

УДК 553.078:551.242.22.03:(571.645)

ГЕОЛОГИЯ, ГЕОДИНАМИКА И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ЮЖНОГО ФЛАНГА КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВОДУЖНОЙ СИСТЕМЫ

Борискина Н.Г., Касаткин С.А., Хомич В.Г.

*ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН, Владивосток,
e-mail: boriskina2000@mail.ru*

Результатами анализа вероятных причин возникновения рений-платиноидно-золотого оруденения, выявленного в конце прошлого века на Южных Курилах, установлена аномальная проявленность в пределах сейсмофокальной зоны Кунашир-Урупского звена Курильской островодужной системы глубинных левых сдвигов северо-западной ориентации. Их возникновение обусловлено косым взаимодействием Охотоморской и Тихоокеанской плит в зоне конвергенции. Аномальность усилена активностью еще более глубинных долгоживущих (J-Q) трансформных разломов северо-западного простирания Носаппу, Итуруп и Уруп, сосредоточенных у юго-восточного фланга Курильского желоба. По их частным сместителям, крылья которых маркируются линиями прямой и обратной намагниченности, развиты преимущественно левосторонние смещения также северо-западной (330–340°) ориентации. Они в явной форме фиксируются на участках изменения углов падения (изгиба) около океанского края глубоководного желоба. Вблизи изгиба сосредоточены современные (1964–1980 гг.) шикотанские землетрясения. Сдвиговый тип перемещений по этим разломам привел к появлению проницаемых каналов в участках содвигового растяжения вдоль границ фрагментов субдуцирующего океанского слэба. Каналы обеспечивали продвижение флюидно-тепловых потоков из под-субдукционной астеносферы через океаническую литосферу и сейсмофокальную зону в мантийный клин. Последующая миграция высокотемпературных потоков через упомянутый мантийный клин в надсубдукционную астеносферу, а затем и литосферную мантию приводили к развитию процессов метасоматоза, формированию в субконтинентальной литосфере и земной коре разноуровневых магматических очагов, проявлению вулканизма и рудогенеза. Таким образом, среди первопричин благороднометалльной специализации Южных Курил и высокой их рудонасыщенности были флюидно-энергетические потоки от двух астеносфер: подсубдукционной и надсубдукционной.

Ключевые слова: рений, платиноиды, золото, трансформные разломы, флюидно-энергетические потоки, под- и надсубдукционная астеносфера

GEOLOGY, GEODYNAMICS AND NOBLE METALS MINERALIZATION IN THE SOUTHERN FLANK OF THE KURIL ISLAND-ARC SYSTEM

Boriskina N.G., Kasatkin S.A., Khomich V.G.

Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: khomich79@mail.ru

In the late 20th century an unusually high content of the rhenium-PGE-gold mineralization was revealed on the Kuril Islands. It was located within the Kunashir-Urup Chain of the Kuril island-arc system. Here, at the SE flank of the Kuril Trench on the Pacific Plate, the long-lived (J-Q) Nosappu, Iturup and Urup fracture zones of the NW (330–340°) strike are joined. Due to the oblique interaction of the Okhotsk and Pacific plates at the convergent boundaries along the fracture zones the left-lateral displacements occur. These displacements are observed both in the separation of the magnetic anomalies (stripes) and based on the earthquakes' focal mechanisms data. The seismic activity grows at the approach of the Pacific Plate to the Kuril Trench. Numerous earthquakes are concentrated close to the Shikotan Island. Strike-slip displacements along these fracture zones lead to the formation of the extensional structures (permeability channels) in the subducting slab. These channels allowed the fluid flows from the undersubduction asthenosphere through the slab and into the mantle wedge. The following migration of the high-temperature flows through the mantle wedge into the oversubduction asthenosphere and then into the lithospheric mantle lead to the development of such processes as metasomatism, formation of different levels of magma chambers in the Earth's crust and subcontinental lithosphere, occurrence of volcanism and orogenesis. Hence one of the primary reasons for the unusual metallogeny of the Southern Kuriles and high content of the noble mineralization consisted in the fluid flows ascending from the undersubduction and oversubduction asthenospheres.

Keywords: rhenium, platinum group elements, gold, transform faults, fluid and heat flow, over- and undersubduction asthenosphere

У восточных и юго-восточных окраин Азиатского континента известно несколько островодужных систем. Они пространственно сопряжены с сейсмофокальными зонами, глубоководными желобами и современными активными центрами вулканизма. В последней четверти прошлого века на их площади в дополнение к тра-

диционным выявлено много коренных месторождений «специфического» платиноидного, рениевого минерального сырья. В первую очередь это относится к островам южного фланга Большекурильской гряды. Из этих фактов следует необходимость исследования причин возникновения такой специфики [1].

Цель исследования: изложение результатов сравнительного анализа геодинамических условий формирования Курильской островодужной системы и их влияния на металлогенические особенности ее южного Кунашир-Урупского звена.

Материалы и методы исследования

Традиционные методы изучения строения и рудоносности островов представляется полезным дополнить сведениями о влиянии геодинамических факторов на их формирование. Для этого анализировались данные расшифровок фокальных механизмов землетрясений, с особым вниманием к распределению очагов сдвигового типа с крутонаклонным ($40-90^\circ$) погружением средней оси деформаций и близгоризонтальными ($0-30^\circ$) лево- и правосторонними смещениями в плоскостях разрывов. Анализ сопровождался построением соответствующих роз-диаграмм.

У вулканов южного – Кунашир-Урупского – фланга Курильской островодужной системы (КОС) давно известны как термальные источники с сублимационными серными и молибденит-серными месторождениями, так и множество дочетвертичных проявлений благородных (Au, Ag), цветных (Cu, Zn, Pb, Sn), редких (Mo, Bi) металлов и металлоидов (As, Sb, Se, Te) [2]. При этом многие из них классифицируются как месторождения.

Определенной металлогенической специализацией обладают практически все геологические комплексы Южных Курил (ЮК). В зеленотуфовых палеоценовых эффузивно-пирокластических накоплениях размещены гидротермально-метасоматические и эксгальационно-осадочные залежи типа «куроко». К подобным проявлениям примыкают собственно полиметаллические и олово-полиметаллические [2]. Среди зеленотуфовых отложений размещено комплексное оруденение Прасоловского узла (о. Кунашир). Оно ассоциирует с габбро-плагиогранитными интрузивами олигоцена. Жильно-прожилково-метасоматические зоны содержат от Au-касситерит-кварцевого до Au-адуляр-карбонат-кварцевого оруденения [3]. В рудных зонах сложного сульфидно-селенидно-теллуридного состава обнаружены высокоиндиевый (до 1,5% In) сфалерит и гипогенный рокезит (CuInS_2). С экстрезивными, субвулканическими, интрузивными телами дацит-риолитового состава, размещенными среди эффузивно-пирокластических миоценовых,

позднемиоцен-плиоценовых накоплений ассоциируют барит-колчеданно-полиметаллические, Au-алунит(гетит)-кварцевые, Au-адуляр(карбонат)-кварцевые проявления Северянской части Прасоловского узла. Позднеплиоценовые андезито-базальты также содержат Au, Ag-сульфосольно-кварцевую минерализацию [2].

На о. Итуруп и Уруп специализированными на благородные металлы считаются позднемиоцен-плейстоценовые магматиты кислого состава. Здесь известно несколько потенциальных рудных полей с кварц-колчеданной, полиметаллической (с Au), сульфосольно-сульфидной, сульфидно-сульфоарсенидной и убогосульфидной золото-серебряной минерализацией [2].

В дополнение к перечисленным «традиционным» на ЮК выявлены и, казалось бы, нетрадиционные для островных дуг проявления благородных металлов, включая, кроме Au и Ag, элементы платиновой группы (ЭПГ), рений, а также Cd и Ge. В 1975–1978 гг. на о. Кунашир среди производных наземной деятельности современных андезит-базальтовых вулканов Менделеева и Головнина было установлено присутствие ЭПГ и Au [4]. Повышенные содержания этих металлов обнаружены на периферии названных вулканов среди гидросольфатар (с самородной серой), парогидротерм, донных фумарол и грязевых котлов с горячей водой, подвергающихся воздействию вулканических газов. Первооткрывателями нетрадиционного минерального сырья были А.И. Збруев, Л.В. Разин и В.И. Федорченко [4]. Они посчитали вышеперечисленные производные вулканизма перспективными природными минерально-сырьевыми объектами нового нетрадиционного типа.

Несколько позднее на ЮК было сделано еще одно открытие – рениевой минерализации у вулкана Кудрявый на о. Итуруп [1, 2]. Сотрудники московских институтов РАН обратили здесь внимание на действующие более 100 лет в кальдере Медвежьей высокотемпературные (до 940°C) газовые струи. При их опробовании был установлен широкий спектр присутствующих элементов (In, Ge, Tl, Sn, W, Cd, Se, Mo, Au, Pt и Pd), главным из которых оказался Re (рис. 1). Последующие ревизионные работы подтвердили существование подобной (с Re) минерализации и на других проявлениях эндогенного оруденения КОС, но преимущественно на ЮК [2].

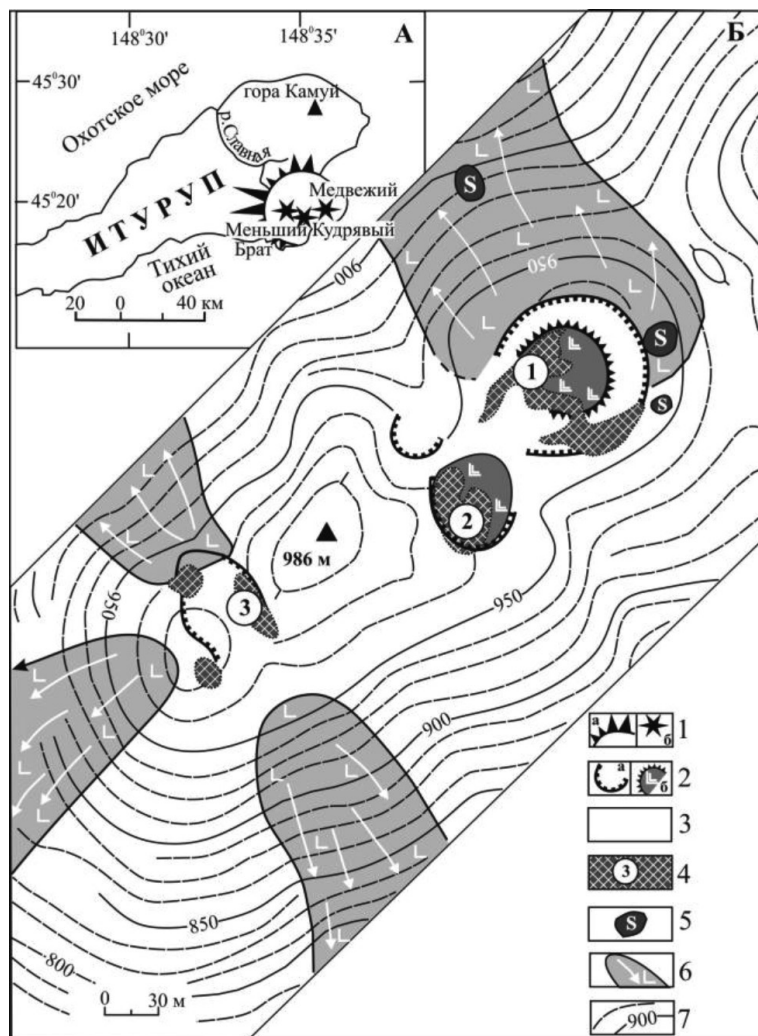


Рис. 1. Схема строения древней соммы вулкана Кудрявый (А) и его прикратерной части на о. Итуруп (Б). По [2] с изменениями. 1 – древняя сомма (а) с внутрикальдерными юными конусами (б); 2 – сохранившиеся гребни кратеров (а) и современные внутрикальдерные базальт-андезибазальтовые экструзивные и лавовые купола (б); 3 – верхнечетвертичные базальт-андезитовые покровы; 4 – фуморольные поля, ассоциирующие с экструзивными (1, 2) и лавовыми (3) куполами: 1 – Главное высокотемпературное (T до 940°C), 2 – Центральное (Рениевое, T до 550°C), 3 – Западное (T до 200°C); 5 – серные руды; 6 – направление течения новейших лавовых базальт-андезибазальтовых потоков со свалами серных руд; 7 – изогипсы рельефа

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ геолого-металлогенического своеобразия Кунашир-Урупского звена с позиций вероятного влияния глубинной геодинамики на возникновение здесь своеобразной («нетрадиционной») минерализации потребовал изучения результатов дистанционной регистрации сейсмических событий, имевших место в Курило-Камчатской фокальной зоне с 1973 г. Оказалось, что за 45-летний период здесь зафиксировано более 7000 землетрясений. Их гипо-

центры находились глубже 50 км, часто достигая 600–700 км (сайт USGS). При этом сейсмофокальный слой (мощность около 75 км) и сопряженная с ним сейсмофокальная зона имеют литрическую морфологию [5] при среднем угле погружения 45° . Подтвердились и прежние представления о разных углах простирания и погружения северной (Симушир-Парамуширской) и южной (Кунашир-Урупской) частей КОС. Северная, простираясь по азимуту СВ 40° , погружается под более крутым (50°) углом, чем южная, ориентированная СВ 55° с углом падения 38° [5]. Отмеченные гео-

динамические различия подтверждаются и разным положением Южных и Северных Курил к вектору движения (290°) Тихоокеанской плиты (ТП). В северной части КОС ТП приближается к желобу почти ортогонально (угол $>70^\circ$), а у ЮК – под углом около 55° . Это обстоятельство обеспечило косое взаимодействие Охотоморской и Тихоокеанской плит, сопровождавшееся увеличением сдвиговой компоненты на юж-

ном фланге КОС (рис. 2), что кардинально отразилось на распределении напряжений в Кунашир-Урупской её части. Из расшифровок фокальных механизмов почти 700 наиболее сильных землетрясений ($M \geq 5$) следует, что в СФЗ преобладают разрывы типа взбросов, взбросо-сдвигов ССВ ориентации. Значительно реже проявлены разноориентированные, но в основном пологие сбросы.

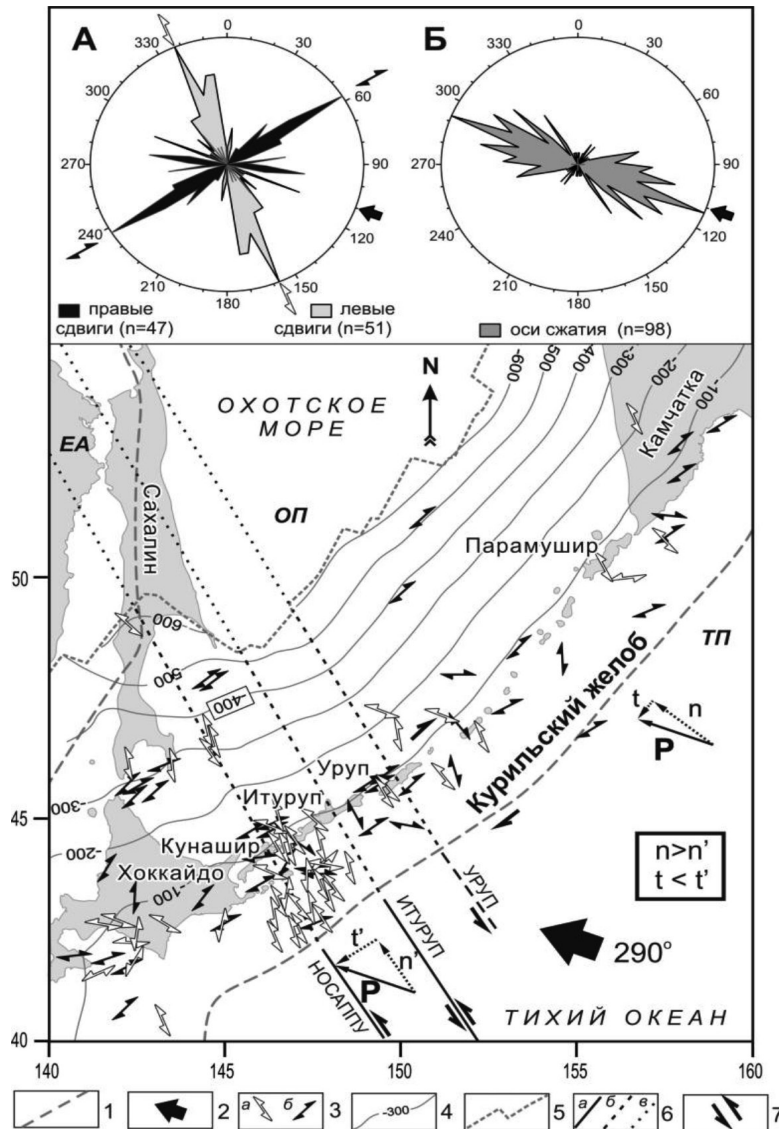


Рис. 2. Распределение доминант сдвиговых смещений у Курильской островодужной системы (землетрясения 1977–2010 гг.) в зоне субдукции ($40\text{--}55^\circ$ с.ш., $140\text{--}160^\circ$ в.д.) Тихоокеанской плиты, с розами-диаграммами простираний: левых и правых сдвигов (А) и осей сжатия (Б). 1 – границы плит: Евразийской (ЕА), Охотской (ОП), Тихоокеанской (ТП); 2 – направление движения ТП; 3 – левые (а) и правые (б) сдвиги; 4–5 – изолинии глубин (км) кровли субдуцирующего слэба (4) и проекция его нижней границы (5) [5]; 6 – разломные зоны трансформного типа (РЗТТ: Носаппу, Итуруп, Уруп) [6]: на океанском дне (а), в зоне субдукции (б), в зоне стагнации (в); 7 – направление главных сдвиговых смещений: правые сдвиги вдоль островодужной системы и левые сдвиги вдоль РЗТТ. Буквенные обозначения – Р, n, t: Р – вектор движения ТП (290°), n, n' – нормальные и t, t' – тангенциальные составляющие по отношению к желобу для Северного и Южного звеньев КОС

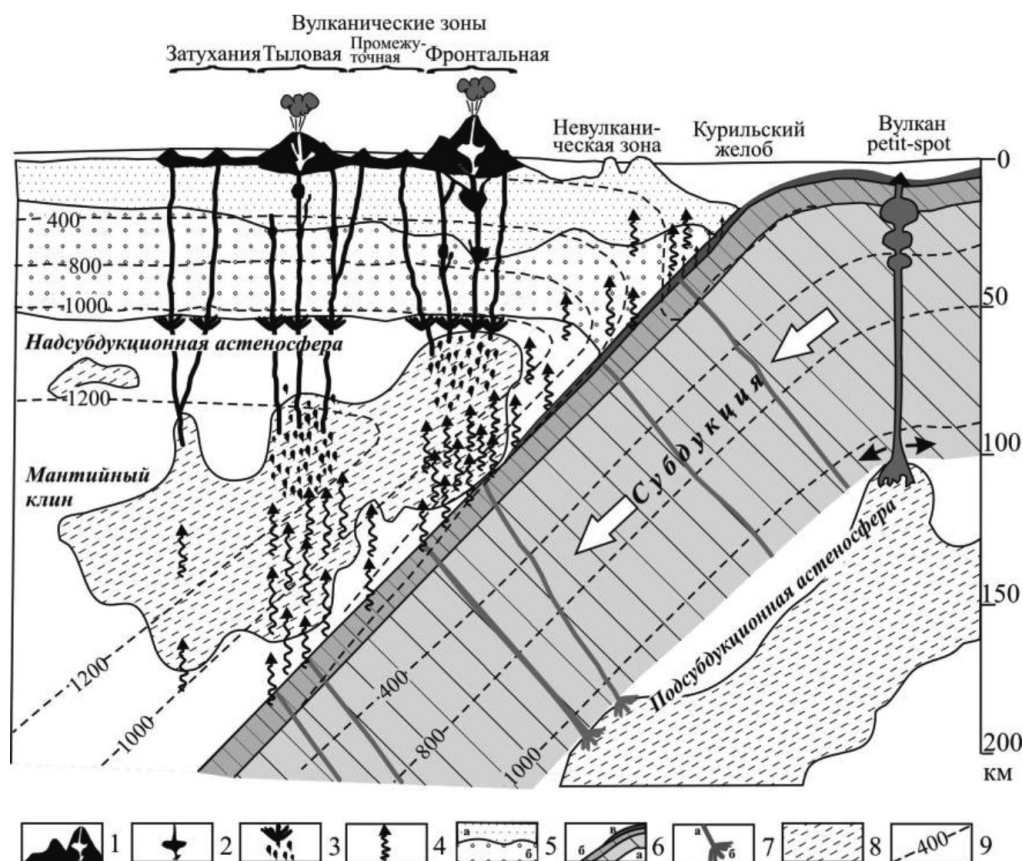


Рис. 3. Модель формирования рудно-магматических систем южного фланга Курильской островодужной системы. По [3, 5] с изменениями и дополнениями. 1 – вулканы и вулканические породы; 2 – равноуровневые магматические очаги и каналы подъема магм в литосфере; 3 – зоны капельно-жидкого маглообразования в надсубдукционной астеносфере; 4 – флюидно-тепловые потоки аномальных участков мантийного клина; 5 – континентальная кора (а) и литосфера (б); 6 – океанические: литосфера (а), кора (б) и пелагический осадочный слой (в); 7 – участки сосредоточения (а) и каналы миграции (б) флюидно-тепловых потоков из подсубдукционной астеносферы; 8 – аномалии пониженных скоростей V_p [5]; 9 – изотермы, $^{\circ}\text{C}$

Последующим анализом распределения очагов сдвигового типа с пологими ($0-30^{\circ}$) сместителями разной ориентации в плоскости разрывов и с крутонаклонными ($40-90^{\circ}$) падениями средних осей деформаций установлено, что до глубин 200 км преобладают правые сдвиги, с преимущественным простиранием СВ $50-60^{\circ}$ (то есть вдоль КОС). Левые же сдвиги, сосредоточенные на южном фланге системы, прослеживаются по зоне субдукции до глубин в 680 км, где располагается нижняя граница транзитной зоны мантии [5]. Очевидно, такая их ориентация обусловлена вышеупомянутым косым взаимодействием плит. Аномальная насыщенность этого фланга левыми сдвигами, вероятно, обусловлена существованием нарушений СЗ простирающихся и в погружающемся океанском слэбе,

принадлежащем ТП (рис. 3). В виде субпараллельных разломных зон трансформного типа (РЗТТ) Носаппу (Тускарора), Итуруп, а также и менее выраженной Уруп, они примыкают к ЮВ фрагменту Курило-Камчатского желоба [6]. Здесь, только по РЗ Носаппу, амплитуда левосторонних смещений составляет почти 150 км. Вышепоименованные РЗТТ в целом прослеживаются более чем на 1000 км к юго-востоку от этого желоба до возвышенности Шатского. Они возникли в поздней юре – раннем мелу в качестве трансформных типа хребет-хребет. По локальным сместителям, крылья которых маркируются линиями прямой и обратной намагниченности и в настоящий период фиксируются СЗ ($330-340^{\circ}$) тектонические, преимущественно левосторонние смещения. Отчетливее всего они проявляются око-

ло океанского края глубоководного желоба, где изгибается ТП. Именно здесь, около о. Шикотан у этого изгиба и сосредоточены современные (1964–1980 гг.) гипоцентры землетрясений.

На площади некоторых фрагментов ТП, примыкающих к рассматриваемому желобу, разделенных РЗТТ Носаппу, Итуруп, Уруп, на океанском дне обнаружены особые *petit-spot* вулканы из высокощелочных базальтов и шохонитов. Их Ar/Ag датировки возраста находятся в диапазоне 0,05 – 1,0 – 8,5 Ма [7]. Японские ученые связывают возникновение таких «малообъемных» (до 1 куб. км) вулканов с деформациями краевой части ТП у желоба и астеносферным (подсубдукционным) источником флюидов и магм.

Заключение

Наличие в РЗТТ участков сосдвигово-го растяжения обеспечило формирование в океанской литосфере каналов для проникновения флюидно-энергетических потоков из подсубдукционной астеносферы в надсубдукционный мантийный клин и надсубдукционную астеносферу. Последующее продвижение потоков в Охотоморскую литосферу и земную кору обусловило формирование разноглубинных магматических очагов, обеспечивших при их миграции развитие процессов вулканизма и специфического рений-платиноидно-золотого рудогенеза.

Список литературы / References

1. Хомич В.Г., Борискина Н.Г., Касаткин С.А. Феномен Кунашир-Урупского звена Курильской островодужной системы: геодинамика и минерогения // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Материалы IV Всероссийской конференции

с международным участием (г. Владивосток, 17–23 сентября 2018 г.). Владивосток: Дальнаука, 2018. С. 307–310.

Khomich V.G., Boriskina N.G., Kasatkin S.A. The phenomenon of Kunashir-Urup chain of the Kuril island-arc system: geodynamics and minerageny // *Geologicheskiye protsessy v obstanovkakh subduksii, kollizii i skol'zheniya litosferykh плит: Materialy IV Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* (g. Vladivostok, 17–23 sentyabrya 2018 g.). Vladivostok: Dal'nauka, 2018. P. 307–310 (in Russian).

2. Данченко В.Я. Геологическое положение и вещественно-генетические типы оруденений редких и благородных металлов в Южно-Охотском регионе Тихоокеанского обрамления. Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики Сахалинского научного центра ДВО РАН, 2003. 227 с.

Danchenko V.Ya. Geological position and material-genetic types of mineralizations of rare and precious metals in the South-Okhotsk region of the Pacific rim. *Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN*, 2003. 227 p. (in Russian).

3. Khomich V.G., Boriskina N.G., Kasatkin S.A. Geology, magmatism, metallogeny, and geodynamics of the South Kuril Islands. *Ore Geology Reviews*. 2019. vol. 105. P. 151–162. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.12.015.

4. Разин Л.В. Современная вулканогенная платиновая металлоносность и золотоносность на острове Кунашир, генетически связанная с молодым андезит-базальтовым вулканизмом Большой Курильской гряды // В кн. Платина России. Сборник научных трудов. Т. VII. Красноярск, 2011. С. 476–493.

Razin L.V. Recent volcano genesis platinum and gold bearing mineralisation on Kunashyr Island related to young andesite-basalt volcanism of Great Kurilian Bank // In: *Platinum of Russia. Collection of transactions*. Vol. VII. Krasnoyarsk, 2011. P. 476–493 (in Russian).

5. Кулаков И.Ю., Добрецов Н.Л., Бушенкова Н.А., Яковлев А.В. Форма слэбов в зонах субдукции под Курило-Камчатской и Алеутской дугами по данным региональной томографии // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 6. С. 830–851.

Kulakov I.Yu., Dobretsov N.L., Bushenkova N.A., Yakovlev A.V. Slab shape in subduction zones beneath the Kurile-Kamchatka and Aleutian arcs based on regional tomography results // *Russian geology and geophysics*. 2011. V. 52. № 6. P. 650–667. DOI: 10.1016/j.rgg.2011.05.008.

6. Norton I.O. Speculations on Cretaceous tectonic history of the northwest Pacific and a tectonic origin for the Hawaii hotspot. *Special Paper of the Geological Society of America*. 2007. vol. 430. P. 451–470.

7. Hirano N. Petit-spot volcanism: A new type of volcanic zone discovered near a trench. *Geochemical Journal*. 2011. vol. 45. P. 157–167.