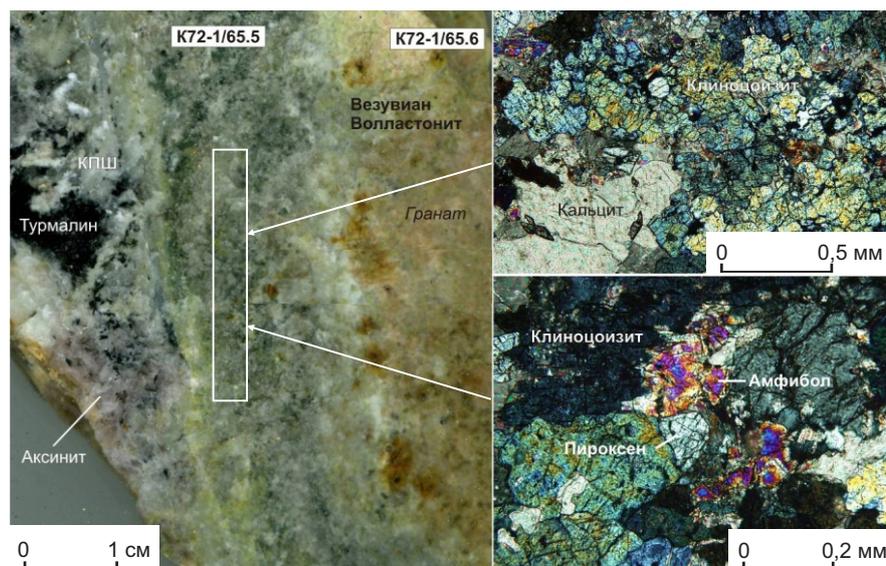


Рис. 5. Замещение скарнов пропилитами

Табл. 2. Химический состав везувиана и окаймалита

№	Минералы	Номера проб		
		K72-1/59.7Н	K72-1/59.7М	K72-1/20М
		Содержание, %		
1	Кальцит	–	7	5
2	Везувиан	–	93	90
3	Пироксен	–	< 1	5
4	Окаймалит	100	–	–
Элементы		Содержание, мас.% (по данным ICP MS)		
5	Ca	28,50	19,20	19,34
6	Mg	0,82	2,55	2,92
7	Fe	0,32	2,83	2,84
8	Ti	0,01	0,29	0,31
9	B	8,20	0,91	0,53
Элементы		Содержание, г/т (по данным ICP MS)		
10	Ag	0,7	6,4	0,9
11	As	146,1	1060,3	893,6
12	Sb	8,6	194,0	49,3
13	Co	6,4	9,4	10,5
14	Ni	6,4	21,2	26,2
15	Cu	154,1	2365,6	119,2
16	Zn	42,6	276,8	336,3
17	Pb	0,0	29,8	10,3
18	Bi	2,4	100,1	26,0

№	Элементы	Номера проб		
		K72-1/59.7Н	K72-1/59.7М	K72-1/20М
		Содержание, г/т (по данным ICP MS)		
19	Se	2,1	7,9	4,7
20	W	2,6	17,7	3,0
21	Sn	0,7	12,0	5,5
22	Ba	0,0	3,9	4,3
23	V	22,8	65,0	64,2
24	Cr	2,2	40,2	33,8
25	Mn	202,4	761,1	813,3
26	Na	0	36	62
27	K	0	108	120
28	Li	0,2	1,2	0,2
29	Rb	0,2	1,0	0,8
30	Sr	17,0	373,8	1080,4
31	Ga	3,1	28,5	23,9
32	Ge	1,6	1,6	1,5
33	Y	2,9	2,5	3,2
34	Zr	64,3	65,9	81,5
35	Nb	0,4	5,4	5,9
36	Hf	1,2	2,4	2,8
37	Ta	0,0	0,5	0,4
38	Be	0,4	0,8	1,2

Примечание. Фракции: Н – немагнитная, М – электромагнитная; обр. K72-1/20 отобран из везувиановых метасоматитов за пределами рудной зоны.

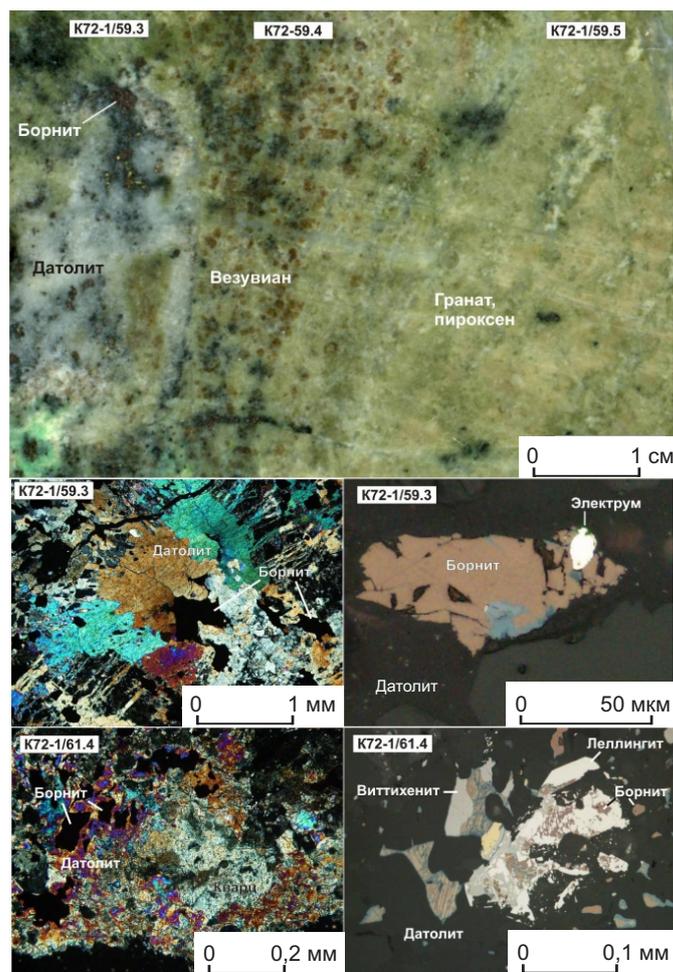


Рис. 6. Замещение скарнов датолитом с золото-сульфидной минерализацией

тетраэдрит, аннивит (Bi-тетраэдрит), никелин, герсдорфит, Со-герсдорфит, Со-Ni-леллингит.

Все рудные минералы находятся в тесной ассоциации и преимущественно наблюдаются в полиминеральных срастаниях. Наблюдения в аншлифах свидетельствуют о том, что наиболее ранними по времени выделения являются минералы мышьяка и никеля, которые корродируются борнитом и халькопиритом. Минералы меди, в свою очередь, замещаются минералами висмута.

Самородное золото, тесно ассоциирующее с сульфидами, образует тонкодисперсные (1–10 мкм) микровключения в халькопирите, борните, виттихените. По данным рентгеноспектрального микроанализа (табл. 5), пробность золота низкая (соответствует электруму). Существенные примеси – Ag, Bi, Hg, Cu, Te. В некоторых образцах с относительно низким общим содержанием суль-

фидов, но повышенным количеством виттихенита и самородного висмута в золото-сульфидном концентрате обнаружены частицы *свободно-*го тонкого золота размерами 50–100 мкм. Форма золотин неправильная интерстициальная с многочисленными выступами и следами от вмещающего минерала (везувиана). Иногда зёрна имеют отчётливые кристаллографические очертания, свидетельствующие о росте золотин в свободном пространстве.

*Физико-химические условия рудообразования.* Верхний предел температур образования «ретроградных скарнов» можно определить по границе устойчивости волластонита в 550 °С, нижний – по границе устойчивости клинопироксена в 400 °С [5]. При снижении температуры до 400–300 °С скарновые минералы замещаются пропиловыми – амфиболом и эпидотом [5].

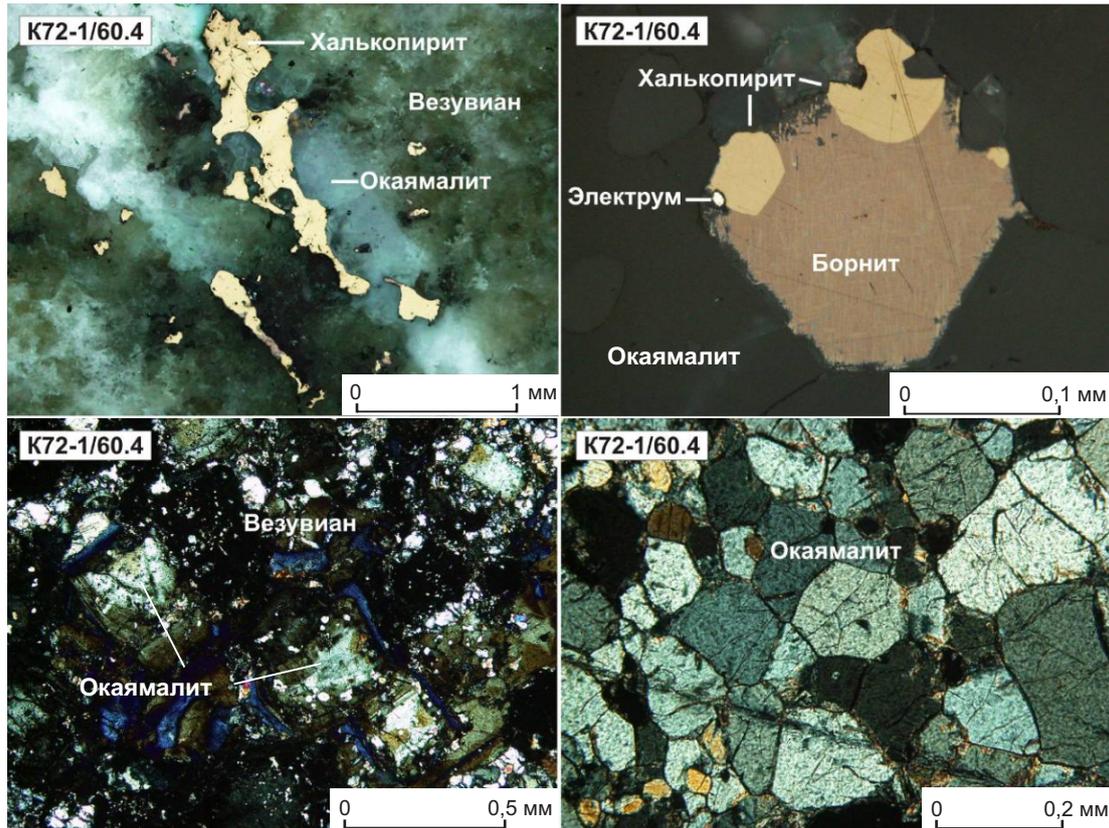


Рис. 7. Окаямалит  $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{SiO}_7$ , в парагенезисе с золото-сульфидной минерализацией

Условия формирования рудной минерализации, представленной парагенезисом сульфидов и боросиликатов, изучены по флюидным включениям в аксините и датолите [6].

В крупном ( $3 \times 8$  см) кристалле аксинита (обр. K72-1/65.5) включения расположены закономерно в соответствии с зонами роста минерала-хозяина и отнесены к первичным. Форма включений преимущественно уплощённая с кристаллографическими очертаниями, размеры варьируют от 10 до 20 мкм (рис. 10).

В некоторых вакуолях наблюдаются мелкие твёрдые фазы разнообразной формы с низким двупреломлением, которые не растворяются вплоть до температуры декрепитации включений ( $400\text{--}500$  °C). Ксеноморфное происхождение данных минералов очевидно, поэтому их анализ методом Раман-спектроскопии не выполняли.

Микротермометрические анализы выполнены для десяти включений. Установлено, что все ва-

куоли заполнены щёлочно-хлоридным раствором умеренной концентрации ( $T_{nl}$  эвтектики  $-22,5\text{--}-25,5$  °C,  $T_{nl}$  льда  $-7,0\text{--}-7,8$  °C,  $C = 11 \pm 0,5$  мас.% NaCl-экв.). Температура гомогенизации включений варьирует от  $385\text{--}360$  °C во внутренних зонах до  $350\text{--}330$  °C во внешних. Газовая фаза в наиболее высокотемпературных включениях представлена метаном с примесью азота ( $\text{N}_2$  около 10 мол.%, гомогенизация в критической точке при  $-86$  °C,  $T_{nl}$  газогидрата  $+11,5$  °C).

Содержание метана во флюиде оценивается в 10–13 мол.%. При  $350$  °C такое количество  $\text{CO}_2$  в водно-солевом растворе с концентрацией 10 мас.% NaCl-экв. может растворяться при давлении не менее 1 кбар [7]. Для находящихся в аксините включений данная оценка является минимально возможной, так как растворимость метана в воде ниже, чем растворимость углекислоты. В условиях литостатического градиента давление 1 кбар соответствует глубинам около 4 км от палео-поверхности.

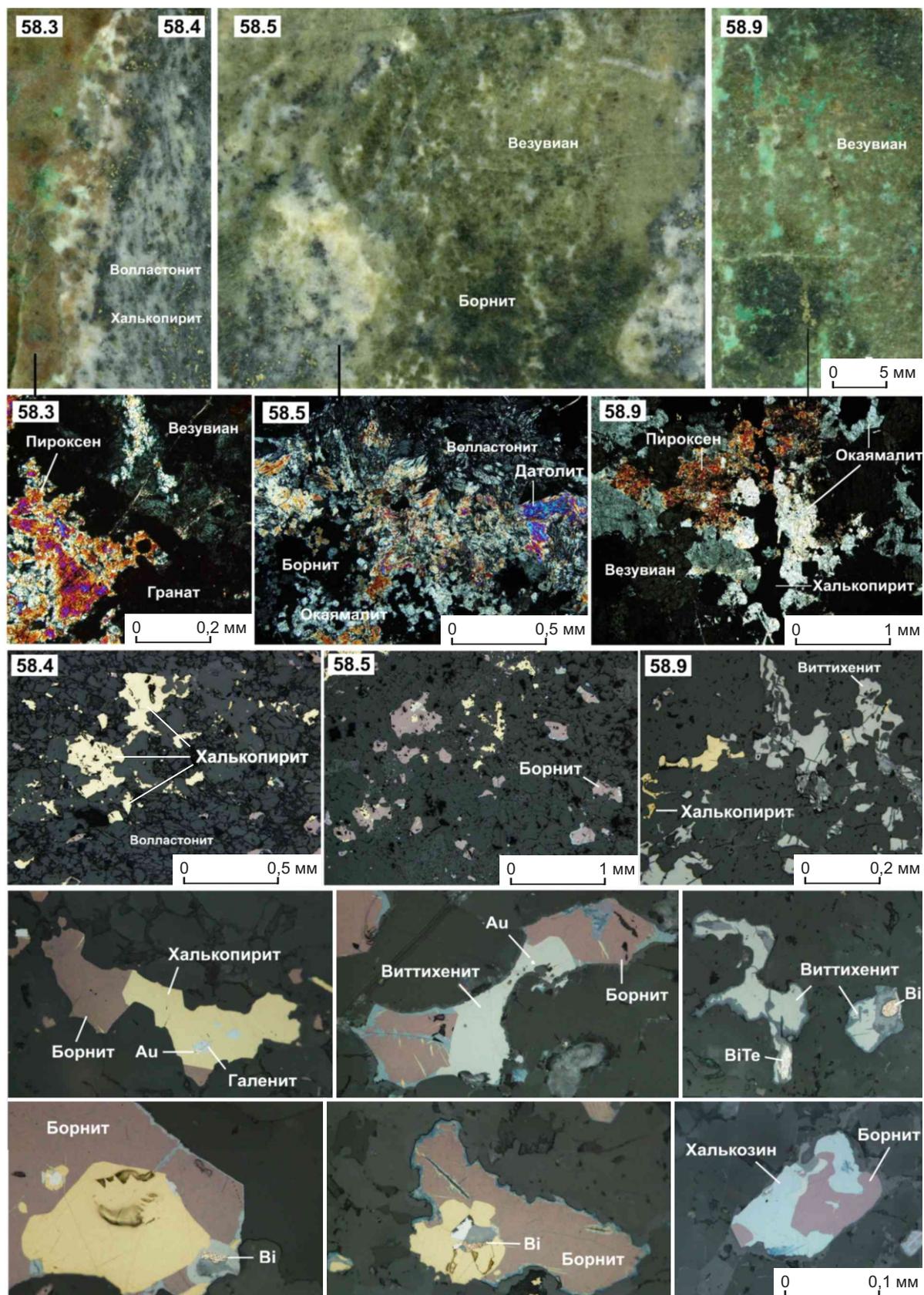


Рис. 8. Золотоносная минерализация в скарнах

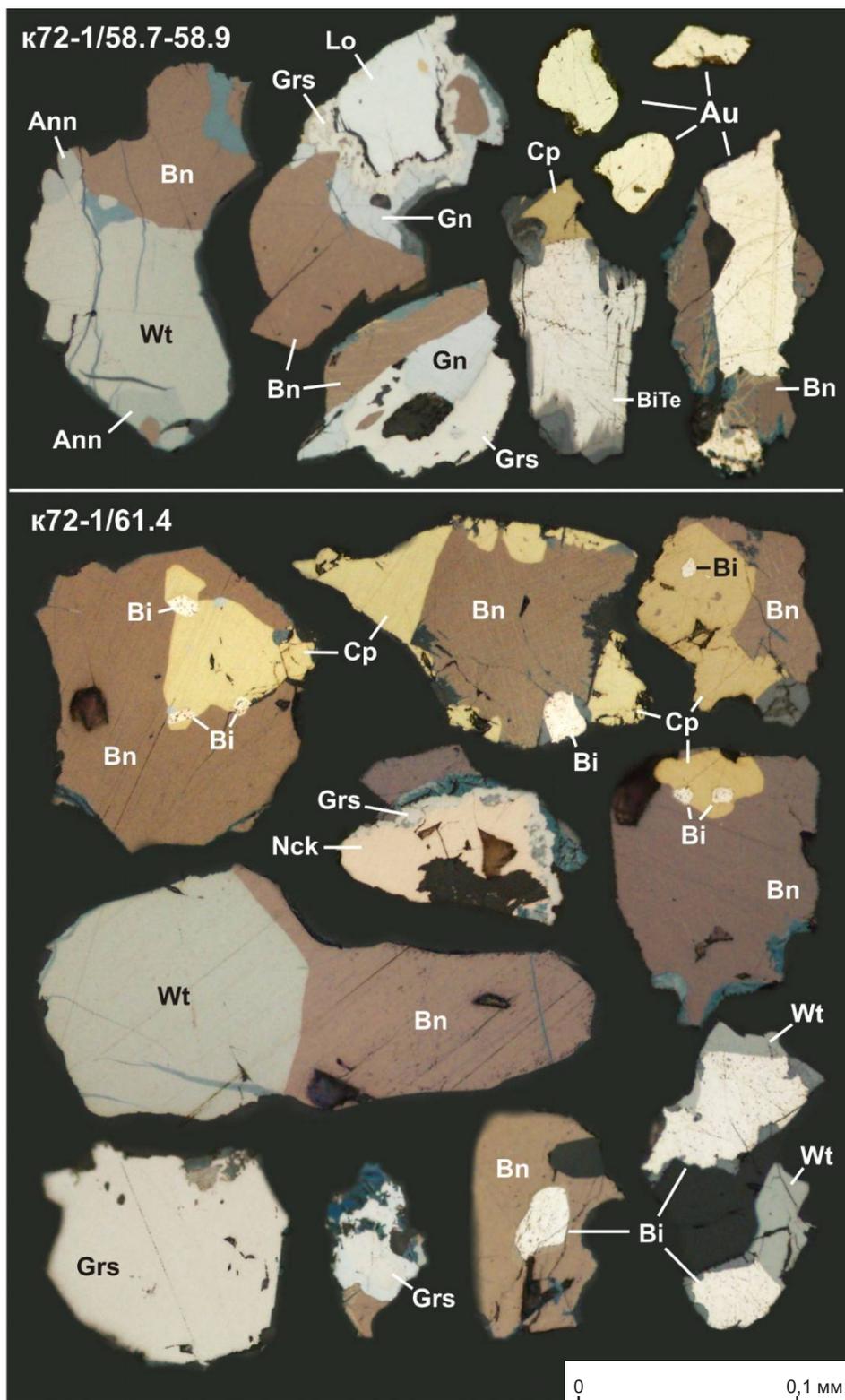


Рис. 9. Рудные минералы в монтированных аншлифах:

Bn – борнит, Cp – халькопирит, Gn – галенит, Wt – виттихенит, Ann – аннит, Lo – Co-Ni-лёллингит, Hrs – герсдорфит, Nck – никелин, BiTe – хедлейит, Bi – самородный висмут, Au – электрум

Табл. 3. Вещественный состав руд и золото-сульфидных концентратов

Номера проб	K72-1/58.4		K72-1/58.5		K72-1/58.7		K72-1/58.9		K72-1/61.4	
	Р	К	Р	К	Р	К	Р	К	Р	К
Au*, г/т	1,9	–	1,2	–	2,3	–	7,6	–	< 0,2	–
<b>Минералы</b>	<b>Содержание, %</b>									
Кальцит	< 1	–	3	–	16	5	7	1	29	3
Гранат	1	–	–	–	2	–	–	–	< 1	–
Пироксен	10	1	–	–	1	–	10	5	10	–
Везувиан	1	–	20	1	56	28	55	26	45	22
Волластонит	61	29	15	1	–	–	Сл	–	–	–
Кварц	10	32	–	–	–	–	–	–	–	–
Датолит	7	3	20	2	7	2	17	1	14	4
Окаямалит	–	–	40	3	14	3	5	1	–	–
Халькопирит	10	33	Сл	35	2	30	4	55	< 1	5
Борнит	< 1	2	2	57	2	30	1	1	2	65
Минералы Вi	–	< 1	–	1	< 1	2	1	10	< 1	1
<b>Элементы</b>	<b>Содержание, г/т (по данным ICP MS)</b>									
Au	2	7	1	105	2	10	10	210	1	2
Ag	280	546	160	4598	68	846	858	6541	88	1665
As	77	285	568	778	801	537	660	1147	253	237
Sb	47	36	42	28	68	47	225	205	36	20
Co	22	137	15	207	16	29	6	22	6	11
Ni	25	270	12	204	28	29	17	41	16	30
Mo	0	1	0	3	7	1	9	30	1	0
Se	84	208	14	363	24	296	67	339	13	393
Te	39	33	9	110	19	97	263	986	9	61
W	2	32	10	15	10	6	41	31	3	1
Sn	23	40	13	21	16	23	10	9	3	4
Cd	36	54	7	55	13	65	6	40	6	31
In	1	2	0	1	0	0	0	1	0	1
Ba	7	6	2	5	5	11	7	41	4	10
Sr	67	34	217	52	542	169	335	147	527	84
Ti	758	1247	2177	517	1612	924	4347	3964	791	581
V	34	49	94	65	48	35	139	162	29	36
Cr	19	24	45	22	26	19	54	39	13	13
Mn	1151	845	1226	1011	786	409	658	523	581	219
Na	269	73	158	40	17	269	139	286	0	348
K	98	95	90	119	114	468	145	403	43	620
<b>Элементы</b>	<b>Содержание, мас.% (по данным ICP MS)</b>									
Cu	3,85	12,40	1,32	49,76	1,94	28,81	2,49	20,37	1,23	40,65
Fe	5,33	12,66	3,51	10,70	2,94	10,38	3,74	6,82	1,10	6,78
Zn	0,23	0,20	0,02	0,34	0,10	0,24	0,18	0,19	0,03	0,02
Pb	0,03	0,04	0,01	0,14	0,01	0,06	0,83	5,58	0,01	0,08
Bi	0,15	0,24	0,03	0,76	0,04	0,31	1,45	9,37	0,05	0,37
B	0,49	0,20	5,34	0,40	1,99	0,51	1,96	0,32	1,83	0,42
Ca	16,10	8,16	18,24	3,99	22,94	9,11	17,00	6,21	25,23	6,38
Mg	3,93	1,34	3,77	0,49	2,20	1,01	2,39	1,27	2,10	0,97

Примечание. Au\* – содержание Au по данным пробирного анализа; Р – исходная руда; К – золото-сульфидный концентрат.

Табл. 4. Химический состав (мас.%) рудных минералов. По данным рентгеноспектрального микроанализа

Точка	S	Fe	Cu	Zn	Pb	Sb	As	Co	Ni	Ag	Bi	Te	Сумма
1	18,81	0,06	38,52	0,00	0,04	0,09	0,04	–	–	0,80	41,51	–	99,87
2	18,73	0,01	38,46	0,00	0,13	0,08	0,02	–	–	1,09	41,37	–	99,89
3	17,98	0,14	35,56	0,04	0,07	0,02	0,00	–	–	7,28	38,56	–	99,65
4	23,11	0,19	36,63	6,81	0,15	21,94	0,00	–	–	0,67	10,35	–	99,85
5	15,97	0,07	0,55	0,00	0,00	0,44	48,15	0,05	34,71	–	–	–	99,94
6	17,17	0,22	0,58	0,07	0,00	0,00	42,85	3,05	36,02	–	–	–	99,96
7	17,57	2,93	1,04	0,02	0,37	0,11	42,80	22,76	12,39	–	–	–	99,99
8	0,78	16,56	0,29	0,00	0,00	0,03	67,75	6,98	7,57	–	–	–	99,96
9	12,57	0,09	0,77	0,10	85,47	0,00	0,00	0,00	0,10	–	–	–	99,10
10	12,14	0,27	0,84	0,01	85,83	0,08	0,00	0,34	0,38	–	–	–	99,89
11	26,72	12,02	61,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	–	–	–	99,93
12	0,06	0,18	0,47	0,00	0,03	0,53	50,30	0,42	47,91	–	–	–	99,90
13	0,10	0,00	0,10	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	–	79,21	20,40	99,98

Кристаллохимические формулы

№ п/п	Название минерала	Фимическая формула
1	Виттихенит	$(\text{Cu}_{3,03}\text{Ag}_{0,04})_{3,07}\text{Bi}_{0,99}\text{S}_{2,94}$
2	Виттихенит	$(\text{Cu}_{3,03}\text{Ag}_{0,05})_{3,08}\text{Bi}_{0,99}\text{S}_{2,93}$
3	Ag-Виттихенит	$(\text{Cu}_{2,85}\text{Ag}_{0,34})_{3,17}\text{Bi}_{0,94}\text{S}_{2,86}$
4	Аннивит	$\text{Cu}_{10,18}(\text{Zn}_{1,84}\text{Fe}_{0,06}\text{Pb}_{0,01})_{1,91}(\text{Sb}_{3,18}\text{Bi}_{0,87})_{4,05}\text{S}_{12,73}$
5	Герсдорфит	$(\text{Ni}_{1,02}\text{Cu}_{0,01})_{1,03}\text{As}_{1,11}\text{S}_{0,86}$ (каймы)
6	Герсдорфит	$(\text{Ni}_{1,03}\text{Cu}_{0,02})_{1,05}\text{As}_{0,96}\text{S}_{0,90}$ (середина)
7	Со-герсдорфит	$(\text{Co}_{0,65}\text{Ni}_{0,35}\text{Cu}_{0,03})_{1,03}\text{As}_{0,96}\text{S}_{0,92}$
8	Со-Ni-лёллингит	$(\text{Fe}_{0,6}\text{Ni}_{0,26}\text{Co}_{0,24})_{1,1}(\text{As}_{1,85}\text{S}_{0,05})_{1,9}$
9	Галенит	$\text{Pb}_{1,03}\text{S}_{0,97}$
10	Галенит	$\text{Pb}_{1,04}\text{S}_{0,96}$
11	Борнит	$\text{Cu}_{4,79}\text{Fe}_{1,07}\text{S}_{4,14}$
12	Никелин	$\text{Ni}_{1,10}\text{As}_{0,90}$
13	Хедлейит	$\text{Bi}_{2,0}\text{Te}_{1,0}$

В датолите, ассоциирующем с золото-сульфидной минерализацией (обр. K72–1/58.9), обнаружены редкие мелкие (около 5 мкм) хаотично расположенные газовой-жидкие включения. Для них удалось определить только температуру гомогенизации (около 330 °С, 5 определений), которая соответствует нижнему пределу температур гомогенизации включений в аксините.

Присутствие в рудах самородного висмута может свидетельствовать о том, что рудоотложение завершилось при более низкой температуре (< 270 °С), но в целом надо отметить относительно

высокотемпературный характер оруденения, выявленного на уч. Лысуха.

Изотопный анализ кальцитов из трёх образцов (K72/1–58.7, 61.4 и 65.5) показал их полную идентичность:  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = +18,5 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -3,5 \text{ ‰}$ . Этот факт свидетельствует о принадлежности всей карбонатной минерализации к единой (пропилитовой) стадии рудообразования. Расчёт изотопных характеристик флюида, равновесного с кальцитом при  $350 \pm 30 \text{ °C}$ , показывает следующие значения:  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} \cong -1 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} \cong +14 \text{ ‰}$  [9]. Обогащение флюидов тяжёлым изотопом углерода, вероятнее

Табл. 5. Химический состав (мас.%) самородного золота

Образцы	Зерно	Au	Ag	Bi	Hg	Cu	Te	Se	Sb	Сумма
К72/58.7	1	57,77	41,05	0,17	0,26	0,15	0,07	0,03	0,00	99,50
К72/58.9	1	53,38	46,01	0,11	0,28	0,06	0,13	0,01	0,00	99,98
К72/58.9	2	53,05	46,12	0,20	0,40	0,05	0,19	0,00	0,04	100,05
К72/58.9	3	53,30	46,04	0,13	0,32	0,05	0,15	0,01	0,00	100,00

всего, обусловлено его заимствованием из вмещающих известняков, хотя нельзя полностью исключить вероятность изотопного обмена в системе  $\text{CO}_2\text{-CH}_4$ . Изотопный состав кислорода указывает на вероятную связь водной составляющей флюидов с коровыми гранитоидами.

**Обсуждение результатов.** По комплексу признаков (табл. 6) изученное оруденение можно уверенно отнести к золото-медно-скарновому типу, широко проявленному на Горном Алтае [1, 4, 8]. Наиболее известным и хорошо изученным объектом является Синюхинское месторождение, которому посвящены многочисленные публикации, в том числе и авторов данной статьи [2, 10, 11]. В то же время золотоносные скарны на уч. Лысуха имеют ряд существенных отличительных особенностей, преимущественно в части вещественного состава рудной минерализации и околорудных метасоматитов:

- везувиановый состав вмещающих метасоматитов;
- наличие боросиликатного оруденения;
- присутствие значительного количества минералов висмута;
- низкая пробность самородного золота;
- высокие содержания серебра, отношения  $\text{Cu/Ag}$  и  $\text{Cu/Au}$  указывают на близость оруденения к так называемым «сереброносным» скарнам, представителем которых на Горном Алтае служит потенциальное месторождение Карагу [3].

Прогнозируемое золоторудное поле Карагу находится в южной части Уйменского прогиба и локализовано в экзоконтактовой зоне массива гранитоидов белокурухинского комплекса. Выявленное здесь олово-медно-золотое проявление Восточный Карагу сложено гранат-везувиан-геденбергитовыми скарнами мощностью до 10 м и протяжённостью до 300 м. Характерна высокая насыщенность скарнов везувианом в виде вкрапленности и гнёзд. Более поздние пропилютоподобные метасоматиче-

ские изменения представлены прожилками кварца, эпидота и тремолита мощностью 0,5–2 см. Местами метасоматиты образуют сплошные мусковит-кварцевые линзы размером 1–5 м. В них наблюдается вкрапленность турмалина, шеелита, датолита, касситерита. В дистальной фации увеличивается количество датолита и везувиана, образующих местами гнёзда размерами до 20–60 см.

Прожилки кварца мощностью 1–5 см содержат вкрапленность пирита, борнита, халькозина, халькопирита, сфалерита, галенита, самородного золота. Шеелит и касситерит кристаллизовались раньше сульфидов и золота в прожилках кварца с альбитом и калиевым полевым шпатом. Свободное золото выявлено в хвостах бороздовых проб в обогащённой медью зоне. Содержание золота от 1,5 до 5,9 г/т. Золотины имеют низкую пробность (580–650 ‰).

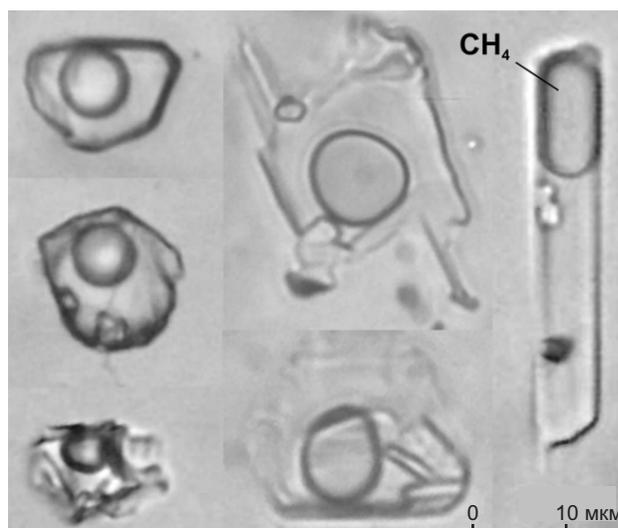


Рис. 10. Первичные флюидные включения в аксините (обр. К72-1/65.5)

Табл. 6. Сравнительная характеристика золото-медно-скарновых объектов

Геолого-структурные и минералого-геохимические характеристики	Золото-медно-скарновые объекты		
	Синюхинское месторождение	уч. Лысуха	уч. Карагу
Геолого-структурная позиция	Тектонически нарушенная область экзоконтакта массива гранитоидов в терригенно-вулканогенно-карбонатных толщах		
Ассоциирующие магматитические образования	Диориты, монцодиориты синюхинского комплекса	Граниты белокурихинского комплекса	
Вмещающие породы	Пироксен-гранатовые и волластонитовые скарны	Везувиановые скарны	
Рудосопровождающие апоскарновые метасоматиты	Кальцит-кварц-эпидотовые	Кварц-эпидотовые и боросиликатные	Кварц-мусковит-КПШ-эпидотовые и боросиликатные
Морфология рудных тел	Залежи, гнёзда, лентовидные тела сложной морфологии		
Содержание компонентов в рудах:			
Au, г/т	1–35	1–7,5	1,5–5,9
Ag, г/т	20–100	50–850	250
Cu, %	2–3,5	1,3–3,9	1
Bi, %	0,01	0,06	0,002
B, %	< 0,1	0,5–5	> 1
As, г/т	30	600	500
Сопутствующие элементы	Pb, Te	Pb, Te, Zn	Pb, Zn, Li, Be
Главные рудные минералы	Сульфиды меди (халькопирит, борнит ± халькозин)		
Второстепенные минералы	Теллуриды	Самородный висмут, виттихенит	Шеелит, касситерит, пирит
Самородное золото	Высокопробное (800–990)	Низкопробное (электрум 550–650)	
Примеси в золоте	Ag, Cu, Bi	Ag, Cu, Bi, Te, Hg	Ag, Cu, Bi, Sn

Таким образом, по аналогии наблюдаемые особенности золото-медно-скарнового оруденения на уч. Лысуха можно рассматривать как указание на его связь с гранитами белокурихинского комплекса. Возможно, этим объясняется относительно низкая золотоносность проявленных на участке апоскарновых метасоматитов.

**Заключение.** Золотоносная минерализация, проявленная на участке Лысуха, приурочена к полосе развития пироксен-гранатовых скарнов и по комплексу минералого-геохимических критериев в полной мере соответствует оруденению зо-

лото-медно-скарнового типа. С точки зрения рудно-формационной и геолого-промышленной систематики его аналогами могут служить золото-медно-скарновые объекты Горного Алтая, в том числе Синюхинское месторождение. Специфической особенностью оруденения участка Лысуха является необычный состав околорудных метасоматитов (борсодержащий везувиан, боросиликаты – да-толит  $Ca_2B_2 [SiO_4]_2 [OH]_2$  и окаямалит  $Ca_2B_2SiO$ ), повышенное содержание висмута (в самородной форме и в виттихените), мышьяка (леллингит, герсдорфит), а также весьма высокое отношение

Ag/Au в рудах и в самородном золоте. Приведённые особенности указывают на парагенетическую связь оруденения с гранитами белокурухинского комплекса. Возможно, этим обусловлена относительно низкая золотонность апоскарновых метасоматитов. В качестве потенциально рудоносного блока на участке следует принять область ближнего экзоконтакта гранитного массива.

Как следует из анализа россыпной золотонности Баранчинской площади, основным источником золота в россыпях служили кварцевые жи-

лы и зоны жильно-прожилковой золото-кварцевой минерализации, приуроченные к разломным (в том числе надвиговым) зонам, которые территориально локализованы в верховьях р. Баранча и её левых притоков. Это подтверждается находками кварцевых жил с видимым высокопробным золотом в плитковой части россыпи р. Светлая. Оруденение золото-медно-скарнового типа характеризуется тонкодисперсным и тонким низкопробным золотом, его вклад в формирование россыпей был, по-видимому, незначительным.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахрушев В. А. Минералогия, геохимия и образование месторождений скарново-золоторудной формации. – Новосибирск : Наука, 1972. – 240 с.
2. Гусев А. И. Геология и золото-медно-скарновое оруденение Синюхинского рудного поля в Горном Алтае // Руды и металлы. – 1998. – № 2. – С. 79–90.
3. Гусев А. И. Типизация золотосодержащих скарновых объектов Горного Алтая // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 11. – С. 108–112.
4. Гусев Н. И., Гусев А. И. Золотогенерирующие рудно-магматические системы Горного Алтая // Руды и металлы. – 1998. – № 2. – С. 67–78.
5. Жариков В. А., Русинов В. Л., Маракушев А. А., Зарайский Г. П., Омеляненко Б. И., Перцев Н. Н., Расс И. Т., Андреева О. В., Абрамов С. С., Подлесский К. В. Метасоматизм и метасоматические породы. – М. : Научный мир, 1998. – 492 с.
6. Кряжев С. Г., Кряжев В. С., Васюта Ю. В. Условия формирования боросиликатного оруденения скарнов по флюидным включениям в аксините // Материалы XVII Всероссийской конференции по термобарогеохимии. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2016. – С. 81–83.
7. Кряжев С. Г., Фридовский В. Ю. Флюидный режим формирования орогенных золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 6. – С. 118–130.
8. Федак С. И., Туркин Ю. А., Гусев А. И., Шокальский С. П. [и др.] Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-45. Горно-Алтайск. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 567 с.
9. Фор Г. Основы изотопной геологии. – М. : Мир, 1989. – 590 с.
10. Ettliger A. D, Meinert L. D. Copper-gold skarn mineralization at the Veselyi Mine Siniukhinskoe District, Siberia, USSR // Economic Geology. – 1991. – V. 86. – P. 185–194.
11. Matsubara S., Miyawaki R., Kato A., Yokoyama K., Okamoto A. Okayamalite,  $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{SiO}_7$ , a new mineral, boron analogue of gehlenite // Mineral. Mag. – 1998. – 62. – P. 703–706.
12. McCrea J. M. On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale // J. Chem. Phys. 1950. – 18. – P. 849–857.
13. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Uyutov V. I. Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics of the Sinyukhinskoe Cu-Au skarn deposit, Russian Altai, SW Siberia // Ore Geology Reviews. – 2019. – V. 112. – P. 103039. – DOI : <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103039>

### REFERENCES

1. Vakhrushev V. A. Mineralogiya, geokhimiya i obrazovaniye mestorozhdeniy skarnovo-zolotorudnoy formatsii [Mineralogy, geochemistry and formation of deposits of skarn-gold ore formation], Novosibirsk, Nauka publ., 1972, 240 p. (In Russ.)
2. Gusev A. I. Geologiya i zoloto-medno-skarnovoye orudneniye Sinyukhinskogo rudnogo polya v Gornom Altaye [Geology and gold-copper-skarn mineralization of the Sinyukhinsky ore field in the Altai Mountains], Rudy i metally, 1998, No. 2, pp. 79–90. (In Russ.)
3. Gusev A. I. Tipizatsiya zolotosoderzhashchikh skarnovykh obyektov Gornogo Altaya [Typification of gold-bearing skarn objects of the Altai Mountains], Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya, 2013, No. 11, pp. 108–112. (In Russ.)
4. Gusev N. I., Gusev A. I. Zolotogeneriruyushchiye rudno-magmaticheskiye sistemy Gornogo Altaya [Gold-generating ore-magmatic systems of the Altai

- Mountains], *Rudy i metally*, 1998, No. 2, pp. 67–78. (In Russ.)
5. *Zharikov V. A., Rusinov V. L., Marakushev A. A., Zharaisky G. P., Omelyanenko B. I., Pertsev N. N., Rass I. T., Andreeva O. V., Abramov S. S., Podlesky K. V.* Metasomatizm i metasomaticheskiye porody [Metasomatism and metasomatic rocks], Moscow, Nauchnyy mir publ., 1998, 492 p. (In Russ.)
  6. *Kryazhev S. G., Kryazhev V. S., Vasyuta Yu. V.* Usloviya formirovaniya borosilikatnogo orudneniya skarnov po flyuidnym vklyucheniyam v aksinite [Conditions of formation of borosilicate mineralization of skarns by fluid inclusions in axinite], *Materialy XVII Vserossiyskoy konferentsii po termobarogeokhimii*, Ulan-Ude, BNTS SO RAN publ., 2016, pp. 81–83. (In Russ.)
  7. *Kryazhev S. G., Fridovskiy V. Yu.* Flyuidnyy rezhim formirovaniya orogennykh zolotorudnykh mestorozhdeniy Yano-Kolymnskogo poyasa [Fluid regime of formation of orogenic gold ore deposits of the Yana-Kolyma belt], *Tikhookeanskaya geologiya*, 2023, V. 42, No. 6, pp. 118–130. (In Russ.)
  8. *Fedak S. I., Turkin Yu. A., Gusev A. I., Shokalskiy S. P.* [et al.] Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1, 1 000 000 (tretye pokoleniye). Seriya Altaye-Sayanskaya. List M-45. Gorno-Altaysk. Obyasnitelnaya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1, 1,000,000 (third generation). Altai-Sayan Series. Sheet M-45. Gorno-Altaysk. Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ., 2011, 567 p. (In Russ.)
  9. *For G.* Osnovy izotopnoy geologii [Fundamentals of isotope geology], Moscow, Mir publ., 1989, 590 c. (In Russ.)
  10. *Ettlinger A. D., Meinert L. D.* Copper-gold skarn mineralization at the Veselyi Mine Siniukhinskoe District, Siberia, USSR, *Economic Geology*, 1991, V. 86, pp. 185–194.
  11. *Matsubara S., Miyawaki R., Kato A., Yokoyama K., Okamoto A.* Okayamalite,  $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{SiO}_7$ , a new mineral, boron analogue of gehlenite, *Mineral. Mag.*, 1998, 62, pp. 703–706.
  12. *McCrea J. M.* On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale, *J. Chem. Phys.* 1950, 18, pp. 849–857.
  13. *Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Uytov V. I.* Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics of the Sinyukhinskoe Cu-Au skarn deposit, Russian Altai, SW Siberia, *Ore Geology Reviews*, 2019, V. 112, pp. 103039. – DOI : <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103039>

Статья поступила в редакцию 11.04.25; одобрена после рецензирования 05.05.25; принята к публикации 05.05.25.  
The article was submitted 11.04.25; approved after reviewing 05.05.25; accepted for publication 05.05.25.

### Позднемеловое оруденение и магматизм Софийского золотоносного узла Приамурья

**Аннотация.** Приведено описание геологического строения, золотого оруденения и россыпей Софийского золотоносного узла, приуроченного к восточному флангу Приамурской провинции. Установлено, что коренными источниками богатых россыпей Софийского узла являются месторождения и проявления золото-кварцевой формации. Показано, что золотое оруденение пространственно и генетически связано с гранитоидными интрузиями баджалло-дуссеалинского комплекса. Геологические данные и изотопные определения указывают на позднемеловой возраст интрузий баджалло-дуссеалинского комплекса и золотого оруденения Софийского узла.

**Ключевые слова:** рудно-россыпной узел, изотопный возраст, интрузивный комплекс, месторождение, самородное золото.

СТЕПАНОВ ВИТАЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник <sup>1</sup>, vitstepanov@yandex.ru

МЕЛЬНИКОВ АНТОН ВЛАДИМИРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник <sup>2</sup>, melnikov\_anton1972@mail.ru

<sup>1</sup> Научно-исследовательский геотехнологический центр (НИГТЦ) ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

<sup>2</sup> Институт геологии и природопользования (ИГиП) ДВО РАН, г. Благовещенск

### The Late Cretaceous mineralization and magmatism of the Sofia gold-bearing cluster, Amur Region

V. A. STEPANOV <sup>1</sup>, A. V. MELNIKOV <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Scientific Research Geotechnological Center (NIGTC), Petropavlovsk-Kamchatskiy

<sup>2</sup> Institute of Geology and Environmental Management (IGiP) FEB RAS, Blagoveshchensk

**Annotation.** The geological structure, gold mineralization, and gold placers of the Sofia gold-bearing cluster confined to the eastern flank of the Amur province are described. It has been distinguished that the root sources of the rich placers of the Sofia cluster are represented by the ore deposits and manifestations of the gold-quartz formation. It is shown that the gold mineralization is spatially and genetically related to granitoid intrusions of the Badzhal-Dussealin complex. Geological data and isotopic determinations indicate the Late Cretaceous age of the intrusions of the Badzhal-Dussealin complex and the golden mineralization of the Sofia cluster.

**Key words:** ore-placer cluster, isotopic age, intrusive complex, mineral deposit, native gold.

**Введение.** Софийский золотоносный узел находится на восточном, удалённом фланге Приамурской провинции. Он отличается богатыми россыпями золота и небольшими месторождениями золото-кварцевой формации. Золотое оруденение сопровождается интрузиями баджалло-дус-

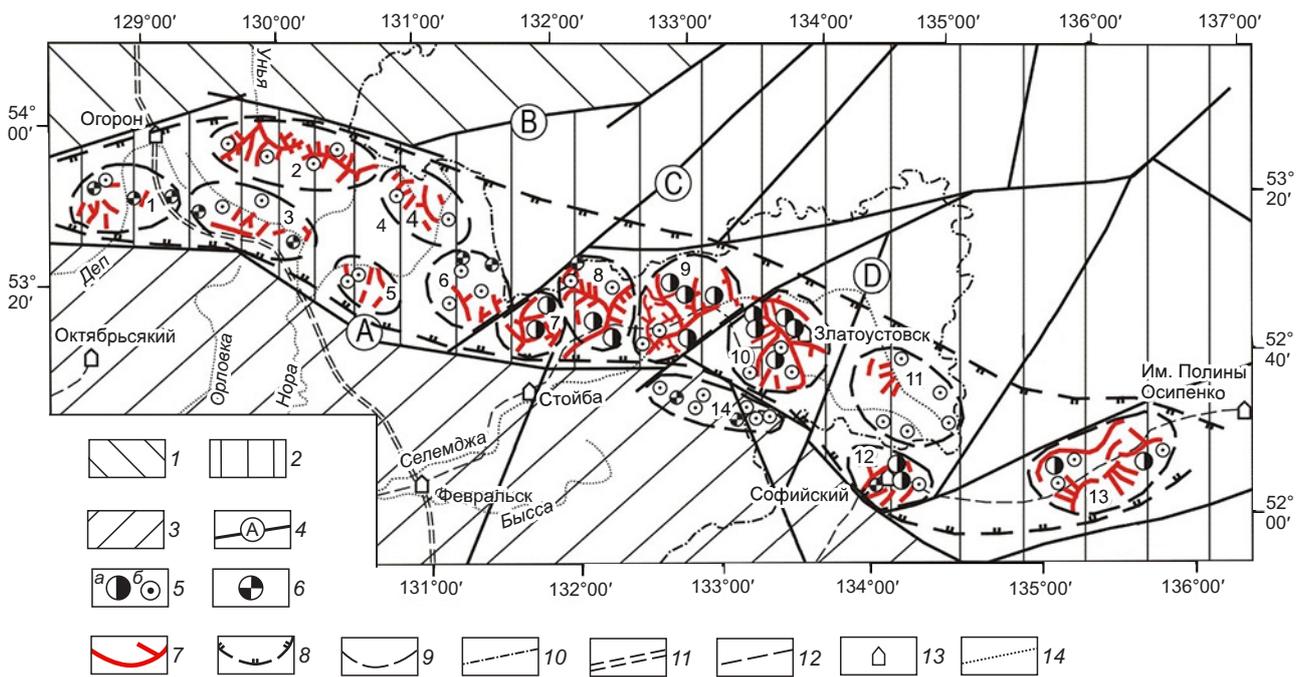
сеалинского комплекса позднемелового возраста. Геологический и изотопный позднемеловой возраст золотого оруденения Софийского узла вызывает повышенный интерес в связи с тем, что большинство продуктивных золоторудных месторождений центральной части Джагды-Селемджинской

металлогенической зоны (Токур, Маломыр, Эльга и др.) значительно древнее и было сформировано в раннемеловое время.

**Материалы и методы.** В процессе металлогенического анализа территории Приамурья выделены металлогенические зоны и рудно-россыпные узлы, в том числе Джагды-Селемджинская металлогеническая зона, на восточном фланге которой находится Софийский рудно-россыпной узел. Произведён анализ литературных и фондовых материалов по геологическому строению, месторождениям и россыпям золота Софийского узла. Особое внимание уделялось взаимоотношению золотого оруденения с интрузивными комплексами. Изучен состав руд и самородного золота месторождения Буровое. Изотопный возраст месторождения Буровое Софийского узла и расположенного западнее Ворошиловского месторо-

ждения определён Rb-Sr методом в лаборатории изотопной геологии ВСЕГЕИ.

**Геологическое строение и золотоносность Джагды-Селемджинской металлогенической зоны.** Джагды-Селемджинская металлогеническая зона, к восточному флангу которой приурочен Софийский РРУ, располагается в центральной, приуроченной части Приамурской провинции. Здесь распространены вулканогенно-осадочные и терригенные породы палеозойского и мезозойского возраста, а также интрузии того же возраста. Зону ограничивают с севера и юга региональные Северо-Тукурингрский и Южно-Тукурингрский разломы. По геологическому строению, интенсивности золотого оруденения и россыпей, а также масштабу золоторудных месторождений выделены три части металлогенической зоны – западная, центральная и восточная, разделённые попереч-



**Рис. 1. Джагды-Селемджинская металлогеническая зона:**

1–3 – геоблоки: 1 – Алдано-Становой, 2 – Монголо-Охотский, 3 – Амурский; 4 – региональные разломы (А – Южно-Тукурингрский, В – Северо-Тукурингрский, С – Удыхынский, D – Харгинско-Селитканский); 5 – золоторудные месторождения (а) и проявления (б); 6 – проявления ртути; 7 – россыпи золота; 8–9 – границы: 8 – металлогенической зоны, 9 – золотоносных узлов (1 – Долбырьский, 2 – Унья-Бомский, 3 – Туксинский, 4 – Дугдинский, 5 – Норский, 6 – Эгорский, 7 – Маломырский, 8 – Верхнестойбинский, 9 – Токурский, 10 – Харгинский, 11 – Восточно-Селемджинский, 12 – Софийский, 13 – Кербинский, 14 – Огоджинский); 10 – контур Амурской области; 11 – Байкало-Амурская железнодорожная магистраль; 12 – автодороги; 13 – посёлки; 14 – реки

ными Удыхынским и Харгинско-Селитканским разломами (рис. 1). Крупные золоторудные месторождения (Токур, Маломыр, Албын и др.) локализованы в центральной, наиболее эродированной части зоны. На западной и восточной её окраинах находятся лишь небольшие золоторудные месторождения. Из россыпей и рудных месторождений Джагды-Селемджинской зоны добыты более 400 т золота [15].

Золоторудные месторождения центральной части Джагды-Селемджинской металлогенической зоны отнесены к золото-кварцевой (Албын, Эльга, Токур и др.), золото-сульфидно-кварцевой (Ворошиловское) и золото-сульфидной (Маломыр) формациям. Рудные тела на месторождениях золото-кварцевой формации представлены зонами альбититов (Албын, Эльга) или кварцевыми жилами (Токур). Нижняя возрастная граница золо-

того оруденения определена по наличию на большинстве месторождений вмещающих вулканогенно-осадочных пород позднего палеозоя. Для небольших месторождений Верхнемынское, Ингагли и Унгличкан вмещающими являются гранитные интрузии позднепермского возраста. Оруденение нередко сопровождается дайками пёстрого состава позднемезозойского, часто ранне-мелового возраста.

Наиболее полные сведения о возрасте золотого оруденения дают изотопные анализы рудосопровождающих нерудных минералов (табл. 1). Изотопный возраст продуктивных месторождений является раннемеловым и меняется от валанжинского (139 млн лет) до аптского (113,6 млн лет) яруса. Прослеживается возрастная последовательность формирования месторождений от наиболее ранних золото-кварцевой формации с альби-

Табл. 1. Краткая характеристика и изотопный возраст золоторудных месторождений Центральной части Джагды-Селемджинской металлогенической зоны

№.№ пп	Месторождение	Добыча золота, т	Вмещающие породы	Изотопный возраст золотого оруденения		Источник
				Метод	Млн лет	
<b>Золото-кварцевая формация, зоны альбититов</b>						
1	Албын	42,25	Сланцы афанасьевской свиты условно раннего карбона и метабазиты златоустовского комплекса условно позднего карбона	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Rb-Sr	$135 \pm 2$ – $131 \pm 2$	[5]
2	Эльга	6,15	Сланцы талыминской свиты нижнего–среднего карбона	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$139 \pm 4$ – $137 \pm 3$	[6]
<b>Золото-кварцевая формация, кварцево-жильный тип</b>						
3	Токур	34,1	Породы токурской и экимчанской свит условно позднепермского возраста	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	113,6	[16]
				$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$122,4 \pm 2,0$	[12]
<b>Золото-сульфидная формация</b>						
4	Маломыр	46,51	Терригенные породы мынской и златоустовской свит карбона	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$120,7 \pm 1,3$	[3]
				$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$133 \pm 2$ – $132 \pm 2$	[13]
				$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$134 \pm 3$ – $130 \pm 2$	[7]
<b>Золото-сульфидно-кварцевая формация</b>						
5	Ворошиловское	2,66	Терригенные и вулканогенно-осадочные породы девонского возраста	Rb-Sr	85,8	[14]

титовыми рудами (Албын, Эльга) до несколько более поздних золото-сульфидной формации (Маломыр) и золото-кварцевой формации с кварцевожильным оруденением (Токур), от 139–131 до 134–120 млн лет и от 122,4 до 113,6 млн лет. Исключение составляет небольшое Ворошиловское месторождение золото-сульфидно-кварцевой формации, изотопный возраст которого оценивается как позднемеловой (85,8 млн лет).

**Геологическое строение и структура Софийского рудно-россыпного узла.** Софийский узел находится в восточной части Джагды-Селемджинской зоны. Из россыпей РРУ добыты около 40 т золота, а из месторождений Буровое, Жильное, Петровско-Еленинское золото-кварцевой формации, которые эксплуатировались в начале XX в., – порядка 2–3 т золота. Территория узла представляет собой клиновидной формы горстовое поднятие, ограниченное зонами разломов северо-западного и близширотного простирания и выполненное терригенными породами олгинской толщи нижнего кембрия (рис. 2). В восточной части поднятия олгинская толща перекрыта по надвигу зелёными сланцами и мраморами нижнего карбона. В аллохтоне надвига существенно карбонатные породы раннего карбона смяты в синклинальную складку северо-западного простирания. Между долинами рек Олга на севере и Ниман на юге отчётливо дешифрируется структура центрального типа. Это даёт основание предполагать, что данная территория представляет собой купол, сложенный породами нижнекембрийской олгинской толщи и нижнекаменноугольных саларинской и итпатинской толщ [4].

На северном и восточном флангах блока породы прорваны крупной интрузией гранитов и лейкогранитов третьей фазы баджало-дуссеалинского комплекса позднего мела. Небольшие интрузии того же комплекса отмечаются в южной части территории рассматриваемого РРУ. Менее развиты небольшие интрузии кварцевых диоритов и диоритов второй фазы того же позднемелового комплекса. Согласно геофизическим данным, под золоторудными месторождениями и проявлениями Софийского рудно-россыпного узла, на глубине 0,7–0,9 км находится Олгаканский гранитный батолит [4]. По-видимому, он, как и окружающие рудный узел интрузии, сложен породами баджало-дуссеалинского комплекса.

По данным [4], породы баджало-дуссеалинского комплекса представляют собой непрерывную

последовательность и относятся к нормальному щелочному, частично субщелочному ряду с калиево-натриевым типом щёлочности. В пределах гранитных массивов наблюдаются кварцевые, альбит-кварцевые, сульфидно-кварцевые и карбонатно-кварцевые жилы и прожилки. Они содержат характерные для месторождений золота сульфиды (арсенопирит, пирротин, сфалерит, галенит, халькопирит, вольфрамит, молибденит и др.). В Ясенском гранитоидном массиве баджало-дуссеалинского комплекса встречены кварцевые прожилки, содержащие до 15,0 г/т золота [2]. Перечисленные факты свидетельствуют о непосредственном участии интрузий позднемелового баджало-дуссеалинского комплекса позднего мела в формировании золотого оруденения, в том числе и на площади Софийского узла.

Возрастное положение баджало-дуссеалинского комплекса определено на основании геологических и изотопных данных. Нижней границей возраста служат вмещающие интрузии осадочно-вулканогенные породы сулукского позднемелового комплекса, а верхней – перекрывающие интрузии отложения семиткинской толщи (плиоцен–нижний плейстоцен). Изотопные K-Ar (80–82 млн лет) и Rb-Sr ( $82 \pm 5$  млн лет) указывают на формирование рассматриваемого комплекса в период кампанского яруса верхнего отдела меловой системы [4].

**Золотое оруденение Софийского РРУ.** В качестве коренных источников россыпей Софийского РРУ вступают четыре небольшие месторождения рудного золота – Буровое, Жильное, Лысогорское, Петровско-Еленинское – и около двух десятков проявлений. Они располагаются в полосе северо-западного близширотного простирания, начиная от приустьевой части р. Олга вдоль водораздела между реками Олга и Учугей-Эльга до верховьев р. Ниман. Основная их часть приурочена к водоразделу рр. Олга и Учугей-Эльга. Месторождения эксплуатировались главным образом до революции, некоторые до 1932 г. Точные данные о количестве добытого золота не сохранились. Судя по параметрам оруденения и следам отработки, из них было извлечено несколько тонн золота.

Вмещающими породами на всех месторождениях служат графит-кварц-сланцевые сланцы с прослоями слюдястых кварцитов и зелёных сланцев олгинской толщи нижнего кембрия. Для пород характерно высокое содержание углерода

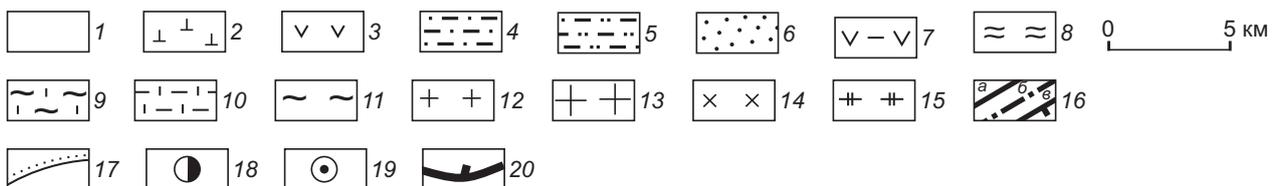
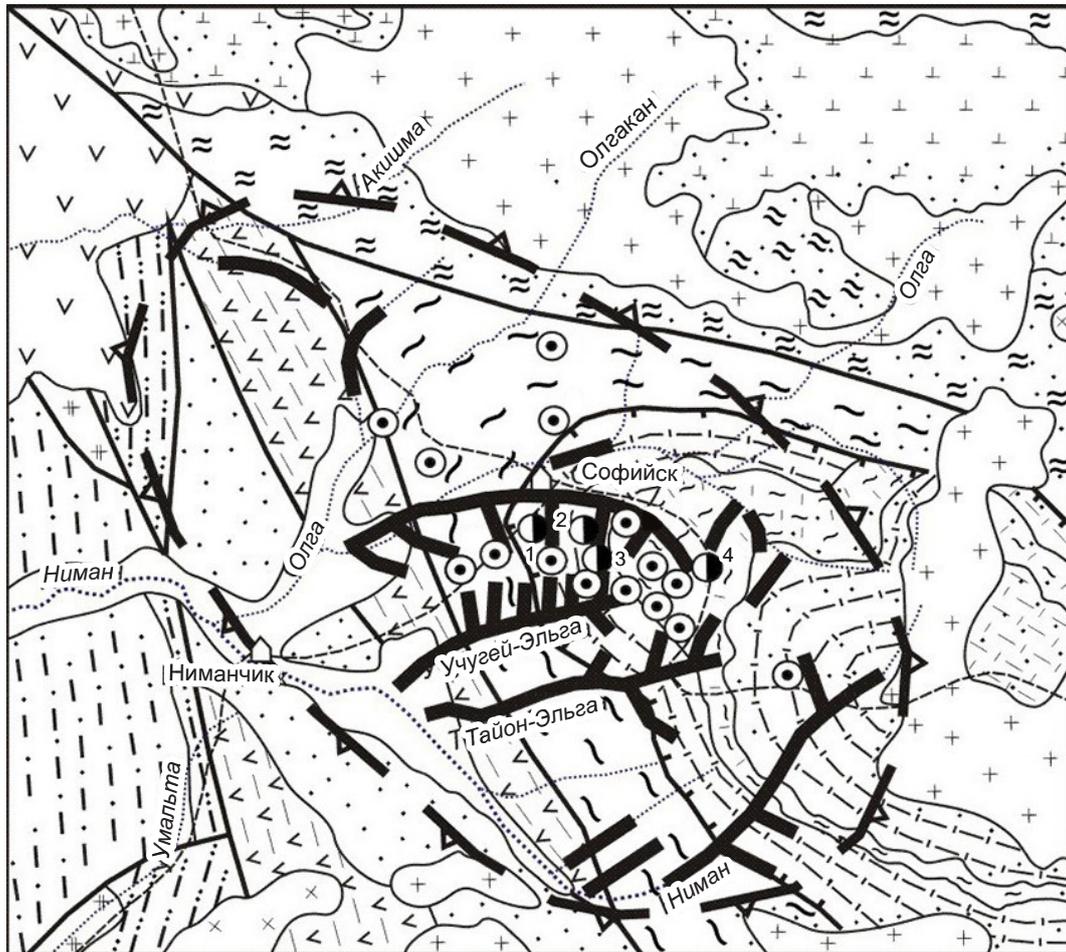


Рис. 2. Софийский рудно-россыпной узел:

1 – галечники, пески и глины четвертичного возраста; 2 – игнимбриты, туфы, лавы дацитов, риодацитов эзопской толщи верхнего мела; 3 – лавы, туфы и лавобрекчии андезитов, дацитандезитов, дацитов бурундинской толщи нижнего мела; 4 – песчаники, алевролиты, конгломераты эпиканской и синкальтинской свит средней юры; 5 – песчаники, гравелиты, конгломераты депской свиты нижней юры; 6 – песчаники, алевролиты и зелёные сланцы имганакской толщи верхней перми–нижнего триаса; 7 – кремнистые породы, базальты, песчаники ям-макитской толщи верхней перми; 8 – глинистые сланцы, рассланцованные песчаники и зелёные сланцы златоустовской и сагурской свит среднего карбона; 9 – слюдястые микрокварциты, зелёные сланцы, мраморы ипатинской толщи нижнего карбона; 10 – зелёные сланцы, мраморы саларинской толщи нижнего карбона; 11 – алевролиты, песчаники олгинской толщи нижнего кембрия; 12 – граниты, гранодиориты эзопского комплекса верхнего мела; 13 – граниты, лейкограниты первой фазы баджало-дуссеалинского комплекса верхнего мела; 14 – кварцевые диориты, диориты второй фазы баджало-дуссеалинского комплекса верхнего мела; 15 – граниты, гранодиориты тырмо-буреинского комплекса среднего–верхнего карбона; 16 – разломы: а – крутонаклонные, б – проходящие под аллювием, в – надвиги; 17 – контактовые роговики; 18 – месторождения золота (1 – Бурувое, 2 – Жильное, 3 – Лысогорское, 4 – Петровско-Еленинское); 19 – проявления золота; 20 – россыпи; см. услов. обозн. к рис. 1

на уровне 0,2–1,2 % [10]. Это позволяет отнести их к так называемым «черносланцевым толщам», благоприятным для локализации золоторудных месторождений [1]. Оруденение сопровождается редкими дайками керсантитов (месторождение Лысогорское) и фельзит-порфиоров (проявление Учугейская жила). Изотопный возраст дайки керсантитов, определённый К-Аг методом, составляет 82 млн лет, что отвечает кампанскому ярусу позднего мела [4].

Рудными телами являются кварцевые жилы (месторождения Буровое, Жильное, Петровско-Еленинское) или штокверк кварцевых жил, прожилков и зон окварцевания (Лысогорское). Наиболее типичным является кварцево-жильное месторождение Буровое. Кварцевые жилы месторождений имеют мощность от 0,3 до 1,5 м при протяжённости в сотни метров. В составе руд преобладает кварц с незначительной (1–3 %) примесью калиевых полевых шпатов и серицита. Количество рудных минералов не превышает 1–5 % (малосульфидные руды). Среди них преобладают пирит, арсенопирит, галенит, халькопирит, молибденит и самородное золото. Кроме того, в рудах месторождения Петровско-Еленинское, расположенного восточнее и гипсометрически выше остальных месторождений, наблюдались антимонитовые и кварц-антимонитовые прожилки.

Золото встречается в самородном виде, обычно оно мелкое, комковидной или пластинчатой формы. Проба рудного золота, в отличие от россыпного, меняется в широких пределах от электрума и низкопробного золота до золота средней пробы и высокопробного, по классификации Н. В. Петровской [9] (рис. 3). Максимум распространённости рудного золота (900–950 ‰) в целом совпадает с максимумом распространённости россыпного (900–925 ‰), что указывает на источник золота из россыпей.

На месторождениях Жильное и Буровое проба золота высокая. На Жильном она меняется в интервале от 933 до 954 ‰ [11]. На месторождении Буровом, по данным атомно-абсорбционного анализа, проба золота меняется от 929 до 987 ‰, в одном зерне проба низкая – 714 ‰. Среди примесей в золоте полуколичественным спектральным анализом определены ртуть (до 0,1 ‰), свинец (до 7000 г/т), цинк (до 1000 г/т) и сурьма (до 100 г/т) [10]. По ряду характерных признаков (кварцевый состав руд, количество рудных минералов в пределах 1–5 %, свободное самородное

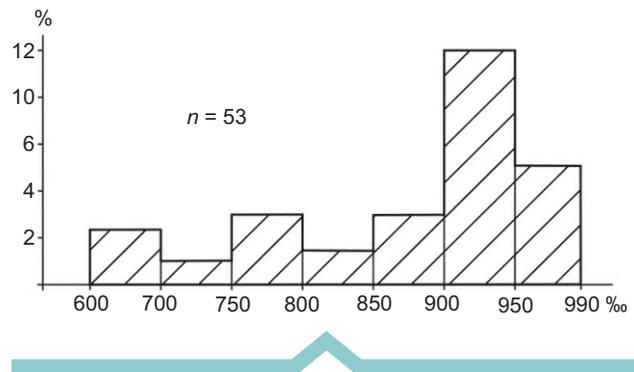


Рис. 3. Гистограмма пробы рудного золота из кварцевых жил Софийского узла (В. А. Буряк и др., 1990ф)

золото) оруденение коренных источников Софийского РРУ отнесено к малосульфидной золото-кварцевой формации.

Изотопный возраст золотого оруденения определён на месторождении Буровое. Он выполнен Rb-Sr методом по калиевым полевым шпатам, отобранным из богатых руд жилы Буровой месторождения. Содержание золота в отобранных пробах составляло 38,4 и 286,5 г/т. Анализ выполнен в лаборатории изотопной геологии ВСЕГЕИ на приборе МИ-1201 Т (аналитик Ю. П. Шергина). Он составляет  $65,3 \pm 5,3$  млн лет. Это несколько моложе возраста интрузий баджало-дуссеалинского комплекса и отвечает верхней части маастрихтского яруса верхнего отдела меловой системы.

**Золотоносные россыпи.** Основные россыпи Софийского РРУ аллювиального типа. Наиболее распространены долинные россыпи. Реже встречаются террасовые (увальные). Они располагаются в аллювии небольших рек Ольга, Учугей-Эльга, Тайон-Эльга и в верховьях р. Нимана. Долины рек ориентированы главным образом в широтном или северо-западном направлении и берут начало с водораздела р. Ниман и расположенной восточнее р. Правая Буря. Водораздел сложен сланцево-карбонатными породами раннего карбона, прорванными вблизи восточной границы Софийского узла крупной интрузией гранитного состава баджало-дуссеалинского комплекса позднемелового возраста. Интрузии этого комплекса развиты также к северу и югу вблизи границ Софийского РРУ.

Из россыпей рассматриваемого рудно-россыпного узла добыто более 40 т золота. Богатством отличаются четыре россыпи – Ольга, Учугей-Эльга,

Табл. 2. Характеристика групп россыпей Софийского рудно-россыпного узла

№ пп	Группы россыпей бассейнов рек	Добыча, т	Проба золота, ‰	Средняя крупность золота (мм)	Форма золотин
1	Акишма	0,5	901–940	0,37	Пластинчатая, лепёшковидная, комковидная
2	Олга	11,0	850–924	0,38–1,0, самородки до 1 кг	Пластинчатая, комковидная
3	Учугей-Эльга	8,8	879–910	Мелкое (0,1–0,9), самородки до 5 г	Пластинчатая, лепёшковидная, комковидная
4	Тайон-Эльга	10,6	848–906	От мелкого (0,1–0,9) до крупного (2–4), самородки до 1 кг	Пластинчатая, комковидная
5	Ниман	8,8	897–927	От мелкого (0,1–0,9) до средней крупности (1–2), самородки до 2,5 г	Пластинчатая, комковидная

Примечание. Итого по добыче 39,7 т.

Тайон-Эльга и Ниман (табл. 2). Из каждой из них добыто от девяти до одиннадцати тонн золота. Россыпи сосредоточены на сравнительно небольшой площади, около 300 км<sup>2</sup>. Длина их порядка 15 км. Они берут начало с небольшой части водораздела рек Ниман и Прав. Буряя. Область истоков золотоносных рек сложена сланцево-карбонатными породами саларинской и иппатинской толщ нижнего карбона вблизи располагающегося несколько восточнее контакта этих пород с гранитным массивом баджало-дуссеалинского комплекса позднемелового возраста.

Самородное золото в россыпях достаточно однотипное. Крупность его от преобладающего мелкого до средней крупности и крупного. В россыпях Олга и Тайон-Эльга встречаются крупные самородки, весом до 1 кг. Проба золота в среднем по россыпям меняется в пределах 848–927 промилле, исключением является более высокопробное (901–940 ‰) золото в небольшой россыпи р. Акишма на северо-западном фланге узла. Наиболее распространена в россыпях Софийского узла проба золота в интервале 900–925 ‰ (рис. 4).

**Обсуждение.** Золотое оруденение Софийского рудно-россыпного узла, располагающегося на восточном фланге Приамурской провинции, пространственно и, видимо, генетически связано с баджало-дуссеалинским интрузивным комплексом позднемелового возраста. В работе [4] поздне-

меловой возраст интрузивного комплекса доказывается как геологическими данными, так и изотопными определениями. Изотопный возраст определён К-Аг (80–82 млн лет) и Rb-Sr (82 ± 5 млн лет) методами, что указывает на кампанский ярус верхнего отдела меловой системы. Интрузии комплекса не только окружают ореол развития золотого оруденения Софийского РРУ, но и установлены по геофизическим данным на глубине 0,7–0,9 км под ним. Кроме того, в интрузиях комплекса отмечаются кварцевые жилы и прожилки с сульфидами (арсенопирит, галенит и др.), являющимися традиционными минералами-спутниками золотого оруденения. Восточнее Софийского узла в интрузиях комплекса обнаружены кварцевые жилы и прожилки с промышленными содержаниями золота [2].

Геологические данные свидетельствуют о том, что золотое оруденение узла моложе вмещающих пород олгинской и иппатинской толщ раннекембрийского и раннекарбонического возраста. На некоторых месторождениях и проявлениях оруденение сопровождается дайками керсантитов и фельзит-порфиринов. Изотопный возраст дайки керсантитов на месторождении Лысогорское, определённый К-Аг методом, составляет 82 млн лет, что отвечает кампанскому ярусу позднего мела. Изотопный возраст золотого оруденения месторождения Буровое, выполненное Rb-Sr методом в лаборатории

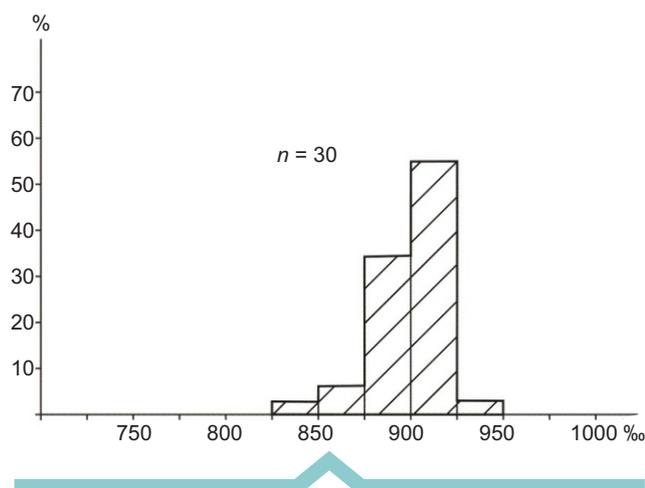


Рис. 4. Гистограмма россыпного золота Софийского РРУ

ВСЕГЕИ, составляет  $65,3 \pm 5,3$  млн лет. Это отвечает верхней части маастрихтского яруса верхнего отдела меловой системы.

Отметим также, что золотое оруденение позднемелового возраста отмечается и в центральной части Джагды-Селемджинской зоны на Ворошиловском месторождении золото-сульфидно-кварцевой формации. Рудные тела этого месторождения расположены среди терригенных и вулканогенно-осадочных толщ девонского возраста и сопровождаются дайками диабазов, фельзит-порфиров и кварцевых порфиров позднего мела. Изотопный возраст золотого оруденения (Rb-Sr метод) составляет 85,8 млн лет, что отвечает сантонскому ярусу верхнего отдела меловой системы [14].

Наличие на восточном фланге Джагды-Селемджинской металлогенической зоны золотого оруденения позднемелового возраста имеет принципиальное значение для оценки временного интервала и этапов золотого оруденения Приамурской

золотоносной провинции. В пределах Джагды-Селемджинской металлогенической зоны наблюдается омоложение возраста золотого оруденения с запада на восток – от раннемелового возраста основных золоторудных месторождений центральной части зоны до позднемелового на восточной окраине зоны в рамках Софийского РРУ.

**Заключение.** Ранее было установлено, что золотое оруденение Софийского рудно-россыпного узла пространственно и, видимо, генетически связано с интрузиями баджало-дуссеалинского комплекса позднемелового возраста. Позднемеловой возраст интрузивного комплекса подтверждён геологическими и изотопными данными. Изотопные анализы, проведённые K-Ar ( $80-82$  млн лет) и Rb-Sr ( $82 \pm 5$  млн лет) методами, указывают на кампанский ярус верхнего отдела меловой системы [4].

Нами Rb-Sr методом определён изотопный возраст золотого оруденения месторождения Буровое Софийского РРУ и месторождения Ворошиловского, расположенного западнее в пределах Верхнестойбинского РРУ Джагды-Селемджинской металлогенической зоны. Он равен на месторождении Буровое  $65,3 \pm 5,3$  млн лет (верхняя часть маастрихтского яруса верхнего мела), а на месторождении Ворошиловское – 85,8 млн лет (сантонский ярус верхнего мела).

Полученные результаты имеют принципиальное значение для определения интервала и этапов формирования золотого оруденения Джагды-Селемджинской металлогенической зоны Приамурской провинции. Согласно геологическим данным и изотопным определениям, формирование золотого оруденения происходило в интервале от раннего мела в центральной части металлогенической зоны до позднего мела на восточной её окраине.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряк В. А. Основы минерагении золота. – Владивосток : Дальнаука, 2003. – 261 с.
2. Буханченко А. И. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Лист N-53-XXXIV. Объяснительная записка. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2002.
3. Бучко И. В., Пономарчук А. В., Травин А. В. Возраст метасоматитов золоторудного месторождения Маломыр // Золото северного обрамления Пацифики. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2011. – С. 66–68.
4. Забродин В. Ю., Бородин А. М., Гурьянов В. А. [и др.] Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 1 000 000. Лист N-53. Объяснительная записка. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2007. – 448 с.

5. *Кадашникова А. Ю., Сорокин А. А., Пономарчук А. В.* [и др.]  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст золотого оруденения месторождения Албын (восточная часть Монголо-Охотского складчатого пояса) // Доклады РАН. – 2019б. – Т. 485, № 4. – С. 468–473.
6. *Кадашникова А. Ю., Сорокин А. А., Пономарчук А. В.* [и др.] Возраст золотого оруденения месторождения Эльгинское (Монголо-Охотский складчатый пояс):  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  геохронологические ограничения // Тихоокеанская геология. – 2022. – Т. 41, № 2. – С. 89–100.
7. *Кадашникова А. Ю., Сорокин А. А., Пономарчук А. В.* [и др.] Закономерности локализации оруденения, возраст и источники вещества золоторудного месторождения Маломыр (восточная часть Монголо-Охотского складчатого пояса) // Геология рудных месторождений. – 2019а. – Т. 61, № 1. – С. 3–17.
8. *Мельников А. В., Степанов В. А.* Рудно-россыпные узлы Приамурской золотоносной провинции. Часть 2. Центральная часть провинции. – Благовещенск : АмГУ, 2014. – 300 с.
9. *Петровская Н. В.* Самородное золото. – М. : Наука, 1973. – 348 с.
10. *Пискунов Ю. Г., Степанов В. А.* Перспективы коренной золотоносности Софийского рудно-россыпного узла // Региональные проблемы. – 2005. – № 7. – С. 39–45.
11. *Рожков С. С.* Минерагеня и прогноз золотого оруденения Софийского рудного узла (Хабаровский край) : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагеня» : автореф. дис. на соискание учёного степен. кандидата геолого-минералогических наук / Рожков Сергей Сергеевич. – Ростов-на-Дону, 2002. – 24 с.
12. *Сорокин А. А., Остапенко Н. С., Пономарчук А. В.* [и др.] Возраст адуляра из жил золоторудного месторождения Токур (Монголо-Охотский орогенный пояс, Россия): результаты датирования  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 3. – С. 297–304.
13. *Сорокин А. А., Пономарчук А. В., Бучко И. В.* [и др.]  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст золотого оруденения месторождения Маломыр (восточная часть Монголо-Охотского складчатого пояса) // Доклады РАН. – 2016. – Т. 466, № 2. – С. 207–212.
14. *Степанов В. А.* Этапы формирования и генезис золоторудных месторождений Приамурья // ДАН. – 2005. – Т. 403, № 1. – С. 83–87.
15. *Степанов В. А., Мельников А. В.* Оценка перспектив Джагды-Селемджинской металлогенической зоны Приамурской золотоносной провинции // Известия вузов. Геология и разведка. – 2015. – № 6. – С. 50–56.
16. *Фатьянов И. И., Лэйер П.* О времени формирования золоторудного месторождения Токур // Геология и минеральные ресурсы Амурской области. – Благовещенск : АмурКНИИ, 1995. – С. 217–219.

### REFERENCES

1. *Buryak V. A.* Osnovy mineragenii zolota [Fundamentals of gold minerageny], Vladivostok, Dalnauka publ., 2003, 261 p. (In Russ.)
2. *Bukhanchenko A. I.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1, 200 000. List N-53-XXXIV. Obyasnitelnaya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation, scale 1, 200,000. Sheet N-53-XXXIV. Explanatory note], St. Petersburg, VSEGEI publ., 2002. (In Russ.)
3. *Buchko I. V., Ponomarchuk A. V., Travin A. V.* Vozrast metasomatitov zolotorudnogo mestorozhdeniya Malomyr [Age of metasomatites of the Malomyr gold deposit], Zoloto severnogo obramleniya Patsifiki, Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 2011, pp. 66–68. (In Russ.)
4. *Zabrodin V. Yu., Borodin A. M., Guryanov V. A.* [et al.] Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF. Masshtab 1, 1 000 000. List N-53. Obyasnitelnaya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1, 1,000,000. Sheet N-53. Explanatory note], St. Petersburg, VSEGEI publ., 2007, 448 p. (In Russ.)
5. *Kadashnikova A. Yu., Sorokin A. A., Ponomarchuk A. V.* [et al.]  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  vozrast zolotogo orudneniya mestorozhdeniya Albyn (vostochnaya chast Mongolo-Okhotskogo skladchatogo poyasa) [ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age of gold mineralization of the Albyn deposit (eastern part of the Mongol-Okhotsk folded belt)], Doklady RAN, 2019b, V. 485, No. 4, pp. 468–473. (In Russ.)
6. *Kadashnikova A. Yu., Sorokin A. A., Ponomarchuk A. V.* [et al.] Vozrast zolotogo orudneniya mestorozhdeniya Elginskoye (Mongolo-Okhotskiy skladchatyy poyas):  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geokhronologicheskiye ograniceniya [Age of gold mineralization at the Elginskoye deposit (Mongol-Okhotsk folded belt):  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronological constraints], Tikhookeanskaya geologiya, 2022, V. 41, No. 2, pp. 89–100. (In Russ.)
7. *Kadashnikova A. Yu., Sorokin A. A., Ponomarchuk A. V.* [et al.] Zakonomernosti lokalizatsii orudneniya, vozrast i istochniki veshchestva zolotorudnogo mestorozhdeniya Malomyr (vostochnaya chast Mongolo-Okhotskogo skladchatogo poyasa) [Patterns of mine-

- ralization localization, age and sources of matter of the Malomyr gold deposit (eastern part of the Mongol-Okhotsk folded belt)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2019a, V. 61, No. 1, pp. 3–17. (In Russ.)
8. *Melnikov A. V., Stepanov V. A.* Rudno-rossypnyye uzly Priamurskoy zolotonosnoy provintsii. Chast 2. Tsentralnaya chast provintsii [Ore-placer nodes of the Amur gold-bearing province. Part 2. Central part of the province], Blagoveshchensk, AmGU publ., 2014, 300 p. (In Russ.)
  9. *Petrovskaya N. V.* Samorodnoye zoloto [Native gold], Moscow, Nauka publ., 1973, 348 p. (In Russ.)
  10. *Piskunov Yu. G., Stepanov V. A.* Perspektivy korennoy zolotonosnosti Sofiyskogo rudno-rossypnogo uzla [Prospects for the primary gold content of the Sofia ore-placer cluster], *Regionalnyye problemy*, 2005, No. 7, pp. 39–45. (In Russ.)
  11. *Rozhkov S. S.* Minerageniya i prognoz zolotogo orudeneniya Sofiyskogo rudnogo uzla (Khabarovskiy kray) [Minerageny and forecast of gold mineralization of the Sofia ore cluster (Khabarovsk Krai)], Rostov-on-Don, 2002, 24 p. (In Russ.)
  12. *Sorokin A. A., Ostapenko N. S., Ponomarchuk V. A.* [et al.] Vozrast adulyara iz zhil zolotorudnogo mestorozhdeniya Tokur (Mongolo-Okhotskiy orogennyy poyas, Rossiya): rezultaty datirovaniya  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  metodom [Age of adularia from veins of the Tokur gold deposit (Mongol-Okhotsk orogenic belt, Russia): results of dating by the  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  method], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2011, V. 53, No. 3, pp. 297–304. (In Russ.)
  13. *Sorokin A. A., Ponomarchuk A. V., Buchko I. V.* [et al.]  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Vozrast zolotogo orudeneniya mestorozhdeniya Malomyr (vostochnaya chast Mongolo-Okhotskogo skladchatogo poyasa) [ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age of Gold Mineralization at the Malomyr Deposit (Eastern Part of the Mongol-Okhotsk Fold Belt)], *Doklady RAN*, 2016, V. 466, No. 2, pp. 207–212. (In Russ.)
  14. *Stepanov V. A.* Etapy formirovaniya i genezis zolotorudnykh mestorozhdeniy Priamurya [Stages of formation and genesis of gold ore deposits in the Amur region], *DAN*, 2005, V. 403, No. 1, pp. 83–87. (In Russ.)
  15. *Stepanov V. A., Melnikov A. V.* Otsenka perspektiv Dzhagdy-Selemdzhinskoy metallogenicheskoy zony Priamurskoy zolotonosnoy provintsii [Evaluation of the Prospects of the Dzhagdy-Selemdzhinsky Metallogenic Zone of the Primorskaya Gold-Bearing Province], *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 2015, No. 6, pp. 50–56. (In Russ.)
  16. *Fatyanov I. I., Leyyer P.* O vremeni formirovaniya zolotorudnogo mestorozhdeniya Tokur [On the time of formation of the Tokur gold deposit], *Geologiya i mineralnyye resursy Amurskoy oblasti*, Blagoveshchensk, AmurKNII publ., 1995, pp. 217–219. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 25.04.25; одобрена после рецензирования 26.05.25; принята к публикации 26.05.25.  
The article was submitted 25.04.25; approved after reviewing 26.05.25; accepted for publication 26.05.25.

### Структурно-формационное и металлогеническое районирование Большого Алтая

**Аннотация.** Приведена выполненная авторами ранее и дополненная структурно-формационная и металлогеническая карта Большого Алтая, включающая не только территорию РФ (структуры Юго-Западного и Горного Алтая) и Восточного Казахстана (Иртыш-Зайсанская складчатая система), но и территорию Монгольского и Китайского Алтая. Показано, что на территорию Монгольского и Китайского Алтая продолжают структуры (и соответствующие им структурно-формационные зоны) Горного, Юго-Западного Алтая и Иртыш-Зайсанской складчатой системы. Для каждой структурно-формационной зоны приведены состав вмещающих осадочных и вулканогенно-осадочных отложений, их формационная принадлежность, возраст и рудно-формационный тип месторождений, развитых в их пределах.

**Ключевые слова:** Большой Алтай, складчатые системы, структурно-формационные зоны, геологические формации, колчеданно-полиметаллические месторождения.

КУДРЯВЦЕВА НЕЛЛИ ГЕОРГИЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ngkudryavtseva@tsnigri.ru

КУЗНЕЦОВ ВЛАДИМИР ВЕНИАМИНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела, okt@tsnigri.ru

СЕРАВИНА ТАТЬЯНА ВАЛЕРЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией, seravina@tsnigri.ru

ИВАНЕНКОВА ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА, старший научный сотрудник, ivanenkova@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

### Structural-formational and metallogenic regionalization of the Greater Altai

N. G. KUDRYAVTSEVA, V. V. KUZNETSOV, T. V. SERAVINA, E. V. IVANENKOVA

Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals" (FSBI "TsNIGRI"), Moscow

**Annotation.** The article presents a structural-formational (tectono-stratigraphical) and metallogenic map of the Greater Altai, that covers not only the territory of the Russian Federation (structures of the Southwestern and Gornyi Altai) and Eastern Kazakhstan (Irtysch-Zaisan folded system) (the part that was compiled by the authors earlier), but is also extended for the territory of the Mongolian and Chinese Altai. It is shown that structures of the Gornyi Altai, Southwestern Altai, and the Irtysch-Zaisan folded system (and their corresponding structural-formational zones) continue to the territory of the Mongolian and Chinese Altai. For each of the structural-formational zones, the composition of their constituting sedimentary and volcanosedimentary sequences, their formational type, geological age, and ore-formation types of the ore deposits distributed within their limits are given.

**Key words:** Greater Altai, folded systems, structural-formational zones, geological formations, polymetallic VMS deposits.

**Введение.** Изучению геологии и металлогении территории Большого Алтая, куда входит Рудно-алтайская металлогеническая зона, посвящены многочисленные исследования российских (Д. И. Горжевский, П. Ф. Иванкин, В. В. Попов, Г. Ф. Яковлев, Е. И. Филатов, В. В. Авдонин, Ю. И. Демин, М. Ф. Микунов и др.) и казахстанских (А. К. Каюнов, Г. Н. Щерба, Н. И. Стучевский, Б. А. Дьячков, Х. А. Беспаяев и др.) учёных. Данная статья является результатом многолетних исследований авторами геологии и металлогении Рудного Алтая (Змеиногорский, Рубцовский, Золотушинский, Прииртышский, Зыряновский рудные районы), что позволило нам предложить иную трактовку геодинамических режимов и обстановок формирования месторождений цветных и благородных металлов для складчатой системы Юго-Западного Алтая. При этом определена позиция колчеданно-полиметаллических месторождений в девонских ( $D_1$ – $D_3$ fr) рифтогенных структурах [16, 18] в отличие от долго существовавшей гипотезы «о формировании колчеданно-полиметаллических месторождений в островодужных обстановках» [22]. Казахские геологии, изучая геологию и металлогению Большого Алтая [24,26], пришли к такому же выводу о формировании колчеданно-полиметаллического оруденения в рифтогенных структурах в дофаменское время. В настоящее время эта точка зрения превалирует среди большинства российских [2], казахстанских [11] и зарубежных [27] геологов.

В последние годы авторами продолжено изучение территории Большого Алтая в пределах Иртыш-Зайсанской складчатой системы, расположенной к юго-западу от Рудного Алтая, в результате чего с использованием геологических карт Казахстана и литературных источников была составлена «Схематичная структурно-формационная карта Большого Алтая» и определена позиция месторождений цветных и благородных металлов в различных геологических обстановках.

В настоящее время это исследование продолжено к северо-востоку (Горный Алтай) и к юго-востоку (Монгольский и Китайский Алтай) от Рудного Алтая, в результате чего составлена «Схематичная структурно-формационная карта Большого Алтая» (см. рисунок), из которой следует, что на территорию Монгольского и Китайского Алтая продолжают складчатые структуры и развитые в их пределах месторождения различных формационных типов как Горного Алтая, так и Зайсан-

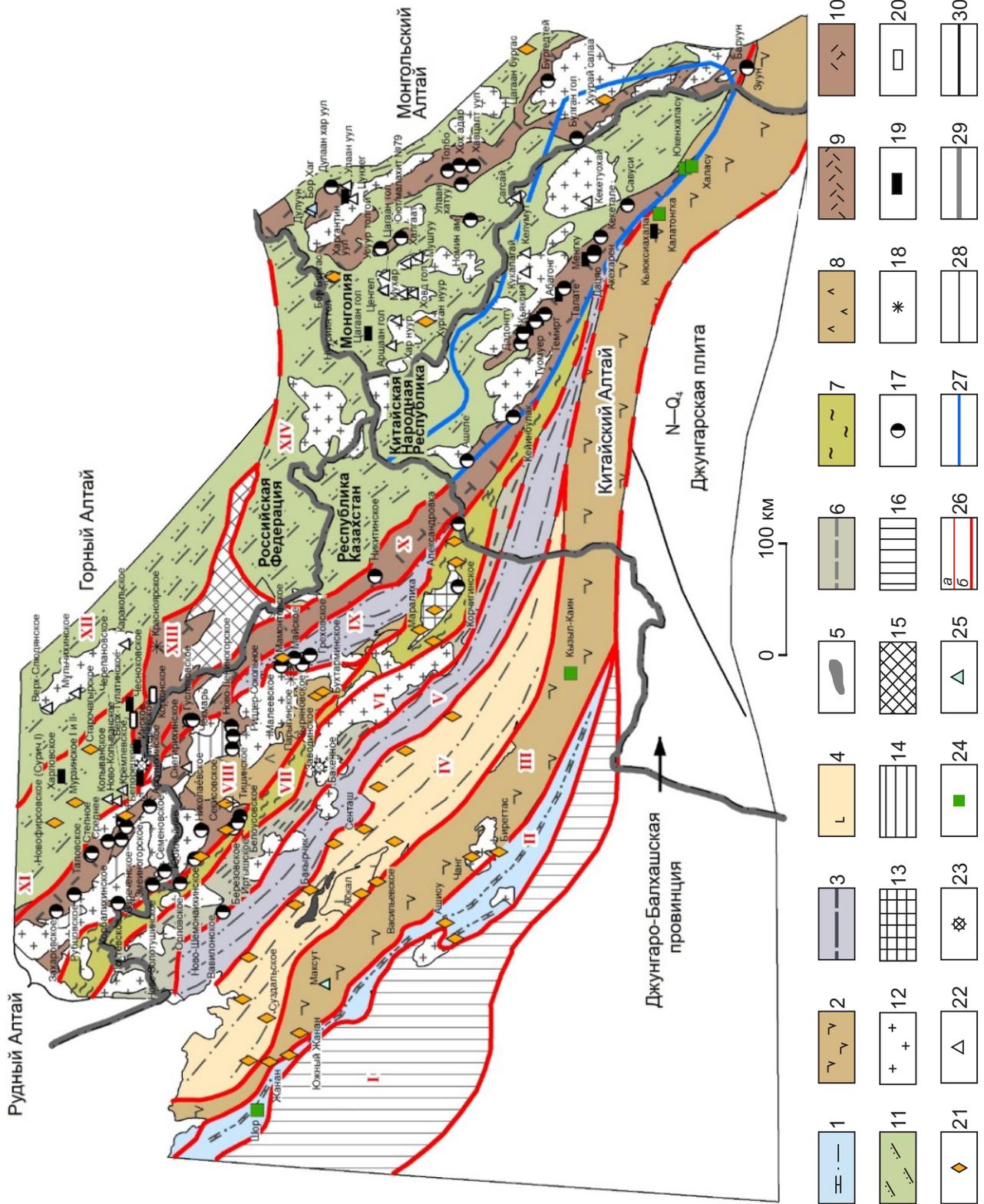
ской складчатой области (Юго-Западный Алтай и Иртыш-Зайсанская складчатые системы). Кратко охарактеризуем эти структуры.

**Фактический материал.** *Зайсанская складчатая область* располагается между каледонско-герцинскими структурами Горного Алтая на северо-востоке и Чингиз-Тарбагатайскими на юго-западе.

Эта область по особенностям тектонического строения и металлогении подразделяется на две части: северо-восточную, отвечающую складчатой системе Юго-Западного Алтая, и юго-западную – Иртыш-Зайсанскую [7–10, 12, 13]. Первая (раннегерцинская) включает Холзунско-Сарымсактинскую, Рудноалтайскую, Белоубинско-Маймырскую и Иртышскую структурно-формационные зоны (СФЗ), а вторая (позднегерцинская) – Калба-Нарымскую, Западно-Калбинскую, Чарскую, Жарма-Саурскую и Сарсазанскую (см. табл.).

*Складчатая система Юго-Западного Алтая* развилась на окраине Алтая-Саянского палеоконтинента [1], структурно-формационные комплексы которого представлены кремнисто-терригенными формациями венд-раннепалеозойского силурийского возраста, пронизанными позднекаледонскими гранитоидами, то есть территория Рудноалтайской СФЗ уже в начале девона сформировалась на коре континентального типа. Анализ развития структур, а также латерально-вертикальных рядов геологических формаций позволил выделить три основных этапа формирования складчатой системы Юго-Западного Алтая, отвечающих различным геодинамическим режимам её развития. Первый этап охватывает промежуток времени от раннего девона до франского века и обусловлен процессами континентального рифтогенеза [19], второй – от фаменского века до раннего карбона и соответствует островодужным обстановкам, третий – коллизионный [11, 23] (от среднего карбона до перми).

*Рифтогенный этап* ( $D_1e$ – $D_3f$ ) начинается с формирования прогиба, отвечающего Холзунско-Сарымсактинской СФЗ, выполненный красноцветными и пестроцветными карбонатно-терригенными отложениями, которые выше сменяются морскими вулканогенно-осадочными, объединяемыми в известково-кремнисто-терригенную трахидацит-трахириолитовую формацию со стратиформным свинцово-цинковым и железомарганцевым оруденением. Западнее, в пределах Рудноалтайской СФЗ, сформированы рифтогенные прогибы: северо-



**Рисунок. Схематическая структурно-формационная и металлогеническая карта Большого Алтая. С использованием материалов [3, 15, 18]:**

геологические формации: 1 – карбонатно-алевропесчаниковая ( $C_{1v}$  – Сарсазайская СФЗ), 2 – терригенная андезибазальтовая ( $C_{1v}$  – Жарма-Саурская СФЗ), 3 – известково-терригенная флишодная ( $C_{1t}$  – Белоубинско-Маймырская,  $C_{1v}$  – Западно-Калбинская,  $C_{1s}$  – Чарская СФЗ), 4 – вулканогенно-осадочная ( $D_3fm$  – Чарская СФЗ), 5 – габбро-перидотитовая (додевонские интрузии – Чарская СФЗ), 6 – аспидная ( $D_3-C_1$  – Калба-Нарымская СФЗ); 7 – зеленосланцевый метаморфический комплекс: алевролиты, известняки, песчаники ( $D_3$  – Иртышская СФЗ), 8 – андезидацитовая известково-терригенная ( $D_3fm-C_1$  – Рудноалтайская СФЗ), 9 – базальт-риолитовая известково-кремнисто-терригенная ( $D_{1-2}$  – Китайский Алтай,  $D_2$  – Монгольский Алтай), 10 – вулканогенно-осадочная: трахидацит-трахириолитовая известково-кремнисто-терригенная ( $D_{1-2}$  – Холзунско-Сарымсактинская и Коргонско-Теректинская СФЗ), 11 – флишодная: серия зелёных и фиолетовых сланцев, алевролитов, гравелитов, песчаников, конгломератов ( $C_2-O_1$  – Чарышко-Чуйская, Чарышко-Талицкая, Холзунско-Чуйская СФЗ), 12 – гранитоидная (без расчленения); 13 – метаморфический комплекс (кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты) –  $Pz_1$ , Иртышская СФЗ; 14 – нерасчлѐнные осадочные и гранитоидные формации комплекса основания Рудного Алтая ( $Pz_1$  – Рудноалтайская СФЗ); 15 – нерасчлѐнные осадочные и гранитоидные формации Горного Алтая ( $Pz_3$  – Коргонско-Теректинская СФЗ); 16 – нерасчлѐнные осадочные и гранитоидные формации Чингиз-Тарбагатайской СФЗ; рудно-формационные типы месторождений: 17 – медно-свинцово-цинковые золото-серебросодержащие, 18 – свинцово-цинковые жильные, 19 – железно-скарновые, 20 – железомарганцевые, 21 – золото-рудные и золотосеребряные, 22–23 – редкометалльные: 22 – W, Be, Mo, 23 – Tl, Nb, 24 – медно-порфиновые, 25 – медно-никелевые, 26–29 – границы: 26 – СФЗ: а – достоверные, б – предполагаемые и их номер; 27 – Цунху-Чинхэской СФЗ (Китайский Алтай), 28 – геологические, 29 – государственные; 30 – разрывные нарушения

восточный ( $D_2e-gv_1$ ), фиксируемый в пределах Змеиногорского, Лениногорского и Зырянского рудных районов, и юго-западный ( $D_1e-D_3f$ ) – в пределах Золотушинского и Прииртышского. Прогибы выполнены вулканогенно-осадочными породами базальт-риолитовой формации, определяющей металлогеническую специализацию Рудного Алтая на колчеданно-полиметаллическое оруждение. По петрохимическим особенностям породы базальт-риолитовой формации относятся к известково-щелочному ряду калиево-натриевой серии, но в пределах северо-восточного и юго-западного рифтогенных прогибов они различаются по составу, возрасту и соотношению вулканогенной и осадочной составляющей [19], которые рассматриваются как субформации. В Зырянском, Лениногорском и Змеиногорском рудных районах распространены породы эмс-раннеживетской последовательно дифференцированной базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой известково-кремнисто-терригенной субформации, отличающейся существенным преобладанием кислых вулканитов над основными, антидромным характером и присутствием значительного количества осадочных пород в вулканогенно-осадочном разрезе. С породами этой субформации ассоциируют свинцово-цинковые колчеданные месторождения, часто с золотом и серебром: Риддер-Сокольное, Тишинское, Ново-Лениногорское в Лениногорском, Зырянское, Малеевское, Греховское в Зырянском, Зареченское, Змеиногорское, Семеновское в Змеиногорском рудных районах.

В Золотушинском, Прииртышском и Змеиногорском рудных районах проявлены породы позднеживетской-раннефранской контрастной базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации, характеризующейся примерно равным соотношением кислых и основных вулканитов, а также осадочной и вулканогенной составляющей. С породами данной формации ассоциируют медно-свинцово-цинковые колчеданные месторождения: Юбилейное, Николаевское, Корбалихинское и другие.

С запада к Рудноалтайской примыкает Иртышская СФЗ, сложенная известково-терригенными и вулканогенными толщами (от верхнего ордовика, силура до верхнего девона), сильнодислоцированными, превращѐнными в зеленосланцевый метаморфический комплекс, а также более древними кристаллическими сланцами и гнейсами, с которыми ассоциируют протрузивные тела серпентинитов и metabазальтов [14]. В среднепалео-

Таблица. Структурно-формационное районирование Большого Алтая

Каледонско-герцинская	Зайсанская складчатая область												Структуры Горного Алтая		
	Складчатые системы														
	Иртыш-Зайсанская (позднегерцинская)						Юго-Западного Алтая (раннегерцинская)						Каледонско-герцинские		
Структурно-формационные зоны															
													Холзунско-Чуйская		
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV		
Чингиз-Тарбагатайская	Сарсазанская	Жарма-Саурская	Чарская	Западно-Калбинская	Калба-Нарымская	Иртышская	Рудноалтайская	Белоубинско-Маймырская	Холзунско-Сарымсактинская	Чарышско-Чуйская	Чарышско-Талицкая	Коргонско-Теректинская	Россия	Цунху-Чинхэская (Китайский Алтай)	Монгольский Алтай

зойских флишоидных отложениях Иртышской СФЗ развито медно-пирротинное оруденение, относящееся к колчеданно-полиметаллической формации в углеродисто-терригенных толщах (Вавилонское месторождение).

Этап формирования рифтогенных прогибов завершился внедрением гипабиссальных и гиповулканических образований габбро-диабазовой формации позднего девона–раннего карбона, приуроченных к системе глубинных разломов Северо-Восточной зоны смятия.

*Островодужный этап.* Вулканогенно-осадочные породы рифтогенного этапа в значительной мере перекрыты отложениями, которые образованы в этап формирования активных окраин с островодужным режимом развития [17]. В этот период ( $D_3fm-C_1$ ) формируются междуговые бассейны, выполненные известково-терригенными породами флишоидной формации, фиксируемые в пределах Белоубинско-Маймырской зоны, и вулканические дуги, сложенные породами андезидацитов и андезибазальтовых формациями. С фаменской андезидацитовой формацией связаны месторождения и проявления золото-серебро-полиметаллические (Заводинское I, II, Бухтарминское), а с нижнекаменноугольной андезибазальтовой – золото-кварц-сульфидные (Мамонтовское).

В завершающий коллизионный тектоно-магматический цикл с породами габбро-гранодиорит-гранитной формации ранней стадии ( $C_{2-3}$ ) ассоциируют месторождения золото-сульфидно-кварцевые (Секисовское), а с пермскими гранитоидами гранит-лейкогранитной формации поздней стадии – мелкие редкометалльные (W, Mo, Be) объекты.

*Иртыш-Зайсанская складчатая система. Рифтогенный этап.* Западная краевая система представляет собой активную континентальную окраину одноимённого гипотетического океана [5]. Осевой структурой этой системы является Чарский рифтогенный прогиб, в пределах которого развит серпентинитовый комплекс, сопоставимый с корой океанического типа. В позднем девоне–раннем карбоне эта структура выполнена вулканогенно-осадочными породами пёстрого состава ( $D_3fm$ ) и терригенно-углеродистыми отложениями флишоидной формации ( $C_1s$ ), к которым приурочены месторождения золото-сульфидно-кварцевой формации, ярким примером которых является месторождение Бакырчик. В восточной части Чарского прогиба распространены глубоководные морские и карбонатно-терригенные отложения, которые в Калба-Нарымской СФЗ отвечают аспидной ( $D_3-C_1$ ), а Западно-Калбинской – флишоидной

( $C_1v$ ) формациям. Эти структуры представляют собой прогибы позднедевонского-раннекаменноугольного возраста, которые классифицируются, по мнению авторов, как рифты [4].

*Островодужный этап.* К западу от Чарской СФЗ на борту Чингиз-Тарбагатайского микроконтинента на коре переходного и океанического типов сформировалась островодужная система раннекаменноугольного возраста, отвечающая Жарма-Саурской и Сарсазанской зонам с сопровождающими её морскими междуговыми и задуговыми бассейнами. При этом в пределах Жарма-Саурской СФЗ островной дуге отвечают породы андезибазальтовой формации ( $C_1v-s$ ), а Сарсазанская СФЗ соответствует задуговому бассейну, выполненному карбонатно-алевропесчаниковыми отложениями флишоидной формации ( $C_1v$ ).

Завершающий коллизионный этап подразделяется на две стадии. В раннюю ( $C_{2-3}$ ) с интрузивными породами габбро-гранодиорит-плаггиогранитной формации ассоциируют месторождения золото-кварцевой рудной формации: Акжал, Васильевское (Чарская СФЗ), Жанан, Чанг, Бирегтас (Жарма-Саурская СФЗ), Ашису (Сарсазанская СФЗ), медно-порфировой: Кызыл-Каин (Жарма-Саурская СФЗ), медно-никелевые: Максут (Жарма-Саурская СФЗ) и другие. В позднюю стадию (Р) с породами гранит-лейкогранитовой формации связаны редкометалльные (Та, Nb и др.) месторождения, широко развитые на площади Калба-Нарымской и Западно-Калбинской зон (Бакенное, Юбилейное и др.) [6, 24].

*Горный Алтай, Монгольский и Китайский Алтай.* К востоку от герцинской Зайсанской складчатой области расположены каледонско-герцинские структуры Горного Алтая, в пределах которых выделяются: Чарышско-Чуйская, Чарышско-Талицкая, Коргонско-Теректинская и Холзунско-Чуйская СФЗ. В пределах этих зон отмечаются сложнодислоцированные верхнедокембрийские метаморфические образования, слагающие Теректинский блок (Коргонско-Теректинская СФЗ) [20]. Наибольшее распространение на данной территории получили среднекембрийские-нижнеордовикские ( $C_2-O$ ) флишоидные образования, представленные аркозовыми песчаниками, алевролитами, сланцами, а также туфовидными породами. Эти образования распространены в пределах территории России (Чарышско-Чуйская и Чарышско-Талицкой СФЗ), Восточного Казахстана, Монголь-

ского Алтая (Холзунско-Чуйская СФЗ) и Китайского Алтая (Цунху-Чинхэская СФЗ). Резко подчинённую территорию занимают породы силура ( $S_{1-3}$ ), представленные вулканогенно-терригенными, туфогенно-терригенными и карбонатно-терригенными отложениями.

Вначале герцинского цикла Горно-Алтайский каледонский комплекс испытал регенерацию, в результате чего сформировались грабен-синклинорные прогибы, выполненные существенно вулканогенными девонскими образованиями [20]. Наиболее крупный Коргонский прогиб, совпадающий с Коргонско-Теректинской СФЗ, выполнен отложениями трахидацит-трахириолитовой известково-кремнисто-терригенной формации среднего девона ( $D_2gv_1$ ), аналогичными таковым в Холзунско-Сарымсактинской зоне. С ними ассоциируют железоскарновые (Белорецкое, Инское, Цаган гол (Монголия)) и железомарганцевые месторождения (Коргонское).

В Монгольском Алтае развитые среднедевонские вулканогенно-осадочные отложения можно сопоставить с породами базальт-андезит-риолитовой формации ( $D_1e-D_2gv_1$ ) Рудного Алтая, которые вмещают медно-свинцово-цинковые колчеданные месторождения (Усууртолгой, Оют/малахит, № 79, Толбо, Хох адар, Улаанхатуу и др.) [3, 28, 31].

В пределах территории Китайского Алтая девонские отложения представлены породами формации «Кангбутибао», которая включает вулканические и пирокластические породы, метаморфизованные в зеленосланцевой и амфиболитовой фациях [17]. Возраст этих отложений нижний девон. Средне-верхнедевонские отложения объединены в свиту «Алтай», представленную в нижней части разреза кислыми вулканогенными породами (дацитами), а в верхней – пиллоу-базальтами, андезитами и пирокластическими породами. На схематической структурно-формационной и металлогенической карте (см. рисунок) отложения ниже- и средне-верхнедевонского возраста объединены.

Девонские отложения Китайского Алтая, также как и Монгольского, включают колчеданно-полиметаллические месторождения рудноалтайского типа (Кекетале, Кейнбулейк, Дадонгу, Темирт, Талате, Вуласигоу, Абагонг, Савуси, Дацяо, Акехарен и др.) [32, 33] и месторождения железа (Туо-муер, Менгку). Колчеданные и колчеданно-полиметаллические месторождения Китайского Алтая

залегают в вулканогенно-осадочных отложениях, представленных среднекислыми вулканитами (риолитами, дацитами), базальтами и пирокластическими породами: туфами различного состава, туфогенными алевролитами, туфобрекчиями. Возраст этих образований нижний–средний девон. Рудные тела (медно-свинцово-цинковые) представляют собой массивные сульфидные отложения (VMS), которые сформированы синхронно с вулканизмом [29]. По комплексу признаков – составу вмещающих пород, времени образования, минеральному составу руд – колчеданные и колчеданно-полиметаллические месторождения Китайского Алтая сходны с таковыми Рудного Алтая.

Что касается геодинамического режима формирования этих месторождений, то среди Китайских учёных существуют две точки зрения. Одни авторы [15] считают, что колчеданные месторождения Китайского Алтая сформированы в субдукционно-аккреционном комплексе, и в раннем палеозое эта область представляла активную континентальную окраину с островодужным режимом развития. Другие авторы [27, 29] относят этап формирования вулканогенно-осадочного комплекса ( $D_1$ – $D_3$ fm) и связанного с ним колчеданно-полиметаллического оруднения к рифтогенезу на континентальной коре, что вполне согласуется с точкой зрения авторов данной статьи.

Островодужный этап для Монгольского и Китайского Алтая выделяется в интервале ( $D_3$ fm– $C_1$ S) [23], но установление чёткой границы между рифтогенным и островодужным этапами в верхнем девоне требует дополнительных данных, что особенно важно для выявления позиции месторождений.

Коллизионный этап ( $C_2$ – $P$ ) проявлен на данной территории гранитоидами преимущественно габбро-гранодиорит-гранитовой формации, с которыми связаны многочисленные редкометалльные месторождения [25].

В России редкометалльные месторождения (W, Be, Mo) проявлены в пределах Чарышско-Чуйской (Колыванское, Ново-Колыванское, Кремлевское) и Чарышско-Талицкой СФЗ (Верх-Слюдянское, Мульчихинское, Каракольское), в Монголии (Нууриин гол, Харнуур, Ценгел, Ховд гол и др.), в Китае (Куколагай, Келумут, Кекетуохай и др.) – в пределах Холзунско-Чуйской СФЗ. С этими же интрузиями связаны месторождения и проявления золота: в России – Новofireсовское (Сурич I), Мурзинское I и II, Старочагырское (Чарышско-

Чуйская СФЗ), в Монголии – Бор Бургас, Хурганнуур, Цагаанбургас и др. (Холзунско-Чуйская СФЗ).

**Металлогения.** Охарактеризованные складчатые системы Большого Алтая различаются не только по геологическому строению, геодинамическим особенностям, но и по металлогении, что отражено в целом ряде работ [6, 8–11, 13, 21, 24, 26].

Для структур Юго-Западного Алтая рудные месторождения можно объединить в три латерально-вертикальных ряда. Месторождения, сформированные в рифтогенный этап ( $D_1e$ – $D_3f$ ), образуют латеральный ряд с востока на запад, который начинается с месторождений железорудной, железомарганцевой и стратиформной формаций в связи с эмс-нижнеживетской трахидацит-трахириолитовой формацией (Холзунско-Сарымсактинская СФЗ), продолжается в этом же интервале свинцово-цинковыми колчеданными в связи с базальт-содержащей андезит-дацит-риолитовой и наращивается медно-свинцово-цинковыми колчеданными в связи с контрастной базальт-риолитовой верхнеживетско-франской формацией (Рудноалтайская СФЗ). По вертикали ряд рудных формаций рифтогенного этапа надстраивается рудно-формационными типами месторождений островодужного этапа ( $D_3$ fm– $C_1$ S): золото-серебро-полиметаллическими в связи с островной андезит-дацитовой формацией и золото-кварц-сульфидными в связи андезибазальтовой.

Месторождения рудных формаций рифтогенного и островодужного этапов по вертикали сменяются месторождениями, сформированными в коллизионный тектоно-магматический цикл ( $C_2$ – $P$ ), связанными с плутогенными формациями гранитоидов: золото-сульфидно-кварцевые, мелкие проявления порфировой, свинцово-цинковой жильной и скарновой рудных формаций, а также редкометалльные (W, Mo, Be).

Металлогения Иртыш-Зайсанской складчатой системы детально освещена в работах казахстанских геологов. Она включает многочисленные редкометалльные месторождения (Калбинская СФЗ) [9, 10, 12], а также золоторудные: золото-сульфидно-кварцевой, золотокварцевой формаций (Калба-Нарымская, Чарская СФЗ). В Жармо-Саурском поясе развиты мелкие месторождения меди медно-порфировой, медно-кварцево-жильной и медно-скарновой формаций.

Металлогения Горного Алтая, Монгольского и Китайского Алтая сходна с охарактеризованной выше для Юго-Западного Алтая. Отличием явля-

ется проявление на данных территориях каледонского этапа, металлогения которого выражена в развитии мелких медных проявлений, приуроченных к терригенным флишоидным толщам ( $C_2-O_1$ ) [24].

В герцинский рифтогенный этап ( $D_1-D_2gv_1$ ) здесь проявлены железо-скарновые, железомарганцевые и медно-свинцово-цинковые колчеданные месторождения рудноалтайского типа.

Для отнесения ряда месторождений к островодужному этапу ( $D_3fm-C_1S$ ) необходимы дополнительные данные о формационной принадлежности и возрасте рудовмещающих толщ и вмещающих их месторождений.

В коллизионный этап ( $C_2-P$ ) развиты многочисленные редкометалльные (W, Mo, Be) и золоторудные (различных формационных типов) месторождения в связи с гранитоидными интрузиями.

На территории Китайского Алтая продолжают структуры не только Горного и Рудного Алтая, но и структуры Иртыш-Зайсанской складчатой системы с сопровождающими их месторождениями различных формационных типов (золото, железо, медь, редкие металлы). Последние имеют место и на территории Китайского Алтая. Так, развитые в пределах Жарма-Саурской СФЗ месторождения медно-порфировой формации (Кызыл-Каин) отмечаются в пределах Китайского Алтая (Калатонгка, Юкенхаласу, Халасу).

**Заключение.** Многолетние исследования авторов по геологии и металлогении Большого Алтая, включающего раннегерцинскую систему Юго-Западного Алтая (куда входит Рудноалтайская СФЗ) и позднегерцинскую Иртыш-Зайсанскую (территория РФ и Республики Казахстан), продолжены в пределах каледонско-герцинских структур Горного Алтая (РФ), Монголии и Китая. На эту территорию составлена оригинальная схематическая «Структурно-формационная и металлогеническая карта Большого Алтая», из которой следует, что геологические структуры и развитые в их пределах месторождения различных формационных типов на территории РФ и Восточного Казахстана, имеют продолжение в Монгольском и Китайском Алтае.

Выявленные закономерности приуроченности месторождений цветных и благородных металлов к определённым этапам и соответствующим геодинамическим обстановкам позволяют использовать их в начальных этапах прогнозирования оруденения подобного типа. А установленные особенности формирования колчеданно-полиметаллических месторождений в рифтогенных структурах являются важным фактором при прогнозе и поисках данного оруденения не только в пределах Большого Алтая, но и в сходных металлогенических провинциях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беспяев Х. А., Полянский Н. В., Ганженко Г. Д., Дьячков Б. А.* [и др.] Геология и металлогения Юго-Западного Алтая. – Алматы : Гылым, 1997. – 288 с.
2. *Викентьев И. В., Куйбыда М. Л., Яковлев В. А.* [и др.] Рудноалтайский колчеданно-полиметаллический пояс (Россия, Казахстан) и факторы его формирования // Геология рудных месторождений. – 2024. – Т. 66. – С. 567–603.
3. *Геологическая карта Монголии масштаба 1 : 1 000 000.* – Улан-Батор, 1998.
4. *Геотектоника с основами геодинамики / В. Е. Хаин, М. Г. Ломизе.* – М. : Изд. МГУ, 1995. – 479 с.
5. *Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Т. 1. Глубинное строение и геодинамика.* – Алматы : Национальная АН Республики Казахстан, 2002. – 220 с.
6. *Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Т. 2. Металлогения.* – Алматы : Национальная АН Республики Казахстан, 2002. – 272 с.
7. *Горжевский Д. И., Караулов В. Б., Микунов М. Ф., Филатов Е. И.* Структура Рудного Алтая и закономерности размещения полиметаллических месторождений // Геотектоника. – 1977. – № 3. – С. 60–77.
8. *Горжевский Д. И., Чекваидзе Б. В., Исакович И. З.* Типы полиметаллических месторождений Рудного Алтая, их происхождение и методы поисков. – М. : Недра, 1977. – 195 с.
9. *Дьячков Б. А., Майорова И. Л., Нахтигаль Г. Л., Абдрахманов К. А.* Гранитоидные и рудные формации Калба-Нарымского пояса (Рудный Алтай). – Алматы : Гылым, 1994. – 205 с.
10. *Дьячков Б. А., Малыгин А. А., Нахтигаль Г. Л., Титов Д. В.* Рудоносные структуры Рудного Алтая // Геология и охрана недр. – 2004. – № 4. – С. 3–8.
11. *Дьячков Б. А., Мизерная Т. А., Пяткова А. П.* [и др.] К проблеме формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Отечественная геология. – 2021. – № 5. – С. 3–17.
12. *Дьячков Б. А., Никитина Т. М., Майорова Н. П.* Редкометалльные рудноформационные системы

- Восточного Казахстана // Геология Казахстана. – Алматы, 2004. – С. 222–229.
13. Дьячков Б. А., Титов Д. В., Сапаргалиев Е. М. Рудные пояса Большого Алтая и оценка их перспектив // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51, № 3. – С. 222–238.
  14. Ермолов П. В., Полянский Н. В., Добрецов Н. Л. [и др.] Офиолиты Чарской зоны // Офиолиты. – Алматы, 1981. – С. 103–173.
  15. Кай Кеда, Сун Мин, Ян Чао, Лонг Хиаопин, Хиао Венджио. Обзор геологического строения Китайского Алтая (Северо-Западный Китай) и его тектоническая эволюция в палеозое // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – С. 2056–2074.
  16. Кудрявцева Н. Г. Ряды рудных формаций месторождений цветных и благородных металлов в различных геодинамических обстановках Юго-Западного Алтая // Руды и металлы. – 2001. – № 6. – С. 44–52.
  17. Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В. Геодинамические особенности формирования месторождений цветных и благородных металлов Большого Алтая // Материалы международной конференции «Большой Алтай – уникальная редкометалльно-золото-полиметаллическая провинция Центральной Азии». – Алматы, 2010. – С. 95–96.
  18. Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Геодинамические обстановки формирования месторождений цветных и благородных металлов Большого Алтая // Отечественная геология. – 2022. – № 2. – С. 12–23.
  19. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В. [и др.] Основы прогноза колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая : монография. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – 207 с.
  20. Милановский Е. Е. Геология СССР. Часть 2 Урало-Монгольский подвижной пояс и смежные метаплаформенные области. – М. : Изд-во МГУ, 1989.
  21. Попов В. В., Стучевский Н. И., Демин Ю. И. Полиметаллические месторождения Рудного Алтая. – М., 1995. – 420 с.
  22. Филатов Е. И., Ширай Е. П. О палеосистеме островных дуг Зайсанской складчатой области // Доклады АН СССР. – 1975. – Т. 225, № 1. – С. 172–175.
  23. Щерба Г. Н., Беспяев Х. А., Дьячков Б. А. [и др.] Развитие структур Большого Алтая на основе геодинамических реконструкций // Геодинамика и минералогия Казахстана. Ч. 1. – Алматы : РИОВАК РК, 2000. – С. 73–81.
  24. Щерба Г. Н., Дьячков Б. А., Беспяев Х. А. [и др.] Большой Алтай (геология и металлогения). – В 3 кн., кн. 2. Металлогения. – Алматы : РИОВАК РК, 2000. – 400 с.
  25. Щерба Г. Н., Дьячков Б. А., Стучевский Н. И. [и др.] Большой Алтай (геология и металлогения). – В 3 кн., кн. 1. Геологическое строение. – Алматы : Гылым, 1998. – 304 с.
  26. Яковлев Г. Ф., Микунов М. Ф. Размещение колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая в связи с его структурно-формационно-фациальными особенностями // Геология рудных месторождений. – 1976. – № 3. – С. 45–56.
  27. Allen R. L., Tornos F., Peter J. M. Thematic Issue on The Geological Setting And Genesis Of Volcanogenic Massive Sulfide (VMS) Deposits // Mineralium Deposita. – 2011. – V 46, № 5–6. – P. 429–430.
  28. Gerel O., Pirajno F., Batkhishig B., Dostal J. Mineral Resources of Mongolia. – Berlin : Springer, 2021. – 461 p.
  29. Niu L., Hong T., Xu X. W., Li H., Ke Q., Wang X. H., Ma Y. C. A revised stratigraphic and tectonic framework for the Ashele volcanogenic massive sulfide deposit in the southern Chinese Altay: Evidence from stratigraphic relationships and zircon geochronology // Journal Ore Geology Reviews. – 2020. – 127. – 103814.
  30. Sun C., Zhang H., Yang X., Ji W., Chen B., Li Y., Dong Z., Faisal M., He Z. The role of long-lived arc volcanism in the formation of the VMS deposits: A case study of the volcanic-sedimentary sequence of Kangbutiebao formation associated with VMS deposits, Altai Mountains // Gondwana Research. – 2023. – V. 118. – P. 194–217.
  31. Tamir B., Dorjgotov T. B., Lkhagvatseren D. Geology and ore composition studies of Dulaan khar uul polymetal deposit // Journal of Geological Issues. – 2018. – 494, 16. – P. 76–83.
  32. Wan B., Zhang L. C., Xiao W. J. Geological and geochemical characteristics and ore genesis of the Keketale VMS Pb-Zn deposit, Southern Altai Metallogenic Belt, NW China // Journal Ore Geology Reviews. – 2010. – 37 (2). – P. 114–126.
  33. Yang F. Q., Zhang B., Yang C. D., Li Q., Wang Y. Q. Geology and geochronology of the volcanogenic massive sulphide polymetallic deposits in Altay Orogenic Belt, Xinjiang, Northwest China: examples from the Kelan Basin. // Int. Geol. Rev. – 2020. – 63 (10). – P. 1199–1214.

## REFERENCES

1. Bespayev Kh. A., Polyanskiy N. V., Ganzhenko G. D., Dyachkov B. A. [et al.] Geologiya i metallogeniya Yugo-Zapadnogo Altaya [Geology and metallogeny of the South-West Altai], Almaty, Gylym publ., 1997, 288 p. (In Russ.)
2. Vikipentev I. V., Kuybida M. L., Yakovlev V. A. [et al.] Rudnoaltayskiy kolchedanno-polimetallicheskiy poayas (Rossiya, Kazakhstan) i faktory yego formirovaniya [Rudno-Altai pyrite-polymetallic belt (Russia, Ka-

- zakhstan) and factors of its formation], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2024, V. 66, pp. 567–603. (In Russ.)
3. *Geologicheskaya karta Mongolii masshtaba 1 : 1 000 000* [Geological map of Mongolia, scale 1:1,000,000], Ulan-Bator, 1998. (In Russ.)
  4. *Geotektonika s osnovami geodinamiki* [Geotectonics with the basics of geodynamics], ed. V. Ye. Khain, M. G. Lomize, Moscow, MGU publ., 1995, 479 p. (In Russ.)
  5. *Glubinnoye stroyeniye i mineralnyye resursy Kazakhstana. V. 1. Glubinnoye stroyeniye i geodinamika* [Deep structure and mineral resources of Kazakhstan. V. 1. Deep structure and geodynamics], Almaty, Natsionalnaya AN Respubliki Kazakhstan publ., 2002, 220 p. (In Russ.)
  6. *Glubinnoye stroyeniye i mineralnyye resursy Kazakhstana. V. 2. Metallogeniya* [Deep structure and mineral resources of Kazakhstan. V. 2. Metallogeny]. Almaty, Natsionalnaya AN Respubliki Kazakhstan publ., 2002, 272 p. (In Russ.)
  7. *Gorzhevskiy D. I., Karaulov V. B., Mikunov M. F., Filatov Ye. I. Struktura Rudnogo Altaya i zakonmernosti razmeshcheniya polimetallicheskikh mestorozhdeniy* [Structure of Rudny Altai and patterns of distribution of polymetallic deposits], *Geotektonika*, 1977, No. 3, pp. 60–77. (In Russ.)
  8. *Gorzhevskiy D. I., Chekvaidze B. V., Isakovich I. Z. Tipy polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya, ikh proiskhozhdeniye i metody poiskov*, Moscow, Nedra publ., 1977, 195 p. (In Russ.)
  9. *Dyachkov B. A., Mayorova I. L., Nakhitgal G. L., Abdrahmanov K. A. Granitoidnye i rudnye formacii Kalba-Narymskogo poyasa (Rudnyj Altaj)* [Granitoid and ore formations of the Kalba-Narym belt (Ore Altai)], Almaty, Gylym publ., 1994, 205 p. (In Russ.)
  10. *Dyachkov B. A., Malygin A. A., Nakhitgal G. L., Titov D. V. Rudonosnyye struktury Rudnogo Altaya* [Ore-bearing structures of Rudny Altai], *Geologiya i okhrana nedr*, 2004, No. 4, pp. 3–8. (In Russ.)
  11. *Dyachkov B. A., Mizernaya T. A., Pyatkova A. P.* [et al.] *K probleme formirovaniya kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya* [On the problem of formation of pyrite-polymetallic deposits of Rudny Altai], *Otechestvennaya geologiya*, 2021, No. 5, pp. 3–17. (In Russ.)
  12. *Dyachkov B. A., Nikitina T. M., Mayorova N. P. Redkometallnyye rudnoformatsionnyye sistemy Vostochnogo Kazakhstana* [Rare metal ore-formation systems of Eastern Kazakhstan], *Geologiya Kazakhstana*, Almaty, 2004, pp. 222–229. (In Russ.)
  13. *Dyachkov B. A., Titov D. V., Sapargaliyev Ye. M. Rudnyye poyasa Bolshogo Altaya i otsenka ikh perspektiv* [Ore belts of the Greater Altai and assessment of their prospects], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2009, V. 51, No. 3, pp. 222–238. (In Russ.)
  14. *Yermolov P. V., Polyanskiy N. V., Dobretsov N. L.* [et al.] *Ofiolity Charskoy zony* [Ophiolites of the Chara zone], *Ofiolity*, Almaty, 1981, pp. 103–173. (In Russ.)
  15. *Kay Keda, Sun Min, Yan Chao, Long Khiaopin, Khiao Vendzhio. Obzor geologicheskogo stroyniya Kitayskogo Altaya (Severo-Zapadnyy Kitay) i yego tektonicheskaya evolyutsiya v paleozoye* [Review of the geological structure of the Chinese Altai (Northwest China) and its tectonic evolution in the Paleozoic], *Geologiya i geofizika*, 2011, V. 52, pp. 2056–2074. (In Russ.)
  16. *Kudryavtseva N. G. Ryady rudnykh formatsiy mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov v razlichnykh geodinamicheskikh obstanovkakh Yugo-Zapadnogo Altaya* [Series of ore formations of deposits of non-ferrous and precious metals in various geodynamic settings of the South-West Altai], *Rudy i metall*, 2001, No. 6, pp. 44–52. (In Russ.)
  17. *Kudryavtseva N. G., Kuznetsov V. V. Geodinamicheskiye osobennosti formirovaniya mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov Bolshogo Altaya* [Geodynamic features of the formation of deposits of non-ferrous and precious metals of the Greater Altai], Almaty, 2010, pp. 95–96. (In Russ.)
  18. *Kudryavtseva N. G., Kuznetsov V. V., Seravina T. V. Geodinamicheskiye obstanovki formirovaniya mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov Bolshogo Altaya* [Geodynamic settings for the formation of deposits of non-ferrous and precious metals in the Greater Altai], *Otechestvennaya geologiya*, 2022, No. 2, pp. 12–23. (In Russ.)
  19. *Kuznetsov V. V., Kudryavtseva N. G., Seravina T. V.* [et al.] *Osnovy prognoza kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya*, monografiya [Fundamentals of forecasting pyrite-polymetallic deposits of Rudny Altai, monograph], Moscow, TSNIIGRI publ., 2019, 207 p. (In Russ.)
  20. *Milanovskiy Ye. Ye. Geologiya SSSR. Chast 2 Uralo-Mongolskiy podvizhnoy poyas i smezhnyye metaplatformennyye oblasti* [Geology of the USSR. Part 2. Ural-Mongolian mobile belt and adjacent metaplatform regions], Moscow, MGU publ., 1989, 271 p. (In Russ.)
  21. *Popov V. V., Stuchevskiy N. I., Demin Yu. I. Polimetallicheskiye mestorozhdeniya Rudnogo Altaya* [Polymetallic deposits of Rudny Altai], Moscow, 1995, 420 p. (In Russ.)
  22. *Filatov Ye. I., Shiray Ye. P. O paleosisteme ostrovnykh dug Zaysanskoy skladchatoy oblasti* [On the paleo-system of island arcs of the Zaisan folded region], *Doklady AN SSSR*, 1975, V. 225, No. 1, pp. 172–175. (In Russ.)
  23. *Shcherba G. N., Bespayev Kh. A., Dyachkov B. A.* [et al.] *Razvitiye struktur Bolshogo Altaya na osnove geodinamicheskikh rekonstruktsiy* [Development of the Greater Altai structures based on geodynamic reconstructions], *Geodinamika i minerageniya Kazakhstana. Pt. 1*, Almaty, RIOVAK RK publ., 2000, pp. 73–81. (In Russ.)

24. *Shcherba G. N., Dyachkov B. A., Bespayev Kh. A.* [et al.] Bolshoy Altay (geologiya i metallogeniya) [Greater Altai (geology and metallogeny) In 3 books, book 2. Metallogeny], Almaty, RIOVAKRK publ., 2000, 400 p. (In Russ.)
25. *Shcherba G. N., Dyachkov B. A., Stuchevskiy N. I.* [et al.] Bolshoy Altay (geologiya i metallogeniya) geologicheskoye stroyeniye [Greater Altai (geology and metallogeny) geological structure, In 3 books, book 1. Geological structure], Almaty, Gylym publ., 1998, 304 c. (In Russ.)
26. *Yakovlev G. F., Mikunov M. F.* Razmeshcheniye kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya v svyazi s yego strukturno-formatsionno-fatsialnymi osobennostyami [Location of pyrite-polymetallic deposits of Rudny Altai in connection with its structural-formational-facies features], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1976, No. 3, pp. 45–56. (In Russ.)
27. *Allen R. L., Tornos F., Peter J. M.* Thematic Issue on The Geological Setting And Genesis Of Volcanogenic Massive Sulfide (VMS) Deposits, *Mineralium Deposita*, 2011, V. 46, No. 5–6, pp. 429–430.
28. *Gerel O., Pirajno F., Batkhishig B., Dostal J.* Mineral Resources of Mongolia. Berlin, Springer publ., 2021, 461 p.
29. *Niu L., Hong T., Xu X. W., Li H., Ke Q., Wang X. H., Ma Y. C.* A revised stratigraphic and tectonic framework for the Ashele volcanogenic massive sulfide deposit in the southern Chinese Altay: Evidence from stratigraphic relationships and zircon geochronology, *Journal Ore Geology Reviews*, 2020, 127, pp. 103814.
30. *Sun C., Zhang H., Yang X., Ji W., Chen B., Li Y., Dong Z., Faisal M., He Z.* The role of long-lived arc volcanism in the formation of the VMS deposits: A case study of the volcanic-sedimentary sequence of Kangbutiebao formation associated with VMS deposits, *Altai Mountains, Gondwana Research*, 2023, V. 118, pp. 194–217.
31. *Tamir B., Dorjgotov T. B., Lkhagvatseren D.* Geology and ore composition studies of Dulaan khar uul polymetal deposit // *Journal of Geological Issues*. – 2018. – 494, 16. – P. 76–83.
32. *Wan B., Zhang L. C., Xiao W. J.* Geological and geochemical characteristics and ore genesis of the Keke-tale VMS Pb-Zn deposit, Southern Altai Metallogenic Belt, NW China, *Journal Ore Geology Reviews*, 2010, 37 (2), pp. 114–126.
33. *Yang F. Q., Zhang B., Yang C. D., Li Q., Wang Y. Q.* Geology and geochronology of the volcanogenic massive sulphide polymetallic deposits in Altay Orogenic Belt, Xinjiang, Northwest China: examples from the Kelan Basin, *Int. Geol. Rev*, 2020, 63 (10), pp. 1199–1214.

Статья поступила в редакцию 18.04.25; одобрена после рецензирования 30.05.25; принята к публикации 05.06.25.  
The article was submitted 18.04.25; approved after reviewing 30.05.25; accepted for publication 05.06.25.

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.

## Особенности структуры и морфологии самородного золота Верхне-Якутского потенциального рудного поля

**Аннотация.** Проанализировано самородное золото из пород разного состава трёх участков Верхне-Якутского рудного поля (Республика Саха (Якутия)). Установлено наличие четырёх генераций золота, различающихся по пробности и внутреннему строению, что свидетельствует о пульсационном характере отложения золота и его эпикристаллизационных преобразованиях в рамках двухэтапного процесса рудогенеза в условиях малых и средних глубин.

**Ключевые слова:** самородное золото, типоморфизм, внутреннее строение, пробность, прожилково-вкрапленная золото-кварцевая минерализация.

ШАТИЛОВА ЛЮДМИЛА ВИКТОРОВНА, старший научный сотрудник, shatilova@tsnigri.ru

ПОЗДНЯКОВА НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, natali-silver@bk.ru

СТОЛЯРЕНКО ВЛАДИМИР ВАЛЕНТИНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, stolyarenko@tsnigri.ru

МИНАЕВА СВЕТЛАНА ВИКТОРОВНА, ведущий инженер, minaeva@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

## Diagnostic features of the structure and morphology of native gold of the Verkhne-Yakokutskoe potential ore field

L. V. SHATILOVA, N. N. POZDNYAKOVA, V. V. STOLYARENKO, S. V. MINAEVA

Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals" (FSBI "TSNIGRI"), Moscow

**Annotation.** Native gold from different rocks of three sites of the Verkhne-Yakokutskoe ore field (Republic of Sakha (Yakutia)) was analyzed. Four generations of the gold were distinguished that differed in fineness and internal structure, which indicates a pulsating nature of the gold deposition and its epicrystallization transformations within a two-stage ore genetic process under small and medium depths conditions.

**Key words:** native gold, typomorphism, internal structure, fineness, veinlet-disseminated gold-quartz mineralization.

**Введение.** В обстановке практически полного окисления руд самородное золото служит источником важной информации об условиях и последовательности рудообразования. Для решения таких задач из проб, отобранных на перспективных участках (Юрбетский, Южно-Юрбетский и Якутский), было выделено и проанализировано около 3000 золотин. В пределах зерна изучены вариации пробности, элементный микропримес-

ный состав и минеральные включения. Показаны особенности самородного золота трёх участков в различных частях грабен-впадины, содержащих золоторудные проявления разных морфоструктурных типов в толще юрских терригенных пород. Полученные данные позволяют уточнить представления о коренных источниках, по которым проведено сопоставление полученных признаков.

**Геолого-минералогическая характеристика района.** Верхне-Якутская грабен-впадина, рассматриваемая в качестве Верхне-Якутского потенциального рудного поля (РП), расположена в Центральном-Алданском рудном районе (РР) и вместе с Куранахской грабен-впадиной относится к блоковым структурам второго порядка, осложняющим площадь рудного района. Структурно-тектоническое строение Верхне-Якутского РП обусловлено формированием в нём зоны мезозойской тектонической активизации в результате сводово-глыбового тектоногенеза. Границами Верхне-Якутской грабен-впадины (точнее,

её наиболее опущенной части) служат региональные зоны дофанерозойских разломов первого порядка: Юхтинского, Верхнеылымского, Ылымского, Джекондинского, Якутского и Томмот-Эльконского (рис. 1). Последние два являются основными рудоконтролирующими структурами Центрально-Алданского района. К ним приурочено большинство известных в данном регионе месторождений рудного золота.

Геологическое строение Верхне-Якутского РП определяется наличием двух структурных этажей – докембрийских сложнодислоцированных образований кристаллического фундамента и суб-

**Рис. 1. Схематическая геологическая карта Верхне-Якутского потенциального рудного поля с выделенными перспективными участками, лист О-51-ХVIII:**

**структуры неотектонической активизации (IV структурный этаж):** 1 – кайнозойские грабен-долины: 1 – Среднеселигдарская, 2 – Верхне-Якутская, 3 – Верхнеселигдарская, 4 – Верхнетоммотская, 5 – Малоюхтинская, 6 – Большеюхтинская, 7 – Пуриканская, 8 – Пуричинская, 9 – Олонгинская, 10 – Ловоылымская; **структуры мезозойской эпиплатформенной активизации (III структурный этаж):** *блоковые структуры II порядка:* 2 – горсты (Э – Эльконский, ВН – Верхне-Нимгерканский, З – грабен-впадина: ВЯ – Верхне-Якутская); *разломы:* 4 – главные: а – достоверные и б – скрытые под перекрывающими образованиями: 1 – Томмотский, 2 – Юхтинский, 3 – Хатыстырский, 4 – Ортосалинский, 5 – Якутский, 6 – Верхнеылымский, 7 – Джекондинский, 8 – Верхне-Нимгерканский, 9 – Юхтинский, 10 – Ылымский, 11 – Томмот-Эльконский и 5 – второстепенные: а – достоверные и б – скрытые под перекрывающими образованиями: КЛ – Кюелляхский, ТД – Томмот-Джекондинский, П – Пуриканский, Н – Нимнырский; б – узлы проявлений магматизма (магматогены): И – Инаглинский, Т – Томмотский, Р – Рябиново-Редергинский, Л – Лебединский, Д – Джекондинский, Ы – Ылымский, Ю – Юхтинский, М – Мрачнинский, Я – Якутский, К – Колтыконский; **структуры кристаллического фундамента (I структурный этаж):** *плекативные структуры:* 7 – оси синклиналей (синформ): Л – Левонимгерканская, В – Верхнеортосалинская, К – Колтыконская, У – Усть-Николкинская; 8 – оси антиклиналей (антиформ): С – Селигдарская, П – Правонимгерканская, Т – Томмотская, М – Малоянская; 9 – зоны разломов раннедокембрийского заложения: У – Удачная, Ф – Федоровская, К – Курумканская; 10 – границы геологических формаций; 11 – изогипсы подошвы венд-нижнекембрийских отложений, м; 12 – абсолютные отметки подошвы юрских отложений, м; 13 – поисковые участки с золоторудными объектами различных морфологических типов: 1 – Юрбетский, 2 – Южно-Юрбетский, 3 – Якутский

Структурные этажи и слагающие их формации

Структурные этажи (возраст формаций)	Этапы развития			
	Эпиплатформенной активизации	Платформенный	Доплатформенный	
	ПА	П	ДП	
КАЙНОЗОЙСКИЙ (KZ) (IV СТРУКТУРНЫЙ ЭТАЖ)	ПАКZ <sub>0</sub>	глинисто-песчано-конгломератовая		
МЕЗОЗОЙСКИЙ (MZ) (III СТРУКТУРНЫЙ ЭТАЖ)	ПАТ <sub>3</sub> -K <sub>1</sub> ПАJ <sub>2</sub>	щелочносиенит-щелочногранитовая, щелочнопикритовая, монзонит-сиенит-гранитовая, фергусит-щелочносиенитовая, лейцитит-щелочнотрахитовая конгломерато-песчаниковая		
ПОЗДНЕПРОТЕРОЗОЙСКО-ПАЛЕОЗОЙСКИЙ (PR <sub>2</sub> -PZ) (II СТРУКТУРНЫЙ ЭТАЖ)		ПР <sub>3</sub> -PZ	мергельная, мергельно-доломитовая, доломитовая	
РАННЕАРХЕЙСКО-РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИЙ (AR <sub>2</sub> -PR <sub>1</sub> ) (I СТРУКТУРНЫЙ ЭТАЖ)			ДПР <sub>1</sub> +ДПАР <sub>2</sub> + ДПАР <sub>2</sub> ДПАР <sub>1</sub>	гранитовая плагито-гранитовая мрамор-сланцевая кварцито-гнейсовая



горизонтально залегающих на них осадочных пород платформенного чехла. Платформенный чехол подразделяется на два яруса – венд-нижнекембрийский и нижнеюрский. Венд-нижнекембрийский ярус образован карбонатными породами, которые с региональным несогласием залегают на выровненной поверхности докембрийского фундамента. В свою очередь, карбонатная толща со скрытым угловым несогласием перекрывается ниже-среднеюрскими терригенными отложениями. В пределах площади образования фундамента не обнажаются.

Как и на всём Центральном Алдане мезозойские магматические образования Верхне-Якутского РП отличаются разнообразием состава и исключительной ролью одного из важнейших факторов рудоконтроля – интенсивным проявлением гидротермально-метасоматических процессов. Мезозойские магматические образования представлены штоками, силлами и дайками: среднеюрскими–поздне меловыми лампрофирами и лампроитами нижекурунахского, позднеюрскими–раннемеловыми сиенитами лебединского, раннемеловыми сиенит-порфирами колтыконского и раннемеловыми тингуаитами и сельвсбергитами эльконского комплексов.

С магматизмом среднеюрско-поздне меловых лампрофиров, лампроитов и позднеюрско-раннемеловыми породами лебединского монцонит-сиенитового комплекса связано проявление метасоматитов пирит-карбонат-калишпат-кварцевого состава. Данный комплекс пород распространён относительно локально, проявлен в виде линейных прерывистых зон вдоль даек, реже – пластовых интрузий. Интенсивность гидротермально-метасоматических процессов этого типа самая различная: от незначительной (окварцевание вмещающих песчаников, проявление карбонатных прожилков) до интенсивной (образование пирит-кварцевых тел по зонам дробления и приконтактным частям даек, тектонических нарушений). По вещественному составу, геохимической специализации, связи с определёнными магматическими породами данные образования можно отнести к сульфидно-кварцевой формации с золотом, характерной для месторождений Лебединского рудного узла, проявленной в специфических условиях юрской терригенной толщи.

Непосредственно рудные тела чётко контролируются зоной метасоматитов пирит-(лимонит)-калишпат-карбонат-кварцевого состава, развивающихся по зонам дробления осадочных пород и

даек. Зона окисления развивается до глубины 20–50 м (в отдельных случаях до 100 м), выражается в практически полном замещении пирита лимонитом и интенсивном разрушении вмещающих пород до глинисто-древяно-щебнистого состояния. Неокисленные золоторудные метасоматиты прослежены до глубины 90–100 м по всей осадочной толще вплоть до гумбеитизированных кембрийских доломитов.

Распределение золота в пределах зоны неравномерное, содержание его резко меняется через 40–50 м от 0,6 до 5–6 г/т. С глубиной содержание металла может уменьшаться. Возможно, это связано с обогащением приповерхностных руд в процессе окисления в коре выветривания. Границы рудных тел часто устанавливаются только опробованием.

В пределах РП выделен ряд перспективных участков, содержащих золоторудные проявления различных морфоструктурных типов в толще юрских терригенных пород, – Юрбетский, Южно-Юрбетский и Якутский (Е. И. Бирюков, 2007; А. Н. Власов, 2008).

**Участок Юрбетский** расположен в северо-западной части Верхне-Якутской грабен-впадины. Структурно-тектонический план участка определяется его положением в зоне влияния фрагментов субмеридиональной ветви Якутского и северо-восточной ветви Томмот-Эльконского региональных разломов глубинного заложения. В узлах сопряжения региональных разломов образуется зона трещиноватости с каркасно-блоковым строением повышенной «проницаемости». Подобные тектонические зоны вмещают интрузии широкого возрастного диапазона, от среднеюрских до поздне меловых, а также зоны тектонических брекчий, секущие меловые интрузии, что свидетельствует о неоднократном подновлении разломов этой системы. Развитие зон неоднократно подновлявшихся разрывных дислокаций способствовало формированию в них золотоносных гидротермально-метасоматических образований, развитых по минерализованным зонам дробления, по различно ориентированным дайкам субщелочного состава и тектоническим брекчиям. Основное количество даек и зон дробления имеют ССВ простирание. В результате гидротермальной проработки в ряде зон дробления образовалась прожилково-вкрапленная золото-кварцевая минерализация, вплоть до развития кварцевых жил, а также возникли минерализованные зоны тектонических брекчий с кварцевым цементом.

Кварцевые жилы (Юрбет I, Юрбет II, Юрбет III) в пределах участка прослеживаются на протяжении 800–900 м к ключу Горный, их вскрытая мощность составляет около 1,0 м. Они сопровождаются маломощными дайками щелочного комплекса. Жилы представлены серо-жёлтым окристым сульфидизированным (1–5 %) кварцем «сухаристого» облика с вкраплениями рудных минералов, иногда магнетита. Сульфиды почти полностью окислены, по форме псевдоморфоз и составу реликтов в них преобладал пирит. На их месте образовались пустоты, выполненные жёлто-бурой охрой и гётитом. Содержания золота (1–5 г/т) в жилах неравномерные.

На участке выявлена серия тектонических субвертикальных зон дробления ССЗ простирания, общей мощностью приблизительно 600 м. Данные зоны (каждая мощностью до первых метров) золотоносны, сложены обохренным, выветрелым дресвяно-щебнистым материалом бурым, ржаво-бурым лимонит-калишпат-карбонат-кварцевого состава с включениями, прожилками (мощностью до 6 см) и просечками кварца, с массивно-кавернозной текстурой, с размером обломков до 3 см (иногда 10 × 15 см). Зоны нередко трассируются дайками, в том числе минетт, субщелочных пород разного состава и ориентировки.

В зонах дробления вмещающие песчаники, дайки и сопровождающие их зоны сульфидизации и окварцевания подвергались дроблению, последующей цементации кварцевым веществом с формированием зон брекчирования. Тектонические брекчии состоят из песчаников, алевролитов, сланцев, с цементированием сульфидизированным кварц-полевошпатовым агрегатом. Наличие во многих брекчиях обломков, реликтов послеюрских интрузивных пород лебединского комплекса, представленных сиенитами и сиенит-порфирами, указывает на то, что часть их образовалась позже внедрения пород этого возраста. Их простирание различно и определяется зонами дробления, с которыми они сопряжены.

Вскрытые канавами (К-27, 45, 46) тела тектонических брекчий имеют мощность от 2–3 до 10 м, состоят из остроугольных обломков кварца, окварцованных песчаников, алевролитов или лейкократовых интрузивных пород размером от 0,5–7 до 20 мм, связанных базальным цементом в виде молочно-белого кварца с тонкорассеянной вкрапленностью пирита. Сульфидизация в некоторых местах достигает 15–20 %. Брекчии в ос-

новном выветрены и окислены, с развитием гидроксидов Fe и Mn по массе, с обилием пустот в виде каверн. В ряде случаев вследствие гипергенной дезинтеграции они разрушены до рыжей сыпучей массы, состоящей из обломков брекчий, вмещающих пород и жёлто-серой супеси.

Дезинтегрированная дайка минетт мощностью первые метры представлена рыхлой массой зелёного, грязно-зелёного цвета, разрушенной до песчано-дресвяного материала. В породе присутствует большое количество лейст слюды. В теле дайки отмечаются прожилки (мощностью до 2 мм) или трещины, выполненные бурыми агрегатами лимонита.

**Участок Южно-Юрбетский** расположен на южном продолжении Юрбетских жил. В его пределах канавами вскрыты развитые по зонам дробления в песчаниках:

- золотосодержащие метасоматические образования кварц-лимонит-полевошпатового, карбонат-кварц-лимонит-полевошпатового составов, сульфидизированные (до 3–5 %), которые в зоне гипергенеза за счёт выветривания имеют кавернозный вид;
- окварцованные и интенсивно лимонитизированные песчаники светло-серые, бежевые, окварцованные, мелкозернистой структуры;
- дайка минетт (К-30), сопряжённая с зоной дробления, мощностью около 4,5 м, представленная сильно выветренными интенсивно ожелезненными лимонит-кварцевыми метасоматитами.

**Участок Якокутский** расположен в южной части грабен-впадины. Породы терригенного и карбонатного чехлов вмещают огромное количество мезозойских малых интрузий щелочного и щёлочноземельного составов. Их концентрация местами достигает 20–40 тел на квадратный километр. Участок находится в зоне сопряжения южного фрагмента Якокутского регионального разлома северо-восточного простирания и Юхтинского северо-западного простирания. Возникает узел сочленения разнонаправленных неоднократно подновлённых разрывных нарушений более высоких порядков. Сочетания разрывных нарушений различных порядков контролируют размещение интрузивных тел, гидротермально-метасоматических образований и рудных тел, формируя структуру участка.

В северо-западной части участка вскрываются окварцованные и сульфидизированные (до 10–13 %) песчаники мелкозернистой структуры

с прожилками друзового кварца (до 2 см в поперечнике), в целом кавернозные, по трещинам и по массе за счёт выветривания интенсивно лимонитизированные, с образованием обломков гидроксидов Fe и Mn.

Зона дробления имеет мощность 2–3 м, субширотное простирание, представлена рыхлым обохренным, выветрелым песчано-дресвяным материалом бурого цвета со светло-серыми, серыми сульфидизированными (до 15–17 %) обломками (до 4 см, иногда 7–10 см) окварцованных песчанников, с включениями в них прожилков (до 1 см) друзового кварца прозрачного, полупрозрачного, часто покрытого гидроксидами Fe и Mn.

Основная рудная зона Геохимическая с близко вертикальным падением пород, протяжённостью 3,5 км, мощностью 2–16 м (в раздувах до 50 м) на юго-восточном фланге осложнена узлом сочленения разнонаправленных разрывных нарушений, трассируемых дайками различного состава. Зона выполнена метасоматитами кварц-сульфидно-карбонатного, карбонат-кварц-сульфидного составов, часто разрушенными до глины и дресвы, которые развиваются как по песчаникам и алевролитам (а также по их брекчиям), так и по породам даек щелочного состава. Минералогический состав тяжёлой фракции шлиха пробы из метасоматитов представлен окисленными до лимонита пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, магнетитом, вторичными минералами меди, рисовидным кварцем, баритом, ярозитом, флюоритом. Золотое оруденение приурочено к лимонитизированным метасоматитам, брекчиям, к углистым плотным алевролитам, часто окварцованным и пиритизированным. К северо-западу от рудной зоны Геохимическая вскрыты выветрелые, лимонитизированные, с кавернами дайки ортофиринов и лампроитов. Их сульфидизация в среднем составляет около 10 %.

В целом проявленная золотоносность трёх участков приурочена к тектоническим зонам дробления и гидротермально-метасоматическим образованиям пирит-карбонат-полевошпат-кварцевого состава по первичным осадочным породам с последующим интенсивным изменением в зоне гипергенеза.

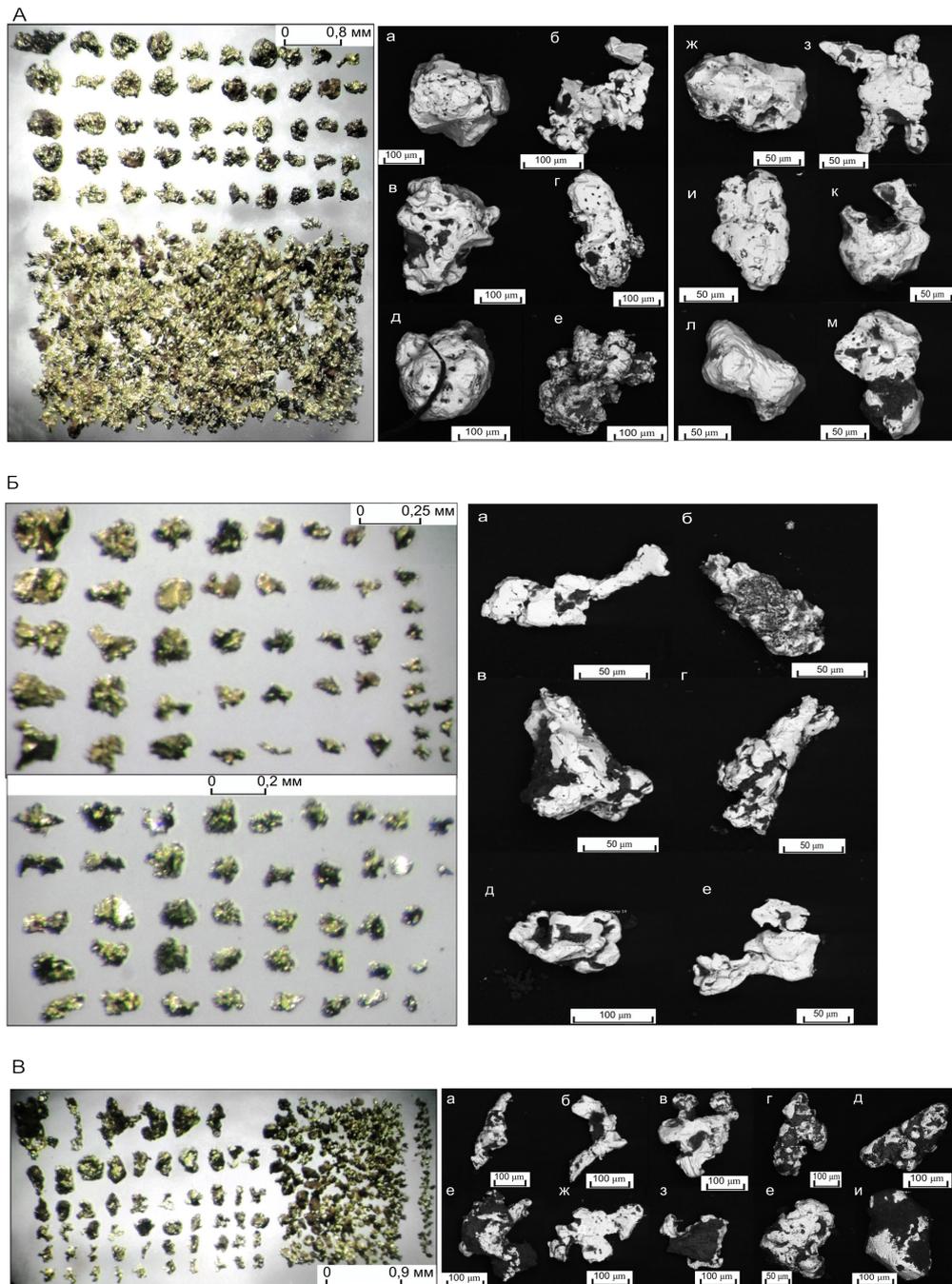
**Методика исследования.** В пределах рудного поля по трём участкам из золотосодержащих пород (минерализованных брекчий с сульфидно-кварцевыми маломощными прожилками, окварцованных и сульфидизированных песчанников,

метасоматитов зон дробления и брекчирования с кварцевым цементом по песчаникам, алевролитам, сланцам, дезинтегрированных даек минетт, ортофиринов, лампроитов) было отобрано свободное видимое самородное золото в количестве от 4–5 знаков до весовых значений в отдельных пробах (более 2000 знаков, уч. Юрбетский) и проведено комплексное изучение его типоморфизма. Тонкодисперсное золото было установлено ранее в единичных аншлифах в сульфидах (пирите и халькопирите), псевдоморфозах гётита по пириту (2–4 мкм, редко до 10–20 мкм) и в виде микровключений в кварце [5].

Нами исследовалось видимое золото по методикам, разработанным в ФГБУ «ЦНИГРИ» [1, 2]. Анализировались его гранулометрия и морфология, изучались характер поверхности, детали внутреннего строения, признаки посткристаллизационных метаморфических преобразований и гипергенных изменений, а также состав сростков. Распределение содержания золота и серебра в отдельных золотилах, набор и концентрации элементов-примесей в них определялись при помощи рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на приборе Cameca SX50, 15 kV, 30 nA, диаметр зонда ~ 3 μm, точность определения содержания элементов ± 0,1 мас.%. Внутреннее строение золота изучалось на тех же образцах методом многократного структурного травления раствором  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ . В реагенте HCl играет роль сильного окислителя, а  $\text{CrO}_3$  является комплексообразователем, который необходим для подавления реакции восстановления окисленного в процессе травления золота. Структурные особенности золота и наблюдаемые взаимоотношения фаз фиксировались при помощи встроенной цифровой фотокамеры на поляризационном микроскопе Olympus BX-51.

**Результаты исследований типоморфизма золота.** Гранулометрический состав видимого золота показал на фоне относительно мелкого (~ 0,3 мм) наличие значимых количеств золота классов -0,5+0,3 и -1,0+0,5 мм, а в ряде случаев класса +1,0 мм (уч. Юрбетский) (рис. 2). Золото размером 0,15–0,05 мм чаще отмечается в пробах, отобранных по зоне Геохимическая участка Якокутский. Это то золото, которое распределяется в породе-производителе более равномерно.

По морфологии видимое золото трёх участков жёлтого (до 90 % в пробе), тёмно-жёлтого (до 25–30 %), светло-жёлтого (до 15–20 %) цветов, «руд-



**Рис. 2. Самородное золото участков Юрбетский (А), Южно-Юрбетский (Б), Якутский (В): общий вид гранулометрического состава в пробах под бинокляром и форма отдельных частиц с характеристикой поверхности в электронном микроскопе:**

А – золотины с сохранёнными в углублениях плотными лимонитизированными агрегатами кварц-глинистого состава с различной микроповерхностью: с единичными порами и последовательным наслоением (а), ячеистая, участками тонкослоистая (б), ячеистая с последовательным наслоением (в), ровная с признаками выщелачивания (г), мелкобугорчатая с единичными порами (д), губчатая (е), ровная с редкими ямчатыми углублениями, переходящая в мелкопористую (ж–к, м), ступенчатая (л); Б – золотины с сохранёнными в углублениях плотными лимонитизированными агрегатами кварц-глинистого состава с различной микроповерхностью: ровной (д), гладкой (а, в), микропористой (е), тонкозаноцистой (б), ямчатой, с примятыми выступами (г); В – золотины с сохранёнными в углублениях плотными лимонитизированными агрегатами кварц-глинистого состава с различной микроповерхностью: ровной (ж, и), гладкой (а, в), ямчато-бугорчатой (б, г, д, з), с примятыми выступами (е), ступенчатой (в)

ного» облика или со слабыми признаками преобразования в зоне гипергенеза – с занозистыми, острыми краями, реже с оглаженными и обмятыми выступами. Визуально можно выделить две группы (I и II) частиц со своими характерными признаками, при этом одна существенно преобладает над другой в любой представительной пробе (рис. 3).

Основную часть составляют золотины в сростках с кварцем, с губчато-мелкоячеистым или бугорчатым, переходящим в ямчатый рельефом поверхности. Это пластинчатые прожилковидно-интерстициальные разности, образованные при выполнении трещин, и объёмные удлинённые комковидно-гемиидиоморфные выделения, которые сформировались при отложении в неоднородных средах. Двумерные дендриты, уплощённые и объёмные искажённые, щепковидные, проволочковидные кристаллические сростки, нередко встречающиеся в зонах дробления, образовались при повышенной газонасности среды или увеличении в поступающем растворе содержания серебра (см. рис. 3, А).

В подчинённом количестве отмечаются объёмные огранённые с оглаженными выступами до почти шарообразных сростки кристаллов, отличающиеся матовой мелкобугорчатой или ровной с шагренью поверхностью, чёткими ступенями роста. Первично оглаженные их контуры, притуплённые рёбра и вершины, ступенчатый рельеф – признаки пульсационной кристаллизации данной разновидности золота в контактовых зонах даек и малых интрузий с осадочными породами и дальнейшего интенсивного преобразования при гидротермально-метасоматическом метаморфизме (см. рис. 3, Б).

В целом у всех золотинок видны изменения при нахождении их в зонах гидратации и выщелачивания в гипергенном профиле глинистой коры

выветривания. Макроскопически это проявлено присутствием на поверхности значительной части выделений золота (20–60 %) скоплений железённых агрегатов кварц-глинистого состава и примазок, плёнок или плотных корок гидроксидов Fe и Mn, являющихся псевдоморфозами по сульфидным минералам. Во внутреннем строении гипергенные изменения отчётливо фиксируются в виде коррозионной оболочки с зубчатым внешним краем и межзерновых высокопробных прожилков и обособлений. У некоторых золотинок наблюдаются микропористость поверхности на ровных участках, тонкая слоистость на выступах или выщелоченный губчатый рельеф с включениями гидроксидов (см. рис. 2). Такой рельеф возникает под воздействием интенсивных механических трений при тектонических подвижках или благодаря растворению в зоне окисления вмещающих руд, но не является результатом окатывания в условиях россыпей, как предполагалось другими исследователями [5]. Гладкая, участками тонкоступенчатая или щелевидно-ячеистая микроповерхность, реже с дендритным микрорельефом (уч. Южно-Юрбетский) характерна для золота, образованного на средних и малых глубинах [3].

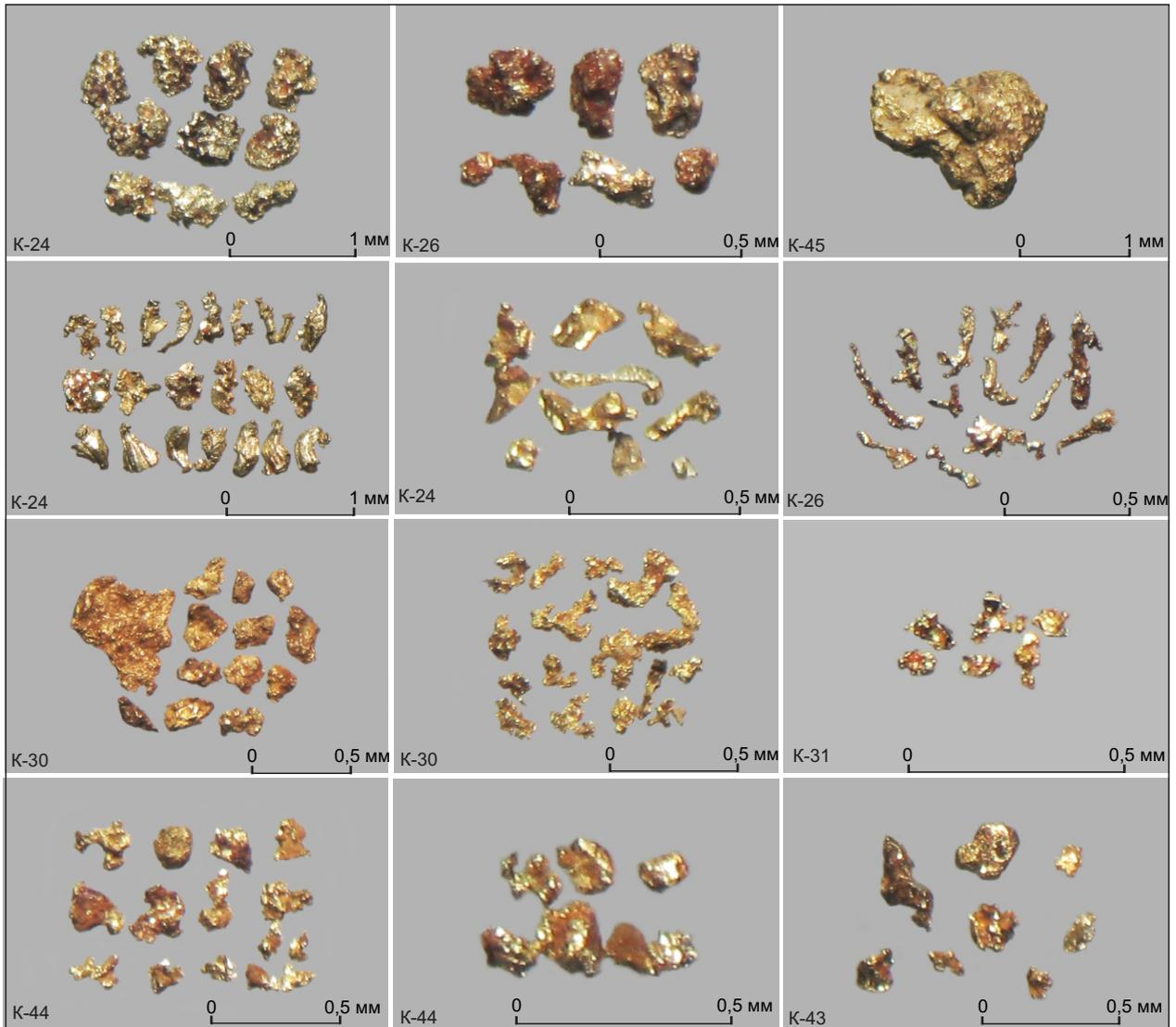
Среди *элементов-примесей* в составе золота помимо серебра отмечается постоянно повышенное содержание Te, иногда – Bi, Cu, спорадически встречаются Sb, Zn, Pd, редко – As, Hg.

Для видимого самородного золота рассматриваемой площади установлены *особенности внутреннего строения, вариации его пробности, минеральные микровключения*. При детальном изучении разного по морфологии золота с учётом сходных состава, концентраций элементов-примесей, присутствия тонких включений выявлены **четыре генерации**, образующие самостоятельные частицы и гетерофазные разности, для которых

Рис. 3. Морфология самородного золота «рудного» облика из пород разного состава: из минерализованных зон дробления на участках Юрбетский (К-24, 26, 45, 46), Южно-Юрбетский (К-30), из окварцованных и сульфидизированных песчаников на участках Южно-Юрбетский (К-31), Якокутский (К-43), с незначительными признаками преобразования в зоне гипергенеза:

А – золото первой разновидности – в сростках с кварцем, с губчато-мелкоячеистым или бугорчатым (переходящим в ямчатый) рельефом поверхности трещинно-интерстициальные, комковидно-гемиидиоморфные разности, дендриты, уплощённые и объёмные искажённые, щепковидные, проволочковидные кристаллические сростки; Б – золото второй разновидности на фоне золотинок первой разновидности (А) – с первично оглаженными контурами объёмные, огранённые с оглаженными выступами до почти шарообразных сростки кристаллов, с матовой мелкобугорчатой или ровной поверхностью, чёткими ступенями роста

А



Б

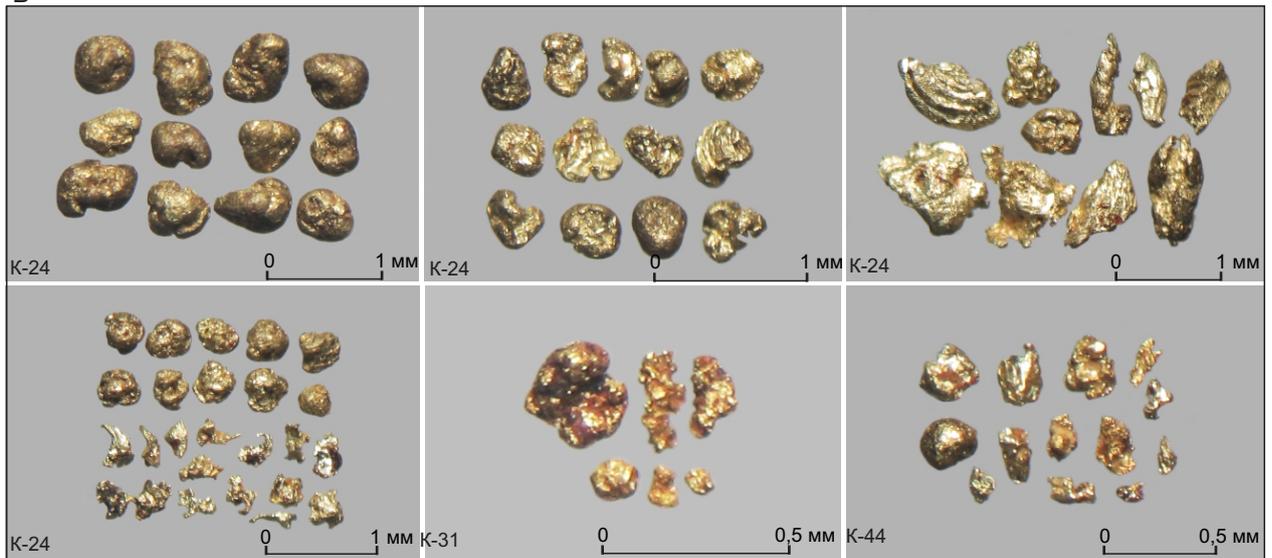




Рис. 4. Монозёрна Au-1 с пятнисто-неоднородной и «меланжевой» структурами. Центральный Алдан, Верхне-Якутское потенциальное рудное поле, участки Якутский (К-12), Юрбетский (К-24), монтаж. полир. шлиф, 3 травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

предлагается следующая последовательность отложения.

Наиболее ранним золотом, формировавшимся в нижних частях рудного интервала, представляется **золото первой генерации (Au-1)**. Для него характерны относительно низкая (676–780 %) пробность, неоднородное моно- или неяснозернистое пятнисто-зональное или неяснозональное строение, разная мощность диффузионных зон, обеднённых золотом (рис. 4). Посткристаллиза-

ционные преобразования, обусловленные незначительным изменением физико-химического состояния среды, привели к повышению пробности на периферии частиц в результате выноса серебра и других элементов-примесей, утрате зональности и появлению «меланжевой» (тонкозернистой) структуры в золоте (см. рисунки 4, 5).

**Золото второй генерации (Au-2)**, отличающееся, судя по картине травления, ещё более низкой пробностью и тонкозональным строением, вы-

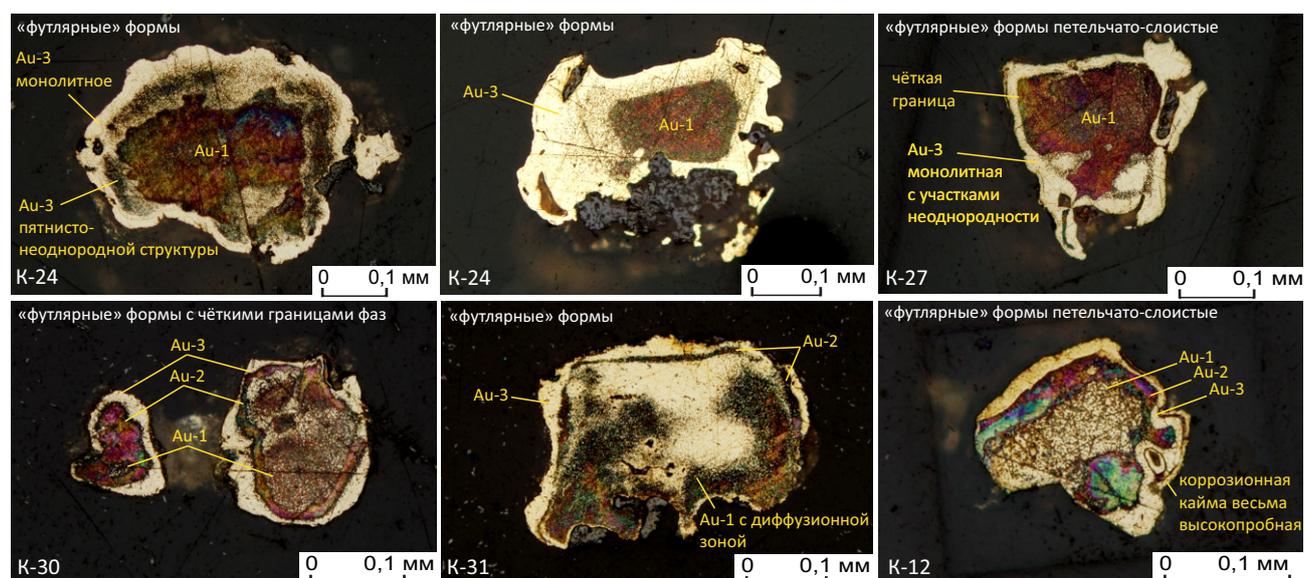


Рис. 5. «Футлярные» формы гетерофазного золота. Центральный Алдан, Верхне-Якутское потенциальное рудное поле, участки Юрбетский (К-24, К-27), Южно-Юрбетский (К-30, К-31), Якутский (К-12), монтаж. полир. шлиф, 3 травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

явлено у 25 % изученных золотин, где оно отлагается по периферии Au-1 в виде сплошных или фрагментарных кайм. Границы между генерациями Au-1 и Au-2 отчётливые, редко слабо размытые (см. рис. 5).

Более существенное изменение физико-химического состояния среды, связанное с поступлением новых порций растворов иного состава, чем при образовании Au-1 и Au-2, привело к осаждению **золота третьей генерации (Au-3)** пробности 800–876 ‰ в виде самостоятельных выделений и отложению его на ранее сформированных золотилах с образованием сложных гетерофазных структур «футлярного» облика. Изменение состояния среды выразилось в появлении в строении тонкой фазовой неоднородности (рис. 5). В монозёрнах Au-3 тонкая фазовая неоднородность преобразуется в отчётливо более интенсивные структуры распада твёрдых растворов решётчатого, пластинчатого, каплевидного рисунков (рис. 6). Наиболее ярко такие структуры отмечаются в золотилах уч. Якокутский. В монозёрнах Au-3 «футлярных» форм распад твёрдых растворов проявляется в образовании относительно низкопробной петельчато-пятнисто-неоднородной внутренней и более высокопробной монолитной внешней зон (см. рис. 5). Помимо этого, посткристаллизационные преобразования приводят к возникновению в Au-3 трещин и глубоких зон дезинтеграции.

Поздняя, существенно отделённая по времени, **высокосеребристая генерация золота (Au-4)** – **электрум** (410–630 ‰), с повышенным содержанием изоморфной примеси Ag, зонального, пятнисто-зонального и тонконеоднородного строе-

ния – наблюдается на периферии ранее выделившихся Au-1 и Au-3 и «залечивает» в них трещины дезинтеграции, а также образует самостоятельные выделения (рис. 7).

Признаки посткристаллизационных преобразований частиц – фазовая неоднородность структуры, нарушения зональности вплоть до полной её утраты («меланжевое» строение), диффузионные зоны с пониженным содержанием серебра, линии трансляций, дезинтеграция и частичная грануляция с образованием глубоких межзёренных границ – являются отличительной особенностью золота Верхне-Якутской грабен-впадины. Наиболее ярко они проявлены во внутреннем строении гетерофазных золотин. Более интенсивно эти признаки выражены в структуре золота уч. Юрбетский (см. рисунки 4–8).

В золотилах с диапазоном пробности 744–854 ‰ часто присутствуют микровключения теллуридов серебра (гёссита ( $Ag_2Te$ ), петцита ( $Ag_3AuTe_2$ )) и галенита, что служит признаком длительности стадии гидротермально-метасоматического минералообразования по сравнению с остальными, а также может отражать её более высокую продуктивность (рис. 9).

На уч. Якокутский наличие в структуре краевых зон Au-3 признаков частичной перекристаллизации и дезинтеграции, выраженных в появлении мелкой зернистости, удлинении новообразованных зёрен и их упорядоченной ориентировке (см. рис. 6), свидетельствует о значимых воздействиях эпигенетических (температурных и, возможно, гидротермальных) процессов.

Самостоятельные обособления золота каждой из четырёх отдельных генераций, хорошо различающихся по пробности (822–856 ‰, 714–784 ‰,



Рис. 6. Монозёрна Au-3 со структурами распада твёрдых растворов (линейными, решётчатыми) и удлинёнными зёрнами, сформированными в результате частичной дезинтеграции. Центральный Алдан, Верхне-Якутское потенциальное рудное поле, участки Якокутский (K-12), Юрбетский (K-24), монтаж. полир. шлиф, 3 травление  $CrO_3 + HCl$

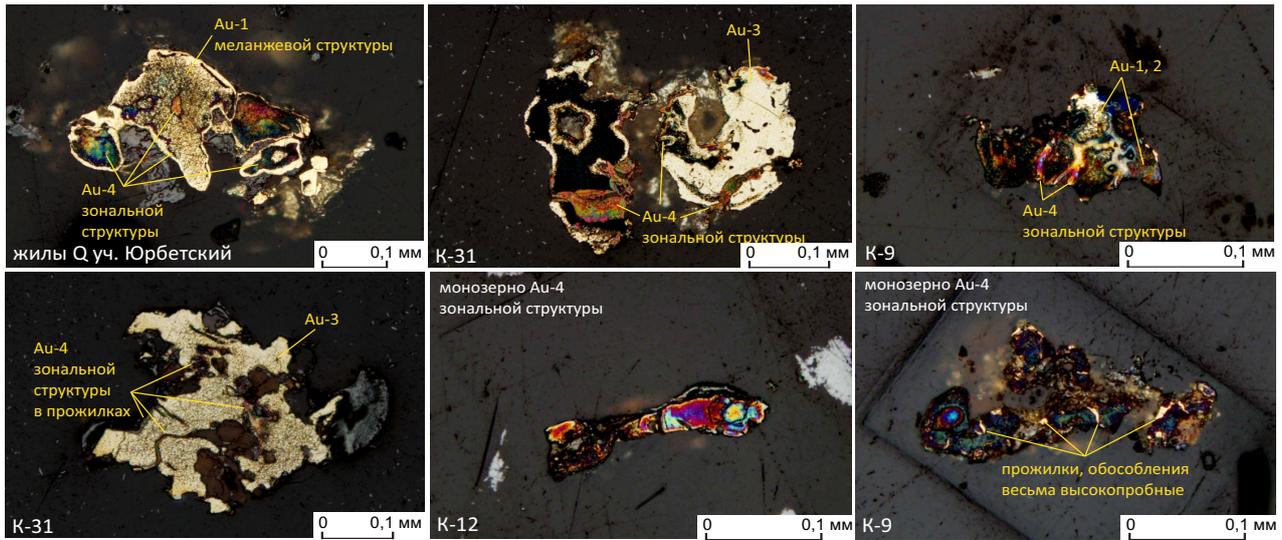


Рис. 7. Зональная структура высокосеребристого Au-4, образующего монозёрна и выполняющего глубокие трещины дезинтеграции в более раннем золоте. Центральный Алдан, Верхне-Якутское потенциальное рудное поле, участки Юрбетский (кварцевые жилы), Южно-Юрбетский (K-31), Якутский (K-9, K-12), монтаж. полир. шлиф, 3 травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

487–670 ‰), встречаются не на каждом участке: монозёрна Au-1 характерны для уч. Юрбетский, Au-2 – для участков Юрбетский и Южно-Юрбетский, большое количество Au-3 и Au-4 на фоне Au-1 и Au-2 – для уч. Якутский. Наряду со сложными гетерофазными золотинами, монозёрна свидетельствуют об условиях быстрой кристаллизации при резкой смене физико-химических параметров под влиянием геолого-структурных факторов на данном участке. При этом монозёрна высокосеребристого Au-4 показыва-

ют интенсивность заключительной стадии рудообразования уч. Якутский с затуханием золоторудных близповерхностных процессов в пределах северо-западного фланга Верхне-Якутской грабен-впадины.

*Гипергенные преобразования* золота проявлены в виде редких межзерновых весьма высокопробных (961–993 ‰) прожилков и мелких обособлений в структуре золота, а также фрагментарных зародышевых коррозионных кайм, сформировавшихся в условиях начальной стадии образования

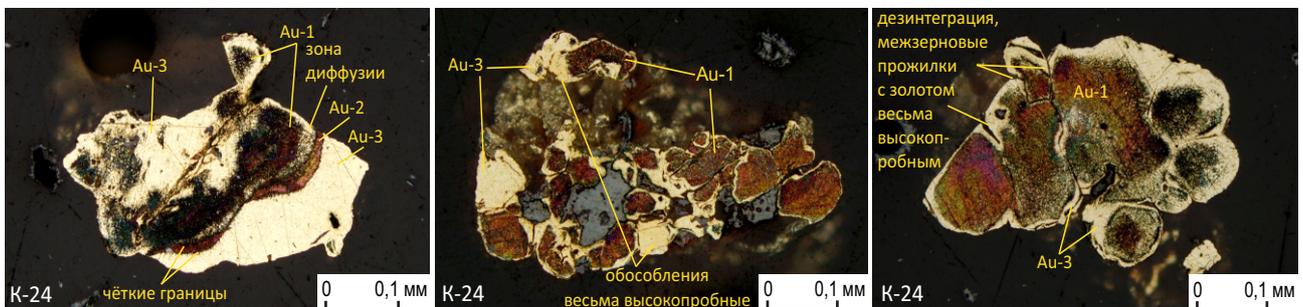


Рис. 8. Признаки посткристаллизационных преобразований в структуре гетерофазного золота – диффузионные зоны с пониженным содержанием Ag, дезинтеграция и частичная грануляция. Центральный Алдан, Верхне-Якутское потенциальное рудное поле, участок Юрбетский (K-24), монтаж. полир. шлиф, 3 травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

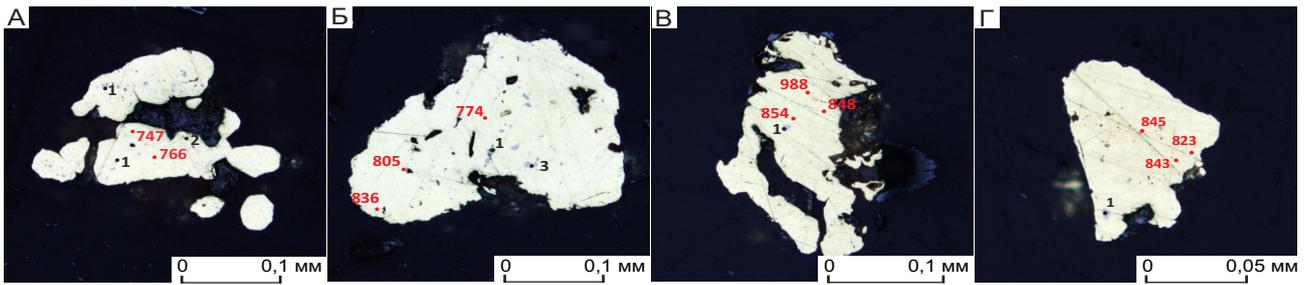


Рис. 9. Микровключения гёссита (1), петцита (2) и галенита (3) в самородном золоте разной пробы (%) из минерализованных зон дробления уч. Южно-Юрбетский (А, Б) и окварцованных и сульфидизированных песчаников уч. Якутский (В, Г). Центральный Алдан, Верхне-Якутское потенциальное рудное поле. Электронное изображение монитр. полир. шлиф

коры выветривания (см. рисунки 8, 10). Более отчётливо такие изменения видны в структуре золота уч. Южно-Юрбетский.

Выявленные особенности видимого самородного золота участков (Юрбетский, Южно-Юрбетский, Якутский) Верхне-Якутского по-

тenciального рудного поля приведены в таблице.

**Обсуждение результатов и основные выводы.**

На основании полученных новых данных по типоморфизму самородного золота трёх рассмотренных участков из минерализованных зон дробле-

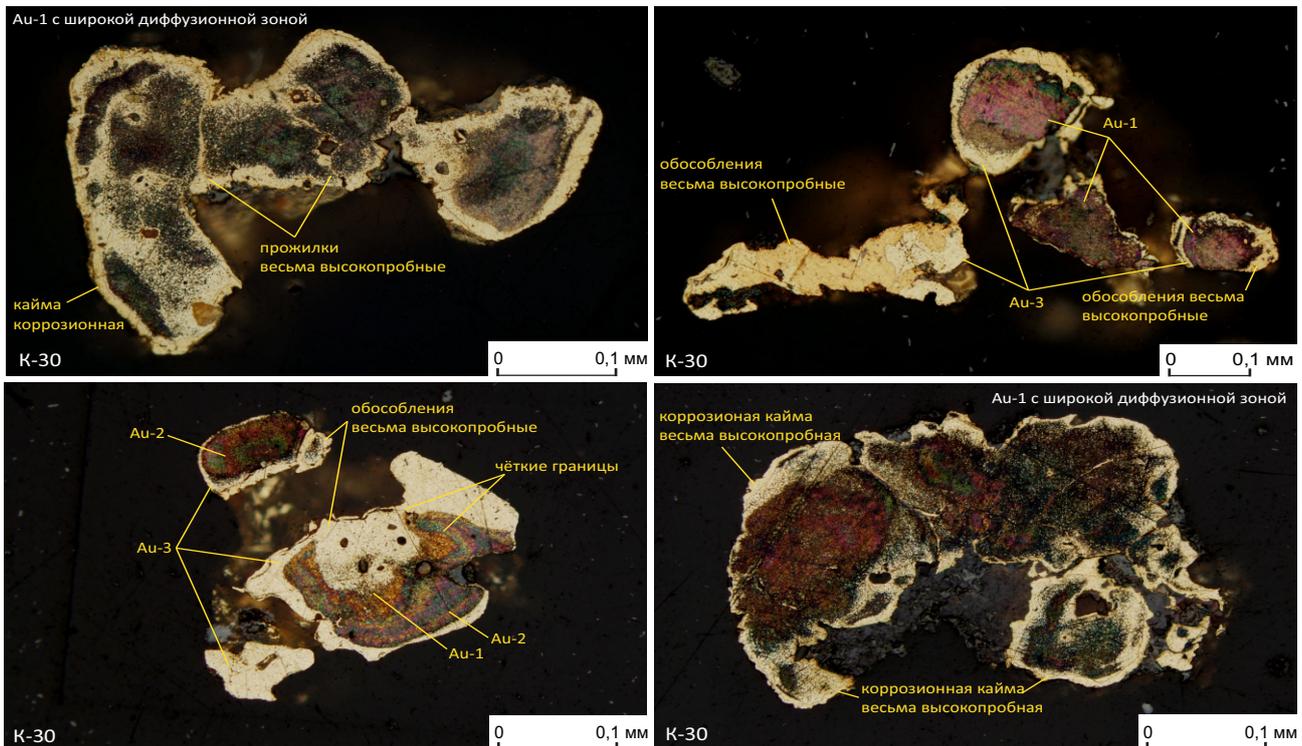


Рис. 10. Гипергенные преобразования в золоте – межзерновые прожилки, обособления и фрагментарная зародышевая коррозионная кайма весьма высокой пробы:

Центральный Алдан, Верхне-Якутское потенциальное рудное поле, участок Южно-Юрбетский (К-30), монитр. полир. шлиф, 3 травление  $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$

Таблица. Признаки самородного золота и их изменчивость по трём участкам Верхне-Якутского потенциального рудного поля

Признаки Au		Участок		
		Юрбетский	Южно-Юрбетский	Якутский
Количество знаков Au		> 2500	209	~ 500
Размер по длинной оси, мм	Максимально	-1,2+0,8	+0,6	0,9
	В среднем	0,3	-0,25	0,4-0,35
Морфогенетические типы и виды	Правильные	Кристаллы		5
		Сростки кристаллов, дендритоиды	20	17
	Сохранившиеся первичные формы	Трещинно-прожилковые	13	5
		Интерстициальные	55	50
	Смешанные (гемидиоморфные)	12	23	
Окатанность	Неокатанное и плохо окатанное	100		
Цвет	Жёлтый	60-90	63-80	66-70
	Тёмно-жёлтый	25-10 до 0	25-15	34-20
	Светло-жёлтый	25-10 до 0	12-5	0-10
Характер поверхности		Бугорчатый, переходящий в ямчатый		Бугорчатый или мелко-ямчатый
Микрорельеф		Ровный мелкопористый, гладкий, со ступенями роста или ступенчато-слоистый	У оgranённых кристаллов – гладкий, участками ступенчатый или целевидно-ячеистый, у интерстициальных – дендритный	У интерстициальных – гладкий, иногда ступенчатый и комбинация пористого и оглаженного, с приямками выступами
Коррозия / выщелачивание		Слабая и отсутствует		
Пробность в отдельных золотилах, ‰		585,0-975,5	412,0-993,4	487,7-993,5
Элементы-примеси, по РСМА		Te, спорадически – Cu, Zn, Sb, Bi, Pb, Hg, при этом в золоте из брекчий примесей больше, чем из песчаников	Te, спорадически – Cu, Zn, Pd, Sb, Bi, встречается As	Te, спорадически – Cu, Zn, Pd, Sb, Pb, Hg
Микровключения		Гёссит (Ag <sub>2</sub> Te), петцит (Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub> )	Гёссит (Ag <sub>2</sub> Te), петцит (Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub> ), галенит	Гёссит (Ag <sub>2</sub> Te)

Окончание таблицы

Признаки Au	Участок	
	Юрбетский	Южно-Юрбетский
		Якутский
	<p>Золотины гетерофазного внутреннего строения, часто образуют «фулярные» формы, когда происходит последовательное обрастание одной генерации другими с петельчато-пятнисто-неоднородным рисунком. Au-1 (ранняя генерация) – неоднородная моно- или неяснозернистая пятнисто-зональная или неяснозональная с разной мощностью диффузионными зонами, обеднёнными Ag, и приобретённая позже – «меланжевая»;</p> <p>Au-2 – нарушенного тонкозонального строения по периферии Au-1 или в виде фрагментов, тяготеющих к краям; Au-3 – с тонкой фазовой неоднородностью, с трещинами дезинтеграции, часто гранулированное; Au-4 – электрум (поздняя высокосеребристая генерация) – зональная, пятнисто-зональная и тонко-неоднородная по периферии Au-1 и Au-3 и «залечивает» трещины дезинтеграции</p>	
<b>Структура золотины</b>	Монозёрна	<p>Au-1, Au-2; преобладает Au-3 с отчётливыми структурами распада твёрдых растворов (решётчатыми, пластинчатыми, каплевидными)</p> <p>716–774</p> <p>714–784</p>
	Вариации пробыности, %	<p>Не определено, но ниже чем в Au-1</p> <p>800–873</p> <p>822–856</p> <p>412–560</p> <p>487–670</p>
		+
<b>Сростки с кварцем</b>		30–35
<b>Примазки, корки, плёнки гидроксидов Fe и Mn и скопления кварц-глинистых агрегатов (%)</b>		25–60
<b>Гипергенные преобразования</b>		<p>960–993 %, зародышевая коррозионная тонкая кайма и редко межзерновые прожилки с микронными овальными обособлениями</p> <p>960–993 %, зародышевая коррозионная тонкая кайма и редко межзерновые прожилки с микронными овальными обособлениями</p>

ния, включающих разноориентированные дайки субщелочного состава, тектонические брекчии с кварцевым цементом, можно сказать, что для него характерно близкое строение и, следовательно, образование золота было связано с одними рудными процессами в пределах Верхне-Якутского РП.

Похожие четыре генерации золота двух морфологических разновидностей несут признаки эндогенной кристаллизации ранних фаз и ассимиляции более поздними, что выражено в последовательном обрастании одной последующими с образованием чётких без размытых переходов границ и слабых изменений в гипергенных условиях с выносом серебра и образованием зародышевых коррозионных кайм, обособлений и наростов.

Выявленные признаки:

- подтверждают неоднократное внедрение субщелочных интрузивных пород и парагенетически связанных с ними рудоносных флюидов, а также длительную интенсивную гидротермально-метасоматическую проработку и дробление пород, многократное подновление разрывных дислокаций данной системы, способствующих формированию в них золотоносных гидротермально-метасоматических образований с моно- и гетерофазным золотом средне-высокопробным и более низкопробным (630–720 ‰ до электрума). Наличие монозё-

рен высокосеребристого самородного Au-4, характерного для низкотемпературных близповерхностных комплексов, показывает наибольшую выраженность заключительной стадии рудообразования на малых глубинах на участке Якутский;

- свидетельствуют о многократном пульсационном характере отложения золота и его эпикристаллизационных преобразованиях в рамках двухэтапного процесса рудогенеза в условиях малых и средних глубин, отражая длительную историю эволюции рудообразующих процессов, протекающих на фоне тектонических подвижек и внедрения разновозрастных даек;

- указывают на начальную стадию преобразования золота в коре выветривания под влиянием процессов окисления и незначительные перемещения (просадка) золота по вертикали при формировании её отложений;

- показывают, что наиболее богатые на золото кварцевая и сульфидно-кварцевая минерализации на рассматриваемых участках определяются такими структурными элементами как минерализованные зоны дробления, содержащие прожилково-вкрапленное оруденение, кварцевые жилы, контакты разновозрастных даек субщелочных пород и брекчии, что подтверждает перспективность площади в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н. [и др.] Изучение самородного золота при геолого-разведочных работах. Методические рекомендации. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – 74 с.
2. Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н. [и др.] Самородное золото рудных и россыпных месторождений России : атлас. – М. : Акварель, 2015. – 200 с.
3. Осовецкий Б. М. Наноскульптура поверхности золота. – Пермь : Пермский гос. нац. исследовательский университет, 2012. – 231 с.
4. Столяренко В. В., Кряжев С. Г., Двуреченская С. С. [и др.] Отчёт «Прогнозно-поисковые модели золоторудных объектов Томмот-Якутской площади». – М., 2020.
5. Столяренко В. В., Минаков А. В., Рябошапка А. Г. [и др.] Прогнозно-поисковая модель золотого оруденения в пределах мезозойских впадин в Центральном-Алданском рудно-россыпном районе (на примере Верхне-Якутского рудного поля) // Руды и металлы. – 2022. – № 1. – С. 44–76.
6. Столяренко В. В., Минаков А. В., Чернов Е. Е. [и др.] Использование шлихоминералогического метода на ранних стадиях ГРП для оперативной оценки наличия крупного золота (на примере Центрального-Алданского района) // Руды и металлы. – 2019. – № 3. – С. 28–43.

## REFERENCES

1. *Nikolayeva L. A., Gavrilov A. M., Nekrasova A. N.* [et al.] *Izucheniye samorodnogo zolota pri geologo-razvedochnykh rabotakh. Metodicheskiye rekomendatsii* [Study of native gold in geological exploration. Methodical recommendations], Moscow, TSNIGRI publ., 2023, 74 p. (In Russ.)
2. *Nikolayeva L. A., Gavrilov A. M., Nekrasova A. N.* [et al.] *Samorodnoye zoloto rudnykh i rossypnykh mestorozhdeniy Rossii : atlas* [Native gold of ore and placer deposits of Russia: atlas], Moscow, Akvarel publ., 2015, 200 p. (In Russ.)
3. *Osovetskiy B. M.* *Nanoskulptura poverkhnosti zolota* [Nanosculpture of gold surface], Perm, Permskiy gos. nats. issledovatel'skiy un-t publ., 2012, 231 p. (In Russ.)
4. *Stolyarenko V. V., Kryazhev S. G., Dvurechenska S. S.* [et al.] *Otchot "Prognozno-poiskovyie modeli zolotorudnykh obyektov Tommot-Yakokutskoy ploschadi"* [Report "Prospecting and exploration models of gold ore objects of the Tommot-Yakokutskaya area"], Moscow, 2020. (In Russ.)
5. *Stolyarenko V. V., Minakov A. V., Ryaboshapko A. G.* [et al.] *Prognozno-poiskovaya model zolotogo orudneniya v predelakh mezozoyskikh vpadin v Tsentralno-Aldanskom rudno-rossypnom rayone (na primere Verkhne-Yakokutskogo rudnogo polya)* [Prognostic and prospecting model of gold mineralization within the Mesozoic depressions in the Central Aldan ore-placer region (using the Verkhne-Yakokutsky ore field as an example)], *Rudy i metally*, 2022, No. 1, pp. 44–76. (In Russ.)
6. *Stolyarenko V. V., Minakov A. V., Chernov E. E.* [et al.] *Ispolzovaniye shlichomineralogicheskogo metoda na rannikh stadiyakh GRR dlya operativnoy otsenki nalichiya krupnogo zolota (na primere Tsentralnogo-Aldanskogo rayona)* [Use of the shlichomineralogical method at the early stages of exploration for the rapid assessment of the presence of large gold (using the Central-Aldan region as an example)], *Rudy i metally*, 2019, No. 3, pp. 28–43. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 24.03.25; одобрена после рецензирования 21.04.25; принята к публикации 21.04.25.  
The article was submitted 24.03.25; approved after reviewing 21.04.25; accepted for publication 21.04.25.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию  
по тел. +7 (495)315-43-65 доб. 227  
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

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

## **Правила оформления статей, представляемых в журнал «Отечественная геология»**

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

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

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

4. Объём статьи не должен превышать 25 страниц, включая таблицы и список литературы. Следует выставлять поля: сверху (2 см), снизу (2 см), справа (1 см) и слева (3 см). Все страницы рукописи нумеруются. Текст предоставляется в формате MS Word (\*.doc) с использованием шрифта Times New Roman (размер 12, полуторный межстрочный интервал). В отдельные файлы помещаются статья, таблицы, рисунки.

5. Для набора математических формул и символов рекомендуется использовать MS Equation 3.0. Физические величины и единицы измерения должны соответствовать принятым в Международной системе единиц СИ. Все сокращения и аббревиатуры, за исключением общеупотребительных, расшифровываются при первом упоминании. Десятичный символ – запятая (0,47); между цифрами – тире без пробелов (5–10); кавычки – «елочки».

6. Рисунки и другие графические материалы (не более 15) представляются в цветном или черно-белом варианте. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170 × 237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF, PDF, диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисовочные подписи печатаются на отдельной странице (текстовый файл, после списка литературы). Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

7. Таблицы должны иметь названия, набираться без сокращения слов (размер шрифта 10, межстрочный интервал 1,0). Максимальный размер таблицы 23 × 16 см.

8. Список литературы даётся сквозной нумерацией в алфавитном порядке. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник из списка литературы приводятся соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. В список не включаются неопубликованные работы.

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

10. Статьи, превышающие установленный объём или не отвечающие данным правилам, возвращаются автору.

11. Плата за публикацию с авторов (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается. Автор, подписывая статью и направляя её в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет». Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или же намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.