ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 5 / 2024

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

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Иванов А. И.
Прогнозно-поисковые модели полихронных и полигенных золоторудных месторождений – особенности создания и представления 3

Нуржанов Г. Ж., Ниценко П. А., Гусев А. В.
Халькозиновая минерализация как основа длительной эксплуатации месторождения Жезказган и её генетические особенности 38

МИНЕРАГЕНИЯ

Звездов В. С.
Влияние геотектонических обстановок формирования вулкано-плутонических поясов на металлогению медно-порфировых рудных районов и узлов 54

ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

Глухов А. Н., Колова Е. Е., Соловов Р. В., Танченко М. А., Ползуненков Г. О.
Верхне-Мяунджинский рудный узел – порфирово-эпитермальная система в Центральном сегменте Яно-Колымского орогенного пояса 71

Михайлов М. С.
Новый подход к оценке геохимических гипергенных аномалий золота на примере массива Солдат (Мурунский массив Алданского щита) 87

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Сочнева Э. Г., Сидорова Е. В.
Минералог В. А. Новиков – специалист из числа незаменимых. К 120-летию организатора и первого руководителя минералогических исследований НИГРИЗолото–ЦНИГРИ 97

Памяти Евгения Ивановича Филатова 106

XIV Международная научно-практическая конференция, посвящённая 90-летию ЦНИГРИ 108

Рудная школа ЦНИГРИ 109

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 25.11.2024
Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1
Телефон: (495) 315-43-65, доб. 272. E-mail: ogeo@tsnigri.ru
Сайт: https://www.tsnigri.ru/ru/informatsionnye-resursy/izdaniya/zhurnal-otechestvennaya-geologiya.html
Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

DOI:10.47765/0869-7175-2024-10021

УДК 553.411
© А. И. Иванов, 2024

Прогнозно-поисковые модели полихронных и полигенных золоторудных месторождений – особенности создания и представления

Аннотация. Прогнозно-поисковые модели месторождений традиционно составляются в табличной форме, сопровождаемой графическим изображением. В таблице в качестве элементов-признаков рассматриваются факторы (критерии) рудоконтроля (структурные, литологические, метаморфические и др.) и поисковые признаки (геохимические, шлиховые, геофизические и др.). При этом таблицы обычно «суммируют» все факторы рудоконтроля вне зависимости от длительности золотонакопления и этапности рудообразования. Это зачастую приводит к «смешиванию» разновозрастных элементов (в том числе взаимно исключающих), что затрудняет понимание закономерностей формирования золотого оруденения и усложняет обоснование эффективного прогнозно-поискового комплекса. Поэтому составление прогнозно-поисковых моделей полихронных и полигенных золоторудных месторождений должно учитывать особенности каждого этапа рудообразования и выделять факторы рудоконтроля для каждого из них.

Ключевые слова: прогнозно-поисковые модели, прогнозно-поисковые комплексы, факторы рудоконтроля, полигенные и полихронные месторождения рудного золота.

ИВАНОВ АНАТОЛИЙ ИННОКЕНТЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, и. о. генерального директора, tsnigri@tsnigri.ru

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

The forecasting and prospecting models of polychronous and polygenic gold deposits: Peculiarities of their development and representation

A. I. IVANOV
Federal State Budgetary Institution “Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals” (FSBI “TSNIGRI”), Moscow

Annotation. Forecasting and prospecting models of mineral deposits are traditionally compiled in tabular form accompanied with a graphic representation. The table considers the factors (criteria) of ore control (structural, lithological, metamorphic, etc.) and prospecting guides (geochemical, panned heavy-mineral concentrate mineralogical, geophysical, etc.) as attributive elements. Such tables usually “summarize” all the ore control factors, regardless of the duration of gold accumulation and the stage-by-stage nature of ore formation. This often leads to “mixing” of elements of different ages (including mutually exclusive ones), which hampers understanding the regularities of gold mineralization and complicates justification of an effective forecasting and prospecting complex. Therefore, the compilation of forecasting and prospecting models of polychronous and polygenic gold ore deposits should take into account characteristic features of each stage of the ore formation and should identify ore control factors for each of them.

Key words: forecasting and prospecting models, forecasting and prospecting complexes, ore control factors, polygenic and polychronous lode gold deposits.

В 1983 г. в журнале «Советская геология» была опубликована статья А. И. Кривцова и В. А. Нарсеева «Геологоразведочный процесс и прогнозно-поисковые комплексы», посвящённая эффективности проведения геологоразведочных работ на разных стадиях [14], для каждой из которых определяются свой объект прогноза и прогнозно-поисковый комплекс, созданный на основе сформированных моделей объектов прогноза (прогнозно-поисковых моделей в современной терминологии). Для мелко- и среднемасштабных региональных исследований, по их мнению, объектом прогноза является рудный район; для общих поисков на базе крупномасштабных

геологосъёмочных работ – рудное поле; для детальных поисков – перспективный участок; для поисково-оценочных работ – потенциальное месторождение; для разведочных – промышленно значимое месторождение с выделением его частей, пригодных для эксплуатации. А, собственно, прогнозные исследования занимают межстадийное положение, замыкают и открывают каждую стадию (подстадию) геологоразведочных работ в целях обоснования перехода к более детальным работам. А для формирования моделей объектов прогноза и поисков необходимо определение эффективных сочетаний трёх групп факторов, выявляемых поисковой практикой (в современной терминологии это «поисковые признаки»), закономерностями размещения месторождений и генетическими построениями (в современной терминологии это «факторы (критерии) рудоконтроля») [14, с. 27]. При этом «эффективность и достоверность прогноза обеспечивают факторы, определяемые закономерностями размещения месторождений и обстановками нахождения известных объектов. Факторы, определяемые поисковой практикой, способствуют конкретизации прогноза, а вытекающие из генетических построений – дополняют факторы двух первых групп…» [14, с. 26]. В результате дальнейших исследований ЦНИГРИ по методике построения карт прогноза золотого оруденения на основе моделей рудных полей и месторождений как объектов прогноза и поисков и создания прогнозно-поисковых комплексов была подготовлена серия соответствующих методических рекомендаций [1, 2, 5, 12, 13, 17, 19–21] и типовых многофакторных поисковых моделей золоторудных месторождений [19]. Эти разработки были закреплены в Металлогеническом кодексе (2012) [18].

В целом были приняты обобщённые варианты построения прогнозно-поисковых моделей в табличной форме, сопровождаемой графическим изображением, с выделением групп факторов (критериев) контроля оруденения и поисковых признаков. При этом в табличной форме прогнозно-поисковых моделей «суммировались» все факторы рудоконтроля вне зависимости от длительности золотонакопления и этапности рудообразования. Это нередко приводит к «смешиванию» разновозрастных элементов (в том числе взаимно исключающих), что затрудняет понимание закономерностей формирования золотого оруденения и, соответственно, усложняет обоснование эффективного прогнозно-поискового комплекса.

Ярким примером полигенных и полихронных золоторудных месторождений являются объекты в терригенных и карбонатно-терригенных углеродистых формациях («черносланцевые толщи»), сформированных при осадконакоплении в основном в окраинно-континентальных условиях и претерпевших преобразования в разные этапы коллизионной стадии развития регионов. Каждый из этапов, включая этап осадконакопления, вносил свою лепту в золотонакопление, которое характеризовалось своими закономерностями. Примерами таких регионов служат Байкало-Патомская, Енисейская и Верхояно-Колымская складчатые области, которые контролируют одноимённые металлогенические провинции (рис. 1). В их пределах обнаружены многочисленные, в том числе уникальные и крупные по запасам, месторождения – Сухой Лог, Вернинское, Олимпиадинское, Благодатное, Ведуга, Наталкинское, Павлик и др.



Рис. 1. Схема расположения Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской металлогенических провинций с золоторудными месторождениями в терригенных и карбонатно-терригенных углеродистых формациях («черносланцевых толщах»):

1 – металлогенические провинции и их названия; *2* – месторождения рудного золота: *а* – уникальные по запасам (1 – Олимпиадинское, 2 – Сухоложское, 3 – Наталкинское), *б* – прочие

ЦНИГРИ провёл специальные исследования во всех трёх регионах. Было установлено, что последовательность и характер золотоносных процессов в них очень близки, несмотря на различие в возрастах как седиментационных, так и коллизионных процессов. Наиболее полно изучена этапность развития [7–11, 22, 23, 26 и др.] и золотого рудообразования Байкало-Патомской металлогенической провинции (БППр, рис. 2), в которой золотонакопление происходило в течение конседиментационной и коллизионной эпох рифея–палеозоя (табл. 1) [7–9 и др.].

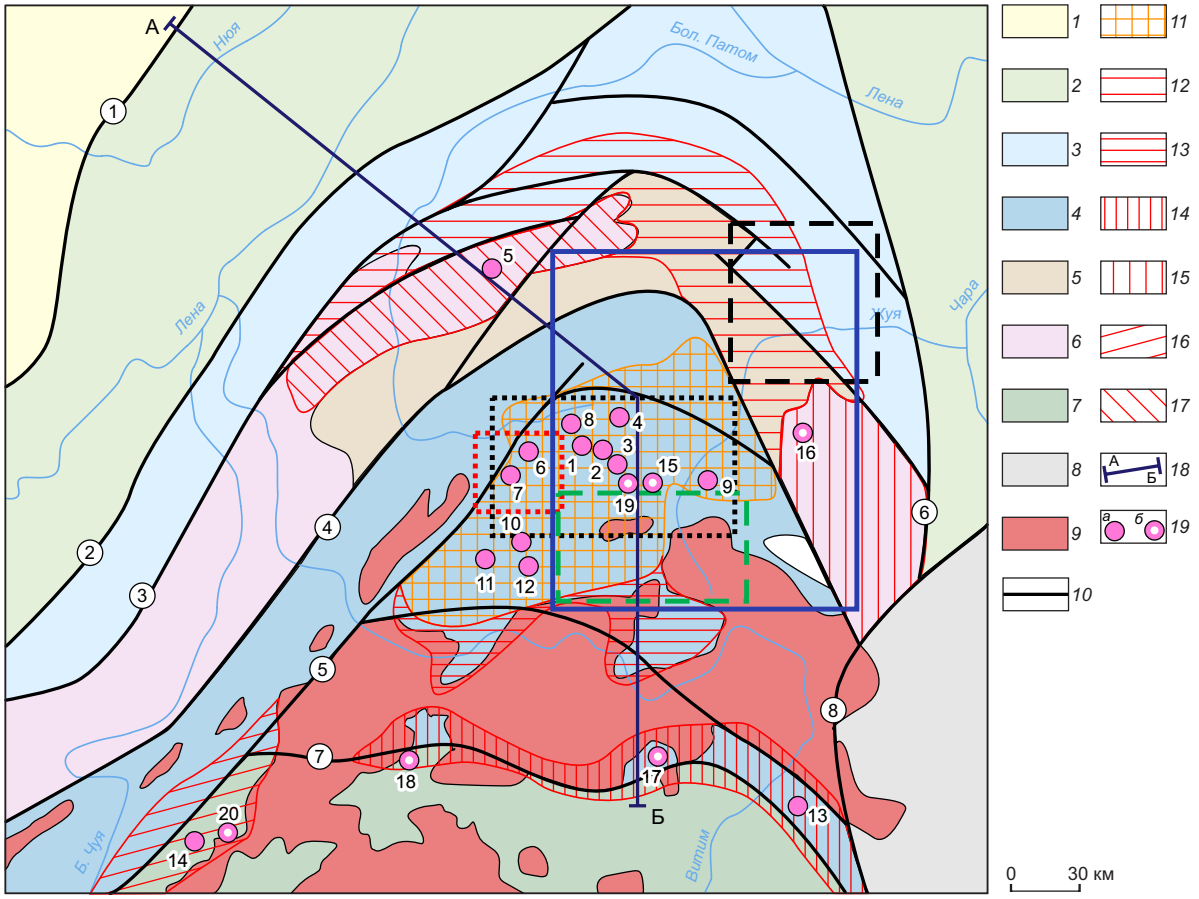


Рис. 2. Схема основных структурных элементов и металлогенического районирования северной части Байкало-Патомской металлогенической провинции:

1, 2 – Сибирская платформа: *1* – со слабодеформированным осадочным чехлом, *2* – зоны линейных складок, сформированных в краевой («шельфовой») части пассивной континентальной окраины; *3, 4* – синклинории: *3* – Байкало-Патомский, *4* – Мамско-Бодайбинский; *5, 6* – Чуйско-Нечерский антиклинорий: *5* – часть антиклинория, где раннепротерозойский фундамент перекрыт рифейскими отложениями, *6* – выступы дорифейского фундамента; *7* – разновозрастные образования Байкало-Муйского пояса; *8* – дорифейские образования Алданского щита; *9* – верхнепалеозойские гранитоиды (Ангаро-Витимский батолит); *10* – глубинные разломы, разделяющие литосферные блоки (1 – Ленско-Нюйский, 2 – Акиткано-Джербинский, 3 – Алекано-Малотуюканский, 4 – Чуйский, 5 – Абчадский, 6 – Жуинский, 7 – Право-Мамаканский, 8 – Ничатский), и главные межблоковые разломы фундамента; *11–17* – золоторудные и потенциально-золоторудные районы: *11* – Бодайбинский, *12* – Патомо-Нечерский, *13* – Синюгинский, *14* – Додыхтинско-Уряхский, *15* – Нечерский, *16* – Мамский, *17* – Тонодский; *18* – линия разреза А–Б (для рис. 20), *19* – месторождения (*а*) и перспективные рудопроявления золота (*б*) и их номера: 1 – Сухой Лог, 2 – Вернинское, 3 – Невское, 4 – Высочайшее, 5 – Чертово Корыто, 6 – Ожерелье, 7 – Ыканское, 8 – Угахан, 9 – Светловское рудное поле, 10 – Красное, 11 – Кавказ, 12 – Копыловское, Догалдынская жила, 13 – Уряхское, 14 – Мукодекское, 15 – Кудускитское, 16 – Ходоканское, 17 – Джалагунское, 18 – Довгакитское и Ветвистое, 19 – Атырканское, 20 – Право-Мамское; контуры рисунков: 5 – красный короткий пунктир, 6 – чёрный пунктир, 9 – сплошная синяя линия, 11 – зелёный пунктир и 13 – чёрный короткий пунктир

Табл. 1. Основные этапы конседиментационной и коллизионной эпох рифейско-палеозойской истории развития территории БППр

Эпохи	Этапы (млн лет)	Процессы					
		Структурообразование	Осадконакопление	Магматизм	Метаморфизм	Гидротермально-метасоматические	Рудогенез
1	2	3	4	5	6	7	8
Конседиментационная	R_1 (1650–1350)	Окраинно-континентальный рифтогенез (грабенообразование)	Груботерригенные фации шельфа, в том числе углеродистые	Основной эффузивный и интрузивный магматизм	Контактовый метаморфизм вблизи интрузий	Достоверно не установлены	Седиментационная минерализация: магнетит и гематит (железистые кварциты)
	R_2 (1350–1030)	Развитие в фундаменте системы сбросов, контролирующих береговую линию бассейна и размещение фаций	Терригенные, в верхней части – карбонатно-терригенные в фациях шельфа и континентального склона, в том числе углеродистые	В породах фундамента перидотиты доросского комплекса (**1055***); на сопредельном БМП** – метабазальты нюрундуканской толщи (**1050**)	Не установлен	Достоверно не установлены	Седиментационная минерализация: углеродистые и высокоуглеродистые песчано-глинистые сульфидосодержащие золотоносные осадки
	R_3 (1030–600)	Унаследованные деформации по разломам фундамента, контролирующим размещение фаций с проявлением тектоно-магматической активизации	Терригенные, карбонатно-терригенные, терригенно-карбонатные осадки в условиях шельфа и континентального склона, в том числе углеродистые	В швах конседиментационных разломов – гранитоиды язовского комплекса (**726**); вблизи БМП – базальты (**700**); в БМП – базиты довыренского (**739**) и граниты муйского (**630–730**) комплексов	Контактовый метаморфизм вблизи интрузий	В зонах разломов, контролирующих гранитные интрузии, – грейзенизация, мусковитизация, турмалинизация, жильно-прожилковое окварцевание	Седиментационная минерализация: углеродистые и высокоуглеродистые песчано-глинистые сульфидосодержащие золотоносные осадки; свинцово-цинковая колчеданная (**750**) и вкрапленная; эндогенная минерализация в породах фундамента: олово, вольфрам, молибден, золото, медь-никель
	V_1 (600–570)	Унаследованные деформации по разломам фундамента, контролирующим размещение фаций	Терригенные осадки в условиях шельфа и континентального склона, в том числе углеродистые	В БМП – базитовый магматизм чаянюрундуканского комплекса (**630–585**)	Не установлен	Не установлены	Седиментационная минерализация: углеродистые и высокоуглеродистые сульфидосодержащие песчано-глинистые золотоносные осадки
	V_2 (570–535)	Унаследованные деформации по разломам фундамента, контролирующим размещение фаций	Терригенные осадки в условиях шельфа и континентального склона задугового бассейна, в т. ч. углеродистые	В БМП – основной и средне-основной вулканизм, гранитоиды лесного (**556**) и малоякорного (**537**) комплексов	Региональный метаморфизм в юго-восточной части БППр вблизи БМП (650–500)	В юго-восточной части БППр вблизи БМП – окварцевание в разломных зонах	Седиментационная минерализация: углеродистые и высокоуглеродистые сульфидосодержащие песчано-глинистые золотоносные осадки; синметаморфическое преобразование Pb-Zn руд (**620–510**) Олокитского рудного района

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Коллизионная	$Є_1$–S_1 (535–424)	Линейное складкообразование, в позднескладчатый этап – формирование ЗСРД	Карбонатное осадконакопление в пределах мигрирующего в сторону платформы бассейна	Базиты додыхтинского и жаровского комплексов. В БМП – кислый вулканизм падринской свиты (**496**)	Синскладчатый метаморфизм зеленосланцевой фации	Синскладчатое разностадийное окварцевание; в ЗСРД – золотоносная бурошпатизация с серицитизацией и хлоритизацией (**439–447**)	Формирование золотоносных рудоконтролирующих ЗСРД, переотложение Pb-Zn минерализации; формирование жил магнезита в доломитах
	S_1–D_2 (424–392)	Гранито-гнейсовое куполообразование	Морское осадконакопление прекратилось	Гранитоиды мамского комплекса (**405–430**); в БМП – тоналит-плагиогранит-гранодиориты	Зональный региональный метаморфизм (**405–430**)	Окварцевание жильно-прожилковое; в регрессивную стадию – мусковитизация в пегматитах	В золотоносных зонах бурошпатизации за изоградой биотита метаморфические преобразования бурых шпатов и пирита с «высвобождением» золота в самородном виде; преобразование гематитовых железистых кварцитов в магнетитовые; формирование Nb-P-TR карбонатитов; преобразование с переотложением Pb-Zn руд
	D_2–C_2 (392–300?)	Формирование гранитоидных массивов (Байкало-Витимский батолит), гранитных реоморфических куполов	Осадконакопление прекратилось	Гранитоиды конкудеро-мамаканского (**320**), сынырского (**320**), опорогского комплексов, дайковые комплексы лампрофиров (кадали-бутуинский – **314**) и гранит-порфиров (агланянский)	Контактовый, для регионально-метаморфизованных пород – регрессивный; реоморфизм с образованием гранито-купольных структур в фундаменте	Мусковитизация, в зонах диафтореза – окварцевание, мусковитизация (серицитизация), хлоритизация, сульфидизация, бурошпатизация (**380–320**)	Формирование руд золота при низкотемпературной активизации рудоконтролирующих ЗСРД в надынтрузивных зонах и на периферии реоморфических куполов; в зонах экзо- и эндоконтактов гранитных интрузий – руды золота (321), вольфрама, олова, молибдена; в телах пегматитов – мусковит (**350–320**)

Примечание. * – возраст в млн лет; ** – Байкало-Муйский пояс (по Л. И. Салопу).

Конседиментационная эпоха. Золоторудные месторождения в Байкало-Патомской металлогенической провинции локализованы в основном в рифейско-вендских карбонатно-терригенных отложениях, залегающих на раннепротерозойско-архейском фундаменте. При их формировании условия осадконакопления изменялись во времени, и в этом процессе отчётливо выделяются раннерифейский начально-рифтогенный этап образования пассивной континентальной окраины; среднерифейско-ранневендский этап собственно пассивной континентальной окраины; поздневендский этап активной континентальной окраины (задугового бассейна) [7, 10].

К настоящему времени получен большой фактический материал по сингенетичной рудной минерализации в рифейско-вендских отложениях [7, 10], как окисной, так и сульфидной. К окисной относятся гематит и магнетит в железистых кварцитах в нижнерифейских отложениях начально-рифтогенного этапа развития пассивной континентальной окраины – медвежевской, тыйской, абчадской свит (рис. 3).

Возраст	Структурно-фациальные зоны											
	Мамско-Бодайбинский синклинорий и Чуйско-Нечерский антиклинорий								Байкало-Патомский синклинорий			
	Мамско-Бодайбинская зона		Олокитская зона		Додыхтинская зона		Чаяндринская зона		Патомо-Жуинская зона		Чарская зона	
	Свита	Местор., проявл.	Свита	Местор., проявл.	Свита	Местор., проявл.	Свита	Местор., проявл.	Свита	Местор., проявл.	Свита	Местор., проявл.
V_2	*il*	★(15,19)	*hl*		?				nh_1		nh_1	
	dg	★(6, 11,12)							*tn*		*tn*	
	an		*sn*				*sm*					
V_1	*vc*		*as*		?		-		*zr*		*zr*	
	au	★(2,3,7,9,10)										
R_3	*im*	★(1)	*it*		?		-		*cn*		*tr*	
									nk			
	hm	★(1,4,9)	*on2*	▭•			*dlg*	▭★(17)	*vl*	★•	*sn*	▭•
R_{2-3}	*uh*		*on1*				*cj ur+ uu+ vd*	★(13)	*br*		*br*	
	bh	★(8)							*dg*		*dg*	
R_2	*bd*		*av*						*mr*		*mr*	
	bg				*md+vr+dd*	★			*bg*	★	*bg*	
	hv				*sp*	★			*hv*		*hv*	
	hr	★			*tl*	★			*hr*		*hr*	
R_1		▬	*ilv+ts+ +ab*	▬			*dn*		*md*	▬★	*md*	
	pp	★(16)							*pp*		*pp*	
PR_1	*mh*	★(5)										

★ 1 ★ 2 ▬ 3 ▭ 4 ▫ 5 • 6

Рис. 3. Стратиграфическая схема и рудовмещающие уровни (для конседиментационной минерализации) Северной части Байкало-Патомской металлогенической провинции:

1 – месторождения золота (1 – Сухой Лог, 2 – Вернинское, 3 – Невское, 4 – Высочайшее, 5 – Чертово Корыто, 6 – Ожерелье, 7 – Ыканское, 8 – Угаханское, 9 – Светловское рудное поле, 10 – Красное, 11 – Кавказ, 12 – Копыловское, Догалдынская Жила, 13 – Уряхское,); *2* – перспективные рудопроявления золота, в т. ч. наиболее перспективные (15 – Кудускитское, 16 – Ходоканское, 17 – Джалагунское, 19 – Атырканское); *3* – перспективные рудопроявления железистых кварцитов; *4* – месторождения и перспективные рудопроявления свинца и цинка; *5* – рудопроявления свинца и цинка; *6* – проявления фосфоритов; структурно-фациальные зоны, названия свит: *Мамско-Бодайбинская*: *mh* – михайловская, *pp* – пурпольская, *md* – медвежевская, *hr* – хорлухтахская, *hv* – хайвергинская, *bg* – бугорихтинская, *bd* – бодайбоканская, *bh* – бужуихтинская, *uh* – угаханская, *hm* – хомолхинская, *im* – имняхская, *au* – аунакитская, *vc* – вачская, *an* – анангрская, *dg* – догалдынская, *il* – илигирская, *Додыхтинская*: *tl* – таличская, *sp* – спасская, *md* – мадакачская, *vr* – веренская, *dd* – додыхтинская, *Чаянгринская*: *dn* – даннинская, *ur* – уряхская, *uur* – усть-уряхская, *vd* – водораздельная, *dlg* – джелагунская, *sm* – шумнинская, *Патомо-Жуинская*: *mr* – мариинская, *dg* – джемкуканская, *br* – баракунская, *vl* – валюхтинская, *nk* – никольская, *cn* – ченчинская, *zr* – жербинская, *tn* – тинновская, *nh* – нохтуйская (остальные – см. *Мамско-Бодайбинскую* зону), *Чарская*: *sn* – сеньская, *tr* – торгинская (остальные – см. *Патомо-Жуинскую* зону), *Олокитская*: *ilv* – иловирская, *ts* – тыйская, *ab* – абчадская, *av* – авкитская, *on* – ондокская, *it* – итыкитская, *as* – асектомурская, *sn* – сыннырская, *hl* – холоднинская

Причём обогащённость этих толщ железо-оксидной минерализацией устанавливается практически непрерывно на протяжении более чем 500 км [7, 10], гематит и магнетит участвуют в стратификационных текстурах, что в целом свидетельствует о специализации этого стратиграфического уровня на железо при осадконакоплении и его сингенетичности [10]. Кроме «железного уровня», в БППр существует «полиметаллический уровень»: месторождения (Холоднинское), потенциальные месторождения (Среднее разведуется) и многочисленные рудопроявления свинца и цинка локализованы в верхнерифейских отложениях – в джелагунской, ондокской, валюхтинской, сеньской свитах, являющихся возрастными аналогами и формировавшихся в разных структурно-фациальных зонах (см. рис. 3). Руды являются первично-осадочными [7, 10], претерпевшими относительно незначительное перераспределение рудного вещества при складкообразовании и региональном метаморфизме.

Месторождения и рудопроявления золота в БППр установлены практически на всех стратиграфических уровнях (см. рис. 3). Вмещающие породы представлены в основном углеродистыми сланцами (метапелиты и метаалевриты) в переслаивании с углеродистыми песчаниками, то есть существует отчётливый литологический контроль. Причиной этого, по мнению многих исследователей, является обогащение тонкозернистых углеродистых пород золотом в осадочном процессе, что наблюдается в различных регионах [2, 3, 4, 6, 7, 15, 20, 25–29 и др.]. Считается, что в процессе осадконакопления по швам конседиментационных разломов происходил подток рудоносных растворов непосредственно в морской бассейн, обусловивший отложение металлоносных осадков как вблизи их, так и в целом на всей территории морского бассейна. По имеющейся информации по другим регионам средние содержания золота в углеродистых породах составляют 7,5–14,7 мг/т [25 и др.], хотя, по мнению Я. Э. Юдович [26], к золотоносным можно относить только чёрные сланцы с содержанием золота более 35 мг/т.

Применительно к БППр специальные исследования золотоносности углеродистых пород практически не проводились. Только В. А. Буряком и Н. М. Хмелевской по результатам химико-спектрального и нейтронно-активационного анализов, выполненных несколькими авторами, приводятся средние содержания золота в различных породах и пирите [4, с. 49–51]: в углеродистых «безпиритовых» сланцах и алевролитах – 2–4 мг/т; в этих же породах, содержащих рассеянную вкрапленность пирита,– 3–8 мг/т; в монофракциях пирита из этих пород – 40–60 мг/т; кристаллах и линзах осадочно-диагенетического и раннеметаморфического пирита из углеродистых пород – 30–90 мг/т; линзах, конкрециевидных скоплениях гидротермально-осадочного пирита из углеродистых пород – 80–5000 мг/т (фактические аналитические данные авторами не приведены, качество и точность анализов не обсуждаются). На основании этих данных авторы делают вывод, что «углеродистые разности пород в современном виде не характеризуются повышенными содержаниями золота». Это, по их мнению, объясняется выносом золота из первоначально обогащённых пород за пределы углеродистых пачек осадков в процессе диагенеза и метаморфизма в осадочно-диагенетические и метаморфические пириты.

По мнению С. Д. Шера [24], при седиментации в резко восстановительных условиях происходило осаждение золота, а его повышенные содержания связаны с участками выделения глобулярного пирита. Подобной точки зрения придерживались А. Е. Гапон, М. М. Гапеева, В. В. Коткин, В. К. Немеров и другие исследователи, изучавшие этот вопрос в пределах различных рудных участков, а в пределах месторождения Сухой Лог – Б. Л. Вуд и Н. П. Попов [6], Р. Р. Ларг с соавторами [29]. По мнению Б. Л. Вуда и Н. П. Попова, первоначальное накопление сульфидного материала в углеродистых глинистых осадках происходило в виде грейгита и маккиновита, которые при диагенезе под воздействием бактерий превращались в микрокристаллический пирит в процессе образования концентрически-зональных конкреций. На месторождении Сухой Лог к сингенетичному ими отнесён тонкозернистый пирит-1, встречающийся в виде реликтов в пирите-2 и формирующий иногда округлые конкрециеподобные образования.

С. Г. Кряжевым [15 и др.] обосновано, что при формировании углеродистых толщ привнос золота осуществлялся эндогенными флюидами при обязательном участии серы, что подтверждает представления о ведущей роли этого элемента в гидротермальном транспорте благородного металла. Поступление серы и золота из эндогенных источников в период осадконакопления приводило

к формированию золото-сульфидных руд. Они представлены залежами слоистых, линзовидно-пластовых и послойно-вкрапленных золотоносных пиритовых руд, которые накапливались в конседиментационных впадинах вблизи рудоподводящих разломов.

В последние годы в БППр появился новый фактический материал о формировании первично-сульфидного материала (не в виде концентрически-зональных конкреций диагенетической природы) в высокоуглеродистых породах и догалдынской свите соответственно в пределах Верхне-Угаханского (ныне Угаханское месторождение), Верхне-Безымянского и Кудускитского рудопроявлений. На Верхне-Угаханском рудопроявлении сульфидная минерализация представлена пирротином, отмечаемым в песчаных прослоях в виде обильной вкрапленности или образующим почти мономинеральные слойки мощностью до 1–3 см. Сингенетичный характер сульфидной минерализации доказывается наличием в стратификационных структурах косой, волнистой и параллельной слоистости [7 и др.]. В ряде случаев установлена деформация пирротиновых слойков в подводно-оползневых структурах (рис. 4). Сингенетичная пирротиновая минерализация развита в пределах всего изученного скважинами разреза бужуихтинской свиты. Однако ни пробирным, ни спектральным анализами повышенная золотоносность этих сульфидных сингенетичных образований не выявлена, что, вероятно, связано с их недостаточной чувствительностью на золото. А собственно золоторудная минерализация и рудные зоны формируются в зоне рассланцевания с проявлением наложенных гидротермально-метасоматических процессов (бурошпатизации, мусковитизации, пиритизации, окварцевания), деформирующей сингенетично-сульфидизированные углеродистые породы.



Рис. 4. Оползневые складки в существенно сульфидных слойках (жёлтые «блестящие»), сложенных пирротином. Месторождение Угаханское, бужуихтинская свита, скв. 8, инт. 109,8 м

Сингенетичная пиритовая минерализация установлена также в породах анагрской свиты на Верхне-Безымянском рудопроявлении (в 6 км южнее месторождения Сухой Лог) и догалдынской – на Кудускитском. Она представлена маломощными (до 1–3 см) прослоями тонкозернистого пирита в высокоуглеродистых сланцах, причём в ряде случаев отмечается их размыв в процессе осадконакопления [7]. Так же ни пробирным, ни спектральным анализами повышенная золотоносность этих сульфидных сингенетичных образований не установлена.

Площадное литогеохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния и первичным, в силу низкой чувствительности на золото используемого спектрального анализа, не выявляет «породных» аномалий золота в различных стратиграфических подразделениях.

Хотя вопрос обогащения углеродистых глинистых толщ БППр золотом в осадочном процессе недостаточно изучен, обобщение имеющихся материалов разных исследователей по этому вопросу и факты накопления первично-осадочных сульфидов, являющихся, по-видимому, «первичными» концентраторами золота, позволяет, тем не менее, достаточно уверенно выделять конседиментационный этап золотонакопления. В этой связи важным дополнительным аргументом для предположения возможности сингенетичного золотонакопления служит тот факт, что спектральным анализом специализация определённых высокоуглеродистых толщ на некоторые, в том числе рудные, элементы всё-таки выявляется. Так, в Мараканском рудном узле высокоуглеродистые отложения аунакитской и вачской свит (рис. 5, А), вмещающие в пределах БППр золоторудные месторождения Вернинское, Невское, Ыканское, Красное и ряд рудопроявлений, по данным площадного опробования по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1 : 50 000 (В. М. Кулаков и др., 1983) отчётливо выделяются повышенным фоном молибдена и бора (см. рис. 5, Б).

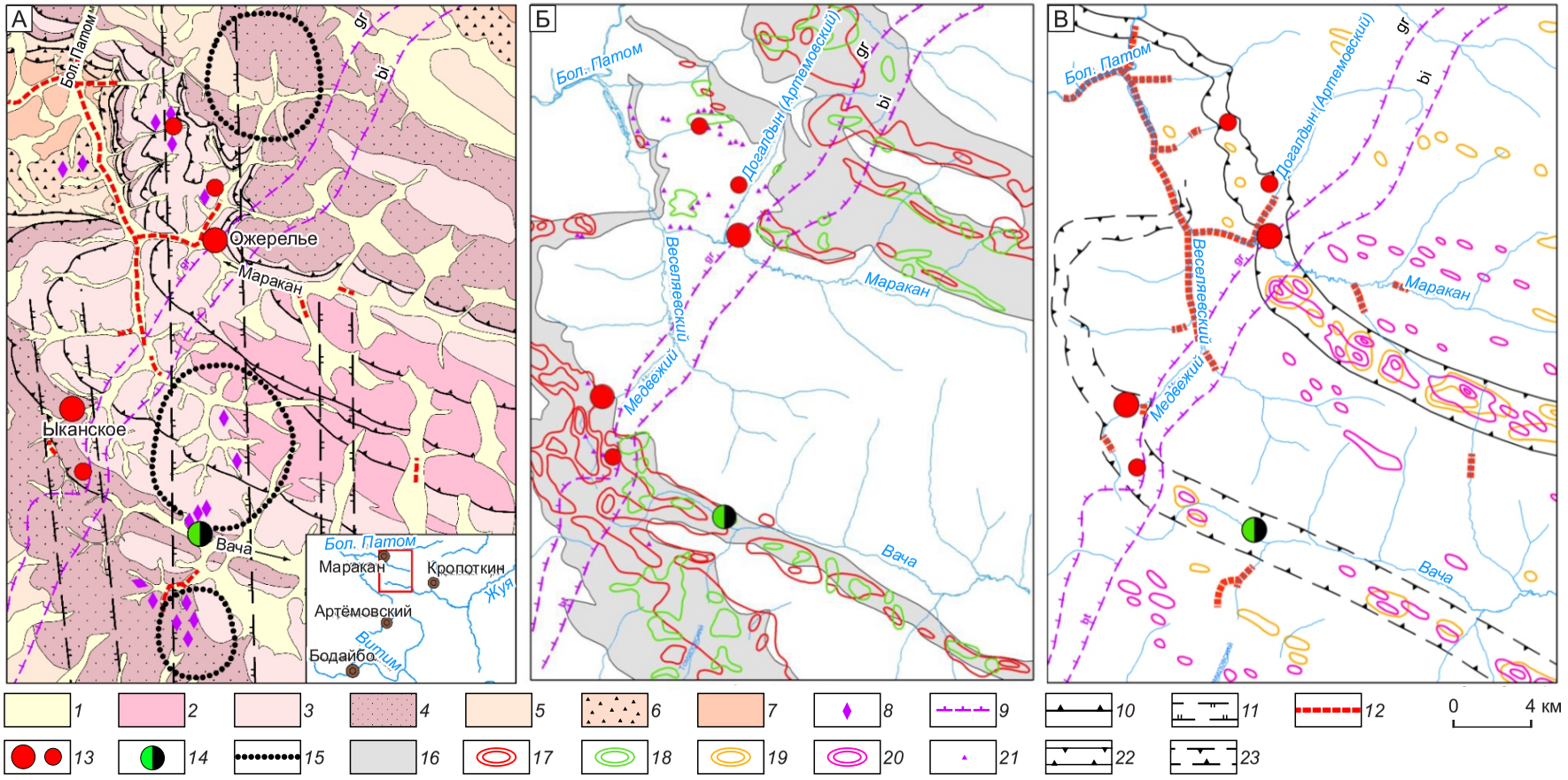


Рис. 5. Мараканский рудный узел (Байкало-Патомская металлогеническая провинция): А – геологическая карта, Б – карта вторичных ореолов рассеяния бора и молибдена, В – карта вторичных ореолов рассеяния золота и мышьяка:

отложения: *1* – четвертичные аллювиальные, *2–4* – венда, свиты: *2* – илигирская, *3* – анангрская и догалдынская, *4* – аунакитская и вачская, *5–7* – рифея, свиты: 5 – хомолхинская и имняхская, *6* – бужуихтинская и угаханская, *7* – бугорихтинская и бодайбоканская; *8* – дайки гранитоидов верхнепалеозойского конкудеро-мамаканского комплекса; *9* – изограды граната (gr) и биотита (bi) регионального метаморфизма; *10* – основные надвиги и взбросы, синхронные линейной складчатости; *11* – субмеридиональные зоны наиболее интенсивной сингранитной гидротермально-метасоматической переработки; 12 – промышленные россыпи золота; *13* – золоторудные месторождения и перспективные проявления; *14* – рудопроявление олова Юдовое; *15* – надынтрузивные зоны невскрытых гранитных интрузий, выделенные по геолого-геофизическим данным; *16* – выходы высокоуглеродистых отложений аунакитской и вачской свит; *17–20* – изолинии содержаний, по материалам опробования по вторичным ореолам рассеяния: *17* – молибдена (0,001–0,005 %), *18* – бора (0,02 %), *19* – золота (0,003–0,1–1,0 г/т), *20* – мышьяка (0,004–0,01 %); *21* – турмалин-кварцевые жилы; *22, 23* – рудоконтролирующие структуры: *22* – Ровнинская, *23* – Вачская

При рассмотрении вопроса о сингенетичной золотоносности необходимо иметь ввиду ещё один аспект: как показано В. А. Нарсеевым с соавторами [1, 20], в общем разрезе углеродистых флишоидных формаций относительно повышенной золотоносностью характеризуются стратиграфические уровни, в период накопления которых проявлялся конседиментационный магматизм (как толеитового основного, так среднего и кислого составов) как непосредственно в пределах пассивной окраины, так и на сопредельных территориях единого морского бассейна. Это, соответственно, при прочих равных условиях (проявлении последующих золотоносных процессов) обусловливает большую вероятность формирования в этих толщах промышленных месторождений золота. В БППр к таким уровням относятся отложения медвежевской, бужуихтинской, хомолхинской, аунакитской и догалдынской свит [7] (см. рис. 3, табл. 1).

Прежде всего следует выделить хомолхинское время (поздний рифей), отличающееся накоплением значительных осадочных концентраций свинца и цинка, а углеродистые песчано-сланцевые отложения этого возраста наиболее продуктивны на золото – вмещают золоторудные месторождения Сухой Лог, Высочайшее, Светловское (в хомолхинской свите), перспективное рудопроявление Джалагунское (в джалагунской свите) (см. рис. 3). В это время проявился эффузивный магматизм основного состава (базальты ондокской и джалагунской свит), базит-ультрабазитовый (довыренский комплекс) и гранитоидный (язовский комплекс) интрузивный магматизм [7], что, по-видимому, обусловило повышенную металлоносность гидротермальных растворов, поступающих в бассейн осадконакопления по конседиментационным разломам фундамента.

Таким образом, обогащение высокоуглеродистых толщ в конседиментационный этап (ранний рифей–венд) некоторыми рудными элементами и золотом, особенно при проявлении синхронного магматизма в зонах конседиментационных разломов фундамента при их активизации, должно учитываться при разработке прогнозно-поисковых моделей и прогнозировании золоторудных месторождений.

Коллизионная эпоха. Современная структура региона формировалась длительно [7–11, 16 и др.] и была в основном образована в коллизионную эпоху в течение кембрия–раннего карбона [7, 10 и др.]. В ней выделены три основных этапа, последовательно сменявших друг друга (см. табл. 1): линейной складчатости ***(кембрий–ранний силур)***, гранито-гнейсового куполообразования и регионального метаморфизма ***(поздний силур–ранний девон)***, становления «батолитовых» гранитоидов ***(средний девон – ранний карбон)***.

Линейная складчатость. Линейно-складчатый комплекс в пределах БППр в начально-коллизионный этап формировался в условиях тангенциального сжатия при одновременной деформации фундамента и осадочного чехла. Из-за большой мощности рифейско-вендских осадков (более 10 км в центральной части БППр) в разрезе и по латерали *PT*-условия деформаций значительно различались, в связи с чем различались и механизмы формирования линейных складок от продольного изгиба со скольжением (послойный кливаж – верхние части разреза и периферия складчатой области) до кливажной складчатости (кливаж осевой поверхности – в средней части разреза) или складчатости пластического продольного изгиба (с кристаллизационной сланцеватостью, параллельной слоистости) [10]. *PT*-условия линейной складчатости фиксируются парагенезисами минералов, участвующих в формировании послойного кливажа, кливажа осевой поверхности или кристаллизационной сланцеватости, согласной слоистости. Так, послойный кливаж формируется в основном гидрослюдистым или хлорит-гидрослюдистым парагенезисом, что соответствует *PT*-условиям пренит-пумпеллиитовой фации. Кливаж осевой поверхности линейных складок обусловлен субпараллельной ориентировкой чешуек пластинчатых минералов – хлорита, мусковита, серицита и др., что по *PT*-условиям соответствует хлорит-серицитовой субфации фации зелёных сланцев. Кристаллизационная сланцеватость, согласная слоистости, формируется хлорит-мусковит-биотитовым парагенезисом, что соответствует *PT*-условиям биотитовой субфации фации зелёных сланцев.

Это положение наглядно иллюстрируется рис. 6, на котором в едином линейно-складчатом комплексе (см. рис. 6, А) видна резкая смена характера магнитного поля (см. рис. 6, Б) – область развития линейных субсогласных простиранию пород отрицательных аномалий магнитного поля сменяется спокойным недифференцированным магнитным полем. Граница полей косо «пересекает» линейно-складчатые структуры и в общем

совпадает с достаточно резким «уступом» зеркала линейных складок с амплитудой более 2 км [9, 10]. Область развития линейных субсогласных простиранию пород отрицательных аномалий магнитного поля характеризует территорию проявления кливажа осевой поверхности с хлорит-мусковитовым парагенезисом (низкотемпературная часть фации зелёных сланцев – «зона хлорита»), тогда как область спокойного недифференцированного магнитного поля – хлорит-гидрослюдистым парагенезисом (пренит-пумпеллиитовая фация) [9]. Относительно резкое снижение уровня синскладчатого метаморфизма в породах на уровне земной поверхности происходит за счёт увеличения глубины залегания раннепротерозойского фундамента и, соответственно, вскрытия на уровне денудационного среза более молодых и менее метаморфизованных отложений.

На заключительной стадии линейного складкообразования формируются субсогласные простиранию осей линейных складок зоны складчато-разрывных деформаций (ЗСРД), являющиеся отражением в складчатом чехле активизировавшихся в это время продольных разломов дорифейского фундамента складчатой области. ЗСРД представляют собой зоны рассланцевания с проявлением интенсивной разноамплитудной складчатости, многочисленных вязких и хрупкопластичных разрывных нарушений и характеризуются повышенной флюидной проницаемостью [17]. Они имеют ширину от сотен до первых тысяч метров, амплитуда вертикальных перемещений блоков пород, расположенных по разные «стороны» ЗСРД, может достигать многих сотен метров и более. Именно некоторые такие зоны, в которых вследствие усиленного и относительно более высокотемпературного флюидопотока кроме мусковита и хлорита появляется биотит, трассируются отрицательными аномалиями магнитного поля [9] за счёт формирования в «плоскости» кливажа

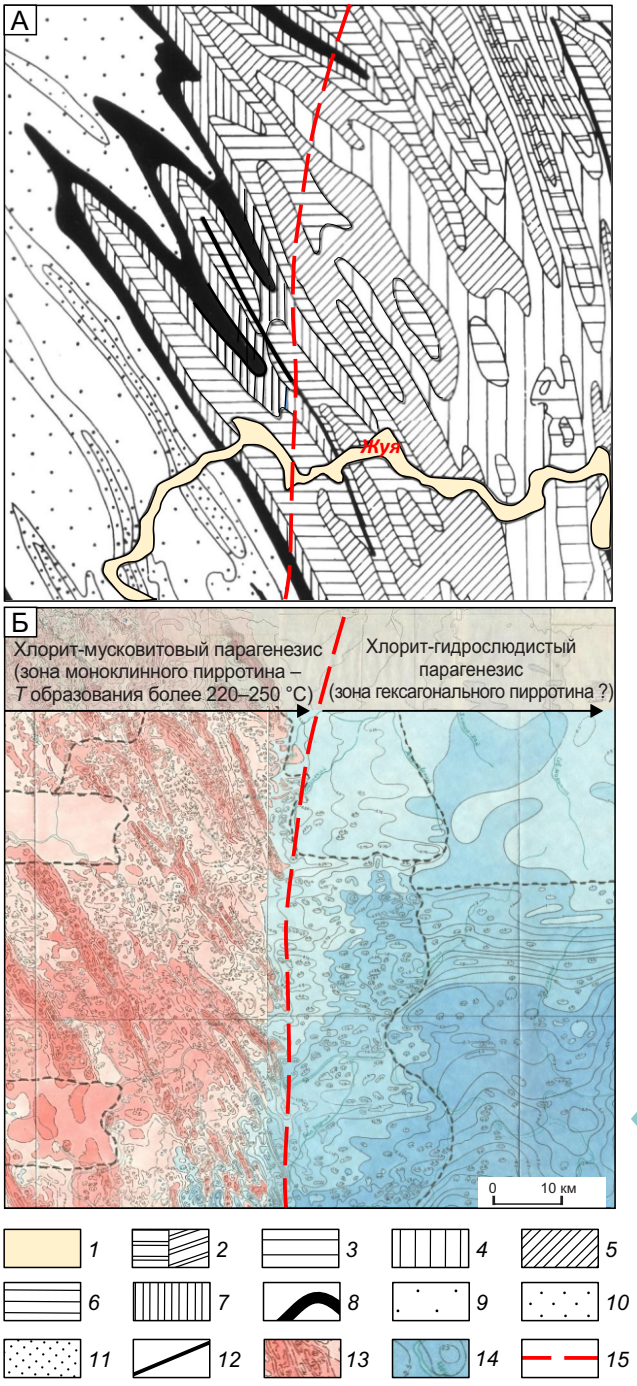


Рис. 6. Геологическая карта (А) и карта магнитного поля (ΔТ) (Б) северо-восточной части Байкало-Патомской металлогенической провинции (см. рис. 2):

отложения: *1* – четвертичные, *2* – венда, свиты: тинновская и нохтуйская, *3–5* – верхнего рифея, свиты: *3* – ченчинская, *4* – никольская, *5* – валюхтинская, *6, 7* – среднего–верхнего рифея, свиты: *6* – баракунская, *7* – джемкуканская; *8–11* – балаганахская серия, свиты: *8* – мариинская, *9* – бугарихтинская, *10* – хайвергинская, *11* – хорлухтахская; *12* – разломы; аномалии поля ΔТ: *13* – отрицательные и *14* – положительные; *15* – граница на уровне денудационного среза зон развития хлорит-мусковитового (с моноклинным магнитным пирротином) и хлорит-гидрослюдистого (с гексагональным немагнитным пирротином?) минеральных парагенезисов, формирующих кливаж осевой поверхности линейных складок

осевой поверхности («усиленного» из-за позднескладчатой активизации в зонах рассланцевания) пластинчатых порфиробластов моноклинного магнитного пирротина (рис. 7). То есть одинаковая ориентировка пластинок пирротина и их однотипная намагниченность объясняют природу отрицательных линейных аномалий магнитного поля (см. рис. 6). Таким образом, метаморфизм, синхронный линейной складчатости, в центральных частях региона достигал в отдельных ЗСРД уровня «зоны биотита» зеленосланцевой фации и в целом был зональным. Эта зональность во многом контролировалась температурой синскладчатых флюидных систем и изограда биотита «затекала» вверх по разрезу по наиболее флюидопроницаемым ЗСРД. Моноклинный пирротин мог формироваться в результате дополнительного привноса серы по более ранним пириту или гексагональному пирротину [9].

В пределах линейных отрицательных аномалий магнитного поля, обусловленных синхронной с линейной складчатостью минерализацией моноклинного пирротина, не установлены золоторудные месторождения [9] и сколько-нибудь значимая золотоносность пирротинсодержащих пород и связанных с ними кварцево-жильных образований. По-видимому, это объясняется тем, что относительно повышенная температура («зона биотита») в зонах рассланцевания при формировании моноклинного пирротина неблагоприятна для локализации золота, что и должно отображаться в прогнозно-поисковых моделях.

В позднескладчатых ЗСРД, в которых гидротермально-метасоматические процессы протекали в *PT*-условиях развития хлорита и мусковита (серицита), проявилась порфиробластическая железомагнезиальная карбонатизация (бурошпатизация). Порфиробласты бурого шпата (в основном анкерит) формировались после кливажа осевой поверхности линейных складок во всех терригенных породах, обычно имеют «правильную» ромбовидную форму (рис. 8). При окислении в приповерхностных условиях или в обводнённых зонах неотектонической трещиноватости порфиробласты лимонитизируются, приобретают бурый цвет (см. рис. 8, А). По нашим материалам [7], бурый шпат отличается повышенным содержанием тонкодисперсного (в тот числе связанного?) золота в ассоциации с мышьяком, в связи с чем при его выщелачивании образуются солевые ореолы золота и мышьяка, выявляемые литохимическим опробованием по вторичным ореолам рассеяния (см. рис. 5, В). Процесс бурошпатизации протекает, согласно исследованиям Ф. А. Летникова [17], в С-флюидных системах, имеющих астеносферный источник. Флюиды этих систем мигрируют в земную кору по глубинным разломам и контролируют образование в том числе и месторождений золота. В процессе же миграции флюидов в разломных зонах могло происходить их дополнительное обогащение золотом за счёт его выноса из металлоносных высокоуглеродистых пород. Поскольку соскладчатые зоны рассланцевания (ЗСРД) были структурами не только массо-, но и энергопереноса [17], в БППр в ряде зон проявилась и поперечная латеральная зональность гидротермально-метасоматических процессов. Она выражена в проявлении в центральных частях зон рассланцевания процесса высокотемпературной незолотоносной пирротинизации (моноклинный пирротин), которая на периферии (и, вероятно, по восстанию) сменяется более низкотемпературной золотоносной бурошпатизацией.

Формирование золотоносных зон бурошпатизации в позднескладчатую стадию в ЗСРД являлось важнейшим рудоподготовительным процессом. Эти зоны представляют собой главные рудоконтролирующие структуры, а золотоносные минерализованные зоны и рудные зоны (месторождения) образовывались в их пределах при переработке золотоносных пород в течение последующих этапов коллизионной эпохи.

В более низкотемпературных условиях (пренит-пумпеллиитовая фация) в зонах рассланцевания не происходили ни пирротинизация пород, ни бурошпатизация, то есть часть территории металлогенической провинции, где линейное складкообразование осуществлялось в *PT*-условиях пренит-пумпеллиитовой фации, неперспективна на выявление месторождений коренного золота [9]. Все обозначенные геологические факторы, как положительные, так и отрицательные, должны отражаться в прогнозно-поисковых моделях.

Гранито-гнейсовое куполообразование (средний палеозой) в БППр проявилось очень широко, хотя гранито-гнейсовые купола на уровне денудационного среза (рис. 9) могут быть как слабо эродированными «гнейсовыми» (Чипикетский купол), так и значительно эродированными, в том числе с гранитным «окончанием» (Верхне-Жуинский купол). Как видно на рис. 9, ранее

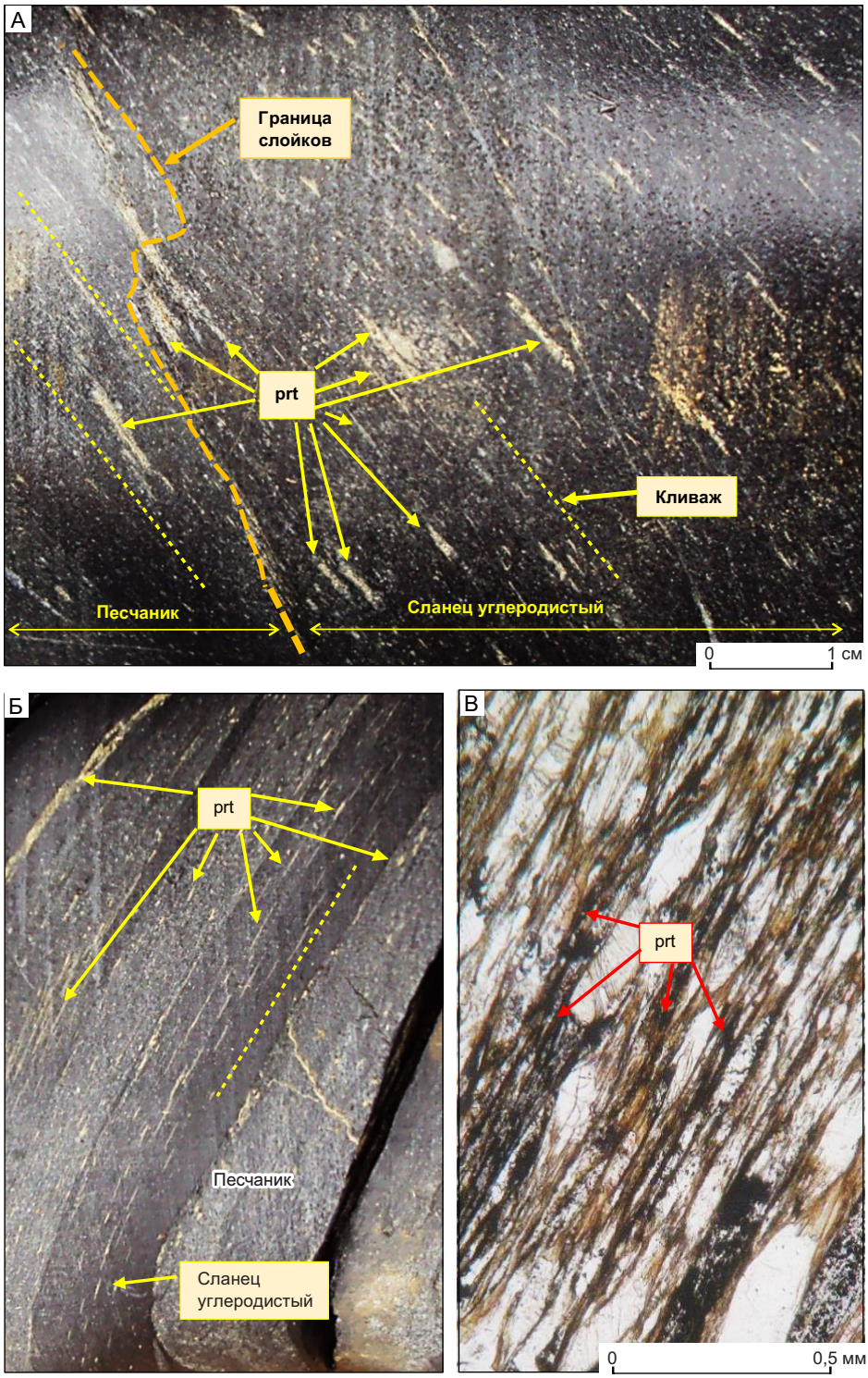


Рис. 7. Выделение линзовидного моноклинного (магнитного) пирротина (prt – светло-жёлтый) при линейном складкообразовании в переслаивающихся углеродистых сланцах и песчаниках в *PT*-условиях «зоны хлорита»:

А, Б – фото керна скважины 306: А – в плоскости кливажа осевой поверхности (видна мелкоскладчатая деформация слоистости по кливажу), Б – в плоскостях кливажа осевой поверхности и послойного кливажа; В – на фото шлифа (скв. 306) видно формирование кливажа субпараллельной ориентировкой чешуй биотита (бурый), мусковита, хлорита, линзочек пирротина (prt – чёрные) и уплощёнными (деформированными при кливажеобразовании) зёрнами кварца и полевых шпатов (светлые) в метапесчанике; николи II

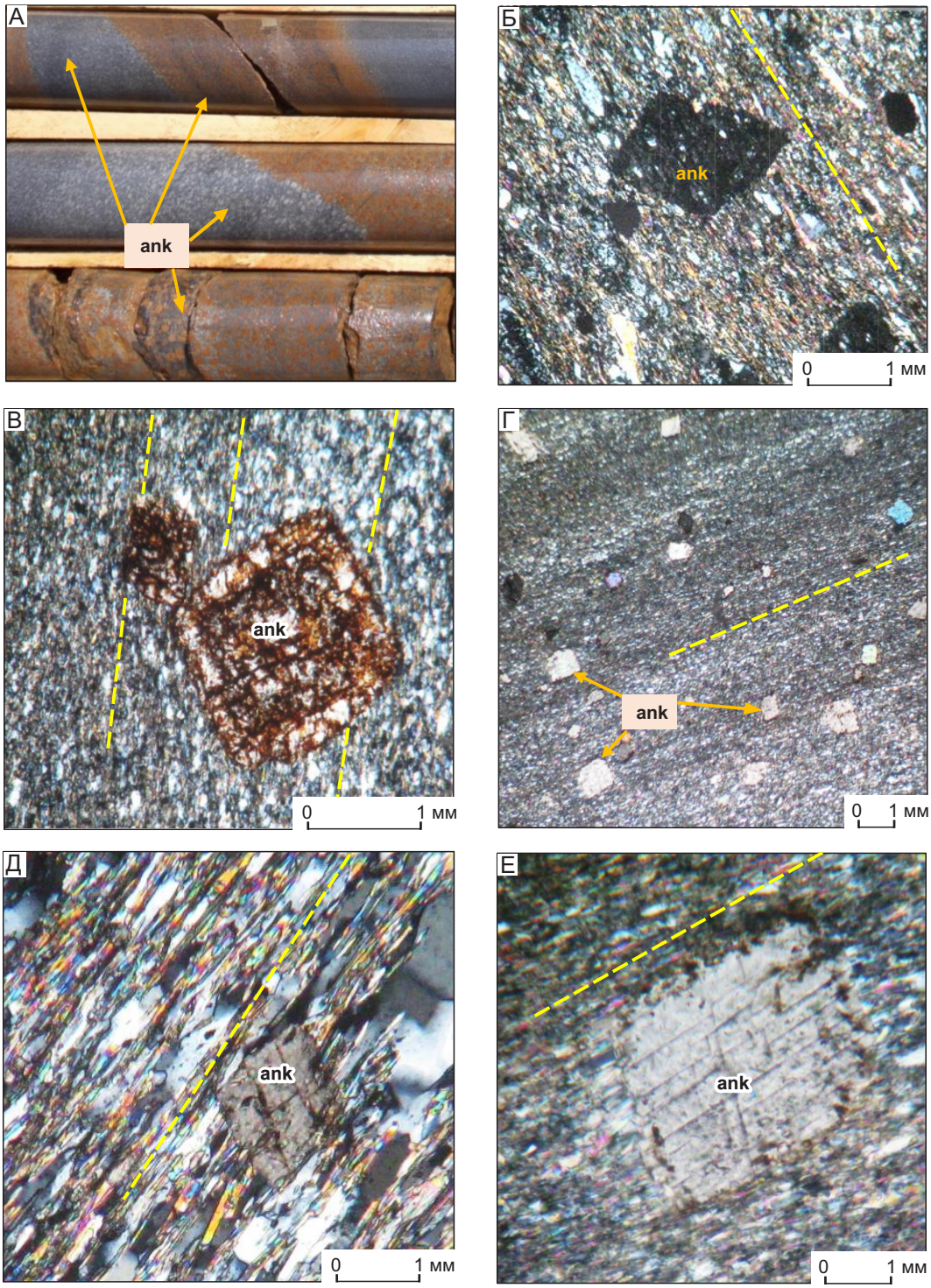


Рис. 8 [7]. Порфиробласты (ромбоэдры) анкерита (ank), сформировавшиеся после кливажа осевой поверхности, образованного субпараллельной ориентировкой чешуек хлорита и мусковита (его ориентировка – жёлтый пунктир):

А – фото керна: при лимонитизации в экзогенных условиях порфиробласты анкерита приобретают рыжий цвет, при этом лимонитизируются («рыжеют») вмещающие углеродистые сланцы; неокисленные порфиробласты в неокисленной части керна выделяются светло-серым цветом; диаметр керна 63 мм (Атырканское рудное поле, см. рис. 13); Б – фото шлифа из скв. 14 (месторождение Угахан, см. рис. 13); В–Е – фото шлифов (николи +) из скв. 17 (Сухоложское рудное поле, см. рис. 13)

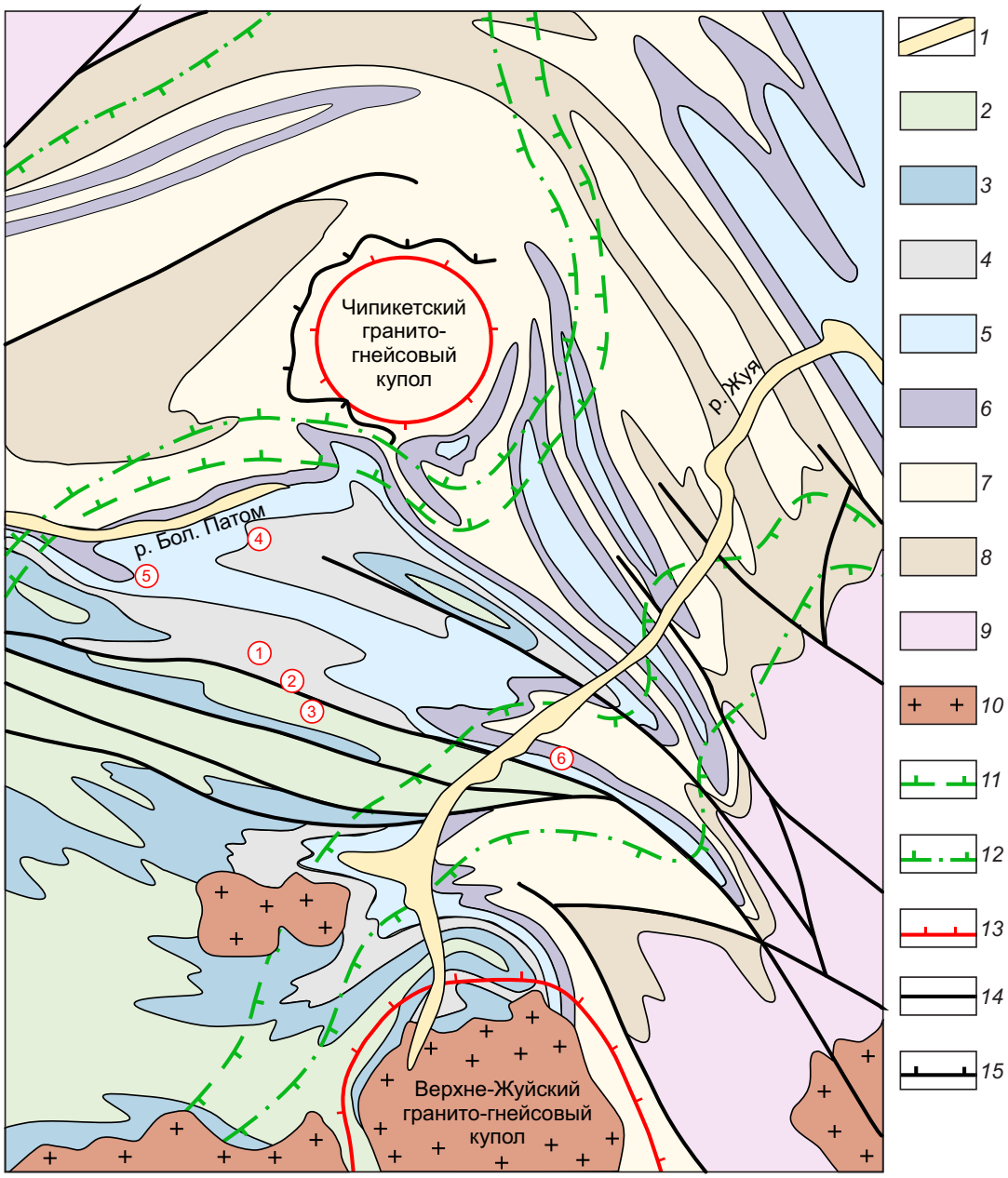


Рис. 9. Геологическая карта центральной части Байкало-Патомской металлогенической провинции (см. контур на рис. 2):

1–8 – отложения: *1* – четвертичные, *2, 3* – венда: *2* – верхнего, свиты: анангрская, догалдынская илигирская, *3* – нижнего, свиты: аунакитская и вачская, *4–8* – рифея: *4* – верхнего, свиты: хомолхинская и имняхская, *5* – верхнего–среднего, свиты: бужуихтинская, джемкуканская, угаханская и боракунская, *6–8* – среднего, свиты: *6* – бодайбоканская, мариинская, *7* – бугарихтинская, *8* – хайвергинская и хорлухтахская); *9* – нижнепротерозойские осадочно-метаморфические и интрузивные образования; *10* – верхнепалеозойские гранитоиды конкудеро-мамаканского комплекса; *11, 12* – изограды регионального метаморфизма: *11* – биотитовая, *12* – гранатовая; *13* – центральные части гранито-гнейсовых куполов; *14, 15* – разломы: *14* – крутопадающие и *15* – пологопадающие; числа в кружках – золоторудные месторождения (1 – Сухой Лог, 2 – Вернинское, 3 – Невское, 4 – Высочайшее, 5 – Угахан, 6 – Светловское-Спектральное)

сформированные линейные складки в центральной части и на периферии купольных структур деформируются с искривлением их осей и шарниров, выполаживанием крыльев вплоть до субгоризонтального залегания пород. Изограды регионального метаморфизма, «оконтуривающие» области термального воздействия куполов на вмещающие породы (на рис. 9 показаны изограды биотита и граната) пересекают линейные складки. Деформация линейных складок отчётливо наблюдается на изограде граната, то есть наиболее интенсивные пластические деформационные процессы протекают в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой (в центральных частях куполов) фаций регионального метаморфизма. Эти геологические материалы в целом свидетельствуют о значительно более позднем по сравнению с линейной складчатостью проявлении гранито-гнейсового куполообразования и регионально-метаморфических преобразований пород, что подтверждено и изотопными датировками (см. табл. 1) [7, 10 и др.].

Одновременно с пластической деформацией при куполообразовании происходит активизация деформационных процессов в ранее сформированных синскладчатых структурах – кливаже, зонах рассланцевания, разломах, в том числе в рудоконтролирующих ЗСРД. При этом происходят минеральные преобразования пород, которые имеют свою специфику в зависимости от уровня более раннего синскладчатого метаморфизма и уровня наложенного на него регионального метаморфизма. На рис. 9 видно, что значительная часть складчатой области в регионально-метаморфический этап претерпела преобразования в *PT*-условиях хлорит-серицитовой субфации фации зелёных сланцев («отсечена» изоградой биотита), то есть *PT*-условия проявления геологических процессов на этапе линейной складчатости (область проявления кливажа осевой поверхности линейных складок) и при региональном метаморфизме были близкими. Поэтому проявление низкотемпературных регионально-метаморфических минеральных преобразований в этой части складчатой области, примеры которых приведены на рис. 10, А, Б, Д, имеет свою специфику. На рис. 10, А и Б видно наложение «поперечных» регионально-метаморфических порфиробластов хлорита и мусковита на кливаж осевой поверхности линейных складок, образуемый субпараллельной ориентировкой чешуек хлорита и мусковита, в том числе с его деформацией. Рис. 10, Д иллюстрирует активизацию пластических деформаций в *PT*-условиях «зоны хлорита» с формированием сланцеватости при активизации кливажа осевой поверхности с «закатыванием» и рассланцеванием порфиробластов анкерита, имевших ромбовидную форму при их образовании в позднескладчатую стадию. При региональном метаморфизме в *PT*-условиях, близких к «зоне биотита», образуются «поперечные» порфиробласты биотита (см. рис. 10, В) или даже в отдельных активизировавшихся зонках рассланцевания за счёт «локализованного» высокотемпературного флюидопотока формировались на фоне «зоны хлорита» зонки биотитизации (см. рис. 10, Г, Е).

Значительные минеральные преобразования пород в этот этап происходили за изоградой биотита, где формировались различные метаморфические минералы, а моноклинный магнитный пирротин, формирующий отрицательные аномалии магнитного поля в *PT*-условиях «зоны хлорита», становился немагнитным («точка Кюри»), вследствие чего происходит «распад» магнитного поля и эти аномалии «исчезают» (рис. 11). Таким образом, температурные условия, при которых в регионально-метаморфический этап начиналось формирование биотита, соответствовали «точке Кюри» для моноклинного пирротина (около 325 °С – температура потери ферромагнитных свойств) в связи с его переходом вновь в гексагональную модификацию [9]. Этот факт дополнительно подчёркивает более позднее проявление регионального метаморфизма относительно линейной складчатости.

В пределах рудоконтролирующих ЗСРД на изограде биотита происходило преобразование золотоносных порфиробласт анкерита в ранее сформированных зонах бурошпатизации – они псевдоморфно замещались кварцем, биотитом и другими минералами, часто приобретая зональное строение (рис. 12). Ранее [7 и др.] нами обосновано, что в золотоносных бурых шпатах при минеральных превращениях на изограде биотита субмикроскопическое золото укрупнялось и выделялось в свободном состоянии. Укрупнённое самородное золото за счёт гравитации просаживается в делювии на глубину не менее 0,7–1,0 м и не улавливается стандартным поверхностным опробованием по вторичным ореолам рассеяния, что в геохимическом поле создаёт

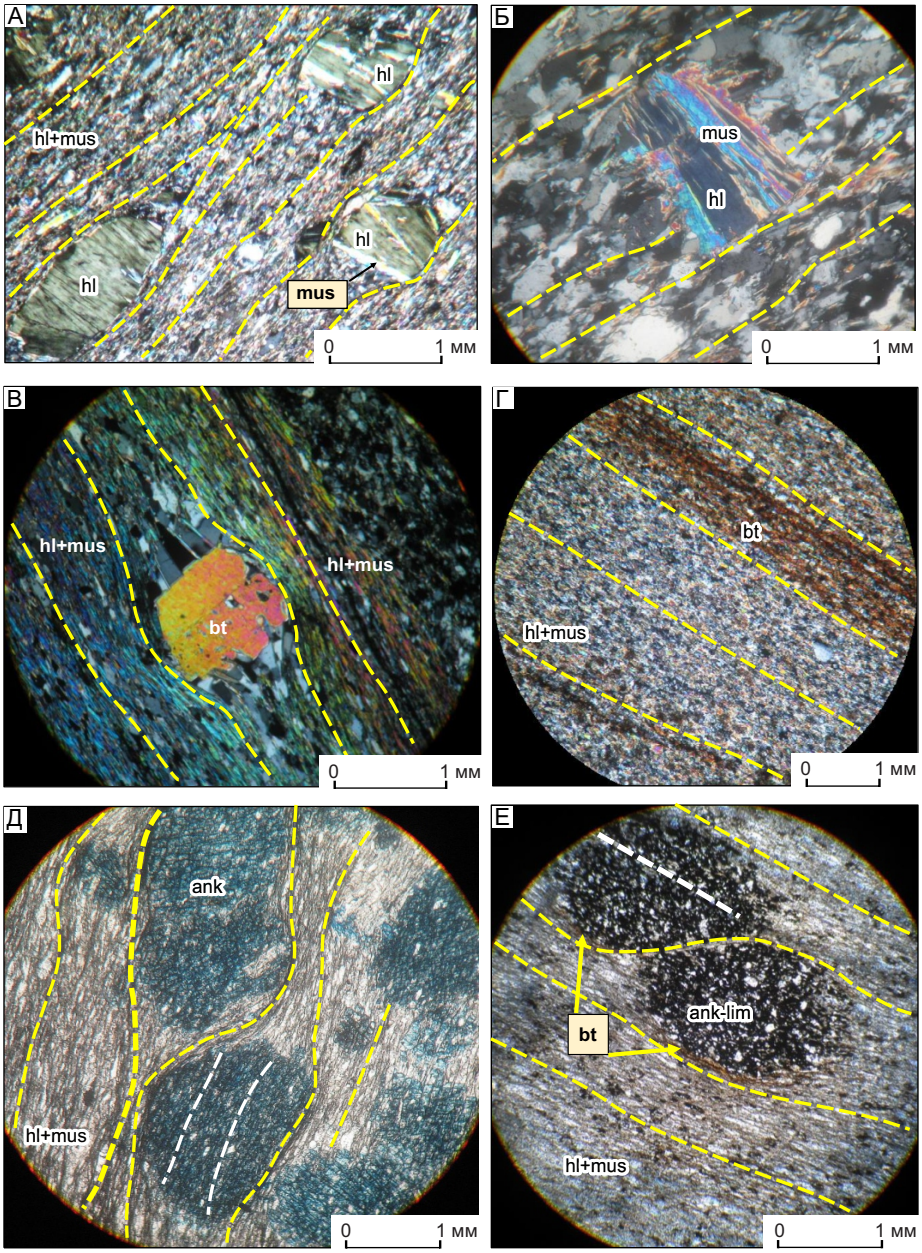


Рис. 10. Характер проявления регионального метаморфизма зеленосланцевой фации в этап гранито-гнейсового куполообразования в породах, метаморфизованных ранее при линейном складкообразовании в условиях хлорит-мусковитовой субфации зеленосланцевой фации (hl+mus):

А, Б – формирование «поперечных» порфиробластов хлорита (hl) или хлорита с мусковитом (mus) со значительной (А) или слабой (Б) деформацией кливажа осевой поверхности линейных складок (здесь и далее – жёлтый пунктир); В – формирование «поперечных» порфиробластов биотита (bt) с деформацией кливажа осевой поверхности линейных складок и формированием кварцевых «теней давления» при активизации деформаций по кливажу; Г – формирование биотита в зонке рассланцевания, образованной в хлорит-мусковитовых сланцах этапа линейной складчатости при дискретной активизации кливажа осевой поверхности в регионально-метаморфический этап, вследствие «концентрации» в её пределах метаморфизующего высокотемпературного флюидопотока; Д, Е – активизация кливажа осевой поверхности с его деформацией в регионально-метаморфический этап с «округлением» и рассланцеванием (белый пунктир) порфиробластов анкерита (ank, ank-lim – лимонитизированный анкерит) и «концентрированием» метаморфизующего высокотемпературного флюидопотока с образованием биотита (Е) в участках наиболее интенсивного «расплющивания» породы на границах порфиробластов

эффект «исчезновения» рудоконтролирующих структур (см. рис. 5, В). Но реально они продолжаются и в областях высокого метаморфизма, в пределах которых выявлены рудные зоны месторождения Ожерелье, месторождение Ыканское (см. рис. 5), рудные зоны Светловского рудного поля (см. рис. 9), Макалакское рудопроявление (см. рис. 11). Поэтому рудоконтролирующие ЗСРД как рудоносные структуры прослеживаются в пределах пород, регионально-метаморфизованных в условиях биотитовой субфации фации зелёных сланцев, эпидот-амфиболитовой и относительно низкотемпературной части амфиболитовой фации. А вот в участках гранитообразования в центральных частях гранито-гнейсовых куполов пластические деформации становились так велики, что золотоносные линейные ЗСРД деформировались с незакономерным изменением ориентировки. Поэтому их последующая («диафторическая») активизация как деформационных структур в рудный этап становилась невозможной и в их пределах не могли сформироваться месторождения золота. По этой причине «эпицентры» купольной деформации не включаются в перспективные на золото территории как на уровне земной поверхности, так и на глубине, что и должно быть отражено в прогнозно-поисковых моделях.

Этап становления «батолитовых» гранитоидов (рудный этап). Окончательное формирование золотоносных минерализованных зон и рудных

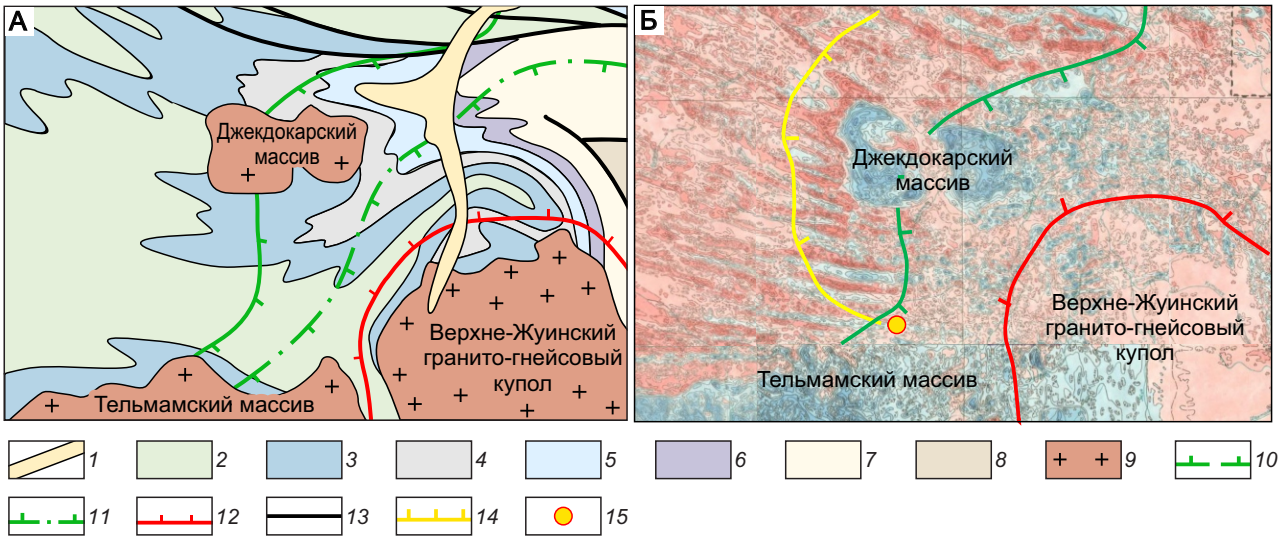


Рис. 11. Геологическая карта (А) и карта магнитного поля (Б) (ΔТ, положительные аномалии – сине-зелёные тона, отрицательные – красные тона) (Б) центральной части Байкало-Патомской металлогенической провинции (см. контур на рис. 2):

видна деформация линейных складок Верхне-Жуинским гранито-гнейсовым куполом и прорывание складчатых комплексов послерегионально-метаморфическими гранитоидами (Джекдокарский и Тельмамский массивы пересекают изограды регионального метаморфизма); видно преобразование магнитного поля на изограде биотита с «исчезновением» линейных отрицательных аномалий (красный цвет) за счёт потери ферромагнитных свойств моноклинным пирротином в «точке Кюри» и усиление интенсивности отрицательных аномалий в термальном ореоле Джекдокарского гранитоидного массива; отложения: *1* – четвертичные, *2–3* – венда: *2* – верхнего, свиты: анангрская, догалдынская илигирская, *3* – нижнего, свиты: аунакитская, вачская, *4–8* – рифея: *4* – верхнего, свиты: хомолхинская, имняхская, *5* – среднего–верхнего, свиты: бужуихтинская, угаханская, *6–8* – среднего, свиты: *6* – бодайбоканская, *7* – бугарихтинская, *8* – хайвергинская и хорлухтахская; *9* – верхнепалеозойские гранитоиды конкудеро-мамаканского комплекса; *10–11* – изограды регионального метаморфизма: *10* – биотита, *11* – граната; *12* – центральные части гранито-гнейсовых куполов; *13* – разломы; *14* – контур ореола термального воздействия гранитоидов Джекдокарского массива; *15* – Макалакское рудопроявление золота

зон связано с этапом гранитоидного магматизма (верхнепалеозойский конкудеро-мамаканский комплекс). Послерегионально-метаморфический возраст интрузий уверенно устанавливается по геологическим данным – гранитоидные массивы секут изограды регионального метаморфизма (см. рисунки 9, 11, А и 13). Становление гранитоидных массивов происходило в различных структурно-магматических зонах, подробно рассмотренных нами ранее [7, 10], отличающихся различными *PT*-условиями и, соответственно, характером контактового метаморфизма. В золотоносной части региона, где преобладают слабометаморфизованные породы, в экзоконтактах массивов гранитоидов формируются роговики на относительно небольшую ширину – несколько сотен метров. А анализ магнитного поля позволяет выявить значительно более масштабное термальное влияние гранитоидов на вмещающие породы: на рис. 11, Б на карте магнитного поля вокруг Джекдокарского массива отчётливо видна обширная область преобразования вмещающих пород (жёлтый контур) по усилению интенсивности синскладчатых отрицательных аномалий. По-видимому, это происходит за счёт перехода при температурах 220–250 °С «сохранившегося» в породах

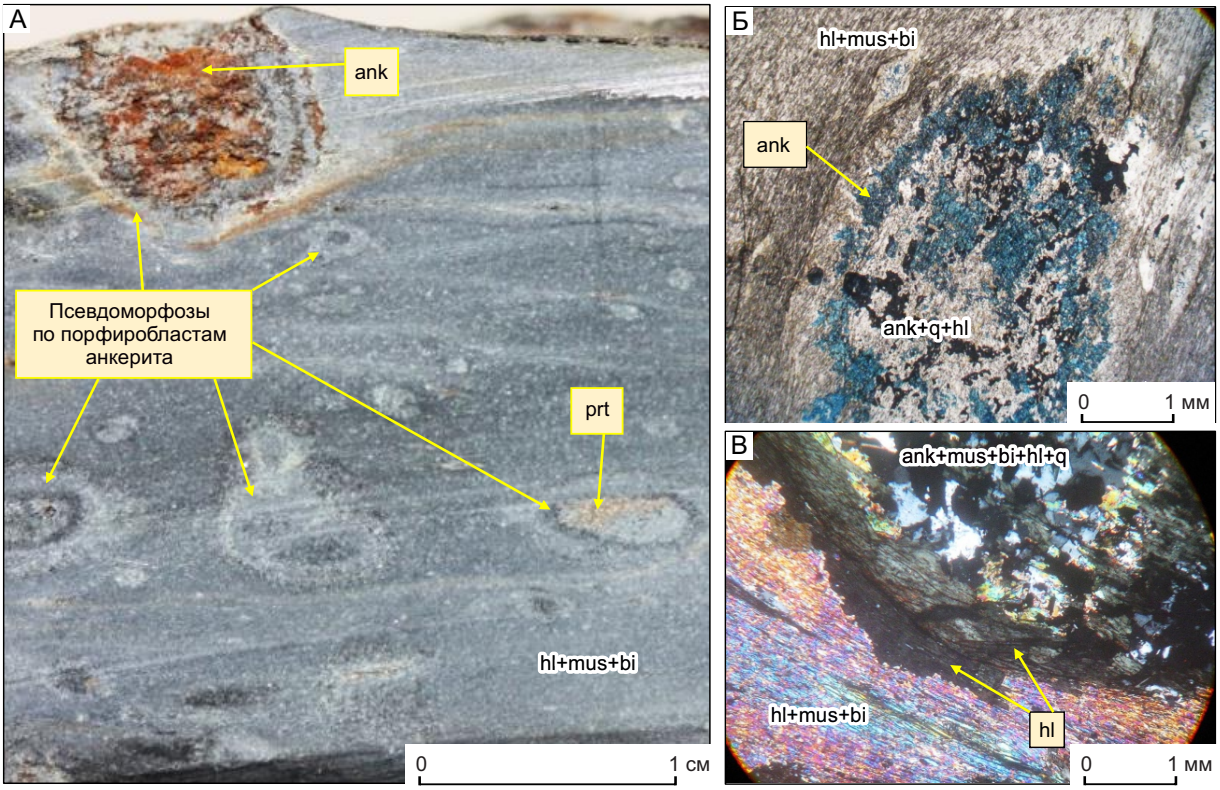


Рис. 12. Регионально-метаморфические преобразования порфиробласт железо-магнезиальных карбонатов (бурых шпатов) при региональном метаморфизме в «зоне биотита» с формированием псевдоморфоз различных минералов (Макалакское рудное поле):

А – фото образца, видно сохранение «реликтового» анкерита в крупном порфиробласте и «полные» псевдоморфозы в более мелких порфиробластах (prt – пирротин, ank – анкерит) в хлорит-мусковит-биотитовых сланцах (hl+mus+bi); Б, В – фото шлифов (скв. 60, 61): Б (николи II) – начальная стадия регионально-метаморфических преобразований порфиробласта анкерита с формированием внешней хлоритовой и внутренней анкерит-кварц-хлоритовой (ank+q+hl) и анкеритовой «зонок» (сланцеватость образована субпараллельной ориентировкой пластинок хлорита, мусковита и биотита – hl+mus+bi), В (николи +) – практически «полная» зональная псевдоморфоза по порфиробласту анкерита (сланцеватость – hl+mus+bi) с формированием внешней хлоритовой (в том числе «экзоконтактовой») и внутренней анкерит-мусковит-биотит-хлорит-кварцевой (ank+mus+bi+hl+q) «зонок»

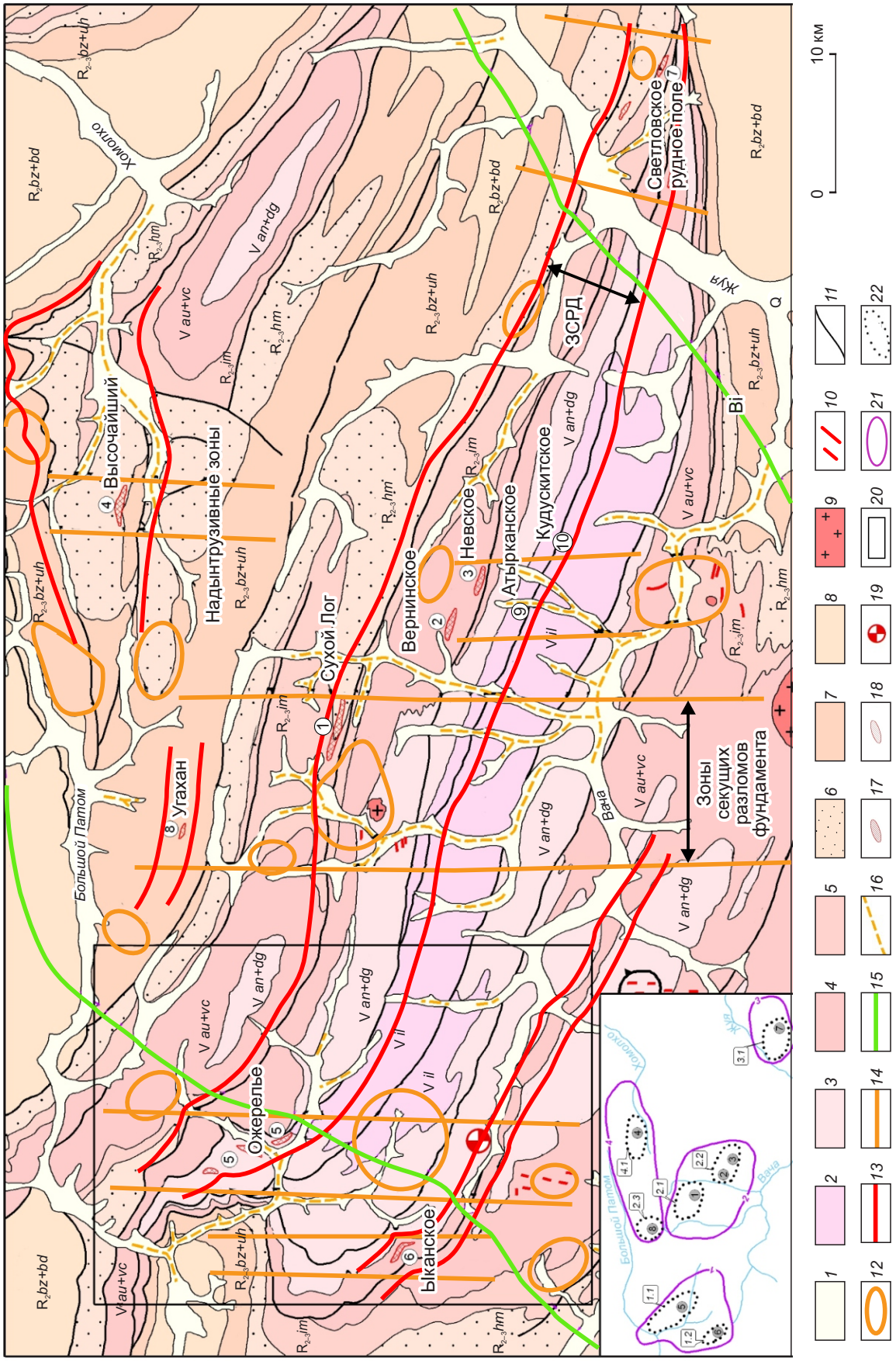

Высочайший
Надынтрузивные зоны
Угахан
Ожерелье
Ыканское
Сухой Лог
Вернинское
Невское
Атырканское
Кудускитское
ЗСРД
Светловское рудное поле
Зоны секущих разломов фундамента
Большой Патом
Хомолхо
Жуя
Вача
Вi
0
10 км

Рис. 13. Схематизированная геологическая карта северной части Бодайбинского рудного района и золотоносные участки разных рудоконтролирующих этапов (см. контур на рис. 2):

отложения: *1* – четвертичные (Q), *2–4* – венда, свиты: *2* – илигирская (V*il*) (сланцы углеродистые, прослои песчаников углеродистых иногда известковистых), *3* – анангрская и догалдынская (V*an+dg*) (песчаники полимиктовые и аркозовые, иногда известковистые, прослои сланцев углеродистых и слабоуглеродистых), *4* – аунакитская и вачская (V*au+vc*) (сланцы высокоуглеродистые, прослои песчаников кварцевых углеродистых); *5–7* – среднего–верхнего рифея, свиты: *5* – имняхская (R_{2-3}*im*) (известняки, карбонатно-слюдистые алевролиты, сланцы, песчаники), *6* – хомолхинская (R_{2-3}*hm*) (сланцы и метаалевролиты углеродистые, в средней части – прослои кварцевых песчаников), *7* – бужуихтинская и угаханская (R_{2-3}*bz+uh*) (сланцы углеродистые в переслаивании с песчаниками, в верхней части – с известняками); *8* – среднего рифея свиты: бугорихтинская и бодайбоканская (R_2*bg+bd*) (песчаники полимиктовые, прослои сланцев углеродистых, в верхней части – известняки с прослоями сланцев углеродистых); *9, 10* – граниты конкудеро-мамаканского комплекса: *9* – массивы биотитовых гранитов, *10* – дайки гранит-порфиров; *11* – основные разломы (надвиги, взбросы); *12* – контур надынтрузивных зон над невскрытыми эрозией гранитными интрузиями на глубине около 3 км (по геолого-геофизическим данным); *13* – продольные рудоконтролирующие (для золотого оруденения) зоны рассланцевания и складчато-разрывных деформаций (ЗСРД); *14* – сингранитные зоны поперечных деформаций над разломами фундамента; *15* – изограда биотита регионального метаморфизма; *16* – основные промышленные россыпи золота; *17* – месторождения рудного золота (числа в кружках: 1 – Сухой Лог, 2 – Вернинское, 3 – Невское, 4 – Высочайшее, 5 – Ожерелье, 6 – Ыканское, 7 – Светловского рудного поля, 8 – Угахан,); *18* – перспективные проявления: 9 – Атырканское, 10 – Кудускитское; *19* – рудопроявление олова и вольфрама Юдовое (с Au, Ag, Bi); *20* – контур территории Мараканского участка (см. рис. 5); на врезке: *21* – рудные узлы (1 – Мараканский, 2 – Кропоткинский, 3 – Тунгусский, 4 – Хомолхинский); *22* – рудные поля (1.1 – Ожерельное, 1.2 – Ыканское, 2.1 – Сухоложское, 2.2 – Вернинско-Невское, 2.3 – Верхне-Угаханское, 3.1 – Светловское, 4.1 – гольца Высочайшего)

в пределах этих аномалий немагнитного гексагонального пирротина в ферромагнитный моноклинный с увеличением его количества.

По этой причине область высокотемпературного экзоконтактового ореола вокруг массивов гранитоидов неперспективна на проявление рудоносных гидротермально-метасоматических процессов (мусковитизация, пиритизация, бурошпатизация и др.) и, соответственно, на формирование промышленного золотого оруденения. На большем отдалении от гранитоидных массивов их температурное воздействие на вмещающие породы также проявлялось, но поскольку оно было относительно низкотемпературным, то выражалось в виде диафторических преобразований ранее сформированных метаморфических минералов – хлоритизации биотита, мусковитизации и альбитизации обломочных полевых шпатов, мусковитизации бурого шпата и др.

При внедрении гранитоидов активизировались синскладчатые и синметаморфические деформационные структуры, в том числе рудоконтролирующие ЗСРД (см. рис. 13), в пределах которых за счёт их повышенной флюидопроницаемости происходили с участием как сингранитных метаморфических, так и гранитных глубинных (?) флюидов гидротермально-метасоматические преобразования пород. На рис. 13, кроме сформированных при линейной складчатости субсогласных простиранию пород ЗСРД, активизировавшихся в сингранитный этап, показаны и другие структуры этого этапа. Во-первых, надынтрузивные зоны невскрытых гранитных массивов, выделяемые на основании гравиразведки и подтверждаемые геологическими материалами – наличием мелких массивов гранитов и даек гранит-порфиров, полей ороговикованных пород, высокотемпературных мусковит-кварцевых жил грейзеноидного типа с берилловой, шеелитовой и касситеритовой минерализацией. Касситерит-мусковит-кварцевые жилы, в том числе с высокими потенциально-промышленными содержаниями олова, серебра и висмута, образуют жильные зоны субмеридионального простирания (рудопроявление Юдовое) [7]. Субмеридиональное простирание в районе рудопроявления имеют дайки гранит-порфиров (см. рис. 5), а по материалам литохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния (В. М. Кулаков, 1983) – и аномалии висмута. По аэромагнитным данным выделяются многочисленные срывы корреляции также субмеридиональной ориентировки. По данным

наземной гравиразведки (В. М. Кулаков, 1983), кроме изометричных отрицательных аномалий, фиксирующих надынтрузивные зоны, линейные отрицательные аномалии трассируют кварцевые жильные зоны как в пределах субсогласных простиранию пород ЗСРД, так и в субмеридиональных разломных структурах [7]. По комплексу признаков выделены сингранитные субмеридиональные разломные зоны фундамента, которые в складчатом чехле обусловливают деформацию (изгибание в плане и разрезе) рудоконтролирующих ЗСРД и формирование субмеридиональной анизотропии геохимических и геофизических полей. А именно поперечная деформация рудоконтролирующих ЗСРД в рудный этап в субмеридиональных разломных зонах фундамента приводит к образованию в их пределах структурных ловушек, в которых и формируются золоторудные месторождения (см. рис. 13).

Как уже отмечалось, в рудоконтролирующих ЗСРД при их активизации за пределами экзоконтактовой высокотемпературной зоны гранитных массивов в *PT*-условиях «зоны хлорита» вследствие локализации в их пределах сингранитного флюидопотока на фоне продолжающегося рассланцевания протекали наиболее интенсивные гидротермально-метасоматические процессы с формированием в том числе и золотоносных минерализованных и рудных зон (золоторудных месторождений). При этом не только происходило «рудное» преобразование ранее сформированных концентраций, но и, по-видимому, отлагалось «дополнительное» золото из сингранитных флюидов.

Более позднее формирование золоторудной минерализации относительно регионально-метаморфических преобразований пород уверенно устанавливается на «макроуровне». Так, синскладчатые порфиробласты бурых шпатов, преобразованные в регионально-метаморфический этап в концентрически-зональные псевдоморфозы (см. рис. 12), в этот этап деформируются и претерпевают низкотемпературные преобразования (мусковитизация, хлоритизация), рассекаются золотоносными пирит-кварцевыми прожилками (рис. 14). Рис. 15, А иллюстрирует многостадийность синрудных преобразований пород,

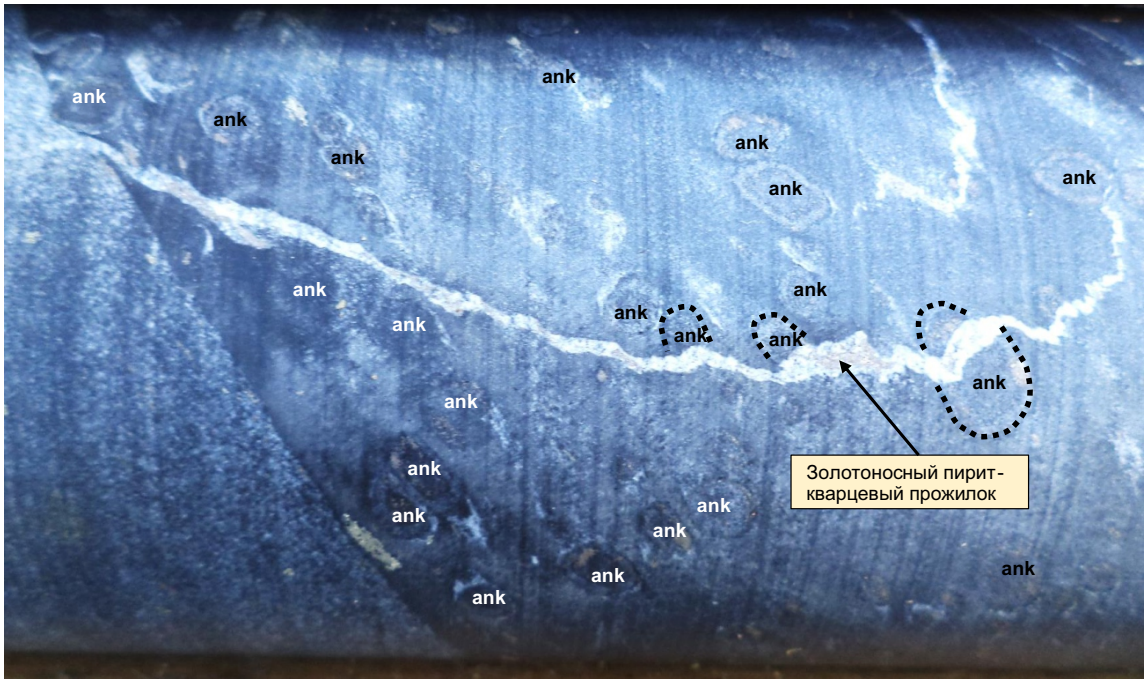


Рис. 14. Наложение пирит-кварцевой прожилковой золотоносной минерализации на метаморфизованные порфиробласты анкерита (ank) (рудопроявление Зональное, Макалакское рудное поле):

пунктиром выделены метаморфизованные порфиробласты, рассекаемые золотоносным пирит-кварцевым прожилком

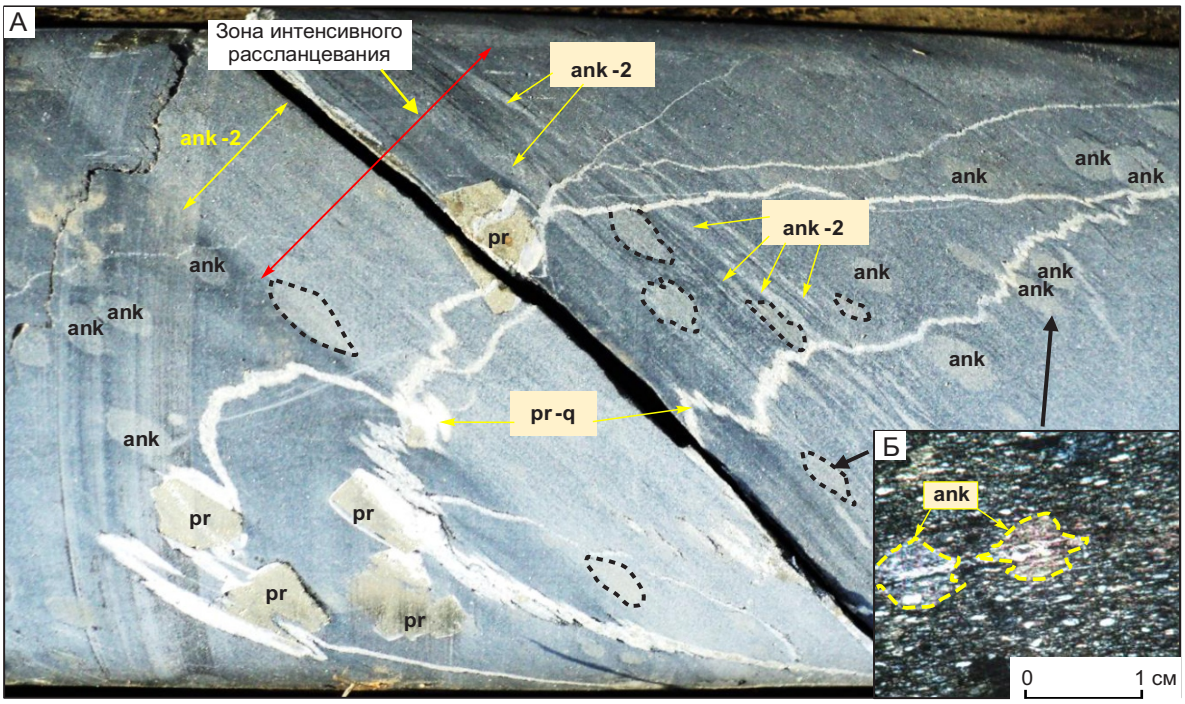


Рис. 15. Внутреннее строение золоторудной зоны рассланцевания (А), в пределах которой в рудный сингранитный этап и ранее при линейной складчатости (при формировании порфиробластов анкерита – «бурошпатизации») и в этап регионального метаморфизма (при активизации рассланцевания и «округлении» порфиробластов анкерита) *PT*-условия соответствовали хлорит-серицитовой субфации фации зелёных сланцев; фото шлифа (Б), николи +:

А – видны относительно слаборассланцованные в рудный этап «округлённые» при синметаморфической активизации рассланцевания порфиробласты анкерита (ank), рассекаемые золотоносными прожилками пирит-кварцевого состава (pr-q) иногда с крупными кристаллами пирита (pr); при синрудном рассланцевании (активизация ранее сформированной сланцеватости) прожилки деформируются в мелкие складки, складчатость особенно проявлена в зоне наиболее интенсивного рассланцевания (красная стрелка), в пределах которой порфиробласты анкерита деформируются (обведены чёрным пунктиром), рассланцовываются и мусковитизируются и формируются согласные сланцеватости прожилки анкерита (ank-2) или происходит бурошпатизация по «массе» (жёлтая стрелка – ank-2); диаметр керна 63 мм; Атырканское рудопроявление, скв. 16 (см. рис. 13), пояснение в тексте

метаморфизованных ранее в *PT*-условиях «зоны хлорита» (и при линейной складчатости, и при региональном метаморфизме), в золоторудной зоне: синскладчатые порфиробласты бурого шпата (анкерита) на первой стадии процесса при рассланцевании за счёт деформации «сплющивания» приобретают вытянутую линзовидную форму, интенсивно мусковитизируются (см. рис. 15, Б), в ряде случаев приобретают «теневые» формы; одновременно формируются прожилковидные выделения новообразованного анкерита (анкерит-2) или происходит анкеритизация по массе в зонках наиболее интенсивного рассланцевания; на преобразованные порфиробласты и прожилковидные выделения анкерита накладывается порфиробластическая пиритизация, они рассекаются разностадийными пирит-кварцевыми золотоносными прожилками. Более наглядно (за счёт лимонитизации анкерита) рассланцевание «закруглённых» синскладчатых его порфиробластов и их рассечение субсогласными сланцеватости рудного этапа золоторудными прожилками анкеритового, анкерит-кварцевого, пирит-анкерит-кварцевого составов (ank-2) видно на рис. 16.

С. Г. Кряжевым в рассланцованном и мусковитизированном порфиробласте синскладчатого

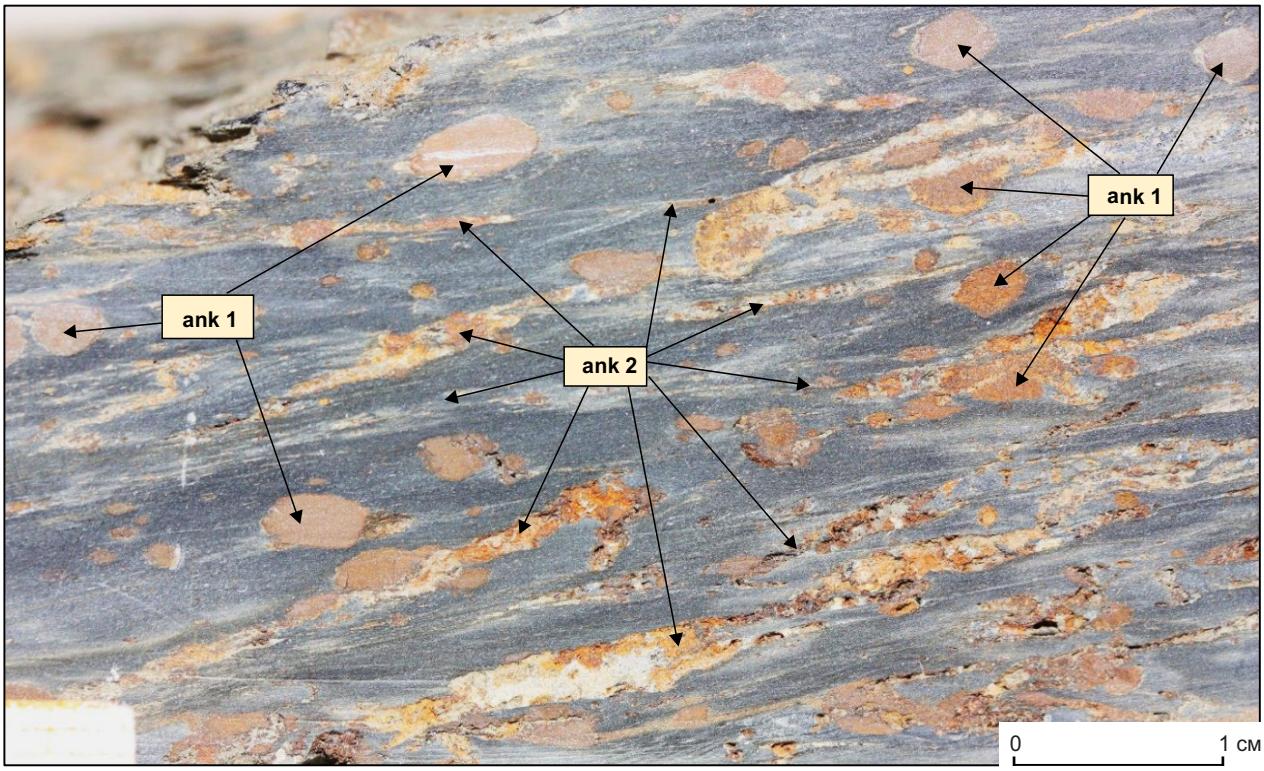


Рис. 16. Наложение анкеритового, кварц-анкеритового, пирит-кварц-анкеритового прожилкования рудного этапа (ank-1) на порфиробластическую синскладчатую бурошпатизацию (ank-2). Макалакский рудный узел, Макалакское рудопроявление:

анкерит лимонитизирован; видно пересечение прожилками анкерита-2 синскладчатых порфиробластов анкерита-1

анкерита установлено выделение самородного пластинчатого золота, ориентированного согласно ориентировке мусковитовых зонок (рис. 17). Это, по-видимому, свидетельствует об укрупнении золота в сингранитном гидротермально-метасоматическом процессе при *PT*-условиях «зоны хлорита», его перераспределении с вероятным формированием золотоносных анкеритовых и кварцевых прожилков.

При активизации в условиях «зоны хлорита» золотоносных зон рассланцевания (рудоконтролирующих ЗСРД), в пределах которых в регионально-метаморфический этап породы были метаморфизованы в условиях «зоны биотита» зеленосланцевой фации, эпидот-амфиболитовой или амфиболитовой фаций, проявились процессы диафтореза (рис. 18) с преобразованием высокотемпературных минералов в низкотемпературные (мусковит, хлорит, кварц, новообразованные железомагнезиальные карбонаты и др.). Высокотемпературные метаморфические минералы могут сохраняться в реликтах (гранат на рис. 18, А) или, за пределами зон диафтореза, оставаться неизменёнными (биотит на рис. 18, В). В таких неизменённых метаморфических породах золото спектральным и пробирным анализами не устанавливается, и золотоносными являются только диафториты с проявлением кварц-сульфидной или сульфидно-анкерит-кварцевой минерализации. В случае интенсивного диафтореза в рудных зонах формируются существенно мусковитовые (см. рис. 18, Б) или кварц-хлорит-анкерит-мусковитовые метасоматиты (см. рис. 18, В–Е), вмещающие золото-кварц-сульфидные просечки (см. рис. 18, Б) или анкерит-кварцевые жилы и прожилки, в том числе с видимым золотом

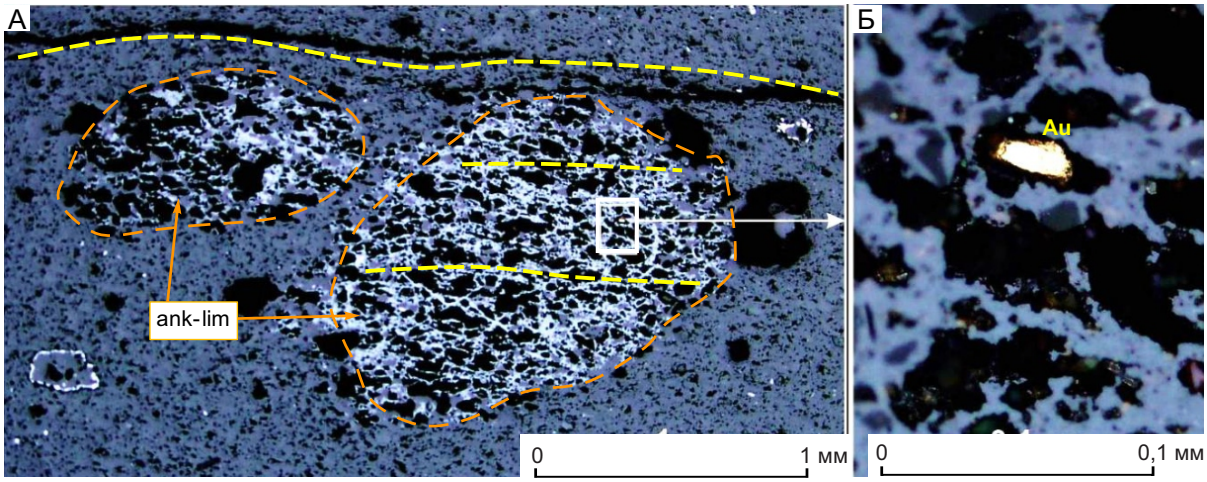


Рис. 17. Выделение самородного золота при рассланцевании и мусковитизации порфиробластов (А) (обведены оранжевым пунктиром) анкерита (ank-lim – лимонитизированный анкерит); жёлтый пунктир – ориентировка рассланцевания; светлые включения в порфиробластах – мусковит. Фото аншлифа, материалы С. Г. Кряжева; Б – деталь к рис. А

(см. рис. 18, Д). Таким образом, одновременно с формированием диафторитов, происходила локализация золота в кварцевых, сульфидно-кварцевых, кварц-сульфидных и сульфидных образованиях.

При рассмотрении этапности формирования золоторудных месторождений необходимо подчеркнуть ещё один важный момент – в связи с длительностью эволюции рудоносных структур, прежде всего рудоконтролирующих ЗСРД, каждый изучаемый в течение коллизионной эпохи этап сопровождался проявлением гидротермально-метасоматических процессов. Это в той или иной степени приводило к переработке пород и гидротермально-метасоматических образований, возникших в предыдущий этап, и, соответственно, к их «затушёвыванию». При активизации деформационных процессов в ЗСРД в регионально-метаморфический этап наряду с метаморфическими преобразованиями пород, очевидно, проявлялись гидротермальные процессы [7, 9], «перерабатывающие» более ранние синскладчатые. То же самое (бурошпатизация, мусковитизация, хлоритизация, жильно-прожилковое окварцевание) происходило в рудный сингранитный этап, и вследствие этого «вычленить» процессы предыдущего этапа не всегда возможно. Особенно это касается регионально-метаморфических процессов, с которыми ранее отдельные авторы связывали и формирование золоторудных месторождений [3, 4, 6]. Однако в некоторых случаях «разделение» синметаморфической и сингранитной диафторической минерализации возможно – на рис. 19 приведено фото керна из рудной жильно-прожилковой зоны месторождения Ожерелье, в строении которой участвуют как анкерит-кварцевые золотоносные жилы рудного этапа, так и синметаморфические более ранние кианит-кварцевые жилы. При этом последние подверглись диафторическим изменениям – кварц перекристаллизован, кианит полностью замещён мусковитом (хотя сохраняет свойственные ему зеленовато-голубоватые цвета). Кроме того, в участках дробления кианит-кварцевых жил в анкерит-кварцевом цементе выделяется самородное золото. Приведённый материал и факты формирования кварцевых прожилков при синметаморфическом рассланцевании [9] (см. рис. 13) свидетельствуют о синметаморфической активизации ЗСРД с формированием жильно-прожилковой минерализации, минеральный состав которой соответствует уровню метаморфизма вмещающих пород (месторождение Ожерелье локализовано в зоне диафтореза среди пород, метаморфизованных в условиях эпидот-амфиболитовой фации).

Таким образом, концентрация золота в структурно-литологических ловушках в пределах син-



Рис. 18. Минерализованные золотоносные зоны диафтореза среди пород, метаморфизованных в этап регионального метаморфизма в условиях эпидот-амфиболитовой фации [7]:

А, Б – фото керна из рудной зоны месторождения Ыканское (скв. 19 – красным обведены участки керна с видимым мелким золотом): А – кварц-хлорит-мусковитовые (q-hl-mus) диафториты по метапесчаникам (в нижней части) и существенно гранатовым сланцам (в верхней части) – видны псевдоморфозы кварц-хлорит-мусковитовые (q-hl-mus) по гранату с реликтами граната (gr) в некоторых из них; Б – хлорит-мусковитовые (hl-mus) и мусковитовые (тёмные – mus) диафториты с золотоносными пирротиновыми просечками (prt); В–Е – месторождение Ожерелье, рудная зона № 1: В – на фото керна (скв. 5) кварц-хлорит-анкерит-мусковитовые (q-hl-ank-mus) диафториты с золотоносными анкерит-кварцевыми прожилками (нижний «столбик») по существенно биотитовым (q-mus-hl-bi, биотит – густая чёрная вкрапленность) сланцам и метапесчаникам (верхний «столбик»), Г – на фото керна (скв. 5) анкерит-кварцевая (ank-q) золотоносная жила среди углеродистых кварц-хлорит-анкерит (серые вкрапленники)-мусковитовых (q-hl-ank-mus) метасоматитов (диафторитов), Д – в стенке карьера анкерит-кварцевая (ank-q) жила с видимым золотом (обведено красным) в кварц-хлорит-анкерит-мусковитовых (q-hl-ank-mus) диафторитах (буреют при выветривании анкерита), Е – фото шлифа (николи +) кварц-хлорит-анкерит-мусковитовых диафторитов: в кварц-хлорит-мусковитовом (q-hl-mus) сланце новообразованные синрудные порфиробласты анкерита (ank)

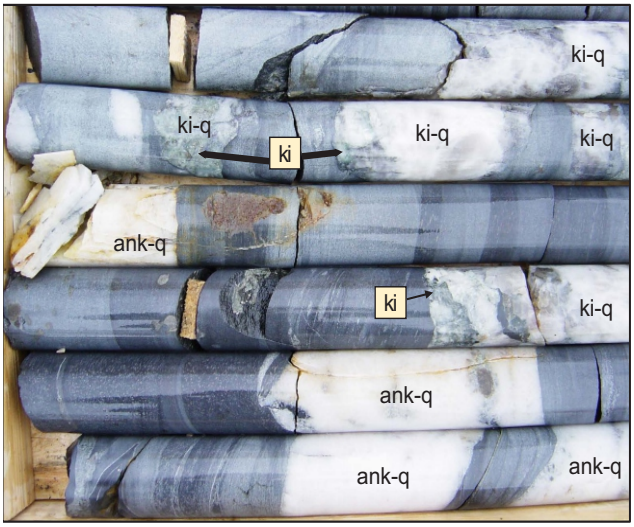


Рис. 19. Кианит-кварцевые (ki-q) синрегионально-метаморфические и анкерит-кварцевые рудные (ank-q) жилы в Рудной зоне № 1 месторождения Ожерелье (скв. 4). Диаметр керна 63 мм

складчатых золотоносных ЗСРД при их активизации происходила только в *PT*-условиях «зоны хлорита» – так формировались золотоносные минерализованные и рудные зоны.

Выделение на уровне денудационного среза территорий, где метаморфические и гидротермально-метасоматические процессы в пределах рудоконтролирующих ЗСРД при их активизации в сингранитный этап протекали в условиях «зоны хлорита», лежит в основе определения границ, перспективных на выявление золоторудных месторождений площадей (рудных узлов и рудных полей), что должно отображаться в прогнозно-поисковых моделях.

В связи с вышесказанным необходимо констатировать, что при составлении прогнозно-поисковых моделей в табличной (табл. 2) и в графической (рис. 20) формах необходимо поэтапное рассмотрение проявления тех или иных геологических факторов как положительных, контролирующих рудонакопление, так и отрицательных.

Табл. 2. Прогнозно-поисковые модели разноранговых объектов БППр

Объект прогноза	Группы факторов прогноза	
	Факторы (критерии) прогноза	Поисковые признаки
Рудный район	1. Наличие углеродистых песчано-сланцевых и (или) карбонатно-песчано-сланцевых отложений (в первую очередь свиты: бугорихтинская, бужуихтинская, хомолхинская, аунакитская, догалдынская и их возрастные аналоги). 2. Развитая система корово-мантийных разломов, активизировавшихся на всех этапах рифейско-палеозойской истории региона и характеризующихся проявлением С-флюидного (бурошпатового) метасоматоза при линейной складчатости. 3. Система гранитоидных верхнепалеозойских магматических очагов, в том числе обусловивших процессы регенерации раннепротерозойских гранито-купольных структур. 4. Метаморфические критерии: • синхронный линейной складчатости метаморфизм в условиях «зоны хлорита»; • региональный метаморфизм в условиях зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой (до «зоны гранитизации») фаций; • сингранитный метаморфизм в условиях зоны хлорита	1. Проявления золоторудной минерализации. 2. Россыпи золота. 3. Геофизические критерии – формирование в этап линейного складкообразования линейных отрицательных магнитных аномалий (зон пирротинизации)

Окончание табл. 2

Объект прогноза	Группы факторов прогноза	
	Факторы (критерии) прогноза	Поисковые признаки
Рудный узел	1. Крупные зоны разломов фундамента (1-го и 2-го порядков) продольных (относительно линейной складчатости), формирующих ЗСРД в складчатом чехле, и секущих. 2. Наличие надынтрузивных, околоинтрузивных зон гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса или связанных с ними реоморфических гранитных куполов	1. Участок развития золотоносных россыпей, первичных и вторичных ореолов рассеяния Au и As. 2. Месторождения и проявления золоторудной минерализации (необязательный пункт для слабоизученных перспективных рудных узлов). 3. Геофизические критерии – наличие отрицательных аномалий гравитационного поля, отождествляемых с надынтрузивными зонами гранитоидов или линейными зонами окварцевания
Рудное поле	1. Участок пересечения продольных ЗСРД (зон разломов 3-го порядка) с проявлением интенсивного золотоносного бурошпатового метасоматоза, синхронного линейной складчатости, и секущих сингранитных разломов фундамента, выраженных в складчатом чехле в деформации элементов складок и, соответственно, в искривлении (деформации) ЗСРД. 2. Близость надынтрузивных, околоинтрузивных зон гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса или связанных с ними реоморфических гранитных куполов. 3. Преобладание развития в пределах продольных рудоконтролирующих зон рассланцевания низкотемпературных хлорит-серицитовых (мусковитовых) сингранитных (после регионально-метаморфических) преобразований пород, в том числе наложенных на высокотемпературные регионально-метаморфические парагенезисы	1. Наличие «головок» россыпей золота или участков их резкого обогащения. 2. Геохимические аномалии золота и (или в участках «закрытых» ландшафтов) мышьяка по ВОР (где проведены такие работы), трассирующих рудоконтролирующие зоны рассланцевания. 3. Проявления золоторудной минерализации (необязательный пункт для слабоизученных перспективных рудных полей). 4. Наличие в магнитном поле секущих отрицательных аномалий, границ раздела различных полей, срывов корреляции аномалий. 5. Наличие в материалах АГСМ-съёмки секущих зон повышенных содержаний калия (иногда совместно с торием и ураном). 6. Участок ослабления или «распада» магнитного поля
Месторождение	1. Участок деформации рудоконтролирующей ЗСРД в сингранитный рудный этап с формированием секущими структурами различной сложности флексурных изгибов (как продольных, так и секущих)	1. Кварц-хлорит-серицитовые изменения вмещающих пород в пределах ЗСРД, сопровождающиеся бурошпатизацией и сульфидизацией (пирит и пирротин в различных соотношениях). 2. Делювиальные шлиховые ореолы золота, вторичные ореолы рассеяния золота в нижних и средних горизонтах делювиально-солифлюкционных отложений. 3. Первичные ореолы золота (обычно только в нижних и средних горизонтах делювиально-солифлюкционных отложений). 4. Участок «распада» магнитного поля

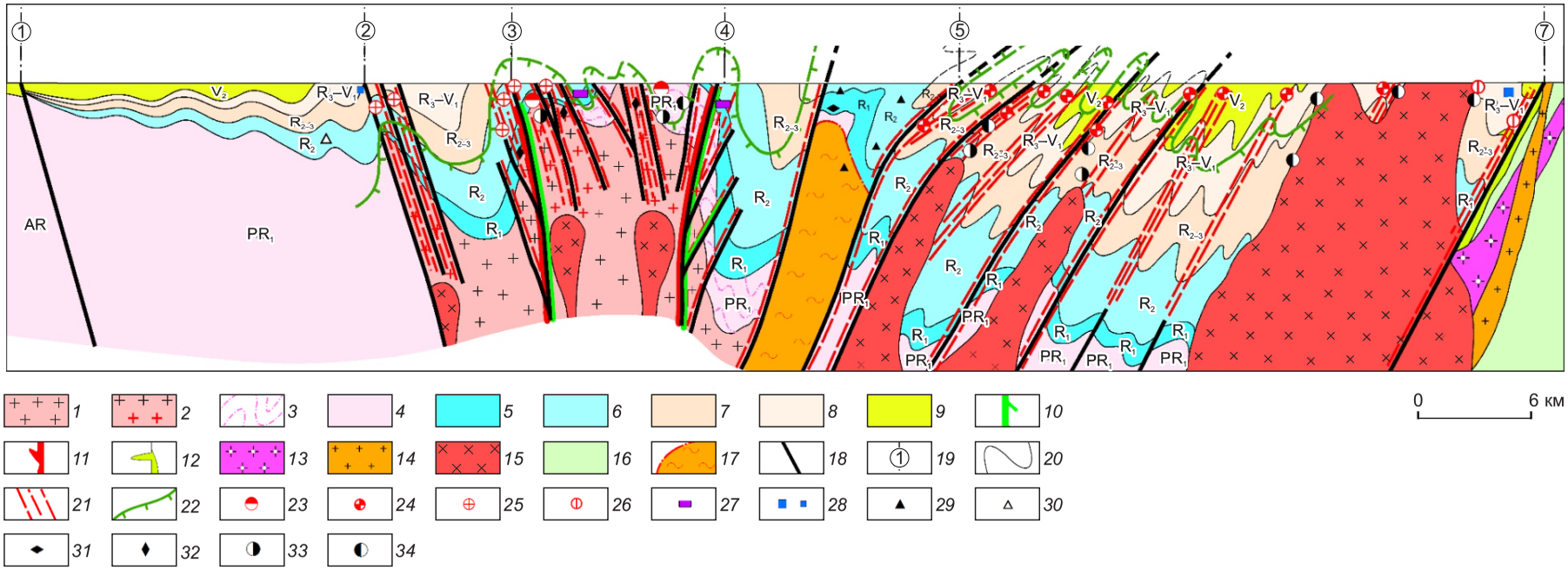


Рис. 20. Модель рифейско-верхнепалеозойского рудообразования в Байкало-Патомской металлогенической провинции [4] (линия разреза на рис. 2):

1–4 – образования раннепротерозойского фундамента: *1* – гранитоиды, *2* – гранитоиды, реоморфизованные в верхнем палеозое, *3* – осадочно-метаморфические породы, *4* – нерасчленённые образования раннепротерозойского фундамента (PR_1); *5–7* – отложения рифея: *5* – раннего (R_1), *6* – среднего (R_2), *7* – среднего–верхнего ($R_{2–3}$); *8* – верхнерифейско-ранневендские отложения ($R_3–V_1$); *9* – верхневендские отложения (V_2); *10–15* – породы магматических комплексов: *10* – базиты чайского, *11* – граниты язовского, *12* – базиты довыренского и муйского, *13* – гранитоиды муйского, *14* – граниты лесного и малоякорного, *15* – гранитоиды конкудеро-мамаканского; *16* – разновозрастные образования Байкало-Муйского пояса; *17* – интенсивно гранитизированные образования; *18, 19* – главные внутриблоковые разломы: *18* – сформированные на стадии седиментации и активизировавшиеся во все последующие этапы, *19* – сформированные при линейной складчатости и активизировавшиеся в последующие этапы (номера разломов см. рис. 2); *20* – геологические границы (пунктиром – предполагаемые выше уровня земной поверхности); *21* – зоны рассланцевания этапа линейной складчатости с проявлением золотоносного бурошпатового метасоматоза, активизировавшиеся при региональном метаморфизме и в сингранитный (конкудеро-мамаканский) этап; *22* – изограда биотита регионального метаморфизма (пунктиром – предполагаемая выше уровня земной поверхности); *23–26* – месторождения и рудопроявления золота Кевактинской (*23*), Бодайбинской (*24*), Дальнетайгинской (*25*) и Додыхтинско-Уряхской (*26*) обстановок [4]; *27–34* – месторождения и перспективные рудопроявления: *27* – железистых кварцитов, *28* – свинца и цинка, *29* – слюды мусковита, *30* – магнезита, *31* – ниобий-фосфор-редкометалльные, *32* – урана, *33* – олова, *34* – вольфрама

Это позволяет на начальном этапе прогнозирования отбраковать неперспективные или слабоперспективные площади. А анализ характера и интенсивности проявления основных рудоконтролирующих критериев (факторов) золотонакопления позволяет прогнозировать и возможный масштаб золоторудных объектов (табл. 3).

Резюме. Специальные исследования ЦНИГРИ в Байкало-Патомской, Енисейской и Верхояно-Колымской металлогенических провинциях (см. рис. 1) показали идентичность их геологической истории и закономерностей формирования золоторудных месторождений, а также полигенный и полихронный характер их рудообразования. Также установлено, что последовательность и характер золотоносных процессов в них очень близки, несмотря на различие в возрастах как седиментационных, так и коллизионных процессов.

Углеродистые терригенные и карбонатно-терригенные отложения, вмещающие золоторудные месторождения, сформировались во всех трёх регионах при осадконакоплении в окраинно-континентальных условиях с проявлением в отдельные периоды непосредственно в их пределах или на периферии эффузивного и интрузивного магматизма. Поэтому во всех существуют наиболее «специализированные» на локализацию золотого оруденения стратиграфические подразделения (свиты): в Байкало-Патомской провинции – бужуихтинская, хомолхинская, аунакитская, догалдынская и их возрастные аналоги; в Енисейской – кординская, горбилокская, удерейская, погорюйская; в Верхояно-Колымской – родионовская, пионерская, атканская, омчакская.

Современная структура названных регионов сформирована в коллизионную эпоху в результате последовательного преобразования углеродистых терригенных и карбонатно-терригенных отложений в течение трёх этапов – линейной складчатости, гранито-гнейсового куполообразования (Верхояно-Колымская провинция отличается относительно слабой эродированностью гранито-гнейсовых куполов) и гранитоидного магматизма. Каждый из этих этапов, включая этап осадконакопления, вносил свою лепту в золотонакопление. Так, при линейном складкообразовании во всех трёх регионах сформированы рудоконтролирующие ЗСРД с проявлением интенсивной золотоносной бурошпатизации (рис. 21). Однотипно проявлены гранито-гнейсовое куполообразование и регионально-метаморфические преобразования пород, в том числе золотоносных в пределах рудоконтролирующих ЗСРД. При активизации рудоконтролирующих ЗСРД в синтранитный «батолитовый» этап и их поперечной

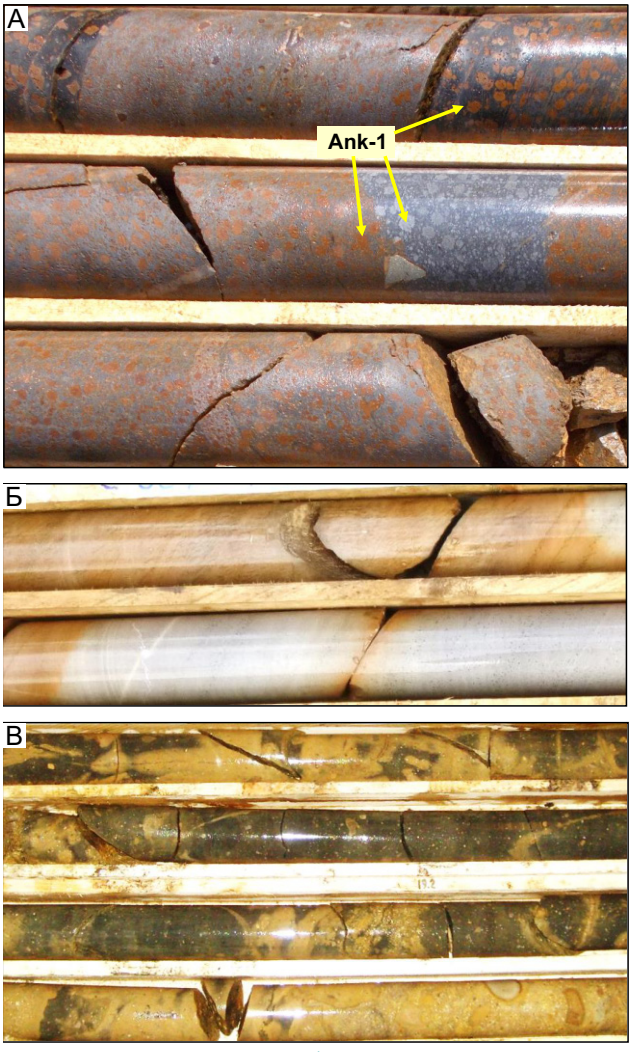


Рис. 21. Характер синскладчатой бурошпатизации (анкерит) в углеродистых сланцах Байкало-Патомской (А – Атырканское рудное поле, см. рис. 13), Енисейской (Б – рудопроявление Южное) и Верхояно-Колымской (В – рудопроявление Олбот) золотоносных провинций:

в экзогенных условиях вблизи водоносных трещин анкерит лимонитизируется (рыжеет) с лимонитизацией породы в целом; нелимонитизированные порфиробласты имеют серый цвет; для Байкало-Патомской провинции характерны более крупные порфиробласты анкерита, чем для Енисейской и Верхояно-Колымской; диаметр керна 63 мм

Табл. 3. Основные рудоконтролирующие критерии (факторы) золотонакопления в рифейско-палеозойской истории развития БППр и влияние интенсивности их проявления на масштаб золоторудных объектов

Этапы золотого рудообразования	Основные рудоконтролирующие геологические образования и процессы	Масштабы объектов		
		Месторождения		Рудопроявления и зоны с бедным оруденением
		Крупные	Средние и мелкие	
I этап – конседиментационный 1650–535 млн лет	Флишоидные углеродистые толщи, конседиментационные разломы фундамента, проявление в их швах базитового и гранитоидного магматизма и гидротермально-метасоматических процессов	Свиты: бужуихтинская, хомолхинская, аунакитская, догалдынская	Все стратиграфические подразделения R_1–V_2 и PR_1	Все стратиграфические подразделения R_1–V_2 и PR_1
II этап – линейного складкообразования 535–424 млн лет	Зоны рассланцевания и бурошпатизации (ЗСРД) над продольными разломами фундамента в позднескладчатую стадию	Вертикальная амплитуда разломов фундамента		
		Вертикальная амплитуда разломов фундамента более 2–3 км	Вертикальная амплитуда разломов фундамента 0,5–2 км	Вертикальная амплитуда разломов фундамента менее 0,5 км
	Секущие разломы фундамента	Амплитуда перемещений		
		Более 1–2 км	Менее 1 км	Разломы слабо выражены
	Синскладчатый метаморфизм «зоны хлорита»	Обязателен	Обязателен	Обязателен
III этап – гранито-гнейсового купо-лообразования 424–392 млн лет	Периферия гранито-гнейсовых структур с деформацией рудоконтролирующих ЗСРД. Региональный метаморфизм зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций	Ближняя периферия гранито-гнейсовых структур, интенсивная деформация ЗСРД	Отдалённая периферия гранито-гнейсовых структур и слабопроявленная ЗСРД	Необязательна
IV этап – гранитоидного магматизма («батолитовых» гранитоидов) 392–300 млн лет	Активизация деформаций в крупных продольных разломах фундамента с усилением складчато-разрывных в деформируемом чехле над ними (в ЗСРД)	Очень интенсивная с образованием зон смятия мощностью до 100–500 м	Интенсивная с мощностью зон смятия до 100 м	Слабо проявлена
	Активизация секущих разломов фундамента, деформирующих линейные складки и ЗСРД и контролирующих гранитоидный магматизм и гидротермально-метасоматические процессы	Проявлена значительным искривлением осей складок и шарниров, «поперечными» жилами и прожилками кварца	Проявлена искривлением осей складок и шарниров, иногда «поперечными» прожилками кварца	Проявлены зонами трещиноватости
	Периферия надынтрузивных зон (в т.ч. реоморфических гранитных куполов) с проявлением гидротермально-метасоматических процессов	Установленных по геолого-геофизическим данным	Предполагаемых по геофизическим данным	Отчётливая связь только для объектов в апикалях массивов
	Уровень сингранитного метаморфизма в ЗСРД	*PT*-условия «зоны хлорита»	*PT*-условия «зоны хлорита»	–

Примечание. Примеры месторождений в БППр: крупные – Сухой Лог, Вернинское, Высочайшее (с учётом эродированности), Чертово Корыто (с учётом эродированности), Невское, Угаханское, Светловское-Спектральное, Атырканское (потенциальное); средние – Ожерелье, Ыканское, Копыловское, Кавказ, Догалдынская жила, Ходоканское и др.

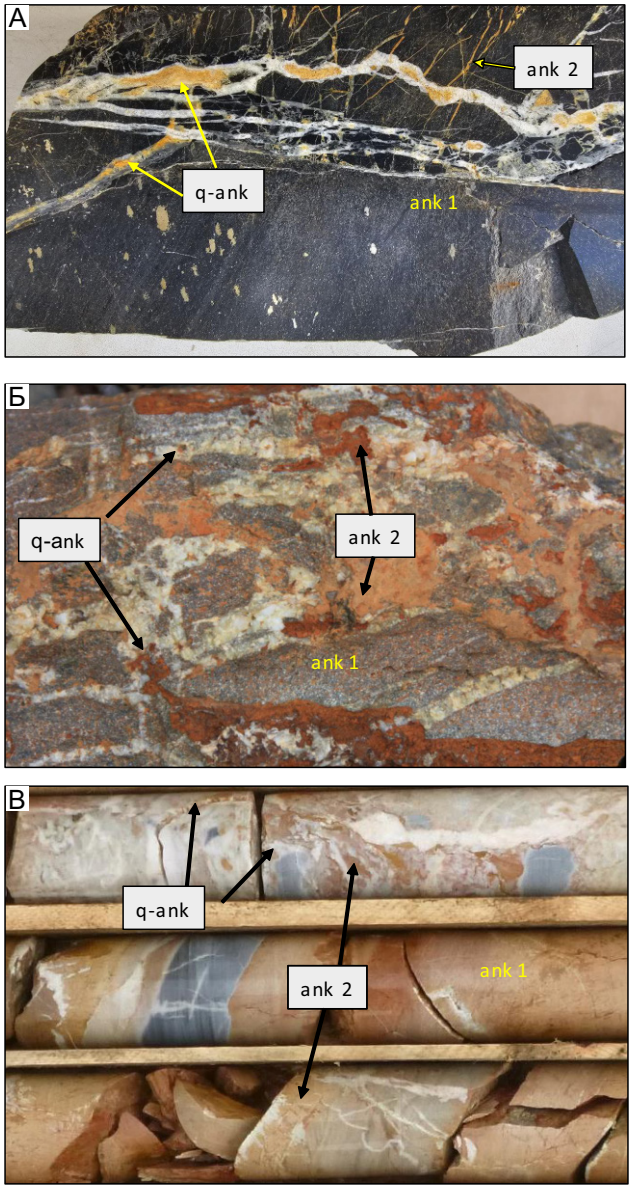


Рис. 22. Прожилковая анкеритовая и кварц-анкеритовая минерализация рудного этапа, наложенная на синскладчатую бурошпатизацию (анкерит-1):

А, Б – Верхояно-Колымская провинция: А – месторождение Павлик, анкерит-1 (ank 1) тонковкрапленный «проявляется» порыжением породы вблизи трещин, прожилки анкеритового (ank 2) и кварц-анкеритового (q-ank) состава рудного этапа, Б – Токичанский участок, аналогично рис. 22, А, только за счёт окисления (лимонитизации) более ярко-рыжим цветом выделяется мелкий порфиробластический анкерит-1; В – Енисейская золоторудная провинция, рудопроявление Южное: анкерит-1 тонковкрапленный и «проявляется» порыжением породы при его лимонитизации, более поздние прожилки анкеритового (ank 2) и кварц-анкеритового (q-ank) состава рудного этапа

и продольной деформаций были сформированы структурные ловушки, в пределах которых на фоне проявления однотипных гидротермально-метасоматических преобразований пород, в том числе диафтореза и синрудной бурошпатизации (см. рисунки 16 и 22), происходила локализация золотого оруденения.

Золоторудные месторождения в терригенных и карбонатно-терригенных углеродистых формациях («черносланцевые толщи») представляют собой яркий пример полигенных и полихронных месторождений. Но значительная часть золоторудных месторождений иных геолого-формационных типов также является таковой. ***Соответственно, при составлении прогнозно-поисковых моделей золоторудных месторождений необходимо учитывать особенности каждого этапа рудообразования и выделять факторы рудоконтроля для каждого из них.***

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ажгирей Д. Г., Арифулов Ч. Х., Берзон Р. О.* [и др.] Прогнозирование и поиски месторождений золота / Под ред. Н. К. Курбанова, В. А. Нарсеева. – М. : ЦНИГРИ, 1989. – 237 с.
2. *Беневольский Б. И., Варгунина Н. П., Берзон Р. О.* [и др.] Методика поисков золоторудных месторождений / Под ред. М. М. Константинова, В. А. Нарсеева. – М. : ЦНИГРИ, 1990. – 245 с.
3. *Буряк В. А.* Метаморфизм и золотое оруденение // Метаморфогенное рудообразование низкотемпературных фаций и ультраметаморфизма. – М. : Наука, 1981. – С. 31–48.
4. *Буряк В. А., Хмелевская Н. М.* Сухой Лог – одно из крупнейших месторождений мира. – Владивосток : Наука, 1997. – 133 с.
5. *Ваганов В. И., Волчков А. Г., Константинов М. М.* [и др.] Методика крупномасштабного и локального прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов / Под ред. И. Ф. Мигачева, М. М. Константиновна. – М. : ЦНИГРИ, 1989. – 274 с.
6. *Вуд Б. Л., Попов Н. П.* Гигантское месторождение золота Сухой Лог (Сибирь) // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 3. – С. 315–341.
7. *Иванов А. И.* Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М. : ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.

8. *Иванов А. И.* Прогнозно-поисковые модели полихронных и полигенных золоторудных месторождений – особенности создания и представления // Тезисы докладов XII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2023. – С. 160–163.
9. *Иванов А. И.* Роль метаморфических условий преобразования углеродистых карбонатно-терригенных отложений для формирования золотого оруденения на разных этапах коллизионной эпохи развития Байкало-Патомской металлогенической провинции // Отечественная геология. – 2017. – № 4. – С. 3–23.
10. *Иванов А. И., Лифшиц В. И., Перевалов О. В.* [и др.] Докембрий Патомского нагорья. – М. : Недра, 1995. – 352 с.
11. *Казакевич Ю. П., Шер С. Д., Жаднова Т. П.* [и др.] Ленский золотоносный район. Стратиграфия, тектоника, магматизм и проявления коренной золотоносности. В 2 т. Т. 1 // Труды ЦНИГРИ. – М. : Недра, 1971. – Вып. 85. – 163 с.
12. *Комплексирование* работ по прогнозу и поискам золото-сульфидно-кварцевых месторождений в эвгеосинклиналях. Прогнозно-поисковые комплексы / сост. Г. М. Левитан [и др.]. – М. : ЦНИГРИ, 1984. – Вып. 13. – 49 с.
13. *Комплексирование* работ по прогнозу и поискам золоторудных месторождений в терригенных толщах. Методические рекомендации. Прогнозно-поисковые комплексы / сост. В. А. Нарсеев, В. М. Яновский. – М. : ЦНИГРИ, 1984. – Вып. 12. – 64 с.
14. *Кривцов А. И., Нарсеев В. А.* Геологоразведочный процесс и прогнозно-поисковые комплексы // Советская геология. – 1983. – № 1. – С. 17–27.
15. *Кряжев С. Г.* Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореферат дис. на соискание учён. степ. доктора геол.-минерал. наук / Кряжев Сергей Гаврилович. – М. : ЦНИГРИ, 2017. – 53 с.
16. *Лаверов Н. П., Чернышев И. В., Чугаев А. В.* [и др.] Этапы формирования крупномасштабной благороднометалльной минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты изотопно-геохронологического изучения // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 415, № 2. – С. 236–241.
17. *Летников Ф. А.* Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования : Смирновский сборник-99. – М. : МГУ, 1999. – С. 63–98.
18. *Металлогенический* кодекс России / сост. А. И. Кривцов, Г. В. Ручкин, А. Ф. Карпузов [и др.]. – М. : Геокарт-ГЕОС, 2012. – 126 с.
19. *Многофакторные* поисковые модели золоторудных месторождений / Под ред. М. М. Константинова, В. А. Нарсеева. – М. : ЦНИГРИ, 1989. – 120 с.
20. *Нарсеев В. А., Сидоров А. А., Фогельман Н. А., Яновский В. М., Буряк В. А.* Основы прогнозирования золоторудных месторождений в терригенных комплексах. – М. : ЦНИГРИ, 1986. – 192 с.
21. *Принципы* и методы формирования оптимальных прогнозно-поисковых комплексов / Под ред. А. И. Кривцова, М. Г. Жарикова, И. Ф. Мигачева // ЭИ ВИЭМС. Серия «Геология, методы поисков и разведки металлических полезных ископаемых». – 1982. – № 6.
22. *Рундквист Д. В.* Особенности геологического развития байкалид // Основные проблемы рудообразования и металлогении. – М. : Наука, 1990. – С. 44–65.
23. *Салоп Л. И.* Геология Байкальской горной области. В 2 т. Т. 2. – М. : Недра, 1967. – 654 с.
24. *Шер С. Д.* Сульфидная минерализация древних слоистых толщ бассейна р. Бодайбо // Труды ЦНИГРИ. – М. : ЦНИГРИ, 1960. – Вып. 30. – С. 38–57.
25. *Юдович Я. Э., Кетрис М. П.* Основы литохимии. – СПб. : Наука, 2000. – 479 с.
26. *Юдович Я. Э.* Черные сланцы в рудогенезе золота: ресурс или барьер? // Минеральное сырье Урала. – 2009. – № 6 (25). – С. 3–11.
27. *Emsbo P., Hutchinson R. W., Hofstra A. H.* [et al.] Syngenetic Au on the Carlin trend: Implications for Carlin-type deposits // Geology. – 1999. – V. 27 (1). – P. 59–62.
28. *Hannington M. D., Herzig P. M., Scott S. D.* Auriferous hydrothermal precipitates on the modern seafloor // Gold metallogeny and exploration / R. P. Foster (ed.). – Glasgow : Blackie, 1991. – P. 249–275.
29. *Large R. R., Maslennikov V. V., Robert F.* [et al.] Multistage Sedimentary and Metamorphic Origin of Pyrite and Gold in the Giant Sukhoi Log Deposit, Lena Gold Province, Russia // Economic Geology. – 2007. – V. 102. – P. 1233–1267.

REFERENCES

1. *Azhgirey D. G., Arifulov Ch. Kh., Berzon R. O.* [et al.] Prognozirovaniye i poiski mestorozhdeniy zolota [Forecasting and prospecting for gold deposits], ed. N. K. Kurbanov, V. A. Narseyev, Moscow, TSNIGRI publ., 1989, 237 p. (In Russ.)

2. *Benevol'skiy B. I., Vargunina N. P., Berzon R. O.* [et al.] Metodika poiskov zolotorudnykh mestorozhdeniy [Methodology of gold ore deposit exploration], ed. M. M. Konstantinov, V. A. Narseyev, Moscow, TSNIGRI publ., 1990, 245 p. (In Russ.)
3. *Buryak V. A.* Metamorfizm i zolotoye orudeneniye [Metamorphism and gold mineralization], Metamorfogennoye rudoobrazovaniye nizkotemperaturnykh fatsiy i ul'trametamorfizma, Moscow, Nauka publ., 1981, pp. 31–48. (In Russ.)
4. *Buryak V. A., Khmelevskaya N. M.* Sukhoy Log – odno iz krupneyshikh mestorozhdeniy mira [Sukhoi Log – one of the largest deposits in the world], Vladivostok, Nauka publ., 1997, 133 p. (In Russ.)
5. *Vaganov V. I., Volchkov A. G., Konstantinov M. M.* [et al.] Metodika krupnomasshtabnogo i lokal'nogo prognoza mestorozhdeniy tsvetnykh, blagorodnykh metallov i almazov [Methodology of large-scale and local forecasting of deposits of non-ferrous, noble metals and diamonds], ed. I. F. Migachev, M. M. Konstantinovn, Moscow, TSNIGRI publ., 1989, 274 p. (In Russ.)
6. *Vud B. L., Popov N. P.* Gigantskoye mestorozhdeniye zolota Sukhoy Log (Sibir) [Giant gold deposit Sukhoi Log (Siberia)], Geologiya i geofizika, 2006, V. 47, No. 3, pp. 315–341. (In Russ.)
7. *Ivanov A. I.* Zoloto Baykalo-Patoma (geologiya, orudeneniye, perspektivy) [Gold of Baikal-Patom (geology, mineralization, prospects)], Moscow, TSNIGRI publ., 2014, 215 p. (In Russ.)
8. *Ivanov A. I.* Prognozno-poiskovyye modeli polikhronnykh i poligennykh zolotorudnykh mestorozhdeniy – osobennosti sozdaniya i predstavleniya [Forecast and exploration models of polychronic and polygenic gold ore deposits – features of creation and presentation], Nauchno-metodicheskiye osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdeniy almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov, Moscow, TSNIGRI publ., 2023, pp. 160–163. (In Russ.)
9. *Ivanov A. I.* Rol' metamorficheskikh usloviy preobrazovaniya uglerodistykh karbonatno-terrigennykh otlozheniy dlya formirovaniya zolotogo orudeneniya na raznykh etapakh kollizionnoy epokhi razvitiya Baykalo-Patomskoy metallogenicheskoy provintsii [The role of metamorphic conditions for the transformation of carbonaceous carbonate-terrigenous deposits for the formation of gold mineralization at different stages of the collisional era of the development of the Baikal-Patom metallogenic province], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2017, No. 4, pp. 3–23. (In Russ.)
10. *Ivanov A. I., Lifshits V. I., Perevalov O. V.* [et al.] Dokembriy Patomskogo nagor'ya [Precambrian of the Patom Highlands], Moscow, Nedra publ., 1995, 352 p. (In Russ.)
11. *Kazakevich Yu. P., Sher S. D., Zhadnova T. P.* [et al.] Lenskiy zolotonosnyy rayon. Stratigrafiya, tektonika, magmatizm i proyavleniya korennoy zolotonosnosti, V. 1 [Lena gold-bearing region. Stratigraphy, tectonics, magmatism and manifestations of primary gold-bearing capacity. Vol. 1], Trudy TSNIGRI, Moscow, Nedra publ., 1971, Is. 85, 163 p. (In Russ.)
12. *Kompleksirovaniye* rabot po prognozu i poiskam zoloto-sul'fidno-kvartsevykh mestorozhdeniy v evgeosinklinalyakh. Prognozno-poiskovyye kompleksy [Integration of works on forecasting and prospecting of gold-sulfide-quartz deposits in eugeosynclines. Forecasting and prospecting complexes], compiled by G. M. Levitan [et al.], Moscow, TSNIGRI publ., 1984, Is. 13, 49 p. (In Russ.)
13. *Kompleksirovaniye* rabot po prognozu i poiskam zolotorudnykh mestorozhdeniy v terrigennykh tolshchakh. Metodicheskiye rekomendatsii. Prognozno-poiskovyye kompleksy [Integration of works on forecasting and prospecting for gold ore deposits in terrigenous strata. Methodical recommendations. Forecasting and prospecting complexes], compiled by V. A. Narseyev, V. M. Yanovskiy, Moscow, TSNIGRI publ., 1984, Is. 12, 64 p. (In Russ.)
14. *Krivtsov A. I., Narseyev V. A.* Geologorazvedochnyy protsess i prognozno-poiskovyye kompleksy [Geological exploration process and forecasting and prospecting complexes], Sovetskaya geologiya, 1983, No. 1, pp. 17–27. (In Russ.)
15. *Kryazhev S. G.* Geneticheskiye modeli i kriterii prognoza zolotorudnykh mestorozhdeniy v uglerodisto-terrigennykh kompleksakh [Genetic models and criteria for forecasting gold ore deposits in carbonaceous-terrigenous complexes], Moscow, TSNIGRI publ., 2017, 53 p. (In Russ.)
16. *Laverov N. P., Chernyshev I. V., Chugayev A. V.* [et al.] Etapy formirovaniya krupnomasshtabnoy blagorodnometall'noy mineralizatsii mestorozhdeniya Sukhoy Log (Vostochnaya Sibir'): rezul'taty izotopno-geokhronologicheskogo izucheniya [Stages of formation of large-scale noble metal mineralization of the Sukhoi Log deposit (Eastern Siberia): results of isotope-geochronological study], Doklady Akademii nauk, 2007, V. 415, No. 2, pp. 236–241. (In Russ.)
17. *Letnikov F. A.* Flyuidnyye fatsii kontinental'noy litosfery i problemy rudoobrazovaniya [Fluid facies of the continental lithosphere and problems of ore formation], Smirnovskiy sbornik-99, Moscow, MGU publ., 1999, pp. 63–98. (In Russ.)
18. *Metallogenicheskiy* kodeks Rossii [Metallogenic Code of Russia], compiled by A. I. Krivtsov, G. V. Ruchkin, A. F. Karpuzov [et al.], Moscow, Geokart-GEOS publ., 2012, 126 p. (In Russ.)
19. *Mnogofaktornyye* poiskovyye modeli zolotorudnykh mestorozhdeniy [Multifactorial search models of gold

ore deposits], ed. M. M. Konstantinov, V. A. Narseyev, Moscow, TSNIGRI publ., 1989, 120 p. (In Russ.)
20. *Narseyev V. A., Sidorov A. A., Fogelman H. A., Yanovskiy V. M., Buryak V. A*. Osnovy prognozirovaniya zolotorudnykh mestorozhdeniy v terrigennykh kompleksakh [Fundamentals of forecasting gold ore deposits in terrigenous complexes], Moscow, TSNIGRI publ., 1986, 192 p. (In Russ.)
21. *Printsipy* i metody formirovaniya optimal'nykh prognozno-poiskovykh kompleksov [Principles and methods of forming optimal forecast and prospecting complexes], ed. A. I. Krivtsov, M. G. Zharikov, I. F. Migachev, EI VIEMS, Seriya ''Geologiya, metody poiskov i razvedki metallicheskikh poleznykh iskopayemykh'', 1982, No. 6. (In Russ.)
22. *Rundkvist D. V.* Osobennosti geologicheskogo razvitiya baykalid [Features of the geological development of Baikalids], Osnovnyye problemy rudoobrazovaniya i metallogenii, Moscow, Nauka publ., 1990, pp. 44–65. (In Russ.)
23. *Salop L. I.* Geologiya Baykal'skoy gornoy oblasti [Geology of the Baikal mountain region], V. 2, Moscow, Nedra publ., 1967, 654 p. (In Russ.)
24. *Sher S. D.* Sul'fidnaya mineralizatsiya drevnikh sloistykh tolshch basseyna r. Bodaybo [Sulfide mineralization of ancient layered strata of the Bodaibo River basin], Trudy TSNIGRI, Moscow, TSNIGRI publ., 1960, Is. 30, pp. 38–57. (In Russ.)
25. *Yudovich Ya. E., Ketris M. P.* Osnovy litokhimii, St. Petersburg, Nauka publ., 2000, 479 p. (In Russ.)
26. *Yudovich Ya. E.* Chernyye slantsy v rudogeneze zolota: resurs ili bar'yer? [Black shales in gold ore genesis: resource or barrier?], Mineralnoye syr'ye Urala, 2009, No. 6 (25), pp. 3–11. (In Russ.)
27. *Emsbo P., Hutchinson R. W., Hofstra A. H.* [et al.] Syngenetic Au on the Carlin trend: Implications for Carlin-type deposits, Geology, 1999, V. 27 (1), pp. 59–62.
28. *Hannington M. D., Herzig P. M., Scott S. D.* Auriferous hydrothermal precipitates on the modern seafloor, Gold metallogeny and exploration. R. P. Foster (ed.), Glasgow, Blackie publ., 1991, pp. 249–275.
29. *Large R. R., Maslennikov V. V., Robert F.* [et al.] Multistage Sedimentary and Metamorphic Origin of Pyrite and Gold in the Giant Sukhoi Log Deposit, Lena Gold Province, Russia. Economic Geology, 2007, V. 102, pp. 1233–1267.

Статья поступила в редакцию 23.07.24; одобрена после рецензирования 02.09.24; принята к публикации 09.09.24.
The article was submitted 23.07.24; approved after reviewing 02.09.24; accepted for publication 09.09.24.

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.

DOI:10.47765/0869-7175-2024-10022

УДК 553.411.042(47+57)
© Г. Ж. Нуржанов, П. А. Ниценко, А. В. Гусев, 2024

Халькозиновая минерализация как основа длительной эксплуатации месторождения Жезказган и её генетические особенности

Аннотация. Приведены результаты изучения наиболее богатой медью и серебром халькозиновой минерализации в процессе геолого-минералогического картирования месторождения Жезказган. Построена трёхмерная минералогическая модель месторождения Жезказган. Выявлены и установлены закономерности развития халькозиновой минерализации, её минералогические и генетические особенности. Определено важнейшее значение халькозиновой минерализации при формировании уникального месторождения Жезказган и его эксплуатации.

Ключевые слова: халькозин, минерализация, трёхмерное моделирование, генезис, месторождение Жезказган, качество руд, медь, серебро.

НУРЖАНОВ ГАЛЫМ ЖУМАБАЕВИЧ, генеральный директор

НИЦЕНКО ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, главный геолог, Pavel.Nitsenco@Kazakhmys.kz

ГУСЕВ АРТЁМ ВАЛЕРЬЕВИЧ, директор департамента прогнозно-ревизионных работ

Товарищество с ограниченной ответственностью «Kazakhmys Barlau (Казахмыс Барлау)», г. Астана, Республика Казахстан

Chalcocite mineralization as the basis for long-term exploitation of the Zhezkazgan deposit and genetic features of this mineralization

G. Zh. NURZHANOV , P. A. NITSENKO, A. V. GUSEV

Kazakhmys Barlau LLP, Astana, Republic of Kazakhstan

Annotation. The article presents results of a study of the most copper- and silver-rich chalcocite mineralization, performed during geological and mineralogical mapping of the Zhezkazgan deposit. Results of constructing a 3D mineralogical model of the Zhezkazgan deposit are presented. Regularities in the development of the chalcocite mineralization, its mineralogical and genetic features have been identified and studied. The crucial importance have been determined of the chalcocite mineralization in the formation of the unique Zhezkazgan deposit and its exploitation.

Key words: Chalcocite, mineralization, 3D modeling, genesis, Zhezkazgan deposit, quality of ores, copper, silver.

Введение. Месторождение Жезказган находится на территории юго-западной части Центрального Казахстана (область Улытау). В геологическом плане объект расположен в пределах северного сегмента Чу-Сарысуйской задуговой впадины (бассейна) Центрально-Казахстанского окраинно-континентального вулкано-плутонического пояса [1, 11].

Месторождение занимает площадь около 87 км^2 (площадь горного отвода), промышленное оруденение локализовано в девяти рудоносных горизонтах по латерали. Под рудоносными горизонтами понимаются пачки красноцветных и сероцветных алевролитов, песчаников, гравелитов и конгломератов, объединённые схожими литолого-фациальными условиями образования. Рудоносные горизонты представлены двумя свитами – нижней таскудукской (257 м) и верхней жезказганской (393 м) средне-позднекаменноугольного возраста, объединёнными в жезказганскую рудоносную толщу.

Жезказганское месторождение медистых песчаников, уникальное по запасам меди и крупное по запасам свинца, цинка, серебра и рения, отрабатывается открытым и подземным способами с 1928 г. К настоящему времени отработаны около

80 % запасов руды, вместе с тем остаточные запасы составляют более 700 млн т балансовых и забалансовых руд.

Сверхдлительная эксплуатация месторождения объясняется не только огромными запасами меди, но и качеством руд. Основное значение имеет широкое развитие халькозиновой минерализации. Халькозин является самым богатым медью природным сульфидом (Cu 79,8 %), содержит значительную примесь серебра. Встречается как в зонах вторичного сульфидного обогащения медных месторождений, так и в рудах гидротермальных кварцево-сульфидных жильных месторождений медных руд, ассоциирует с борнитом, халькопиритом и другими сульфидами, обогащается в основном флотацией.

Халькозиновая минерализация развита практически на всей территории Жезказганского месторождения, во всех рудоносных горизонтах и ассоциирует с другими типами медной минерализации.

Фактический материал и методы исследования. Для выяснения минералогических особенностей медной минерализации месторождения Жезказган в 2020–2024 гг. были выполнены работы по изучению специфики минералогической зональности и созданию современной минералогической модели месторождения. Работы основывались на результатах изучения 1454 аншлифов исторического периода 1970–1974 гг., 92 малых технологических проб (МТП), 753 керновых проб, отобранных из 35 пробуренных заверочных скважин (11 993 пог. м.), проб шлама из скважин буровзрывных работ, отобранных в 32 подземных забоях месторождения, и изготовленных на данном материале 113 шлифов и 811 аншлифов периода 2020–2023 гг.

Вещественный состав малых технологических проб изучен методами химического анализа и оптической микроскопии в проходящем и отражённом свете. Для выявления особенностей химического состава проб применялись следующие методы: атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES), пробирный анализ золота методом атомно-абсорбционной спектрометрии, инфракрасная спектроскопия для определения общих серы, углерода, сульфатной серы, органического углерода. Данный аналитический комплекс выполнен в лаборатории «Stewart Geochemical and Assay» (г. Москва).

Минералого-петрографические исследования проб (МТП) проводились с помощью поляризационного микроскопа Olympus BX53, оснащённого цифровой камерой SIMAGIS XS-3CU, ООО «Новомэк» (г. Санкт-Петербург). Для изучения особенностей минералого-петрографического состава использовался фазовый анализ, который выполнялся в Региональном аналитическом центре «Механобр Инжиниринг Аналит» (г. Санкт-Петербург) на рентгеновском дифрактометре D2 PHASER методом полнопрофильного анализа Ритвельда и путём сравнения с дифрактограммами стандартов (ICDD PDF-2), с применением программ DIFFRAC.TOPAS и DIFFRAC.EVA.

Для изучения особенностей вещественного состава керновых проб были измерены содержания основных химических элементов (51 элемент) методом ICP-AES после царсководочного разложения. Пробирным анализом с AAS окончанием в керновых пробах измерено содержание золота. Во всех керновых пробах методом инфракрасной спектроскопии определены общая сера (S), сульфатная сера ($S_{сульф.}$) и общий углерод (C) и органический углерод ($C_{орг.}$). В керновых пробах с признаками окисления методом фазового анализа определены общая, окисленная, первичная и вторичная медь. Минералого-петрографические исследования полированных шлифов и аншлифов керновых проб проводились под микроскопами марки LEICA DM 2500P в проходящем и отражённом свете, микрофотосъёмка – с использованием штатной ЦФК LEICA и ЦФК CANON-D 70 (г. Алматы).

Изготовленные из шламовых проб прессованные брикеты изучались методами оптической микроскопии в отражённом свете с использованием микроскопа марки Olympus BX53, оснащённого цифровой камерой SIMAGIS XS-3CU. Полученные результаты обрабатывались при помощи специализированного программного обеспечения – анализатора фрагментов микроструктуры твёрдых тел «Минерал С7» компании SIAMS. Минералого-петрографические исследования брикетов шламовых проб выполнялись ТОО «КазГидроМедь» (г. Караганда).

На основании полученных результатов проанализированы минералого-петрографические особенности типов руд с определением минералогических разностей основных рудных компонентов, их количественных соотношений и минералогических типов оруденения. Удалось восстановить и смоделировать пространственное положение на месторождении двадцати одного минералогического типа медной минерализации в неотрабо-

танных запасах (табл. 1), а также в отработанных панелях, штреках, забоях – в оставшихся целиках. В целом по минералогическим типам классифицировано порядка 63 % площади всего месторождения.

Промышленная значимость халькозиновой минерализации. Как показало минералогическое моделирование, на месторождении из всех выделенных типов медных руд наиболее распространена халькозиновая минерализация, составляющая более 65 % объёма медного оруденения (см. табл. 1). Она развивается как самостоятельно, так и в ассоциации с не менее богатой борнитовой минерализацией. В остальных минералогических типах халькозин встречается преимущественно в виде включений или замещает сульфиды меди, образуя псевдоморфозы.

В результате минералогического моделирования получена трёхмерная минералогическая модель месторождения, которая позволяет вести планирование добычных работ с учётом качества руды, зависящего от минералогического состава.

Минералогическая модель отражает 21 тип руд (см. табл. 1), но для изучения влияния халькозиновой минерализации на эффективность эксплуатации месторождения, особенностей распределения данного типа оруденения в структуре месторождения и её генезиса модель была усреднена

Табл. 1. Выделенные минералогические типы медной минерализации на месторождении Жезказган

№ п/п	Минералогические типы руды	Обозначение	Доля оруденения, %
1	**Халькозиновый***	**Cu (hz)**	**50,6**
2	Халькопирит-галенит-сфалеритовый	Cu-Pb-Zn (cp-ga-sph)	1,1
3	Борнитовый	Cu (b)	0,4
4	Борнит-халькопиритовый	Cu (b-cp)	12,3
5	**Борнит-халькозиновый**	**Cu (b-hz)**	**14,8**
6	Халькопиритовый	Cu (cp)	10,5
7	Борнит-халькопирит-галенитовый	Cu-Pb (b-cp-ga)	1,0
8	Борнит-галенитовый	Cu-Pb (b-ga)	0,01
9	Борнит-галенит-сфалеритовый	Cu-Pb (b-ga-sph)	0,1
10	Борнит-халькозин-галенитовый	Cu-Pb (b-hz-ga)	0,4
11	Халькопирит-галенитовый	Cu-Pb (cp-ga)	2,2
12	Халькозин-галенитовый	Cu-Pb (hz-ga)	0,01
13	Борнит-халькопирит-галенит-сфалеритовый	Cu-Pb-Zn (b-cp-ga-sph)	0,6
14	Борнит-халькозин-галенит-сфалеритовый	Cu-Pb-Zn (b-hz-ga-sph)	0,1
15	Халькозин-галенит-сфалеритовый	Cu-Pb-Zn (hz-ga-sph)	0,1
16	Борнит-халькопирит-сфалеритовый	Cu-Zn (b-cp-sph)	0,2
17	Борнит-халькозин-сфалеритовый	Cu-Zn (b-hz-sph)	0,01
18	Халькопирит-сфалеритовый	Cu-Zn (cp-sph)	0,6
19	Галенитовый	Pb (ga)	2,8
20	Галенит-сфалеритовый	Pb-Zn (ga-sph)	0,7
21	Сфалеритовый	Zn (sph)	1,5

Примечание. * – халькозиновая минерализация учитывается только в тех типах, где она является основной.

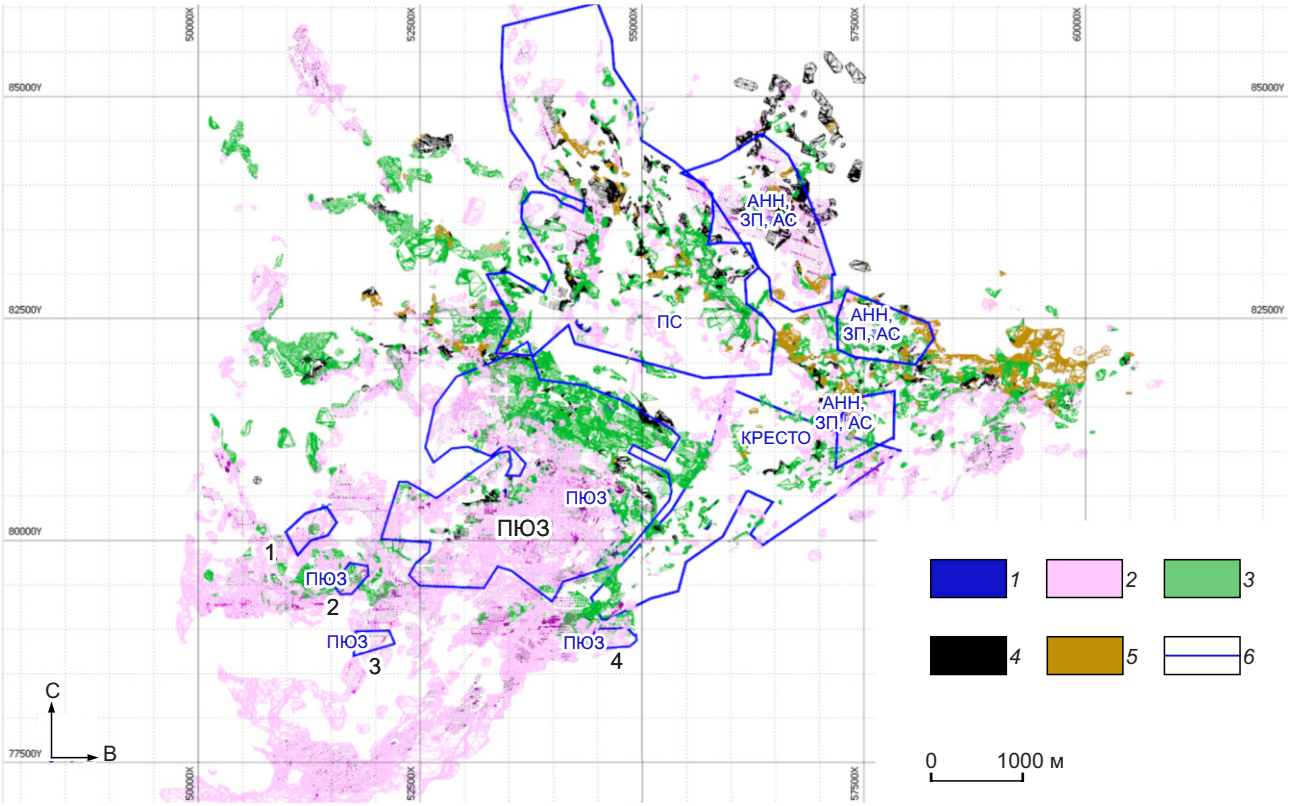


Рис. 1. Распределение основных типов минерализации месторождения Жезказган, согласно полученной трёхмерной минералогической модели (вид сверху). *Синей линией указаны контуры отработки до 1987 г.*:

1–5 – минерализация: *1* – борнитовая, *2* – халькозиновая, *3* – халькопиритовая, *4* – галенитовая, *5* – сфалеритовая; *6* – контуры отработки до 1987 г.

до основной минерализации: борнитовой, халькозиновой, халькопиритовой, галенитовой и сфалеритовой (рис. 1).

Как видно из рис. 1, халькозиновая минерализация простирается более чем на 12 км в северо-восточном направлении, развита на более чем 60 % площади распространения всей рудной жезказганской минерализации, во всех рудниках (Западный, шахты 73/75, 67/70; Восточно-Жезказганский рудник, шахты 55/31, 57, Анненская; Южно-Жезказганский, шахта 45/65) и, соответственно, играет основную роль в эксплуатируемых запасах.

В табл. 2 приведены основные параметры рудных тел, классифицированных по основным типам минерализации.

На месторождении преимущественно развита халькозиновая минерализация, которая действительно имеет основное значение в объёме запасов медных руд.

Наиболее эффективным этапом эксплуатации месторождения Жезказган считается период с 1974 по 1987 гг., когда были достигнуты максимальные показатели добычи меди и значительного компенсационного прироста запасов.

На рис. 2 показана динамика запасов промышленных категорий А + В + C_1 на месторождении Жезказган в 1928–2018 гг., иллюстрирующая эффективность его отработки.

Эффективность отработки месторождения в 1974–1988 гг. объясняется тем, что именно в 1974 г. были завершены обширные минералого-петрографические исследования, по результатам которых впервые была установлена минералогическая зональность природных минералогических типов руд (Г. Д. Младенцов, 1973).

Минералогическая зональность медных руд существенно влияет на их качество. Например, халькозиновая минерализация обеспечивает высокое содержание меди и серебра в добываемой руде.

Табл. 2. Основные параметры рудных тел на месторождении Жезказган*

Тип минерализации**	Суммарная площадь в плане, м²	Доля от общей площади развития минерализации, %	Средняя вертикальная мощность рудных тел, м	Суммарный объём рудных тел, м³	Доля от общего объёма руды, %
Борнитовая	120 522	0,5	7,2	589 514	0,4
Галенитовая	1 752 964	6,6	7,1	10 121 791	6,1
Сфалеритовая	1 268 902	4,8	7,0	8 247 486	5,0
Халькозиновая	**16 316 116**	**61,7**	**7,0**	**107 485 743**	**65,1**
Халькопиритовая	6 983 680	26,4	6,4	38 693 364	23,4
Общий итог	**26 442 184**	**100,0**	**6,9**	**165 137 897**	**100,0**

Примечание. * – состояние параметров на март 2023 г.; ** – параметры включают минерализацию в рудных телах и межкамерных целиках (МКЦ).

Технологические показатели обогащения также зависят от минералогических особенностей состава руд. Например, при одинаковых содержаниях меди борнит-халькозиновый тип отличается крупными взаимными срастаниями, легко отделяемыми при флотационной технологии, а соседствующий с ним халькопиритовый представлен уже мелковкрапленной минерализацией, часто в срастаниях со сфалеритом, оксидами железа и титана (рис. 3).

Принимая во внимание высокую важность минералогического состава медных руд, порядок его описания и учёта при первичной геологической документации был внесён в «Инструкцию по геологическому обслуживанию рудников Джезказганского ГМК», и минералогическая зональность стала учитываться при первичной геологической документации и планировании отработки. Такой подход и обусловил высокую эффективность отработки месторождения в 1974–1987 гг. В настоящее время минералогический состав медных руд при первичной документации не учитывается.

На полученной в 2024 г. трёхмерной минералогической модели месторождения Жезказган восстановлены контуры отработки до 1987 г. (см. рис. 1). В контуры отработки периода наибольшей эффективности эксплуатации попадают преимущественно площади развития халькозиновой минерализации, особенно шахтное поле Покро-Юго-Западный (ПЮЗ), повторяющее конфигурацию развития минерализации в юго-западном направлении. Кроме того, в поле развития халькозиновой минерализации проходились отдельные панели (1–4), вероятно, для поддержания высокого содержания меди в объёме добываемой руды.

Анализ исторического опыта эксплуатации месторождения Жезказган показывает, что учёт минералогической зональности при добыче повышает эффективность отработки, а правильное шихтование руд халькозиновой минерализации с другими типами позволяет эффективно контролировать содержание меди в добываемом сырье.

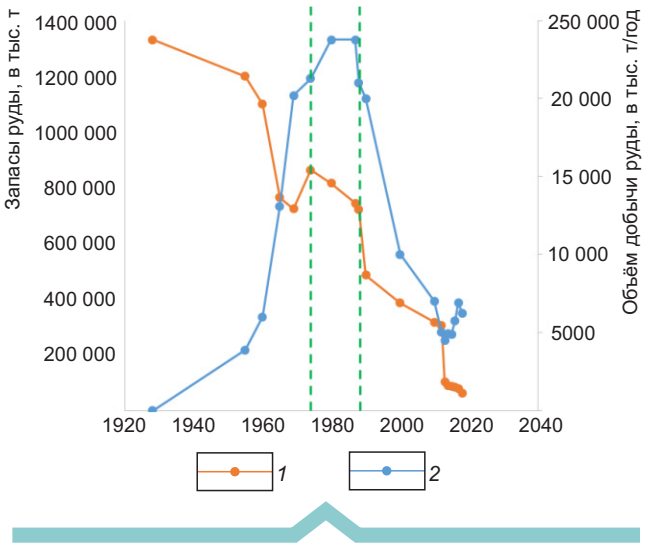


Рис. 2. Движение запасов категорий А + В + C_1 на месторождении Жезказган:

1 – запасы, *2* – добыча

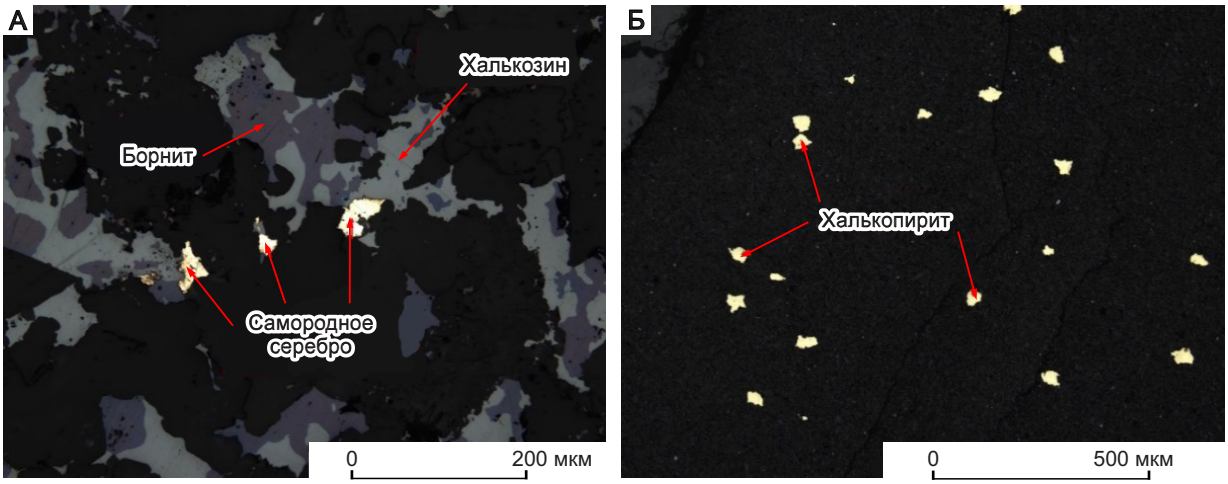


Рис. 3. Размерность медных минералов в аншлифах из МТП 2024 г.:

типы: А – борнит-халькозиновый – срастания (от первых мкм до 1,5 мм) и Б – халькопиритовый – зёрна и сростки с оксидами железа и титана (от первых мкм до 100 мкм)

Генетические особенности халькозиновой минерализации. Важным аспектом для понимания природы рудообразования, перспектив месторождения и правильного направления дальнейших поисков для восполнения добываемых запасов меди является генезис халькозиновой минерализации.

Как известно, халькозин может образовываться гипогенным или гипергенным путём, то есть либо при восстановлении из гипогенных низкотемпературных растворов, либо в процессе дообогащения первичных медных сульфидов медью за счёт миграции сульфатных растворов из зоны выщелачивания.

В гипергенных условиях месторождения Жезказган образование халькозина происходило преимущественно за счёт выщелачивания меди из следующей по распространённости халькопиритовой минерализации с переотложением её в виде халькозина в гипсометрически пониженные проницаемые места, как правило, с другой морфологией халькозиновых рудных тел: богатые маломощные линзы концентрации, натёчные формы, псевдоморфозы халькозина по другим медным сульфидам и др.

Такие проявления вторичной халькозиновой минерализации в рудной зоне месторождения обнаруживаются только в самых нижних залежах 2-I и 2-V нижнего рудоносного горизонта Златоуст, где они занимают весьма ограниченную общую площадь около 0,007 км^2. Основная халькозиновая минерализация обладает другими морфологическими особенностями.

Как видно из табл. 2, на месторождении Жезказган рудные тела с халькозиновой минерализацией сохраняют среднюю вертикальную мощность, аналогичную таковой других типов первичной сульфидной минерализации, в том числе и халькопиритовой.

На рис. 4 показан широтный разрез через халькозиновую и халькопиритовую минерализацию. Халькопиритовая и халькозиновая минерализации в разрезе совпадают по средним мощностям, аналогичны по морфологии и гипсометрически залегают как выше, так и ниже относительно друг друга. Выдерживание средней мощности и морфологии рудных тел с халькопиритовой и халькозиновой минерализацией – структурный признак единого процесса формирования минерализации.

Основная масса халькозиновой минерализации не является гипергенной производной первичных халькопиритовых руд, условия образования халькозина можно считать гипогенными.

Рассматривая особенности образования различных минералогических типов оруденения, нельзя не коснуться вопроса общей генетической модели формирования месторождения Жезказган. На настоящий момент существуют несколько

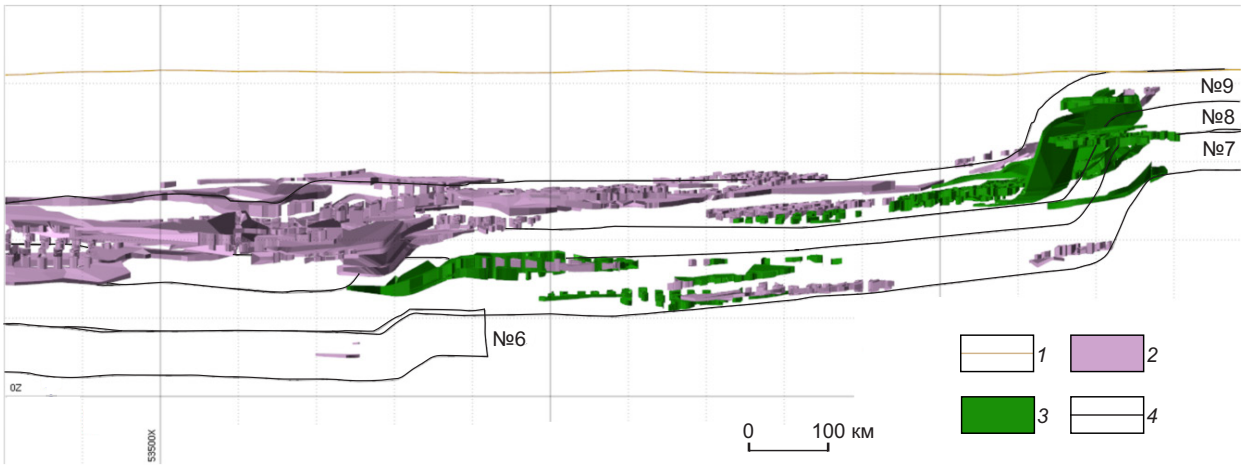


Рис. 4. Разрез рудных горизонтов с халькозиновой и халькопиритовой минерализацией (трёхмерная минералогическая модель месторождения Жезказган):

1 – поверхность рельефа; *2–3* – минерализация: *2* – халькозиновая, *3* – халькопиритовая; *4* – рудные горизонты (номера)

рудогенетических моделей для месторождений типа «медистых песчаников и сланцев» – гидротермально-метасоматическая, эпигенетическая (гидрогенная), седиментационно-диагенетическая, седиментогенная и др. [8]. Наиболее общепризнана модель формирования медной минерализации в песчаниках, в ходе процессов миграции меди в составе рассолов, обогащённых хлорионом в объёме толщ красноцветных формаций, и осаждения медных сульфидов при попадании их в восстановительную сероводородную среду (на сероводородном геохимическом барьере) [4, 9]. При этом возникает вопрос об источнике меди для рассолов, в качестве которого обычно предполагают вмещающие породы – красноцветные толщи, однако сверхнизкие концентрации в них меди не позволяют объяснить огромные размеры месторождения Жезказган и широкое развитие на нём богатой медью халькозиновой минерализации. Для образования таких крупных объектов, как месторождение Жезказган, необходим промежуточный крупный концентратор меди, в качестве которого потенциально может выступать «законсервированная» рудно-магматическая система.

Изотопные данные указывают на биогенное происхождение сульфидной серы в рудах [2, 3, 7, 9 и др.]. При этом главной особенностью изотопии серы на месторождении является преобладание лёгких изотопов (абсолютное большинство значений δS^{34} составляет от 13 до -15‰) с редкими отклонениями δS^{34} для отдельных проб. Общее изотопное единообразие серы сульфидов, слагающих рудные жилы и оруденелые песчаники, свидетельствует о едином источнике серы для всех рудных минеральных ассоциаций месторождения [7].

Можно говорить о едином генезисе основного объёма рудной минерализации на месторождении.

О генезисе халькозиновой минерализации также можно судить по косвенным факторам взаимодействия халькозинового минералогического типа с сульфидной серой.

В 2023 г. методом инфракрасной спектроскопии в 92 МТП и 753 керновых пробах были определены общая сера, углерод, сульфатная сера, органический углерод и рассчитаны показатели сульфидной серы для основной медной минерализации (табл. 3).

В МТП с халькозиновой минерализацией резко понижены содержания серы – среднее значение 0,149 %, в то время как в других медных типах они составляют 0,268–0,9 %, а в полиметаллических (галенитовый и сфалеритовый) – уже 0,644–1,499 %.

Пониженные содержания серы в наиболее богатой медью и наиболее распространённой на месторождении халькозиновой минерализации могут свидетельствовать о том, что при её формировании

Табл. 3. Содержание сульфидной серы в МТП минералогических типов медной минерализации месторождения Жезказган

№ п/п	Основная минерализация / Минералогические типы руды*	Среднее S-сульфид %	Минимум S-сульфид %	Максимум S-сульфид %
1.	**Борнитовая минерализация**	**0,268**	**0,110**	**0,480**
1.1	Сфалерит-халькозин-халькопирит-борнит (+серебро)	0,480	0,480	0,480
1.2	Халькозин-халькопирит-борнит (+серебро)	0,230	0,230	0,230
1.3	Халькопирит-борнит (+серебро)	0,250	0,250	0,250
1.4	Халькопирит-халькозин-борнит	0,110	0,110	0,110
2.	**Галенитовая минерализация**	**0,644**	**0,310**	**1,070**
2.1	Сфалерит-борнит-халькопирит-галенит	0,520	0,520	0,520
2.2	Сфалерит-халькопирит-галенит	0,690	0,310	1,070
2.3	Теннантит (?)-сфалерит-халькопирит-галенит	0,750	0,750	0,750
2.4	Халькопирит-галенит	0,560	0,560	0,560
3.	**Сфалеритовая минерализация**	**1,499**	**0,360**	**6,790**
3.1	Борнит-теннантит (?)-халькопирит-галенит-сфалерит	2,270	2,270	2,270
3.2	Галенит-теннантит (?)-халькопирит-борнит-сфалерит	1,320	1,320	1,320
3.3	Галенит-халькопирит-сфалерит	0,923	0,560	1,470
3.4	Теннантит (?)-галенит-халькопирит-борнит-сфалерит	1,350	1,350	1,350
3.5	Теннантит (?)-галенит-халькопирит-сфалерит	0,703	0,360	1,040
3.6	Халькопирит-галенит-сфалерит	2,274	0,500	6,790
4.	**Халькозиновая минерализация**	**0,149**	**0,080**	**0,630**
4.1	Борнит-халькозин	0,080	0,080	0,080
4.2	Борнит-халькозин (+серебро)	0,135	0,130	0,140
4.3	Борнит-халькопирит-халькозин	0,100	0,100	0,100
4.4	Галенит-халькопирит-борнит-халькозин (+серебро)	0,150	0,150	0,150
4.5	Сфалерит-теннантит-халькопирит-борнит-халькозин (+серебро)	0,120	0,120	0,120
4.6	Халькопирит-борнит-халькозин	0,181	0,080	0,630**
4.7	Халькопирит-борнит-халькозин (+серебро)	0,145	0,090	0,230
5.	**Халькопиритовая минерализация**	**0,901**	**0,210**	**2,950**
5.1	Борнит-халькопирит	0,210	0,210	0,210
5.2	Галенит-сфалерит-халькопирит	1,276	0,330	2,950
5.3	Сфалерит-галенит-халькопирит	0,330	0,330	0,330
5.4	Халькозин-сфалерит-борнит-халькопирит	0,290	0,290	0,290
	Общий итог	0,746	0,080	6,790

Примечание. * – основные минералы приведены в порядке возрастания встречаемости в аншлифах, слева направо; ** – одна из восьми проб в минералогическом типе, показавшая максимальное содержание серы.

Табл. 4. Сравнительная характеристика высотного положения основной минерализации

Основная минерализация	Количество точек треугольников каркасов рудных тел, точки	Минимальная абс. высота точек, м	Максимальная абс. высота точек, м	Средняя абс. высота центроидов треугольников каркасов рудных тел
Борнитовая	39 737	-127,2	390,2	254,4
Галенитовая	212 162	-152,7	417,7	182,1
Сфалеритовая	122 187	-95,9	420,0	153,6
Халькозиновая	**2056 875**	**-501,4**	**446,5**	**134,8**
Халькопиритовая	753 491	-181,4	435,9	201,8

окружающая восстановительная обстановка была относительно низкосернистой, то есть отсутствовал дополнительный привнос серы в систему.

Можно предположить, что минерализация была сформирована за счёт инфильтрации медных гидротермальных растворов из богатого медью и бедного сульфидной серой рудного объекта – промежуточного концентратора меди. В качестве таких объектов, предположительно, могут быть более древние медно-порфировые и кварцево-сульфидные месторождения.

Гидротермальные растворы могли формироваться за счёт ювенильных вод рифтовой зоны и их взаимодействия с эвапоритовыми толщами, благодаря чему растворы обогащались хлор-ионом. В результате их циркуляции происходили выщелачивание и перенос меди из промежуточного концентратора. Ювенильные воды (флюиды) проникали сквозь древние зоны медной минерализации сульфидных руд, формировали подвижные формы меди и обеспечивали миграцию её вверх в зону благоприятного отложения, которая сложилась в жезказганской толще. Для протекания описанного процесса промежуточный концентратор меди должен быть «законсервированным», то есть погребённым отложениями задугового прогиба, и разрушение его происходило только гидрохимическим путём.

Механизмы выщелачивания и переноса минерального вещества ювенильными водными флюидами достаточно полно описаны в современной литературе. Ювенильные флюиды способны играть роль «транспортного средства» при переносе рудных компонентов к зоне рудоотложения [6]. Температура данных вод должна соответствовать диапазону 100–200 °С для взаимодействия и переноса с низко-умереннотемпературными халькозином и самородным серебром. Растворы формируются в глубинных очагах и поднимаются к поверхности по ослабленным зонам, образуя по мере остывания халькозиновую минерализацию с широким размахом по вертикали.

В табл. 4 приведены сравнительные характеристики высотных положений каркасов основных типов оруденения, показывающие размах развития халькозиновой минерализации по гипсометрическим уровням. Наиболее распространённая на месторождении халькозиновая минерализация (наибольшее число точек треугольников каркасов рудных тел) имеет наименьшую абсолютную высотную отметку (-501,4 м) и наибольшую максимальную (446,5 м) при схожей с другими типами минерализации средней высоте центроидов треугольников каркасов рудных тел. Это означает, что халькозиновая минерализация расположена, большей частью, на схожем гипсометрическом уровне с другими типами минерализации, но в отличие от них характеризуется широким размахом по вертикали и связана с глубинными зонами геологического разреза территории. Такая связь может быть проинтерпретирована как каналы доставки меди гидротермальными растворами при формировании халькозиновой минерализации.

Для выявления потенциальных каналов поступления растворов использован гипсометрический метод, основанный на построении в ПО «Micromine» изолиний высотных отметок поверхностей каркасов рудных тел халькозиновой минерализации. Трёхмерный рисунок изолиний (горизонталей) кровли рудных тел для осадочных или стратиформных месторождений отражает «подземный рельеф» проницаемых зон, по которым происходили миграция и разгрузка обогащённых медью растворов. В результате моделирования

удалось установить гипсометрическое положение халькозиновой минерализации и определить возможные пути миграции растворов, образующих её (рис. 5).

Как видно на рис. 4, халькопиритовая минерализация расположена примерно на том же гипсометрическом уровне, что и халькозиновая, но последняя имеет более крутые профили склонов, особенно в зонах разломов, залегает как выше, так и ниже халькопиритовой. Халькозиновая минерализация формирует сложнопостроенную поверхность, охватывающую разные гипсометрические уровни между Восточно-Улытауским и Теректинским разломами. На поверхности выявляются зоны вблизи разломов, где горизонтали халькозиновой минерализации значительно погружаются, а также район Акчий-Спасского карьера, где наблюдается значительное вздымание горизонталей халькозиновой минерализации, с выходом на дневную поверхность. Гипсометрическая модель халькозиновой минерализации позволяет в общих чертах определить направления поступления обогащённых медных растворов из глубинных частей, а зоны погружения горизонталей, вероятно, служат каналами их миграции.

На рис. 5 синими пунктирными стрелками указаны предварительные направления соединения наиболее низких и высоких частей поверхностей халькозиновой минерализации – возможные направления проникновения медных растворов из очагов генерации.

На месторождении Жезказган локализованы (на современном уровне развития минерализации) пять участков вероятных зон генерации гидротермальных медных растворов. Это зоны вдоль Теректинского и Восточно-Улытауского разломов, и зона восточней Акчий-Спасского карьера» (на рис. 5 показаны условными номерами).

Характер распределения халькозиновой минерализации в структуре месторождения может рассматриваться как своеобразный поисковый признак, а зоны возможного развития каналов миграции гидротермальных растворов служить перспективными направлениями для поисков более глубоких залежей, которые потенциально могли выступать в роли промежуточных концентраторов меди.

Гидротермальные растворы в очагах их генерации находятся под литостатическим давлением и отличаются большей тепловой энергией, чем перекрывающие горные породы, поэтому их движение к поверхности происходит в результате естественной конвекции и инфильтрации. Растворы должны мигрировать по поровому пространству и трещинам в породах, зонам разломов и при остывании до температуры кристаллизации халькозина, формировать халькозиновую минерализацию в условиях восстановительной обстановки.

Формирование халькозиновой минерализации за счёт привноса и отложения меди из растворов оказывает специфическое влияние на особенности рудной минерализации и петрографию вмещающих горных пород.

Минералогические особенности халькозиновой минерализации. Собственно, халькозиновый минералогический тип оруденения представлен мелкозернистыми агрегатами халькозина в интерстициях зёрен нерудных минералов, в виде гнёзд и кайм вокруг обломков пород, в виде халькозинового цемента вдоль слоистости или в виде прожилков в трещинах горных пород, в которых происходила разгрузка раствора (рис. 6).

Проиллюстрированные на рис. 6 формы выделения халькозиновой минерализации развиты во всех девяти рудных горизонтах месторождения Жезказган, формируя своеобразную основу, куда «вложены» борнит-халькозиновый и халькопиритовый минералогические типы руд.

В мономинеральной халькозиновой минерализации очень редки или полностью отсутствуют другие сульфиды меди и железа. Вероятно, это связано с относительной нехваткой железа в халькозиновой минерализации, поскольку она пересыщена медью.

Халькопирит в пробах халькозинового типа руды встречается редко, в виде единичных ксеноморфных изометричных зёрен и в сростках с борнитом, пиритом, ковеллином, оксидами железа и титана и раздельно от халькозиновой минерализации. Борнит присутствует преимущественно в мирмекитовых сростках с халькозином с волнистыми и извилистыми границами прорастания.

Халькозиновая минерализация наиболее обогащена серебром, его среднее содержание серебра составляет 8,7 г/т (при максимальном 82,2 г/т), что является наиболее высоким среди всех типов медной минерализации. Серебро в медных рудах месторождения находится в самородном виде, а в минеральной форме фиксируется редко.

Тесная связь серебра с медью именно в халькозиновой руде установлена ещё в 1970-х гг.

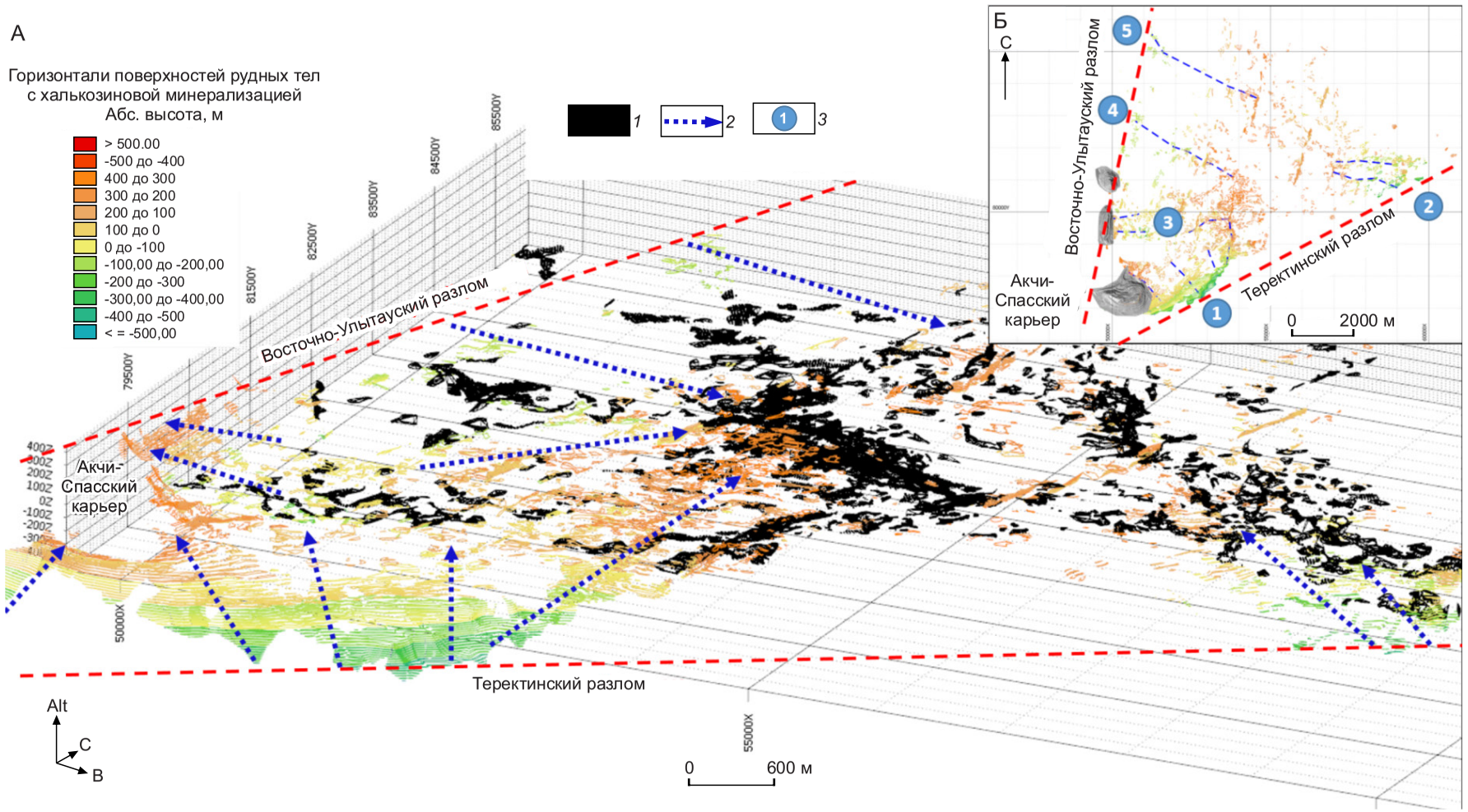


Рис. 5. Гипсометрическая модель образования халькозиновой минерализации:

А – 3D-модель, Б – план; *1* – халькопиритовая минерализация; *2* – направление проникновения низкотемпературных медных растворов; *3* – участки вероятных зон генерации гидротермальных медных растворов

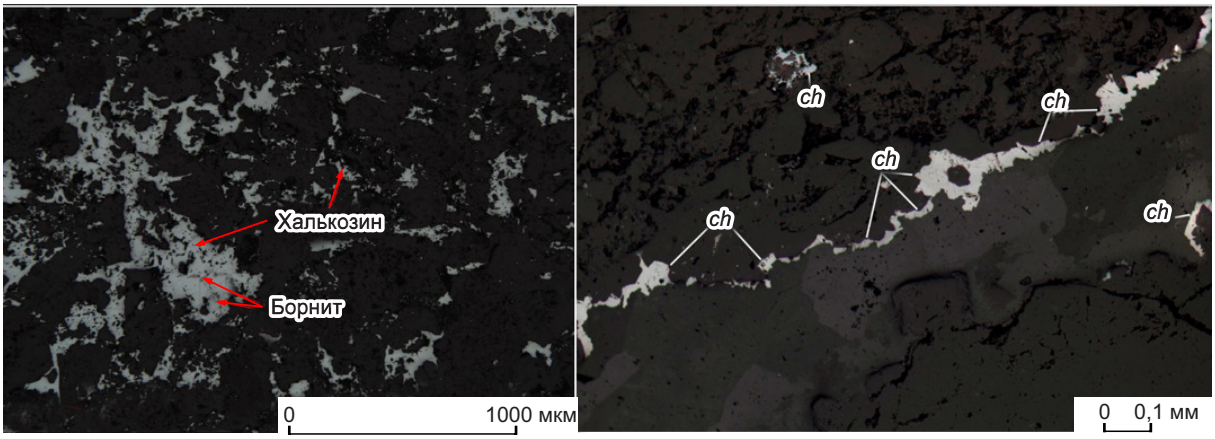


Рис. 6. Халькозиновая минерализация в аншлифах из МТП 2024 г.

в результате изучения закономерностей распределения серебра в рудах месторождения Джезказган (Ш. Е. Есенов, 1976). Серебро спорадически встречается во всех типах медной минерализации, но наибольшая корреляция его с халькозином». Объяснения этому тогда не были даны. При этом также было установлено, что одни и те же сульфиды меди в разных частях месторождения обладают разной сереброносностью. Сегодня спорадический характер нахождения серебра в руде выявляется при обогащении, на фабрике.

Рассматриваемый в настоящей работе вариант формирования халькозиновой минерализации за счёт гидрохимического разрушения законсервированной древней медно-порфировой системы (промежуточного концентратора меди) косвенно объясняет спорадическую сереброносность халькозиновых руд тем, что растворы растворяли и переносили серебро из эпитермальных, жильных образований, сопровождающих медно-порфировую систему.

На рис. 7 показаны взаимоотношения халькозиновой минерализации с борнитом, халькопиритом и самородным серебром. Как видно на рисунках 6 и 7, халькозиновая минерализация, выполняющая основной объём месторождения, представлена либо мономинеральным, халькозиновым агрегатом, либо агрегатами с богатым медью борнитом и самородным серебром. Серебро обычно присутствует в халькозиновой минерализации в виде изоморфной примеси, повторяет форму выделений халькозина, что может говорить о одновременном поступлении меди и серебра в растворах и их совместном отложении.

Петрографические особенности вмещающих пород. Известно, что в рудоносных песчаниках месторождения Жезказган имеются прослои «раймундовских» конгломератов, галька которых состоит из окремнённых известняков, кварца, эффузивных и метаморфических пород, гранитоидов из области сноса. По данным петрографических исследований МТП в 2022–2024 гг., халькозиновая минерализация развивается в средне-мелкозернистых и мелкозернистых аркозовых песчаниках. Цемент – преимущественно глинистый, реже гидрослюдисто-глинистый, карбонатный, кварцевый.

Породообразующие минералы – обломки кварца, калиевых полевых шпатов, микрокварцитов, эффузивов, глинистых, гидрослюдисто-глинистых и карбонатных пород разной окатанности.

В табл. 5 приведены результаты качественного и полуколичественного рентгенофазового анализов по определению породообразующих минералов в МТП из разных типов основной минерализации.

Как видно из табл. 5, основным породообразующим минералом вмещающих пород месторождения Жезказган является кварц, а количество в целом первичных минералов магматического происхождения более 90 %.

Основные характерные обломки минералов, явно интрузивного, гидротермального и метасоматического происхождения. Кварц в породах представлен либо мономинеральными слабоокатанными

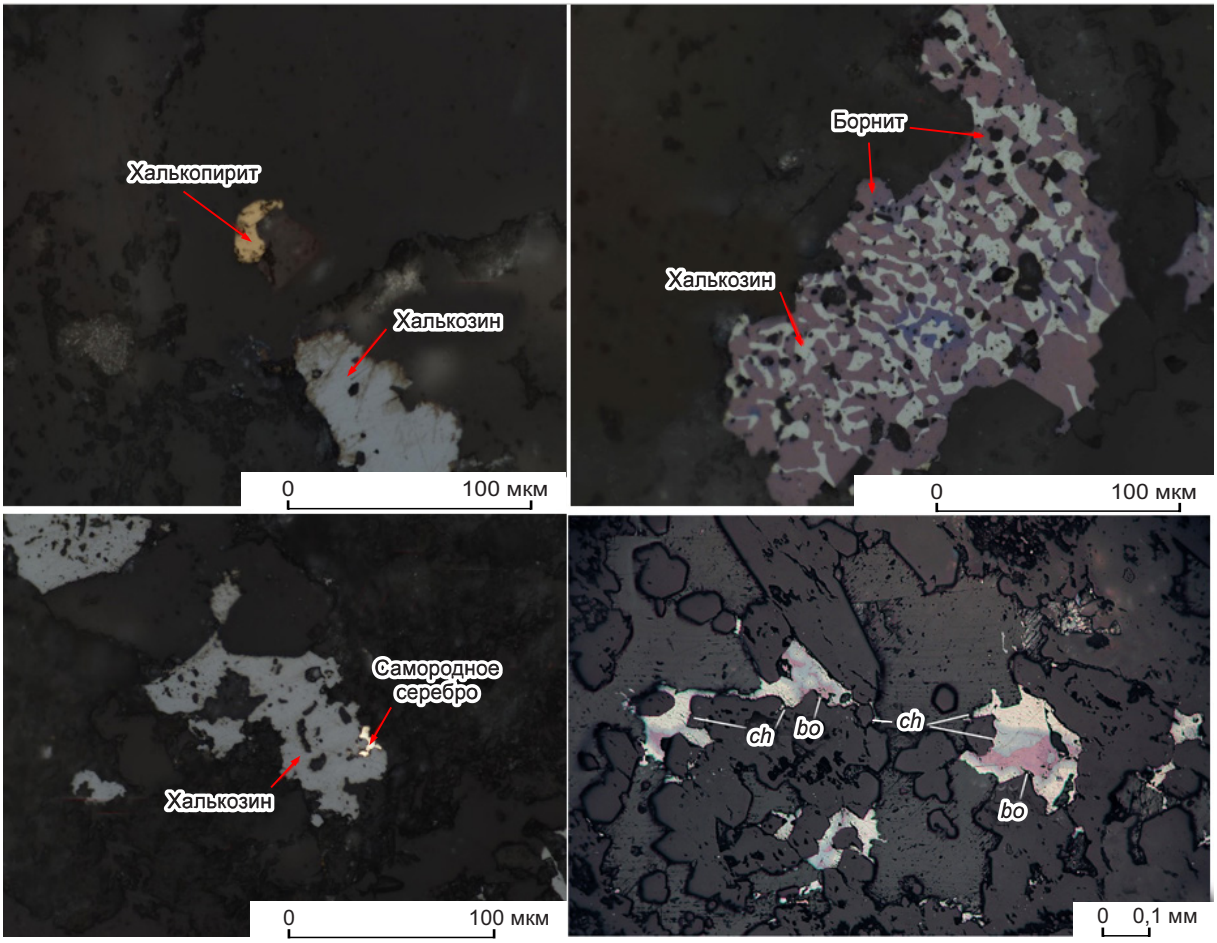


Рис. 7. Взаимоотношения халькозиновой минерализации с другими минералами в аншлифах из МТП 2024 г.

обломками, либо обломками кварцитов. Отмечается наличие скрытокристаллической разновидности кварца – халцедона, который образует сноповидные агрегаты низких цветов интерференции, имеет сферолитовое погасание и в общей структуре образует линзовидные включения. Размер зёрен халцедона достигает 0,14 мм. Халцедон может быть связан с низкотемпературными гидротермальными процессами, характерными для медно-порфировых систем.

Преобладание кислого плагиоклаза альбита над олигоклазом и средним андезином говорит о разрушении кислых магматических пород (возможно, более близких к гранодиоритам).

По плагиоклазу развивается мусковит. Мусковит в пробах в основном представлен серицитом и развивается как вторичный минерал по плагиоклазам, так и в основной хлорит-серицитовой массе. Образует тонкочешуйчатые, игольчатые агрегаты с яркими цветами интерференции. Серицитизация неравномерная: от точечных включений до полного замещения. Интенсивность серицитизации основной массы – от средней до сильной. Почти все обломки плагиоклазов и полевых шпатов замещаются вторичными минералами – хлоритом, серицитом, оксидами и гидроксидами железа.

Хлорит встречается в тонкочешуйчатой массе совместно с серицитом, образует радиально-лучистые, тонковолокнистые агрегаты, замещает темноцветные минералы в обломках эффузивных пород.

Группа калиевого полевого шпата (ортоклаз и микроклин) занимает подчинённое значение – не более 6%, что говорит о разрушении магматических пород нормального ряда, а также об уничтожении этих неустойчивых минералов в экзогенных условиях.

Табл. 5. Содержание породообразующих минералов в МТП минералогических типов минерализации месторождения Жезказган

МТП из минерализации	Содержание, в %								
	Qtz	Or	Mc	Ab	And	Olig	Cal	Ms	Всего
Галенитовой	36,5	1,2	5,6	21,0	3,1	0,6	13,7	9,9	**91,5**
Сфалеритовой	35,7	1,5	4,6	23,8	2,1	0,9	12,1	10,2	**90,9**
Халькозиновой	**36,2**	**1,2**	**2,4**	**24,3**	**2,0**	**0,6**	**10,5**	**14,5**	**91,7**
Халькопиритовой	35,2	1,5	3,0	23,1	2,2	1,8	11,0	13,2	**91,1**
Общий итог	35,9	1,3	3,0	23,6	2,2	0,9	11,0	13,5	**91,5**

Примечание. Qtz – кварц, Or – ортоклаз, Mc – микроклин, Ab – альбит, And – андезин, Olig – олигоклаз, Cal – кальцит, Ms – мусковит; в расчётах участвуют 59 МТП: 5 – галенитовая, 4 – сфалеритовая, 34 – халькозиновая и 16 – халькопиритовая минерализация.

Вмещающие породы преимущественно являются продуктом разрушения кислых интрузивных пород. Наличие обломков, неустойчивых минералов в зоне гипергенеза типа ортоклаза или микроклина говорит о незначительном расстоянии переноса.

На основании комплексного анализа особенностей геологического строения, петрографии вмещающих пород и рудной минералогии месторождения можно предположить, что источником медных растворов, ответственных за формирование гипогенной минерализации, служат потенциально медьсодержащие образования, предположительно медно-порфировой природы, особенно учитывая тот факт, что область изучаемого месторождения сформировалось в задуговом прогибе

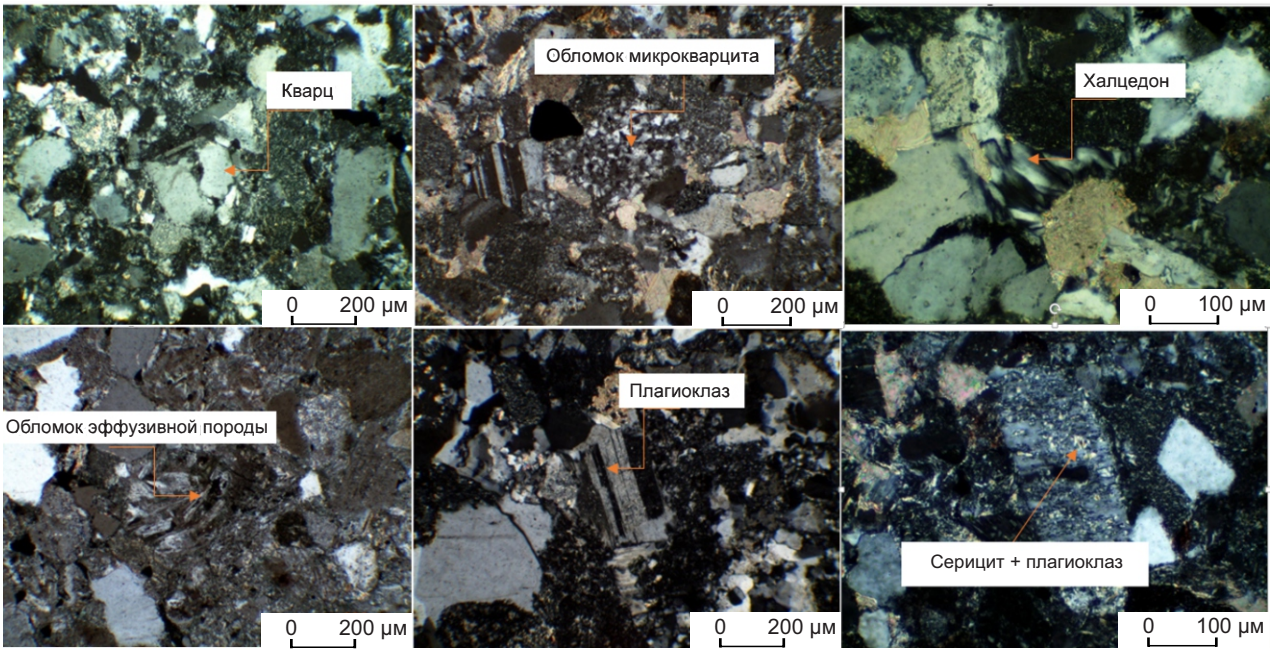


Рис. 8. Характерные обломки во вмещающих породах (фотографии петрографических шлифов из МТП 2024 г.)

в зоне сопряжения с девонской вулканической дугой, являющейся благоприятной геодинамической обстановкой для локализации объектов медно-порфирового типа [5, 12].

Источник медных гидротермальных растворов – промежуточный концентратор меди – медно-порфировая система, скорее всего, обеднён медью в связи с её длительным и интенсивным выносом в жезказганскую толщу, но при этом он должен оставаться богатым попутным серебром и, возможно, золотом. На это указывают спорадические находки самородного золота в отвалах месторождения Жезказган [10]. В 2022 г. в ходе исследований минеральных форм нахождения редких металлов в техногенных минеральных образованиях ТОО «Корпорация Казахмыс» в отвалах месторождения Жезказган было обнаружено золото в сложной связи с теллуром и кадмием (ЕНИ ПГНИУ, Пермь, 2022), что указывает на низкотемпературный характер его образования (теллураты). В 2023 г. в районе Восточно-Улытауского разлома, на периферии месторождения Итауз (17 км от месторождения Жезказган) в структурно-поисковой скважине на глубине 425 м в сероцветных песчаниках было найдено самородное золото в виде гипидиоморфных и ксеноморфных золотинок с неровными, зазубренными краями. То есть можно заключить, что золото не подвергалось окатыванию при образовании песчаника, а золотины образовались вследствие внедрения и осаждения в мелкопоровой структуре песчаника из гипогенных гидротермальных растворов.

Выводы. 1. Богатая халькозиновая минерализация обеспечила длительную и эффективную эксплуатацию месторождения Жезказган, развита на всей территории объекта и играет основную роль в объёме запасов медных руд.

2. В период истощения и доработки запасов месторождения переход к селективной добыче минералогических типов руд с последующим шихтованием обеспечит эффективное управление содержанием меди и серебра в добываемой руде.

3. Богатая гипогенная халькозиновая минерализация месторождения могла сформироваться за счёт инфильтрации меди и серебра из промежуточного концентратора – древней законсервированной медно-порфировой системы в результате её гидрохимического разрушения.

4. Возможность выявления эпитермальной серебряной (с золотом) минерализации повышает перспективы глубоких горизонтов при проведении глубинных поисковых работ в Жезказганском рудном районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аубакиров Х. Б.* О глубинном происхождении рудообразующих растворов на урановых месторождениях в платформенных отложениях депрессивных структур (на примере Шу-Сарысуйской провинции) // Геология Казахстана. – 1998. – № 2. – С. 40–47.
2. *Банникова Л. А., Белый В. М., Наумов В. Б.* Особенности формирования стратиформных медных руд Джезказгана по изотопным данным и результатам изучения флюидных включений в минералах // Геохимия. – 1982. – № 2. – С. 198–208.
3. *Богданов Ю. В., Голубчина М. Н., Прилуцкий Р. Е.* [и др.] О некоторых особенностях изотопного состава сульфидов железа в палеозойских отложениях Джезказгана // Геохимия. – 1971. – № 11. – С. 1376–1379.
4. *Габлина И. Ф.* Роль геохимических барьеров при формировании сульфидных руд в различных геологических обстановках // Вестник Геологического института РАН. – 2021. – № 3. – С. 45–57.
5. *Звездов В. С.* Обстановки формирования крупных и сверхкрупных медно-порфировых месторождений // Отечественная геология. – 2019. – № 5. – С. 16–35.
6. *Мартынова М. А., Хаустов В. В., Диденков Ю. Н.* Ювенильные воды // Пространство и Время. – 2013. – № 1(11). – С. 132–139.
7. *Сатпаева М. К.* Руды Джезказгана и условия их формирования. – Алма-Ата : Наука, 1985. – 208 с.
8. *Трубачев А. И.* Генетические модели формирования руд медистых песчаников и сланцев // Вестник ЧитГУ. – 2010. – № 7 (64). – С. 106–113.
9. *Box S. E., Syusyura B., Seltmann R., Creaser R. A., Dolgopolova A., Zientek M. L.* Dzhezkazgan and Associated Sandstone Copper Deposits of the Chu-Sarysu Basin, Central Kazakhstan // Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe / Hedenquist J. W., Harris M., Camus F. (Eds.). – Society of Economic Geologists. – 2012. – P. 303–328.

10. *Duczmal-Czernikiewicz A., Baibatsha A., Bekbotayeva A., Omarova G., Baisalova A.* Ore Minerals and Metal Distribution in Tailings of Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits from Poland and Kazakhstan // Minerals. – 2021. – V. 11, № 7. – P. 752.
11. *Korobkin V. V., Buslov M. M.* Tectonics and Geodynamics of the Western Central Asian Fold Belt (Kazakhstan Paleozoides) // Russian Geology and Geophysics. – 2011. – V. 52, № 12. – P. 1600–1618.
12. *Sillitoe R. H.* Copper Provinces // Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe / Hedenquist J. W., Harris M., Camus F. (Eds.). – Society of Economic Geologists. – 2012. – P. 1–18.

REFERENCES

1. *Aubakirov Kh. B.* O glubinnom proiskhozhdenii rudoobrazuyushchikh rastvorov na uranovykh mestorozhdeniyakh v platformennykh otlozheniyakh depressivnykh struktur (na primere Shu-Sarysuyskoy provintsii) [On the deep origin of ore-forming solutions at uranium deposits in platform deposits of depressive structures (using the Shu-Sarysu province as an example)], Geologiya Kazakhstana [Geology of Kazakhstan], 1998, No. 2, pp. 40–47. (In Russ.)
2. *Bannikova L. A., Belyy V. M., Naumov V. B.* Osobennosti formirovaniya stratiformnykh mednykh rud Dzhezkazgana po izotopnym dannym i rezul'tatam izucheniya flyuidnykh vklyucheniy v mineralakh [Features of the formation of stratiform copper ores of Dzhezkazgan according to isotope data and the results of studying fluid inclusions in minerals], Geokhimiya [Geochemistry], 1982, No. 2, pp. 198–208. (In Russ.)
3. *Bogdanov YU. V., Golubchina M. N., Prilutskiy R. Ye.* [et al.] O nekotorykh osobennostyakh izotopnogo sostava sul'fidov zheleza v paleozoyskikh otlozheniyakh Dzhezkazgana [On some features of the isotopic composition of iron sulfides in the Paleozoic deposits of Dzhezkazgan], Geokhimiya [Geochemistry], 1971, No. 11, pp. 1376–1379. (In Russ.)
4. *Gablina I. F.* Rol' geokhimicheskikh bar'yerov pri formirovanii sul'fidnykh rud v razlichnykh geologicheskikh obstanovkakh [The role of geochemical barriers in the formation of sulfide ores in various geological settings], Vestnik Geologicheskogo instituta RAN, 2021, No. 3, pp. 45–57. (In Russ.)
5. *Zvezdov V. S.* Obstanovki formirovaniya krupnykh i sverkhkrupnykh medno-porfirovykh mestorozhdeniy [Formation environments of large and super-large copper-porphyry deposits], Otechestvennaya geologiya [Domestic geology], 2019, No. 5, pp. 16–35. (In Russ.)
6. *Martynova M. A., Khaustov V. V., Didenkov YU. N.* Yuvenil'nyye vody [Juvenile waters], Prostranstvo i Vremya [Space and Time], 2013, No. 1(11), pp. 132–139. (In Russ.)
7. *Satpayeva M. K.* Rudy Dzhezkazgana i usloviya ikh formirovaniya [Ores of Dzhezkazgan and the conditions of their formation], Alma-Ata, Nauka publ., 1985, 208 p. (In Russ.)
8. *Trubachev A. I.* Geneticheskiye modeli formirovaniya rud medistykh peschanikov i slantsev [Genetic models of formation of ores of copper sandstones and shales], Vestnik ChitGU, 2010, No. 7 (64), pp. 106–113. (In Russ.)
9. *Box S. E., Syusyura B., Seltmann R., Creaser R. A., Dolgopolova A., Zientek M. L.* Dzhezkazgan and Associated Sandstone Copper Deposits of the Chu-Sarysu Basin, Central Kazakhstan, Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe, Society of Economic Geologists, 2012, pp. 303–328.
10. *Duczmal-Czernikiewicz A., Baibatsha A., Bekbotayeva A., Omarova G., Baisalova A.* Ore Minerals and Metal Distribution in Tailings of Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits from Poland and Kazakhstan, Minerals, 2021, V. 11, No. 7, pp. 752.
11. *Korobkin V. V., Buslov M. M.* Tectonics and Geodynamics of the Western Central Asian Fold Belt (Kazakhstan Paleozoides), Russian Geology and Geophysics, 2011, V. 52, No. 12, pp. 1600–1618.
12. *Sillitoe R. H.* Copper Provinces, Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe, Society of Economic Geologists, 2012, pp. 1–18.

Статья поступила в редакцию 09.09.24; одобрена после рецензирования 16.09.24; принята к публикации 16.09.24.
The article was submitted 09.09.24; approved after reviewing 16.09.24; accepted for publication 16.09.24.

DOI:10.47765/0869-7175-2024-10023

УДК 553.078
© В. С. Звездов, 2024

Влияние геотектонических обстановок формирования вулкано-плутонических поясов на металлогению медно-порфировых рудных районов и узлов

Аннотация. Оценено влияние геотектонических обстановок формирования вулкано-плутонических поясов на рудно-формационную зональность находящихся в их пределах комплексных медно-порфировых рудно-магматических систем, эквивалентных рудным районам и узлам. Отмечено, что сочетания разнотипных рудных месторождений, сопряжённых и совмещённых с медно-порфировыми в объёме единых систем, зависят от строения земной коры, положения и природы рудоносных магматических очагов, а также металлогении фундамента поясов. Установленные особенности комплексной металлогении рудно-магматических систем должны учитываться при прогнозе и поисках как медно-порфировых, так и ассоциирующих с ними месторождений иных рудно-формационных типов.

Ключевые слова: вулкано-плутонические пояса, медно-порфировые месторождения, металлогения, рудно-магматические системы, рудно-формационные типы, рудные районы и узлы, прогноз, поиски.

ЗВЕЗДОВ ВАДИМ СТАНИСЛАВОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела,
zvezdov@tsnigri.ru

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

The effect of the geotectonic settings of volcano-plutonic belts on the metallogeny of the porphyry copper ore regions and clusters

V. S. ZVEZDOV

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

Annotation. The effect has been appreciated of the geotectonic settings of formation of volcano-plutonic belts on the ore-formation zonality of their related complex porphyry copper ore-magmatic systems (equivalent to ore regions and clusters). It is shown that combinations of different types of ore deposits, spatially and genetically associated with porphyry copper deposits within the volume of the unified systems, depend on the earth's crust structure, on the position and nature of the ore-bearing magmatic chambers, as well as on the metallogeny of the belt basements. The identified specific characteristics of the complex multiformational metallogeny of the ore-magmatic systems should be taken into account in the forecast and prospecting for both porphyry copper deposits and their associated ore deposits of other ore-formation types.

Key words: volcano-plutonic belts, porphyry copper deposits, metallogeny, ore-magmatic systems, ore-formation types, ore regions and clusters, forecast, prospecting.

Медно-порфировые месторождения (МПМ) локализованы в рудно-магматических системах (РМС) вулкано-плутонических поясов (ВПП), которые по преобладающему магматизму А. И. Кривцовым [9] были разделены на базальтоидные и андезитоидные. Петрология и металлогеническая специализация вулкано-плутонических ассоциаций (ВПА), участвующих в строении этих поясов, предопределяются глубинными «материнскими» очагами на границе нижнего слоя земной коры (ЗК) океанического, континентального и переходного типов с астеносферой, а также «промежуточными» очагами в её верхней части. Различия в составе магм и металлоносности этих очагов отражаются в характеристиках рудоносных плутоногенных формаций (комплексов), рудно-метасоматической зональности и вещественном составе руд месторождений медно-порфирового семейства, что в той или иной степени отражено в их отечественных (А. И. Кривцов, И. Г. Павлова, В. Т. Покалов, В. С. Попов и др.) и зарубежных (А. Сазерленд-Браун, Дж. Гриффитс, К. Гудвин, С. Кейт, Г. Вестра, Р. Силлитоу, Дж. Оярзун, Дж. Фрутос, Дж. Лоуэлл, Дж. Джилберт, В. Холлистер, Д. Кокс, Д. Сингер и др.) классификациях.

Изучение медно-порфировых РМС, многие из которых обладают комплексной металлогенией, необходимо для совершенствования геолого-генетических основ прогнозирования медно-порфировых и ассоциирующих с ними месторождений, а также прогнозно-поисковых моделей рудных районов и узлов, эквивалентных таким системам. Петрология и рудно-формационная зональность комплексных медно-порфировых рудно-магматических систем (КМП РМС), как и рудно-метасоматическая зональность и состав руд принадлежащих им месторождений медно-порфирового семейства, предопределяются геотектоническими обстановками образования ВПП, а именно строением ЗК, положением магматических очагов, продуцирующих ВПА, в т. ч. рудоносные, а также составом и металлогенией структурно-вещественных комплексов (СВК) фундамента (субстрата) поясов.

Геотектонические обстановки формирования вулкано-плутонических поясов. Положение и обстановки формирования ВПП с медно-порфировыми месторождениями в глобальных геоструктурах – островодужных, окраинно-континентальных орогенно-активизационных (кордильерского и андийского типов), внутриконтинентальных коллизионных орогенно-складчатых и рифтовых поздне- и постколлизионных – рассмотрены в работах многих отечественных и зарубежных исследователей.

Господствовавшая до 80-х годов XX века «геосинклинальная» гипотеза образования таких поясов в ходе эволюции ЗК сменилась концепцией дрейфа литосферных плит («новой глобальной тектоникой»), связывающей формирование океанической и континентальной коры с процессами дифференциации вещества мантии. Этой концепции, отводящей субдукционным процессам главенствующую роль в магмогенерации и рудообразовании, придерживается в настоящее время большинство геологов. Однако, её положениями нельзя объяснить многие наблюдаемые особенности положения (в геоструктурах) и геологического строения ВПП, в частности островодужных базальтоидных Филиппинского архипелага, где такие пояса формировались довольно длительное время (с раннего мела по плейстоцен) в сравнительно узкой зоне конвергентной границы Филиппинской и Евразийской плит без значительного латерального смещения. Кроме того, доминирующая плейттектоническая гипотеза не даёт полного объяснения возникновению внутриконтинентальных ВПП (и ассоциирующих с ними медно- и молибден-порфировых, редкометалльных и др. месторождений) на поздне- и постколлизионных стадиях эволюции ЗК. В появившейся в середине 1990-х годов монографии Д. Муллера и Д. Гровса [29], а позднее в работах Дж. Ричардса [31], С. Г. Соловьева [18] и др. специалистов эти вопросы «решены» предположением о появлении на этих стадиях крупных мантийных диапиров, внедрявшихся сквозь разрывы сплошности погружавшихся под континентальные окраины океанических плит в обстановках замедления и прекращения активной субдукции (деламинации ЗК). Процессы образования таких диапиров в результате постколлизионного растяжения, коллапса горных сооружений и эпиорогенного рифтогенеза описаны в монографиях В. Е. Хаиным и М. П. Ломизе [18], Н. В. Короновским и Л. И. Деминой [8] и др.

Не вдаваясь в детали существующих представлений о геотектонической эволюции литосферы и связанных с ней процессов магмогенерации и рудогенеза, автор настоящей статьи на основе обширных материалов предшествующих исследователей выделяет несколько обстановок

формирования ВПП с месторождениями медно-порфирового семейства. Очевидно, что с магматическими формациями таких поясов генетически связаны месторождения и других геолого-промышленных типов, но они не являются предметом обсуждения в этой работе.

Базальтоидные ВПП с Au-Cu- и Cu-порфировыми месторождениями представляют собой элементы энсиматических островных дуг (ОД), развивавшихся на океанической коре при субдукционных, рифтогенных и сопровождающих их магматических процессах. Такие пояса сложены в основном породами толеитовой и известково-щелочной серий натриевого профиля. По геотектонической позиции, строению и составу магматических комплексов эти пояса могут быть разделены на надсубдукционные – океанические и периокеанические и рифтовые [12].

С ВПА, слагающими островодужные ВПП первых двух обстановок, генетически связаны Au-Cu-порфировые и сопряжённые с ними в объёме единых систем скарновые и эпитермальные месторождения цветных и благородных металлов. Руды Au-Cu-порфировых объектов характеризуются повышенной золотоносностью, довольно высокими содержаниями Cu при практически полном отсутствии Mo. С ВПА рифтогенных базальтоидных поясов ассоциируют Cu-порфировые объекты с низкими содержаниями Cu, Au и Mo. Рудно-метасоматическая зональность МПМ всех трёх названных обстановок в целом соответствует «диоритовой» модели, разработанной В. Холлистером [22].

К *океаническим* отнесены островодужные ВПП, сформированные непосредственно над конвергентными границами литосферных плит. ВПА, участвующие в их строении, составлены базальт-андезит-дацитовой и габбро-диорит-тоналитовой формациями. Завершающие порфировые фазы рудоносной существенно натриевой плутоногенной формации представлены порфировидными диоритами, кварцевыми диоритами, диоритовыми порфиритами. Руды МПМ обладают повышенными содержаниями Au при аномально низких Mo. Ярким примером являются пять разновозрастных (от раннего мела до плейстоцена) поясов островной дуги Санда (Восточная Зондская дуга, Индонезия) на границе Евразийской и Индо-Австралийской плит, протягивающейся на 1800 км в широтном направлении от о. Ява на западе до островов Сумбава, Флорес и Банда на востоке. Они состоят из отдельных вулкано-плутонических центров с Au-Cu-порфировыми месторождениями и сопряжёнными Au-Cu-скарновыми и эпитермальными Au-Cu и Au-Ag объектами типов «высокой» (HS), «средней» (IS) и низкой (LS) сульфидизации. Наиболее крупные из них – порфировые месторождения Бату Хайджау, Тумпангпиту, Эланг, Хью'ю расположены в позднемиоцен-плиоценовом ВПП.

К *периокеаническим* относится большинство базальтоидных ВПП с месторождениями Au-Cu-порфирового типа. Такие пояса возникают при субдукции океанической коры под континентальную и располагаются в периокеанических островодужных структурах (между фронтальными прогибами, примыкающими к желобам, и внутренними (тыловыми) зонами островодужного пространства), нередко представляя собой их внешние барьерные зоны. Здесь проявлен известково-щелочной магматизм натриевого профиля. ВПА, продуктивная на Au-Cu-порфировые руды (с высокими содержаниями Au), представлена базальт-андезибазальтовой и габбро-диорит-кварцево-диоритовой формациями с рудоносными фазами кварцевых диоритовых порфиритов и плагиогранит-порфиров.

Примером являются базальтоидные ВПП Филиппинского архипелага на границе Евразийской и Филиппинской плит, принадлежащие так называемому Филиппинскому Мобильному поясу, протягивающемуся в меридиональном направлении от о. Лусон на севере до о. Минданао на юге. Рудоносные магматические формации этих поясов возникали несколько раз во временном интервале от раннего мела до плейстоцена, отражая цикличность островодужного магматизма, но во всех случаях они представлены породами натриевой известково-щелочной серии – диоритами–кварцевыми диоритами с порфировыми фазами того же состава и их излившимися аналогами. Здесь выделены рудные районы Манканьян, Багио, Маридукью, Атлас, Суригао и др. с более чем 50 Au-Cu-порфировыми (FSE, Гуинаоанг, Буаки, Кеннон, Блэк Маунтин, Наггет Хилл и др.) и сопряжёнными с ними эпитермальными Au-Cu и Au-Ag (HS, IS и LS типов) месторождениями и проявлениями, наиболее крупные из которых сосредоточены на севере Восточно-Филиппинского пояса (о. Лусон). Ещё один пример подобных ВПП в ЮВ Азии – пояса Новобританской (месторождения Плесиуми, Эсис и Кулу)

и Соломоновой (Пангуна, Колуола) островных дуг на границе Индо-Австралийской и Тихоокеанской плит.

К этому же периокеаническому типу относятся базальтоидные ВПП Прибрежного минерагенического пояса запада Аляски, находящиеся над зонами субдукции вблизи границы Северо-Американской и Тихоокеанской плит. Расположенные в их пределах МПМ (Костелло Крик, Грабстейк, Ипдиан Пасс Лейк, Баумтофф и др.), по данным В. Холлистера, С. Анцалоне, Д. Рихтера [23], сопряжены с массивами диоритов, роговообманковых диоритов, реже гранатсодержащих диоритов, которые входят в состав раннетриасовых, раннеюрских, позднеюрско-раннемеловых и третичных островодужных ВПА, вулканогенная часть которых представлена базальтами, андезибазальтами и андезитами.

Периокеанические базальтоидные пояса с Au-Cu-порфировыми объектами также выделены в структурах Алеутской (Островной ВПП с месторождениями Пирамид, Драй Крик), Центрально-Американской (Панама – Рио Пинто, Патикан, Наваганди) и Антильской (Пуэрто-Рико, Ямайка – Рио Виви, Танама, Ла Муда, Коппер Майн Пойнт) островных дуг на границе Южно- и Северо-Американской литосферных плит [9].

Палеотектоническая позиция океанических и периокеанических островных дуг и входящих в их состав базальтоидных ВПП с Au-Cu-порфировыми месторождениями в определённой степени сходна. Все вышеназванные ОД с поясами этого типа приурочены к конвергентным границам литосферных плит, занимают надсубдукционную позицию и являются производными базитовых магматических очагов океанической ЗК. Вместе с тем, ВПП океанических ОД отличаются большей протяжённостью, линейной формой и отчасти строением в сравнении с периокеаническими [12].

В принципиально иной палеотектонической обстановке формируются *рифтогенные* базальтоидные ВПП с медно-порфировыми и скарново-медно-порфировыми объектами Уральской металлогенической провинции. Во внутриконтинентальных океанических рифтах глубокого заложения такие пояса – Ирендыкский (месторождения Салаватское, Вознесенское, Круглогорское), Новоалексеевский (Гумешевское), Верхнеуральский (одноимённое), Именновский (Воскресенское), Малоуральский (Новогоднее-Монто) – располагаются как непосредственно над претерпевшими орогенную инверсию базальтоидными прогибами, так и на их флангах (плечах). Продуктивная на медно-порфировые руды ВПА завершает натриевые серии базальтоидного магматизма и сменяет во времени однородную базальтовую и дифференцированные колчеданоносные контрастную и непрерывную формации. Вулканогенная часть ВПА представлена базальт-андезибазальтовой либо андезибазальт-андезитовой формациями, плутоногенная – габбро-диорит-плагиогранитовой и габбро-диорит-тоналит (гранодиорит)-плагиогранитовой. Руды МПМ характеризуются малыми содержаниями Au и Mo.

К этому же типу геоструктур, с определённой степенью условности, можно отнести Кони-Тайгоносскую (Удско-Мургальскую) раздвигово-шовную (рифтогенную) зону, отделяющую Охотоморскую литосферную плиту от Азиатского континента. По существу, она представляет собой своеобразную структуру островодужного типа. В её пределах с позднего палеозоя по неоком формировались островодужные комплексы – вулканогенные и вулканогенно-терригенные базальт-андезитовые ($T–J_2$ и $J_3–K_1$), базальтовые и габбро-гранодиорит-тоналит-плагиогранитные (K_1), участвующие в строении одноимённого ВПП. На них в позднемеловое время были наложены формации андезитоидного Охотско-Чукотского пояса.

В юго-западном сегменте Удско-Мургальского ВПП (на Кони-Пьягинском полуострове) известны несколько медно-порфировых проявлений – Лора (наиболее крупное), Прямой, Икрумунское, Викинг, Антара, Тальниковое I и II и другие, которые ассоциируют с порфировыми фазами диорит-гранодиорит-тоналитовых интрузивов. В северо-западном (Чукотском) отрезке этого пояса с интрузивными массивами той же формации сопряжены медно-порфировые проявления Базовое и Моренное. Все названные объекты характеризуются низкими содержаниями Cu и Mo при практическом отсутствии Au.

В истории развития ОД в первых двух обстановках базальтоидные ВПП с Au-Cu-порфировыми месторождениями, в т. ч. крупными, образовывались несколько раз в течение длительных временных интервалов, что отражает цикличность островодужного магматизма. В третьей, рифтогенной, базальтоидные пояса возникали однократно. Здесь формировались преимущественно мелкие Cu-порфировые объекты с убогими содержаниями

металлов, что, вероятно, можно объяснить истощением потенциала рудоносных магматических очагов – продуцентов предшествующих медно-колчеданных месторождений [12].

Андезитоидные ВПП представляют собой линейные протяжённые окраинно-континентальные (аккреционные) и внутриконтинентальные (позднеи постколлизионные) геоструктуры, образовавшиеся на субстрате различного состава и возраста в орогенно-активизационном режиме. Для них характерен K-Na, Na-K и существенно К профиль магматизма (известково-щелочной, шошонитовой, щелочной серий) и широкий спектр рудных месторождений, включая Cu-Mo-, Mo-Cu-, Au-Mo-Cu- и Au-(Mo)-Cu-порфировые. (Под термином «андезитоидные ВПП», введённым в своё время А. И. Кривцовым [9], понимаются пояса, сложенные вулканогенными и плутоногенными формациями названных серий).

К *окраинно-континентальным* относится большинство поясов Востока России, Северной (Кордильеры) и Южной (Анды) Америк, Европы (Карпато-Балкано-Динарская система), Средней Азии (Казахстан, Узбекистан). Они образовались при субдукции океанических плит под континентальные на ЗК сиалического и переходного сиалофемического типов. Вместе с ОД, аккреционными призмами, фрагментами континентов и осадочных бассейнов такие надсубдукционные ВПП составляют глобальные орогенно-складчатые пояса [6–8]. В отличие от островодужных обстановок для них характерен более пологий угол наклона зоны субдукции [19]. Для центрального сектора андийских третичных ВПП, например где сосредоточены десятки МПМ, в т. ч. большинство крупнейших Cu-Mo-порфировых объектов мира, таких как Чукикамата, Эль Теньенто, Коллахаузи, Рио Бланко – Лос Бронсес, Ла Эскондида и др. (Чили), этот угол не превышает 30°. В южном сегменте этих поясов, где зона субдукции имеет крутые углы падения, МПМ отсутствуют. Пологое падение субдукционной поверхности установлено и для Каролинской океанической плиты, погружавшейся в олигоцене под Австралийскую континентальную. В сформировавшихся здесь в миоцене–плейстоцене ВПП Новогвинейской металлогенической провинции находятся гигантские Au-(Mo)-Cu-порфировые объекты «переходных» окраинно-континентальных – коллизионных обстановок – Грасберг (Индонезия), Фрида Ривер, Уафи-Голпу Ок Теди (Папуа – Новой Гвинея).

С точки зрения некоторых исследователей [1, 18, 25, 29], аккреционные андезитоидные ВПП представляют собой островные дуги поздней («зрелой») стадии развития, для которой характерен калиевый субщелочной (шошонитовый) магматизм, с которым связывается возникновение МПМ. Продуктивную ВПА таких поясов составляют трахибазальт-трахиандезитовая и диорит-монцодиоритовая формации с рудоносной фазой порфировидных кварцевых монцодиоритов и монцонит-порфиров. В рудах ассоциирующих с ними объектов отмечаются значимые содержания Mo, основным источником которого считается деплетированная астеносфера.

Внутриконтинентальные ВПП с МПМ принадлежат орогенно-складчатым системам памиро-гималайского (Тибета, Ю. Китая, Ирана, Пакистана) либо монголо-охотского (Центральной Азии) типов, сформировавшимся при коллизии континентальных плит. На ранней и поздней стадиях этого процесса интенсивное латеральное сжатие вызывает складчато-сдвиговые деформации и метаморфизм зеленосланцевой, амфиболитовой, а в низах ЗК гранулитовой фаций. Раздавливание тектонических блоков на краях сталкивающихся литосферных плит приводит к горообразованию с увеличением мощности континентальной коры до 60–65 км. Рост горных сооружений также может быть связан с деламинацией (отслаиванием) литосферного корня орогенных сооружений с гравитационным отрывом и погружением в астеносферу тяжёлых базитовых блоков нижней части ЗК вместе с подстилающими их мантийными. Следствием этого процесса может являться быстрый подъём оставшейся части литосферы, сопровождаемый активным вулканизмом ввиду подъёма мантийного материала к подошве ЗК [8, 19].

Внутри континентов на границах сталкивающихся плит ВПП возникают в завершении позднеколлизионной и на постколлизионной стадиях развития орогенов при смене геодинамического режима сжатия растяжением, когда происходит тектонический коллапс горных сооружений, а ЗК утоняется с разрывом сплошности и возникновением рифтов. Через появившиеся «окна» внедряются астеносферные диапиры (плюмы), кровля которых достигает подошвы коры. В недрах орогенов, над астеносферными выступами, достигаются условия, достаточные для анатексиса осадочно-вулканогенных толщ с возникновением гранитных батолитов S-типа [20]. В зонах син-

и постколлизионного рифтогенеза (при замедлении или полной остановке субдукции) в составе продуктов магматизма начинают преобладать калиевые известково-щелочная и субщелочная (шошонитовая), реже щелочная серии – результат плавления нижней коры и верхов мантии. Продуктивный на медно-порфировое оруденение магматизм представлен в основном шошонитовой серией [18, 24, 27, 29, 31, 35]. К образовавшимся в таких обстановках МПМ перечисленными приверженцами такой концепции отнесены Cu-Mo-порфировые объекты Тибета (Юлонг, Маласонгдуо, Мангжонг, Кулонг, Жайма и др.) и Малого Кавказа (Каджаран), Au-Mo-Cu-порфировые – США (Бингхэм Каньон Уосатчского ВПП и др.) и, предположительно, Сихотэ-Алиня (Лазурное, Малмыж), Папуа – Новой Гвинеи (Фрида Ривер, Ок Теди) и Индонезии (Грасберг).

Кроме отмеченных палеотектонических обстановок нахождения ВПП с МПМ существуют «переходные» варианты, в частности «окраинно-континентальная – коллизионная», к которой автор данной статьи относит третичные ВПП Новогвинейской металлогенической провинции с упомянутыми гигантскими Au-(Mo)-Cu-порфировыми месторождениями Грасберг, Фрида Ривер, Ок Теди, а также недавно введённым в эксплуатацию крупнейшим месторождением того же типа Уафи-Голпу.

Рассмотренные различия в геотектонической (геодинамической) позиции поясов, имеющих разные материнские магматические очаги – в коре океанического, континентального или переходного типов, безусловно отражаются в петрологии рудоносных ВПА и составляющих их формаций, рудно-метасоматической зональности, минералогии и составе руд МПМ, а также в металлогении КМП РМС, в объёме которых кроме медно-порфировых часто встречаются объекты других РФТ. Определённое значение имеют состав СВК фундамента (субстрата) поясов с древними месторождениями, которые подвергались регенерации (с переотложением рудного вещества) при тепловом воздействии плутонов продуктивных формаций.

Комплексная металлогения ВПП и медно-порфировых РМС. Андезитоидные аккреционные ВПП отличаются от базальтоидных островодужных более сложным строением и разнообразной металлогенией, что обусловлено их гетерогенным субстратом (фундаментом) и наличием магматических очагов – источников флюидов и рудного вещества не только на границе ЗК с астеносферой, но и в её верхнем гранитном слое («промежуточных). В поздне- и постколлизионных обстановках формирования внутриконтинентальных поясов такими источниками, вероятно, могли служить мантийные диапиры.

В наиболее полном виде выделяются три этапа развития *аккреционных* андезитоидных поясов [11, 28], которым соответствуют нижний, средний и верхний структурно-формационные этажи (СФЭ). С магматическими комплексами каждого СФЭ генетически связаны месторождения определённых РФТ. МПМ образуются на первом этапе при становлении ВПА – андезитоидных и комагматичных им габбро-диорит-гранодиоритовой либо диорит-гранодиорит-монцонитовой формаций, с которыми ассоциируют Au-Mo-Cu- и Cu-Mo-порфировые объекты. Для их руд характерны повышенные содержания Mo, источником которого считается континентальная ЗК [9, 22, 36] либо деплетированная астеносфера [1, 18, 25]. Среди вулканитов среднего этапа преобладают риолиты и риодациты. Плутоногенные составляющие ВПА представлены гранодиорит-гранитной, гранит-лейкогранитной, лейкогранит-щёлочно-гранитной формациями с Mo-порфировыми, редкометалльными (Mo-W, Mo-U, Ta-Nb, (Be)-W-Mo), Sn-рудными; Au-Ag-ными с ведущей ролью Ag в рудах; Au-кварцевые; Cu-Sn- и (Sn)-Ag-полиметаллические. В заключительный этап образуются трахибазальт-трахиандезит-трахириолитовые серии вулканитов и комагматичные щелочно-гранитные–граносиенитовые (щелочной серии) с жильными и штокверковыми месторождениями редкоземельных элементов, Ag, флюорита, Sb и Hg.

ВПА *внутриконтинентальных* поздне- и постколлизионных ВПП сложены трахибазальт-трахиандезитовыми и комагматичными габбро-монцодиорит-монцонит-сиенитовыми формациями шошонитовой серии. С ними обычно сопряжены Cu-Mo-, Mo-Cu- и Au-(Mo)-Cu-порфировые и сопряжённые с ними Au-Cu-скарновые и эпитермальные Au-Cu и Au-Ag месторождения HS и IS типов.

От принадлежности к ВПП, различающимся по геотектонической позиции, зависят петрология рудоносных формаций, рудно-метасоматическая зональность и вещественный состав руд месторождений медно-порфирового семейства. Месторождения базальтоидных ВПП связаны

с формациями габбро-диорит-тоналитового ряда Na профиля, а андезитоидных – с K-Na- и Na-K формациями габбро-диорит-гранодиоритового и диорит-гранодиорит-монцонитового рядов [13], которые относятся к известково-щелочной и шошонитовой магматическим сериям. Рудно-метасоматическая зональность объектов выделенных типов соответствует моделям – «диоритовой», «гранодиоритовой» и «монцонитовой», описанным в работах В. Холлистера [22], А.И. Кривцова с соавторами [10], Дж. Лоуэлла и Дж. Джильберта [26].

По петрологии рудоносных плутоногенных формаций и составу руд месторождения семейства могут быть разделены на несколько групп в соответствии с принадлежностью разнотипным РМС: Au-Cu- и Cu-порфировые «диоритовых» островодужных и рифтовых базальтоидных поясов (с повышенным содержанием Au в рудах при практическом отсутствии Mo); Cu-Mo-, Mo-Cu- и Au-Mo-Cu-порфировые «гранодиорит-монцонитовых» окраинно-континентальных (аккреционных) и «монцодиорит-монцонит-монцогранитных» рифтогенных (поздне- и постколлизионных) андезитоидных ВПП (со значимым содержанием Mo); Au-(Mo)-Cu-порфировые «диоритовых» и «диорит-монцонитовых» систем «переходных» аккреционных–коллизионных (рифтогенных) обстановок (с высоким содержанием Au).

Различия в геотектонической позиции отражаются также в запасах и содержаниях месторождений семейства, о чём свидетельствуют результаты анализа распределения этих объектов по сумме запасов категорий $C_1 + C_2$ (measured + indicated resources) и прогнозных ресурсов категории P_1 (inferred resources), а также средним содержаниям металлов в рудах, проведённого по базе данных USGS из 409 месторождений [34], дополненной сведениями по ряду отечественных и зарубежных объектов, разведанных в последние 15 лет. Самые значительные запасы Cu, Mo и Ag (и повышенные содержания Mo) – в Cu-Mo-порфировых объектах андезитоидных аккреционных ВПП с фундаментом континентального типа, наибольшие запасы (и содержания) Au – в Au-Cu-порфировых месторождениях островодужных базальтоидных (с океаническим субстратом) и Au-(Mo)-Cu-порфировых «переходных» обстановок. Корреляция между запасами: Cu, Mo и Ag – высокая (0,75–0,88), Au, Cu и Ag – значительно слабее (0,23–0,33), Au и Mo – отсутствует. В отличие от запасов, значимые корреляционные связи между средними содержаниями металлов, за исключением Au и Ag, не выявлены. В то же время отношения содержаний Cu/Mo и Au/Mo в рудах, используемые в известных классификациях МПМ, характеризуются существенным перекрытием областей распределения и поэтому не являются надёжным критерием разделения медно-порфирового семейства на типы [5].

В объёме вышеназванных разнотипных систем кроме медно-порфировых, локализованных в их внутренних частях, часто присутствуют месторождения цветных и других благородных рудноформационных типов (РФТ): во *фланговых* – мезотермальные Au-Cu-, Cu- и Au-Pb-Zn-скарновые, жильные, жильно-прожилковые и метасоматические (Au)-Ag-полисульфидные, Au-сульфидно-кварцевые, иногда Au-порфировые; в *верхних периферийных* – эпитермальные жильные, жильно-прожилковые и стратоидные Cu-Au- и Au-Ag «высокой (HS), средней (IS) и низкой (LS) сульфидизации», вулканогенные медные (типа манто), а также самородной серы. Перечисленные рудные объекты разных частей *комплексных медно-порфировых рудно-магматических систем,* нередко называемых «*порфирово-эпитермальными»,* генетически связаны с едиными магматическими очагами, поэтому названы *«сопряжёнными».* В системах палеозойских ВПП кроме них встречаются месторождения *«совмещённого»* типа – «унаследованного» в структурно-вещественных комплексах (СВК) субстрата поясов и «наложенного» – в ВПА более поздних этапов их развития [10, 28]. При металлогеническом районировании КПМ РМС могут выделяться как комплексные рудные районы (КРР) и узлы (КРУ).

Сопоставление отдельных медно-порфировых РМС с наиболее яркопроявленной комплексной металлогенией, изученных специалистами ЦНИГРИ на Урале, Чукотке, Камчатке, в Узбекистане и Казахстане, а также Филиппин, Индонезии, Папуа – Новой Гвинеи, США, КНР и других стран (по материалам зарубежных публикаций), показало, что сочетания (наборы) РФТ в системах рифтовых и островодужных базальтоидных, окраинно- и внутриконтинентальных андезитоидных ВПП различны. В комплексе с петрологическими, рудно-метасоматическими и минералого-геохимическими характеристиками МПМ это позволило выделить КМП РМС нескольких типов (см. таблицу). Примечательно, что «диоритовые»

Таблица. КМП РМС базальтоидных и андезитоидных ВПП с месторождениями сопряжённых, унаследованных и наложенных РФТ

Месторождения разных РФТ	КМП РМС базальтоидных ВПП		КМП РМС андезитоидных ВПП				
	Диоритовые внутриконтинентальных рифтогенных	Диоритовые периокеанических и океанических островодужных	Диоритовые внутриконтинентальных рифтогенных	Гранодиорит-монцонитовые окраинно-континентальных (аккреционных)	Монцодиорит-монцонит-монцогранитные внутриконтинентальных	Диоритовые	Диорит-монцонитовые
						Переходных окраинно-континентальных – коллизионных	
1	2	3	4	5	6	7	8
Сопряжённые РФТ							
Cu-порфировые	+						
Cu-Mo-порфировые	+			+	+		
Mo-Cu-порфировые	+			+	+		
Au-Mo-Cu-порфировые			+	+	+		
Au-(Mo)-Cu-порфировые						+	+
Au-Cu-порфировые		+					
Au-Cu- и Cu-скарновые	+	+	+	+	+	+	+
Au-Pb-Zn-скарновые				+			
Fe-скарновые (иногда с Au)	+	+	+				
Метасоматические (Au)-Ag-полиметаллические				+			
Au- и Au-Ag-полисульфидные жильные, жильно-прожилковые			+	+			
Au-сульфидно-кварцевые жильные	+		+	+			
Au-кварцевые жильные	+		+				
Эпитермальные Cu-Au-ные HS типа		+		+	+		
Эпитермальные Au-Ag-теллуридные IS типа		+		+		+	
Эпитермальные Au-Ag-полисульфидные LS типа		+				+	

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Унаследованные РФТ							
Au-Cu-Fe-оксидный (IOCG)				+			
Cu-колчеданные	+						
Pb-Zn стратиформные в карбонатных толщах				+			
Fe-рудные статиформные магнетит-гематитовые			+				
Магматические Cu-Ti-магнетитовые	+						
Cu-Co и Cu-Au-Co стратиформные и стратоидные	+		+				
Наложенные РФТ							
Au-кварцевые, Au-халцедон-кварцевые				+			
(Au)-Ag жильные и штокверковые				+			
Редкометалльные (W-Mo) кварцевожильные, грейзеновые, скарновые, скарново-грейзеновые				+			
Au-As-Sb-Hg стратоидные, жильные			+	+			
Примеры КМП РМС	Вознесенская, Верхнеуральская, Круглогорская, Покровская, Первая, Вторая и Третья Северные, Тоупугол-Ханмейшорская и Гумешевская (Урал, Россия)	Бату Хайджау, Тумпангпиту, Иланг, Хуу (Индонезия); Багио, Манкайян, Атлас, Суригао, Мариндукью (Филиппины); Сепон (Лаос)	Ауэрбаховская, Томинско-Березняковская (Урал, Россия); Саякская (Казахстан)	Екдэкгычская (Баимская), Иннахская, Ольховская, Медьгорская, Малмыжско-Болонская, Пони-Мулинская, Соболиная, Арбинская, Талданская, Елна-Адамихинская, Малетойваямская, Центрально-Камчатская (Россия); Алмалыкская, Каульдинская (Узбекистан); Коунрадская, Акчатауская (Казахстан); Речк-Лахоца, Злата Баня, Окно-де-Фьер, Златно, Бор, Майданпек (страны Восточной Европы)	Юлонг, Жанага, Маласонгдуо, Дуоксангдуо, Гегонг-нонг рудного пояса Юлонг; Кулонг, Жайма, Кситонгмен – Нютонгмен рудного пояса Гангдезе (КНР)	Фрида Ривер, Уафи-Голпу (Папуа – Новая Гвинея)	Грасберг-Эрцберг (Индонезия); Ок Теди (Папуа – Новая Гвинея)

Примечание. «+» – отмечены РФТ, встречающиеся в КМП РМС выделенных типов.

системы с Au-Cu- и Cu-порфировыми месторождениями встречаются как в базальтоидных, так и в андезитоидных ВПП, а РМС с Cu-Mo-, Mo-Cu- и Au-Mo-Cu-порфировыми – и в окраинно-континентальных («гранодиорит-монцонитовые»), и во внутриконтинентальных (поздне- и постколлизионных) поясах («монцодиорит-монцонит-монцогранитные»). Подробное описание металлогении представительных типовых КМП РМС приведено в недавно изданных работах сотрудников ЦНИГРИ И.Ф. Мигачёва, О.В. Мининой, В.С. Звездова [3, 5, 13].

Проведённый анализ показал, что масштабы развития и сочетания перечисленных в таблице сопряжённых РФТ в КМП РМС базальтоидных и андезитоидных ВПП отличаются. При некотором сходстве в наборе типов эпитермальной золотой и золото-серебряной минерализации есть существенные различия в мезотермальной. Так, в КМП РМС базальтоидных поясов (при наличии среди вмещающих пород карбонатных и глинисто-карбонатных, в экзоконтактах рудоносных порфировых интрузивов) развиты Au-Cu- и Cu-скарновые магнетитовые залежи, однако Au-Pb-Zn-вые скарновые и метасоматические (Au)-Ag-полиметаллические тела, характерные для фланговых зон РМС андезитоидных поясов, отсутствуют. Жильная и жильно-прожилковая Au- и Au-Ag-полисульфидная минерализация также существенно менее распространена, в то время как в пропилитовых ореолах практически всех МПМ андезитоидных ВПП она широко развита. Кроме того, для систем базальтоидных поясов нехарактерны объекты совмещённых (наложенного и унаследованного) типов, которые нередки в КМП РМС андезитоидных ВПП.

Соотношения разновозрастного – медно-порфирового и унаследованного полиметаллического оруденения наблюдаются во многих системах андезитоидных поясов: Алмалыкской (Узбекистан), Бингхэм Каньон, Санта Рита, Резолюшион в США; Речк-Лахоца, Злата Баня, Окно-де-Фьер, Златно, Бор, Майданпек в странах юго-восточной Европы. На флангах этих объектов развиты жильные и жильно-прожилковые полисульфидные (с Au и Ag) руды, а во вмещающих карбонатных толщах нередки стратиформные полиметаллические. Наиболее показательными примерами являются КМП РМС с супергигантскими Au-Mo-Cu-порфировыми месторождениями: Большой Алмалык Алмалыкского рудного района Бельтау-Кураминского ВПП и Бингхэм Каньон района Бингхэм Уосатчского пояса.

Во внутренней зоне первой из названных систем, в известняково-доломитовой толще (D_3–C_1) фундамента ВПП, находилось (к 1980-м годам полностью отработано) частично регенерированное, изначально стратиформное, полиметаллическое месторождение *Кургашинкан.* При формировании медно-порфировой РМС его пластообразные залежи в провисе кровли Алмалыкского многофазного плутона были интенсивно преобразованы с наложением скарновых минеральных ассоциаций, обогащены медью, золотом, селеном и теллуром, со стороны висячего бока осложнены жилообразными апофизами. Рудные залежи однотипного месторождения Кульчулак, расположенного южнее – во внешней зоне системы, таким изменениям не подвергались. Возможно, продуктами регенерации стратоидных залежей в тепловом поле интрузива продуктивной на медно-порфировые руды плутоногенной формации отчасти могут быть прожилки и мелкие жилы (Накпай, Карахана, Кальтасай и др.) поздних полисульфидных минеральных ассоциаций периферийных частей медно-порфировых штокверков Кальмакыр, Дальнее, СЗ Балыкты – участков Алмалыкского месторождения, «разбитого» пострудными тектоническими перемещениями по Карабулакскому и Кальмакырскому разломам.

В КПМ РМС Бингхэм Каньон с одноимённым крупнейшим Au-Mo-Cu-порфировым месторождением в карбонатных формациях интрузивной рамы отмечаются стратоидные залежи свинцово-цинковых руд миссисипского типа. Ореол рассеянной полисульфидной минерализации вокруг этого объекта простирается далеко за пределы пиритового ореола – до 8 км от рудоносного штока кварцевых монцонит-порфиров, что не может быть объяснено только проникновением и разгрузкой рудоносных магматогенных флюидов, как это сделано в обобщённой модели «телескопированной» медно-порфировой системы Р. Силлитоу [33], тем более, что известняки и доломиты, особенно мраморизованные, отличаются низкой проницаемостью [4] и способностью пластично деформироваться при высоких температурах и давлении [2], что препятствует возникновению проводящих трещинных структур и течению по ним гидротермальных растворов. Более приемлемо предположение о частичной экстракции вещества древних полиметаллических

залежей метеорными водами, активизированными в тепловом поле крупного плутона, с последующим частичным переотложением на флангах системы.

Основные причины выявленных рудно-формационных различий КМП РМС базальтоидных и андезитоидных поясов – более мощная и разнородная ЗК континентального (существенно сиалического) либо переходного (сиало-фемического) типов андезитоидных ВПП, наличие «промежуточных» магматических очагов в сиалическом слое литосферы наряду с глубинными «материнскими» в приподошвенной части базальтового слоя. Важно, что в промежуточных очагах «скапливалась» не только относительно окисленная (насыщенная серой в сульфатной форме), водонасыщенная магма изначально основного состава с халькофильными элементами (Cu, Au и др.) из глубинных очагов, но и магма из очагов в гранитном слое ЗК, обогащённом Mo, W, Sn, Ta, Nb, REE и др., которые появлялись в результате анатексиса пород коры под воздействием тепловых потоков, восходящих от очагов кристаллизовавшейся мафической магмы мантийного происхождения. Возможными источниками Pb, Zn, Cu, Ag и др. металлов могли быть также стратиформные полиметаллические и Cu-Zn колчеданные месторождения, подвергшиеся регенерации в тепловом поле плутонов, продуктивных на Cu-порфировые руды. Этим и объясняется многообразие металлогении комплексных МП РМС андезитоидных поясов.

Установленные корреляционные связи между запасами основных полезных компонентов руд, а также между их содержаниями отражают различие в минеральных типах руд месторождений разных РФТ Cu-порфирового семейства. Так, высокая корреляция между запасами Cu, Mo и Ag обусловлена широким развитием полисульфидного типа руд, характерного для фланговых частей МП РМС андезитоидных ВПП. Он мало распространён в системах с Au-Cu-порфировыми месторождениями базальтоидных поясов, для которых характерны аномально низкие содержания (и запасы) Mo и высокие Au, отражающие повышенную золотоносность рудоносных магм в островодужных структурах с океаническим типом ЗК.

Происхождение и становление глубинных и промежуточных магматических очагов – источников рудоносных расплавов и флюидов для рудных, в т. ч. медно-порфировых, месторождений рассмотрены в публикациях И. И. Абрамовича, А. Д. Щеглова, И. Н. Говорова, И. Д. Рябчикова, Н. В. Короновского, Л. И. Деминой, С. Г. Соловьева, Д. Муллера, Д. Гровса, Дж. Ричардса, Р. Силлитоу, Дж. Хронски, Р. Лоукса, Г. Бегга, С. Ларджа, Р. Мазура, Дж. Руиза, С. Титли и многих других отечественных и зарубежных исследователей. Согласно их разработкам, в окраинно-континентальных обстановках формирования андезитоидных ВПП с МПМ *глубинные очаги* возникали за счёт частичного плавления вещества субдуцируемой океанической плиты и вышележащего мантийного клина, подвергавшегося метасоматическому преобразованию под воздействием флюидов, поднимавшихся от этой плиты при её дегидратации. Во внутриконтинентальных (позднеи постколлизионных) рифтовых обстановках образования поясов такие очаги появлялись при внедрении астеносферных диапиров сквозь разрывы сплошности в ЗК, которое сопровождалось повторным переплавлением мантийных и литосферных блоков, обогащённых металлами в предшествующих субдукционных процессах.

В обоих случаях основными источниками рудного вещества служили магмы из глубинных очагов переходной между литосферой и мантией зоны, производными которых являются формации шошонитовой серии, продуктивные на медно-порфировое и сопряжённое эпитермальное благороднометалльное и скарновое оруденение, а также щелочной серии, с которыми генетически связаны более поздние редкометалльные и редкоземельные месторождения. Это, однако, не исключает участия в рудогенезе магм из промежуточных коровых очагов. Смешение расплавов мантийного и корового происхождения (многими исследователями рассматривается как одно из главных условий формирования МПМ мирового класса) приводило к образованию гибридных магм (от андезитовых до дацитовых) известково-щелочной серии, насыщенных летучими компонентами и металлами, которые имели меньшую плотность в сравнении с вышележащими комплексами гранитного слоя. Их подъём в верхние части ЗК был обусловлен в основном силами выталкивания («всплывания») и контролировался проницаемыми зонами, возникавшими при сдвиговых деформациях в областях сопряжения парных внутридуговых (осевых поясных) и поперечных по отношению к ним глубинных трансформных разломов. В режиме интенсивного латерального сжатия, который возникал на определённых

отрезках магматических дуг при субдукции океанических плит с асейсмичными хребтами и плато под континентальные окраины и приводил к росту мощности литосферы и подавлению вулканизма, на глубинах от 5 до 15 км возникали магматические очаги и флюидные плюмы с концентрацией металлов [32, 33]. Их разгрузка при орогенезе в благоприятных структурно-петрофизических условиях [4, 21] приводила к образованию крупных и гигантских МПМ.

Геодинамические обстановки возникновения материнских (рудоносных) магматических очагов островодужных базальтоидных поясов с мафитовым океаническим субстратом в принципе те же, что и для андезитоидных аккреционных. Поступавшие из этих очагов рудообразующие флюиды мантийного происхождения были обогащены в основном Cu и Au. Сформированные в таких условиях Au-Cu-порфировые месторождения нередко сопровождаются Au-Cu-, Cu- и Fe-скарновыми, а также Cu-Au и Au-Ag (HS, IS и LS типов) объектами. Из-за строения океанической ЗК (отсутствия гранитного слоя и соответственно промежуточных очагов) совмещённые – более поздние (наложенные) и унаследованные РФТ в КМП РМС, естественно, отсутствуют.

В РМС базальтоидных рифтовых ВПП Cu-порфировые и сопряжённые с ними месторождения редко ассоциируют с более древними объектами в СВК фундамента, что обусловлено автономным развитием структурно-формационных зон с собственной металлогенией. Такие РФТ, как Cu-Zn-колчеданный или хромитовый, предшествующие Cu-порфировому, иногда проявлены в перивулканических зонах ВПП, например в Ирендыкском (Вознесенская РМС) на южном Урале, что, однако, является следствием интенсивной надвиговой тектоники.

В обстановках с присутствием фемических блоков в субстрате окраинно-континентальных андезитоидных ВПП принадлежащие им КМП РМС по набору сопряжённых РФТ и содержаниям Au в рудах «сближаются» с золото-медно-порфировыми системами базальтоидных ВПП. Примеры – Екдэкгычская (Баимская), Алмалыкская в Узбекистане, Пеббл в США. Так, повышенные содержания и Au, и Mo в рудах и, соответственно, колоссальные запасы этих металлов Au-Mo-Cu-порфирового месторождения Пеббл Прибрежного пояса на Аляске обусловлены, по-видимому, положением названного ВПП между Центральной и Внутренней тыловой зонами мезозойско-кайнозойского подвижного пояса Кордильер. Первая, по данным Г. Плафкера и Х. Берга [30], в целом развивалась на континентальном основании, вторая – на океаническом с мафическими и ультрамафическими комплексами мантийного происхождения.

Наоборот, металлогения КМП РМС некоторых рифтогенных базальтоидных поясов с «переходным» сиало-фемическим фундаментом близка к наблюдаемой в системах аккреционных андезитоидных. Примером являются комплексные системы ВПП Урала, довольно подробно описанные в работах И. Ф. Мигачёва с соавторами [5, 13 и др.].

В КМП РМС переходных аккреционно-коллизионных обстановках образования третичных ВПП также отмечаются сочетания сопряжённых РФТ и высокие содержания Au (при низких Mo) в рудах, близкие к наблюдаемым в системах базальтоидных поясов. В РМС Новогвинейского провинции – Грасберг-Эрцберг (Индонезия), Ок Теди, Фрида Ривер – Нена, Уафи-Голпу (Папуа Новая Гвинея) гигантские Au-(Mo)-Cu-порфировые месторождения ассоциируют с Au-Cu-скарновыми (при отсутствии полиметаллических!), а также эпитермальными Au-Cu- и Au-Ag-ными (HS и IS типов). Содержания золота в их рудах достигает первых г/т. Спецификой этих объектов является развитие рудоносных плутоногенных комплексов двух серий – известково-щелочной на раннем этапе развития островной дуги на окраине австралийского кратона и шошонитовой на позднеколлизионной стадии [3].

По мнению Д. Муллера, Д. Гровса, Дж. Хронски, Р. Лоукса, Г. Бегга, С. Г. Соловьева и других исследователей, повышенная золотоносность руд порфировых месторождений поздне- и постколлизионных обстановок обусловлена процессами базификации переходного слоя между литосферой и мантией при прорыве астеносферных диапиров через разрывы сплошности в погружавшихся плитах. Такие «окна» возникали в результате постколлизионного растяжения, коллапса горных сооружений и эпиорогенного рифтогенеза. Основным источником рудоносных флюидов, Cu и Au были базитовые расплавы, производными которых явились монцонитоидные интрузивные формации повышенной калиевой щёлочности (шошонитовой серии). Механизм их возникновения описан выше. Этим и объясняется близкий вещественный состав руд новогвинейских

Au-(Mo)-Cu-порфировых месторождений с порфировыми объектами базальтоидных поясов островных дуг Филиппин, Санда, Новобританской, Соломоновой, Алеутской, Центрально-Американской, Антильской и др., а также сходство металлогении вмещающих их КМП РМС в части сопряжённой благороднометалльной и скарновой минерализации.

Выводы.

1. Многие медно-порфировые месторождения, особенно крупные и гигантские, локализованы во внутренних частях крупномасштабных РМС с комплексной металлогенией, которым эквивалентны рудные районы и узлы. В таких системах кроме медно-порфировых присутствуют месторождения цветных и благородных металлов других (сопряжённых) РФТ, но все они генетически связаны с едиными рудоносными магматическими очагами. Во фланговых частях КМП РМС встречаются *мезотермальные*: Au-Cu-, Cu- и Au-Pb-Zn скарновые, жильные, жильно-прожилковые и метасоматические (Au)-Ag-полисульфидные, Au-сульфидно-кварцевые, иногда Au-порфировые, в *верхних периферийных* – эпитермальные жильные, жильно-прожилковые и стратоидные Cu-Au- и Au-Ag «высокой (HS), средней (IS) и низкой (LS) сульфидизации», а также самородной серы.

2. Различия в геотектонических обстановках формирования ВПП отражаются не только в петрологии рудоносных плутоногенных формаций, рудно-метасоматической зональности, содержаниях и запасах месторождений медно-порфирового семейства, но и в сочетаниях и масштабах развития сопряжённых с ними в объёме единых КМП РМС месторождений цветных и благородных металлов других РФТ. В комплексных системах базальтоидных поясов, в экзоконтактах рудоносных порфировых интрузивов – во вмещающих карбонатных и глинисто-карбонатных отложениях, нередко присутствуют скарновые магнетитовые залежи с Au и Cu, но Au-Pb-Zn-вые скарновые, метасоматические (Au)-Ag-полиметаллические руды, характерные для дистальных фланговых зон РМС андезитоидных ВПП, отсутствуют. Жильная и жильно-прожилковая Au- и Au-Ag-полисульфидная минерализация также менее распространена, в то время как практически на всех МПМ андезитоидных ВПП она присутствует во фланговых зонах рудных штокверков и пропилитовых ореолах в виде жил.

3. По петрологии продуктивных формаций и составу руд месторождений медно-порфирового семейства возможным сочетаниям сопряжённых с ними объектов других РФТ комплексные РМС могут быть разделены на несколько групп: «диоритовые» с Au-Cu- и Cu-порфировыми месторождениями островодужных и рифтовых базальтоидных поясов; «гранодиорит-монцонитовые» с Cu-Mo- и Au-Mo-Cu-порфировыми окраинно-континентальных (аккреционных) андезитоидных ВПП; «монцодиорит-монцонит-монцогранитные» с Mo-Cu- и Cu-Mo-порфировыми рифтогенных (поздне- и постколлизионных) поясов; «диоритовые» и «диорит-монцонитовые» с Au-(Mo)-Cu-порфировыми «переходных» аккреционных – коллизионных (рифтогенных) ВПП.

4. Андезитоидные окраинно- и внутриконтинентальные ВПП отличаются от базальтоидных островодужных более сложным строением и разнообразной металлогенией, что обусловлено их гетерогенным субстратом (фундаментом) и наличием магматических очагов – источников флюидов и рудного вещества не только на границе ЗК с астеносферой, но и в её верхнем гранитном слое («промежуточных). В поздне- и постколлизионных обстановках такими источниками, вероятно, могли служить также мантийные диапиры.

Среди КМП РМС андезитоидных поясов нередки полихронные и полиформационные системы. В их объёме кроме объектов *сопряжённых* РФТ встречаются месторождения и проявления *совмещённого* типа: сформировавшиеся на более поздних этапах развития поясов (редкометалльные (W-Mo), (Au)-Ag, Au-As, Sb-Hg и др.), а также древних СВК фундамента ВПП (Pb-Zn стратиформные в карбонатных толщах, реже железорудные магматические и скарновые, Au-Cu-Fe-оксидные, Cu-Zn-колчеданные). В базальтоидных поясах таких систем практически нет, за исключением единичных случаев в ВПП рифтовых структур, когда подобное совмещение разновозрастных РФТ обусловлено надвиговой тектоникой (Вознесенская РМС Ирендыкского ВПП на Урале).

Возникновение магматических очагов в сиалическом слое и «промежуточных» в его верхней части отражается в более «богатом» наборе «сопряжённых» (с медно-порфировым) типов оруденения, а также «появлении» объектов совмещённых типов, поскольку с магматическими формациями каждого из СФЭ андезитоидных ВПП генетически связаны месторождения определённых РФТ.

Кроме того, в объёме некоторых комплексных систем присутствуют более древние месторождения субстрата поясов, претерпевшие регенерацию в тепловом поле интрузивов продуктивных формаций с частичным переотложением рудного вещества в виде поздних полисульфидных минеральных ассоциаций МПМ. В обстановках с присутствием фемических блоков в фундаменте андезитоидных ВПП и, наоборот, сиалических – в основании базальтоидных, то есть при ЗК переходного типа, выделенные в их пределах КМП РМС по набору сопряжённых РФТ и содержаниям Au в рудах «сближаются».

5. КПМ РМС, эквивалентные по масштабам рудным районам и узлам с комплексной металлогенией, могут рассматриваться как закономерные совокупности магматических и рудных формаций, которые возникают в ходе эволюции очагов на границе астеносферы и литосферы океанического, континентального и переходного типов, а также в верхнем слое ЗК, где на относительно небольших глубинах (до 15 км) появляются очаги, непосредственно продуцирующие медно-порфировые и сопряжённые с ними месторождения. Эти формации образуют вертикально-латеральные ряды, изучение строения которых может быть использовано при прогнозе как медно-порфировых, так и ассоциирующих с ними месторождений иных РФТ, что и было сделано [14–17] при прогнозно-металлогеническом районировании территорий Дальневосточного, Уральского и Приволжского ФО и России в целом. В перспективных металлогенических зонах Амурско-Сихотэ-Алиньской, Охотско-Чукотской, Корякско-Камчатской, Уральской и других минерагенических провинций выделены и оконтурены потенциальные рудные районы и узлы с ранжированием по перспективности и рекомендуемой очерёдности постановки ГРР различного масштаба.

Автор признателен Татьяне Александровне Чуриловой за техническую помощь в подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович И. И.* Геодинамика и мантийные корни рудных формаций. – М. : МПР, 1998. – 140 с.
2. *Воларович М. П., Баюк Е. И., Ефимова Г. А.* Упругие свойства минералов при высоких давлениях. – М. : Наука, 1975. – 131 с.
3. *Звездов В. С.* Обстановки формирования и комплексная металлогения медно-порфировых рудно-магматических систем // Смирновский сборник – 2024: Материалы XXXV Смирновских научных чтений, посвященных 270-летнему юбилею Московского университета.
4. *Звездов В. С.* Структурно-петрофизические обстановки формирования медно-порфировых штокверков // Отечественная геология. – 2021. – № 6. – С. 3–44.
5. *Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В.* Комплексные медно-порфировые рудно-магматические системы андезитоидных и базальтоидных вулкано-плутонических поясов // Отечественная геология. – 2023. – № 5. – С. 35–71.
6. *Зоненшайн М. Н., Кузьмин М. И., Морален В. М.* Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. – М. : Недра, 1976. – 327 с.
7. *Ковалев А. А.* Новая парадигма металлогении. – М. : МГУ, 2010. – 248 с.
8. *Короновский Н. В., Демина Л. И.* Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. – М. : КДУ, 2011. – 234 с.
9. *Кривцов А. И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М. : Недра, 1983. – 255 с.
10. *Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В.* Медно-порфировые месторождения. Сер. Модели месторождений цветных и благородных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
11. *Кривцов А. И., Мигачев И. Ф.* Металлогения андезитоидных вулкано-плутонических поясов. Ч. 1. – М. : ЦНИГРИ, 1997. – 326 с.
12. *Мигачев И. Ф., Звездов В. С., Конкин В. Д.* Палеотектоническая позиция базальтоидных вулкано-плутонических поясов с медно-порфировыми месторождениями // Руды и металлы. – 2024. – № 3. – С. 28–46.
13. *Мигачев И. Ф., Звездов В. С., Минина О. В.* Формационные типы медно-порфировых месторождений и их рудно-магматические системы // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 26–48.
14. *Мигачев И. Ф., Минина О. В., Звездов В. С.* Корякско-Камчатский регион – потенциальная медно-порфировая провинция // Отечественная геология. – 2020. – № 4–5. – С. 3–23.
15. *Мигачев И. Ф., Минина О. В., Звездов В. С.* Мезокайнозойские вулкано-плутонические пояса –

новая перспективная провинция Юго-Западной Чукотки // Отечественная геология. – 2014. – № 6. – С. 12–23.
16. *Мигачев И. Ф., Минина О. В., Звездов В. С.* Перспективы территории Российской Федерации на медно-порфировые руды // Руды и металлы. – 2015. – № 1. – С. 74–92.
17. *Минина О. В., Мигачев И. Ф., Звездов В. С.* Прогнозно-металлогеническое районирование южной части Дальневосточного региона на медно-порфировое оруденение // Отечественная геология. – 2019. – № 1. – С. 35–49.
18. *Соловьев С. Г.* Металлогения шошонитового магматизма. – М. : Научный мир, 2014. – 528 с.
19. *Хаин В. Е., Ломизе М. Г.* Геотектоника с основами геодинамики. – М. : КДУ, 2010. – 560 с.
20. *Хаин В. Е., Тычков С. А., Владимиров А. Г.* Коллизионный орогенез: модель отрыва субдуцированной пластины океанической литосферы при континентальной коллизии // Геология и геофизика. – 1996. – № 1. – С. 5–16.
21. *Gow P. A., Walshe J. L.* The role of preexisting geologic architecture in the formation of giant porphyry-related Cu ± Au deposits: examples from New Guinea and Chile // Economic Geology. – 2005. – V. 100. – P. 819–833.
22. *Hollister V. F.* Geology of the porphyry copper deposits in the Western hemisphere. – New York: Society of Mining Engineers, 1978. – 219 p.
23. *Hollister V. F., Anzalone S. A., Richter D. H.* Porphyry copper deposits of southern Alaska and contiguous Yukon Territory // Can. Min. and Met. Bull. – 1975. – V. 68, № 756. – P. 104–112.
24. *Hou Z., Cook N. J.* Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue // Ore Geology Reviews. – 2009. – № 36 (1). – P. 2–24.
25. *Hronsky J. A. M., Groves D. A., Loucks R. R., Begg G. C.* A unified model for gold mineralisation in accretionary orogens and implications for regional-scale exploration targeting methods // Miner. Deposita. – 2012. – V. 47. – P. 339–358.
26. *Lowell J. D., Guilbert J. M.* Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper deposits // Economic Geology. – 1970. – V. 65. – P. 373–409.
27. *Ludington S., Hammarstrom J. M., Robinson G. R.* [et al.] Porphyry copper assessment of the Tibetan Plateau, China // USGS Scientific Investigations Report 2010–5090-F. – 2012. – 63 p.
28. *Migachev I.* Complex ore nodes of marginal volcanoplutonic belts and their geological setting // Resource Geology Special Issue. – 1993. – № 15. – P. 199–209.
29. *Muller D., Groves D. I.* Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization. – Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag, 1997. – 238 p.
30. *Plafker G., Berg H. C.* Overview of the geology and tectonic history of Alaska // The geology of Alaska, geology of North America/Eds. G. Plafker, H. C Berg/Geol. Soc. America. – 1994. – V. G-1. – P. 989–1021.
31. *Richards J. P.* Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits – products of remelting subduction-modified lithosphere // Geology. – 2009. – V. 37, № 3. – P. 247–250.
32. *Richards J. P.* Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu- (Mo-Au) deposit formation // Economic Geology. – 2003. – V. 98. – P. 1515–1533.
33. *Sillitoe R. H.* Porphyry Copper Systems // Economic Geology. – 2010. – V. 105. – P. 3–41.
34. *Singer D. A., Berger V. I., Moring B. C.* Porphyry copper deposits of the world: database and tonnage models // U. S. Geological Survey Open-File Report 2008–1155. Online version. – 2008.
35. *Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S.* [et al.] The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics // Ore Geology Reviews. – 2019. – V. 13. – P. 1–27.
36. *Wallace S. R.* The Clymax-type molybdenite deposits: what they are, where they are, and why they are // Economic Geology. – 1995. – V. 90. – P. 1359–1380.

REFERENCES

1. *Abramovich I. I.* Geodinamika i mantiynyye korni rudnykh formatsiy [Geodynamics and mantle roots of ore formations], Moscow, MPR publ., 1998, 140 p. (In Russ.)
2. *Volarovich M. P., Bayuk E. I., Efimova G. A.* Uprugiye svoystva mineralov pri vysokikh davleniyakh [Elastic properties of minerals at high pressures], Moscow, Nauka publ., 1975, 131 p. (In Russ.)
3. *Zvezdov V. S.* Obstanovki formirovaniya i kompleksnaya metallogeniya medno-porfirovykh rudno-magmaticheskikh sistem [Formation environments

and complex metallogeny of copper-porphyry ore-magmatic systems], Smirnovskiy sbornik – 2024, Materialy XXXV Smirnovskikh nauchnykh chteniy, posvyashchennykh 270-letnemu yubileyu Moskovskogo universiteta [Smirnov collection – 2024: Proceedings of the XXXV Smirnov scientific readings dedicated to the 270th anniversary of Moscow University]. (In Russ.)

4. *Zvezdov V.S.* Strukturno-petrofizicheskiye obstanovki formirovaniya medno-porfirovykh shtokverkov [Structural and petrophysical settings for the formation of copper-porphyry stockworks], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2021, No. 6, pp. 3–44. (In Russ.)
5. *Zvezdov V.S., Migachev I.F., Minina O.V.* Kompleksnyye medno-porfirovyye rudno-magmaticheskiye sistemy andezitoidnykh i bazal'toidnykh vulkanoplutonicheskikh poyasov [Complex copper-porphyry ore-magmatic systems of andesitic and basaltoid volcanoplutonic belts], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2023, No. 5, pp. 35–71. (In Russ.)
6. *Zonenshayn M.N., Kuz'min M.I., Moralen V.M.* Global'naya tektonika, magmatizm i metallogeniya [Global tectonics, magmatism and metallogeny], Moscow, Nedra publ., 1976, 327 p. (In Russ.)
7. *Kovalev A.A.* Novaya paradigma metallogenii [New paradigm of metallogeny], Moscow, MGU publ., 2010, 248 p. (In Russ.)
8. *Koronovskiy N.V., Demina L.I.* Magmatizm kak indikator geodinamicheskikh obstanovok [Magmatism as an indicator of geodynamic conditions], Moscow, KDU publ., 2011, 234 p. (In Russ.)
9. *Krivtsov A.I.* Geologicheskiye osnovy prognozirovaniya i poiskov medno-porfirovykh mestorozhdeniy [Geological foundations of forecasting and prospecting for copper-porphyry deposits], Moscow, Nedra publ., 1983, 255 p. (In Russ.)
10. *Krivtsov A.I., Zvezdov V.S., Migachev I.F., Minina O.V.* Medno-porfirovyye mestorozhdeniya. Ser. Modeli mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov [Copper-porphyry deposits. Series: Models of deposits of non-ferrous and noble metals], Moscow, TSNIGRI publ., 2001, 232 p. (In Russ.)
11. *Krivtsov A.I., Migachev I.F.* Metallogeniya andezitoidnykh vulkano-plutonicheskikh poyasov. Ch. 1 [Metallogeny of andesitic volcano-plutonic belts. Part 1], Moscow, TSNIGRI publ., 1997, 326 p. (In Russ.)
12. *Migachev I.F., Zvezdov V.S., Konkin V.D.* Paleotektonicheskaya pozitsiya bazal'toidnykh vulkano-plutonicheskikh poyasov s medno-porfirovymi mestorozhdeniyami [Paleotectonic position of basaltoid volcano-plutonic belts with copper-porphyry deposits], Rudy i metally [Ores and Metals], 2024, No. 3, pp. 28–46. (In Russ.)
13. *Migachev I.F., Zvezdov V.S., Minina O.V.* Formatsionnyye tipy medno-porfirovykh mestorozhdeniy i ikh rudno-magmaticheskiye sistemy [Formation types of copper-porphyry deposits and their ore-magmatic systems], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2022, No. 1, pp. 26–48. (In Russ.)
14. *Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S.* Koryaksko-Kamchatskiy region – potentsial'naya medno-porfirovaya provintsiya [Koryak-Kamchatka region – a potential copper-porphyry province], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2020, No. 4–5, pp. 3–23. (In Russ.)
15. *Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S.* Mezo-kaynozoyskiye vulkano-plutonicheskiye poyasa – novaya perspektivnaya provintsiya Yugo-Zapadnoy Chukotki [Mesozoic-Cenozoic volcano-plutonic belts – a new promising province of Southwestern Chukotka], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2014, No. 6, pp. 12–23. (In Russ.)
16. *Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S.* Perspektivy territorii Rossiyskoy Federatsii na medno-porfirovyye rudy [Prospects of the territory of the Russian Federation for copper-porphyry ores], Rudy i metally [Ores and Metals], 2015, No. 1, pp. 74–92. (In Russ.)
17. *Minina O.V., Migachev I.F., Zvezdov V.S.* Prognozno-metallogenicheskoye rayonirovaniye yuzhnoy chasti Dal'nevostochnogo regiona na medno-porfirovoye orudeneniye [Forecast and metallogenic zoning of the southern part of the Far Eastern region for copper-porphyry mineralization], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2019, No. 1, pp. 35–49. (In Russ.)
18. *Soloviev S.G.* Metallogeniya shoshonitovogo magmatizma [Metallogeny of shoshonite magmatism], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2014, 528 p. (In Russ.)
19. *Khain V. Ye., Lomize M.G.* Geotektonika s osnovami geodinamiki [Geotectonics with the basics of geodynamics], Moscow, KDU publ., 2010, 560 p. (In Russ.)
20. *Khain V. Ye., Tychkov S.A., Vladimirov A.G.* Kollizionnyy orogenez: model' otryva subdutsirovannoy plastiny okeanicheskoy litosfery pri kontinental'noy kollizii [Collision orogenesis: a model of detachment of a subducted plate of oceanic lithosphere during continental collision], Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics], 1996, No. 1, pp. 5–16. (In Russ.)
21. *Gow P.A., Walshe J.L.* The role of preexisting geologic architecture in the formation of giant porphyry-related Cu ± Au deposits: examples from New Guinea and Chile, Economic Geology, 2005, V. 100, pp. 819–833.
22. *Hollister V.F.* Geology of the porphyry copper deposits in the Western hemisphere, New York, Society of Mining Engineers, 1978, 219 p.
23. *Hollister V.F., Anzalone S.A., Richter D.H.* Porphyry copper deposits of southern Alaska and contiguous Yukon Territory, Can. Min. and Met. Bull, 1975, V. 68, No. 756, pp. 104–112.

24. *Hou Z., Cook N.J.* Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue, Ore Geology Reviews, 2009, No. 36 (1), pp. 2–24.
25. *Hronsky J.A.M., Groves D.A., Loucks R.R., Begg G.C.* A unified model for gold mineralisation in accretionary orogens and implications for regional-scale exploration targeting methods, Miner. Deposita, 2012, V. 47, pp. 339–358.
26. *Lowell J.D., Guilbert J.M.* Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper deposits, Economic Geology, 1970, V. 65, pp. 373–409.
27. *Ludington S., Hammarstrom J.M., Robinson G.R.* [et al.] Porphyry copper assessment of the Tibetan Plateau, China, USGS Scientific Investigations Report 2010–5090-F, 2012, 63 p.
28. *Migachev I.* Complex ore nodes of marginal volcano-plutonic belts and their geological setting, Resource Geology Special Issue, 1993, No. 15, pp. 199–209.
29. *Muller D., Groves D.I.* Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization, Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag, 1997, 238 p.
30. *Plafker G., Berg H.C.* Overview of the geology and tectonic history of Alaska, The geology of Alaska, geology of North America, Eds. G. Plafker, H. C Berg, Geol. Soc. America, 1994, V. G-1, pp. 989–1021.
31. *Richards J.P.* Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits – products of remelting subduction-modified lithosphere, Geology, 2009, V. 37, No. 3, pp. 247–250.
32. *Richards J.P.* Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu- (Mo-Au) deposit formation, Economic Geology, 2003, V. 98, pp. 1515–1533.
33. *Sillitoe R.H.* Porphyry Copper Systems, Economic Geology, 2010, V. 105, pp. 3–41.
34. *Singer D.A., Berger V.I., Moring B.C.* Porphyry copper deposits of the world: database and tonnage models, U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1155. Online version, 2008.
35. *Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S.* [et al.] The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics, Ore Geology Reviews, 2019, V. 13, pp. 1–27.
36. *Wallace S.R.* The Clymax-type molybdenite deposits: what they are, where they are, and why they are, Economic Geology, 1995, V. 90, pp. 1359–1380.

Статья поступила в редакцию 08.11.24; одобрена после рецензирования 20.11.24; принята к публикации 20.11.24.
The article was submitted 08.11.24; approved after reviewing 20.11.24; accepted for publication 20.11.24.

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

DOI:10.47765/0869-7175-2024-10024

УДК 553.075:553.41/43+552.312
© Коллектив авторов, 2024

Верхне-Мяунджинский рудный узел – порфирово-эпитермальная система в Центральном сегменте Яно-Колымского орогенного пояса

Аннотация. Изучены Mo-Cu и Au-Ag-Pb-Zn рудопроявления Верхне-Мяунджинского рудного узла, расположенного среди юрских терригенных комплексов Иньяли-Дебинского турбидитового террейна Яно-Колымского орогенного пояса. Mo-Cu рудопроявление Спешное представлено сульфидно-кварцевым штокверком и вмещается порфировидными кварцевыми сиенитами с U-Pb возрастом 84 млн лет. Au-Ag-Pb-Zn рудопроявление Спящее представляет собой серию карбонатно-кварцевых жил и минерализованных зон в юрских осадочных породах. Геохимический спектр штокверковой минерализации Mo-Au-Ag-Co-Cu-(As, W), жильно-прожилковой Pb-Ag-Sb-Au-As-Zn-Bi. Верхне-Мяунджинский рудный узел Центрального сегмента Яно-Колымского орогенного пояса представляет собой порфирово-эпитермальную рудно-магматическую систему, образованную гипабиссальным штоком сиенит-монцонитового состава, сульфидно-кварцевым штокверком с Mo-Cu минерализацией и субэпитермальным жильно-прожилковым Au-Ag-Pb-Zn оруденением. Её возраст соответствует возрасту второго этапа формирования Охотско-Чукотского вулкано-плутонического пояса.

Ключевые слова: порфирово-эпитермальная система, сиениты, штокверк, жила, U-Pb возраст.

ГЛУХОВ АНТОН НИКОЛАЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, gluhov76@list.ru

КОЛОВА ЕЛЕНА ЕВГЕНЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, kolova@neisri.ru

СОЛОВОВ РУСЛАН ВЛАДИМИРОВИЧ, старший инженер, solovov@neisri.ru

ТАНЧЕНКО МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ, старший инженер, tanchenko@neisri.ru

ПОЛЗУНЕНКОВ ГЕННАДИЙ ОЛЕГОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, gennadiy_mag@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (ФГБУ СВКНИИ ДВО РАН), г. Магадан

Upper-Myaundzha ore cluster: A porphyry-epithermal system in the Central segment of the Yana-Kolyma orogenic belt

A. N. GLUKHOV, E. E. KOLOVA, R. V. SOLOVOV, M. A. TANCHENKO, G. O. POLZUNENKOV

Federal State Budgetary Institution of Science North-Eastern Complex Research Institute named after N. A. Shilo of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (FSBI SVKNII FEB RAS), Magadan

Annotation. Mo-Cu and Au-Ag-Pb-Zn ore occurrences of the Verkhne-Myaundzhinsky ore cluster were studied, that located among Jurassic terrigenous complexes of the Inyali-Debin turbidite terrane of the Yana-Kolyma orogenic belt. The Speshnoye Mo-Cu ore occurrence is represented by a sulfide-quartz stockwork and is hosted by porphyry-like quartz syenites with an U-Pb age of 84 Ma; the Spyashchee Au-Ag-Pb-Zn ore occurrence represents a series of carbonate-quartz veins and mineralized zones in Jurassic sedimentary rocks. The geochemical spectrum of the stockwork mineralization is Mo-Au-Ag-Co-Cu-(As, W), while that of the vein-veinlet one is Pb-Ag-Sb-Au-As-Zn-Bi. The Verkhne-Myaundzhinsky ore cluster of the Central segment of the Yana-Kolyma orogenic belt represents a porphyry-epithermal ore-magmatic system formed by a hypabyssal stock of syenite-monzonite composition, by a sulfide-quartz stockwork with Mo-Cu mineralization, and by subepithermal vein-veinlet Au-Ag-Pb-Zn mineralization. Its age corresponds to the age of the second stage of formation of the Okhotsk-Chukotka volcano-plutonic belt.

Key words: porphyry-epithermal system, syenite, stockwork, vein, U-Pb age.

Рудоносность Центрального сегмента Яно-Колымского орогенного пояса (ЦКС) систематически изучается на протяжении вот уже более ста лет. За это время открыты, разведаны и отработаны сотни россыпных и рудных месторождений золота, десятки – олова, единицы – кобальта и урана. Такая узкая рудная специализация понятна с позиций современной аккреционной тектоники, связывающей главные рудогенерирующие события в регионе с грандиозными коллизионными событиями, произошедшими на рубеже юрского и мелового периодов. Между тем ЦКС представляет собой достаточно узкий клин, зажатый между двумя протяжёнными магматическими дугами окраинно-континентальной природы – ранне-позднемеловым Охотско-Чукотским (ОЧВП) и позднеюрско-раннемеловым Уяндино-Ясачненским (УЯВП) вулкано-плутоническими поясами. С гранитоидами обоих этих поясов, а также неподалёку расположенного Олойского вулкано-плутонического пояса (ОВП), имеющего близкий УЯВП возраст, связаны многочисленные Cu-Mo-порфировые рудопроявления и два крупных месторождения – Песчанка и Находка (рис. 1). Длительность формирования данных поясов (десятки миллионов лет) и огромные объёмы изверженного материала,

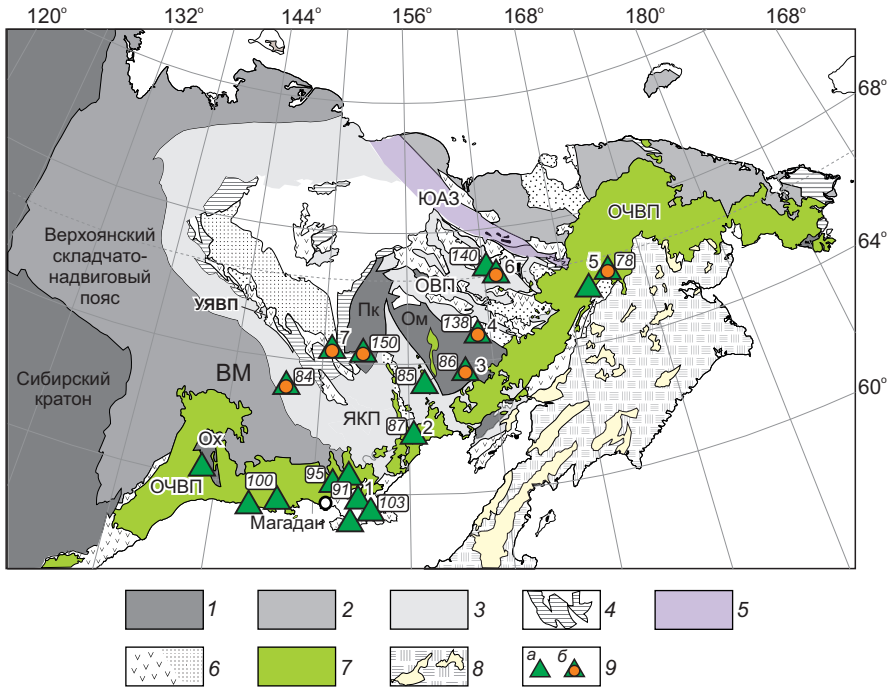


Рис. 1. Размещение медно-порфировых месторождений и рудопроявлений в тектонической структуре Северо-Востока России:

1 – докембрийские кратоны и перикратонные террейны (Ом – Омолонский, Ох – Охотский, Пк – Приколымский); *2* – каменноугольные, пермские и триасовые шельфовые комплексы пассивных окраин Сибирского кратона и Чукотского блока; *3* – триасовые и юрские турбидитовые террейны Яно-Колымского пояса (ЯКП); *4* – палеозойские террейны пассивной континентальной окраины; *5* – террейны океанические и аккреционной призмы (ЮАЗ – Южно-Анюйская зона); *6* – юрско-меловые вулканогенные пояса и осадочные бассейны (УЯВП – Уяндино-Ясачненский, ОВП – Олойский); *7* – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (ОЧВП); *8* – Корякско-Камчатские вулканогенные пояса кайнозойского возраста; *9* – медно-порфировые рудные районы (РР), узлы (РУ) и поля (РП) (*а*), в том числе сопровождаемые порфирово-эпитермальными системами (*б*): 1 – Тальниковое РП, 2 – Пиритовое РП, 3 – Конгинский РР, 4 – Медгорский РУ, 5 – Кавраяльянский РУ, 6 – Баимский РР, 7 – Право-Дуксундинский РУ, ВМ – Верхне-Мяунджинский РУ; числа в прямоугольниках – U-Pb возраст рудовмещающих гранитоидов (млн лет), с использованием данных В. В. Аленичевой и др. [2], А. Н. Глухова и др. [3], Е. Е. Коловой и др. [9], Н. В. Шатовой и С. В. Серегина [26], Я. С. Комаровой и др. [11]

только для ОЧВП составляющие более 6 млн км^3 [20], подразумевают, что ареалы их магматической и рудообразующей деятельности должны были существенно затрагивать и площадь ЦКС. И действительно, по результатам геологосъёмочных и поисковых работ второй половины прошлого века в тыловой зоне ОЧВП был выделен ряд далеко вдающихся в континент и вытянутых ортогонально по отношению к поясу магматических зон, сложенных вулкано-плутоническими ассоциациями мелового возраста. В литературе они получили наименование «зон тектономагматической активизации» (ТМА) [14, 23]. Тектонически и металлогенически данные зоны разнородны, среди них есть апофизы ОЧВП с аналогичным набором магматических комплексов, Au-Ag, Ag-Pb-Zn и Cu-Mo минерализацией (Конгинская, Коркодон-Няханская), рифтогенные структуры с Sn, Ag-Pb-Zn, REE оруденением (Омсукчанская, Хурчан-Оротуканская), фрагменты надсубдукционных магматических дуг с Cu-Mo и Au-Ag специализацией (Березовская). Вглубь мезозоид все эти зоны проникают на расстояние до 300 км от осевой части ОЧВП.

Нами в 2022 г. были изучены Au-Ag-Pb-Zn рудопроявление Спящее и Mo-Cu Спешное, расположенные в среднем течении р. Мяунджа, в 30 км к северо-западу от г. Сусумана, и объединённые в составе Верхне-Мяунджинского рудного узла (В. И. Шалупенко, 1989, см. рис. 1). Они были выявлены и опоискованы в 1946 г. Г. А. Зайцевым (Спящее) и 1959 г. В. В. Кудиным (Спешное). На всех картах полезных ископаемых Северо-Востока Азии данные рудопроявления резко выделяются на фоне множества месторождений и рудопроявлений золота, чем и привлекли наше внимание. В ходе работ нами были осмотрены поверхности рудопроявлений, изучены ранее пройденные здесь канавы, отобраны штуфные пробы и образцы для минералого-петрографических исследований. Предварительные результаты изучения данного интересного объекта впервые изложены в настоящей статье.

Методика исследований. Минералогический анализ выполнен классическим способом при помощи оптического микроскопа AXIOPLAN ZEIS, оснащённого видеоокуляром, и программного комплекса PETRO [19]. Составы минеральных фаз определяли с помощью рентгеновского электронно-зондового микроанализатора Camebax с приставкой INCA (г. Магадан, ЦКП СВКНИИ ДВО РАН, аналитик О. Т. Соцкая). Определение главных петрогенных элементов в горных породах выполнено в ЦКП СВКНИИ ДВО РАН по методике НСАМ 313-РС рентгеноспектральным флуоресцентным методом анализа (СРМ-25). Обработка петро- и геохимических данных и построение классификационных диаграмм производились посредством свободно распространяемого программного пакета GCDkit. Содержания рудных элементов определялись методом ICP-OES в лаборатории ООО «Стюарт Геокемикл энд Эссей» (г. Москва) на спектрометре с ионизацией в индуктивно-связанной плазме Agilent 5800 ICP-OES; Au – методом пробирного анализа с ICP-OES окончанием в той же лаборатории. Пределы обнаружения для Ag составили 0,1–0,5 ppm, Mo – 0,01–0,05 ppm, Au – 1 ppb. Циркон из пород выделялся посредством стандартных процедур: дробление – промывка в воде до серого шлиха – магнитная сепарация – разделение в тяжёлых жидкостях – отбор зёрен циркона под бинокуляром NICON SMZ660. Положение точек анализа определялось при помощи катодолюминесцентных изображений зёрен. U-Pb датирование цирконов выполнено на ионном микрозонде SHRIMP-II (вторично-ионная масс-спектрометрия с высоким пространственным разрешением) в ЦИИ ВСЕГЕИ с использованием стандартных процедур [38].

Геологическое строение Верхне-Мяунджинского рудного узла. Верхне-Мяунджинский рудный узел (рис. 1) приурочен к небольшому интрузивному массиву, выходящему на поверхность в виде трёх изометричных тел, площадью около 0,1 км^2 каждое, сложенных породами биликанского [27] или хуламринского [16] монцонит-сиенитового интрузивного комплекса. Породы комплекса слагают линейный ареал мелких гипабиссальных интрузий, протягивающийся в северо-западном направлении более чем на 200 км от верховьев р. Сусуман в бассейн р. Артык [16]. Мы выделяем его как Биликано-Хуламринскую магматическую зону (БХМЗ). Преобладают гипабиссальные интрузии монцонитов и сиенитов. Их возраст, определённый Ar-Ar (по биотиту) и U-Pb (по циркону), находится в диапазоне 83,0–86,0 млн лет [16, 27]. Интрузии БХМЗ пространственно тесно ассоциируют с угленосными вулканогенно-осадочными молассовыми отложениями аркагалинской свиты позднемелового возраста [27], образуя с ними единый литогеодинамический комплекс. Он формировался, по-видимому, в обстановке

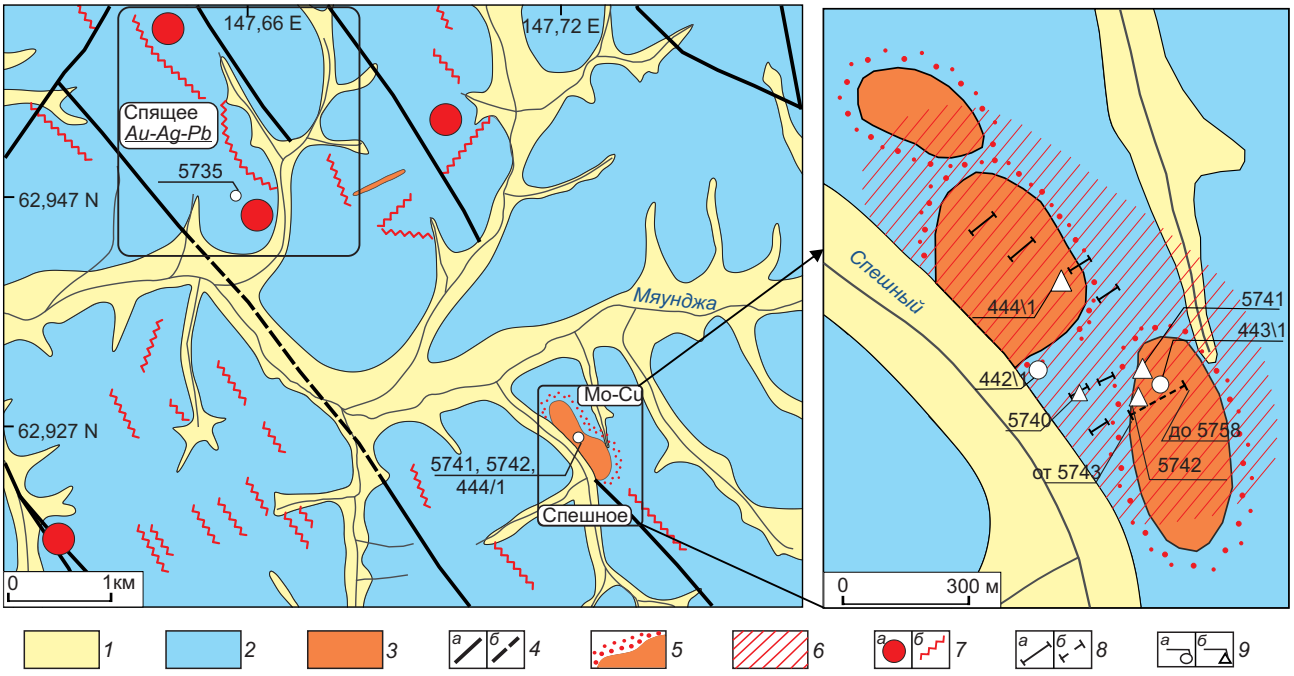


Рис. 2. Схема геологического строения Верхне-Мяунджинского рудного узла:

1 – четвертичные аллювиальные отложения; *2* – юрские алевролиты, песчаники, аргиллиты; *3* – кварцевые сиенит-порфиры; *4* – разломы достоверные (*а*), предполагаемые (*б*); *5* – роговики; *6* – рудоносный штокверк; *7* – рудопроявления золота (*а*), кварцевые и карбонат-кварцевые жилы (*б*); *8* – канавы (*а*), сколковые профили (*б*); *9* – пробы (*а*), образцы (*б*)

«транстенсионного рифтинга» [12] – сдвигового растяжения, связанного с трансформным режимом континентальной окраины Северо-Востока Азии в конце мезозоя.

Верхне-Мяунджинский рудный узел включает Mo-Cu порфировое рудопроявление Спешное и Au-Ag-Pb Спящее. Его очертания определяются расположением рудоносных интрузий биликанского комплекса и разломами северо-западной ориентировки. Рудопроявление Спешное вмещается порфировидными кварцевыми сиенитами, монцодиоритами и прорываемыми ими ороговикованными юрскими алевролитами (рис. 2). Изверженные породы – крупнопорфировые (рис. 3, А, В и рис. 4, И); фенокристаллы представлены плагиоклазом, фельдшпатоидами, роговой обманкой и биотитом (см. рис. 4, И). Характерной их особенностью является расположение выделений магнетита, которые образуют каймы вокруг зёрен роговой обманки или биотита (см. рис. 4, Ж, К). Химический состав породы (мас.%, в пересчёте на сухой остаток): SiO_2 – 58,27, TiO_2 – 0,78, Al_2O_3 – 17,12, Fe_2O_3 – 6,92, MnO – 0,16, MgO – 3,47, Na_2O – 4,69, K_2O – 3,14, P_2O_5 – 0,38. По химическому и минеральному составу рудовмещающие породы соответствуют умеренно-щелочным гранитоидам I-типа. Их возраст, определённый U-Pb методом по циркону (SIMS), составил 84 млн лет (рис. 5).

Оруденение представлено сульфидно-кварцевым штокверком, пронизывающим как интрузивные породы, так и алевролиты (см. рис. 3, А–В). Он прослеживается в северо-западном направлении на 600 м при ширине 300 м. По вертикали в рельефе штокверк вскрыт на 100 м. Интенсивность прожилкования – 10–15%, плотность – до 20 прожилков на один м (см. рис. 3, Г–Е). Интрузивные породы в пределах штокверка сильно серицитизированы.

В штуфных пробах максимальное содержание золота составило 0,51 г/т, серебра – 4,27 г/т, молибдена – 0,15%, меди – 0,09%, Pb – 0,04% (табл. 1). По результатам пунктирно-бороздового опробования магистральной канавы, вскрывающей штокверк вкрест простирания на 200 м,



Рис. 3. Текстуры минерализованных образований и вмещающих пород рудопроявления Спешное:

А – порфировидные монцониты, Б – ороговикованные алевролиты, В – штокверк с молибденитом и халькопиритом в порфировидных монцонитах, Г–Е – в алевролитах, Д–Е – типы прожилков, по [31]

выделяются два интервала. Первый – мощностью 20 м, со средними содержаниями золота 0,1 г/т, серебра – 0,7 г/т, молибдена – 0,015 %; в пробе с максимальным содержанием молибдена зафиксирована также относительно высокая концентрация рения (1,39 г/т). Второй – мощностью 40 м, со средними содержаниями золота 0,07 г/т, серебра – 1,3 г/т, меди – 0,014 %, молибдена – 0,010 %. Геохимический спектр минерализации Mo (157)-Au (16)-Ag (10)-Co (9)-Cu, As, W (3). В бороздовых пробах из канав предшественников содержания Mo составляют 0,01–0,3 %, в среднем 0,08 % (В. И. Шалупенко, 1989). Кроме Mo, в пробах отмечены Au (до 0,27–2,1 г/т) и Cu (до 0,015 %). Штокверк сопровождается комплексным вторичным ореолом рассеяния Cu-Mo-Pb-Au-Ag-As-W-Bi состава.

В составе штокверка выделяются характерные для медно-молибден-порфировых месторождений текстурно-вещественные разновидности (типы) прожилков A, B, D [31] (см. рис. 3, Д, Е). Прожилки типа А характеризуются неровными

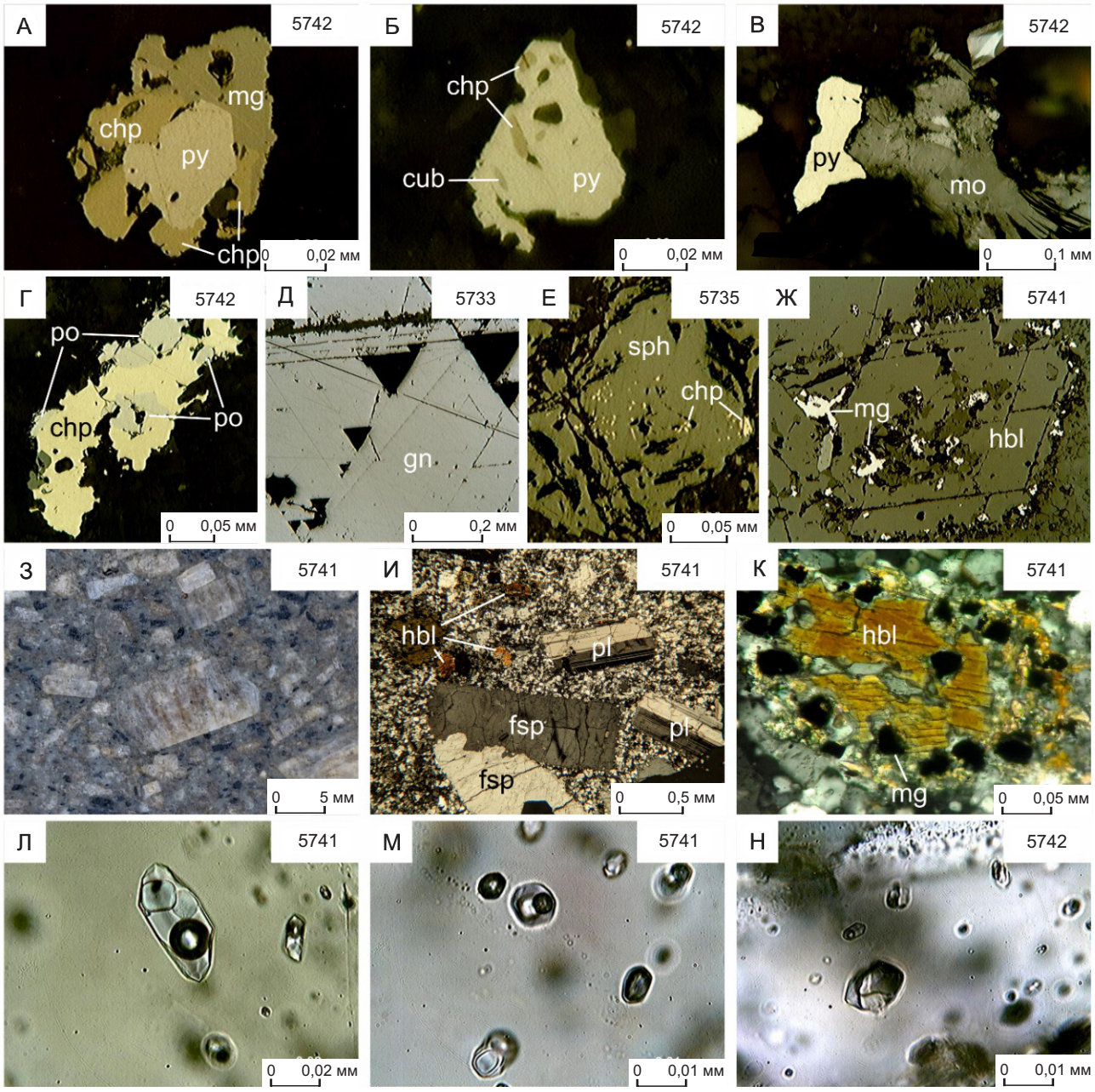


Рис. 4. Минералого-петрографическая характеристика руд и вмещающих горных пород рудопроявлений Спешное (А–Г, Л–С) и Спящее (Г–К):

А–Л – минеральные ассоциации: А – пирит с халькопиритом и магнетитом, Б – вкрапленность халькопирита и кубанита в пирите, В – пирит с молибденитом, Г – халькопирит с пирротином, Д – галенит, Е – вкрапленность и каймы галенита в арсенопирите, Ж – магнетита в роговой обманке, З, И – порфировая текстура порфировидных кварцевых сиенитов, К – расположение магнетита вокруг выделений амфибола, Л–Н – флюидные включения в кварце штокверка, Л, М – газово-жидкие с дочерними фазами, Н – углекислотно-водные и газово-жидкие; chp – халькопирит; po – пирротин; py – пирит; mo – молибденит; gn – галенит; ars – арсенопирит; sph – сфалерит; hbl – амфибол; fsp – К-полевой шпат; pl – плагиоклаз; mg – магнетит

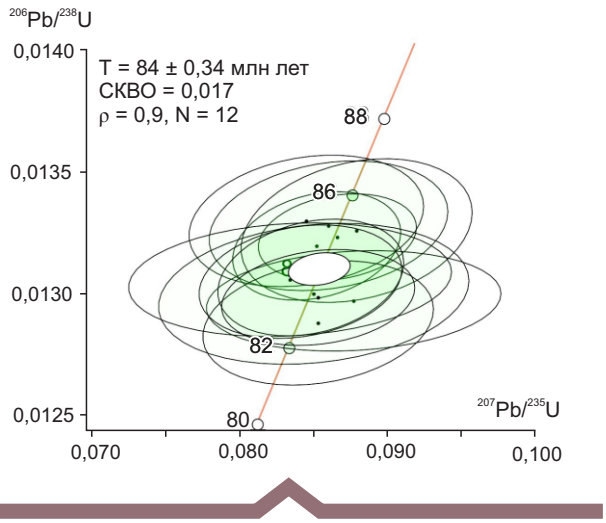


Рис. 5. Результаты U-Pb датирования циркона из кварцевых сиенит-порфиров рудопроявления Спешное:

диаграмма Аренса–Везерилла с конкордией; эллипсы – изотопные отношения в индивидуальных кристаллах циркона, с учётом погрешности; цветная область – плотность распределения точек с учётом погрешности измерений 2σ; T – средневзвешенный конкордантный возраст в млн лет; СКВО – среднеквадратичное взвешенное отклонение; ρ – вероятность

очертаниями, иногда расплывчатыми контактами, мощностью до 1 см, и вкрапленной сульфидной минерализацией. Прожилки типа B прямолинейной морфологии, с чёткими контактами, мощностью до 0,5 см; минерализация представлена преимущественно молибденитом, развитым вдоль зальбандов. Прожилки типа D имеют мощность 1–2 мм, прямолинейные очертания, ровные контакты, секут прожилки типа A и B, убогая сульфидная минерализация в них имеет вкрапленный характер.

Прожилки всех типов сложены главным образом кварцем с разным количеством рудных минералов, которые представлены магнетитом, пиритом, халькопиритом, молибденитом, в меньшей степени – кубанитом, пирротином, сфалеритом, борнитом (см. рис. 4). Магнетит тесно ассоциирует с пиритом и халькопиритом (см. рис. 4, А). Халькопирит, кубанит и пирротин выполняют вкрапленность в пирите (см. рис. 4, Б, Г), нередко халькопирит обрастает пиритом (см. рис. 4, А). Молибденит чаще всего образует мономинеральную вкрапленность, редко в ассоциации с халькопиритом или пиритом (см. рис. 4, В). В северной части

Табл. 1. Содержания некоторых рудных элементов в жилах и штокверке Верхне-Мяунджинского рудного узла, по результатам анализа ICP-OES, г/т

Пробы	Au	Ag	Cu	Mo	Pb	Zn	As	Bi	Sb	W
Спешное										
225740	0,05	0,1	6,2	98,7	19,6	12,9	10,2	0,2	<0,2	1,9
225741	0,09	0,3	28,6	134,5	10,8	57,8	3,4	<0,2	<0,2	1,8
225742	0,08	0,2	31,0	1536,1	14,6	43,7	5,3	0,2	<0,2	2,5
225743	0,08	0,2	54,9	283,9	12,3	60,0	8,9	0,2	<0,2	6,4
225744	0,08	0,2	37,3	112,7	8,4	48,8	5,0	0,2	<0,2	3,6
225745	0,14	2,2	41,0	70,1	25,0	50,0	15,1	0,3	6,0	2,4
225750	0,51	2,6	944,2	47,1	409,8	165,0	162,6	33,2	83,0	97,2
225752	0,01	0,3	27,4	116,9	0,0	56,2	2,0	<0,2	<0,2	2,3
225753	0,03	4,3	23,5	125,8	12,3	69,2	2,1	<0,2	<0,2	4,8
225757	0,00	0,2	18,0	251,1	<0,2	52,8	1,3	2,0	<0,2	1,6
225758	0,00	1,2	16,8	81,3	8,3	45,4	5,9	0,4	11,0	4,4
225759	0,02	0,8	132,5	18,6	115,2	159,0	19,9	1,7	8,2	27,0
Спящее										
225733	0,31	156,1	22,6	1,7	53 996,4	205,6	3197,0	2,0	157,7	2,3
226734	0,92	58,9	61,7	0,7	30 076,9	676,1	27 983,5	2,6	824,9	6,8
225735	0,76	17,9	63,3	2,7	4554,3	2959,2	11 345,3	8,5	117,8	6,7
225736	0,86	36,1	21,6	1,2	16 843,4	430,6	30 138,6	0,9	65,7	8,8

рудопроявления встречаются кварц-сульфидные жилы мощностью до 0,4 м, содержащие агрегаты молибденита размером до 1–2 см. Руды слабо окислены (рис. 6, Д, Е), помимо лимонита, спорадически встречаются гипергенные минералы меди и молибдена.

В кварце прожилков установлено наличие множества флюидных включений, содержащих твёрдые дочерние фазы в виде прозрачных кубиков (см. рис. 4, П–С), предположительно галит, в некоторых имеются мелкие зёрна рудных минералов, сингенетичные им флюидные включения

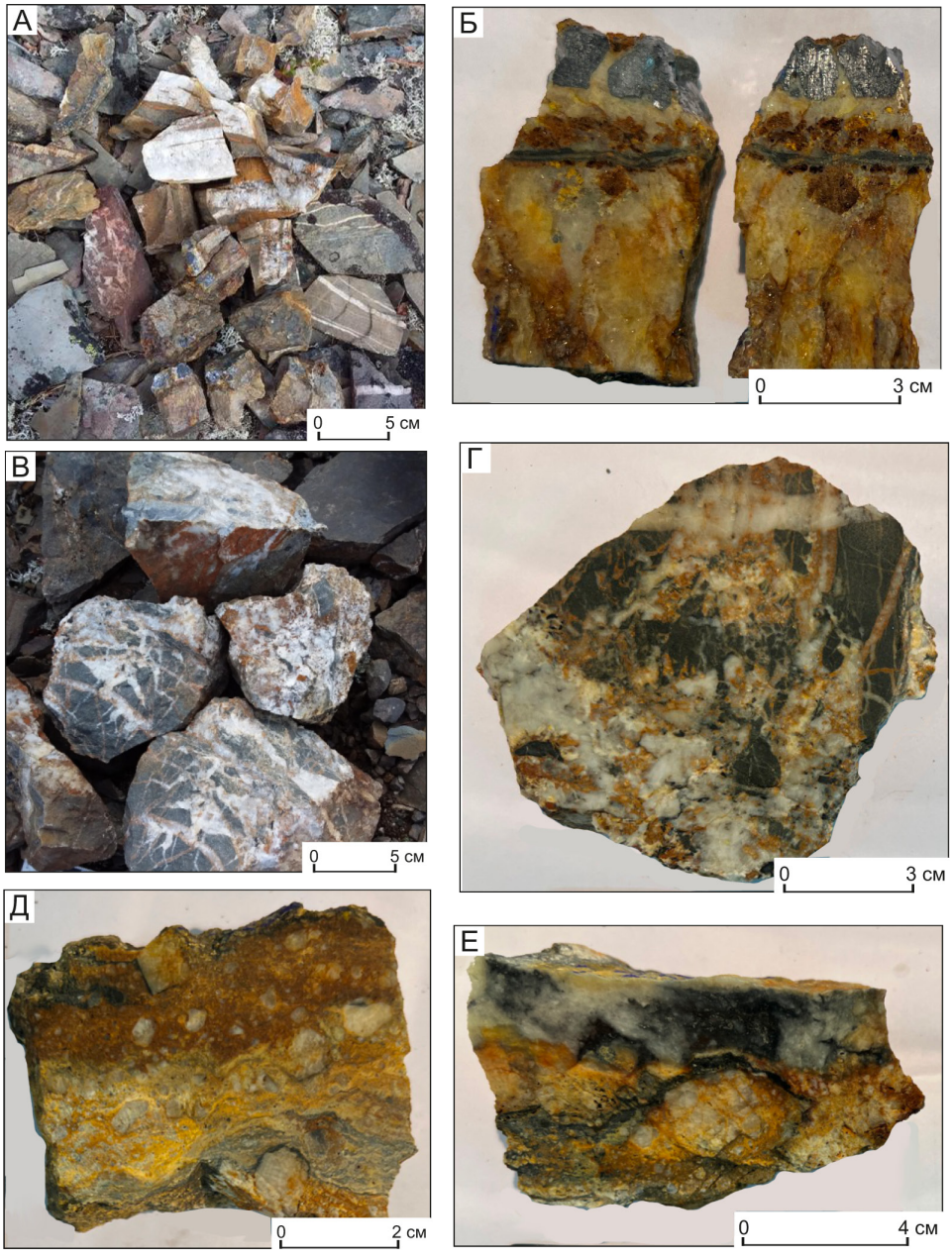


Рис. 6. Текстуры рудопроявления Спящее:

А – сетчатое кварц-сульфидное прожилкование; Б – массивное гнездо галенита в кварцевом прожилке; В–Г – минерализованные брекчии зоны дробления; Д–Е – окисленные руды, кварц-лимонитовые брекчии

с малоплотным газом, предположительно CO^2. Такие типы флюидных включений характерны для кварца медно-молибден-порфировых штокверков [37] и указывают на высокие концентрации солей в рудообразующих растворах.

Рудопроявление Спящее расположено в трёх километрах к северо-западу и локализовано в ороговикованных алевролитах и алевропесчаниках среднеюрского возраста. Оно контролируется зоной разлома северо-западного простирания и представлено несколькими минерализованными зонами дробления и сетчатого кварцевого прожилкования, которые прослеживаются по простиранию более чем на один километр. Протяжённость отдельных рудных тел составляет 100–200 м, мощность – 0,04–1 м; по вертикали оруденение вскрыто в рельефе на глубину не менее 200 м.

В отобранных нами пробах максимальное содержание золота составляет 0,92 г/т, серебра 156 г/т, свинца 5,4 %, цинка 0,30 %, меди 0,21 % (см. табл. 1). Повышенные концентрации образуют также As (3,0 %), Sb (0,08 %). Геохимический спектр минерализации Pb (1566)-Ag (412)-Sb (148)-Au (109)-As (19)-Zn (16)-Bi (10). По данным предшественников (В. И. Шалупенко, 1989), содержания составляют: Pb – 1,3–27,0 % и 3,1–27,0 %, Zn – 0,3–7,5 %, Ag – 69,2–3432 г/т, Au – 0,6–14,4 г/т, Cu – 0,1–0,4 %, Sb – 0,1–5,1 %.

Интенсивность прожилкования от 1 до 20 %; отдельные прожилки имеют мощность до 2 см, параллельно-шестоватую, реже массивную и брекчиевую текстуры (см. рис. 6, А), сложены белым, сероватым, средне- и крупнокристаллическим кварцем. Минерализованные зоны дробления представляют собой катаклазиты осадочных пород, сцементированные кварц-сульфидно-серицитовым материалом (см. рис. 6, В, Г), их мощность не превышает 0,5 м. Редко встречаются кварцевые жилы мощностью до 0,2 м. Рудные минералы представлены галенитом, арсенопиритом, пиритом, сфалеритом, блёклой рудой, халькопиритом, пираргиритом, пруститом, вольфрамитом, молибденитом, самородным золотом; в зоне окисления развиты ковеллин, церуссит, скородит. Галенит образует вкрапленность в арсенопирите и каймы вокруг него (см. рис. 4, Е–И); в его составе установлены примеси (вес. %): Fe – до 12,3, Ag – до 2,43, Bi – до 4,22 (табл. 2). Атомные концентрации As в арсенопирите варьируют от 28,6 до 30,49 %, что является показателем

Табл. 2. Результаты микрорентгеноспектрального анализа минералов в обр. 5735 (рудопроявление Спешное)

Название спектра	S	Fe	As	Ag	Pb	Bi	Сумма
Галенит							
Спектр 189	13,39			2,22	78,83	4,22	98,66
Спектр 190	12,91			2,43	80,83	3,82	100,00
Спектр 191	13,82			1,93	83,29	0,96	100,00
Спектр 192	13,96			1,85	80,57	2,79	99,17
Спектр 193	13,40			2,02	81,70	3,10	100,22
Спектр 194	13,49			1,95	80,76	5,33	101,53
Спектр 195	14,02			2,00	80,97	3,70	100,69
Спектр 196	12,84			2,01	81,58	3,00	99,43
Спектр 206	12,71	0,72			86,57		100,00
Спектр 207	13,50	0,56			85,93		100,00
Спектр 208	12,88	0,52			86,60		100,00
Спектр 209	12,86				85,25		98,11
Спектр 211	12,89	0,58			86,53		100,00
Спектр 212	12,75	0,43			86,82		100,00
Спектр 216	14,19	0,63			84,57	0,62	100,00
Спектр 218	13,30				85,65		98,95
Спектр 223	12,58				86,35		98,93
Спектр 226	12,52	0,64			86,85		100,00
Спектр 227	13,03				86,97		100,00
Спектр 228	12,53				86,65	0,83	100,00
Спектр 229	13,42	1,23			85,35		100,00
Арсенопирит							
Спектр 184	22,87	35,98	40,62				99,47
Спектр 185	22,71	36,41	42,65				101,77
Спектр 186	22,21	35,60	42,36				100,17
Спектр 200	21,91	35,72	42,46				100,09
Спектр 201	22,59	35,92	42,27				100,78
Спектр 202	22,80	36,11	40,75				99,66
Спектр 203	22,13	35,52	42,12				99,77
Спектр 204	22,98	35,85	41,70				100,53
Спектр 205	22,49	35,56	41,90				99,95

окислительной обстановки и высокой активности серы [21], характерной для серебро-полиметаллических и молибден-порфировых рудопроявлений региона.

Общая сульфидность руд варьирует от 1–2 % в прожилках, до 15–20 % в минерализованных зонах. В прожилках минерализация практически всегда приурочена к зальбандам, образуя сегрегации мощностью до 0,1 см; в минерализованных зонах встречаются массивные, сливные агрегаты до 2 см, сложенные преимущественно галенитом (см. рисунки 4, Г и 6, А, Б). Халькопирит выполняет тонкую структурированную вкрапленность в сфалерите (см. рис. 4, Е). Руды сильно окислены, повсеместно распространён лимонит, ярозит, фрагменты плёнки гидроксидов марганца, скородит, медная зелень (см. рис. 6, Д, Е).

Обсуждение. Закономерная пространственная совмещённость гипабиссальных гранитоидов I-типа, штокверкового Mo-Cu и жильно-прожилкового Au-Ag-Pb-Zn оруденения в единой геологической структуре даёт основания отнести Верхне-Мяунджинский рудный узел к порфирово-эпитермальным системам [8]. Следует отметить, что мы относим Спешное, как и Mo-Cu порфировые рудопроявления Конгинской зоны ОЧВП [3], именно к медно-молибден-порфировой формации, а не молибден-порфировой («тип Климакс», [33]), несмотря на относительно низкие значения Cu/Mo в рудах. В пользу этого свидетельствуют монцонит-сиенитовый (а не лейкогранитовый) состав связанных с оруденением гранитоидов, относящихся к I-типу (а не S- и A- как для собственно молибден-порфировых), и ассоциация с Au-Ag и Pb-Zn (а не W-Sn) минерализацией. Определённый нами возраст кварцевых сиенит-порфиров, вмещающих рудопроявление Спешное (84 млн лет), близок ранее полученным датировкам интрузий БХМЗ (83,0–86,0 млн лет) [16, 27]. Он соответствует возрасту «второго импульса» формирования ОЧВП [1]. Специфический шошонит-латитовый состав этих интрузий (рис. 7), близкий щелочным салическим интрузиям алданского комплекса [13, 15], может объясняться значительным удалением их от палеозоны субдукции. Сопоставление индикаторных петрогеохимических показателей медно-порфировых рудопроявлений ОЧВП (табл. 3) показывает закономерное, по мере удаления от осевой части пояса, увеличение в их гранитоидах общей щёлочности и калиевости, а в рудах – снижения Cu/Mo. Медно-порфировые рудопроявления существенно молибденового состава в ассоциации с гранитоидами латитового состава [4] широко распространены в пределах Конгинской зоны ОЧВП, где пояс накладывается на докембрийские структуры Омолонского террейна [3]. Как известно, для образования калиевых монцонитоидных магм необходима ассимиляция мантийными магмами значительных объёмов сиалического корового субстрата [24, 30]. Низкие значения Cu/Mo, характерные как для Спешного, так и Mo-Cu-порфировых объектов Омолонского массива могут отражать, помимо удаления от палеозоны субдукции, влияние сиалических (гнейсовых и песчано-сланцевых) комплексов фундамента, а также формирование рудоносных магм при плавлении нижних горизонтов земной коры [30], а не непосредственно глубоко (более 1000 км, [35]) погружённого слэба и метасоматизированной верхней мантии [25], как в случае существенно медных и золото-медных руд [36]. Этой же причиной объясняются отличия состава порфировой и эпитермальной минерализации Верхне-Мяунджинского узла (существенно молибден-серебро-полиметаллического) от Центрально-Алданского района (существенно золото-медного), при значительном сходстве состава интрузий. Близки по составу интрузиям БХМЗ также монцонитоиды егдыкычского комплекса ОВП [6], с которыми связаны крупные медно-порфировые месторождения Песчанка, Находка и эпитермальное Au-Ag Весеннее (см. рис. 7 и табл. 3).

В 120 км к северо-западу от Верхне-Мяунджинского узла известно Au-Ag-Pb рудопроявление Наледное, локализованное в экзоконтактовой зоне штока монцонитов биликанского интрузивного комплекса с U-Pb возрастом 84 млн лет [16]. Оно представлено минерализованной зоной дробления с кварц-карбонат-сульфидным цементом, протяжённостью более 5 км и мощностью до 50 м. Мощность отдельных рудных тел, выделенных по опробованию в пределах зоны, – 1–10 м, протяжённость – 400–1000 м, на глубину минерализация прослеживается до 300 м. Средние содержания золота в рудах – 2–5 г/т, серебра – 300–400 г/т. Руды также содержат до 10 % свинца и 1 % цинка. Руды на 15–25 % сложены сульфидами: пиритом, арсенопиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, акантитом, блёклыми рудами и Se-сульфосолями серебра. Поблизости известны пункты минерализации золота, содержащие галенит. Золото

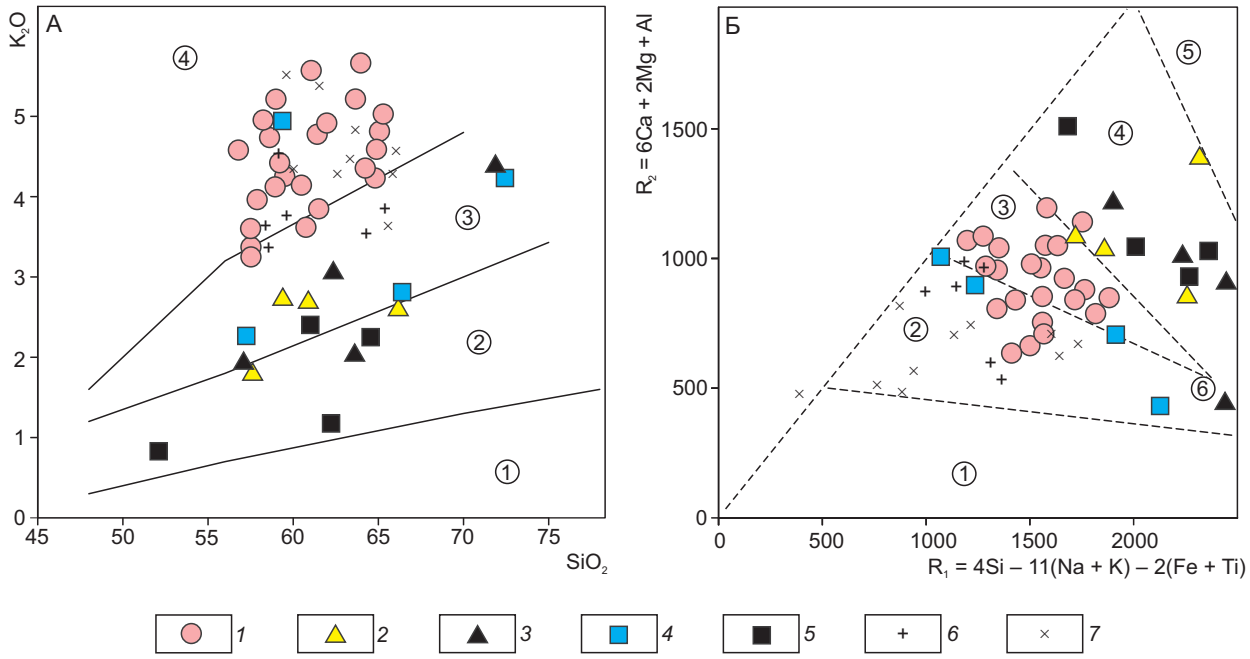


Рис. 7. Диаграммы петрохимического состава интрузивов БХМЗ и интрузивных комплексов некоторых рудных районов, полей и узлов Северо-Востока Азии:

А – цифры в кружках – петрохимические серии: 1 – толеитовая, 2 – известково-щелочная, 3 – высококалиевая известково-щелочная, 4 – шошонитовая [34]; Б – цифры в кружках – геодинамические типы гранитоидов: 1 – анорогенные, 2 – позднеорогенные, 3 – постколлизионных поднятий, 4 – надсубдукционные, 5 – продукты мантийного фракционирования, 6 – синколлизионные, 7 – постколлизионные, [28], в милликатионах (атомное количество элемента × 1000); *1* – биликанский интрузивный комплекс [7, 18, 27]; *2–5* – медно-порфировые рудные районы, узлы и поля ОЧВП: *2* – кавральянский интрузивный комплекс, Кавральянский РУ [17], *3* – викторинский интрузивный комплекс, Конгинский РР [3], *4* – Пиритовое РП, *5* – Тальниковое РП [10]; *6* – егдыкычский интрузивный комплекс, Баимский РР [6]; *7* – алданский интрузивный комплекс [15]

Табл. 3. Значения индикаторных петро- и геохимических показателей различных медно-порфировых месторождений и рудопроявлений Северо-Востока Азии

Индикаторный показатель	Охотско-Чукотский ВП (с запада на восток)					Олойский ВП	Алданский комплекс
	Спешное	Тальниковое РП	Пиритовое РП	Конгинский РР	Кавральянский РУ	Баимский РР	Рябиновое РП
K + Na	6,8–9,5	4,7–6,2	7,8–8,9	5,2–7,7	4,4–6,7	7,5–9,6	8,6–13,4
K	3,2–5,3	0,7–2,3	2,2–4,9	1,9–4,2	1,8–2,6	3,2–4,0	4,4–8,1
K/Na	0,9–1,5	0,2–0,6	0,4–1,2	0,6–1,3	0,6–0,7	0,6–0,8	1,0–2,3
S/I	1,1–1,6	1,4–1,6	1,3–1,5	1,5–1,8	1,4–1,6	1,3–1,6	1,2–1,6
Cu/Mo	5	55	50	5	100	40	20
Cu/Au	10 000	200 000	70 000	35 000	30 000	20 000	30 000
U-Pb возраст гранитоидов	84	91	87	86	78	143–139	132–140

в известных здесь мелких россыпях имеет весьма высокую пробность – 960–965 ‰, характерную для порфировых систем [29]. Все эти признаки однозначно указывают на существование здесь порфирово-эпитермальной системы, аналогичной Верхне-Мяунджинскому узлу.

Ранее нами уже отмечалось, что состав медно-порфировой минерализации ОЧВП и её возраст изменяются вдоль простирания пояса [9]. Объекты Примагаданского отрезка пояса (Тальниковый, Лора, Уптар) не имеют эпитермальной составляющей (см. рис. 1), ассоциируют с гранодиоритами и диоритами нормального известково-щелочного состава, руды имеют существенно медный состав, практически без Au (см. табл. 3). По геологическому строению и составу данные рудопроявления близки к медно-порфировым месторождениям, развивающимся по «монцонитовой» модели медно-порфировых месторождений [32], однако породы монцонит-латитового ряда здесь отсутствуют, что объясняется составом субстрата [10]. К северу и северо-западу, там, где медно-порфировые рудопроявления сосредоточены в поперечных магматических зонах, наложенных на кратонные и шельфовые структуры Омолонского террейна и Яно-Колымского пояса, таких как Биликано-Хуламринская (Спешное), Омсукчанская (Пиритовое) или Конгинская (Захаренко-Лабазный), они приобретают Au-Mo-Cu состав (Cu/Mo < 50, Cu/Au < 100 000), связаны с породами сиенит-монцодиоритового состава и в большинстве случаев сопровождаются эпитермальной и субэпитермальной Cu-Pb-Zn полисульфидной и Au-Ag жильно-прожилковой минерализацией. Наконец, в пределах Чукотского сегмента ОЧВП гранитоиды, с которыми связывается медно-порфировое оруденение, снова приобретают существенно диоритовый низкокалиевый состав, а соотношения индикаторных геохимических показателей изменяются в сторону более золотых и менее молибденовых руд. В этом же направлении наблюдается закономерное омоложение порфировых систем ОЧВП (от 103 до 78 млн лет, см. рис. 1). Такое изменение состава и возраста минерализации мы объясняем структурной эволюцией позднемезозойской активной окраины с конвергентной на трансформную [5]. Подобная трактовка позволяет объяснить отдалённое от осевой части ОЧВП расположение ареала монцонитоидов БХМЗ и связанной с ними Mo-Cu и Au-Ag минерализации, с учётом возможности глубокого проникновения связанных с косым взаимодействием плит разломов сдвиго-раздвиговой кинематики далеко вглубь континента [22].

Заключение. 1. Верхне-Мяунджинский рудный узел Центрально-Колымского сегмента Яно-Колымского орогенного пояса представляет собой порфирово-эпитермальную рудно-магматическую систему, образованную гипабиссальным штоком сиенит-монцонитового состава, вмещаемым ими сульфидно-кварцевым штокверком с Mo-Cu минерализацией, и субэпитермальным жильно-прожилковым Au-Ag-Pb-Zn оруденением.

2. Рудовмещающие интрузивные породы характеризуются высококалиевым и высокомагнезиальным составом, близким к щелочным салическим интрузиям алданского комплекса. Это может указывать на формирование порфирово-эпитермальной системы на значительном удалении от окраины континента, и за счёт глубинного источника, связанного с плавлением разнородного нижнекорового материала.

3. Возраст кварцевых сиенитов, вмещающих штокверковую минерализацию, определённый U-Pb методом по циркону (SIMS), составил 84 млн лет. Это соответствует возрастным границам второго этапа формирования ОЧВП.

Исследования выполнены в рамках тем НИР «Рудообразующие процессы и системы в истории формирования главных тектонических структур Арктической и Тихоокеанской континентальных окраин Северо-Востока Азии» (№ 121031700301–5, раздел 2 «Благороднометалльные и медно-порфировые рудно-магматические системы в металлогении окраинно-континентальных вулкано-плутонических поясов Северо-Востока Азии») и «Разработка критериев рудоносности магматических комплексов» (№ 124051600003–4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акинин В. В., Миллер Э. Л.* Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. – 2011. – Т. 19, № 3. – С. 249–290.
2. *Аленичева А. А., Касаткин Н. С., Юрченко Ю. Ю., Зубова Т. Н., Шатов В. В.* Выявление новых объектов, перспективных на молибден-медно-порфировое оруденение, при создании Госгеолкарты-1000/3 на примере листов О-55, О-56 (Северное Приохотье, Магаданская область) // Тезисы докладов

XIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» (10–12 апреля 2024 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 20–23.

3. *Глухов А. Н., Котов А. Б., Прийменко В. В., Сальникова Е. Б., Иванова А. А., Плоткина Ю. В., Федосеенко А. М.* Гранитоиды Конгинской зоны Омолонского массива (Северо-Восток России): состав пород, возраст и геодинамическая обстановка формирования // Геотектоника. – 2022. – № 2. – С. 1–14.
4. *Глухов А. Н., Прийменко В. В., Фомина М. И., Акинин В. В.* Металлогения Конгинской зоны Омолонского террейна (Северо-Восток Азии) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2021. – № 2. – С. 3–16.
5. *Гребенников А. В., Ханчук А. И.* Геодинамика и магматизм трансформных окраин тихоокеанского типа: основные теоретические аспекты и дискриминантные диаграммы // Тихоокеанская геология. – 2021. – Т. 40, № 1. – С. 3–24.
6. *Дылевский Е. Ф.* Новые сведения о магматизме Баимского рудного района (Западная Чукотка) // Магматизм и оруденение Северо-Востока России. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1997. – С. 88–107.
7. *Ермоленко В. Г., Грищенко Ш. Г., Холодная И. А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. 2-е. Серия Яно-Индигирская. Лист P-55-III (г. Серая). Объяснительная записка. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2020. – 176 с.
8. *Коваленкер В. А., Борисенко А. С., Прокофьев В. Ю., Сотников В. И., Боровиков А. А., Плотинская О. Ю.* Золотоносные порфирово-эпитермальные рудообразующие системы: особенности минералогии руд, флюидный режим, факторы крупномасштабного концентрирования золота // Актуальные проблемы рудообразования и металлогении : тезисы докладов Международного совещания. – Новосибирск : Академическое издательство «Геос», 2006. – С. 103–104.
9. *Колова Е. Е., Глухов А. Н., Акинин В. В., Ползуненков Г. О., Аленичева А. А., Прийменко В. В., Касаткин Н. С., Шпикерман В. И.* Возрастные рубежи формирования медно-порфирового оруденения Охотско-Чаунской металлогенической провинции // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов XI Международной научно-практической конференции (12–15 апреля 2022 г., ФГБУ «ЦНИГРИ»). – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 101–104.
10. *Колова Е. Е., Глухов А. Н., Ползуненков Г. О., Акинин В. В.* Медно-порфировая минерализация Тальникового рудного поля (Охотский сегмент Охотско-Чукотского вулканогенного пояса) // Тихоокеанская геология. – 2023. – Т. 42, № 6. – С. 39–61.
11. *Комарова Я. С., Аносова М. О., Костицын Ю. А., Николаев Ю. Н., Бакшеев И. А.* U-Pb возраст магматических комплексов Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы : Материалы VI Российской конференции по изотопной геохронологии (2–5 июня 2015 г.). – СПб. : ИГГД РАН, 2015. – С. 116–118.
12. *Короновский Н. В., Демина Л. И.* Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. – М. : КДУ, 2011. – 234 с.
13. *Кочетков А. Я.* Мезозойские золотоносные рудно-магматические системы Центрального Алдана // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 7. – С. 850–864.
14. *Кузнецов В. М.* Разнопорядковые структуры тектоно-магматической активизации в Верхояно-Чукотской складчатой области // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2006. – № 2. – С. 2–12.
15. *Кукушкин К. А., Молчанов А. В., Радьков А. В., Шатов В. В., Терехов А. В., Шатова Н. В., Хорохорина Е. И., Ремизов Д. Н.* О расчленении мезозойских интрузивных пород Центрально-Алданского района (Южная Якутия) // Региональная геология и металлогения. – 2015. – № 64. – С. 48–58.
16. *Маланин Ю. А., Громов Г. С., Шпикерман В. И.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Q-55 (р. Мома). Объяснительная записка. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2021. – 615 с.
17. *Невретдинов А. Б.* Интрузии кавральянского комплекса // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. – № 25. – Магадан : Магаданское книжное издательство, 1980. – С. 31–37.
18. *Петухов В. В., Крутоус В. И., Журавлев В. Г.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Нера-Бохапчинская. Лист P-55-X. Объяснительная записка. – М. : МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 301 с.
19. *Ползуненков Г. О., Кондратьев М. Н.* PETRO: Программа для получения и обработки микрофотографий шлифов с использованием android-смартфона // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2023. – № 1. – С. 28–32.
20. *Тихомиров П. Л.* Меловой окраинно-континентальный магматизм Северо-Востока Азии и вопросы генезиса крупнейших фанерозойских провинций кремнекислого вулканизма. – М. : ГЕОС, 2020. – 376 с.
21. *Тюкова Е. Э., Ворошин С. В.* Состав и парагенезисы арсенопирита в месторождениях и вмещающих породах Верхне-Колымского региона. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2007. – 107 с.

22. *Уткин В. П.* Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. – М. : Наука, 1989. – 166 с.
23. *Фадеев А. П., Розенблюм И. С., Сосунов Г. М., Кузнецов В.М.* Зоны тектономагматической активизации мезозоид Северо-Востока СССР и их рудоносность // Металлогения и рудные формации зоны перехода континент-океан. – Магадан : СВКНИИ ДВО АН СССР, 1990. – С. 142–150.
24. *Фролова Т. И., Бурикова И. А.* Магматические формации современных геотектонических обстановок. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 146 с.
25. *Хомич В. Г., Борискина Н. Г.* Геолого-геофизические факторы контроля проявлений золотой минерализации на сопредельных территориях России и Китая // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2009. – № 2 (14). – С. 69–76.
26. *Шатова Н. В., Серегин С. В.* Новые данные о возрасте интрузивных пород викторинского и намындыканского комплексов южной части Омолонского массива (Магаданская область) // Региональная геология и металлогения. – 2023. – № 93. – С. 5–27.
27. *Шпикерман В. И., Полуботко И. В., Васькин А. Ф., Петухов В. В.* Государственная геологическая карта Российской федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Верхояно-Колымская Лист P-55 (Сусуман). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 522 с.
28. *Batchelor R. A., Bowden P.* Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters // Chemical Geology. – 1985. – V. 48. – P. 43–55.
29. *Beadoin G., Liu N.* Geochemical signatures in native gold derived from Au-bearing ore deposits // Ore Geology Review. – 2021. – V. 132. – P. 1–18. – DOI : https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104066
30. *Cao K., Yang Z. M., Xu J. F., Fu B., Li W. K., Sun M. Y.* Origin of dioritic magma and its contribution to porphyry Cu–Au mineralization at Pulang in the Yidun arc, eastern Tibet // Lithos. – 2018. – V. 304. – P. 436–449.
31. *Gustafson L. B., Hunt J. P.* The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile // Economic Geology. – 1975. – V. 70. – P. 857–912.
32. *Lowell J. D., Guilbert J. M.* Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits // Economic Geology. – 1970. – V. 65, № 4. – P. 373–408.
33. *Lundington S., Plumlee G. S.* Climax-type Porphyry Molybdenum Deposits. USGS Open-File Report 2009–1215. – 16 p.
34. *Peccerillo A., Taylor S. R.* Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey // Contributions to mineralogy and petrology. – 1976. – V. 58. – P. 63–81.
35. *Van der Voo R., Sparkman W., Bijwaard H.* Mesozoic subducted slabs under Siberia // Nature. – 1999. – V. 397, № 21. – P. 246–249.
36. *Weber B., Lopez M.* Pb, Sr, and Nd isotopic and chemical evidence for a primitive island arc emplacement of the El Arco porphyry copper deposit (Baja California, Mexico) // Mineralium Deposita. – 2005. – V. 40. – P. 707–725. – DOI : 10.1007/s00126-005-0028-4
37. *Wilkinson J. J.* Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits // Lithos. – 2001. – V. 55, № 1–4. – P. 229–272.
38. *Williams I. S.* U-Th-Pb geochronology by ion microprobe // Reviews in Economic Geology. – 1998. – № 7. – P. 1–35.

REFERENCES

1. *Akinin V. V., Miller E. L.* Evolyutsiya izvestkovo-shchelochnykh magm Okhotsko-Chukotskogo vulkanogennogo poyasa [Evolution of calc-alkaline magmas of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt], Petrologiya, 2011, V. 19, No. 3, pp. 249–290. (In Russ.)
2. *Alenicheva A. A., Kasatkin N. S., Yurchenko Yu. Yu., Zubova T. N., Shatov V. V.* Vyyavleniye novykh ob»yektov, perspektivnykh na molibden-medno-porfirovoye orudeneniye, pri sozdanii Gosgeolkarty-1000/3 na primere listov O-55, O-56 (Severnoye Priokhot'ye, Magadanskaya oblast') [Identification of new objects promising for molybdenum-copper-porphyry mineralization during the creation of Gosgeolkarta-1000/3 using the example of sheets O-55, O-56 (Northern Priokhotye, Magadan Region)], Moscow, TSNIGRI publ., 2024, pp. 20–23. (In Russ.)
3. *Glukhov A. N., Kotov A. B., Priymenko V. V., Sal'nikova Ye. B., Ivanova A. A., Plotkina YU. V., Fedoseyenko A. M.* Granitoidy Konginskoy zony Omolonskogo massiva (Severo-Vostok Rossii): sostav porod, vozrast i geodinamicheskaya obstanovka formirovaniya [Granitoids of the Konginsky zone of the Omolon massif (North-East of Russia): rock composition, age and geodynamic setting of formation], Geotektonika, 2022, No. 2, pp. 1–14. (In Russ.)
4. *Glukhov A. N., Priymenko V. V., Fomina M. I., Akinin V. V.* Metallogeniya Konginskoy zony Omolonskogo terreyna (Severo-Vostok Azii) [Metallogeny of the Konginsky zone of the Omolon terrane (Northeast Asia)], Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN, 2021, No. 2, pp. 3–16. (In Russ.)
5. *Grebennikov A. V., Khanchuk A. I.* Geodinamika i magmatizm transformnykh okrain tikhookeanskogo tipa: osnovnyye teoreticheskiye aspekty i diskriminantnyye diagrammy [Geodynamics and magmatism of transform margins of the Pacific type: main theoretical aspects and discriminant diagrams], Tikhookeanskaya geologiya, 2021, V. 40, No. 1, pp. 3–24. (In Russ.)

6. *Dylevskiy Ye. F.* Novyye svedeniya o magmatizme Baimskogo rudnogo rayona (Zapadnaya Chukotka) [New information on magmatism of the Baimsky ore region (Western Chukotka)], Magmatizm i orudeneniye Severo-Vostoka Rossii, Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 1997, pp. 88–107. (In Russ.)
7. *Yermolenko V. G., Grishchenko Sh. G., Kholodnaya I. A.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 200 000. Izd. 2-ye. Seriya Yano-Indigirskaya. List P-55-III (g. Seraya). Obyasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1:200,000. 2nd ed. Yano-Indigirskaya Series. Sheet P-55-III (Seraya Mountain). Explanatory note], St. Petersburg, VSEGEI publ., 2020, 176 p. (In Russ.)
8. *Kovalenker V. A., Borisenko A. S., Prokof'yev V. Yu., Sotnikov V. I., Borovikov A. A., Plotinskaya O. Yu.* Zolotonosnyye porfirovo-epitermal'nyye rudoobrazuyushchiye sistemy: osobennosti mineralogii rud, flyuidnyy rezhim, faktory krupnomasshtabnogo kontsentrirovaniya zolota [Gold-bearing porphyry-epithermal ore-forming systems: features of ore mineralogy, fluid regime, factors of large-scale gold concentration], Novosibirsk, Akademicheskoye izdatel'stvo "Geos" publ., 2006, pp. 103–104. (In Russ.)
9. *Kolova Ye. Ye., Glukhov A. N., Akinin V. V., Polzunenkov G. O., Alenicheva A. A., Priymenko V. V., Kasatkin N. S., Shpikerman V. I.* Vozrastnyye rubezhi formirovaniya medno-porfirovogo orudeneniya Okhotsko-Chaunskoy metallogenicheskoy provintsii [Age boundaries of the formation of copper-porphyry mineralization of the Okhotsk-Chaun metallogenic province], Moscow, TSNIGRI publ., 2022, pp. 101–104. (In Russ.)
10. *Kolova Ye. Ye., Glukhov A. N., Polzunenkov G. O., Akinin V. V.* Medno-porfirovaya mineralizatsiya Tal'nikovogo rudnogo polya (Okhotskiy segment Okhotsko-Chukotskogo vulkanogennogo poyasa) [Copper-porphyry mineralization of the Talnikovoye ore field (Okhotsk segment of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt)], Tikhookeanskaya geologiya, 2023, V. 42, No. 6, pp. 39–61. (In Russ.)
11. *Komarova YA. S., Anosova M. O., Kostitsyn Yu. A., Nikolayev Yu. N., Baksheyev I. A.* U-Pb vozrast magmaticheskikh kompleksov Baimskoy rudnoy zony, Zapadnaya Chukotka [U-Pb age of igneous complexes of the Baimskaya ore zone, Western Chukotka], St. Petersburg, IGGD RAN publ., 2015, pp. 116–118. (In Russ.)
12. *Koronovskiy N. V., Demina L. I.* Magmatizm kak indikator geodinamicheskikh obstanovok [Magmatism as an indicator of geodynamic conditions], Moscow, KDU publ., 2011, 234 p. (In Russ.)
13. *Kochetkov A. Ya.* Mezozoyskiye zolotonosnyye pudnomagmaticheckiye sistemy Tsentral'nogo Aldana [Mesozoic gold-bearing ore-magmatic systems of the Central Aldan], Geologiya i geofizika, 2006, V. 47, No. 7, pp. 850–864. (In Russ.)
14. *Kuznetsov V. M.* Raznoporyadkovyye struktury tektono-magmaticheskoy aktivizatsii v Verkhoyano-Chukotskoy skladchatoy oblasti [Different-order structures of tectonic-magmatic activation in the Verkhoyansk-Chukotka folded region], Vestnik SVNTS DVO RAN, 2006, No. 2, pp. 2–12. (In Russ.)
15. *Kukushkin K. A., Molchanov A. V., Rad'kov A. V., Shatov V. V., Terekhov A. V., Shatova N. V., Khorokhorina Ye. I., Remizov D. N.* O raschlenenii mezozoyskikh intruzivnykh porod Tsentral'no-Aldanskogo rayona (Yuzhnaya Yakutiya) [On the subdivision of Mesozoic intrusive rocks of the Central Aldan region (Southern Yakutia)], Regional'naya geologiya i metallogeniya, 2015, No. 64, pp. 48–58. (In Russ.)
16. *Malanin Yu. A., Gromov G. S., Shpikerman V. I.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (3-ye pokoleniye). Seriya Verkhoyano-Kolymskaya. List Q-55 (r. Moma). Obyasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1: 1,000,000 (3rd generation). Verkhoyansk-Kolyma Series. Sheet Q-55 (Moma River). Explanatory note], St. Petersburg, VSEGEI publ., 2021, 615 p. (In Russ.)
17. *Nevretdinov A. B.* Intruzii kavral'yanskogo kompleksa [Intrusions of the Kavralyansky complex], Materialy po geologii i poleznym iskopayemym Severo-Vostoka SSSR, No. 25, Magadan, Magadanskoye knizhnoye izdatel'stvo publ., 1980, pp. 31–37. (In Russ.)
18. *Petukhov V. V., Krutous V. I., Zhuravlev V. G.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 200 000. Seriya Nera-Bokhapchinskaya. List P-55-X. Obyasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. Nera-Bokhapchinskaya Series. Sheet P-55-X. Explanatory note], Moscow, MF VSEGEI publ., 2013, 301 p. (In Russ.)
19. *Polzunenkov G. O., Kondrat'yev M. N.* PETRO: Programma dlya polucheniya i obrabotki mikrofotografiy shlifov s ispol'zovaniyem android-smartfona [PETRO: Program for obtaining and processing microphotographs of thin sections using an android smartphone], Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN, 2023, No. 1, pp. 28–32. (In Russ.)
20. *Tikhomirov P. L.* Melovoy okrainno-kontinental'nyy magmatizm Severo-Vostoka Azii i voprosy genezisa krupneyshikh fanerozoyskikh provintsiy kremnekislogo vulkanizma [Cretaceous continental margin magmatism of North-East Asia and issues of genesis of the largest Phanerozoic provinces of siliceous volcanism], Moscow, GEOS publ., 2020, 376 p. (In Russ.)
21. *Tyukova Ye. E., Voroshin S. V.* Sostav i paragenezisy arsenopirita v mestorozhdeniyakh i vmeshchayushchikh porodakh Verkhne-Kolymskogo regiona [Composition and parageneses of arsenopyrite in deposits and host rocks of the Upper Kolyma region], Magadan, SVNTS DVO RAN publ., 2007, 107 p. (In Russ.)

22. *Utkin V. P.* Sdvigovyye dislokatsii, magmatizm i rudoobrazovaniye [Shear dislocations, magmatism and ore formation], Moscow, Nauka publ., 1989, 166 p. (In Russ.)
23. *Fadeyev A. P., Rozenblyum I. S., Sosunov G. M., Kuznetsov V.M.* Zony tektonomagmaticheskoy aktivizatsii mezozoid Severo-Vostoka SSSR i ikh rudonosnost' [Zones of tectonomagmatic activation of the Mesozoic regions of the North-East of the USSR and their ore content], Metallogeniya i rudnyye formatsii zony perekhoda kontinent-okean, Magadan, SVKNII DVO AN SSSR publ., 1990, pp. 142–150. (In Russ.)
24. *Frolova T. I., Burikova I. A.* Magmaticheskiye formatsii sovremennykh geotektonicheskikh obstanovok [Magmatic formations of modern geotectonic settings], Moscow, MGU publ., 1997, 146 p. (In Russ.)
25. *Khomich V. G., Boriskina N. G.* Geologo-geofizicheskiye faktory kontrolya proyavleniy zolotoy mineralizatsii na sopredel'nykh territoriyakh Rossii i Kitaya [Geological and geophysical factors controlling manifestations of gold mineralization in the adjacent territories of Russia and China], Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle, 2009, No. 2 (14), pp. 69–76. (In Russ.)
26. *Shatova N. V., Seregin S. V.* Novyye dannyye o vozraste intruzivnykh porod viktorinskogo i namyndykanskogo kompleksov yuzhnoy chasti Omolonskogo massiva (Magadanskaya oblast') [New data on the age of intrusive rocks of the Viktorinsky and Namyndykansky complexes of the southern part of the Omolon massif (Magadan region)], Regional'naya geologiya i metallogeniya, 2023, No. 93, pp. 5–27. (In Russ.)
27. *Shpikerman V. I., Polubotko I. V., Vas'kin A. F. Petukhov V. V.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (3-ye pokoleniye). Seriya Verkhoyano-Kolymskaya List R-55 (Susuman). Obyasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (3rd generation). Verkhoyansk-Kolyma Series Sheet R-55 (Susuman). Explanatory Note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI publ., 2016, 522 p. (In Russ.)
28. *Batchelor R. A., Bowden P.* Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters, Chemical Geology. – 1985, V. 48, pp. 43–55.
29. *Beadoin G., Liu N.* Geochemical signatures in native gold derived from Au-bearing ore deposits, Ore Geology Review, 2021, V. 132, pp. 1–18, DOI : https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104066
30. *Cao K., Yang Z. M., Xu J. F., Fu B., Li W. K., Sun M. Y.* Origin of dioritic magma and its contribution to porphyry Cu–Au mineralization at Pulang in the Yidun arc, eastern Tibet , Lithos, 2018, V. 304, pp. 436–449.
31. *Gustafson L. B., Hunt J. P.* The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile, Economic Geology, 1975, V. 70, pp. 857–912.
32. *Lowell J. D., Guilbert J. M.* Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits, Economic Geology, 1970, V. 65, No. 4, pp. 373–408.
33. *Lundington S., Plumlee G. S.* Climax-type Porphyry Molybdenum Deposits. USGS Open-File Report 2009–1215, 16 p.
34. *Peccerillo A., Taylor S. R.* Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey, Contributions to mineralogy and petrology, 1976, V. 58, pp. 63–81.
35. *Van der Voo R., Sparkman W., Bijwaard H.* Mesozoic subducted slabs under Siberia, Nature, 1999, V. 397, No. 21, pp. 246–249.
36. *Weber B., Lopez M.* Pb, Sr, and Nd isotopic and chemical evidence for a primitive island arc emplacement of the El Arco porphyry copper deposit (Baja California, Mexico), Mineralium Deposita, 2005, V. 40, pp. 707–725, DOI : 10.1007/s00126-005-0028-4
37. *Wilkinson J. J.* Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, Lithos, 2001, V. 55, No. 1–4, pp. 229–272.
38. *Williams I. S.* U-Th-Pb geochronology by ion micro-probe, Reviews in Economic Geology, 1998, No. 7, pp. 1–35.

Статья поступила в редакцию 02.11.24; одобрена после рецензирования 17.11.24; принята к публикации 20.11.24.
The article was submitted 02.11.24; approved after reviewing 17.11.24; accepted for publication 20.11.24.

DOI:10.47765/0869-7175-2024-10025

УДК 550.84
© М. С. Михайлов, 2024

Новый подход к оценке геохимических гипергенных аномалий золота на примере массива Солдат (Мурунский массив Алданского щита)

Аннотация. Литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния на практике рассматриваются как попытка выявить место выхода рудных тел на поверхность или значительно сократить зону их поиска. Даже при соблюдении всех общепринятых методических принципов исследователи нечасто проявляют интерес к выявленным аномалиям, по которым считается подавляющая часть прогнозных ресурсов. Проблема кроется в том, что подсчитанные ресурсы, как правило, не подтверждаются и многие аномалии признаются ложными или связанными с повышенными кларками элементов в горных породах. На этапе, предшествующем проведению буровых и горнопроходческих работ, главной задачей является определение перспективности той или иной аномалии. На примере массива Солдат был разработан методический приём, позволяющий обосновать перспективность выявленных аномалий. Его суть состоит в уточнении контактового взаимодействия пород массива и вмещающих пород посредством анализа перекрывающих их гипергенных аналогов. При помощи факторного анализа, на основании разделения основных породообразующих элементов уточняется пространственное положение основных типов пород, слагающих геологическое строение участка. В зоне наложения факторов породообразующих элементов устанавливаются аномалии Au, As, Cu, W, Co, Ni и других элементов. Локализация данных аномалий в контуре наложения породообразующих факторов принимается как потенциальное отражение особенностей контактного взаимодействия пород различного типа и состава. Главная цель статьи – привлечение внимания исследователей к аналогичным ситуациям, дабы не пропускать слабые аномалии. Так, применительно к выборке проб из зоны наложения факторов породообразующих элементов, устанавливаются положительные значимые связи рудных элементов, в то время как в других выборках за пределами зоны корреляции не наблюдаются. Это свидетельствует о сложившейся уникальной геохимической обстановке, которую необходимо принимать во внимание и прогнозировать потенциальное оруденение. Все последующие построения связаны с геометризацией детального участка в соответствии с выделенной зоной, где были установлены основные ассоциации химических элементов и исследовано зональное строение вторичного геохимического поля массива.

Ключевые слова: литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния, зона наложения породообразующих факторов, статистическая обработка, корреляция.

МИХАЙЛОВ МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ, аспирант, ms.mikhailov@inbox.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН), г. Иркутск

A new approach to assessment of supergene geochemical gold anomalies, exemplified by the Soldat massif (Murun massif of the Aldan shield)

M. S. MIKHAILOV

Federal State Budgetary Institution of Science Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IZK SB RAS), Irkutsk

Annotation. Lithochemical prospecting by secondary scattering halos is considered in practice as attempts to locate ore body outcrops or to significantly reduce the search area. Even when all commonly accepted methodological principles are followed, the researchers rarely show interest in the identified anomalies, for which the vast majority of forecast resources are calculated. The problem lies in the fact that the calculated resources are usually not confirmed, and many anomalies are recognized as false or related to elevated Clarkes of the elements in the rocks. At the phase preceding the exploration drilling and mining workings, the main task is to determine the prospectivity of a certain anomaly. A methodological approach allowing one to justify the prospectivity of iden-

tified anomalies was developed using the Soldat massif as an example. Its essence consists in clarifying the contact interaction between the rocks of the massif and the host rocks by analyzing their covering hypergene analogues. Using factor analysis, based on the division of the main rock-forming elements, the spatial position is determined of the main rock types that make up the geological structure of the area. Within a zone of overlapping factors of the rock-forming elements, anomalies of Au, As, Cu, W, Co, Ni, and other elements are established. The localization of these anomalies within the contour of superposition of the rock-forming factors is considered a potential reflection of specific features of the contact interaction between rocks of different types and compositions. The main goal of the article is to attract the attention of researchers to similar situations so as not to miss weak anomalies. For example, positive significant correlations of ore elements are established in samples taken from the zone of overlapping rock-forming factors, while no correlations are observed in samples taken outside this zone. This indicates a unique geochemical environment that needs to be considered and used to predict potential mineralization. All subsequent constructions are related to geometrizing a detailed area in accordance with the identified zone where the main associations of chemical elements were established and the zonal structure of the secondary geochemical field of the massif was studied.

Key words: lithochemical prospecting by secondary scattering halos, zone of overlapping rock-forming factors, statistical processing, correlation.

Введение. Золоторудные месторождения центрально-алданской провинции парагенетически тесно связаны с щелочными и субщелочными породами позднего мезозоя, выполняющими интрузии сиенитов и граносиенитов. По морфологическим особенностям структуры золоторудной центрально-алданской провинции сопоставимы с аналогичными структурами западно-алданской провинции [2]. К таким структурам относятся прежде всего купольные поднятия и узлы пересечения и сочленения крупных разрывных нарушений, определяющих территории наиболее интенсивных магматических воздействий. Исходя из этих общих тектонических соображений, западно-алданская провинция представляется перспективной на обнаружение крупных золоторудных месторождений. Мурунский массив тесно сопряжён с Атбастах-Торгойской серией разломов северо-восточного направления. Рядом исследователей на площади Маломурунского массива проводились геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния масштабов 1 : 200 000 и 1 : 50 000 [3]. В результате были выявлены контрастные аномалии, характеризующиеся широким спектром образующих их элементов. Наибольшей проявленностью аномалий отличались потоки Au, Pb, Ag, Cu, V и Tl. Аномалии соответствовали ареалам изменённых сиенитов, в пределах которых были обнаружены минерализованные зоны с золото-порфировым оруденением, которое, по мнению многих авторов, соответствует типу Рябиновской золотоносной провинции центрального Алдана. При проведении поисков масштаба 1 : 50 000 в пределах этих аномалий, были выявлены 4 группы аномалий: 1) Au, Ag, W, Tl; 2) Cu, Ag, Bi, Sn; 3) Cr, Ni, Co; 4) Mo. В апикальной части массива отмечена рудная минерализация, представленная галенитом, сфалеритом и халькопиритом. Типичные рудные образования – сиениты, пронизанные жилами и прожилками кварца, флюорита, барита, карбонатных минералов, флюорита и сульфидов. В целом результаты этих работ подтвердили связь золоторудной минерализации с щелочными породами, открыв широкий простор на выявление нового типа золотого оруденения в Западно-Алданской провинции [3].

Ареал распространения щелочного магматизма продолжается в южном направлении в виде мелких массивов щёлочно-сиенитовой формации. Один из них – массив Солдат. Тела аналогично приурочены к Абастах-Торгойской тектонической зоне в месте пересечения её субмеридиональной зоной тектонических нарушений Жуинского разлома. Возраст образований массива существенно не отличается от ближайшего массива Мурун и определяется как позднемеловой. В этом отношении оба массива являются составляющими единой связанной системы и определяют общий структурный облик района. Все проведённые геохимические работы в пределах массива Солдат в XX в. имели недочёты, связанные с недостаточно высоким уровнем лабораторной базы того времени. Чувствительность спектрозолото-метрического анализа составляла всего 0,01 г/т. Таким образом, площадь массива подлежала переопробованию. Вместе с тем ставится новая задача по прогнозу

нового рудоносного участка. Осложняет задачу отсутствие геохимического эталона. В первом приближении таким эталоном может послужить площадь Маломурунского массива.

Краткая геологическая характеристика участка. Основная часть массива располагается среди карбонатных пород баракунской, сеньской и торгиноской и джемкуканской свит (рис. 1). Выделяются два вида контактового метаморфизма: мраморизация и фенитизация. Наиболее интенсивно мраморизованы известняки торгинской свиты в юго-восточном экзоконтакте. Помимо мраморизованных пород выявлены тремолитовые и гранатовые скарны. Фенитизация проявляется только северо-западном контакте массива. Строение интрузива сложное и для окончательного понимания его внутренней структуры требуется детальное изучение. Породы различного состава располагаются в нём обособленными зонами, иногда в виде фрагментов концентрических зон. В пределах массива выделены три фазы: первая – щелочные и щёлочноземельные сиениты; вторая – микросиениты; третья – щелочные гранит-порфиры. Около 90 % площади массива представлены первой фазой. Предыдущими работами установлено, что концентрически-зональное строение обусловлено в основном последовательными внедрениями различных фаз. Породы первой фазы занимают положение в центральной части массива и представляют наибольший интерес в связи с отсутствием чётких контактных границ.

В центральной части к массиву примыкают вулканогенно-осадочные образования джелиндинской толщи, представленной туфами трахиандезитов и туфоалевролитами. Контакты остаются неясными.

В пределах массива практически отсутствуют коренные выходы горных пород. Склоны задернованы, и обломочный материал на поверхности склонов отсутствует. Это обстоятельство весьма затрудняет выяснение естественных взаимоотношений различных пород, слагающих массив.

Методика исследования. Во время полевого сезона 2020 г. силами ООО «СГС» при непосредственном участии автора в пределах массива были проведены литохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния в рамках разработки рационального комплекса рекогносцировочных и поисковых работ на коренное золото, а также оруденения Алданских типов. Пробы отбирались в соответствии с предварительно разбитой сетью размером 200 × 200 м. В процессе камеральной обработки данных применялись методы статистического анализа. Было установлено, что статистические распределения содержаний всех элементов,

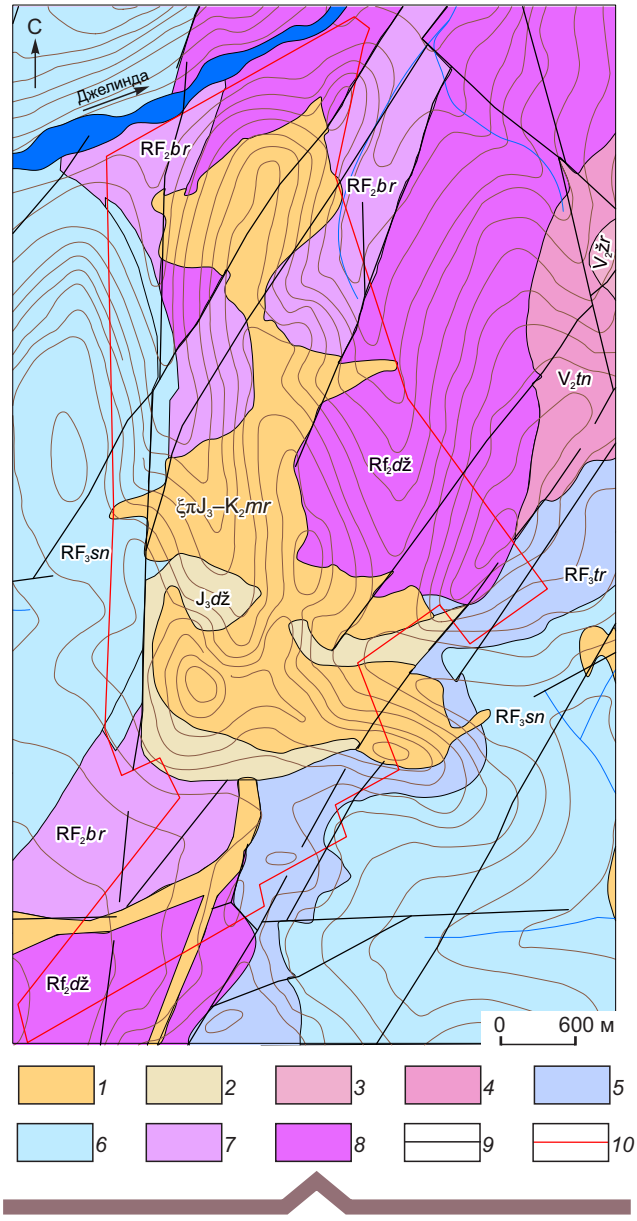


Рис. 1. Геологическое строение участка работ (на основе полевой карты):

1 – щелочные сиениты, $\xi\pi J_3–K_2mr$; *2* – джилиндинская толща (туфы трахиандезитов), J_3dz; *3* – жербинская свита (кварцевые песчаники), V_2zr; *4* – тиновская свита (известняки, алевролиты), V_2tn; *5* – торгинская свита (доломиты, известняки), RF_3tr; *6* – сеньская свита (доломиты), RF_3sn; *7* – баракунская свита (сланцы углистые, сланцево-карбонатные), RF_2br; *8* – Джемкуканская свита (конгломераты, песчаники), RF_2dz; *9* – разрывные нарушения; *10* – контур литохимического опробования

кроме Ni, Co, V, W, Ti, K, Na, Al и Fe, больше соответствуют логарифмически нормальному закону. Минимально-аномальные содержания рассчитывались по общепринятым формулам с учётом стандартного отклонения и стандартного множителя. Уровень местного фона определялся по расчёту медианного значения каждой выборки элемента, независимо от закона распределения элементов с отсечением аномально высоких (ураганных) значений.

По результатам спектрального анализа ICP-MS+ICP-OES на 35 элементов в программе ArcMap автором были построены литохимические аномалии Au, Ag, As, Be, Cu, Co, Ni, Pb, Zn, Mo, W и др. Результаты факторного анализа указывали на неточности имеющейся геологической карты. Низкие содержания рудных элементов вызывали сомнения в рудном происхождении аномалий. Были установлены единичные аномальные содержания (в г/т), не превышающие: для золота 0,01–0,19, серебра – 1–6, мышьяка – 30–50. Близкими к надкларковым были содержания (в г/т): меди 50–100, кобальта – до 36, молибдена – до 85, никеля – до 55, вольфрама – до 20, свинца – до 500 и цинка – до 600. В результате все аномалии были признаны бесперспективными. Такой подход в оценивании аномалий нельзя признать неоспоримым. Широко известно, что даже слабые и низкоконтрастные гипергенные аномалии могут представлять рудопроявления и целые месторождения.

Настоящая работа посвящена результатам переосмысления с дополнением экспериментальной проверки имеющихся геохимических данных. В условиях практически однородного закрытого и полузакрытого ландшафта произведён расчёт статистических параметров с учётом определения типов пород, составляющих геологическое строение исследуемой территории. Данный подход позволяет: 1) уточнить пространственное положение основных типов подстилающих пород: осадочных, вулканогенно-осадочных и сиенит-порфиров; 2) выявить зоны наложения факторов элементов породообразующих и акцессорных минералов; 3) доказать приуроченность построенных аномалий к зонам наложений факторов элементов породообразующих и акцессорных минералов, далее проследить корреляции рудных элементов по зоне, а затем над каждым типом подстилающих пород в отдельности; 4) построить прогнозно-геохимическую карту на основании выявленных закономерностей. Конечным итогом исследования явились оценка перспектив массива Солдат и предположения геолого-генетического типа рудной минерализации на основании ряда признаков.

В первую очередь все геохимические данные были разделены на однородные совокупности – геохимические системы, в основе которых лежат представления о природных телах. Этими системами служат доломиты и контактирующие с ними сиениты. Роль горных пород отчётливо выделяется при рассмотрении литосерии ландшафтов, формирующихся в условиях однородного рельефа на различных горных породах [4]. В программе Statistica методом главных компонентов факторного анализа были проанализированы главные литофильные элементы – Al, Mg, Ca, Na и Ti. Железо было исключено ввиду широкого распространения как в силикатных породах, так и осадочных образованиях. Были выделены три основных фактора, которые разделились согласно геологическому строению участка (табл. 1).

Действие фактора, который составляют нагрузки K (0,92) и Na (0,81), в меньшей степени Al (0,32), занимает пространственное положение в центре исследуемой территории и отображает пространственное положение сиенитовой интрузии. Действие фактора 2 составляют нагрузки Ca (0,91) и Mg (0,9) и отображает доломиты, пространственно занимающие западную область. Действие фактора 3 определяют нагрузки Al (0,81) и Ti (0,87), в меньшей степени Na (0,38), и K (0,2), скорее всего, означает другую фациальную разновидность сиенитовой интрузии (рис. 2). Распределение факторов не противоречит данным маршрутных исследований, в ходе которых были

Табл. 1. Нагрузки факторов элементов породообразующих и акцессорных минералов

Элемент	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Al	0,32	0,06	0,81
K	0,92	-0,02	0,20
Ca	0,17	0,91	-0,12
Mg	-0,15	0,90	0,20
Na	0,81	0,05	0,38
Ti	0,21	0,01	0,87
Общ. дис.	1,69	1,65	1,66
Доля общ	0,28	0,27	0,28

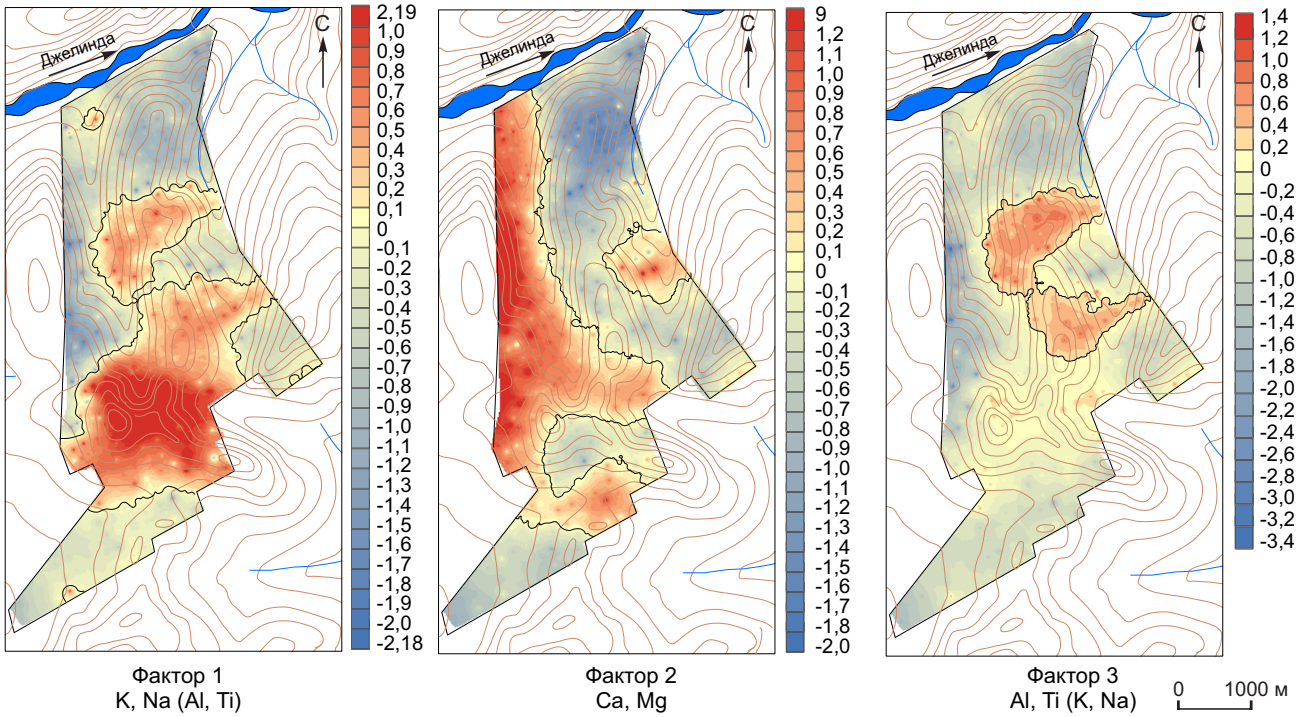


Рис. 2. Карты значений факторов

установлены две разности интрузивных образований: светлых и темноцветных роговообманковых сиенитов.

Зона наложения факторов породообразующих элементов (далее – зона наложения) – это область пространства в рыхлых склоновых отложениях, где сосуществуют условия для одновременного действия двух или нескольких факторов, влияющих на распределение химических элементов. При визуализации факторных значений под наложением понимается область перекрытия действий двух различных факторов. Предполагается, что условия одновременного действия породообразующих факторов напрямую наследуются от коренных источников химических элементов. По исследованиям Ю. А. Саета, ассоциации первичных ореолов показали, что в процессе выветривания материнских пород, составляющих склоновый покров в рыхлых отложениях, дифференциации химических элементов практически не происходит. В продуктах гипергенного разрушения одновременно проявляются две полярные тенденции: 1) сохранение связи состава с первичным источником; 2) разрушение связи состава под действием гипергенных процессов [5]. Тогда факторы максимально правдоподобно отображают различные составы пород, а зона наложения может указывать на реакции замещения или обмена, то есть зону потенциального рудогенного метасоматоза. Следовательно, аномальное содержание элементов в этой зоне и их корреляции должны отражать правдоподобное распределение в первичном коренном источнике. Все аномалии, вмещённые в границы зоны наложения породообразующих факторов, в этом случае проходят проверку на истинность.

Для выделения зон наложения отброшены все отрицательные значения и оставлены только значения выше нуля. Корреляционная связь рудных элементов была прослежена как внутри зон, так и за их пределами на различных по составу подстилающих породах в отдельности. В ходе дальнейшего определения внутренней структуры аномального вторичного геохимического поля в пределах детализированного участка использовался R-метод факторного анализа, в котором были задействованы основные рудные элементы. Этот метод позволил построить комплексные аномалии и выявить структуру аномального геохимического поля.

Табл. 2. Типы зон наложения породообразующих факторов

Фактор	Интерпретация фактора	Зона наложения 1	Зона наложения 2
		Элементный состав	
K, Na (Al, Ti)	Сиениты щелочные	1. Au, Mo, W 2. As, Ni, Co, (Cu) 3. Частично Pb, Zn, Cu	–
Ca, Mg	Доломиты, известняки, туфы		Ag, (As, Au) As, Ni, Co, (Cu)
Al, Ti (K, Na)	Сиениты меланократовые	–	

Обсуждение результатов. На участке отчётливо выделяются две зоны наложения (табл. 2). Зона наложения 1 занимает положение в центре участка. Зона наложения 2 граничит с первой и вытягивается к северу от неё. Визуализация зон наложения приведена на рис. 3 совместно с вмещающимися в них аномалиями рудных элементов. Построенные аномалии рудных элементов в своём большинстве полностью вмещаются в пределы выделенных зон.

Зона наложения 1 занимает разделённое на две части положение в центре участка и характеризуется положительными значимыми корреляциями Au с W (0,73), Co (0,44), Ni (0,44), As (0,4), слабыми с Cu (0,23) и Mo (0,16), а отрицательные слабые связи золото имеет с цинком (-0,25) (табл. 3). Сера значимо коррелируется с золотом (0,42). Калий и кальций в этой зоне ведут себя не как элементы-антагонисты, а напротив, связаны между собой (0,28). В зону практически полностью вмещается аномалия натрия, которая в основном пространственно соответствует аномалии Au и W. За пределами зоны, со стороны остальной части подстилающей интрузии сиенитов содержания рудных элементов находятся на уровне фоновых, кроме Pb, Zn и Mo, и связи между Au и остальными рудными элементами отсутствуют (см. табл. 3). Со стороны подстилающих доломитов фоновые значения золота также не имеют связей, за исключением незначимых отрицательных с Fe (-0,31), Mo (-0,3), Ni (-0,13), Pb (-0,22) и Zn (-0,33). Что касается Pb и Zn, то эти элементы образуют здесь аномалии на продолжении аномалии золота и обладают сильной корреляционной связью (0,82). Вышеизложенные факты говорят о том, что зона наложения 1 означает зону пространственного положения щелочных и щёлочноземельных сиенитпорфиров, что не исключает также зону метасоматоза, которая наследуется во вторичных аномалиях. Избирательный характер корреляционных связей по трём выборкам – по зоне наложения 1, по подстилающим доломитам и остальной части интрузии – может быть признаком следующей зональности в примитивной форме: 1) интрузия неизменённая – 2) изменённая порода – 3) доломит. Для золота происходит последовательное проявление связи между рудными элементами от 1 к 3 по принципу: корреляции отсутствуют – положительные значимые корреляции Au с As, Co, Ni, W, (Cu) – отрицательные корреляции.

При визуальной оценке очертания аномалии делятся на два типа: 1 – аномалии Pb, Zn, Cu, Mo, вытягивающиеся в субмеридиональном и 2 –

Табл. 3. Нагрузки факторов элементов-индикаторов

Элементы	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
Au	0,36	0,74	-0,01	0,25
Ag	0,02	-0,02	0,18	0,86
As	0,68	0,04	-0,43	0,26
Co	0,83	-0,02	0,36	-0,08
Cu	0,45	0,30	0,51	-0,38
Mo	-0,16	0,62	0,41	-0,44
Ni	0,91	0,02	0,11	0,01
Pb	-0,05	0,19	0,88	0,12
W	-0,10	0,88	0,06	-0,13
Zn	0,27	-0,04	0,85	0,10
Общ. дис.	2,43	1,83	2,28	1,27
Доля общ.	0,24	0,18	0,23	0,13

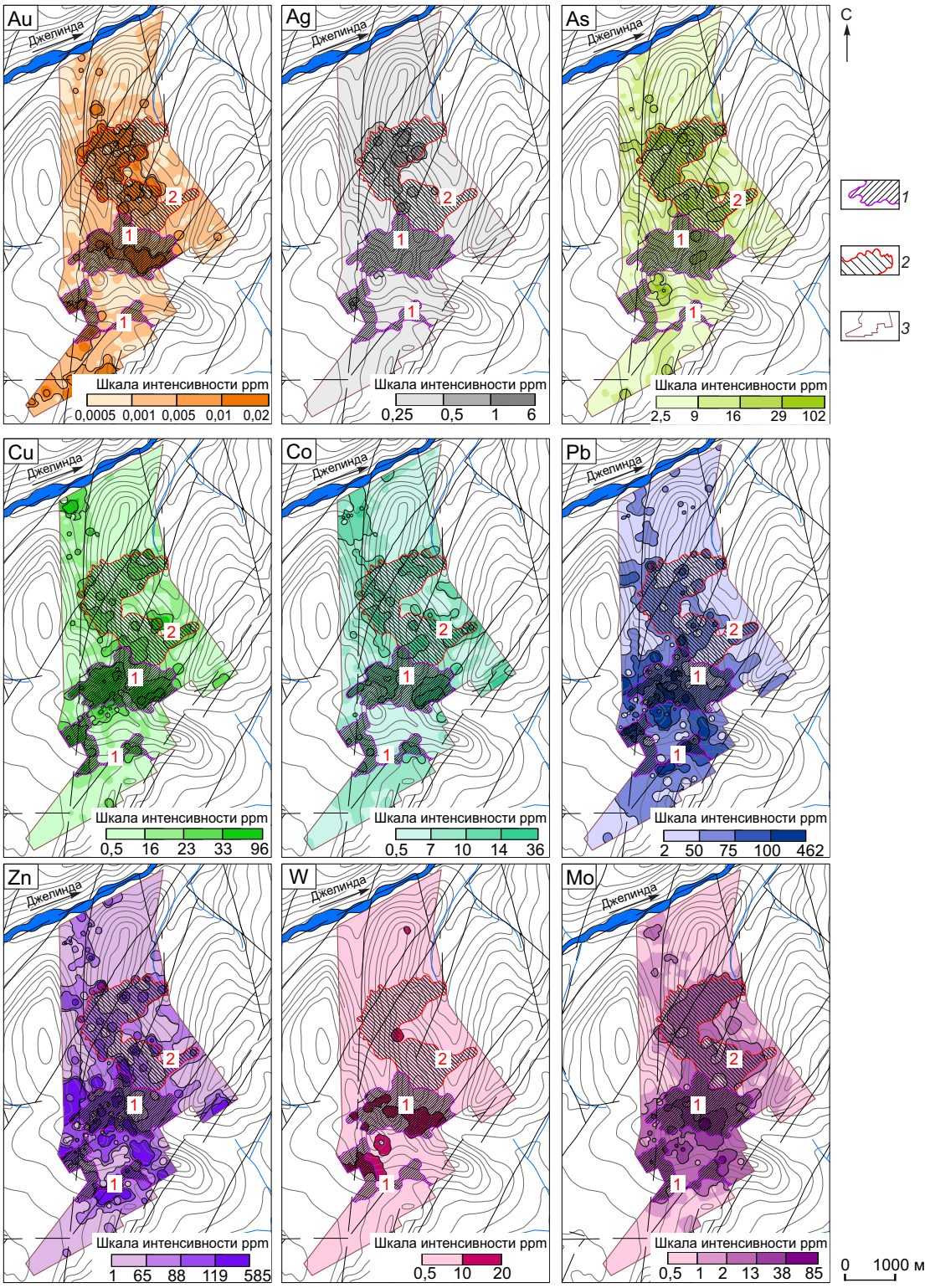


Рис. 3. Карты литохимических гипергенных аномалий рудных элементов и их пространственное отношение с зонами наложения породообразующих факторов:

зона наложения факторов: *1* – 1 и 2, *2* – 1 и 3; *3* – площадь участка исследований; цифры в квадратиках – номера зон наложения

аномалии Au и W – в северо-восточном направлении. Первый тип аномалий занимает секущее положение по отношению ко второму, совпадая с направлением разломов северного и северо-западного простирания.

В пределах зоны наложения встречаются старые горные выработки ручной проходки (рис. 4). В 80–100 м южнее от аномалий золота, вольфрама и др., частично попав в аномалию свинца, канавами вскрыты сиенит-порфиры. В старых выработках отмечались зоны кварцевого прожилкования с сульфидной вкрапленностью. Штуфным опробованием канавы были опробованы по всей протяжённости (всего 100 м). Содержание золота

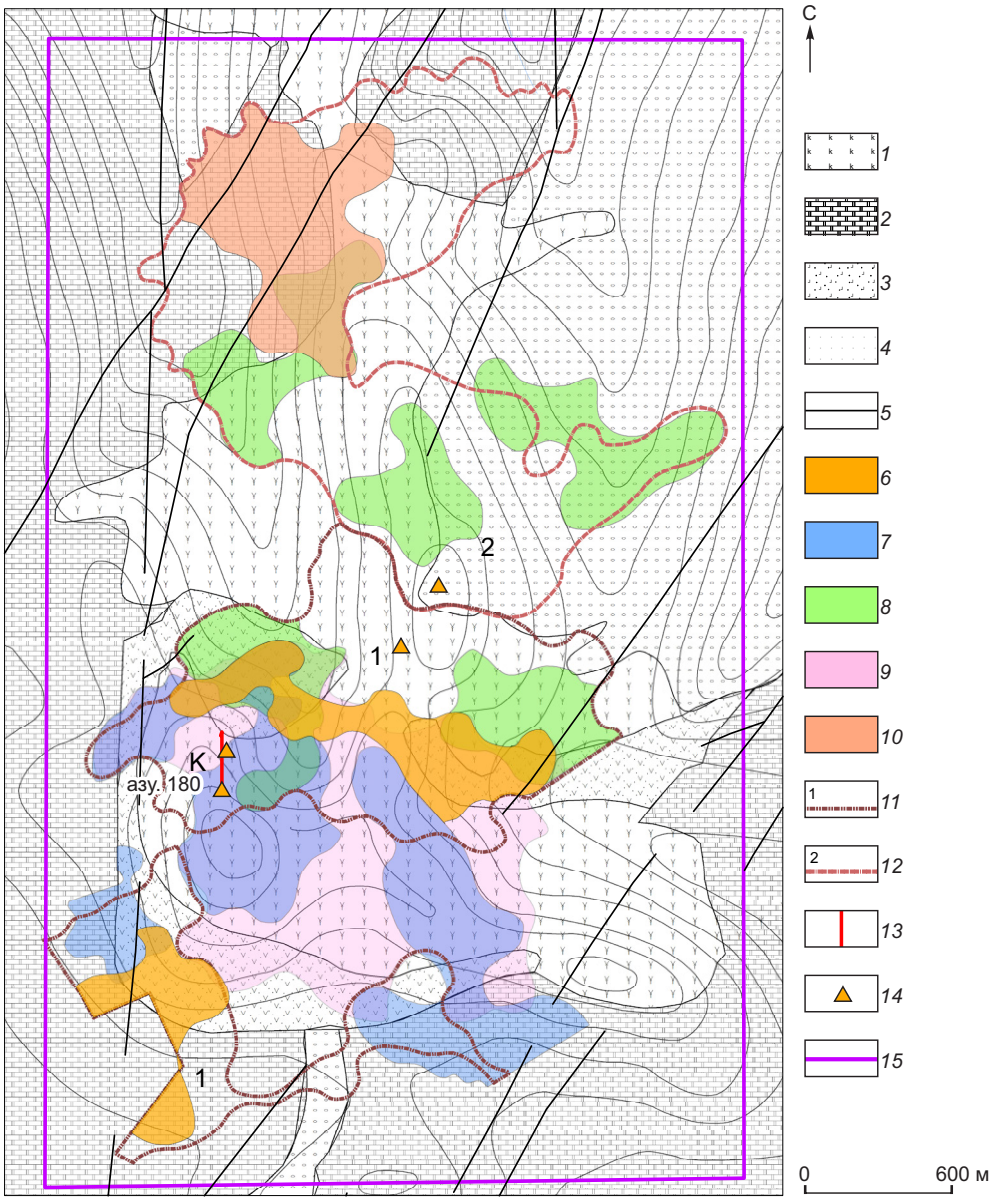


Рис. 4. Прогнозно-геохимическая карта в пределах намеченного детального участка:

1 – щелочные сиенит-порфиры; *2* – карбонатные породы; *3* – туфы трахиандезитов; *4* – конгломераты и песчаники; *5* – разрывные нарушения; *6–10* – комплексные литохимические аномалии: *6* – Au, W, Mo, *7* – Pb, Zn, Cu, *8* – As, Co, Ni, *9* – Ba, Sr и *10* – Ag (Au, As); зона наложения: *11* – 1 и *12* – 2; *13* – канава, заложенная предшественниками; *14* – штуфные пробы с содержанием 0,01–0,03 г/т; *15* – намеченный участок детализированных работ

в двух штуфах составило 0,01–0,03 г/т, свинца – 700–1000 г/т. При соблюдении той же в целом правильной ориентировки немного севернее канава могла вскрыть основную аномалию золота.

В ходе маршрутных исследований в пределах зоны наложения 1 были отмечены признаки слабого калиевого метасоматоза, гидротермальных процессов флюоритизации и окварцевания, наличия вкрапленности пирита и молибденита в обломках пород на вершинах водоразделов. Содержание золота в двух штуфных пробах дважды составило 0,02 г/т.

Зона наложения 2 этих факторов характеризуется пониженными в сравнении с зоной наложения 1 содержаниями K и Na. Наоборот, зона отличается более высоким содержанием титана и алюминия в рыхлых отложениях. Содержание Au несколько выше и варьируется от 0,02–0,03 г/т, достигая в единичной пробе 0,19 г/т. Для зоны характерны аномалии мышьяка и серебра, пространственно соответствующие ореолам золота, что заметно отличает её от зоны наложения 1. Золото имеет значимые корреляции с Ag (0,76), As (0,74), фоновыми значениями Fe (0,43). Аномалия титана пространственно сходится в этой зоне с аномалиями Au, Ag и As, однако имеет практически нулевые корреляции с этими элементами. Всё говорит о том, что в зоне наложения 2 происходит смена общего состава интрузии.

Геохимическую структуру аномального вторичного поля массива Солдат иллюстрирует рис. 4. Различие между зонами наложения подчёркивается вещественным составом продуктов их разрушения. Поскольку зона 1 определяется действием как внутреннего (сиениты), так и внешнего (туфы, доломиты) фактора, а зона 2 является результатом только внутреннего действия, общим для обеих зон считается фактор 1 (K-Na). Следовательно, для определения главных геохимических ассоциаций использовалось главное аномальное пространство в границах внешнего ореола K-Na. Устанавливаются четыре основных фактора рудных элементов: 1) As, Co, Ni, (Cu, Au); 2) Au, Mo, W, (Cu); 3) Pb, Zn, Cu; 4) Ag, (Au, As) (см. табл. 3).

Выделяются две золоторудные ассоциации: 1) Au, Mo, W; 2) Ag (Ag, As). Это свидетельствует о зональности минерализации в пределах зон наложения 1 и 2.

Ассоциация As, Co, Ni пространственно тяготеет к границам зон наложения и подчёркивает периферию. Ассоциация Pb, Zn, Cu тяготеет к южному и западному обрамлению зоны наложения 1, пересекая её границы. Комплексные аномалии ассоциаций оформлены внешней аномалией Ba, Sr. В связи с неоконтуренностью аномалий золота на юго-востоке участка полное зональное геохимическое строение установить не представляется возможным. В целом выявленная зональная последовательность комплексных аномалий чётко контролируется серией тектонических нарушений северного и северо-восточного простирания.

Предположительно, к юго-востоку, во второй части зоны наложения 1 намечается продолжение аномального геохимического поля, где вновь на поверхности отмечена ассоциация Au, W, Mo. Края неоконтуренной и центральной комплексных аномалий Au, Mo, W занимают одинаковое гипсометрическое положение на отметках 1040–1080 м. Аномалии Pb, Zn, Cu и Ba, Sr занимают положение существенно выше, вплоть до наивысшей отметки 1200 м. Данный факт позволяет судить о вертикальной зональности в первом приближении. Тогда «надрудный срез» отмечен барием, свинцом, цинком и медью, в «подрудном» логично преобладают кобальт и никель, аномалии которых гипсометрически расположены на отметках от 1040–920 м. В целом намечается ряд предполагаемой эндогенной зональности сверху вниз: Ba, Sr, Pb, Zn, Cu, Au, Mo, W, Co, что не противоречит зональности месторождений порфирового типа [1]. Ход такой логики нарушает аномалия Au, Ag, As на отметках 1000–920 м. Как известно, серебро и мышьяк обычно устойчиво проявляют максимальные концентрации в верхнем разрезе.

По набору химических элементов-индикаторов (Au, W, Mo, As, Ni, Co, Cu, Pb, Zn) зона наложения 1 в целом отвечает оруденению Алданских типов. Однако, приведённые выше геохимические ассоциации, скорее всего, не являются исчерпывающими. Необходимо детализированное опробование элювио-делювия для выявления содержаний других ценных компонентов – висмута, сурьмы, таллия и др., присутствие которых способно повлиять на дальнейшую оценку участка.

Заключение. На геометризованном детальном участке требуется изучение первичных ореолов и их сопоставление с выявленными вторичными аномалиями при наличии хотя бы единичных пересечений канавами. На поисковой стадии такие возможности зачастую отсутствуют, и дать какую-либо количественную оценку достаточно сложно. Однако имеется возможность оценки качественной

путём выделения зон наложения факторов породообразующих элементов. Наложение факторов элементов породообразующих и акцессорных минералов подчёркивает неоднородность в слагающих зону наложения породах, а значит такая зона может считаться геохимически уникальной для детальных поисков.

Таким образом, все выявленные аномалии можно считать перспективными, а массив Солдат перспективным на обнаружение рудопроявлений и месторождений золота, однако эффективность подхода ещё предстоит проверить горными работами. На ранних стадиях геологоразведочного процесса новый подход к оценке геохимических гипергенных аномалий может помочь определить целесообразность проведения определённых видов работ и создать основание для дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Григорян С. В.* Первичные геохимические ореолы рассеяния при поисках и разведке рудных месторождений. – М. : Недра, 1987. – 408 с.
2. *Максимов Е. П., Уютов В. И., Никитин В. М.* Перспективы мезозойского эндогенного оруденения в Центрально-Алданском рудном районе // Вестник Госкомгеологии РС(Я). – 2004. – № 1. – С. 34–50.
3. *Мечинская О. В., Соколов Е. П., Мишнин В. М.* Геолого-геохимическая модель золото-порфирового (?) оруденения в щелочных породах Мурунского массива // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 8. – С. 32–36.
4. *Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. – М. : Государственное издательство географической литературы, 1961. – 496 с.
5. *Сает Ю. Е.* Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений. – М. : Наука, 1982. – 168 с.

REFERENCES

1. *Grigoryan S. V.* Pervichnyye geokhimicheskiye oreoly rasseyaniya pri poiskakh i razvedke rudnykh mestorozhdeniy [Primary geochemical dispersion halos during prospecting and exploration of ore deposits], Moscow, Nedra publ., 1987, 408 p. (In Russ.)
2. *Maksimov Ye. P., Uyutov V. I., Nikitin V. M.* Perspektivy mezozoyskogo endogennogo orudeneniya v Tsentral'no-Aldanskom rudnom rayone [Prospects of Mesozoic endogenous mineralization in the Central Aldan ore region], Vestnik Goskomgeologii RS(YA), 2004, No. 1, pp. 34–50. (In Russ.)
3. *Mechinskaya O. V., Sokolov Ye. P., Mishnin V. M.* Geologo-geokhimicheskaya model' zoloto-porfirovogo (?) orudeneniya v shchelochnykh porodakh Murunskogo massiva [Geological and geochemical model of gold-porphyry (?) mineralization in alkaline rocks of the Murun massif], Razvedka i okhrana nedr [Exploration and Protection of Subsoil], 2013, No. 8, pp. 32–36. (In Russ.)
4. *Perel'man A. I.* Geokhimiya landshafta [Geochemistry of the landscape], Moscow, Gosudarstvennoye izdatel'stvo geograficheskoy literatury publ., 1961, 496 p. (In Russ.)
5. *Sayet Yu. Ye.* Vtorichnyye geokhimicheskiye oreoly pri poiskakh rudnykh mestorozhdeniy, Moscow, Nauka publ., 1982, 168 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 22.06.24; одобрена после рецензирования 04.09.24; принята к публикации 05.09.24.
The article was submitted 22.06.24; approved after reviewing 04.09.24; accepted for publication 05.09.24.

DOI:10.47765/0869-7175-2024-10026

УДК 929
© Э. Г. Сочнева, Е. В. Сидорова, 2024

Минералог В. А. Новиков – специалист из числа незаменимых. К 120-летию организатора и первого руководителя минералогических исследований НИГРИЗолото–ЦНИГРИ

Аннотация. Статья посвящена одному из основателей минералого-геохимического изучения шлихов в СССР, организатору и многолетнему руководителю шлихоминералогической лаборатории НИГРИЗолото–ЦНИГРИ* В. А. Новикову. В 21-м столетии в работе института по-прежнему используются материалы, собранные благодаря его подвижнической работе.

Ключевые слова: НИГРИЗолото, ЦНИГРИ, шлиховой метод поисков полезных ископаемых, минералогический анализ, россыпные месторождения, месторождения коры выветривания.

СОЧНЕВА ЭЛЕОНОРА ГЕОРГИЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук

СИДОРОВА ЕВГЕНИЯ ВИКТОРОВНА, кандидат биологических наук, научный сотрудник, sidorova@tsnigri.ru

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

Mineralogist V. A. Novikov, a specialist from among the irreplaceable ones. On the 120th anniversary of the organizer and first leader of the mineralogical research by the NIGRIZoloto-TsNIGRI

E. G. SOCHNEVA, E. V. SIDOROVA

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

Annotation. The article is dedicated to V. A. Novikov, one of the founders of the mineralogical and geochemical studying of “schlichs” (panned heavy-mineral concentrates, HMC) in the former Soviet Union, the organizer and long-term leader of the HMC mineralogical laboratory at the NIGRIZoloto-TsNIGRI. In the 21st century, the Institute continues to use materials collected thanks to his dedicated work.

Key words: NIGRIZoloto, TsNIGRI, heavy-mineral concentrate (HMC) panning method of geological exploration, mineralogical analysis, placer deposits, weathering crust deposits.

Впервые геологи знакомятся с практическими разработками кандидата геолого-минералогических наук Владимира Алексеевича Новикова ещё в студенческие годы, штудируя учебные пособия по шлиховому методу поисков полезных ископаемых. Его рекомендации, касающиеся специализированных видов опробования, неоднократно процитированы, в частности, в методических материалах Всероссийской открытой полевой олимпиады юных геологов: «В. А. Новиков рекомендует …», «по мнению В. А. Новикова…» [3]. Для автора пособия, доцента МГУ им. М. В. Ломоносова Елены Михайловны Захаровой он – классик геологического изучения шлиховых минералов, специалист, известный во второй половине XX в. всем исследователям золотоносности Советского Союза [4].

Число публикаций организатора и заведующего лабораторией минералогического анализа пород и руд НИГРИЗолото–ЦНИГРИ В. А. Новикова

*В 1957 г. Научно-исследовательский геологоразведочный институт золотой промышленности (НИГРИЗолото) переименован и ныне носит название Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ).



Фото 1. В. А. Новиков (1904–1988)

невелико в силу режима секретности института, в котором он служил всю трудовую жизнь – почти полвека. Однако скромный библиографический список (50 пунктов) не умаляет значения фигуры этого исследователя, внесённого им вклада в становление и совершенствование шлихового и минералогического анализов, воспитание плеяды прекрасных минералогов, работавших в знаменитой «новиковской» лаборатории и приезжавших в ЦНИГРИ на курсы повышения квалификации. Эта статья о талантливом минералоге, замечательном методисте и педагоге, русском интеллигенте Владимире Алексеевиче Новикове призвана напомнить новому поколению об одном из титанов отечественной геологоразведочной отрасли, создавших прочный фундамент её развития.

Истоки

Владимир Алексеевич Новиков родился 22 августа 1904 г. в Москве в замечательной семье Алексея Митрофановича и Марии Павловны Новиковых. Алексей Митрофанович Новиков (1865–1927), сын тульского рабочего, благодаря своим выдающимся способностям получил два высших образования – окончил физико-математический, а затем медицинский факультеты Московского университета [1]. Со студенческих лет А. М. Новиков дружил с семьёй передового общественного деятеля И. И. Раевского, который познакомил его с выдающимися людьми – философами Ю. Ф. Самариным и Н. Н. Страховым, публицистами Д. И. Писаревым и Д. В. Философовым, писателем Л. Н. Толстым. Вскоре двадцатитрёхлетний математик А. М. Новиков, интеллектуал, владевший несколькими европейскими языками, был приглашён в Ясную Поляну: Лев Николаевич Толстой просил подготовить его сыновей Михаила и Андрея к поступлению в университет. Приняв это приглашение, Алексей Митрофанович отказался от профессорской карьеры в университете и почти три года (до 1891 г.) был не только педагогом в семье Толстых, но и всё свободное время посвящал устройству школы для крестьянских детей, помощи голодающим крестьянам четырёх российских уездов, делал переводы для Льва Николаевича. Он написал интереснейшие воспоминания об этом периоде, ныне востребованные толстоведами.

В дальнейшем А. М. Новиков всегда делал жизненный выбор в пользу практической деятельности, приносящей очевидную пользу людям, и этот принцип восприняли его дети. Он стал практическим врачом, затем доктором медицины. Когда младшему сыну Владимиру было четыре года, Новиковы переехали в Екатеринбург, где глава семьи организовал на базе родильного дома повивально-гинекологический институт. Он вошёл в историю отечественной медицины как крупный организатор здравоохранения на Урале, в советское время был избран деканом медицинского факультета Уральского государственного университета, последние годы жизни возглавлял кафедру акушерства и гинекологии Средне-Азиатского государственного университета в Ташкенте[1].

А. М. Новиков способствовал разностороннему образованию своих детей. Все они тяготели к естественным наукам. Старший сын В. А. Новиков стал авторитетным советским минералогом, исследователем-практиком, предложил новые подходы к изучению вещественного состава шлихов, геологического изучения шлиховых минералов и сумел придать этим новаторским разработкам статус общесоюзных методик в практике геологоразведочных работ в СССР [2]. Он всю жизнь поддерживал отношения со старшими сёстрами Верой и Людмилой. Вера Алексеевна Борецкая

[1] Ныне Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

(1899–1989), кандидат химических наук, окончила химико-металлургический факультет Уральского политехнического института и всю жизнь занималась технологиями переработки минерального сырья из уральских и казахстанских месторождений. Людмила Алексеевна Новикова (1901–1977), член-корреспондент АМН СССР, выбрала отцовскую специальность, стала врачом онкологом. Младший брат Олег Алексеевич Новиков (1914–?) работал геологом в Главном управлении Северного морского пути.

Интересно, что первоначально юный Владимир Новиков избрал профессию учёного-агронома, поступив в 1922 г. после окончания 1-й Советской школы в Екатеринбурге на сельскохозяйственный факультет Пермского Государственного университета. Вероятно, не желая разлучаться с отцом, который заступил на должность профессора медицинского факультета Средне-Азиатского государственного университета в Ташкенте, Владимир после третьего курса перевёлся на агрономический факультет того же университета. Ещё на старших курсах он начал трудиться как аналитик в лаборатории Средне-Азиатского института почвоведения, а после вручения диплома в 1928 г. в течение трёх лет был начальником экспедиций в разные районы Средней Азии, затем заведовал отделом почвоведения на опытной станции, руководил изучением почвогрунтов Меж-Бассу-Келесского массива, составлял сводную почвенную карту бассейна верховья реки Амударьи.

В августе 1933 г. Владимир Алексеевич Новиков поступил на работу в Свердловский государственный университет (СГУ) ассистентом



Фото 2. Реликвия из архива В. А. Новикова – фотография его отца А. М. Новикова с Л. Н. Толстым и другими участниками кампании по сбору средств для голодающих крестьян. Слева направо: Г. И. Раевский, П. И. Бирюков, П. И. Раевский, А. М. Новиков, Л. Н. Толстой, И. И. Раевский, Т. Л. Толстая, А. В. Цингер. Бегичевка, 1892 г.

на кафедре общей и динамической геологии химико-геологического факультета. Он имел достаточную эрудицию в этой области, так как в студенческие годы прослушал курс геологии, минералогии и почвоведения, в дальнейшем постоянно читал геологическую научную литературу.

Притяжение геологии

В архиве Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов хранится любопытный документ – характеристика, которую в сентябре 1933 г. дал В. А. Новикову старший геолог и заведующий сектором геологической съёмки треста «Средазгеоразведка» Ю. А. Скворцов[2], в 1940-е годы ставший известным учёным. В частности, он пишет: «*Владимира Алексеевича Новикова знаю с 1928 г. В указанном году он работал в моей экспедиции в верховьях бассейна реки Келеса. С тех пор я был в курсе всех его работ. С первого же года моего знакомства с В. А. Новиковым для меня он вырисовался как очень ценный работник, обладающий большой выдержкой и упорством в своих научных исследованиях… В этих работах он проявил себя как тонкий наблюдатель, вдумчивый экспериментатор, обладающий большим кругозором, широким знакомством с литературой и научной инициативой. Занимаясь почвенными исследованиями, В. А. Новиков строил свою работу на широком фундаменте общих геологических представлений, что делало его работы особенно ценными*».

Владимир Алексеевич успешно занимался самообразованием – ведь он мог знакомиться не только с работами отечественных геологов, но и с научными публикациями на английском, французском и немецком языках (немецким владел с раннего детства, так как в 1910 г. отец брал его с собой в научную командировку в Германию и Австро-Венгрию). Это помогало в работе. Нагрузка в университете была большая: В. А. Новиков читал курс лекций по общей геологии, вёл семинарские занятия по динамической геологии для студентов-геологов и геохимиков 1-го, 2-го и 3-го годов обучения, в качестве ассистента участвовал в проведении летних полевых практик по геологическому картированию в районе Алапаевского железорудного месторождения (Свердловская область) и в верховьях реки Чусовой. В 1933–1934 гг. Владимир Алексеевич целый год исполнял обязанности декана химико-геологического факультета СГУ, организуя новые учебные курсы и кабинеты, а на следующий год совмещал работу ассистента факультета и старшего химика геохимической лаборатории Уральского геолого-гидрогеодезического треста, где вёл исследовательскую работу по разложению хромитов. В характеристике В. А. Новикова, подписанной заместителем управляющего и заведующим лабораторией треста и выданной в 1935 г. для представления в комитет по подготовке кадров Академии наук СССР, отмечается: «*Товарищ Новиков также был полезен лаборатории переводами оригинальных работ по интересовавшим лабораторию вопросам. В частности, товарищем Новиковым произведён и почти закончен перевод специальной части книги Вашингтона "Химический анализ пород"*».

Владимир Алексеевич был приглашён в академический институт – поступил на должность научного сотрудника во Всесоюзный институт каучука и гуттаперчи в Москве. Но уже в сентябре 1936 г. перешёл в только что созданный Научно-исследовательский геологоразведочный институт золотой промышленности, с которым связал свою судьбу: спустя год В. А. Новиков организовал в НИГРИЗолото шлихоминералогическую лабораторию и заведовал ею с краткими перерывами на протяжении четырёх десятилетий. В середине 1930-х годов шлиховое опробование и изучение минералов шлихов начали широко применять во ВСЕГЕИ и в НИГРИЗолото, и методические подходы, разработанные В. А. Новиковым, в дальнейшем были приняты на вооружение на предприятиях Главзолото при опробовании и разработке россыпных месторождений [2]. По свидетельству его коллеги, доктора геолого-минералогических наук Г. П. Воларовича, работавшего в НИГРИЗолото–ЦНИГРИ в 1946–2001 гг. (в том числе заместителем директора в 1971–1981 гг.), В. А. Новиков «*обладал обширным диапазоном знаний – от геологии и минералогии, почвоведения и геоботаники до химии и физической химии*» [2]. Он вёл исследования по акцессорным минералам изверженных пород, по методике количественного учёта минералов свинца, висмута, молибдена, ванадия, урана, никеля, кобальта. В 1938 г. по распоряжению Наркомата цветной

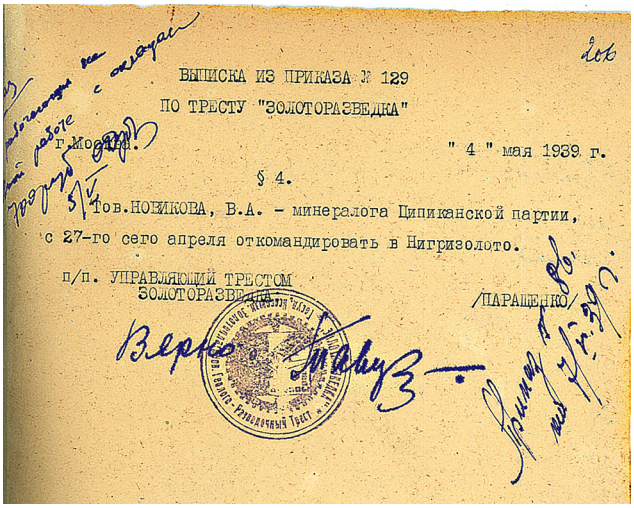
[2] Юрий Александрович Скворцов (1898–1968) – советский геолог, географ и почвовед, доктор геолого-минералогических наук, профессор Средне-Азиатского государственного университета, Заслуженный деятель науки и техники Узбекской ССР.

металлургии В. А. Новикова временно (сроком на один год) командировали для участия в работе Ципиканской тантало-ниобатовой партии треста «Золоторазведка».

В журнале «Советская геология за 1939 г. [7] вышла статья В. А. Новикова о применении плёночных реакций для определения минералов шлихов, в том числе железосодержащих сульфидов. В нашей стране это была пионерная работа. Разработанный им метод позволяет практически мгновенно выявлять вторичные минералы свинца и других элементов.

Новиковская лаборатория

Когда началась Великая Отечественная война и НИГРИЗолото эвакуировали в Кемеровскую область, сотрудники лаборатории В. А. Новикова работали над оценкой шлихов золотопромышленных предприятий на предмет наличия редкоземельных минералов и изучали шлихи россыпей трестов «Хакасзолото», «Запсибзолото»,



ВЫПИСКА ИЗ ПРИКАЗА № 129
ПО ТРЕСТУ "ЗОЛОТОРАЗВЕДКА"
г. Москва. " 4 " мая 1939 г.

§ 4.

Тов. НОВИКОВА, В.А. – минералога Ципиканской партии, с 27-го сего апреля откомандировать в Нигризолото.

п/п. УПРАВЛЯЮЩИЙ ТРЕСТОМ
ЗОЛОТОРАЗВЕДКА /ПАРАШЕНКО/

Фото 3. Выписка из приказа от 4 мая 1939 г. по тресту «Золоторазведка» о командировании минералога Ципиканской тантало-ниобатовой партии В. А. Новикова в НИГРИЗолото



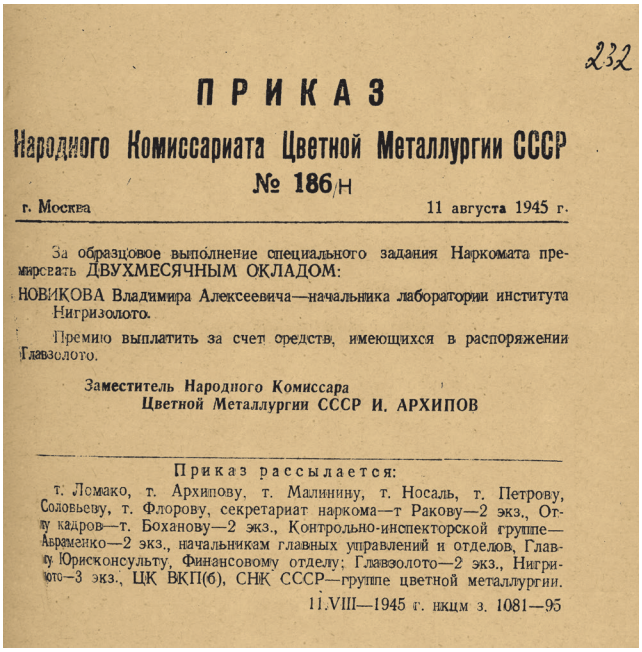
Фото 4. Сотрудники шлихоминералогической лаборатории НИГРИЗолото. Конец 1940-х годов. В центре В. А. Новиков, справа от него во втором ряду будущий известный минералог С. С. Боришанская

«Минусазолото», «Балейзолото». Кроме того, в 1943 г. Владимир Алексеевич участвовал в составлении карты золотоносности территории треста «Минусазолото». По возвращении в Москву в 1944 г. он организовал в лаборатории минералогический и гранулометрический анализы продуктов коры выветривания (именно тогда закладывались основы нового направления плодотворной работы ЦНИГРИ в последующие годы). В июне 1945 г. В. А. Новиков вместе с некоторыми коллегами из НИГРИЗолото был удостоен награды – медали «За доблестный труд в Великой Отечественной войне». Как писал Г. П. Воларович, Владимиру Алексеевичу «присущи высокое чувство долга, ответственность и пунктуальность в работе», поэтому, когда в 1945 г. Наркомат цветной металлургии принял решение о модернизации лабораторной базы и потребовалось отправить в Германию специалиста со знанием немецкого языка для отбора и приобретения оборудования, выбор пал именно на него. За образцовое выполнение специального задания Наркомата В. А. Новиков был поощрён двухмесячным окладом.

В 1949 г. В. А. Новикову присвоили персональное звание горного директора III ранга.

Из Германии начальник шлихоминералогической лаборатории НИГРИЗолото В. А. Новиков привёз редкие красители и реактивы для определения глинистых частиц [6]. Он уделял большое внимание совершенствованию приборов для подготовки проб к минералогическому анализу: по его чертежам в институте сконструировали и изготовили установки для седиментационного анализа [5], Владимир Алексеевич внедрил аппаратуру для выделения тонких классов минералов различной плотности, благодаря чему повысилась точность диагностики лёгких минералов. В 1950-е годы, когда НИГРИЗолото начал исследования по геологии алмазов, В. А. Новиков возглавил работы по опробованию алмазосодержащих россыпей и предложил оригинальную методику выделения и количественного определения ильменита. Одновременно он организовал в институте радиометрические исследования.

Совместно с коллегой, выпускником университета Сорбонны Феликсом Андреевичем Ферьянчичем, Владимир Алексеевич Новиков внедрил и всемерно развивал в шлихоминералогической лаборатории НИГРИЗолото микрохимическое направление, имевшее особое значение для опре-



232

ПРИКАЗ

Народного Комиссариата Цветной Металлургии СССР

№ 186/Н

г. Москва 11 августа 1945 г.

За образцовое выполнение специального задания Наркомата премировать ДВУХМЕСЯЧНЫМ ОКЛАДОМ:

НОВИКОВА Владимира Алексеевича—начальника лаборатории института Нигризолото.

Премию выплатить за счет средств, имеющихся в распоряжении Главзолото.

Заместитель Народного Комиссара
Цветной Металлургии СССР И. АРХИПОВ

Приказ рассылается:

т. Ломако, т. Архипову, т. Малинину, т. Носаль, т. Петрову, Соловьеву, т. Флорову, секретариат наркома—т Ракову—2 экз., Отду кадров—т. Боханову—2 экз., Контрольно-инспекторской группе—Авраменко—2 экз., начальникам главных управлений и отделов, Главку Юрисконсульту, Финансовому отделу; Главзолото—2 экз., Нигризолото—3 экз., ЦК ВКП(б), СНК СССР—группе цветной металлургии.

11.VIII—1945 г. нкцм з. 1081—95

Фото 5. Приказ народного комиссариата цветной металлургии № 186/ Н от 11 августа 1945 г. о премировании В. А. Новикова

деления состава тонких примесей в самородном золоте [6]. Научного сотрудника новиковской лаборатории Ф. А. Ферьянчича знала вся страна благодаря его уникальным полным химическим анализам из микронавесок, что было особенно актуальным в те годы.

Между тем, в 1950–1960-е годы минералогов-шлиховиков для работы в лаборатории нужно было готовить из выпускников восьмилетней средней школы, и тут вновь проявился педагогический дар В. А. Новикова, организовывавшего стажировку для сотрудниц с разнообразными практическими заданиями [6]. Он проводил экскурсии в минералогический музей им. А. Е. Ферсмана, даже приглашал в институт лектора – курс теоретической и практической кристаллографии сотрудницам новиковской лаборатории читал профессор МГУ им. М. В. Ломоносова Е. Е. Флинт (1887–1975). Сам В. А. Новиков также на некоторое время вернулся к преподавательской работе (по совместительству): в 1949–1950 и 1952 гг. вёл курс шлихового анализа в МГРИ, а в 1954 г. – в Институте цветных металлов и золота.

Административная и преподавательская нагрузка не помешала Владимиру Алексеевичу завершить

систематизацию данных, накопленных за предыдущие 15 лет,– итогом стала его диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук «Усовершенствование некоторых методов минералогического анализа для целей опробования и изучения россыпных месторождений и месторождений коры выветривания». Успешная защита состоялась 26 апреля 1954 г. на Учёном совете геологоразведочного факультета Института цветных металлов и золота им. М. И. Калинина.

Знакомясь с работой всех основных минералогических лабораторий Советского Союза, Владимир Алексеевич пришёл к выводу о необходимости создания единой методики минералогического анализа как для шлихов, так и для протолочек, рыхлых пород, руд и продуктов их обогащения. В 1970 г. вышла его основополагающая публикация «Типизация и унификация методов минералогического анализа шлихов и рыхлых пород» [8], изданная как особый выпуск периодического издания Труды ЦНИГРИ. Предложенный Владимиром Алексеевичем подход открыл возможность сопоставлять и обобщать результаты анализов, выполненных разными организациями. Как написал Г. П. Воларович, В. А. Новиков «*заложил основы кодирования минералогических анализов шлихов в целях ускорения обработки материалов, унификации результатов получения новой многофакторной геолого-минералогической информации*» [2].

В течение нескольких десятилетий, вплоть до середины 1980-х годов, минералогическая лаборатория НИГРИЗолото–ЦНИГРИ под руководством В. А. Новикова была лучшей в Советском Союзе и одной из лучших в мире. Минералоги его лаборатории были на голову выше большинства зарубежных специалистов (в этом автор настоящей статьи Э. Г. Сочнева могла убедиться во время работы за границей). И этим мы обязаны особой оригинальной научной школе минералогического анализа, минералого-геохимического изучения шлихов и рыхлых горных пород, созданной В. А. Новиковым. Благодаря ему пройти стажировку в стенах ЦНИГРИ стремились не только советские минералоги, но и специалисты из Болгарии, Кубы и других стран.

Коллеги очень уважали В. А. Новикова. Он никогда не повышал голоса на своих подчинённых, всегда был сдержан и вежлив. Его интеллигентность, эрудиция, подвижническое отношение к работе вызывали восхищение. Всю свою жизнь Владимир Алексеевич Новиков выписывал научные журналы на иностранных языках – поэтому всегда был в курсе всех новых мировых достижений в области минералогических исследований. Будучи поглощённым научной деятельностью, он уделял время и художественной литературе, причём много читал произведения на французском и немецком языках [6]. Очень любил классическую музыку, великолепно играл на фортепьяно. Собрал богатую фонотеку. Это было прекрасно – работать вместе с таким человеком, под его руководством.

В. А. Новиков всемерно способствовал профессиональному росту своих подчинённых. Например, поручал самые разные научные темы и тем самым раздвигал горизонты возможностей. В разные годы из новиковской лаборатории ЦНИГРИ выделились самостоятельные подразделения – лаборатории микрохимическая, рентгеновская и минералогии золота.

Главное о наследии В. А. Новикова

В год 120-летия со дня рождения В. А. Новикова мы можем с полной уверенностью говорить о значении его научных достижений, сохраняющих актуальность в наши дни.

Во-первых, В. А. Новиковым создана уникальная методика дробного разделения рыхлых пород по классам крупности, в том числе выделения фракций -0,003+0,001 и < 0,001 мм, в которых концентрируются глинистые минералы. Эта работа легла в основу его кандидатской диссертации.

Во-вторых, разработана единая методика минералогического анализа для всех видов проб (шлихов, протолочек рыхлых пород, руд и продуктов их обогащения), которая позволяла решать многие задачи, стоящие перед геологами и обогатителями.

В-третьих, разработана методика химического растворения сопутствующих алмазам минералов, которая позволяет выявить присутствие даже очень мелких алмазов (микронной размерности). Применение этой методики позволило обнаружить мелкие алмазы севера европейской части СССР и Казахстана. Обычными методами алмазы такой размерности не выявляются. В. А. Новиков усовершенствовал и внедрил в практику минералогических анализов химические, кристаллохимические и плёночные реакции. За рубежом среди специалистов это вызвало большой интерес.

В-четвёртых, В. А. Новиков в течение многих лет возглавлял секцию минералогического анализа Научного совета по методам минералогических исследований (НСОММИ). Совет был создан при Министерстве геологии СССР. В него входили ведущие специалисты разных направлений научно-исследовательских институтов Советского Союза. Все новые методики анализов, предлагавшиеся для внедрения в практику аналитических работ, должны были получить одобрение НСОММИ, поэтому члены секций и тем более их председатели выполняли большую ответственную экспертную работу.

Наконец, В. А. Новиков заложил основы универсальной базы данных, связанной с минералогическими характеристиками шлихов. Дело в том, что в 1970-е годы с появлением в Советском Союзе электронно-вычислительных машин возникла идея создания базы данных с результатами минералогических анализов шлиховых проб по всей территории страны, чтобы при необходимости можно было быть ознакомиться с результатами исследований. Для претворения этой идеи в жизнь по инициативе В. А. Новикова распоряжением Министерства геологии СССР в минералогической лаборатории была поставлена специальная тема. Минералог Э.Г. Сочнева, которой эта тема была поручена, окончила специальные учебные курсы. Для сохранения результатов анализов и переноса их на специальные перфокарты в закодированном виде использовался двоичный код. Работу выполнили в краткие сроки, результаты были опубликованы и вызвали большой интерес геологической общественности [9].

В ЦНИГРИ помнят Владимира Алексеевича Новикова: в Галерее славы института можно видеть его портрет; рассказу о сотрудниках новиковской лаборатории и их основополагающих работах в 20-м столетии отведены страницы в книге «Время ЦНИГРИ», вышедшей в 2020 г. Это был человек, незаменимый на своём месте. Ученики и последователи Владимира Алексеевича бесконечно ему благодарны. Собранная им коллекция шлиховых минералов востребована и в 21-м столетии: сотрудники отдела экзогенных месторождений ЦНИГРИ кандидат геолого-минералогических наук Н. Н. Позднякова и Т. П. Зубова используют её для подготовки «Методических рекомендаций по диагностике минералов в шлиховых пробах при проведении ГРР». В новом пособии будет наглядно показано, как меняются минералы в коре выветривания и россыпях, и эта книга послужит целям экспресс-диагностики минералов в шлихах в полевых и камеральных условиях. Современное поколение минералогов ЦНИГРИ продолжает развивать дело жизни Владимира Алексеевича Новикова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бриль С. М.* Доктор Новиков : Человек и ученый // Урал. – 1983. – № 9. – С. 155–159.
2. *Воларович Г. П.* В. А. Новиков – учёный-новатор // Руды и металлы. – 1996. – Спецвыпуск. – С. 82–83.
3. *Захарова Е. М.* Шлиховой метод поисков полезных ископаемых : Учебное пособие для техникумов. – М. : Недра, 1989. – 160 с.
4. *Захарова Е. М.* Шлиховые поиски и анализ шлихов. – М. : Недра. – 1974. – 160 с.
5. *Коновалова М. С.* Основатель лаборатории минералогического анализа // Руды и металлы. – 1996. – Спецвыпуск. – С. 84–85.
6. *Николаева Л. А.* В. А. Новиков – исследователь, педагог, человек // Руды и металлы. – 1996. – Спецвыпуск. – С. 85–86.
7. *Новиков В. А.* Применение плёночных реакций и диагностического травления при минералогическом анализе шлихов // Советская геология. – 1939. – № 10–11. – С. 15–120.
8. *Новиков В. А.* Типизация и унификация методов минералогического анализа шлихов и рыхлых пород // Труды ЦНИГРИ. – 1970. – Вып. 94. – 88 с.
9. *Сочнева Э. Г., Новиков В. А.* Основы кодирования результатов минералогических анализов шлихов // Труды ЦНИГРИ. – 1970. – Вып. 95. – 67 с.

REFERENCES

1. *Bril' S. M.* Doktor Novikov: Chelovek i uchenyy [Doctor Novikov: Man and Scientist], Ural, 1983, No. 9, pp. 155–159. (In Russ.)
2. *Volarovich G. P.* V. A. Novikov – uchonyy-novator [V. A. Novikov – innovative scientist], Rudy i metally [Ores and metals], 1996, Special issue, pp. 82–83. (In Russ.)

3. *Zakharova Ye. M.* Shlikhovoy metod poiskov poleznykh iskopayemykh: Uchebnoye posobiye dlya tekhnikumov [Shlikhov method of searching for minerals: Textbook for technical schools], Moscow, Nedra publ., 1989, 160 p. (In Russ.)
4. *Zakharova Ye. M.* Shlikhovyye poiski i analiz shlikhov [Shlikhovye Prospecting and Analysis of Shlikhov], Moscow, Nedra publ., 1974, 160 p. (In Russ.)
5. *Konovalova M. S.* Osnovatel' laboratorii mineralogicheskogo analiza [Founder of the laboratory of mineralogical analysis], Rudy i metally [Ores and metals], 1996, Special issue, pp. 84–85. (In Russ.)
6. *Nikolayeva L. A.* V. A. Novikov – issledovatel', pedagog, chelovek [Novikov – researcher, teacher, person], Rudy i metally [Ores and metals], 1996, Special issue, pp. 85–86. (In Russ.)
7. *Novikov V. A.* Primeneniye plonochnykh reaktsiy i diagnosticheskogo travleniya pri mineralogicheskom analize shlikhov [Application of film reactions and diagnostic etching in mineralogical analysis of concentrates], Sovetskaya geologiya [Soviet Geology], 1939, No. 10–11, pp. 15–120. (In Russ.)
8. *Novikov V. A.* Tipizatsiya i unifikatsiya metodov mineralogicheskogo analiza shlikhov i rykhlykh porod [Typification and unification of methods of mineralogical analysis of concentrates and loose rocks], Trudy TSNIGRI, 1970, Is. 94, 88 p. (In Russ.)
9. *Sochneva E. G., Novikov V. A.* Osnovy kodirovaniya rezul'tatov mineralogicheskikh analizov shlikhov [Fundamentals of coding the results of mineralogical analyses of concentrates], Trudy TSNIGRI, 1970, Is. 95, 67 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 02.09.24; одобрена после рецензирования 15.10.24; принята к публикации 15.10.24.
The article was submitted 02.09.24; approved after reviewing 15.10.24; accepted for publication 15.10.24.

Памяти Евгения Ивановича Филатова



08.06.1937–20.10.2024

20 октября 2024 г. ушёл из жизни **Филатов Евгений Иванович**, заместитель директора ИМГРЭ, доктор геолого-минералогических наук, известный специалист в области геологии, прогнозирования, поисков и оценки месторождений цветных металлов.

Евгений Иванович Филатов окончил МГРИ в 1961 г. и после работы в НИС МГРИ и аспирантуры в 1967 г. защитил кандидатскую диссертацию по полиметаллическим месторождениям Восточного Забайкалья. В этом же году поступил на работу в ЦНИГРИ в отдел цветных металлов, возглавляемый тогда Д. И. Горжевским, сначала на должность старшего научного сотрудника, а затем стал заведующим лабораторией. Основным направлением его деятельности являлось изучение геологии полиметаллических месторождений фанерозоя. Евгений Иванович проработал на ряде месторождений Приаргунья, Хандиза (Юго-Западный Гиссар), Рудного Алтая и Болгарии. Особенно важной его работой считалось участие в прогнозно-металлогенических исследованиях (1971–1978 гг.) в Змеиногорском районе Рудного Алтая, где под руководством Е. И. Филатова была составлена прогнозная карта масштаба 1 : 50 000 и дан прогноз на изучение северо-западного фланга месторождения Корбалихинское, что привело к увеличению его запасов на свинец и цинк.

Евгений Иванович участвовал в разработке методических основ прогноза и поисков свинцово-цинковых месторождений различной формационной принадлежности: на эту тему им опубликован ряд статей. Свои многолетние исследования Е. И. Филатов обобщил в докторской диссертации, успешно защищённой в ЦНИГРИ в 1978 г.

В 1986 г. Е. И. Филатов был переведён в ИМГРЭ и назначен заместителем директора института. Позже он руководил Геохимической секцией НРС Роснедр, основной задачей которой являлась экспертная оценка качества конечной геохимической продукции геологоразведочных работ по изучению недр РФ, а также создаваемых в стране геохимических основ Государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Во время работы в ГХС НРС им была проведена экспертиза по 155 научно-исследовательским отчётам, в которых рассмотрены и апробированы более 150 листов геологических и геохимических карт масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000.

Долгое время Е. И. Филатов успешно редактировал в Росгеолфонде Государственные балансы РФ по полиметаллам и редким элементам. Много лет входил в редакционную коллегию журнала «Разведка и охрана недр», а также являлся членом Экспертного совета ВАК РФ. Более 20 лет Евгений Иванович преподавал в МПИ РУДН металлогению, формационный анализ рудоносных комплексов, структуры рудных полей и геохимию. Под его руководством

более 15 аспирантов и соискателей успешно защитили кандидатские диссертации. Е. И. Филатов опубликовал более 350 работ, в том числе 17 монографий и учебных пособий.

Евгений Иванович неоднократно был в служебных командировках в качестве консультанта по линии научно-технических связей в Швеции, Болгарии, Румынии, Финляндии, Словакии и Китае.

За подготовку прогнозно-поисковых комплексов по цветным металлам в 1987 г. он удостоился почётного звания «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» и стал лауреатом премии Мингео СССР; имеет нагрудные знаки «Отличник разведки недр» и «Почётный разведчик недр».

Евгений Иванович был бескорыстным, отзывчивым и доброжелательным человеком, пользовался любовью и авторитетом своих коллег. Память о нём надолго сохранится у его коллег и друзей.

Редакция журнала,
Коллектив сотрудников ФГБУ «ЦНИГРИ»

XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ГЕОЛОГИЯ, ПРОГНОЗ, ПОИСКИ И ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

посвящённая 90-летию ЦНИГРИ (1935–2025)

15–18 апреля 2025 г., ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва

ПЕРВЫЙ ЦИРКУЛЯР

ФГБУ «ЦНИГРИ»

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов»

ВАЖНЫЕ ДАТЫ

25.10.2024
открытие регистрации

03.02.2025
окончание регистрации и приема тезисов

07.03.2025
подтверждение включения докладов в программу конференции

15–18.04.2025
проведение конференции

КОНТАКТЫ

Ученый Секретарь,
к. г.-м. н. Фомина Марина Ивановна
+7 (495) 315-4365 (доб. 121);

Цепелева Маргарита Сергеевна
+7(495)315-4365 (доб. 173)

Москва, Варшавское шоссе, 129, корп. 1
www.tsnigri.ru

conference@tsnigri.ru
www.conf.tsnigri.ru

ВАЖНЫЕ ДАТЫ

01.10.2024
открытие регистрации
и рассылка информационного
письма

13.01.2025
окончание
приема тезисов

03.02.2025
окончание регистрации
для слушателей

12–14.02.2025
работа
конференции

90 ЛЕТ
ЦНИГРИ
1935–2025

2025
РУДНАЯ ШКОЛА ЦНИГРИ

Молодежная научно-образовательная конференция«Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче»



ЦНИГРИ

12–14 февраля 2025 года
ФГБУ «ЦНИГРИ»
Москва

КОНТАКТЫ

Костина
Елизавета Дмитриевна
8 (968) 388-87-23
young@tsnigri.ru

Требования к авторам статей

1. 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, ученой степени, звания, должности, места работы, адреса для переписки (почтового), телефона, e-mail каждого автора.

3. Научные статьи, поступившие в редакцию, подлежат обязательному рецензированию с целью их экспертной оценки. В случае отклонения статьи (отрицательная рецензия) редакция направляет авторам рецензию или мотивированный отказ за подписью главного редактора; редколлегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных статей; статьи, отклоненные редколлегией, повторно не рассматриваются.

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

5. Объем статьи не должен превышать 20 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. Возможна передача статей по электронной почте: ogeo@tsnigri.ru

6. Для набора математических формул и химических символов рекомендуется использовать Microsoft Equation 2.0.

7. Список литературы дается 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.

8. Рисунки и другие графические материалы (не более 7) 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 (только для фото), диаграмма Microsoft Exsel. 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. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице (текстовый файл, после списка литературы). Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

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

10. Статьи, превышающие установленный объем или не отвечающие данным требованиям, возвращаются автору.