УДК 553.06(553.07)

ИНТРУЗИВНЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ВУЛКАНОСТРУКТУРЫ И Au-Ag ОРУДЕНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕВЕНРЕКАН (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

© 2020 г. В. В. Прийменко^{а, *}, А. Н. Глухов^{а, **}, М. И. Фомина^{а, ***}, Т. И. Михалицына^{а, ****}

^аСеверо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,

ул. Портовая, 16, Магадан, 685000 Россия *e-mail: priymenkovladimir@gmail.com **e-mail: gluhov 76@list.ru ***e-mail: mif-74@yandex.ru ****e-mail: tim_66@mail.ru Поступила в редакцию 15.04.2020 г. После доработки 07.05.2020 г. Принята к публикации 01.06.2020 г.

Приведены данные о геолого-структурной позиции и составе руд месторождения Невенрекан. Освещены региональные и локальные факторы контроля оруденения. Рудные тела приурочены к сопряжению региональных разломов и кольцевых разрывов вулканической просадки. Геохимическая зональность рудного поля нарушена. Показаны особенности распределения геохимических ассоциаций в рудных зонах месторождения. Структурно-геологические и геохимические данные, а также данные сопоставления Au–Ag месторождений Охотско-Чукотского, Удско-Мургальского, Центрально-Камчатского вулканогенных поясов указывает на то, что рудообразование происходило в два этапа. На первом – вулканогенном – формировалась эпитермальная Au–Ag минерализация, на втором – плутоногенном – золото-редкометалльная, проявленная в эпидотизации и окварцевании пород рудного поля, в метаморфизме вулканогенного оруденения. Наличие позднего, связанного с гранитоидами, этапа минералообразования отличает месторождение Невенрекан от других Au–Ag месторождений Эвенского рудного района и сближает его с месторождениями Карамкен, Нявленга и Чиротан.

Ключевые слова: Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, интрузивный этап, эпитермальное оруденение, Au–Ag месторождение, золото-редкометалльная формация, метаморфизм **DOI:** 10.31857/S0203030620050041

введение

Месторождение Невенрекан расположено в северо-западной части Эвенского рудного района Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). Месторождение относительно слабо изучено и лишь кратко охарактеризовано в литературе [Стружков, Константинов, 2005]. В материалах поисковых работ (А.Г. Чернявский, 1976 г., К.С. Кумачев, 1978 г. и др.) структурная позиция месторождения связывалась с Невенреканским интрузивно-купольным поднятием, расположеннным на северо-западном фланге рудного поля. Позднее Р.Г. Кравцовой [2010] была показана связь Au–Ag оруденения с Туромчинской вулканотектонической депрессией и ранним этапом эволюции ОЧВП [Умитбаев, 1986; Котляр и др., 2001; Русакова, 2006]. В пределах Туромчинской вулканотектонической депрессии (рис. 1) этому этапу соответствует накопление вулканитов раннемеловой андезитовой (тайночинская свита) и позднемеловой риодацитовой (вархаламская толща) формаций, а также внедрение многофазных интрузий габбро-диоритов, гранодиоритов и гранодиорит-порфиров гармандинского магматического комплекса [Русакова, 2006; Жуланова, Русакова, 2005]. Позднему этапу развития ОЧВП в пределах рудного поля соответствуют завершающие эволюцию ОЧВП андезибазальты [Акинин, Миллер, 2011]. С образованием гранитоидов гармандинского комплекса парагенентически связано штокверковое месторождение золота Перекатное, расположенное в 1.5 км от месторождения Невенрекан, в юго-восточном направлении (см. рис. 1). Оно принадлежит к золото-редкометалльной формации и приурочено к надынтрузивной зоне крупной многофазной интрузии габбро-гранодиоритового состава – Перекатненской (рис. 2) интрузивно-купольной структуре. Рудоносный



Рис. 1. Геолого-структурная схема Туромчинской ВТД, по [Умитбаев, 1986] с добавлениями в юго-западной части и упрощением, с использованием материалов А.Г. Чернявского, 1976 г., В.К. Политова, 1981 г., Н.Г. Шаповалова, 1982 г. 1 – цоколь вулканоструктуры и породы сопряженных структур; 2 – кольцевые комплексы пород раннего этапа эволюции ОЧВП: тайночинская и вархаламская толщи; 3 – интрузии комагматичные раннему этапу; 4–7 – поздний этап эволюции ОЧВП: 4 – центральные комплексы: хайчанская и туромчинской толща, 5 – Дк – Доктомычанский батолит, 6 –интрузии с порфировидной структурой, 7 – платобазальты (андезибазальты); 8 – разломы; 9 – золото-серебряные месторождения и рудопроявления (1–3 – рудные зоны месторождения Невенрекан, 4 – Перекатное, 5 – Сопка Кварцевая, 6 – Старт, 7 – Дальнее, 8 – Альдигич); 10 – границы вулкано-тектонической депресии и Невенреканской просадки. На врезке – схема тектонического районирования ОЧВП [Акинин, Миллер, 2011]: 1 – ОЧВП, 2 – границы Туромчинской ВТД.

кварцевый штокверк расположен в зоне тектонического нарушения в ороговикованных алевролитах и песчаниках триасового возраста.

Эвенский рудный район, помимо месторождения Невенрекан, образован несколькими Au-Ag месторождениями: Сопка Кварцевая, Дальнее, Ирбычан, Ороч. В литературе достаточно подробно охарактеризовано их геологическое строение [Костырко и др., 1974; Животнев, Литовченко, 1977; Умитбаев, 1986; Кравцова и др., 2009; Горячев и др., 2017], физико-химические условия рудообразования [Кравцова, 2010]; они имеют достоверно определенный как геологическими данными, так и изотопными Rb-Sr и Ar-Ar датировками позднемеловой возраст [Кравцова и др., 2009; Ньюберри и др., 2000]. Помимо золото-серебряных, в Эвенском рудном районе широко распространены Ag-Pb-Zn рудопроявления (Аура, Дручак, Радуга и др.), которые слабо изучены. Оловянная минерализация представлена зонами кварц-турмалиновых грейзенов с касситеритом и вольфрамитом рудопроявления Центральное [Оловоносность ..., 1984].

Взаимоотношениям эпитермальной Au–Ag минерализациии с медно-порфировыми рудномагматическими системами посвящена достаточно обширная литература, касающаяся прежде всего Юго-Восточной Азии [Richards, Kerrich, 1993; Corbett, Leach, 1998], и, в меньшей степени – позднеюрско-раннемеловым Удско-Мургальскому [Колова, Савва, 2008] и Олойскому [Николаев и др., 2016] вулканическим поясам Северо-Востока Азии. Применительно к ОЧВП этот вопрос практически никем специально не изучался. Можно

14

отметить лишь исследования А.А. Сидорова [Сидоров, 1998], который в рамках собственной концепции "базовых рудных формаций" рассматривал "рядовую" Au–Ag формацию как продукт эволюции "базовой" медно-порфировой. Однако подробно взаимоотношения этих двух рудных формаций не были рассмотрены.

С другой стороны, исследователи металлогении Северо-Востока в 1970–1980-х гг. прошлого века достаточно много внимания уделяли связям золото-серебряного и золото-редкометалльного оруденения [Осипов, 1975; Сидоров, 1978; Умитбаев, 1986; Шило и др., 1988]. Для некоторых Au—Аg месторождений ОЧВП, содержащих Sn-минерализацию (Карамкен) постулируется их связь с олово-порфировой формацией [Савва и др., 2009; Сидоров и др., 2015; Савва, 2018], ранее выделявшейся только в Южной Америке [Sillitoe, 1975]. Другие исследователи идут еще дальше и выделяют подобные объекты как самостоятельный генетический подтип эпитермальных месторождений [Некрасов, 1990; Котляр и др., 2001; Стружков, Константинов, 2005]. При этом достаточно редко рассматривается возможность наложения на эпитермальное Au-Ag более позднего плутоногенного золото-редкометалльного оруденения, связанного как с аккреционными событиями, так и распространенного в тыловых зонах надсубдукционных вулканических поясов [Sillitoe, 1972; Горячев, 1998; Гамянин и др., 2003]. В данной публикации мы попытаемся частично восполнить этот пробел.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу работы положены материалы, полученные авторами при полевых и лабораторных исследованиях в лаборатории петрологии, изотопной геологии и рудообразования СВКНИИ ДВО РАН. Основной каменный материал был отобран из керна скважин и естественных обнажений в 2013 г. и 2018–2019 гг. на месторождениях Невенрекан и Перекатное. Минералогический анализ выполнен с помощью микроскопа Ахіоplan Imagin. Микроспектральные анализы минералов выполнены на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM-6510LA с энергодисперсионным спектрометром в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН (Санкт-Петербург. 2017 г., аналитик О.Л. Галанкина). Данные химического состава получены методом атомноэмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP) в лаборатории ООО "Стюарт Геокемикл энд Эссей". Отбор представительной выборки образцов на минералогическое изучение и химический состав был произведен таким образом, чтобы оптимально охарактеризо-



Рис. 2. Геолого-структурная позиция Невенреканского и Перекатнеского рудного поля составлена с использованием материалов А.Г. Чернявского, 1976 г., В.А. Вержака, 1977 г., К.С. Кумачева, 1979 г., Н.Г. Шаповалова, 1982 г.

1 – четвертичные отложения; 2, 3 – стратифицированные вулканиты раннего (2) и позднего (3) этапа эволюции ОЧВП (андезибазальты); 4 – отложения верхояно-чукотского комплекса мезозоид, гижигинской зоны; 5, 6 – интрузии (5 – габбро, диориты, гранодиориты, 6 – субвулканические интрузии); 7 – структурные элементы (а – границы жерловой части, кальдеры обрушения, предполагаемая граница северо-западного ограничения Невенреканской просадки; б – границы Перекатненского интрузивно-купольного поднятия и дгугих поднятий; в – основные системы разломов); 8 - a - 1, 2, 3 - жильные зоны месторождения Невенрекан, 4 – месторождение Перекатное, δ – элементы залегания вулканитов раннего этапа эволюции ОЧВП; 9 – а – основные жильные зоны месторождения Невенрекан, б – перекрытые платобазальтами части, в – развалы обломков кварцевых прожилков в делювии; 10 - зона развития кварцевого штокверка месторождения Перекатное.

вать месторождение в жильных зонах на различных гипсометрических отметках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Структурная позиция месторождения определяется сопряжением двух долгоживущих глубинных разломов (Вархаламский и Доктомычанский) с локальной Невенреканской вулканогенной просадкой. Вархаламский разлом имеет северо-западную ориентировку, а Доктомычанский – северо-восточную. В отчете о разведке ме-

сторождения Невенрекан (Н.Г. Шаповалов, 1982 г.) в пределах рудного поля описана кальдера обрушения с центриклинальным залеганием эффузивов покровной фации и жерловыми образованиями в центре (см. рис. 2). Полукольцевые разломы в северной части вулканоструктуры интерпретировались как результат внедрения многофазной интрузии габбро-гранодиоритового состава, с образованием Невенреканского интрузивно-купольного поднятия. В то же время интрузивно-купольное поднятие не выражено в современном рельефе и не фиксируется по элементам залегания вулканитов. При сопоставлении разрезов колонкового бурения и космоснимков высокого разрешения в северо-западной части рудного поля были выявлены полукольцевые нарушения, маркируемые изменениями падения вулканитов и выраженные на местности понижениями рельефа. Это позволило выделить локальную отрицательную вулканоструктуру центрального типа [Умитбаев, 1986; Cole et al., 2005] – Невенреканская просадка, образование которой, по всей видимости, было связано с ранним этапом эволюции ОЧВП и формированием вулканитов тайночинской свиты и вархаламской толщи. С учетом результатов горнобуровых работ, геофизических данных и ориентировки гидросети, можно оценить размеры просалки в 8 × 10 км. Сопряжение полукольцевых разрывов, ограничивающих просадку, с Вархаламским глубинным разломом определило локализацию и морфологию трех рудных зон месторождения. Рудное поле смешено вниз по системе взбросо-сдвигов Доктомычанского разлома с амплитудой вертикального смещения до 500 м [Умитбаев, 1986]. Это обусловило невысокий уровень эрозионного среза рудного поля и структуры в целом, сохранность эпитермального оруденения.

Стратифицированные образования в рудном поле представлены туфами и игнимбритами дацитов и риолитов нижней и андезитов верхней пачек вархаламской толщи позднего мела [Русакова, 2006]. Они прорваны телами и дайками андезитов, дацитов, габбро, диоритов, гранодиоритов (рис. 3). Субвулканические андезиты и дациты по отношению к рудному веществу являются дорудными, эксплозивные брекчии дацитового состава слагают жерловые части вулканоструктуры. Интрузии габбро, диоритов, гранодиоритов внедрялись после образования вулканогеного орудения. Значительная часть рудного поля перекрыта пострудными покровами андезибазальтов (платобазальтов) общей мощностью до 200 м, которые представляют собой заключительную стадию магматизма в пределах рудного поля.

Рудные тела представлены крутопадающими (55°-90°) прожилково-жильными зонами адуляр-карбонат-кварцевого состава мощностью до 12 м и протяженностью 300-500 м. Текстуры руд колломорфно-полосчатые, брекчиевые, кокардовые, каркасно-пластинчатые. Вертикальный размах оруденения достигает 200 м.

На рис. 4 изображены идеализированная модель метасоматических изменений (а) и событийная геологическая модель (б) в пределах Невенрекан-Перекатненского рудного узла. Все породы, кроме гранодиоритов, в пределах рудного поля пропилитизированы, околорудные изменения кварц-гидрослюдистые: в рудных зонах 1 и 2 жилы по вертикали сменяются надрудными зонами аргиллизации. Вулканические породы карбонатизированы, хлоритизированы, каолинитизированы и подверглись пострудному надынтрузивному окварцеванию (рис. 5), местами проявлена эпидотизация, руды претерпели метаморфизм. Аргиллиты и алевролиты гижигинской зоны мезозоид в пределах Перекатненского рудного поля ороговикованы.

По отношению к Невенреканской вулканогенной просадке интрузии габбро-диорит и гранодиоритового состава являются поздними (резургентными). С ними авторы связывают Перекатненское интрузивно-купольное поднятие, которое хорошо выражено в рельефе и дешифрируется на космоснимках. Общий для Невенрекана и Перекатного структурный контроль Вархаламским разломом и геохимическая зональность: As-Co-Cu-Bi (Перекатное, из материалов отчета, В. С. Стрешневский, 1988 г.) → As-Bi-Te-Sn (Невенрекан, зона 3) \rightarrow Sn–As–Zn–Pb (Невенрекан, зона 2) \rightarrow Pb-Zn-Sn-Sb-Hg (Невенрекан, зона 1) указывают на парагенетическую связь месторождений (см. рис. 2, 3). Геохимические ассоциации указывают на нарушение зональности геохимического поля месторождения Невенрекан [Corbett, Leach, 1998] более поздним событием.

Геохимические особенности месторождения. Микроэлементный состав руд месторождения Невенрекан приведен в табл. 1. Основные микроэлементы нормированы по отношению к средним значениям для верхней коры [Тейлор, Мак-Леннан, 1988; Hu, Gao, 2008]. Геохимический спектр руд (Au-Se-Ag-Sb-As-Te-Bi-Sn-Mn-Pb-Cu-Zn-Mo) типичен для Au-Ag эпитермальной ми-

Рис. 3. Геологическая карта рудного поля месторождения Невенрекан, составлена с использованием материалов А.Г. Чернявского, 1976 г., Н.Г. Шаповалова, 1982 г. с незначительными изменениями.

^{1 —} четвертичные отложения; 2 — платобазальты (андезибазальты), стратифицированные вулканиты вархаламской толщи; 3 — андезиты верхней пачки; 4 — игнимбриты и туфы риодацитов нижней пачки; 5 — отложения верхояно-чукотского комплекса мезозоид, гижигинской зоны; 6 — андезиты субвулканические; 7 — a — субвулканические дациты, δ — жерловые брекчии; 8 — a — габбро и комагматичные, δ — базальты; 9 — гранитоиды; 10 — a — основные системы разломов, δ — предполагаемые; 11 — основные рудные тела месторождения Невенрекан; 12 — a — рудные тела и жильные зоны месторождения Невенрекан, δ — редкие развалы жильного кварца с незначительными содержаниями Аи и Аg, "флюорит-кварцевые жилы", e — перекрытые платобазальтами части.



Ъ

С

cl

0

0 cl

cl

٢cl

cl

O

0

c



0

cl



Рис. 4. Модель образования Au–Ag месторождения Невенрекан. а – 1 – условная граница глубины изучения, 2 – хлоритизация, карбонатизация, околожильная гидрослюдизация, 3 – каолинитизация, 4 -эпидотизация, 5 -окварцевание, 6 -ороговикование; 6 -условные обозначения см. рис. 3, номерами отмечена очередность событий в пределах рудного поля: 1 – заложение пород фундамента вулканоструктуры, 2, 3 – образование вулканитов вархаламской толщи, 4 – внедрение секущих андезитовых, 5 – дацитовых субвулканических тел, образование экплозивных брекчий, 6 – образование эпитермального Аu-Аg оруденения, 7, 8 – интрузивный этап (образование даек базальтов и штоков габбро (7), диоритов и гранодиоитов (8)), 9 – образование Аи-редкометалльного штокверкового оруденения Перекатненского, 10 – флюоритовые жилы [Еремин, 1974], 11 – платобазальты, 12 – накопление четвертичных отложений.

нерализации адуляр-кварцевого типа. Высокие концентрации Se характерны для подавляющего большинства объектов ОЧВП и вместе с отношением Au/Ag (1:10) характеризуют Невенрекан как оруденение селенового подтипа золото-серебряного геохимического типа [Хомич и др., 1989]. Редкометалльная специфика руд отразилась в геохимическом спектре повышенными ролями Ві и Sn. Низкие значения Co/Ni для большинства проб (<1) позволяют определить источником рудообразующего флюида метеорные воды [Kun et al., 2014], а относительное обогащение европием (Eu/Eu* и Eu/Sm >1) может отражать преобладание нижнекорового источника рудного вещества [Винокуров и др., 1999].

R

Минералогический состав. По данным минералогического изучения в рудных телах месторождения было индентифицировано 32 рудных минерала: пирит, сфалерит, галенит (в т.ч. и се-



Рис. 5. Окварцевание (осветление) по интенсивно гидрослюдизированным (темное) околожильным игнимбритам риодацита в керне скважин: а – 254-035W (интервал 39.6–47.2 м) и б – 246-000 (интервал 117.5–124.9 м) операции 2013 г. Отмечается перекристаллизация вдоль ранних трещин, осветление, образования монолита по катаклазированной ранее породе. Метасоматиты с трудом царапаются стальной иглой, без выделения белого порошка.

ВУЛКАНОЛОГИЯ И СЕЙСМОЛОГИЯ № 5 2020

ПРИЙМЕНКО и др.

Таблица 1. Элементный состав рудопроявлений по результатам анализа ICP-MS [г/т]

Элементы	Кларк	Ccp	КК	№№ проб								
				20H	16H	5H	17H	6H	8H	14H	3H	
Au	0.0018	8.8	4888.9	29.2	7.9	22.1	28.9	8.7	8.8	15.1	10.1	
Ag	0.05	56.8	1136	20.9	81.9	100	28.2	100	100	100	100	
As	1.5	291.5	194.3	1126.9	4.8	1137.2	1.9	102.8	224.1	595.2	643	
Ba	550	431.9	0.8	39	20	21	62	12	74	29	14	
Be	3	1.3	0.4	0.7	1	1.5	1.6	1.8	2.9	1.6	1.9	
Bi	0.1	1.9	19	13.2	0	0.2	0	0	0.1	0	0.3	
Cd	0.1	0.8	8	0.1	0.4	1	0.1	3.6	5	0.6	2.7	
Co	10	6.2	0.6	1.2	1.3	1.3	1.3	14.4	22.4	1.1	0.7	
Cr	35	12.7	0.4	12	12	9	13	13	10	9	8	
Cs	3.7	2.8	0.8	0.6	0.5	0.3	2.2	0.7	4.5	2.5	0.3	
Cu	25	166.6	6.7	41.9	22.6	219.7	22.6	111.2	126.6	345.2	1174.8	
Ga	17	8.9	0.5	9.8	3.8	12.4	3.1	7.2	7.6	10.2	10.6	
Ge	1.9	0.6	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	8.2	
Hf	5.8	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
In	0.1	0.1	1	0.3	0	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0	
Li	20	48.9	2.4	4.2	82	57.9	39.1	52.7	54.8	55.9	51.2	
Mn	600	5506.9	9.2	237	2216	15129	1311	25643	11216	10449	22105	
Мо	1.5	1.8	1.2	1.9	1	0.8	1	0.6	0.8	1	1.1	
Nb	25	2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	
Ni	20	10.4	0.5	9.3	10	6	10.5	10.6	12.3	7.8	6.6	
Pb	20	171.7	8.6	112.7	16.4	200.2	6.9	34.3	129.2	140.8	2223.2	
Rb	112	28.9	0.3	9	0.9	1.2	19.7	2.3	30.3	11.1	1.2	
Sb	0.2	86.8	434	36.4	9.1	19.6	6.8	10.4	51.2	135.6	761.9	
Sc	11	3.3	0.3	2.4	0.6	0.4	0.2	1.1	0.3	0.5	0.3	
Se	0.1	136.7	1367	63	3	74	2	37	89	112	2000	
Sn	5.5	82.8	15.1	9	12.1	42.6	3	46.1	104.9	127.2	1000	
Sr	350	160.1	0.5	17.4	32	193.9	51.7	122.1	42.8	90.9	105.7	
Та	2.2	0.4	0.2	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	
Te	0.027	1.2	44.4	4.8	0.2	0.1	н.п.о.	н.п.о.	1.3	0.1	1.2	
Th	10.7	3.8	0.4	1.3	н.п.о.							
Tl	0.1	1.7	17	0.2	0	0.1	0.3	0.1	0.8	0.5	0.1	
U	2.8	0.5	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	
V	60	29.3	0.5	14	4	4	3	3	3	4	1	
W	2	0.8	0.4	0.3	0.4	1.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	
Zn	71	300.4	4.2	22	58	535	7	1787	1155	328	1050	
Zr	190	21.8	0.1	4	0.6	1.6	0.6	1.2	0.5	н.п.о.	н.п.о.	
Co/Ni	0.1	2.5	0.1	1.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.6	0.2	0.1	
U/Th	0.2	0.3	0.5	0.2	1	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	
Y/Ho	15	13.2	27.5	16.1	39.3	45	32.2	50	22	16.9	30	
La	1.8	21.9	3.2	24.3	7	1.2	1.8	2.2	16	25.2	0.7	
Ce	4.3	41.8	5	45	10.5	2.4	3.2	3.5	26.1	49	1.2	
Pr	0.64	5.32	0.57	5.6	1.16	0.3	0.42	0.35	2.86	6.18	0.11	
Nd	3.2	23	2.2	24.7	3.7	1.2	1.6	1.3	10.3	23.6	0.4	
Sm	0.74	4.81	0.56	4.89	0.61	0.26	0.37	0.23	1.67	4.7	0.24	

ВУЛКАНОЛОГИЯ И СЕЙСМОЛОГИЯ № 5 2020

Элементы	Кларк	Ccp	KK	№№ проб							
				20H	16H	5H	17H	6H	8H	14H	3H
Eu	0.25	1.39	0.32	1.7	2.44	0.16	0.6	0.86	2.04	1.03	0.05
Gd	0.51	4.15	0.48	4.83	0.61	0.29	0.41	0.2	1.56	3.7	0.05
Tb	0.08	0.54	0.09	0.65	0.11	0.03	0.05	0.03	0.2	0.58	0.02
Dy	0.36	3.44	0.66	3.75	0.72	0.13	0.43	0.22	1.06	3.55	0.08
Но	0.06	0.62	0.12	0.76	0.15	0.02	0.09	0.03	0.25	0.72	0.01
Er	0.15	2.13	0.33	1.98	0.41	0.07	0.21	0.08	0.63	2.11	0.03
Tm	0.02	0.29	0.05	0.28	0.05	0.01	0.02	0.01	0.08	0.33	0.01
Yb	0.13	2.03	0.4	2.08	0.39	0.09	0.22	0.07	0.51	2.68	0.07
Lu	0.02	0.35	0.04	0.29	0.05	0.01	0.01	0.01	0.09	0.37	0.01
∑REE	12.26	111.77	14.02	120.81	27.9	6.17	9.43	9.09	63.35	123.75	2.98
∑LREE	9.94	92.02	10.97	99.6	22.36	5.1	7.02	7.35	55.26	103.98	2.41
∑MREE	4.78	33.89	3.65	36.77	7.47	1.94	3.03	2.62	15.77	33.61	0.76
∑HREE	0.74	8.86	1.6	9.14	1.77	0.33	0.98	0.42	2.62	9.76	0.21
Σ LREE/ Σ HREE	9.11	7.79	5.48	8.19	10.54	11.82	5.53	14.4	17.16	8.24	9.57
La/Yb	13.85	10.79	8	11.68	17.95	13.33	8.18	31.43	31.37	9.4	10
LaN/YbN	9.36	7.29	5.41	7.89	12.13	9.01	5.53	21.24	21.2	6.35	6.76
LaN/SmN	1.53	2.87	3.6	3.13	7.22	2.91	3.06	6.02	6.03	3.37	1.84
GdN/YbN	3.18	1.66	0.97	1.88	1.27	2.61	1.51	2.32	2.48	1.12	0.58
Eu/Eu*	1.24	0.95	1.89	1.07	12.22	1.78	2.15	2.05	4.71	12.25	3.86
Ce/Ce*	1.04	0.93	0.79	0.92	0.81	0.98	0.88	0.84	0.87	0.97	0.78
EuN/SmN	0.9	0.77	1.52	0.92	10.62	1.63	4.31	9.93	3.24	0.58	0.55
Hf/Sm	0.14	0.15	0.18	0.43	0.16	0.38	0.27	0.43	0.42	0.66	0.42
Nb/La	0.06	0.17	0.03	0.21	0.03	0.08	0.06	0.14	0.17	0.27	0.14
Th/La	0.72	0.05	—	0.04	_	_	_	—	0.12	0.27	_

Примечание. Сср – среднее содержание; КК – кларк концентрации; н.п.о. – нижний предел обнаружения. Состав верхней коры приведен по [Тейлор, Мак-Леннан, 1988], содержание Те – по [Hu, Gao, 2008].

ребросодержащий), халькопирит, пирротин, арсенопирит, марказит, борнит, кёстерит, блеклые руды (фрейбергит, аргентотеннантит, аргентотетраэдрит), сульфосоли (матильдит, полибазит, пираргирит), канфильдит, селеноканфильдит, агвиларит, ютенбогаардтит, электрум, акантит, самородный свинец, самородное серебро, самородное золото (рис. 6). Отдельно отмечается наличие оксидов и гидроксидов Mn, гидроксидов Cu. В рудах обнаружено три разновидности самородного золота: золото I – образуется в трещинах кварцевых жил, содержащих сульфидную и полисульфидную минерализацию, а также отлагается по трещинам и в пустотах в пирите, установлены его срастания с ютенбогаардтитом, агвиларитом, сульфосолями, блеклой рудой и более поздним селеноканфильдитом (см. рис. 6и, 6к). Среднепробное – от 796 до 813‰, при среднем значении 801‰; золото II отлагается в свободном состоянии в кварце, в кварцярозитовых жилах, по микротрещинам в сульфосолях (см. рис. 6л, м) и золоте I. Ассоциирует с золотом I, акантитом и блеклой рудой. Высокосеребристое (или весьма низкопробное) - вариации пробности 397–556‰, при среднем значении 452‰, золото III формирутся по трещинам в породе и в кварц-лимонитовом агрегате, корродируется лимонитом (см. рис. 6н). Высокопробное – дисперсия пробности от 897 до 920‰, при среднем показателе 908‰. Первые два типа золота мы относим к основному продуктивному вулканогенному этапу, а третье золото встречается в зонах природного обогащения и связано с гипергенным этапом оруденения.

21

На основании геологических, геохимических и минералогичеких данных нами выделен поздний плутогенный этап, который не повлиял на продуктивность месторождения, но усложнил его минеральный состав. Следует отметить, что общее содержание минералов поздней, плутоногенной, ассоциации в рудных телах месторождения Невенрекан крайне невелико и они не образуют обособленных скоплений или тем более самостоятельных типов руд, чаще всего отлагаясь по микротрещинам и пустотам в минералах ранних парагенезисов. С этим этапом мы связываем образование последней генерации кварца, серицита,



Рис. 6. Взаимоотношение рудных минералов на участке Невенрекан: а – обрастание пирита марказитом; б – взаимоотношение пирита, арсенопирита, галенита и блеклой руды; в – образование матильдита по краю канфильдита; г – ранний пирит, сцементированный блеклой рудой; д – срастание пирита и сфалерита I, содержащего включения канфильдита, блеклой руды и халькопирита; е – пустоты в пирите заполнены канфильдитом. Пирит корродируется сфалеритом II, по периферии которого развивается акантит; ж – включения галенита в пирите. Галенит по спайности и по периферии частично замещен канфильдитом; з – гнездовое обособление блеклых руд, халькопирита и агвиларита, частично замещенных акантитом. Включения в акантите самородного серебра; и – включение селеноканфильдита и агвиларита в халькопирите. Агвиларит, в свою очередь, содержит включения золота I и серебросодержащего галенита; к – золото I в срастании с пиритом и блеклой рудой; л – отложение золота II между зерен пираргирита и фрейбергита. В фрейбергите установлены включения аргентотеннантита; м – отложение золота II по микротрещине в полибазите; н – золото II в обрамлении гидроксидов железа, развитых по сульфидам.

Сокращения: Мк – марказит, Ру – пирит, Ару – арсенопирит, Gn – галенит, Fh – блеклая руда, Knf – канфильдит, Mtd – матильдит, Sph – сфалерит, Agv – агвиларит, Chp – халькопирит, AgGn – серебросодержащий галенит, Prg – пираргирит, Frb – фрейбергит, AgTn – аргентотеннантит, Plb – полибазит, Ac – акантит, Ag – самородное серебро, Au – самородное золото, Lim – лимонит.

кальцита, а также рудной минерализации: кёстерит, сфалерит-2, серебросодержащий галенит, матильдит, канфильдит, селеноканфильдит (см. рис. 6в, д—ж, и).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты исследований показывают сходство геологии и вещественного состава месторождения Невенрекан с месторождением Карамкен (ОЧВП) [Некрасова, 1972; Еремин, 1974; Некрасов, 1990; Савва, 2018]. Сопоставляя аналоги местрождения Эвенского рудного района и ОЧВП (Сопка-Кварцевая, Дальнее, Ороч, Ирбычан, Купол, Хаканджа) [Костырко и др., 1974; Умитбаев, 1986; Стружков, Константинов, 2005; Хомич и др., 1989; Кравцова, 2010; Савва, 2018] было выявлено отличие геологии и вещественного состава. Руды этих месторождений отличаются значительно меньшим количеством минеральных видов, их более простым химическим составом, количеством выделяемых стадий образования в их парагенетических ассоциациях. Наличие поздней, связанной с внедрением гранитоидов, рудно-магматической системы в пределах рудного поля местождения (не более 0.5 км от вулканогенного оруденения), метасоматическая и геохимическая зональность, дает основание для выделения плутоногенного этапа, что отличает месторождение Невенрекан от других золото-серебряных объектов Эвенского рудного района. Аналог месторождения Невенрекан в пределах Удско-Мургальского вулканогенного пояса – Нявленга [Волков и др., 1991; Стружков, Константинов, 2005; Савва, 2018]. "Гибридное" месторождение Au-Ag-Sn-W Чиротан в западной Индонезии тоже может быть отнесено к этой группе [Milési et al., 1994]. Мутновское месторождение Центрально-Камчатского вулканогенного пояса и месторождение Роговик Балыгычано-Сугойского прогиба также имеют раннее Au-Ag оруденение, но оруденение плутоногенного этапа представлено полиметаллической (с серебром) формацией руд [Петренко, 1999; Кравцова, 2015 и др.].

Предшественниками в отчете о разведке месторождения Невенрекан (Н.Г. Шаповалов, 1982 г.) при минералогическом изучении был описан родонит, авторами он не обнаружен, но предполагаем, его образование также связано с внедрением гранитоидных интрузий, с метаморфическим этапом. Родонит описан Н.Е. Саввой в рудах месторождений Дукат и Лунное Балыгычано-Сугойского прогиба, на месторождении Приморское как минерал скарнового происхождения [Савва, 2018; Савва и др., 2019].

Все эти месторождения располагаются вблизи пострудных, для Au—Ag оруденения, интрузий гранитоидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По отношению к Невенреканской просадке интрузии габбро, диоритов и гранодиоритов являются поздними (резургентными). С ними мы связываем Перекатненское интрузивно-купольное поднятие, которое хорошо выражено в рельефе и дешифрируется на космоснимках. Общий для Невенрекана и Перекатного структурный контроль Вархаламским разломом, геохимическая зональность указывают на парагенетические связи месторождений.

Месторождение Невенрекан относится к той же группе, к которой принадлежит месторождение Карамкен, одноименного рудного узла. Сюда же можно отнести Au-Ag-Sn-W "гибридное" месторождение Чиротан в Индонезии, месторождение Нявленга Удско-Мургальского вулканогенного пояса. Эти объекты располагаются вблизи от гранитоидов редкометалльной геохимической специализации. Связанная с ними золоторедкометалльная минерализация накладывалась на ранние золото-серебряные руды, что приводило к появлению в рудах оловосодержащих парагенезисов и нехарактерных для вулканогенного Au-Ag оруденения минеральных ассоциаций. Проявление этого влияния заключено в наложеннии зон рассеяной минерализации и метаморфизма, а в отдельных случаях проявлятся в виде плутоногенных гидротермалитов. Геолого-структурной спецификой этих объектов является постоянное присутствие вблизи рудовмещащих отрицательных вулканоструктур дискордантных по отношению к ним интрузивно-купольных поднятий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность В.В. Акинину (СВКНИИ ДВО РАН), С.Ф. Петрову, Е.В. Алакину (ООО "ОЗРК"), Е.Е. Коловой (СВКНИИ ДВО РАН), А.П. Бороздину (ООО "ЛИМС"), О.Л. Галанкиной (ИГГД РАН) за содействие при выполнении данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акинин В.В., Миллер Э.Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. 2011. № 3. С. 249–290.

Винокуров С.Ф., Коваленкер В.А., Сафонов Ю.Г., Керзин А.Л. Лантаноиды в кварцах эпитермальных золоторудных месторождений: распределение и генетическое значение // Геохимия. 1999. № 2. С. 171–180.

Волков А.В., Шишакова Л.Н., Демин А.Г. Особенности прогрессивного рудообразования на золото-серебряном месторождении Нявленга // Докл. АН СССР. 1991. Т. 320. № 4. С. 934–940.

Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахарев А.Г., Колесниченко П.П., Зайцев А.И., Диман Е.Н., Бердников Н.В. Условия зарождения и эволюция гранитоидных золоторудно-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. 196 с.

Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 210 с.

Горячев Н.А., Егоров В.Н., Савва Н.Е., Кузнецов В.М., Фомина М.И., Рожков П.Ю. Геология и металлогения фанерозойских комплексов юга Омолонского массива. Владивосток: Дальнаука, 2017. 312 с.

Еремин Р.А. Гидротермальный метаморфизм и оруденение Арманской вулканоструктуры // Труды Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института АН СССР. Вып. 43. Новосибирск, 1974. 134 с.

Животнев А.Я., Литовченко З.И. Структурная позиция Ирбычанского рудопроявления // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. 1977. Кн. 1. № 23. С. 162–167.

Жуланова И.Л., Русакова Т.Б. Гранитоидные комплексы в складчатых зонах мезозоид к югу от Омолонского срединного массива: возраст и тектоника // Наука Северо-Востока России – начало века // Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти акад. К.В. Симакова и в честь его 70-летия. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2005. С. 82–86.

Колова Е.Е., Савва Н.Е. Соотношение медно-молибден-порфирового и золотого оруденения на п-овах Кони и Пьягина (Северное Приохотье) // Вестник Северо-Восточного начуного центра ДВО РАН. 2008. № 4. С. 2–15.

Костырко Н.А., Пляшкевич Л.Н., Болдырев М.В. Строение и вещественный состав рудных зон Эвенского рудного поля // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. 1974. № 21. С. 87–94.

Котляр И.Н., Жуланова И.Л., Русакова Т.Б., Гагиева А.М. Изотопные системы магматических и метамор-

фических комплексов Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. 319 с.

Котляр И. Н. Русакова Т.Б. Меловой магматизм и рудоносность Охотско-Чукотской области: геолого-геохронологическая корреляция. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. 159 с.

Кравцова Р.Г. Геохимия и условия формирования золото-серебряных рудообразующих систем Северного Приохотья. Новосибирск: Академическое издательство "Геос", 2010. 292 с.

Кравцова Р.Г., Дриль С.И., Алмаз Я.А., Татарников С.А., Владимирова Т.А. Первые данные по Rb–Sr возрасту и изотопному составу золото-серебряных руд месторождения Дальнего (Эвенский рудный район, Северо-Восток России) // Докл. АН. 2009. Т. 428. № 2. С. 240–243.

Кравцова Р.Г, Макшаков А.С., Павлова Л.А. Минералогия и состав, закономерности распределения и особенности формирования рудной минерализации золото-серебряного местрождения Роговик (Северо-Восток России) // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 10. С. 1739–1759.

Некрасов И.Я. О причинах совмещения оловянной, серебряной и золотой минерализации в месторождениях Тихоокеанского рудного пояса // Геология рудных месторождений. 1990. № 1. С. 98–104.

Некрасова А.Н. Особенности минерального состава руд Карамкенского золото-серебряного месторождения // Геология рудных месторождений. 1972. № 3. С. 45–54.

Николаев Ю.Н., Бакшеев И.А., Прокофьев В.Ю., Нагорная Е.В., Марущенко Л.И., Сидорина Ю.Н., Читалин А.Ф., Калько И.А. Аи-Ад минерализация порфировоэпитермальных систем Баимской зоны (Западная Чукотка, Россия) // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 4. С. 319–345.

Ньюберри Р.Дж., Лейер П.У., Ганз П.Б., Гончаров В.И., Горячев Н.А., Ворошин С.В. Предварительный анализ хронологии мезозойского магматизма, тектоники и оруденения на Северо-Востоке России с учетом датировок ⁴⁰Ar/³⁹Ar и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Труды Всероссийского совещания. Магадан, 4–6 сентября 1997 г. Т. 1. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. С. 181–205.

Оловоносность Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (Геологическое районирование и закономерности размещения оруденения). М.: Недра, 1984. 184 с.

Осипов А.П. Позднемезозойское тектоно-магматическое развитие западной части Охотско-Колымского водораздела. Новосибирск: Наука, 1975. 160 с.

Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Изд-во СПб. картографической фабрики ВСЕГЕИ, 1999. 116 с.

Русакова Т.Б. Меловой вулканизм Северо-Восточного Приохотья: новые данные // Вулканизм и геодинамика // Материалы III Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Улан-Удэ, 2006. С. 305–309.

Савва Н.Е. Минералогия серебра Северо-Востока России // Северо-Восточное комплексное НИИ ДВО РАН. М.: Издательство Триумф, 2018. 544 с.

Савва Н.Е., Брызгалова И.А., Тюкова Е.Э. Олово-порфировая формация Прикарамкенья // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2009. № 4. С. 2–14.

Савва Н.Е., Волков А.В., Сидоров А.А., Колова Е.Е., Мурашов К.Ю. Эпитермальное Аи-Ад месторождение

Приморское (Северо-Восток России): гелогическое строение, минералого-геохимические особенности и условия рудообразования // Геология рудных место-рождений. 2019. № 1. С. 52–74.

Сидоров А.А. Золото-серебряная формация Восточно-Азиатских вулканогенных поясов. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1978. 350 с.

Сидоров А.А. Рудные формации и эволюционно-исторический анализ благороднометалльного оруденения. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 246 с.

Сидоров А.А., Волков А.В., Савва Н.Е. Вулканизм и эпитермальные месторождения // Вулканология и сейсмология. 2015. № 6. С. 3–12.

Сидоров В.А., Волков А.В., Прокофьев В.Ю., Савва Н.Е. О "корнях" Аи-Ад-эпитермального оруденения на примере Пауковского рудного поля Детринского рудного района [Северо-Восток России] // Докл. АН. 2009. Т. 425. № 3. С. 361–366.

Стружков С.Ф., Константинов М.М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М.: Научный мир, 2005. 320 с.

Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.

Умитбаев Р.Б. Охотско-Чаунская металлогеническая провинция (строение, рудоносность, аналоги). М.: Наука, 1986. 287 с.

Хомич В.Г., Иванов В.В., Фатьянов И.И. Типизация золото-серебряного оруденения. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 292 с. Шило Н.А., Гончаров В.И., Альшевский А.В., Ворцепнев В.В. Условия формирования золотого оруденения в структурах Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1988. 181 с.

Cole J.W., Milner D.M., Spinks K.D. Calderas and caldera structures // Earth-Science Reviews. 2005. V. 69. P. 1–26. *Corbett G.J., Leach T.M.* Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization // Special Publications of the Society of Economic Geologists. 1998. V. 6. P. 258.

Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chem. Geol. 2008. V. 253. Iss. 3–4. P. 205–221.

Kun L., Ruidong Y., Wenyong Ch. et al. Trace element and REE geochemistry of the Zhewang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China // Chin. J. Geochem. 2014. V. 33. P. 109–118.

Milési J.P., Marcoux E., Nehlig P. Sunarya Y., Surandar A., Felenc J. Cirotan, West Java, Indonesia: A 1.7 Ma hybrid epithermal Au-Ag-Sn-W deposit // Econ. Geol. 1994. V. 89. P. 227–245.

Richards J.P., Kerrich R. The Porgera Gold Mine, Papua New Guinea: Magmatic Hydrothermal to Epithermal Evolution of an Alkalic-type Precious Metal Deposit // Economic Geology. 1993. V. 88. P. 1017–1052.

Sillitoe R.H. Relation of metal provinces in Western America to subduction of oceanic lithosphere // Bulletin Geological Society of America. 1972. V. 83. P. 813–818.

Sillitoe R.N., Halls C., Grant J.N. Porphyry tin deposits in Bolivia // Econ. Geol. 1975. V. 70. P. 913–927.

An Itnrusive Stage Volcano-Structure and Au–Ag Mineralistation Development in the Nevenrekan Deposit as an Example (Magadan Region, Russia)

V. V. Priymenko^{1, *}, A. N. Glukhov^{1, **}, M. I. Fomina^{1, ***}, and T. I. Mikhalitsyna^{1, ****}

¹North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute of Far East Branch, of the Russian Academy of Science, Portovaya str., 16, Magadan, 685000 Russia

*e-mail: privmenkovladimir@gmail.com

**e-mail: gluhov76@list.ru

***e-mail: mif-74@yandex.ru

****e-mail: tim 66@mail.ru

Data on the geological and structural setting and ore composition of the Nevenrekan deposit are presented. Regional and local control factors of mineralization are highlighted. Ore bodies are confined to the conjugation of regional faults and annular breaks of volcanic subsidence. The geochemical zonality of the ore field is disturbed. The distribution features of geochemical zones in the deposit are shown. Structural-geological and geochemical data, as well as comparison data of Au-Ag deposits of the Okhotsk-Chukotska, Udsko-Murgalsky, Central-Kamchatka volcanogenic belts indicates that ore formation occurred in two stages. On the first – volcanogenic – epithermal Au–Ag mineralization was formed, on the second – plutonogenic – intrusion-related gold system, manifested in epidotization and silicification of ore field rocks, in the metamorphism of volcanogenic mineralization. The presence of a late stage of mineral formation associated with granitoids distinguishes the Nevenrekan deposit from other Au–Ag deposits of the Evensky ore district and brings it closer to the Karamken, Nyavlenga and Cirotan deposits.

Keywords: Okhotsk-Chukotka volcanic belt, intrusion stage, epithermal deposit, Au–Ag deposit, Intrusion-related gold system, metamorphism