

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 исключаящих), 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, определя-

емые 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, внёс 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 этап-

ность развития [7–11, 22, 23, 26 и др.] и золотого рудообразования Байкало-Патомской металлогенической провинции (БППр, рис. 2), в которой золотонакопление происходило в течение консолидационной и коллизионной эпох рифея–палеозоя (табл. 1) [7–9 и др.].

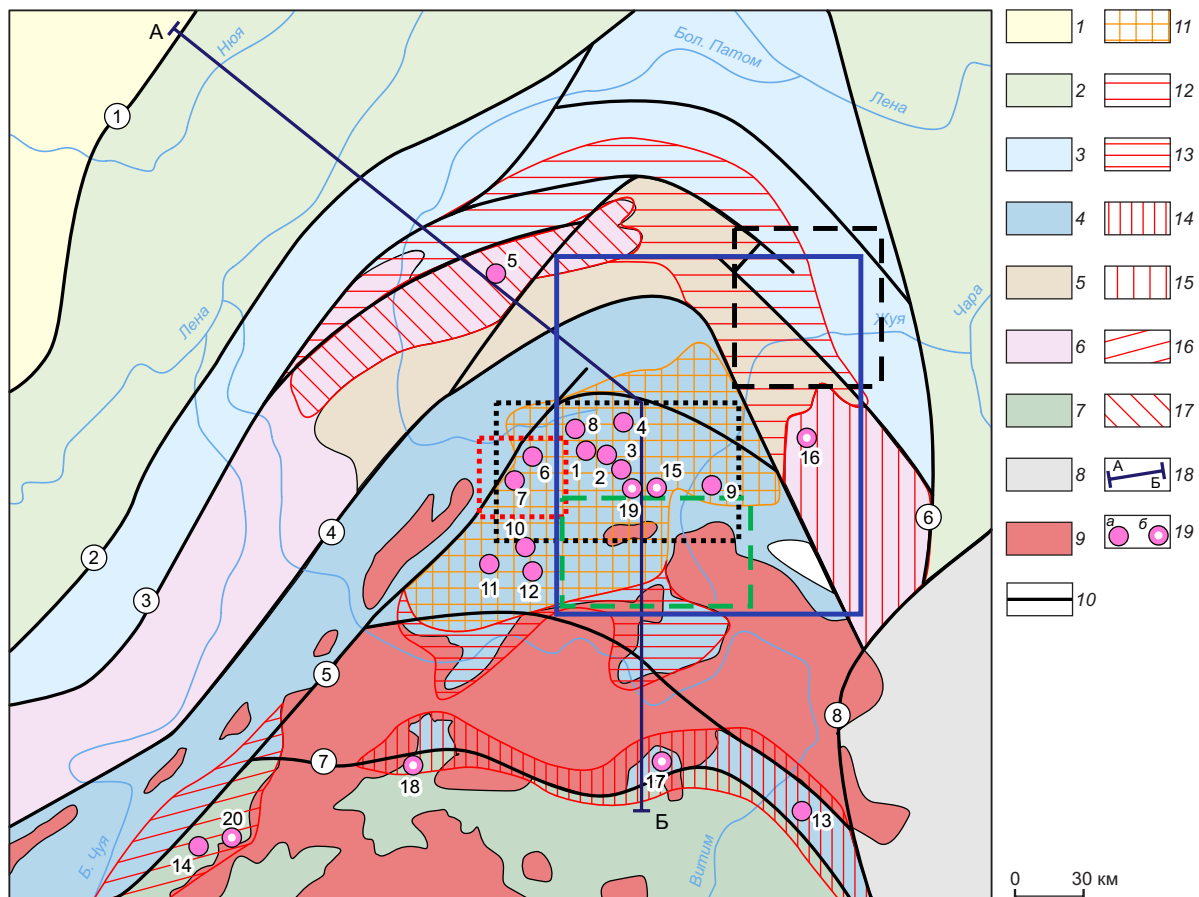


Рис. 2. Схема основных структурных элементов и металлогенического районирования северной части Байкало-Патомской металлогенической провинции:

1, 2 – Сибирская платформа: 1 – со слабдеформированным осадочным чехлом, 2 – зоны линейных складок, сформированных в краевой («шельфовой») части пассивной континентальной окраины; 3, 4 – синклинии: 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-Ньюский, 2 – Аkitкано-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-Урахский, 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 – Урахское, 9 – Светловское рудное поле, 10 – Красное, 11 – Кавказ, 12 – Копыловское, Догалдынская жила, 13 – Урахское, 14 – Мукодековское, 15 – Кудускитское, 16 – Ходоканское, 17 – Джалагунское, 18 – Довгайтское 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 коллизивной эпох рифейско-палеозойской истории развития территории БППр

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, дооросского комплекса (1055*); на определенном БМП** – метабазалты норундуканской 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 – базальты довыренского (739) и граниты муйского (630–730) комплексов	Контактовый метаморфизм вблизи интрузий	В зонах разломов, контролирующих граничные интрузии, – грейзензация, 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	
Коллизивная	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 чаянорундуканского 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 залугового бассейна, в т. ч. углеродистые	В БМП – основной и средне-основной вулканизм, гранитоиды лесного (556) и маюкорного (537) комплексов	Региональный метаморфизм в юго-восточной части БППр вблизи БМП (650–500)	В юго-восточной части БППр вблизи окварцевание в разломных зонах	Седиментационная минерализация: углеродистые и высокоуглеродистые сульфидосодержащие песчано-глинистые золотоносные осадки; синметаморфическое преобразование Pb-Zn руд (620–510) Олокинского рудного района	

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Колпачинская	E_2-S_1 (335–424)	Линейное складкообразование, в позднескладчатый этап – формирование ЗСРД	Карбонатное осадконакопление в пределах мигрирующего в сторону платформы бассейна	Базиты доыхтинского 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 магнетита 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-прожилковос; 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 (аглянянский)	Контактный, для регионально-метаморфизованных пород – регрессивный; реоморфизм с образованием гранито-купольных структур в фундаменте	Мусковитизация, в зонах диафореза – окварцевание, мусковитизация (серицитизация), хлоритизация, сульфидизация, бурошпатизация (380–320)	Формирование руд золота при низкотемпературной активизации рудоконтролирующих ЗСРД в надлинтузивных 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; средне-рифейско-ранневендский этап собственно пассив-

ной 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 – медвежьей, тыйской, абчадской свит (рис. 3).

Возраст	Структурно-фациальные зоны											
	Мамско-Бодайбинский синклиниорий и Чуйско-Нечерский антиклинорий				Байкало-Патомский синклиниорий							
	Мамско-Бодайбинская зона		Олоkitская 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	<i>il</i>	★(15,19)	<i>hl</i>		?				<i>nh₁</i>		<i>nh₁</i>	
	<i>dg</i>	★(6, 11,12)							<i>tn</i>		<i>tn</i>	
	<i>an</i>		<i>sn</i>				<i>sm</i>					
V ₁	<i>vc</i>		<i>as</i>		?		-		<i>zr</i>		<i>zr</i>	
	<i>au</i>	★(2,3,7,9,10)										
R ₃	<i>im</i>	★(1)	<i>it</i>		?		-		<i>cn</i>		<i>tr</i>	
	<i>hm</i>	★(1,4,9)	<i>on2</i>	■.			<i>dlg</i>	■ ★ (17)	<i>vl</i>	★.	<i>sn</i>	■.
R ₂₋₃	<i>uh</i>		<i>on1</i>				<i>cj</i> <i>ur+</i> <i>uu+</i> <i>vd</i>	★ (13)	<i>br</i>		<i>br</i>	
	<i>bh</i>	★ (8)							<i>dg</i>		<i>dg</i>	
R ₂	<i>bd</i>		<i>av</i>						<i>mr</i>		<i>mr</i>	
	<i>bg</i>				<i>md+vr+dd</i>	★		<i>bg</i>	★	<i>bg</i>		
	<i>hv</i>				<i>sp</i>	★		<i>hv</i>		<i>hv</i>		
	<i>hr</i>	★			<i>tl</i>	★		<i>hr</i>		<i>hr</i>		
R ₁		■	<i>ilv+ts+</i> <i>+ab</i>	■			<i>dn</i>		<i>md</i>	■	<i>md</i>	
	<i>pp</i>	★(16)							<i>pp</i>	★	<i>pp</i>	
PR ₁	<i>mh</i>	★(5)										



Рис. 3. Стратиграфическая схема и рудовмещающие уровни (для конседиментационной минерализации) Северная часть 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: *th* – михайловская, *pp* – пурпольская, *md* – медвежьейская, *hr* – хорлуктахская, *hv* – хайвергинская, *bg* – бугорихтинская, *bd* – бодайбокская, *bh* – бужуйхтинская, *uh* – угаханская, *hm* – хомолхинская, *im* – имняхская, *ai* – аунакитская, *vc* – вачская, *an* – анангская, *dg* – догалдынская, *il* – илигирская, Додыхтинская: *tl* – таличская, *sp* – спасская, *md* – мадакачская, *vr* – веренская, *dd* – додыхтинская, Чаяндринская: *dn* – даннинская, *ur* – уряхская, *uur* – усть-уряхская, *vd* – водораздельная, *dlg* – джеллагунская, *sm* – шумнинская, Патомо-Жуинская: *mr* – мариинская, *dg* – джемкунская, *br* – баракунская, *vl* – валюхтинская, *nk* – никольская, *sn* – ченчинская, *zr* – жербинская, *tn* – тинновская, *nh* – нохтуйская (остальные – см. Мамско-Бодайбинскую зону), Чарская: *sn* – сеньская, *tr* – торгинская (остальные – см. Патомо-Жуинскую зону), Олоkitская: *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 разведывается) и многочисленные рудопоявления 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 рудопоявления 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



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

чувствительностью на золото. А собственно золоторудная минерализация и рудные зоны формируются в зоне расланцевания с проявлением наложенных гидротермально-метасоматических процессов (бурошпатизации, мусковитизации, пиритизации, окварцевания), деформирующей сингенетично-сульфидизированные углеродистые породы.

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 спектральными 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, Бканское, 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).

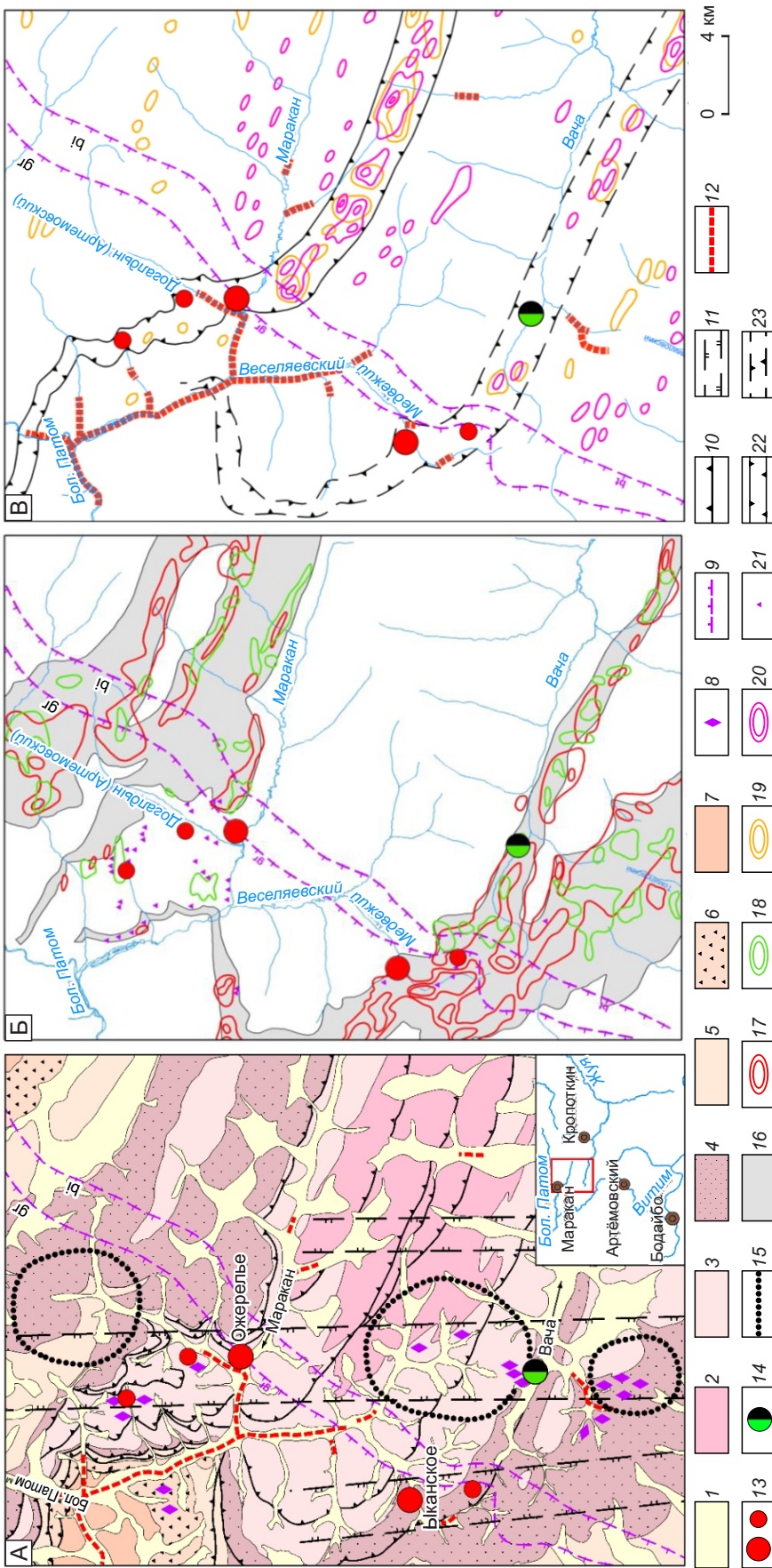


Рис. 5. Мараканский рудный узел (Байкало-Патомская металлогеническая провинция): А – геологическая карта, Б – карта вторичных ореолов рассеяния бора и молибдена, В – карта вторичных ореолов рассеяния золота и мышьяка:

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 имнянская, 6 – бужухтинская и угаханская, 7 – бугорихтинская и бодайбоканская; 8 – дайки гранитоидов верхнепалеозойского конклюдеро-мамаканского комплекса; 9 – изограды граната (gr) и биотита (bt) 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 – надынгузские вачской невоскритых гранитных интрузий, выделенные по геолого-геофизическим данным; 16 – выходы высокоуглеродистых отложений аунакитской и вачской свит; 17–20 – изолинии содержания, 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) обуславливает большую вероятность формирования в этих толщах промышленных месторождений золота. В БППр к таким уровням относятся отложения медвежьей, 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 простирацию 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 хло-

рита»), тогда как область спокойного недифференцированного магнитного поля – хлорит-гидрослюдистым парагенезисом (прениит-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

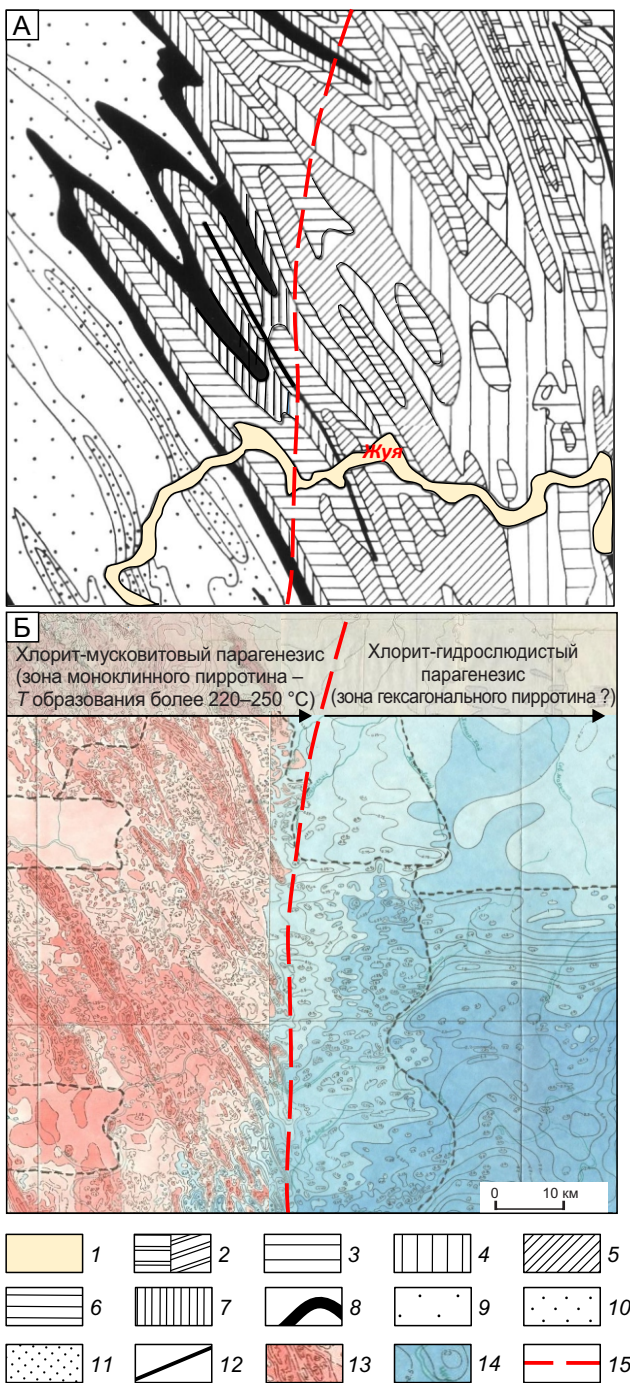


Рис. 6. Геологическая карта (А) и карта магнитного поля (ДТ) (Б) северо-восточной части Байкало-Патомской металлогенической провинции (см. рис. 2):

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 ДТ: 13 – отрицательные и 14 – положительные; 15 – граница на уровне денудационного среза зон развития хлорит-мусковитового (с моноклинным магнитным пирротинном) и хлорит-гидрослюдистого (с гексагональным немагнитным пирротинном?) минеральных парагенезисов, формирующих кливаж осевой поверхности линейных складок

осевой поверхности («усиленного» из-за поздне-складчатой активизации в зонах расщепления) пластинчатых порфиробластов моноклинового 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 синхронных флюидных систем и изограда биотита «затекала» вверх по разрезу по наиболее флюидопроницаемым ЗСРД. Моноклиновый 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 моноклинового 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 расщепления при формировании моноклинового пирротина неблагоприятна для локализации золота, что и должно отображаться в прогнозно-поисковых моделях.

В поздне-складчатых ЗСРД, в которых гидротермально-метасоматические процессы протекали в *PT*-условиях развития хлорита и мусковита (серицита), проявилась порфиробластическая железомagneзиальная карбонатизация (буропатизация). 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 том 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 буропатизации протекает, согласно исследованиям Ф. А. Летникова [17], в *S*-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 миграции флюидов в разломных зонах могло происходить их дополнительное обогащение золотом за счёт его выноса из металлоносных высокоуглеродистых пород. Поскольку складчатые зоны расщепления (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 расщепления процесса высокотемпературной незолотоносной пирротинизации (моноклиновый пирротин), которая на периферии (и, вероятно, по восстанию) сменяется более низкотемпературной золотоносной буропатизацией.

Формирование золотоносных зон буропатизации в поздне-складчатую стадию в ЗСРД являлось важнейшим рудноподготовительным 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 (пренипумпеллиитовая фация) в зонах расщепления не происходили ни пирротинизация пород, ни буропатизация, то есть часть территории металлогенической провинции, где линейное складкообразование осуществлялось в *PT*-условиях пренипумпеллиитовой 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

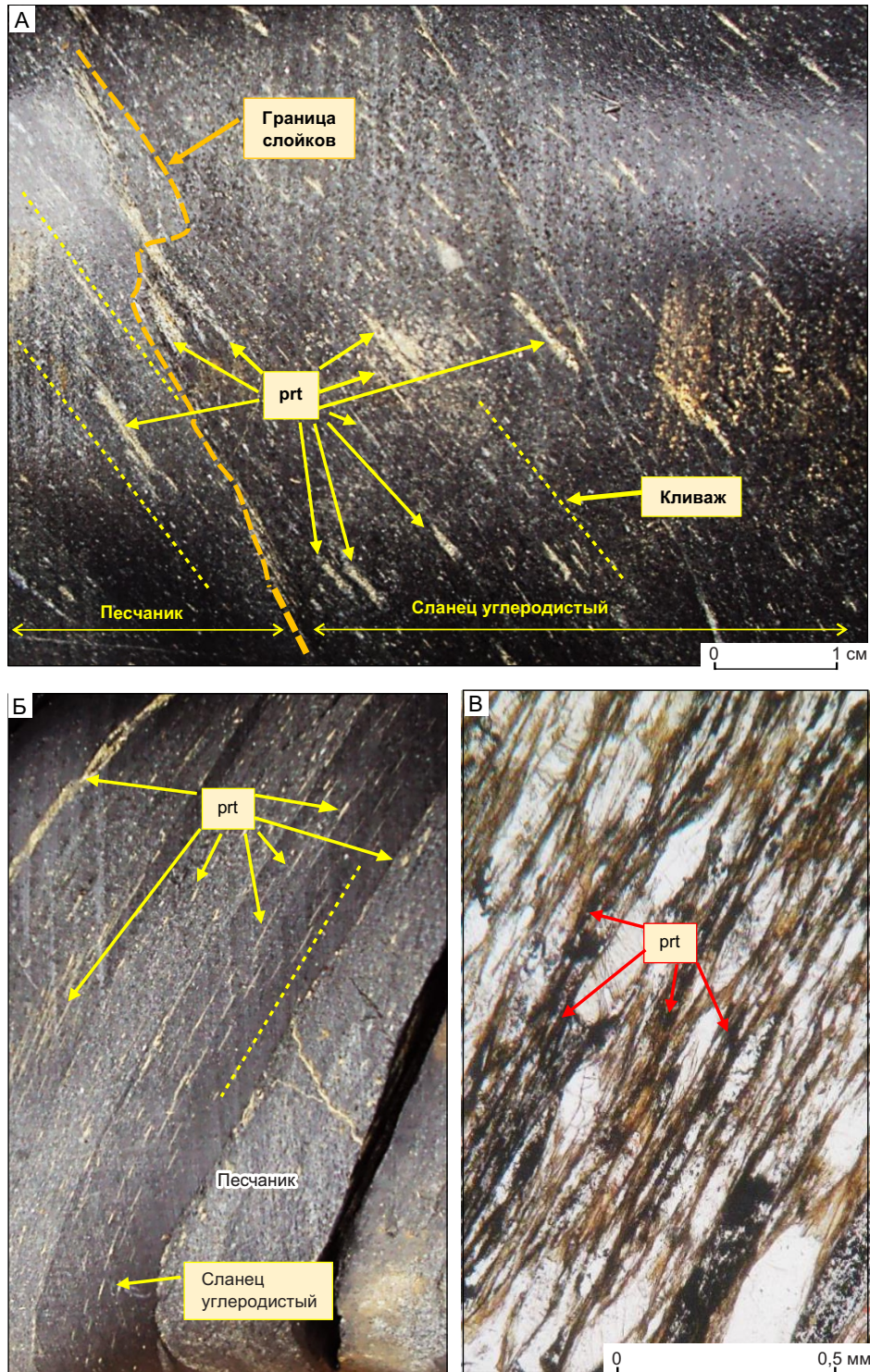


Рис. 7. Выделение линзовидного моноклинного (магнитного) пирротина (prt – светло-жёлтый) при линейном складкообразовании в переслаивающихся углеродистых сланцах и песчаниках в *PT*-условиях «зоны хлорита»:

А, Б – фото керн 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 (бурых), мусковита, хлорита, линзочек пирротина (prt – чёрные) и уплощёнными (деформированными при кливажеобразовании) зёрнами кварца и полевых шпатов (светлые) в метапесчанике; николи II

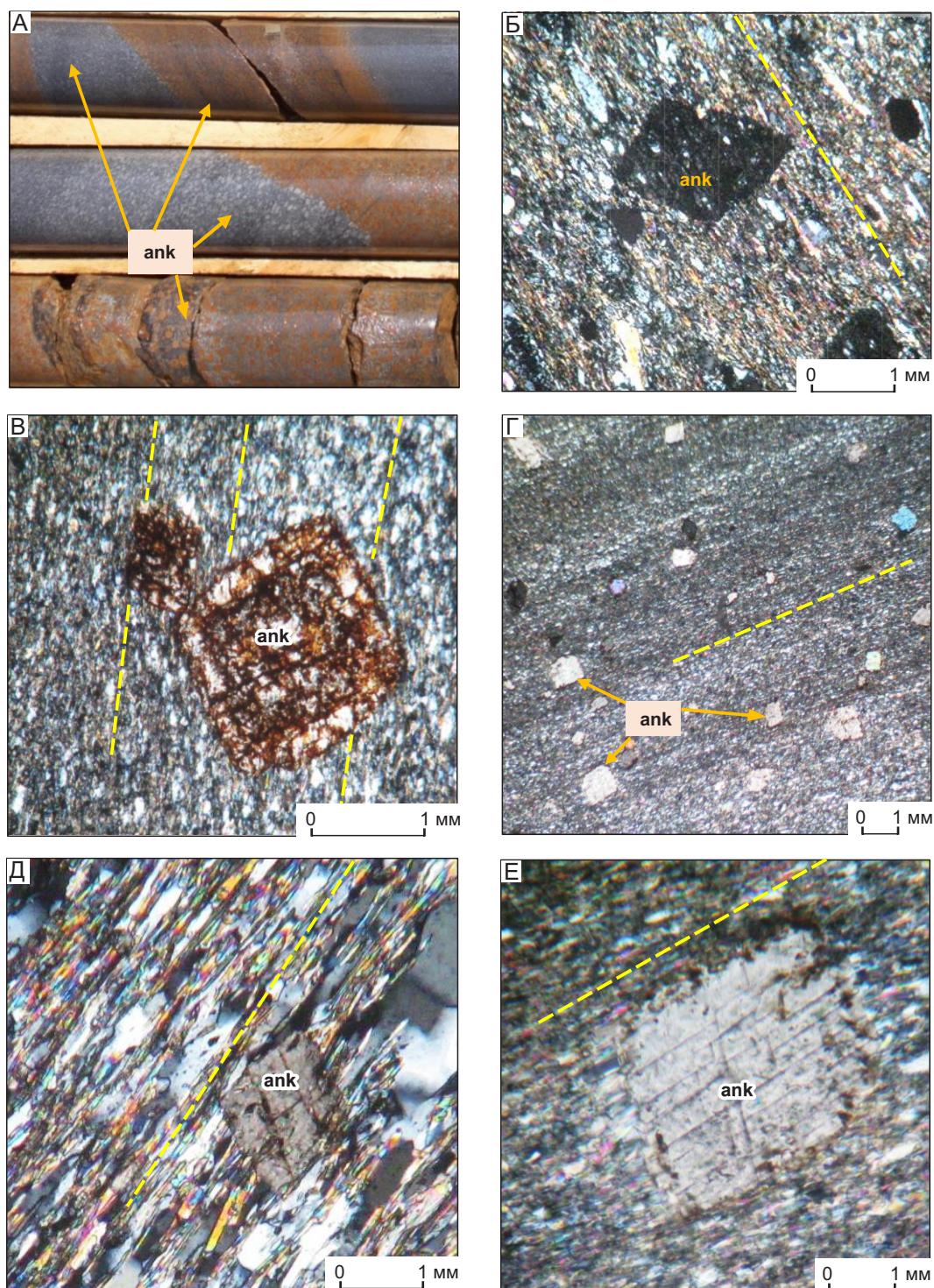


Рис. 8 [7]. Порфиробласты (ромбоэдры) анкерита (ank), сформировавшиеся после кливажа осевой поверхности, образованного субпараллельной ориентировкой чешуек хлорита и мусковита (его ориентировка – жёлтый пунктир):

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)

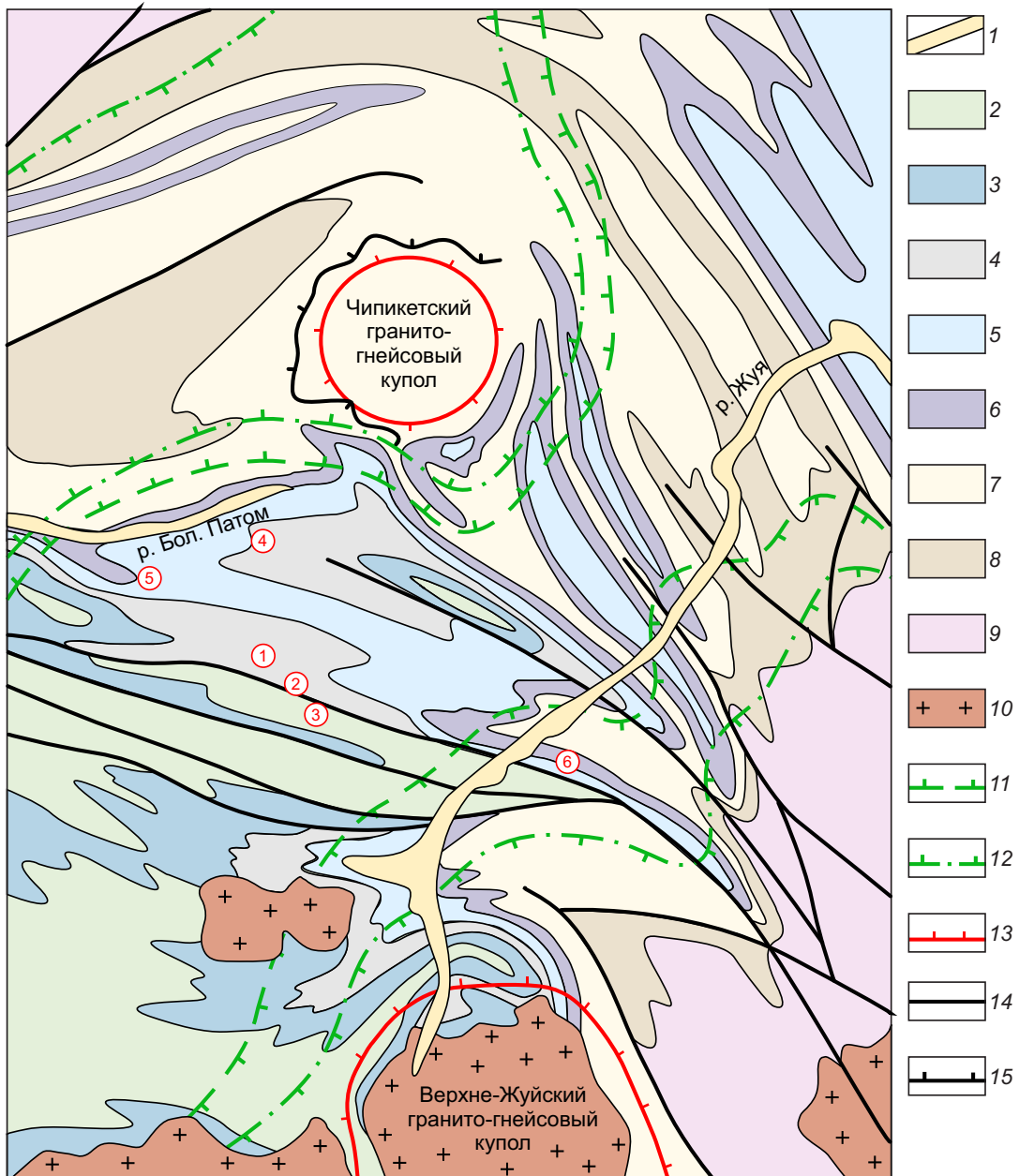


Рис. 9. Геологическая карта центральной части Байкало-Патомской металлогенической провинции (см. контур на рис. 2):

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 имнянская, 5 – верхнего–среднего, свиты: бужуихтинская, джемкуканская, угаханская и боракунская, 6–8 – среднего, свиты: 6 – бо-дайбокканская, мариинская, 7 – бугарихтинская, 8 – хайвергинская и хорлухтакская); 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 эпидотамфиболитовой 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 расланцевания, 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 расланцеванием порфиробластов анкерита, имевших ромбовидную форму при их образовании в позднекладчатую стадию. При региональном метаморфизме в *PT*-условиях, близких к «зоне биотита», образуются «поперечные» порфиробласты биотита (см. рис. 10, В) или даже в отдельных активизировавшихся зонах расланцевания 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 порфиробластов анкерита в ранее сформированных зонах буропатизации – 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

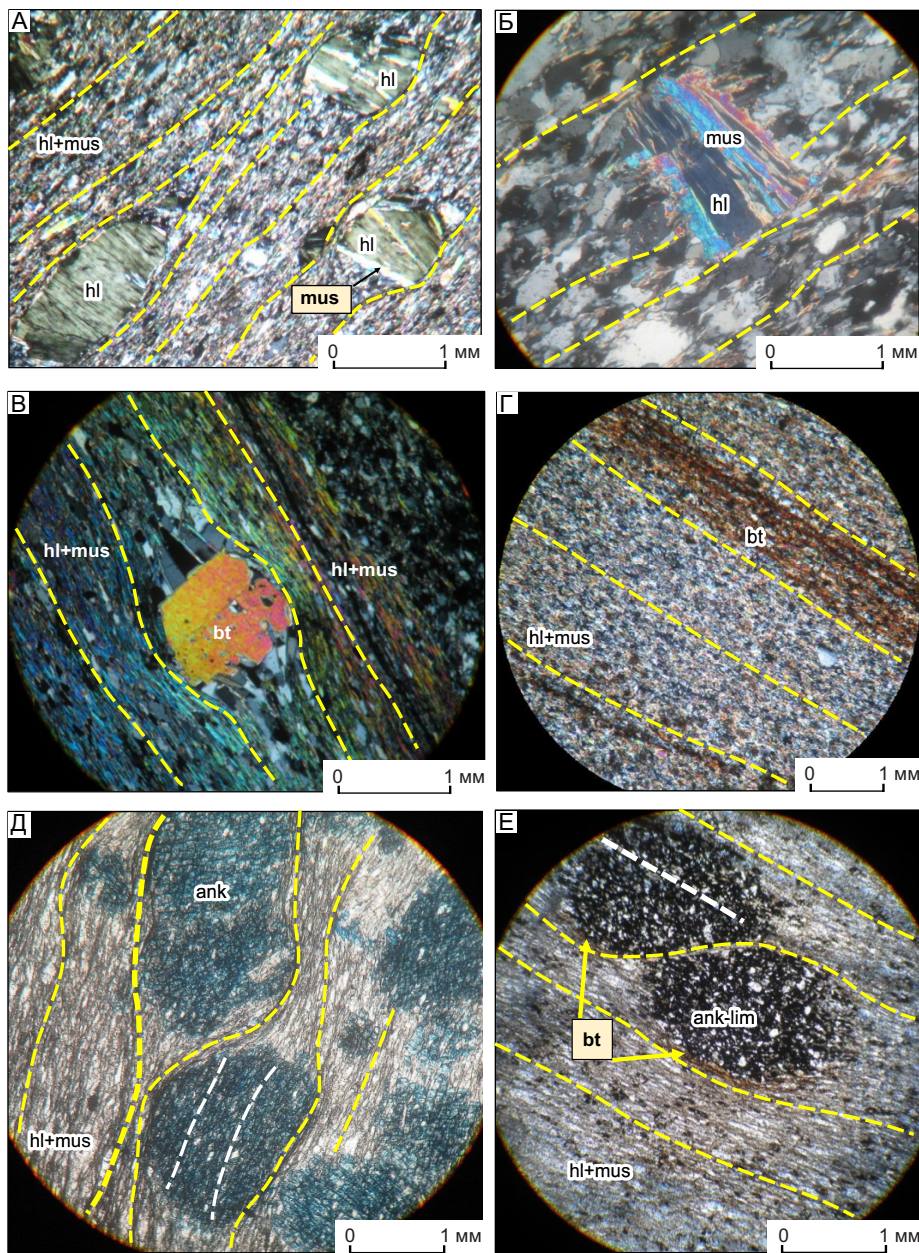


Рис. 10. Характер проявления регионального метаморфизма зеленосланцевой фации в этап гранито-гнейсового куполообразования в породах, метаморфизованных ранее при линейном складкообразовании в условиях хлорит-мусковитовой субфации зеленосланцевой фации (hl+mus):

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 зоне рассланцевания, образованной в хлорит-мусковитовых сланцах этапа линейной складчатости при дискретной активизации кливажа осевой поверхности в регионально-метаморфический этап, вследствие «концентрации» в её пределах метаморфизирующего 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» метаморфизирующего 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 продолжают существовать 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 плас-

тические деформации становились так велики, что золотоносные линейные ЗСРД деформировались с незакономерным изменением ориентировки. Поэтому их последующая («диафорическая») 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

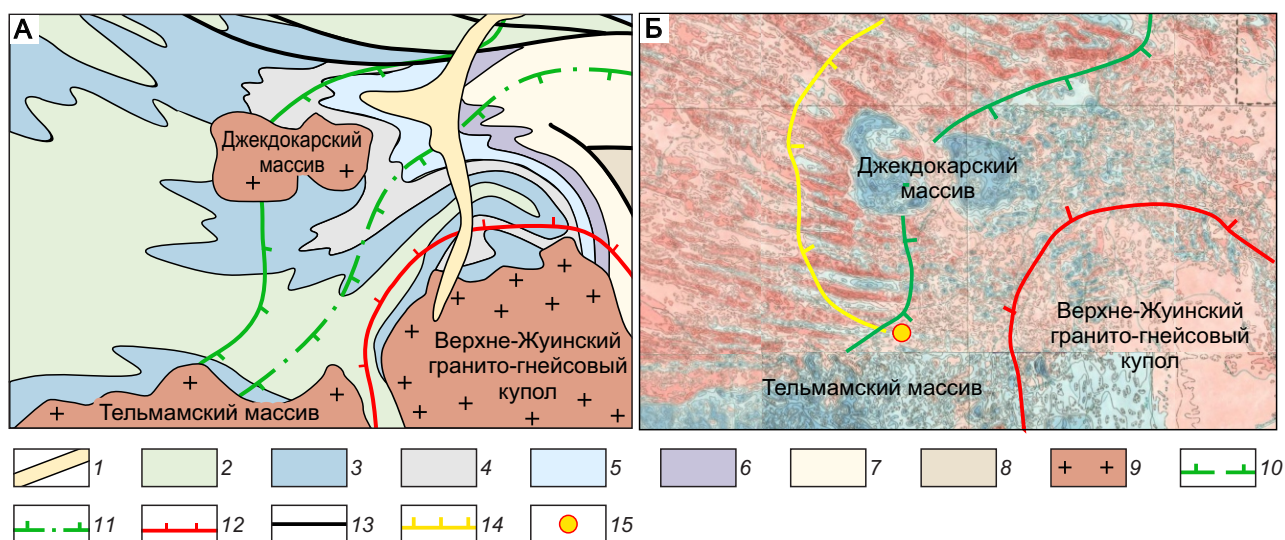


Рис. 11. Геологическая карта (А) и карта магнитного поля (Б) (ΔТ, положительные аномалии – сине-зелёные тона, отрицательные – красные тона) (Б) центральной части Байкало-Патомской металлогенической провинции (см. контур на рис. 2):

видна деформация линейных складок Верхне-Жуинским гранито-гнейсовым куполом и прорывание складчатых комплексов послерегионально-метаморфическими гранитоидами (Джедокарский 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 пирротинном в «точке Кюри» и усиление интенсивности отрицательных аномалий в термальном ореоле Джедокарского гранитоидного массива; отложения: 1 – четвертичные, 2–3 – венда: 2 – верхнего, свиты: анангская, 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 – бодайбокканская, 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 Джедокарского массива; 15 – Макалакское рудопроявление золота

зон связано с этапом гранитоидного магматизма (верхнепалеозойский конкудеро-мамаканский комплекс). Послерегionalно-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 слабо-

метаморфизованные 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

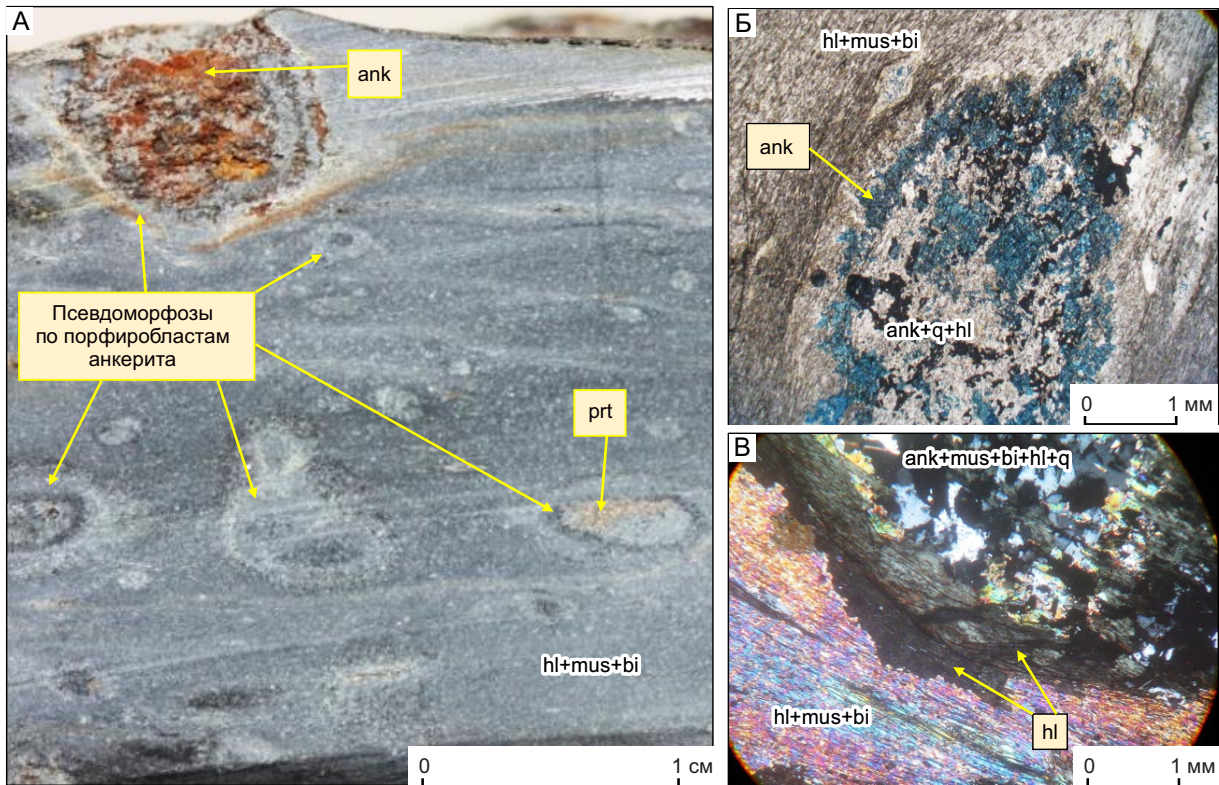


Рис. 12. Регионально-метаморфические преобразования порфиробласт железо-магнезиальных карбонатов (бурых шпатов) при региональном метаморфизме в «зоне биотита» с формированием псевдоморфоз различных минералов (Макалакское рудное поле):

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, Б' – 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), Б' (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»

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 (Vil) (сланцы углеродистые, прослои песчаников углеродистых иногда известковистых), 3 – анангская и догалдынская (Van+dg) (песчаники полимиктовые и аркозовые, иногда известковистые, прослои сланцев углеродистых и слабоуглеродистых), 4 – аунакитская и вачская (Vau+vc) (сланцы высокоуглеродистые, прослои песчаников кварцевых углеродистых); 5–7 – среднего–верхнего рифея, свиты: 5 – имнянская (R₂₋₃im) (известняки, карбонатно-слюдистые алевролиты, сланцы, песчаники), 6 – хомолхинская (R₂₋₃hm) (сланцы и метаалевролиты углеродистые, в средней части – прослои кварцевых песчаников), 7 – бужуихтинская и угаханская (R₂₋₃bz+uh) (сланцы углеродистые в переслаивании с песчаниками, в верхней части – с известняками); 8 – среднего рифея свиты: бугорихтинская и бодайбокская (R₂bg+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-порфиоров; 11 – основные разломы (надвиги, взбросы); 12 – контур надынтризивных зон над нескрытыми 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 монолинный с увеличением его количества.

По этой причине область высокотемпературного экзоконтактового ореола вокруг массивов гранитоидов неперспективна на проявление рудоносных гидротермально-метасоматических процессов (мусковитизация, пиритизация, буропшпатизация 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 диафорических 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, надынтризивные зоны нескрытых гранитных массивов, выделяемые на основании гравиразведки и подтверждаемые геологическими материалами – наличием мелких массивов гранитов и даек гранит-порфиоров, 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-порфиоров (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 надынtrizивные зоны, линейные отрицательные аномалии трассируют кварцевые жильные зоны как в пределах субогласных простирацию пород ЗСРД, так и в субмеридиональных разломных структурах [7]. По комплексу признаков выделены сингранитные субмеридиональные разломные зоны фундамента, которые в складчатом чехле обуславливают 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» вслед-

ствие локализации в их пределах сингранитного флюидопотока на фоне продолжающегося расланцевания 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,

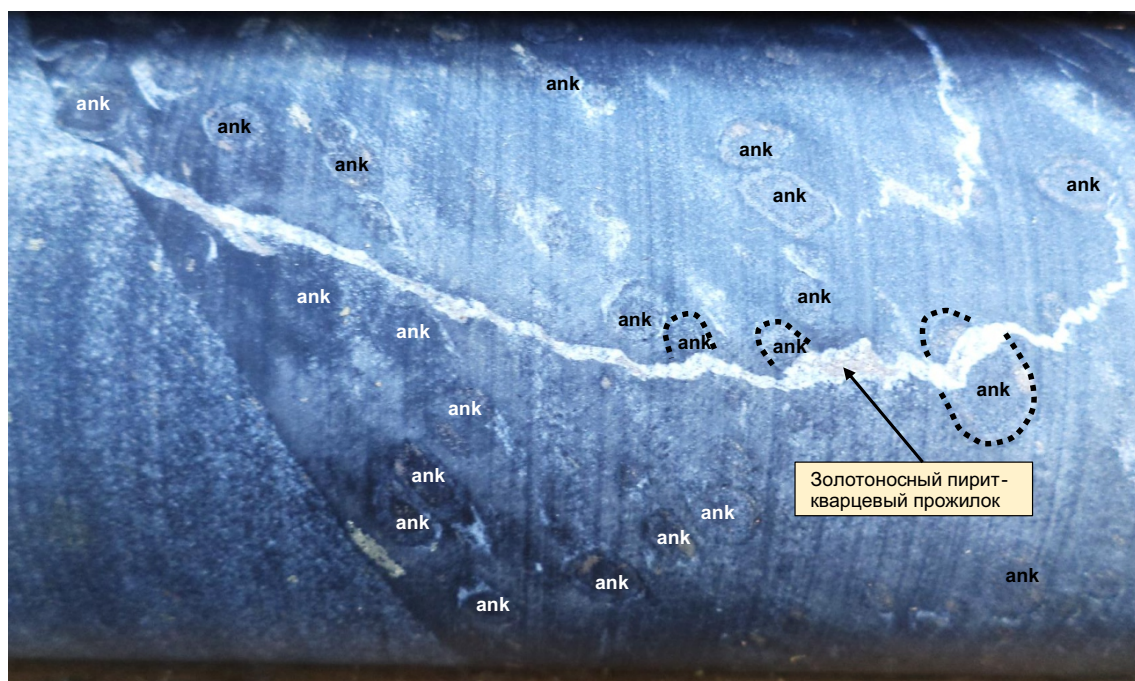


Рис. 14. Наложение пирит-кварцевой прожилковой золотоносной минерализации на метаморфизованные порфиробласты анкерита (ank) (рудопроявление Зональное, Макалакское рудное поле):

пунктиром выделены метаморфизованные порфиробласты, рассекаемые золотоносным пирит-кварцевым прожилком

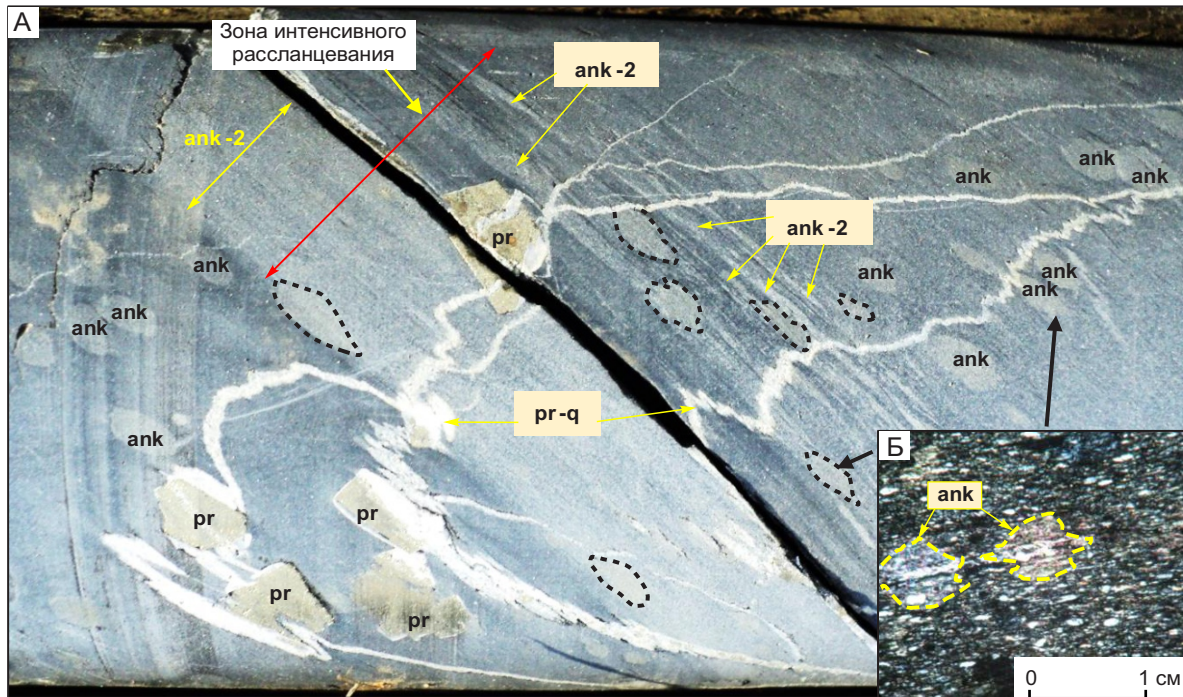


Рис. 15. Внутреннее строение золоторудной зоны расщепления (А), в пределах которой в рудный сингранитный этап и ранее при линейной складчатости (при формировании порфиробластов анкерита – «буропатизации») и в этап регионального метаморфизма (при активизации расщепления и «округлении» порфиробластов анкерита)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

А – видны относительно слабосланцеванные в рудный этап «округлённые» при синметаморфической активизации расщепления порфиробласты анкерита (ank), рассекаемые золотоносными прожилками пирит-кварцевого состава (pr-q) иногда с крупными кристаллами пирита (pr); при синрудном расщеплении (активизация ранее сформированной сланцеватости) прожилки деформируются в мелкие складки, складчатость особенно проявлена в зоне наиболее интенсивного расщепления (красная стрелка), в пределах которой порфиробласты анкерита деформируются (обведены чёрным пунктиром), расщепляются и мусковитизируются и формируются согласные сланцеватости прожилки анкерита (ank-2) или происходит буропатизация по «массе» (жёлтая стрелка – ank-2); диаметр зерна 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 расщеплении 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 зонах наиболее интенсивного расщепления; на

преобразованные порфиробласты и прожилковидные выделения анкерита накладывается порфиробластическая пиритизация, они рассекаются разностадийными пирит-кварцевыми золотоносными прожилками. Более наглядно (за счёт лимонитизации анкерита) расщепление «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 расщепленном и мусковитизированном порфиробласте синскладчатого

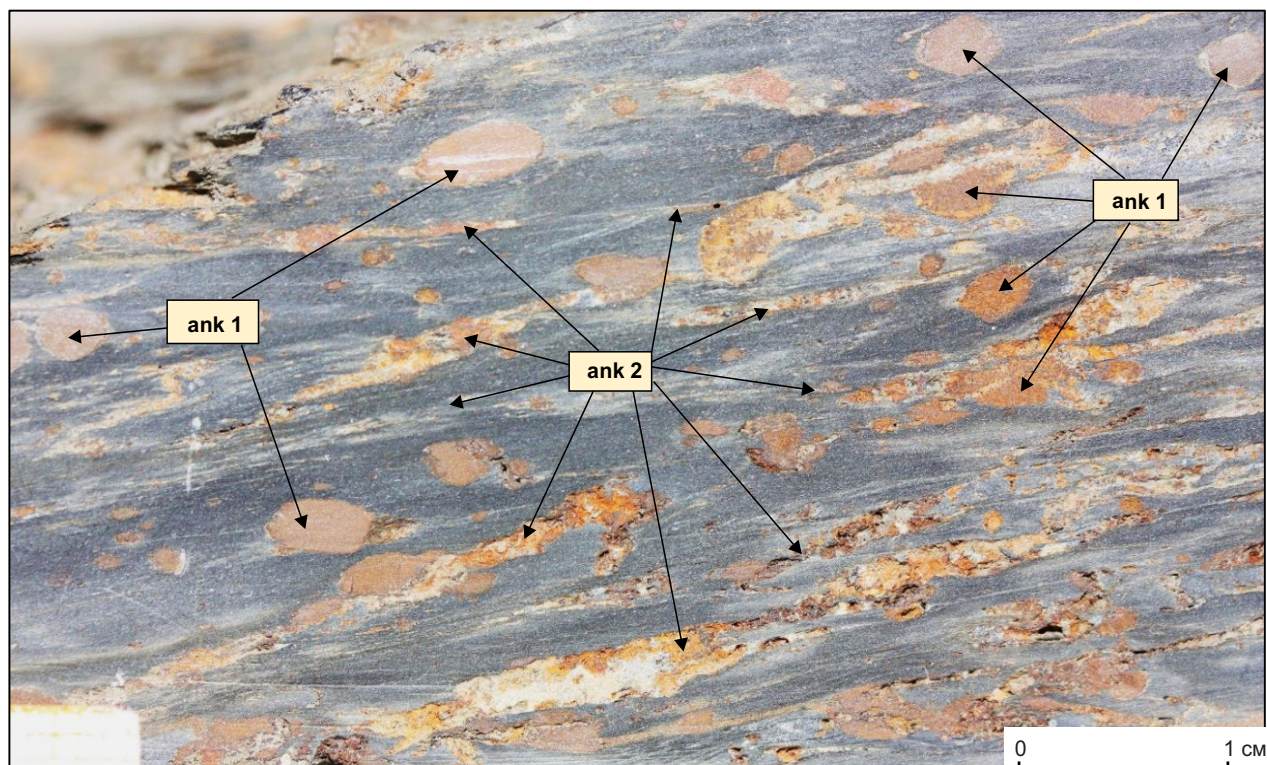


Рис. 16. Наложение анкеритового, кварц-анкеритового, пирит-кварц-анкеритового прожилкования рудного этапа (ank-1) на порфиробластическую синскладчатую буропшпатизацию (ank-2). Макалакский рудный узел, Макалакское рудопроявление:

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

анкерита установлено выделение самородного пластинчатого золота, ориентированного согласно ориентировке мусковитовых зон (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 расланцевания (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 железомagneзиальные 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 спектральными и пробирными 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

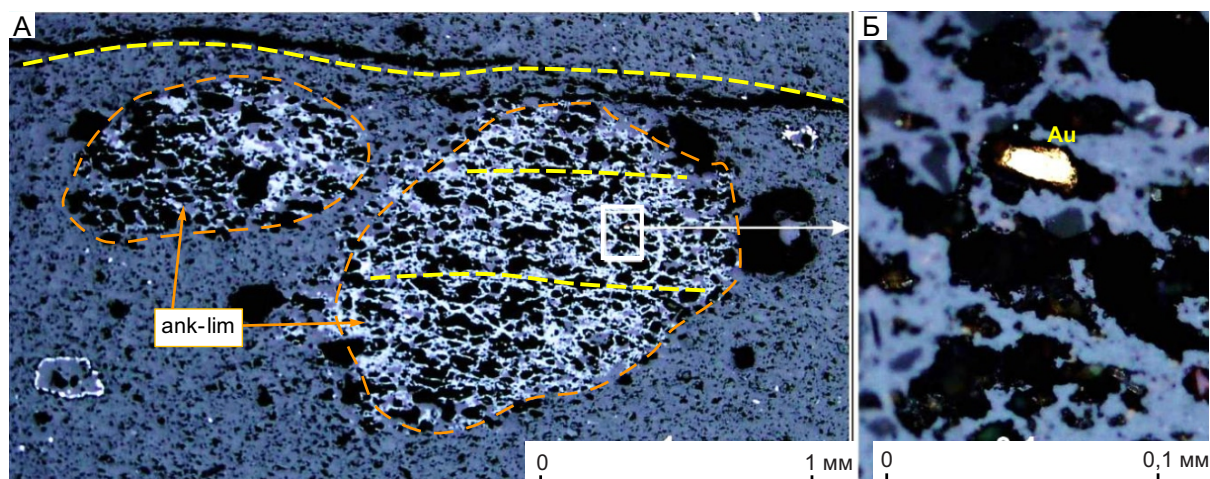


Рис. 17. Выделение самородного золота при рассланцевании и мусковитизации порфиробластов (А) (обведены оранжевым пунктиром) анкерита (ank-lim – лимонитизированный анкерит); жёлтый пунктир – ориентировка рассланцевания; светлые включения в порфиробластах – мусковит. Фото аншлифа, материалы С. Г. Кряжева; 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 «вычленил» 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 зерна 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 диафореза 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) диафориты 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) диафориты 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) диафориты 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 (диафоритов), Д – в стенке карьера анкерит-кварцевая (ank-q) жила с видимым золотом (обведено красным) в кварц-хлорит-анкерит-мусковитовых (q-hl-ank-mus) диафоритах (буреют при выветривании анкерита), Е – фото шлифа (николи +) кварц-хлорит-анкерит-мусковитовых диафоритов: в кварц-хлорит-мусковитовом (q-hl-mus) сланце новообразованные синрудные порфиробласты анкерита (ank)

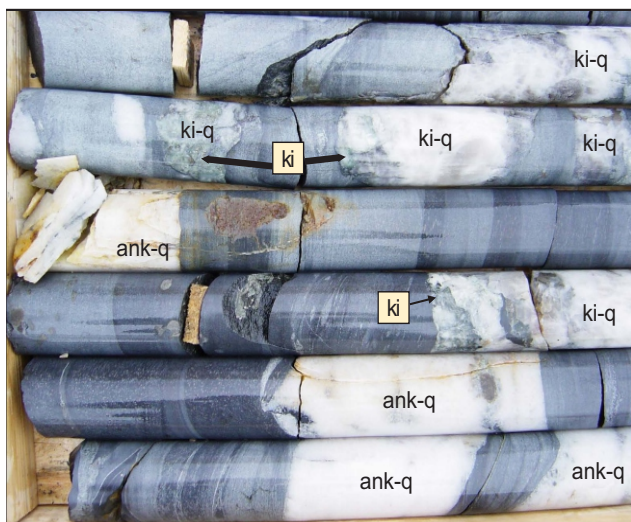


Рис. 19. Кианит-кварцевые (ki-q) синрегионально-метаморфические и анкерит-кварцевые рудные (ank-q) жилы в Рудной зоне № 1 месторождения Ожерелье (скв. 4). Диаметр керна 63 мм

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 БПР

Объект прогноза	Группы факторов прогноза	
	Факторы (критерии) прогноза	Поисковые признаки
Рудный район	<ol style="list-style-type: none"> Наличие углеродистых песчано-сланцевых и (или) карбонатно-песчано-сланцевых отложений (в первую очередь свиты: бугорихтинская, бужуихтинская, хомолхинская, аунакитская, догалдынская и их возрастные аналоги). Развитая система корово-мантийных разломов, активизировавшихся на всех этапах рифейско-палеозойской истории региона и характеризующихся проявлением <i>S</i>-флюидного (буршпатового) метасоматоза при линейной складчатости. Система гранитоидных верхнепалеозойских магматических очагов, в том числе обусловивших процессы регенерации раннепротерозойских гранито-купольных структур. Метаморфические критерии: <ul style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> Проявления золоторудной минерализации. Россыпи золота. Геофизические критерии – формирование в этап линейного складкообразования линейных отрицательных магнитных аномалий (зон пирротинизации)

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

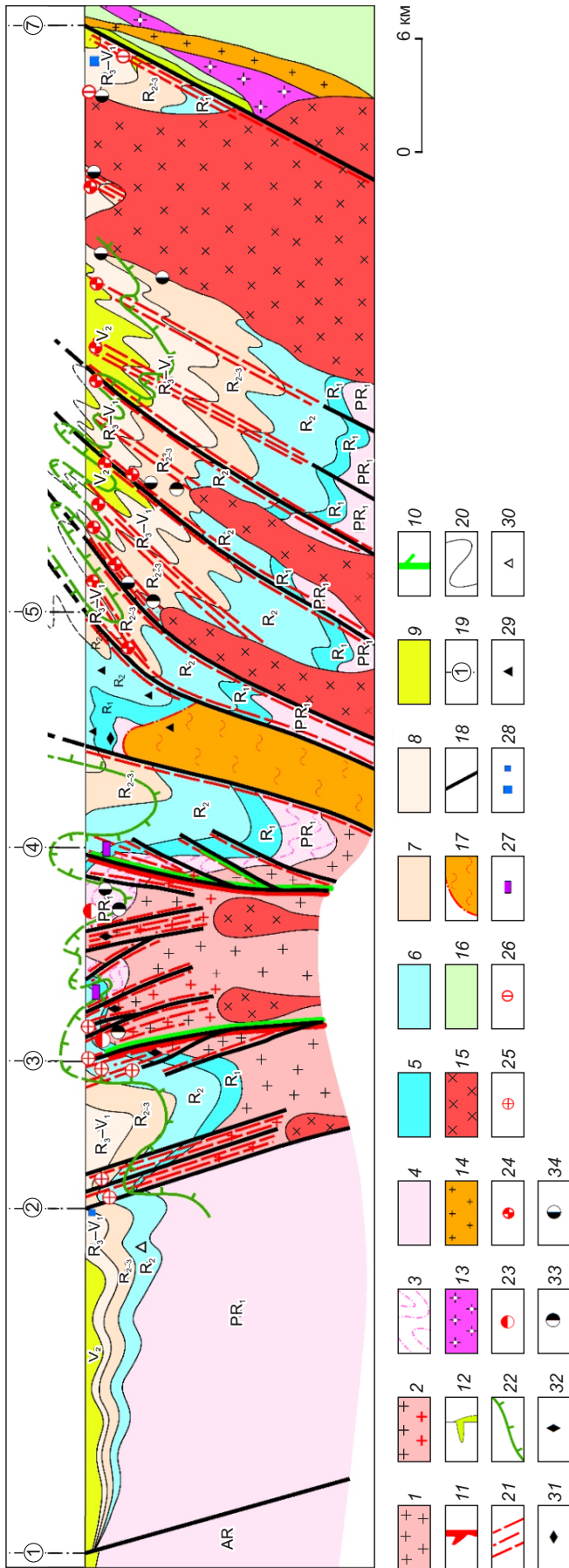


Рис. 20. Модель рифейско-верхнепалеозойского рудообразования в Байкало-Патомской металлогенной провинции [4] (линия разреза на рис. 2):

1–4 – образования раннепротерозойского фундамента: 1 – гранитоиды, 2 – гранитоиды, реоморфизованные в верхнем палеозое, 3 – осадочно-метаморфические породы, 4 – нерасчленённые образования раннепротерозойского фундамента (PR₁); 5–7 – отложения рифея: 5 – раннего (R₁), 6 – среднего (R₂), 7 – среднего-верхнего (R₂₋₃); 8 – верхнерифейско-раннепалеозойские отложения (R_{3-V1}); 9 – верхнепалеозойские отложения (V₂); 10–15 – породы магматических комплексов: 10 – базиты чайского, 11 – граниты язовского и муйского, 12 – базиты довыренского и муйского, 13 – гранитоиды муйского, 14 – граниты лесного и малякорного, 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 складчатости и активизировавшиеся при региональном метаморфизме и в сингранитный (конкудеро-мамаканский) этап; 22 – изограда буршлатового метасоматоза, активизировавшаяся при региональном метаморфизме и в сингранитный (конкудеро-мамаканский) этап; 23 – зона расщепления с проявлением золотоносного биотита регионального метасоматоза, активизировавшаяся при региональном метаморфизме и в сингранитный (конкудеро-мамаканский) этап; 24 – изограда золота Кевактинской (23), Бодайбинской (24), Дальнегтайгинской (25) и Додыхтинско-Урянской (26) обстановок [4]; 27–34 – месторождения и рудопроявления рудопроявления: 27 – железистых кварцитов, 28 – свинца и цинка, 29 – слюды мусковита, 30 – магнетита, 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, горбилоская, 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 куполо-

образование и регионально-метаморфические преобразования пород, в том числе золотоносных в пределах рудоконтролирующих ЗСРД. При активизации рудоконтролирующих ЗСРД в сингранитный «батолитовый» этап и их поперечной

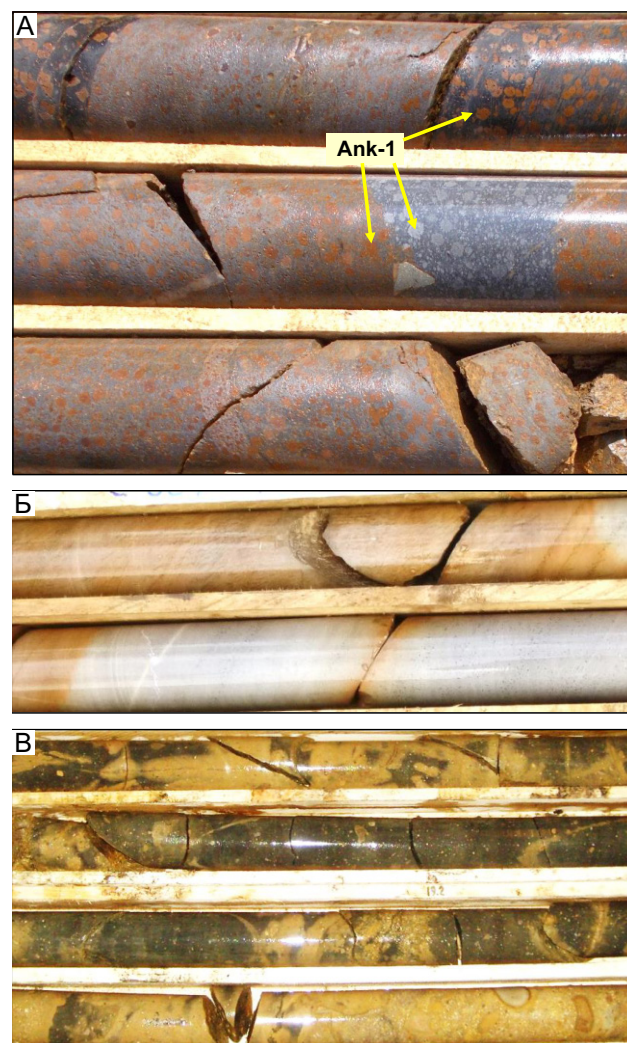


Рис. 21. Характер синскладчатой бурошпатизации (анкерит) в углеродистых сланцах Байкало-Патомской (А – Атырканское рудное поле, см. рис. 13), Енисейской (Б – рудопроявление Южное) и Верхояно-Колымской (В – рудопроявление Олбот) золотоносных провинций:

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 зерна 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	Средние и мелкие	Рудопроявления и зоны с бедным оруденением
I этап – консолидационный 1650–535 млн лет	Флициодные углеродистые толщи, консолидационные разломы фундамента, проявление в их швах базитового и гранитоидного магматизма и гидротермально-метасоматических процессов	Крупные	Свиты: бужухтинская, хомолхинская, аунакитская, догадлынская и PR ₁	Все стратиграфические подразделения R ₁ -V ₂ и PR ₁
		Вертикальная амплитуда разломов фундамента		
II этап – линейного складкообразования 535–424 млн лет	Зоны расланцевания и бурошпатизации (ЗСРД) над продольными разломами фундамента в позднескладчатую стадию	Вертикальная амплитуда разломов фундамента более 2–3 км	Вертикальная амплитуда разломов фундамента 0,5–2 км	Вертикальная амплитуда разломов фундамента
		Более 1–2 км	Амплитуда перемещений	Вертикальная амплитуда разломов фундамента менее 0,5 км
III этап – гранито-гнейсового куполообразования 424–392 млн лет	Секущие разломы фундамента	Обязателен	Обязателен	Разломы слабо выражены
		Синскладчатый метаморфизм «зоны хлорита»	Обязателен	Обязателен
IV этап – гранитоидного магматизма («батолитовых» гранитоидов) 392–300 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
		Очень интенсивная с образованием зон смятия мощностью до 100–500 м	Интенсивная с мощностью зон смятия до 100 м	Слабо проявлена
V этап – активизация деформаций в крупных продольных разломах фундамента с усилением складчато-разрывных в деформируемом чехле над ними (в ЗСРД)	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» жиллами и прожилками кварца	Проявлена искривлением осей складок и шарниров, иногда «поперечными» прожилками кварца	Проявлены зонами трещиноватости
		Установленных по геолого-геофизическим данным	Предполагаемых по геофизическим данным	Отчётливая связь только для объектов в апикалях массивов
Уровень сингранитного метаморфизма в ЗСРД		РТ-условия «зоны хлорита»	РТ-условия «зоны хлорита»	–

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

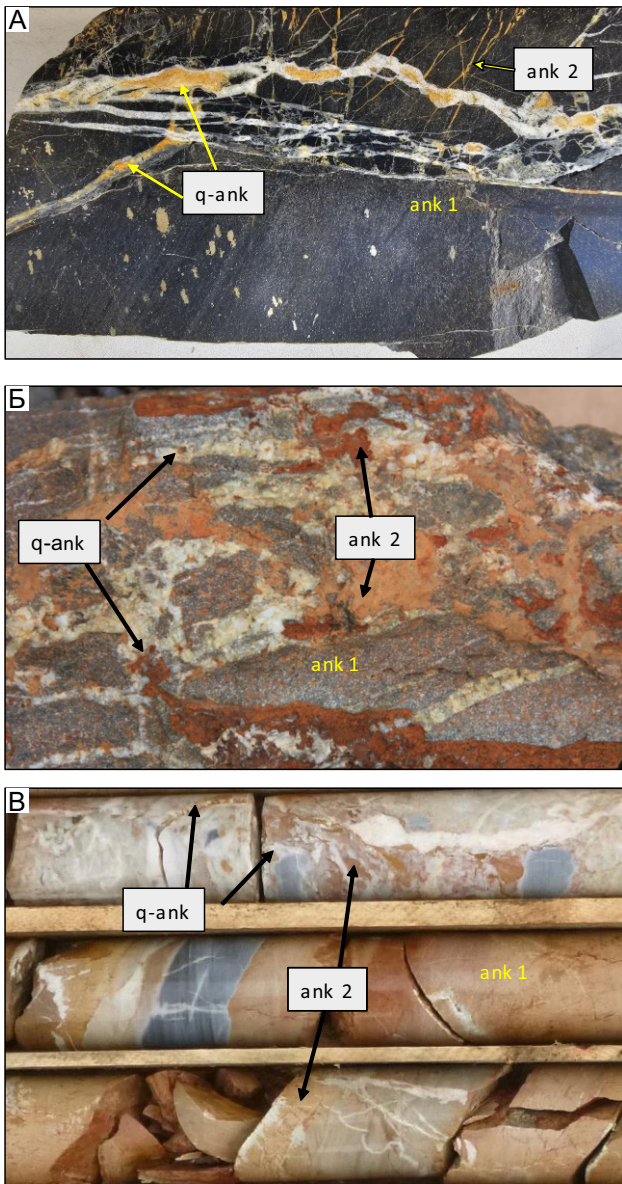


Рис. 22. Прожилковая анкеритовая и кварц-анкеритовая минерализация рудного этапа, наложенная на синскладчатую бурошпатизацию (анкерит-1):

А, Б – Верхояно-Колымская провинция: А – месторождение Павлик, анкерит-1 (ank 1) тонковкрапленный «проявляется» порижением 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» порижением 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., Арифлулов 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., Первалов 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. *Комплексование 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. *Комплексование 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. *Салон 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 сырьё 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 orudneniye [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.* Sukhoi 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. Konstantinov, Moscow, TSNIGRI publ., 1989, 274 p. (In Russ.)
6. *Vud B. L., Popov N. P.* Gigantskoye mestorozhdeniye zolota Sukhoi 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-Patom (geologiya, orudneniye, perspektivy) [Gold of Baikal-Patom (geology, mineralization, prospects)], Moscow, TSNIGRI publ., 2014, 215 p. (In Russ.)
8. *Ivanov A. I.* Prognozno-poiskovyie 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 orudneniya na raznykh etapakh kollizionnoy epokhi razvitiya Baykalo-Patomskoy metallogenicheskoy provintsii [The role of metamorphic conditions for the transformation of carbonaceous carbonate-terrigenuous 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-poiskovyie 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-poiskovyie 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-poiskovyie 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-terrigenuous complexes], Moscow, TSNIGRI publ., 2017, 53 p. (In Russ.)
16. *Laverov N. P., Chernyshev I. V., Chugayev A. V.* [et al.] Etapy formirovaniya krupnomasshtabnoy blagorodnometal'noy mineralizatsii mestorozhdeniya Sukhoi 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. *Metallogenicheskiiy 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* poiskovyie 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. *Pprintsipy 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 metallicheskih poleznykh iskopayemykh", 1982, No. 6. (In Russ.)
 22. *Rundkvist D. V.* Osobennosti geologicheskogo razvitiya baykalid [Features of the geological development of Baikals], 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 drevnykh sloistyykh 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.