

**МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАННЕМЕЛОВОГО ЗОЛОТОГО
ОРУДЕНЕНИЯ ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ЯНО-КОЛЫМСКОГО ОРОГЕННОГО ПОЯСА
(МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)**

Н.А. Горячев¹, О.Т. Соцкая¹, И.Н. Горячев², Т.И. Михалицына¹

¹ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило ДВО РАН,
ул. Портовая 16, г. Магадан, 685000; e-mail: goryachev@neisri.ru

²ФГБОУВО Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83,
г. Иркутск, 664074

Поступила в редакцию 11 мая 2023 г.

Рассмотрены минералого-геохимические особенности раннемеловых золоторудных месторождений на территории Северного Приохотья – юго-восточный фланг Яно-Колымского орогенного пояса и Приохотский сектор Охотско-Крякского орогенного пояса. Дан обзор датировок и показаны общие и отличительные геологические и минералого-геохимические черты разнотипной минерализации. Предполагается генетическое единство рудной минерализации с проявлениями раннемелового магматизма и связь ее с процессами формирования Удско-Мургальской магматической дуги.

Ключевые слова: раннемеловое золотое оруденение, минералогия и геохимия, Удско-Мургальская магматическая дуга, Яно-Колымский и Охотско-Корякский орогенные пояса.

ВВЕДЕНИЕ

Рассматриваемая территория включает в себя две крупные орогенные структуры коллизионного (позднеюрско-раннемеловой Яно-Колымский орогенный пояс – ЯКОП) и аккреционного (раннемеловой Охотско-Корякский орогенный пояс – ОКОП) типов [7]. Каждая из этих структур характеризуется своей историей, магматизмом и металлогенией. Для ЯКОП главный пик магматической орогенной активности приходится на 150 ± 5 млн лет, для ОКОП отмечается более широкий интервал от 132 до 100 млн лет [2, 7, 11, 14, 30]. И на все это накладываются структуры, связанные с формированием позднемелового Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) окраинно-континентальной природы. Особенностью рассматриваемой территории является проявление в пределах структур ЯКОП этапа дайкового магматизма и золотого оруденения с датировками 128–110 млн лет, которые хронологически совпадают с периодом формирования ОКОП. Предлагаемое сообщение посвящено минералого-геохимической характеристике датированного раннемелового золотого и золото-сурьмяного оруденения и вопросам соотношений рудных производных этого этапа в ЯКОП с рудными производными собственно ОКОП.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основным методом исследований были геологические наблюдения на объектах, структурно-геодинамический анализ позиции месторождений и инструментальные исследования особенностей состава руд. Последние проводились на аппаратуре коллективных центров СВКНИИ (микрозондовый анализ минералов – аналитик Е.М. Горячева, О.Т. Соцкая, рентгено-флуоресцентный анализ пород – В.Я. Борходоев, К-Аг датирование – В.В. Акинин – [28]), ДВГИ ДВО РАН (определение изотопного состава серы – Т.А. Велливецкая – [4], и ИТиГ ДВО РАН (анализ содержаний микроэлементов методом ICP-MS – Н.В. Бердников) с использованием известных аналитических методик. Термоэлектрические свойства арсенопирита исследованы в лаборатории петрологии изотопной геохронологии и рудообразования СВКНИИ (В.И. Мишунин и Е.М. Горячева) по методике, описанной ранее [15].

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗУЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Тектонический очерк

В пределах рассматриваемой территории рудная минерализация локализована в Куларо-Нерском террейне ЯКОП и прилегающей части Армано-Ви-

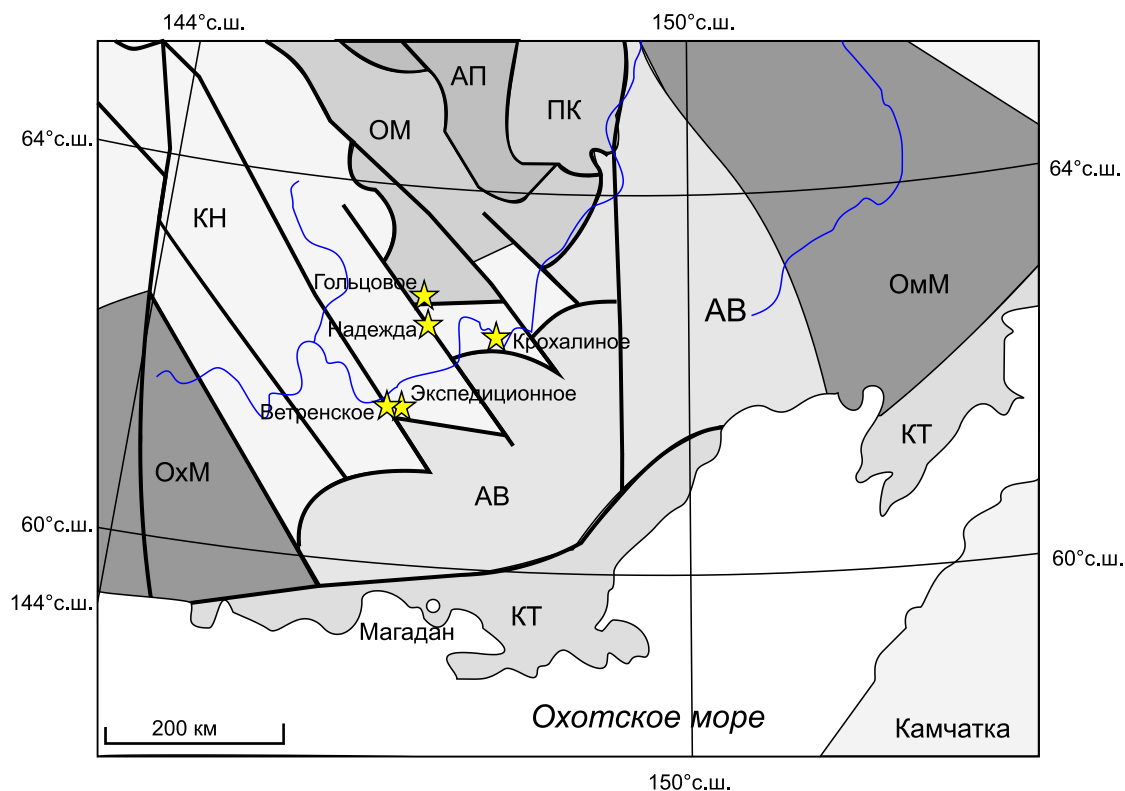


Рис. 1. Положение исследованных месторождений в основных тектонических структурах региона.

Основа – по [8]. Основные структурные элементы: ОмМ – Омолонский микроконтинент; ОхМ – Охотский микроконтинент; террейны: КН – Куларо-Нерский, ОМ – Омулёвский, ПК – Приколымский, АП – Аргатасско-Поповкинский, АВ – Арmano-Вилигинский, КТ – Кони-Тайгоносский.

лигинского шельфового террейна ОКОП [7], которые расположены между двумя кратонными блоками (микроконтинентами) Охотским и Омолонским (рис. 1). Террейны сложены песчано-сланцевыми отложениями перми–средней юры (Куларо-Нерский) и песчано-сланцевыми со значительной примесью вулканогенного материала отложениями перми–поздней юры (Арmano-Вилигинский). В последней структуре важную роль играют магматические комплексы позднеюрско-раннемеловой Удско-Мургальской окраинно-континентальной дуги (УМД), датированные (U-Pb) от 132 до 107 млн лет [14, 30].

Данные геологических взаимоотношений и геохронологии оруденения

К сожалению, датировок раннемеловой рудной минерализации ЯКОП не очень много, из-за чего внимание данным объектам и их генезису исследователями практически не уделялось. В основном, это касается валового анализа метасоматитов, серицит-кварцевого агрегата рудных жил и серицита из них. Большинство датировок выполнено К-Аг методом [3, 20], в меньшей степени Аг-Аг [21, 24, 32, 33], и есть

первые даты Re-Os методом самородного золота [26] (табл. 1). Согласно таблице, можно выделить несколько групп дат раннемелового интервала в пределах Арmano-Вилигинского террейна ОКОП – 136–135, 122 и 105–100 млн лет, и только один интервал – 128–117 млн лет в пределах Куларо-Нерского террейна ЯКОП объединяет изученные нами месторождения.

Большой размах датировок связан со слабой устойчивостью аргоновых изотопных систем к термальным воздействиям и в данном случае свидетельствует только о наличии раннемеловых эндогенных производных. Определенную достоверность для этого этапа придает совпадение Аг-Аг и К-Аг датировок разных проб с одного месторождения (табл. 1), достаточно четкие и ровные Аг-Аг плато [24, 33] и согласие их с датировками дорудных и пострудных даек, полученными Rb-Sr и U-Pb методами [30].

Характеристика изученных месторождений

Ветренское месторождение – наиболее известное из всех имеющих раннемеловые датировки [18, 19, 23]. Оно локализовано в зоне крупного Чай-Юринского разлома взбросо-сдвиговой кинематики.

Таблица 1. Датировки раннемеловых рудных месторождений восточного фланга ЯКОП и прилегающих территорий ОКОП.

Месторождение (пояс)	Тип	Минерал / порода	Дата, млн лет	Метод	Источник
Гольцовое (ЯКОП)	Орогенный жильный (Au)	Мусковит	128.2	Ar-Ar	Voroshin et al., 2004
Надежда (ЯКОП)	Орогенный дайки (Au)	Серицит	126.5	Ar-Ar	Ньюберри и др., 2000 авторы
		Серицит + кварц	115.9	K-Ar	
Ветренское (ЯКОП)	Орогенный жильный (Au)	Серицит	126	Ar-Ar	Ньюберри и др., 2000 Золоторудные..., 1988, 2010
			123–105	K-Ar	
Крохалиное (ЯКОП)	Орогенный дайки (Au-Sb)	Гидрослюда	128	K-Ar	Бергер, 1978
Экспедиционное (ЯКОП)	Орогенное жильное (Au)	Арсенопирит	117.6	Re-Os	Пачерский и др., 2021
Тэутеджак (ОКОП)	Связанный с гранитоидами (Au)	Мусковит + турмалин	103	K-Ar	Горячев, 2005
Хакандя (ОКОП)	Молибденит-кварцевый	Кварц + мусковит	103	K-Ar	Горячев, 2005
Джувлетта (ОКОП)	Эпитермальное (Au-Ag)	Адуляр	136	Rb-Sr	Стружков и др., 1994 Лейер и др., 1997
			135.5	Ar-Ar	
Нявленга (ОКОП)	Эпитермальное (Au-Ag)	Адуляр	100	Ar-Ar	Ньюберри и др., 2000
Верхне-Сеймчанское (ЯКОП)	Co-Bi-Ag-As	Измененная дайка	105	K-Ar	Горячев и др., 2014
Обход (ОКОП)	Co-Bi-As	Рудовмещающие гранодиориты	122	U-Pb	Шпикерман и др., 2016

В зону этого разлома внедрены дайки порфиритов и керсантитов (рис. 2). Характерной особенностью локализации оруденения является его удаленность от крупных гранитоидных массивов Корабль (153.4 млн лет) на юге в 7 км и Право-Обинский (150.9 млн лет) на востоке [26].

Рудные тела представлены интенсивно деформированными кварцевыми жилами и прожилково-вкрапленной кварц-сульфидной минерализацией среди милонитизированных и графитизированных (до 10 % С) аргиллитов и алевролитов раннеюрского возраста. В пределах месторождения выявлено 20 таких рудных тел [18, 19, 23]. Мощность рудных тел 10–30 м, протяженность до 120–350 м (рис. 2, б). Они прослежены до глубины 300 м. Среднее содержание золота 20.5 г/т в балансовых рудах [19]. Запасы оцениваются примерно в 30 тонн золота, значительная часть которых уже извлечена. Важной особенностью руд является прямая корреляция содержания золота в них с углеродом, серой и оксидом калия [23]. В составе руд помимо золота отмечены повышенные концентрации оксида W (до 2.8 %), As (до 0.5 %), Sb (до 0.04 %), Pb (до 0.08 %), Cu (до 0.018 %) [23]. Возраст оруденения по Ar-Ag методу 125.5 млн лет [8, 24], K-Ar датировки показали интервал 123–105 млн лет по трем пробам [18, 19, 23] (табл. 1).

Проведенное нами изучение геохимических особенностей руд и метасоматитов показало заметно более высокие концентрации в них V, Ni, Co, Cu, As, Sb,

Bi, Se и Te по сравнению с рудами и метасоматитами месторождения Наталка, основным представителем орогенных месторождений главного этапа становления Яно-Колымского пояса (табл. 2).

Эта геохимическая специфика руд нашла отражение и в особенностях их минерального состава, в котором основными рудными минералами являются пирит и арсенопирит, в незначительном количестве шеелит, галенит, халькопирит, сфалерит, пирротин, буланжерит, а также Bi-сульфотеллуриды и теллуриды, (рис. 3, табл. 2, 3), совершенно не типичные для позднемезозойских орогенных месторождений золота [9]. В жилах преобладает кварц (95 %), а в метасоматитах – серицит (до 50 %) и арсенопирит (1–5 %).

Новые данные получены по самородному золоту, которое образует частицы размером 0.05–1.5 мм преимущественно в кварце, арсенопирите и галените. Ранее было показано, что его пробность варьирует от 830 до 965 %, при средней – 880–890 % [18]. Нашими исследованиями этот интервал заметно расширен (рис. 4) с выявлением определенных закономерностей – пробность включений золота в кварце и арсенопирите оказалась высокой 860–897 (до 904) %, а в ассоциации с минералами Bi и Ag в галените существенно низкой 695–730 (до 760) %.

По составу арсенопирит близок к стехиометричному или является слабосернистым (табл. 3), что типично для орогенных месторождений золота Яно-Колымского пояса [5, 9], хотя иногда в нем отмечают

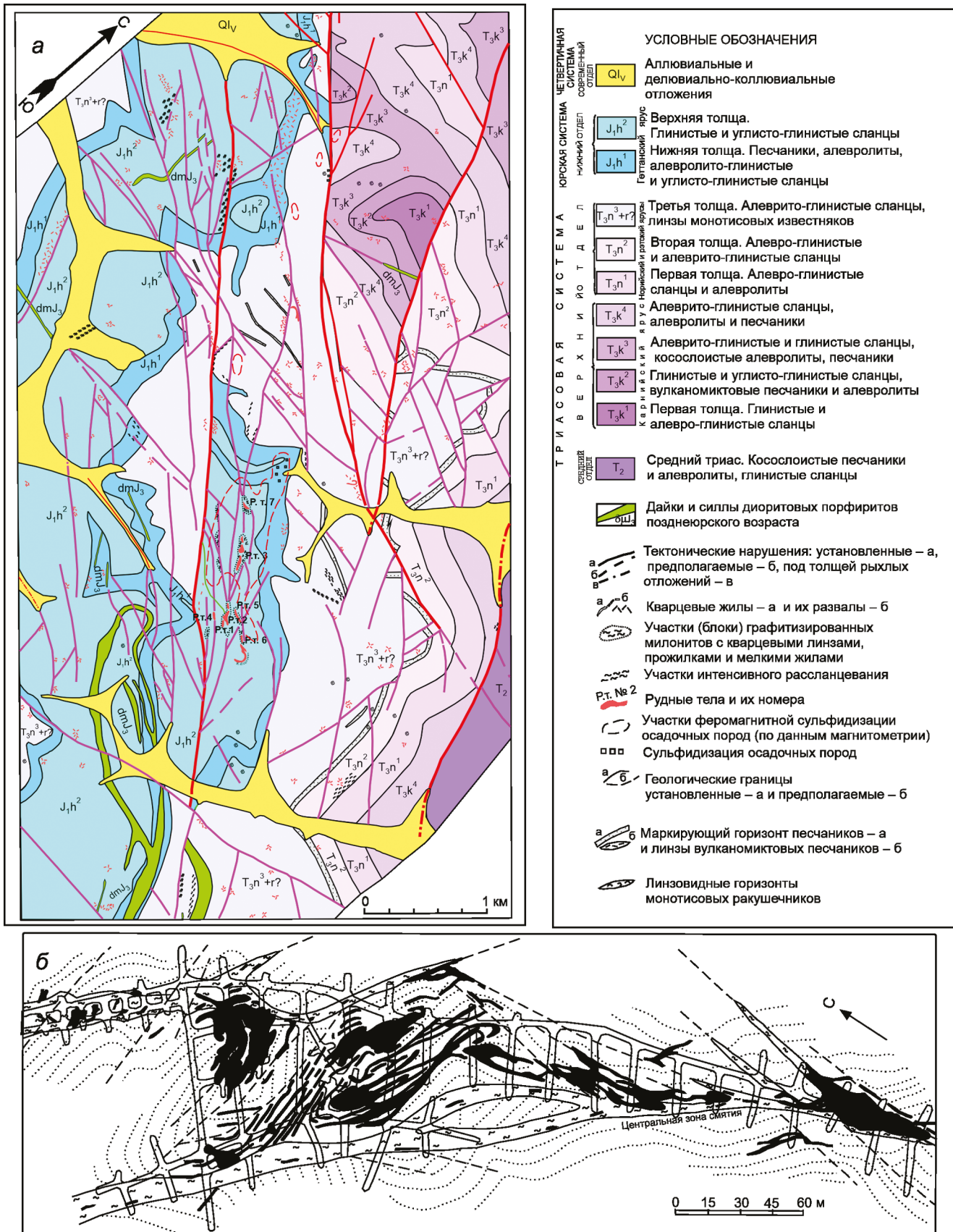


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Ветренского рудного поля (а) (по А.И. Калинину, 1986 г., с упрощениями) и морфология типичных рудных тел (б) [23].

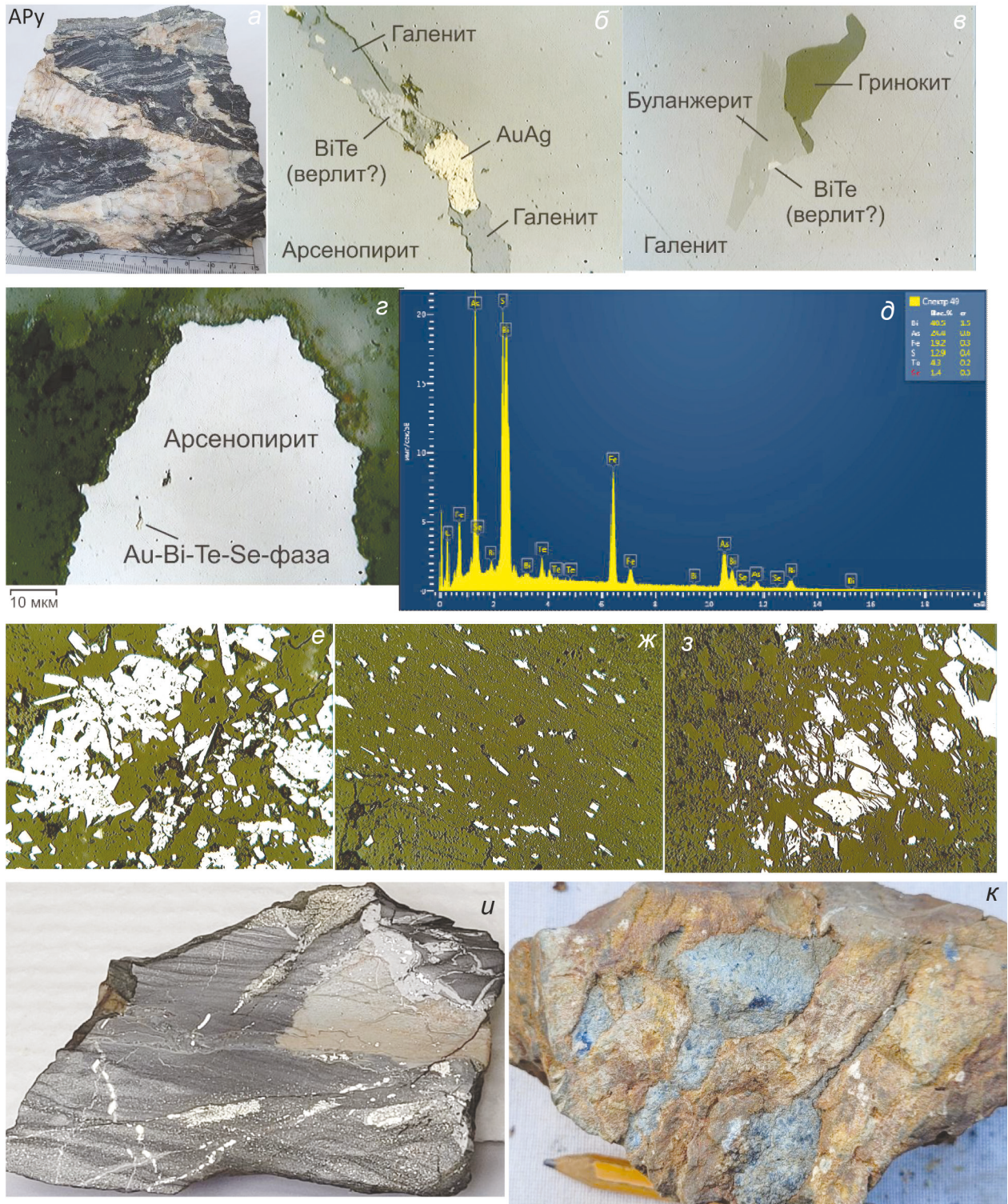


Рис. 3. Текстурно-минералогическая характеристика руд раннемеловых золоторудных месторождений.

a – текстура руд Ветренского месторождения с кварцевыми жилами и двумя типами арсенопирита массивного жильного (Ару-вверху) и вкрапленного ромбической морфологии; *б* – прожилок галенита с золотом и минералами Вi в массивном арсенопирите; *в* – включение буланжерита, гринокита и теллурида Вi в галените; *г* – месторождение Экспедиционное, массивный арсенопирит с микровключениями сростаний минералов системы Au-Bi-Te-Se; *д* – одна из спектрограмм этого сростания; *е* – месторождение Крохалиное, скопление кристаллического арсенопирита в лейстовом прослое серицита в кварце; *ж* – тонкая вкрапленность арсенопирита в дайке; *з* – ассоциация антимонита и арсенопирита (белое) с серицитом (темно-серое, листоватое); *и* – прожилки серого кварца с включениями ярко-белого антимонита по контуру дайки (серо-желтое) и более ранние прожилки перекристаллизации пирита в массе тонкозернистого пирита в юрских вмещающих терригенных породах; *к* – булавовидные гнезда тонкозернистого антимонита в дайке.

Таблица 2. Средние составы арсенопирита и пирита месторождений Ветренское, Экспедиционное и Надежда.

Месторождение	Минерал	N	Fe	As	S	Ni	Co	Sb	Total
Экспедиционное	Арсенопирит	8	34.2	46.1	19.7	0.03	0.08	-	100.62
Ветренское	Арсенопирит	19	34.5	44.4	20.0	0.75			99.66
Ветренское	Арсенопирит	71	35.0	43.9	20.6	0			99.59
Надежда	Арсенопирит	53	36.1	42.2	21.5	0.01	0.05	0.09	99.95
Ветренское	Пирит	11	47.0	0	54.2				101.22
Ветренское	Пирит	10	47.3	1.9	50.0				99.2
Надежда	Пирит	25	46.4	0.3	52.7				99.4

Примечание. Условия анализа: микрозонд САМЕВАХ, U-20 kV, SbL α – эталон антимонит, SK α – эталон арсенопирит, AsK α – эталон арсенопирит, Fe K α – эталон арсенопирит, Co, Ni K α – эталон ковар.

Таблица 3. Составы поздних минералов раннемеловых месторождений золота.

Место-рождения	Экспедиционное	Надежда			Ветренское					
		Сульфосоли (4)	Галенит (10)	Сфалерит (13)	Сфалерит (2)	Сфалерит (7)	Галенит	Галенит (23)	Буланжерит (8)	Гринокит (2)
Ag	1.4	0.15 (2)	-	-						
Sb	14.9	0.1(1)	-	-					23.9	
S	17.9	13.3	33.3	33.35	32.77	12.46	13.45	18.4	22.3	
Bi	17.4	-	-	-			1.0	2.1		
Pb	47.5	85.6	-	-		86.30	84.7	56.6	2.25	
Cu	1.2	-	-	-						
Zn	-	-	59.5	64.9	54.21					
Cd	-	-	0.06	0.05	0.86					73.4
Fe	-	-	7.7	2.8	10.27					
Mn	-	-	0.01	0.05						
Сумма	100.3	98.95	100.50	101.15	98.11	98.76	99.2	101.0	97.95	

Примечание. Условия анализа: микрозонд САМЕВАХ, U-20 kV, Ag L α – эталон прустит, SbL α – эталон антимонит, SK α – эталон антимонит, BiM α – эталон висмутин, PbL α – эталон галенит, CuK α – эталон халькопирит. В скобках количество анализов.

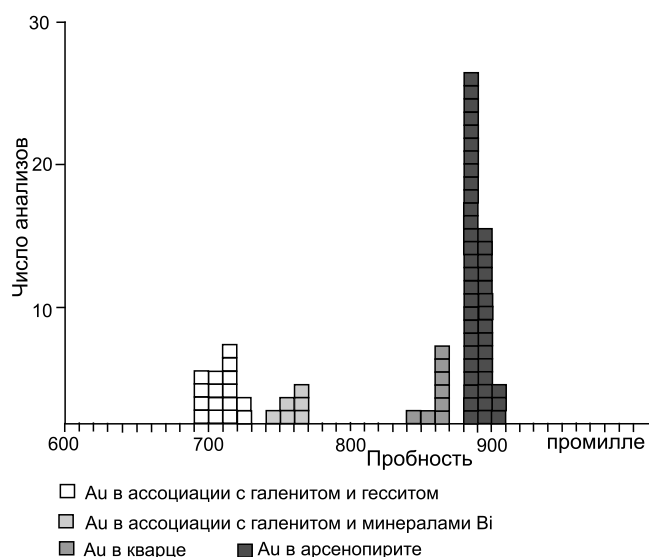


Рис. 4. Гистограмма пробности самородного золота, ассоциирующего с разными минералами (образец Вет-2-1-Гр).

ся повышенные концентрации Ni (до 1.05 %), Sb (до 0.6 %) и Co (до 5.5 %), что уже ближе к золото-висмутовым месторождениям, генетически связанным с гранитоидами. Изотопный состав серы в арсенопирите варьирует от +0.7 до +3.9 ‰ (4 пробы). Для арсенопирита отмечены включения Ni-Sb-фазы типа ульманнита-брейтгауптита (?) размером от 2 до 13 мкм (рис. 5).

Для пирита обычна примесь As (до 3.5 %) и нередко Ni (табл. 3). Прожилки позднего галенита, рассекающие арсенопирит (рис. 3), содержат, помимо самородного золота, мельчайшие включения фаз, близких по составу к минералам Bi (цумоит, верлит), гесситу и сильваниту. Сам галенит нередко содержит неравномерно распределенную примесь Bi (до 3.5 %) и в единичных случаях Se (до 0.4 %). В жилах также отмечен относительно высокожелезистый (10 % Fe) сфалерит, содержащий 0.86 % Cd, что коррелирует с находкой в поздних галенитовых прожилках собственного минерала Cd – гринокита (табл. 3), ассоци-

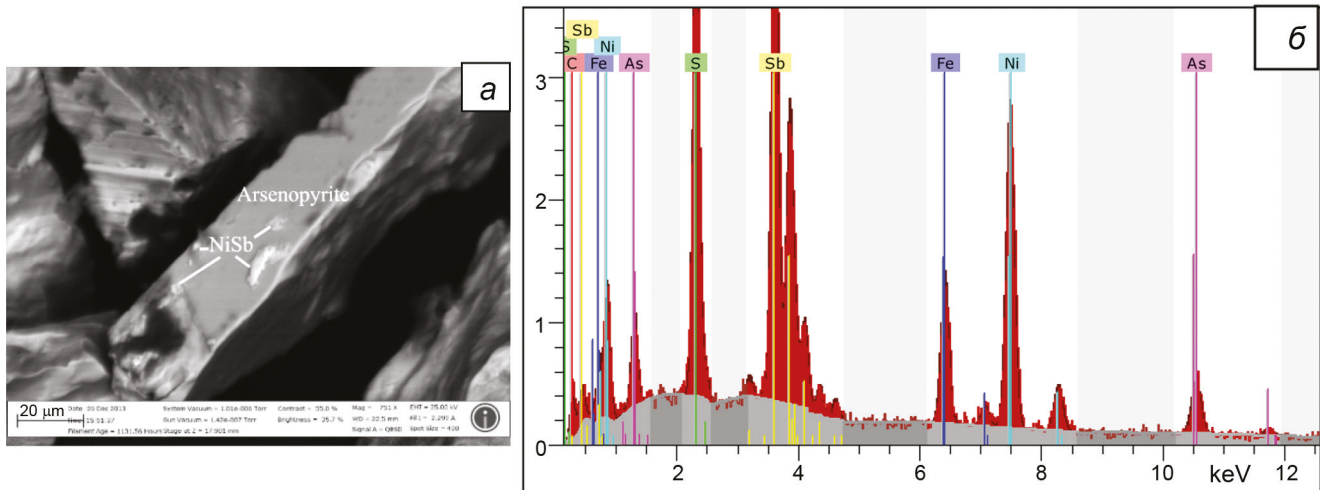


Рис. 5. Включения Ni-Sb-фаз в арсенопирите (а) и энергодисперсионный спектр самого большого из них (б) (месторождение Ветренское).

Электронно-микроскопическое изображение в режиме обратно-рассеянных электронах.

ирующего с буланжеритом и верлитоподобной фазой (рис. 3). В кварце изредка отмечены микровключения Vi-содержащего буланжерита (табл. 3).

Наблюдения в горных выработках и при минералогических исследованиях показали, что эта рудная минерализация формировалась, как минимум, в два этапа: (1) ранний золото-пирит-кварцевый жильный и (2) поздний золото-арсенопирит-шеелит-серицит-кварцевый жильный, сопровождающийся ореолами арсенопиритизации (рис. 3). В продуктах позднего этапа нами выделены ассоциации: (1) шеелит-кварцевая, жильная; (2) арсенопирит-серицитовая, жильно-метасоматическая, и (3) золото-галенит-висмутная, сменяющие друг друга во времени. Согласно опубликованным данным [26], продуктивный кварц Ветренского месторождения формировался при температурах 280–290 °C и давлении около 1400 бар.

Особенности минералогии нашли отражение в примесном составе руд и метасоматитов, в частности, по таким элементам, как V, Ni, Co, Cu, As, Sb, Vi (табл. 4), рудные тела и метасоматиты оказались в несколько раз более богатыми по сравнению с рудами и метасоматитом типового раннего орогенного месторождения Наталка.

Экспедиционное месторождение расположено к северу от Чай-Юрьинского разлома в межгорной долине между крупными гранитными массивами позднеюрско-раннемелового возраста (рис. 6), датированными 148–152 млн лет [26]. Вмещающие породы представлены глинистыми алевролитами и песчаниками верхнего триаса. Они рассечены дайками и дайкообразными телами мелко-среднезернистых

диоритовых порфиров и гранит-порфиров. Мощность даек до 25 м, при длине до 400 м, параметры рудоносного дайкообразного тела порфиров 150–300 м по мощности при длине до 900 м. Они имеют крутое падение на северо-восток, простирание преимущественно северо-западное, хотя есть свиты с северо-восточным простиранием к северу от месторождения. Интересно, что дайки дорудных гранит-порфиров (74.8–75.2 % SiO₂) оказались в заметной степени обогащены Cr (41–63 г/т) и Ni (54–80 г/т) (наши данные).

Золоторудные тела месторождения сосредоточены в полосе шириной 200–350 м и длиной 1800 м, в которую входят большинство даек и дайкообразное тело диорит-порфиров, кроме того минерализация контролируется пластами песчаников (Голева и др., 1999 г.). Наиболее разведан восточный фланг месторождения, где детально изучены 6 рудных тел, представленных кварцевыми жилами сложной морфологии и север-северо-восточного простирания. Протяженность жил варьирует от 62 до 148 м, при средней мощности от 0.19 до 1.4 м, угол падения 40–80 градусов на северо-запад. Жилы прослежены штольнями на глубину 25 м, а скважинами вскрыты на глубину 87–100 м. Содержание золота по рудным телам колеблется в интервале 6.4–30.2 г/т, достигая 3650 г/т в бонанцах (рудных столбах). Рудные минералы: арсенопирит, пирит, пирротин, реже халькопирит, сфалерит и самородное золото и минералы Vi [26].

Проведенные нами исследования ряда образцов из отвала штольни 1 показало, что основным рудным минералом является стехиометричный арсенопирит

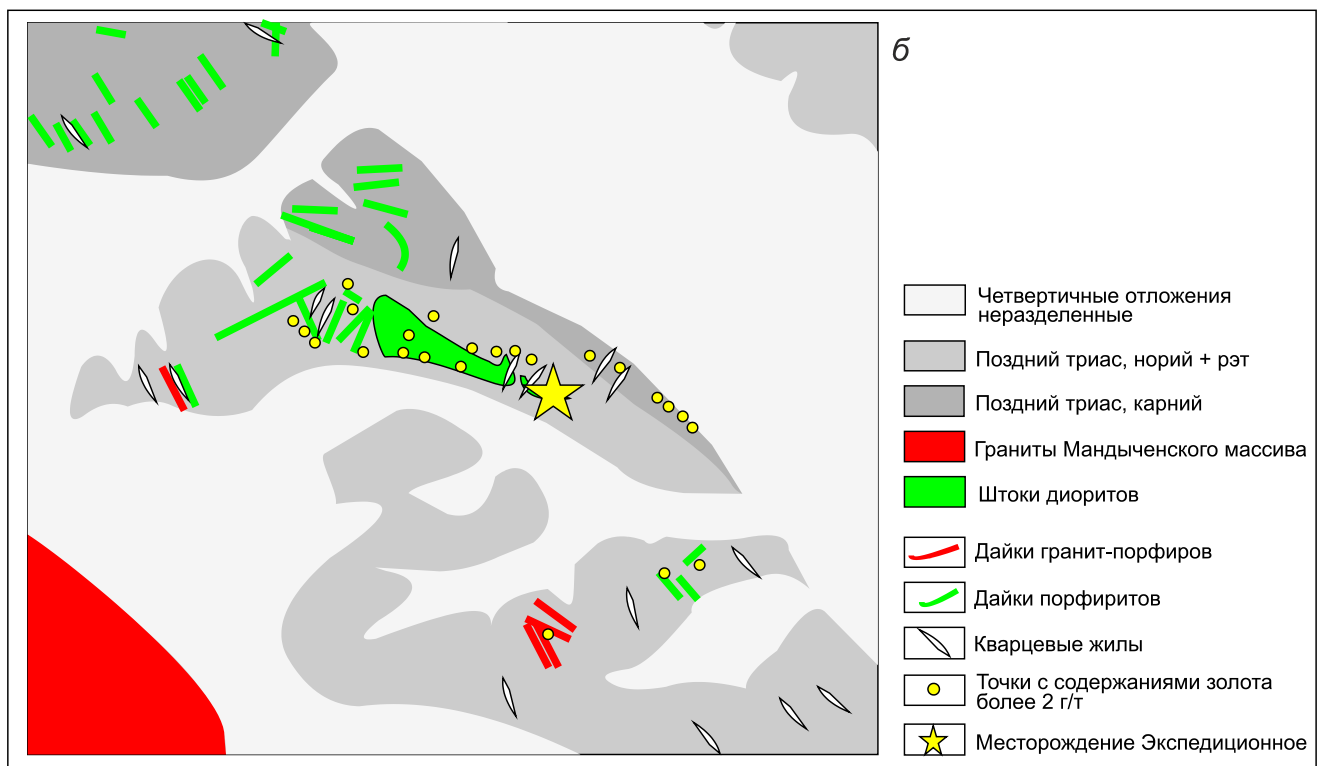
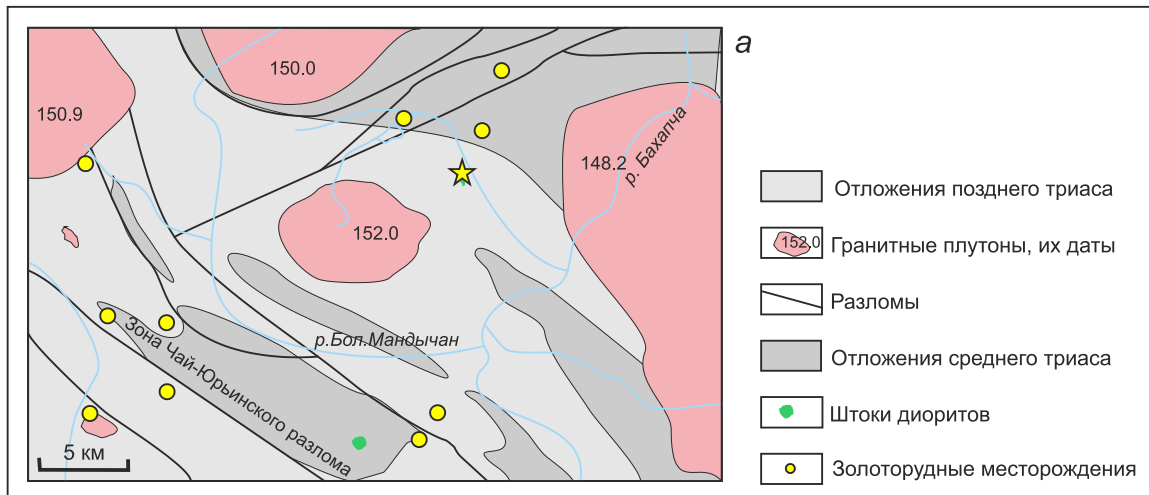


Рис. 6. Геолого-структурная позиция Экспедиционного месторождения (а) и его геологическая схема (б).

(табл. 2), отличающийся от типичного высокомышьяковистого арсенопирита золото-висмутовых, связанных с гранитоидами месторождений [5, 12]. Тем не менее, в нем отмечено мелкое включение фаз Au-Vi-Te-Se-состава, трудно диагностируемых из-за очень мелкого (3×1 мкм) размера (рис. 3). Предположительно, это тесные срастания мальдонита с сульфотеллуридами висмута (группа жозеита?) и возможно с беспримесным золотом, поскольку при пересчете анализов достаточно уверенно можно предполагать эти минералы. Кроме того, в арсенопирите отмечены

также включения свинцово-висмутовой сульфосоли, похожей на кобеллиит-лиллианит (табл. 3).

По данным исследователей ЦНИГРИ [26], кварц Экспедиционного рудопроявления кристаллизовался в интервале температур $285-315$ °C и давлениях 0.35 кбар с заметной долей CO_2 и CH_4 во флюидной фазе. Ими выполнена Re-Os датировка арсенопирита, показавшая 117.6 ± 2.3 млн лет (табл. 1), при $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 0.577–1.241, первичном – 0.5256. Изотопный состав серы датированного арсенопирита составил -4.9 ‰.

Таблица 4. Сравнение геохимических характеристик руд и метасоматитов Ветренского и Наталкинского месторождений, по данным ICP-MS анализа (г/т).

Объекты	Ветренское (р.т. 3, 7)			Наталка (карьер)		
	Богатые	Рядовые	Метасоматиты	Богатые	Рядовые	Метасоматиты
Кол-во проб	1	5	13	3	11	10
V	169.0	94.6	156.6	43.1	36.5	64.2
Ni	50.3	52.5	56.4	16.6	9.9	14.1
Cu	21.4	31.7	33.6	10.9	9.3	16.9
As	11919	1694	106	29.6	73.15	47.6
Sb	21.4	5.2	2.55	1.2	1.4	0.8
Bi	1.4	0.5	0.25	0.25	0.06	0.08
Au	58.8	7.6	0.24	25.1	2.45	0.20
Ag	2.08	1.51	2.34	3.09	1.13	1.33
Pb	49.25	20.6	16.5	60.4	12.5	10.0
Zn	74.7	84.2	99.9	47.3	36.2	58.7
Te	14.75	1.95	0.32	Не обн.	0.80	Не обн.
Se	1.93	0.37	0.013	0.1	0.58	Не обн.
Mo	2.28	1.0	1.3	3.2	0.7	1.7
Sn	4.39	3.61	4.47	4.32	2.79	4.88
Co	13.09	11.63	Нет данных	4.47	4.84	7.69

Надежда. Рудное поле приурочено к линейно-вытянутым складкам северо-западного направления в обрамлении крупного Дебинского разлома (рис. 7). Основной структурой является синклиналиная складка с размахом крыльев до 200 м, которая осложнена более мелкими складками. В структурном отношении объект приурочен к юго-западному крылу синклиналиной складки, сложенной двумя грубозернистыми пачками байос-батского яруса и глинистыми сланцами аалена, осложненной крупным субмеридиональным разломом. Он рассекает ранние северо-западные нарушения, которые местами минерализованы.

Рудоносная дайка представляет собой маломощное около 1 м, реже до 5, тело интенсивно измененного гранит-порфира (сохранились только реликты «глазков» кварца) протяженностью более километра по азимуту 320–330°. В березитизированной дайке заметная (5–10 %) вкрапленность тонкоиглочатого арсенопирита, иногда более крупного (до 2–3 мм) кубического пирита и ромбического арсенопирита. В березитах локализованы ветвящиеся прожилки крупно-зернистого, иногда друзовидного (кристаллы с головками до 2 см), молочно-белого кварца с вкрапленностью (до 2 мм) арсенопирита и редкими мелкими выделениями самородного золота. Местами эти прожилки сливаются в более мощные (первые десятки см) жилы кварца, насыщенные «сутурами» с мусковитом, пропитанным тонкозернистыми арсенопиритом и галенитом. Изредка к сутурам, а также к вкрапленности и гнездам (до 1 см) арсенопирита

приурочены мелкие, редко более 1 мм, ажурно-ветвистые золотины ярко-желтого цвета. Часто самородное золото образует тончайшие выделения в мусковите, в тесной ассоциации с арсенопиритом. В более мелких прожилках кварца, нередко имеющих друзовое строение, отмечены кристаллы арсенопирита, обросшие слюдой. Изотопный состав серы арсенопирита оказался весьма легким –7.8 %.

Кварцевые жилы и прожилки с серицитом в зальбандах и друзовых пустотках тяготеют к зоне разлома, представленной крутопадающей минерализованной зоной смятия с тектоническим швом 10 см мощности. В разведочной траншее отмечено пересечение меридиональными жилами и прожилками кристаллического кварца с серицитом и арсенопиритом ранних жил полосчатого кварца с пиритом (рис. 8). Жила позднего кварца сопровождается тонкими прожилками, содержащими местами обильное золото. Вмещающие осадочные породы послойно пиритизированы (мелкие – доли мм кубики пирита).

Таким образом, для рассмотренного месторождения характерно двухстадийное формирование рудных жил: (1) ранние кварцевые жилы и прожилки с пиритом и арсенопиритом; (2) поздние жилы и прожилки кварца с обильным (до 10–15 %) мелкочешуйчатым серицитом, ассоциирующим с самородным золотом и арсенопиритом.

Крохалиное месторождение принадлежит к золото-антимонитовому минеральному типу золото-кварцевой формации [27]. Оно локализовано в зоне

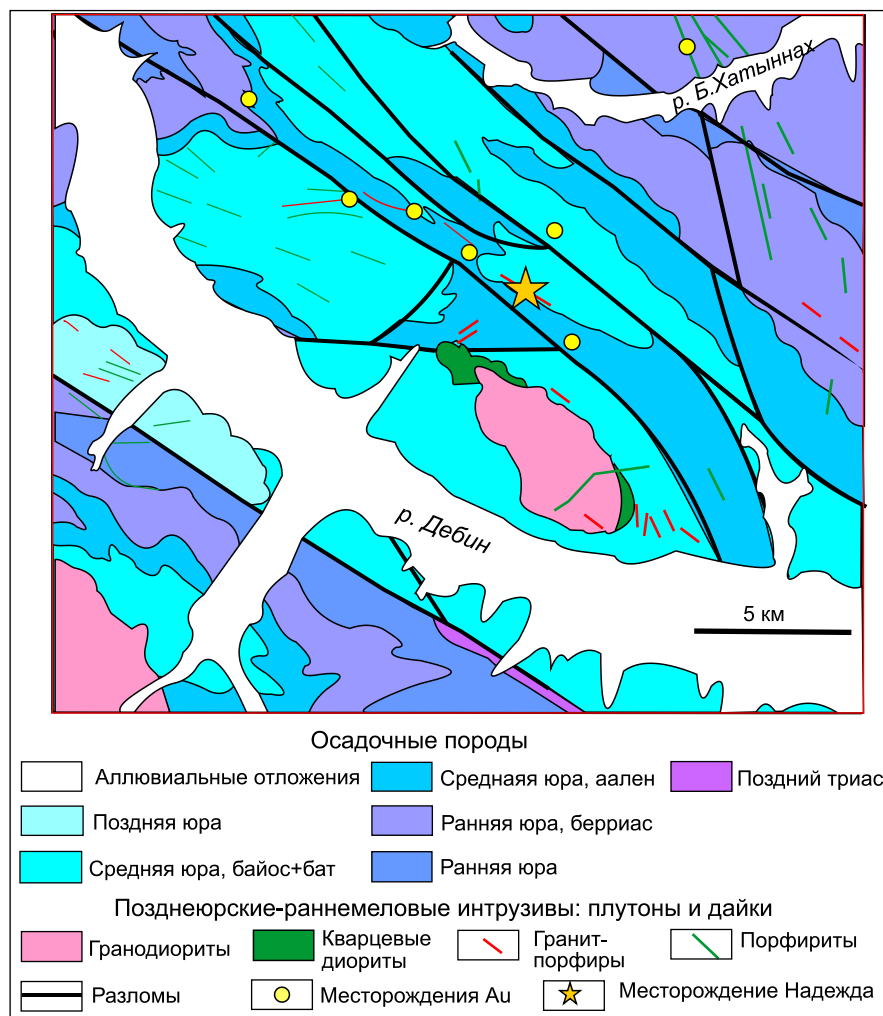


Рис. 7. Геолого-структурная позиция месторождения Надежда.

влияния крупного Среднеканского разлома. Золото-сурьмяная минерализация локализована в дайке березитизированных диорит-порфиритов мощностью от 0.7–1.5 м (в пережимах) до 10–36 м (в раздувах), в среднем – 6–8 м. Она прорывает юрскую флишеидную толщу ЯКОП. Дайка субширотного или запад-северо-западного простирания приурочена к оси узкой антиклинали. Она прослежена на 3.3 км и имеет крутые углы падения [25]. Сама дайка сильно изменена (серицитизация и окварцевание) и дислоцирована. Вся масса дайки неравномерно рассечена сетью кварцевых прожилков и жил максимальной мощностью до 1.5 м. Оруденение, в основной своей массе, приурочено к висячему боку дайки в местах её пересечения с разрывами северо-восточного простирания. Среднее содержание на массу дайки (средняя мощность – 7.2 м) как единого рудного тела – 3.1 г/т (в отдельных бороздковых пробах содержания Au достигали 40–87 г/т на 1 м, Sb – 19.5 % на 1 м). Содержание Sb в рудах 0.5–10.3 %, а Au – до 93 г/т. По запасам месторождение может быть отнесено к мелким про-

мышленным объектам. Сильная дислоцированность дайки, ориентированная вдоль простирания, вероятно связана с тем, что вдоль ее контакта прослеживается зона смятия и дробления с мелкими обломками углисто-глинистых черных сланцев юры и редкими чечевицеобразными обломками дайки и кварца. Размер обломков не превышает 2–3 см, и все они нередко сцементированы серым кварцем мелкокристаллическим с тонким арсенопиритом.

В дайке отчетливо проявлены кварцевые с анкеритом прожилки двух типов: (1) прожилки и жилы молочно-белого желтоватого кварца, нередко шестоватого, с бурым анкеритом (до 5 мм), иногда в их центре встречаются друзовые пустоты шестоватого прозрачного кварца с длиной кристаллов до 1 см при диаметре 5 мм, и в зальбандах помимо анкерита отмечены и таблички белого альбита (до 2–3 мм) и (2) прожилки серого полупрозрачного микрокристаллического кварца с редким антимонитом в интерстициях кварца. Последние имеют мощность до 2–3 см, обычно миллиметры и распределены как согласно рассланцовке

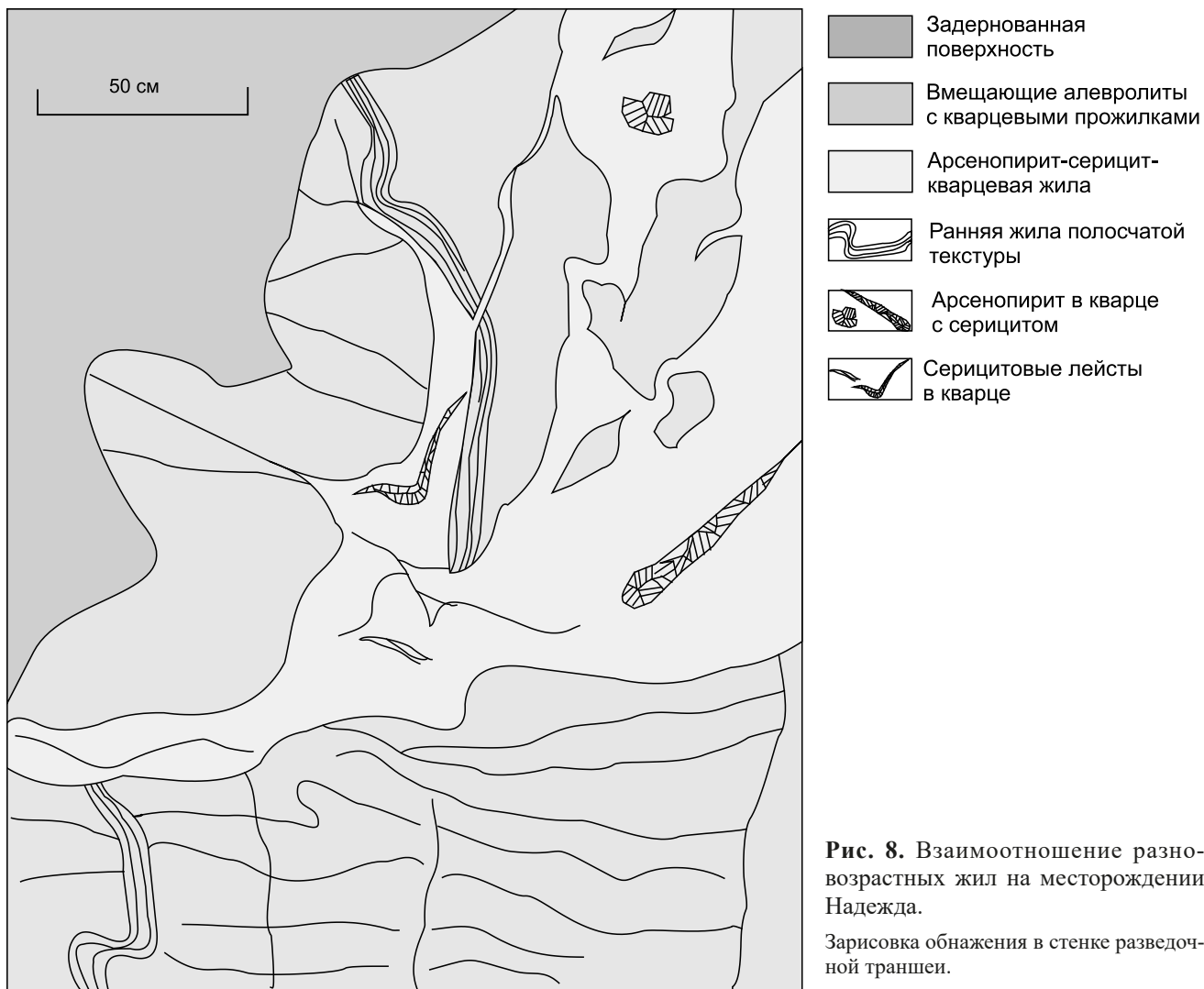


Рис. 8. Взаимоотношение разновозрастных жил на месторождении Надежда.

Зарисовка обнажения в стенке разведочной траншеи.

(но не подвержены ей), так и поперек рассланцовки, и они рассекают жилы первого типа. В них отмечен антимонит (пластинки, лейсты длиной до 3 мм) в ассоциации с мелкочешуйчатым мусковитом (рис. 3). Нередко ранние анкерит-кварцевые прожилки и жилы рассекаются жилами массивного антимонита мощностью 1–5 см, разрезающими кварц, но без признаков рисовидного кварца, характерного для золото-сурьмяных месторождений Якутии. Пластинки антимонита также формируют гнезда до 3 см в друзовидных пустотах анкерит-альбит-кварцевых жил, при этом эти гнезда переходят в прожилки, секущие эти жилы. Иногда крупно-кристаллический антимонит образует гнезда до 8 см в диаметре в цементе брекчии глинистых сланцев с каймой вокруг антимонита мелкочешуйчатого мусковита, в обломках такой тектонической брекчии встречается также и ранний молочный жильный кварц. Местами дайка представлена рассланцованными обломками хлоритизированного и

серицитизированного порфирита с прожилковидными обособлениями мелкокристаллического пирита и тонкозернистого антимонита длиной первые см и мощностью от долей мм до 1–2 мм. В межпрожилковом пространстве в дайке отмечены агрегаты кубических кристалликов пирита до 1–5 мм и булавовидные гнезда мономинерального мелкозернистого антимонита длиной до 10 см и толщиной до 3 см (рис. 3). Отдельные линзы антимонита прослежены на 1–2.5 м при мощности до 1.5 м. Кроме того, вкрапленный антимонит наряду с игольчатым и тонкопризматическим арсенопиритом и пиритом обычны и в самой дайке. Из других минералов известны также бертьерит, халькопирит и золото [27].

В рассланцованных глинистых сланцах отмечены горизонты в 2–3 см, буквально насыщенные мелкокристаллическим пиритом (кубики и пентагоны), и секущие участки (рис. 3), на которые наложены сетчатые тонкие кварцевые прожилки с крупным пиритом

и с антимонитом мощностью 0.1–1 см, косо секущие и породы, и сульфидные участки в них. В самих прожилках кварц является вторым по значимости минералом после пирита. Кроме того, в сильно рассланцованной дайке отмечены прожилковидные ступки существенно арсенопиритового вкрапленного агрегата размерами до 1–2 см. С крупнокристаллическим поздним пиритом ассоциируют единичные зерна сфалерита и галенита.

По данным атомно-эмиссионного спектрального анализа 17 проб (Аналитический центр СВКНИИ ДВО РАН) в рудах Крохалиного месторождения определено в среднем 0.4 % Sb и 0.5 % As, а также 3.5 г/т Au, 1 г/т Ag, 3.1 г/т Bi, 33 г/т Cu, 60 г/т Pb, 116 г/т Zn, 20 г/т Co, 64 г/т Cr, 10 г/т Ni и 13 г/т Sn.

Таким образом, месторождение Крохалиное отличается от известных дайковых месторождений золота раннего этапа (Утинское, Штурмовское и пр. – [8]) необычно сильной дислоцированностью и формированием сопутствующей минерализации в два этапа: (1) ранние жилы и прожилки кварца с пиритом, анкеритом и альбитом, нередко дислоцированные и сильно трещиноватые, и поздние сколовые прожилки с антимонитом, мелкоромбическим арсенопиритом, поздним пиритом и серицитом. Анкерит присутствует в обоих типах жил. Поздние жилы и прожилки ассоциируют с мономинеральными жилами-линзами антимонита и сопровождаются интенсивной (до 10–20 %) тонкой арсенопиритизацией (рис. 3). Антимонит явно наложен на ранний кварц жил и тесно ассоциирует с мусковитом.

ОБСУЖДЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Важной спецификой рассматриваемого раннемелового золотого оруденения в ЯКОП является присутствие в его составе золото-сурьмяных проявлений, датировки которых лежат в интервале 127–125 млн лет, а также выявленные минералого-геохимические особенности руд.

Еще одним важным фактором специфики раннемелового оруденения является четкая приуроченность золото-сурьмяных объектов и рассмотренных золотых объектов к зонам влияния крупных разломов (Дарпир, Оротукано-Среднеканский – сурьмяное оруденение, Дебинский, Чай-Юрьинский – золото-кварцевое), что подтверждается данными пространственного анализа [16] (рис. 9).

Наибольшие различия фиксируются в минералого-геохимических особенностях руд. Выше уже была отмечена геохимическая специфика, заключающаяся в существенно более высоком уровне концентраций V, Ni, Co, Cu, As, Sb, Bi в раннемеловых рудах Вет-

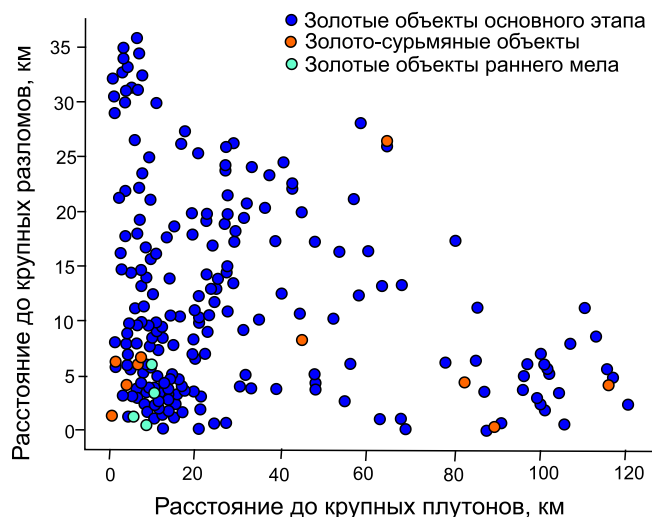


Рис. 9. Корреляция золоторудных месторождений разного возраста с расстояниями от крупных разломов и гранитоидных плутонов.

ренского месторождения относительно руд месторождения Наталка, представляющего основной этап формирования орогенных месторождений золота в Яно-Колымском поясе (табл. 4). Повышенные концентрации Bi и Sb, равно как и Ni, находят отражение в минеральном составе руд Ветренского и Экспедиционного месторождений и в аномалии Sb в Крохалином месторождении. В первых это необычное проявление теллуридно-висмутовой минерализации в сочетании с сульфосолями Pb и Bi, присутствие редких минералов Ni и Sb, Au (фазы подобные силваниту, гесситу, мальдониту), что сразу отличает их от типично орогенных руд региона и сближает с объектами золото-висмутового типа, генетически связанными с гранитоидами. Здесь уместно заметить, что гранитоидные плутоны такого возраста в окружении этих месторождений неизвестны, однако отмечается ассоциация оруденения обоих типов с малыми интрузивными телами преимущественно порфиритового состава, отдельные из которых датированы интервалом 126–102 млн лет преимущественно калий-аргоновым методом. Хотя есть и U-Pb дата в 126 млн лет [30]. Возможно, что именно такие тела являются пострудными на Дегдеканском и Наталкинском месторождениях раннего этапа. В то же время, по нашим данным, в составе массива Корабль (в 7 км южнее Ветренского месторождения) присутствует дайкообразное тело лампрофиров (с аномальной примесью Cr 830 г/т и Ni 1700 г/т), рассекающее гранодиориты основной фазы, а также блок гранитизированных перидотитов (Cr 226–280 г/т, Ni 43–30 г/т) на западном фланге массива с K-Ar датой 128–127 млн лет (наши данные, Анали-

Таблица 5. Значение коэффициента термоЭДС арсенопирита изученных месторождений в сопоставлении с месторождениями главного орогенного этапа Яно-Колымского пояса.

Объект	Возраст, тип	D +/- %	α ТЭДС мкВ/°С	Размах мкВ/°С
Ветренское	Орогенное, K ₁	0/100	-121 (9)	-85 ÷ -170
Экспедиционное	Орогенное, K ₁	42/58	-198 (5) / +161 (7)	-124 ÷ -249 / +97 ÷ +210
Экспедиционное	Орогенное, K ₁	100/0	+289 (6) +241 (9)	+254 ÷ +322 +177 ÷ +332
Светлое	Орогенное, J ₃ -K ₁	0/100	-194	Горячев и др., 2022
Мякитское	Гранитогенное, J ₃ -K ₁	75/25	+206/-90	Горячев и др., 2022
Мякитское	Гранитогенное, J ₃ -K ₁	100/0	+169	Горячев и др., 2022

Примечание. D – доля арсенопиритов «р» и «п» типа (+/-), в процентах; α ТЭДС – коэффициент термоЭДС, в мкВ/°С.

тический центр СВКНИИ). Следует отметить, что на большинстве изученных месторождений отмечается два этапа продуктивной кварцевожильной минерализации, где поздний представляет основные рудные тела рассмотренных месторождений.

Интересные результаты показало изучение арсенопиритов – главных минералов рассмотренных месторождений. Они по составу оказались ближе к минералам ранних орогенных месторождений или заняли промежуточное положение между ними и типичными золото-висмутовыми рудами [9]. Проведенное специальное исследование электрофизических свойств (термоЭДС) арсенопиритов Экспедиционного и Ветренского месторождений (табл. 5) показало, что по этому параметру они также занимают промежуточную позицию. И, наконец, еще одной важной особенностью раннемеловых объектов является заметное обогащение жильного материала изученных раннемеловых руд калиевыми слюдами (серицит, гидрослюда, мусковит), находящимися в тесной ассоциации с арсенопиритом (Ветренское, Экспедиционное, Надежда, Крохалиное), самородным золотом (Ветренское, Надежда), антимонитом (Крохалиное), галенитом (Ветренское, Надежда). В рудах типичных орогенных месторождений главного этапа серицит (чаще парагонит) проявлен заметно реже.

Таким образом, при всей схожести рассмотренных месторождений с орогенным типом минерализации [31] они имеют ряд принципиальных отличий, прежде всего минералого-геохимических: это повышенная роль K, Sb, Ni, отчасти Cu и Bi, что нашло отражение в их минеральном составе; это ассоциация с одновозрастным диорит-лампрофировым дайковым магматизмом, также отличающимся повышенным

фоном Ni, Cu, Cr; это наличие четкого контроля раннемелового оруденения крупными сквозькоровыми разломами.

В прилегающем регионе (Армано-Вилигинский террейн) распространены магматические комплексы и сопутствующее им оруденение близкого возраста, которые относятся к Удско-Мургальской дуге в составе ОКОП [7]. Среди них отмечен широкий спектр типов раннемелового оруденения (табл. 1) от эпитегрмального золото-серебряного (Джувлетта, Нявленга) и золото-висмутового, связанного с гранитоидами (Тэутеджак), до медно-порфирикового (Лора) и молибденит-кварцевого (Хакандя), также связанных с раннемеловыми гранитоидами [11]. Но нет ничего похожего на рассмотренные нами орогенноподобное золотое (Ветренское, Экспедиционное, Надежда) и золото-сурьмяное (Крохалиное) оруденение. Кстати, золото-серебряное месторождение Нявленга является одним из немногих, где проявились процессы контактового метаморфизма на глубоких горизонтах и поздняя арсенопирит-молибденитовая минерализация, что подчеркивает его более древний возраст по сравнению с объектами ОЧВП. Сюда же следует отнести золото-висмутовую и золотоносную полиметаллическую минерализацию Ветвистого месторождения [22], для рудовмещающих даек которого известны K-Ag даты в 111–102 млн лет. Оно расположено в южном обрамлении вулканоплутонической структуры, вмещающей месторождение Джувлетта. Особо следует также отметить кобальт-висмутовую минерализацию, проявленную как в структурах ЯКОП (Верхне-Семчанское месторождение), так и ОКОП (Обход) [13].

Анализ пространственного распределения и минералого-геохимических особенностей рассматривае-

мого оруденения позволяет выделить ряд его особенностей. С одной стороны, мы видим различие типов оруденения между ОКОП (пестрый набор типов, вполне укладывающийся в металлогению, связанную с процессами в зоне субдукции Удско-Мургальской дуги) и ЯКОП (золотое и золото-сурьмяное, весьма сходные с орогенным типом). С другой стороны, мы имеем примеры проявления в обоих поясах магматизма гранитоидного и более основного состава, близкого по геохимическим характеристикам, в частности по высоким концентрациям Ni, Cr и V, отличающим его от позднеюрско-раннемелового орогенного магматизма ЯКОП ([30] и наши данные по ряду рудных полей в ЯКОП (Экспедиционное, Наталкинское и проч.) и ОКОП (Ветвистое, Обход, Тэутеджак и проч.). Кроме того, известны примеры проявления термальных событий, фиксируемые по аргоновым спектрам в ранних орогенных золоторудных объектах (Светлое, Дегдекан и др. – около 130 млн лет [1, 24, 33]), локализованных в дайковых ареалах, преимущественно дорудных, но содержащих отдельные дайки более свежего облика с такими же геохимическими характеристиками и иногда с обильными обломками кварцевых жил [6]. Сюда же следует добавить и проявление всегда заметно позднего сурьмяного оруденения, явно наложенного типа, а не «хвостов» орогенного процесса [5]. Любопытно, что никелевая специфика раннемелового оруденения отразилась и в золото-висмутовых объектах ОКОП не только наличием Ni-содержащего арсенопирита, но и в находке специфических и очень редких минералов, таких как паркерит [10].

Если исходить из хронологического и пространственного единства рассматриваемой минерализации, то напрашивается предположение о ее генетическом единстве. Об этом, в частности, свидетельствуют закономерности в распределении разнотипного оруденения в пространстве, что позволяет говорить об элементах региональной минеральной зональности относительно края активной окраины континента: внутренняя (приближенная к зоне субдукции) зона эпитермального (Джульетта, Нявленга) и порфирового (Лора) оруденения; промежуточная зона кобальт-висмутового с золотом (Тэутеджак, Обход, Верхне-Сеймчанское, Волочек) оруденения; внешняя (удаленная) зона золото-кварцевого (Ветренское, Экспедиционное, Надежда, Новая) и золото-сурьмяного (Крохалиное) оруденения. Отсюда следует вывод о генетическом единстве рассмотренных разнотипных объектов и связи их формирования с процессами субдукции в зоне Удско-Мургальской дуги, для внешней зоны, вероятно, через процессы апвеллинга в верхней мантии в зоне активного мантийного клина, произ-

водного от субдукционного процесса [17]. Но данный вопрос требует дополнительной проработки, пока это можно рассматривать как предпосылки к модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изложенные в статье материалы приводят нас к выводу о самостоятельности и специфичности минералого-геохимических характеристик раннемелового золотого оруденения Яно-Колымского орогенного пояса, отличающих его от главного оруденения орогенного этапа развития. Это заключается прежде всего в высокой роли калия в процессе формирования рудной минерализации, комплексной ассоциации в рудах всех минералов триады полуметаллов As-Sb-Bi, повышенной роли в геохимии руд и одновозрастных магматических тел фемических элементов Ni, Cr, V, Co, что предполагает их глубинный источник.

В геолого-структурном плане важным аспектом является приуроченность рассмотренного оруденения к зонам крупных разломов, что могло способствовать проникновению глубинных флюидов в верхние горизонты коры.

В то же время, хронологическая близость рассмотренного оруденения (128–117 млн лет) с металлогеническим профилем Удско-Мургальской субдукционной магматической дуги (136–100 млн лет) и закономерное положение его в тыловой зоне дуги предполагает их генетическое единство.

Авторы благодарны РНФ за поддержку проведенных исследований – проект РНФ №23-47-00064. Особую благодарность приносим специалистам, перечисленным в разделе «Методы исследований» и обеспечившим качественные аналитические данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинин В.В., Ворошин С.В., Гельман М.Л. и др. SHRIMP датирование метаморфических ксенолитов из лампрофира на золоторудном месторождении Дегдекан: к истории преобразования континентальной земной коры в Аян-Юряхском антиклинории (Яно-Колымская складчатая система) // Геодинамика, магматизм и минералогия континентальных окраин севера Пацифики: Материалы Всерос. совещ. (XII годовое собрание Северо-Восточного отделения ВМО). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 2. С. 142–146.
2. Акинин В.В., Прокопьев А.В., Торо Х., Миллер Э.Л., Вуден Дж., Горячев Н.А., Альшевский А.В., Бахарев А.Г., Трунилина В.А. U-Pb-SHRIMP-возраст гранитоидов Главного батолитового пояса (Северо-Восток Азии) // Докл. РАН. 2009. Т. 426, № 2. С. 216–221.
3. Бергер В.И. Сурьмяные месторождения. Л.: Недра, 1978. 296 с.
4. Блохин М.Г., Веливецкая Т.А., Вовна Г.М., Зарубина Н.В., Иванов В.В., Карабцов А.А. ЦКП «Приморский центр локального элементного и изотопного анализа» ДВГИ ДВО

- РАН: опыт функционирования и основные направления исследований (Blokhin M.G., Velivetskaya T.A., Vovna G.M., Zarubina N.V., Ivanov V.V., Karabtsov A.A., 2022. Primorsky centre for local elemental and isotopic analyses of FEBI FEB RAS: Experience of the functioning and main areas of Research // *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (2), 0578. doi:10.5800/GT-2022-13-2-0578
5. Гамянин Г.Н. Минералого-генетические аспекты золоторуднения Верхояно-Колымских мезозойид. М.: Наука, 2001. 222 с.
 6. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахарев А.Г., Колесниченко П.П., Зайцев А.И., Диман Е.Н., Бердников Н.В. Условия зарождения и эволюции золоторудно-магматических систем в мезозойдах Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. 196 с.
 7. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Ред. А.И. Ханчук. В 2-х кн. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн.1 С. 1–572, Кн. 2, С. 573–981.
 8. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 210 с.
 9. Горячев Н.А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. 143 с.
 10. Горячев Н.А., Гамянин Г.Н., Заякина Н.В., Попова С.К., Сидоров В.А. Первая находка сурьмянистого паркерита на Северо-Востоке России // Докл. РАН. 2004. Т. 399, № 4. С. 1–4.
 11. Горячев Н.А. Удско-Мургальская магматическая дуга: геология, магматизм, металлогения // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России / Отв. ред. В.И. Гончаров, В.М. Кузнецов. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2005. С. 17–38.
 12. Горячев Н.А., Гамянин Г.Н. Золото-висмутовое (золото-редкометалльные) месторождения Северо-Востока России: типы и перспективы промышленного освоения // Золоторудные месторождения Востока России. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. С. 50–62.
 13. Горячев Н.А., Гамянин Г.Н., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е., Веливецкая Т.А., Игнатьев А.В. Серебро-редкометалльный тип минерализации Верхне-Сеймчанского рудного узла // Геология руд. месторождений. 2014. Т. 56, № 5. С. 362–386.
 14. Горячев Н.А., Акинин В.В., Альшевский А.В. Разновозрастные гранитоидные комплексы Средне-Янского массива (Северное Приохотье, Россия) // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Материалы X Всерос. петрограф. конф. с междунар. участием. Вып. 10. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2018. С. 96–102.
 15. Горячев Н.А., Мишунин В.И., Горячева Е.М., Соцкая О.Т., Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. Термо-ЭДС сульфидов: возможности метода и значение для минералогических исследований (на примере изучения пириита и арсенопириита золоторудных месторождений восточного и южного обрамления Сибирского кратона) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2022. № 3. С. 41–55.
 16. Горячев И.Н. Mineral prospectivity mapping для прогноза месторождений золота и металлогенического районирования Центрально-Колымского региона (Магаданская область, Россия) // Геоинформатика. 2023. № 1. С. 4–17.
 17. Жао Дапенг, Пирайно Франко, Лиу Люси. Структура и динамика мантии под восточной Россией и прилегающими регионами // Геология и геофизика, 2010. Т. 51, № 9. С. 1188–1203 (Zhao D., Pirajno F., Dobretsov N.L., Liu L., 2010. Mantle structure and dynamics under East Russia and adjacent regions // *Russian Geol. and Geophys.* 51, 925–938).
 18. Золоторудные месторождения СССР. Т.4 Геология золоторудных месторождений Востока СССР / Ред. В.А. Нарсеев. М.: ЦНИГРИ, 1988. 264 с.
 19. Золоторудные месторождения России / Ред. М.М. Константинов. М.: ООО Акварель, 2010. 349 с.
 20. Котляр И.Н., Русакова Т.Б. Меловой магматизм и рудоносность Охотско-Чукотской области: геолого-геохронологическая корреляция. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. 152 с.
 21. Лейер П.У., Иванов В.В., Раткин В.В., Бундтцен Т.К. Эпitherмальные золото-серебряные месторождения Северо-Востока России: первые $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ определения возраста руд // Докл. АН 1997. Т. 356, № 5. С. 665–668.
 22. Малиновский М.А. Месторождение Ветвистый: геохимическая характеристика основных типов руд // Научная молодежь Северо-Востоку России: Материалы V Межрегиональной конф. молодых ученых. Магадан 22–33 мая 2014 г. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2014. Вып. 5. С. 7–8.
 23. Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России / Ред. М.М. Константинов, И.С. Розенблум, М.З. Зиннатулин. М.: Северо-Восточный комитет по геологии и использованию недр РФ, 1992. 140 с.
 24. Ньюберри Р.Дж., Лейер П.У., Ганс П.Б., Гончаров В.И., Ворошин С.В., Горячев Н.А., Сидоров В.А. Предварительный анализ хронологии мезозойского магматизма, тектоники и руднения на Северо-Востоке России с учетом датировок $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и данных по рассеянным элементам изверженных и руденелых пород. // Золотое руднение и гранитный магматизм Северной Пацифики. Т. 1. Геология, геохронология и геохимия / Тр. Всерос. совещ. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 181–206.
 25. Панычев И.А., Федотов А.И. Некоторые черты геологии и руднения золотосурьмяного месторождения Крохалиное // Колыма. 1973. № 3. С. 44–46.
 26. Пачерский Н.В., Кряжев С.Г., Наумов Е.А., Десятова Д.Ю., Двуреченская С.С., Самойленко М.В. Новые данные по золоторудному руднению Центрально-Колымского золотоносного района: возраст, условия образования, состав, рудоконтролирующие факторы // Руды и металлы. 2021. № 2. С. 68–90. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10011.
 27. Сидоров А.А., Горячев Н.А., Шпикерман В.И., Савва Н.Е., Еремин Р.А., Приставко В.А., Городинский М.Е., Бялобжеский С.Г. Очерки металлогении и геологии рудных месторождений Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. 106 с.
 28. Соцкая О.Т., Минюк П.С., Акинин В.В. Северо-Восточный центр коллективного пользования СВКНИИ ДВО РАН: аппаратура и направления исследований (Sotskaya O.T., Mynyuk P.S., Akinin V.V., 2022. North-Eastern Shared Research Facilities of NEISRI FEB RAS: Equipment and Directions of Research) // *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (2), 0586. doi:10.5800/GT-2022-13-2-0586
 29. Стружков С.Ф., Константинов М.М., Аристов В.В., Рыжов О.Б., Шергина Ю.П. и др., Новые данные по геологии

- и абсолютному возрасту месторождений золота и серебра Омсукчанского отрезка Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Колыма. 1994. № 9–10. С. 13–16.
30. Шпикерман В.И., Полуботко И.В., Васькин А.Ф., Петухов В.В., Желебогло О.В., Лебедева О.Ю., Иванова Т.К., Котельникова И.В., Макара В.И., Казакова Г.Г., Шпикерман Е.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (3-е поколение). Серия Верхояно-Кольимская. Лист Р-55 – Сусуман: Объясн. зап. СПб.: Изд-во СПб.: Картограф. ф-ка ВСЕГЕИ, 2016. 585 с.
31. Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a synthesis // *Ore Geol. Rev.* 2001. V. 18. P. 1–75.
32. Goryachev N.A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny on Far East Russia // *Ore Geol. Rev.* 2014. V. 59. P. 123–151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.11.010>
33. Voroshin S.V., Newberry R.J., Layer P.W. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Au–quartz mineralization in the Upper Kolyma region (Magadan Oblast, Russia) / A.I. Khanchuk et al. (Eds.). *Metallogeny of the Pacific Northwest. Tectonics, Magmatism, and Metallogeny of Active Continental Margins.* Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 568–571.

*Рекомендована к печати А.И. Ханчуком
после доработки 23.05.2023 г.
принята к печати 06.07.2023 г.*

N.A. Goryachev, O.T. Sotskaya, I.N. Goryachev, T.I. Mikhalitzyna

Mineralogical and geochemical features of the Early Cretaceous gold ore mineralization of the eastern flank of Yana-Kolyma orogenic belt (Magadan region, Russia)

The article considers the mineralogical and geochemical features of the Early Cretaceous gold ore deposits in the Northern Okhotsk region, that is, the southeastern flank of the Yana-Kolyma orogenic belt and the Okhotsk sector of the Okhotsk-Koryak orogenic belt. Dating results are reviewed, and general and distinctive geological, mineralogical, and geochemical features of different mineralization types are shown. A close genetic link of ore mineralization with Early Cretaceous magmatism is assumed, as well as its connection with formation of the Uda-Murgal magmatic arc.

Key words: Early Cretaceous gold mineralization, mineralogy and geochemistry, Uda-Murgal magmatic arc, Yana-Kolyma and Okhotsk-Koryak orogenic belts.