УДК [553.078+551.242.22.03]+(571.645)

DOI: 10.31431/1816-5524-2019-3-43-38-51

ГЛУБИННАЯ ГЕОДИНАМИКА И ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГЕНИИ КУНАШИР-УРУПСКОГО ЗВЕНА КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВОДУЖНОЙ СИСТЕМЫ

© 2019 Н.Г. Борискина, С.А. Касаткин, В.Г. Хомич

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия, 690022; e-mail: khomich79@mail.ru

Кунашир-Урупское (южное) звено Курильской островодужной системы отличается от Симушир-Парамуширского (северного), ориентацией относительно вектора движения субдуцирующей Тихоокеанской мегаплиты, насыщенностью вулканами и разнотипными (Au, Ag, PGE, Re, In, Sn, Cu, Zn, Pb и др.) проявлениями эндогенной минерализации. Еще одна особенность южного звена Курил – расположенность на северо-западном продолжении глубинных долгоживущих разломных зон трансформного типа, известных на океанском склоне Курильского желоба. Значительная (>1000 км) протяженность, большая (~100 км) глубина проникновения, продолжительная (J-Q) активность, сдвиговый тип движений обеспечили возможность миграции по таким зонам флюидно-энергетических потоков из подсубдукционной астеносферы. Последующее продвижение потоков через сейсмофокальную зону, мантийный клин в надсубдукционную астеносферу и субконтинентальную литосферу сопровождалось развитием метасоматоза, формированием первичных магматических резервуаров, а в земной коре Курильской системы — промежуточных и периферических очагов, развитием вулканизма и рудогенеза. Синтез данных по металлогении и геодинамике Кунашир-Урупского звена Курильской островодужной системы позволяет оценивать его в качестве естественного феномена, предназначенного природой для изучения геологических проблем и освоения недр.

Ключевые слова: глубинная геодинамика, подсубдукционные, надсубдукционные флюидно-энергетические потоки, металлогения.

ВВЕДЕНИЕ

У континентальных окраин Азии размещена гирлянда островодужных систем. Они пространственно сопряжены с глубоководными желобами. сейсмофокальными зонами (СФЗ), активными центрами современного вулканизма. Общеизвестная характеристика таких систем за последнюю четверть века дополняется сведениями о значительной насыщенности некоторых островных дуг коренными месторождениями не только традиционного, но и специфического редко-и благороднометального (Au+PGE, Re, In) сырья. Так в южной части Курильской островодужной системы (КОС) выявлены платиноидные, редкометальные и редкоземельные проявления эндогенного оруденения, сопряженые с центрами современного вулканизма (Дистлер и др., 2008; Знаменский и др., 1993; Коваленкер и др., 1993; Разин, 2011).

Наличие специфических проявлений рудной минерализации допускает правомерность выделения Кунашир-Урупского звена Курильской островодужной системы в качестве феномена, заслуживающего особого внимания ученых и технологов. Обсудить его металлогеническую специфику представляется возможным под ракурсом мало исследованного влияния глубинной геодинамики на формирование местных рудно-магматических систем (РМС) путем комплексного анализа и последующего синтеза геолого-геофизических, сейсмотомографических, геохронологических и минералогических доступных опубликованных данных, содержащих разностроннюю информацию об этой части Большой Курильской гряды (БКГ).

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КУНАШИР-УРУПСКОГО ЗВЕНА КУРИЛЬСКОЙ ОСТРОВОДУЖНОЙ СИСТЕМЫ

Протяженность КОС составляет 1175 км. Она состоит из двух субпараллельных гряд островов: Большой и Малой, разобщенных Срединно-Курильским прогибом (рис. 1). Проливом Буссоль





Fig. 1. Structural and geomorphological section (a) and scheme (δ) of the Kuril island-arc system (Sergeev, 1985), with some modifications.

и одноименным каньонообразным трогом глубокого заложения БКГ разделена на две примерно равные части: Кунашир-Урупскую, включая Броутонскую зону (Южную, простирание 55°) и Симушир-Парамуширскую (Северную, простирание 40°).

Из более чем 200 вулканов, известных в КОС, примерно половина относится к субаэральным (Авдейко и др., 2006). Из числа наземных более половины сосредоточены в Кунашир-Урупском звене (рис. 2).

Мощность земной коры КОС колеблется в диапазоне 25–40 км. Под островами БКГ она достигает 35–40 км, сокращаясь до 30–35 под приостровным склоном глубоководного желоба и Малой Курильской грядой (МКГ). Восточнее желоба и под Южно-Охотской (Курильской) котловиной она не превышает 15–20 км (Злобин, Злобина, 1991).

Магнитное поле Δ Та КОС и ее обрамления обладает рядом особенностей. Курильская глубоководная котловина и БКГ характеризуются общим отрицательным фоном, усложняемым локальными полями наземных и подводных вулканических построек (Подводный ..., 1992). Для Тихоокеанской мегаплиты свойственно неоднородное поле: возле ЮК проявлены полосовые прямо- и обратно намагниченные аномалии второго слоя океанской коры. Такие аномалии СВ простирания фиксируются вплоть до островного склона желоба. На участке сопряжения звеньев КОС расположена субширотная отрицательная аномалия магнитного поля. Она обладает и пониженными значениями поля силы тяжести (Злобин, Злобина, 1991).

На океанской плите у ЮК выявлено несколько разломов трансформного типа (рис. 3). Они зафиксированы СЗ линейными положительными магнитными аномалиями ∆Та, «пересекающими» участки и спокойного поля, и с полосовыми аномалиями разного знака (Norton, 2007).

Для желоба, МКГ и хребта Витязь характерны сейсмичность и минимальные значения теплового потока (Пущаровский, 1992; Kasahara et al., 1997). Напротив, БКГ обладает максимальным тепловым потоком и минимальной сейсмичностью. Инверсия температур присуща КОС в целом. Высокая контрастность теплового потока свойственна Южно-Охотской котловине (Сергеев, Красный, 1987). Ее связывают с пододвиганием холодной Тихоокеанской плиты под Охотскую субконтинентальную.

Островам БКГ свойственно горст-антиклинорное строение с периклинальным залеганием (угол падения до 30–40°) стратифицированных накоплений и поверхностей выравнивания у морских побережий. Оно усложняется в периферических частях отдельных вулканоструктур и в зонах крупных разломов, имеющих, как и многие дайки преимущественно 3C3 (290–330°) и CB (40–55°) простирания (Пискунов, 1987; Федорченко и др., 1989).

В структуре КОС различают доолигоценовый (поздний мел — ранний палеоген) фундамент



Рис. 2. Линейная насыщенность вулканическими центрами Курильской островной дуги. По (Авдейко и др., 2006; Подводный ..., 1992;) с уточнениями: *1* – дуга в целом; *2*–*3* – зоны: *2* – фронтальная, *3* – тыловая. А₁, А₂, А₃, А₄ – вулканические участки тыловой зоны.

Fig. 2. Linear accumulation of volcanic centers in the Kuril island-arc (Avdeiko et al., 2006; Underwater...1992): $1 - \arctan A_1$, A_2 , A_3 , $A_4 -$ volcanic zones of the back zone.



Рис. 3. Схема размещения крупных разломных зон трансформного типа в северо-западной части Тихоокеанской мегаплиты. По (Norton, 2007). Тонкие светлые полосы — линии прямой и обратной намагниченности второго слоя океанической коры.

Fig. 3. Layout of large transform fault zones in the northern Pacific. After (Norton, 2007). The thin light lines denote the direct and inverse magnetization of the second layer in the oceanic crust.

и несогласно его перекрывающий олигоценнеоген-четвертичный островодужный этаж из нескольких стратифицированных комплексов (Говоров, 2002; Пискунов, 1987; Федорченко и др., 1989;). Проявленные на островах БКГ производные более молодого олигоцен-неогенчетвертичного «островодужного» вулканизма, обладают сложной структурой и неоднородностью вещественного состава. По результатам многолетних детальных литолого-структурных исследований в нем выделено четыре компекса: зеленотуфовый, вулканогенно-кремнисто-диатомитовый (пемзово-игнимбритовый), базальтоидный и андезитовый (Пискунов, 1975, 1987). В базальтоидном комплексе присутствуют не только заведомо четвертичные вулканические накопления, но также и субаэральные существенно лавовые плейстоценовые образования (Федорченко и др., 1989). На юге БКГ зеленотуфовые образования представлены полным набором пород дифференцированной андезитовой формации: от базальтов и андезито-базальтов до андезитов, дацитов и риолитов.

Считается, что условия магмообразования под Кунашир-Урупским звеном были более благоприятны, чем под Симушир-Парамуширским — наименее удаленным от вулканического фронта (Подводный ..., 1992). Крупные (до 60-70 км²) относительно изометричные интрузивные массивы габбро-плагиогранитов (Валентиновский, Прасоловский), размещенные среди накоплений зеленотуфового комплекса, характеризуются значительной фациальной изменчивостью, которая свойственна в основном интрузивам южного звена БКГ. Его массивы, обладая порфировидностью, имеют лейкократовый облик и невысокие количества кварца, калиевого полевого шпата и биотита.

Гипабиссальные, субвулканические тела (до 4–7 км²) на ЮК имеют преимущественно умеренно-кислый состав. На участках массового распространения лавопирокластических отложений и крупных субвулканических, экструзивных тел, в последних прекрасно выражена столбчатая отдельность. Субвулканические тела часто представлены дайками относительно хорошо раскристаллизованых диоритовых порфиритов (Пискунов, 1987; Федорченко и др., 1989). Здесь же среди плиоценовых отложений широко распространены мелкие дацитовые и риолитовые экструзии (не связанные с центральными стратовулканами). Размеры таких экструзий, сопряженных с лавовыми потоками, 200-300 м².

Продукты извержений плейстоцен-голоценовых вулканов в виде лавопирокластических полей, занимая до 60% площади островов, представлены многими разностями пород: от базальтов до дацитов и риолитов, но преобладают двупироксеновые андезибазальты и андезиты (Пискунов, 1987; Федорченко и др., 1989). На их долю приходится до 70-80 % объема упомянутых полей. Для вулканов кальдерного типа характерна бимодальность состава из ранних андезибазальтов и поздней гибридной (дацитовой) пирокластики.

ГЕОДИНАМИКА

В Курило-Камчатской фокальной зоне за продолжительный (с 1973 г.) период дистанционной регистрации сейсмических событий зафиксировано более 7000 землятресений, гипоцентры которых расположены глубже 50 км. Часто они достигают глубины в 600-700 км (сайт Геологической службы США — United States Geological Survey (USGS)). Мощность сейсмоактивного слоя сейсмофокальной зоны (СФЗ) составляет около 75 км (Подводный ..., 1992). Ее средний угол погружения равен 45°. При этом северная Симушир-Парамуширская часть, простираясь по азимуту CB 40°, имеет более крутой угол падения — 50°, чем южная Кунашир-Урупская, с углом падения 38° и простиранием СВ 55° (Кулаков и др., 2011; Федорченко и др., 1989;).

Существенное геодинамическое различие между Кунашир-Урупским и Симушир-Парамуширским звеньями заключается в их неодинаковой ориентации к вектору движения (290°) Тихоокеанской плиты (ТП). В северной части островной дуги плита приближается к желобу почти ортогонально (угол >70°), а в южной — под углом примерно 55°. Это обеспечивает косое взаимодействие океанической и континентальной плит с увеличением сдвиговой составляющей на южном фланге БКГ (рис. 4), что кардинально влияет на распределение напряжений на южном отрезке дуги.

Данные расшифровок фокальных механизмов наиболее сильных землетрясений (M≥5), содержат, прежде всего, ориентировки главных нодальных плоскостей разрывов с направлением (типом) смещений, а также пространственные положения осей сжатия – растяжения и средней оси деформаций в очаге землетрясения. Анализ почти 700 таких расшифровок в интервале глубин 50-700 км показал, что в СФЗ преобладающими типами смещений являются взбросы, взбросо-сдвиги ССВ простирания и (реже) пологие разноориентированные сбросы (Касаткин, 2012). Исследованием распределения очагов сдвигового типа — с крутонаклонными (40-90°) погружениями средних осей деформаций и пологими (0-30°) лево- и правосторонними смещениями в плоскости разрыва установлено, что правые сдвиги распространены



Рис. 4. Распределение очагов землетрясений (1977–2010 гг.) в Курильской островодужной системе с доминантой сдвиговых смещений в пределах зоны субдукции Тихоокеанской плиты (40–55° с.ш, 140–160° в.д.) и соответствующие им розы-диаграммы простираний: левых и правых сдвигов (*a*) и осей сжатия (*б*) по (Касаткин, 2012) с дополнениями: *1* – направление движения Тихоокеанской плиты; *2* – левые (а) и правые (*б*) сдвиги; *3*–*4* – зона субдукции: изолинии кровли слэба, в км (*3*) и ее нижняя граница (*4*) по (Кулаков и др., 2011); *5* – сместители разломных зон Носаппу, Итуруп и Уруп: на поверхности плиты (*a*), в зоне субдукции (*б*) и стагнации (*b*). Р – вектор движения (290°) Тихоокеанский плиты, **n**, **n**' – нормальные и **t**, **t'** – тангенциальные компоненты для Симушир-Парамуширского и Кунашир-Урупского звеньев соответственно.

Fig. 4. Distribution of strike-slip fault earthquakes (1977–2010) within the subduction zone of the Pacific Plate $(40^{\circ}-55^{\circ} \text{ N}, 140^{\circ}-160^{\circ} \text{ E})$ with corresponding rose-diagrams of strikes for sinistral and dextral faults (*a*) and compression axes (*b*) (Kasatkin, 2012) with additions. *1* – the movement of the Pacific Plate; *2* – Sinistral (*a*) and dextral (*b*) faults; *3*–*4* – subduction zone (Kulakov et al., 2011): *3* – contour lines of the roof (depth (km)), *4* – slab lower border; *5* – fault planes of NFZ, IFZ and UFZ: on the plate surface (*a*), assumed ones in (*b*) subduction and (*b*) stagnation zones. **P** – the motion vector (2900) of the Pacific Plate, **n** – normal and **t** – tangential components for the Simushir-Paramishir chain, **n**' – normal and **t**' – tangential components for the Kunashir-Urup chain.

ВЕСТНИК КРАУНЦ. НАУКИ О ЗЕМЛЕ. 2019. № 3. ВЫПУСК 43

БОРИСКИНА и др.

преимущественно до глубин в 200 км. При этом доминанта их простирания вдоль БКГ (рис. 4, диаграмма a, CB 50–60°) обусловлена на ЮК косым взаимодействием Тихоокеанской и суб-континентальной Охотской плит.

Подавляющее большинство левых сдвигов сосредоточено на юге БКГ. Они прослеживаются в ЗСЗ направлении по зоне субдукции до глубины 680 км (рис. 4), то есть фактически до ниж-

ней границы транзитной зоны мантии (Кулаков и др., 2011). Повышенная насыщенность левыми сдвигами предопределена, по нашему мнению, существованием в погружающейся части Тихоокеанской плиты трансформных разломов СЗ ориентации (рис. 5). Эти нарушения в виде субпараллельных разломных зон (РЗ), названных японскими учеными Носаппу, Итуруп (Nakanishi et al., 1989), а также и менее выраженной Уруп,



Рис. 5. Схема эндогенной минерагении островов Кунашир-Урупского звена БКГ. По (Данченко, 2003; Данченко и др., 1999) с изменениями и дополнениями: *1*–2 — четвертичные и неогеновые отложения: *1* — осадочные, *2* — вулканогенные; *3* — интрузивные, субвулканические и экструзивные тела; *4* — современные вулканы; *5* — вулкано-тектонические сооружения; *6* — разломы; *7*–*13* — проявления комплексного эндогенного (гидротермально-метасоматического) оруденения: *7* — Аи-алунитового, *8* — Аи-адулярового, *9* — Аи-сульфосольного; *10* — Аи-Ад, *11* — Аи-Se-Te; *12–13* — стратиформные проявления: *12* — Аи-Васульфидного, *13* — Аи-полиметаллического.

Fig. 5. The scheme of endogenous minerageny of the Kunashir-Urup chain in the Greater Kuril Range (Danchenko. 2003; Danchenko et al., 1999) with modifications and additions. 1-2 — Quaternary and Neocene sediments: 1 — sedimentary, 2 — volcanogenic; 3 — intrusive, subvolcanic and extrusive bodies; 4 — modern volcanoes; 5 — volcano-tectonic structures; 6 — faults; 7-13 — manifestations of endogenous (hydrothermal-metasomatic) mineralization: 7 — Au-alunite, 8 — Au-adular, 9 — Au-sulphosalt; 10 — Au-Ag, 11 — Au-Se-Te; 12-13 — stratiform manifestations: 12 — Au-Ba-sulphide, 13 — Au-polymetallic.

примыкают к юго-восточному флангу Курильского желоба (рис. 5). Суммарная амплитуда левосторонних смещений только по РЗ Носаппу составляет около 150 км (Ogawa, Hirano, 2003). Названные РЗ прослеживаются от окраины возвышенности Шатского до Курильского желоба на расстоянии более 1000 км (рис. 3). Как трансформные (типа хребет-хребет), они возникли в поздней юре-раннем мелу (Kasahara et al., 1997; Nakanishi, 1993; Nakanishi et al., 1989). По их частным сместителям и в настоящее время происходят тектонические подвижки с доминантой левосторонних смещений C3 (330-340°) простирания. Особенно отчетливо это проявляется на участках изгиба плиты у океанского края глубоководного желоба и у нижней границы транзитной зоны мантии. У одного из таких изгибов вблизи о. Шикотан в южнокурильской части желоба зафиксирована серия современных (1964-1980 гг.) землетрясений (Kasahara et al., 1997).

Поскольку такие землетрясения проявляются в связи с напряжениями растяжения местной зоны субдукции, постольку палеотектонические структуры (типа горстов и грабенов, а также упомянутых РЗ) океанской плиты выступают в качестве проницаемых зон (Сергеев, 1985; Kasahara et al., 1997).

МЕТАЛЛОГЕНИЯ

У некоторых вулканов южного звена БКГ более двух столетий известны не только термальные источники с сублимационными молибденит-серными месторождениями, но и множество дочетвертичных проявлений благородных (Au, Ag), цветных (Cu, Zn, Pb, Sn), редких (Mo, Bi) металлов и металлоидов (As, Sb, Se, Te). Многие из них имеют промышленную значимость (Данченко, 2003).

В последние десятилетия, в дополнение к перечисленным, выявлены атипичные проявления элементов платиновой группы (PGE) и таких редких металлов как Cd, In, Ge и Re (Быкова и др., 1995; Данченко, 1999, 2003; Данченко и др., 1999; Знаменский и др., 1993; Коваленкер и др., 1993; Коржинский и др., 1993; Разин, 2011; Chil-Sup So et al., 1995). Результаты изучения таких проявлений послужили и для авторов настоящей публикации основанием к выделению Кунашир-Урупского звена в качестве феномена, заслуживающего пристального внимания и тщательного комплексного изучения крупными интернациональными коллективами ученых разных специальностей (Хомич и др., 2018).

Интрузивно-вулканогенные комплексы ЮК имеют определенную минерагеническую специализацию. Для эффузивно-пирокластических образований зеленотуфового комплекса характерны стратиформные эксгаляционно-осадочные залежи и жильные гидротермально-метасоматические тела колчеданно-полиметаллических руд типа «куроко». Такие месторождения содержат в качестве полезных компонентов Zn и в меньших количествах Pb и Cu. К подобным проявлениям примыкают собственно полиметаллические, а к последним олово-полиметаллические (Данченко, 1991, 2003). В габбро-плагиогранитах, выявленных среди зеленотуфовых отложений, размещаются Au-Ag-Se-Te месторождения (Коваленкер и др., 1993).

С экструзивными, субвулканическими, интрузивными телами умеренно-кислого, кислого состава, размещенных среди пирокластических накоплений пемзово-игнимбритового комплекса и ореолами их интенсивных метасоматических преобразований, пространственно также ассоциируют многие проявления золото-серебряного, золото-оловянного оруденения (Данченко, 1991; Данченко, Мицук, 1987; Кириллов, Горошко, 2008). Значительная их часть сосредоточена в Прасолосовском узле, расположенном на охотском побережье о. Кунашир. В рудных полях узла выявлены медно-цинково-колчеданная, колчеданно-полиметаллическая минерализация и разнотипное благороднометальное оруденение (Данченко, 1991, 2003; Кемкина, Кемкин, 2007). Оно ассоциирует с крупными субвулканическими телами и дайками разного состава и сопровождается ореолами гидрослюдисто-серицит-кварцевых, аргиллизитовых, иных гидротермально-метасоматических преобразований. Жильно-прожилковые зоны содержат Аи-касситерит-кварцевое, Аи-полисульфидно-кварцевое, Аи-селениднотеллуридно-кварцевое, Аu-адуляр-карбонаткварцевое оруденение (Данченко, 1991; Кемкина, Кемкин, 2007).

Продолжительность формирования оруденения Прасоловского узла часто устанавливается прямыми наблюдениями пересечений ранних (Cu-Zn-колчеданных, барит-колчеданно-полиметаллических) залежей поздними (Au-Se-Teкварцевыми, Au-адуляр-кварцевыми жилами), а также перекрытием некоторых рудных тел позднеплиоценовыми лавовыми покровами базальтов (Данченко, 1991). При этом перекрываемые вторичные кварциты с Au-алунит(гетит)кварцевой минерализацией содержат вкрапленность самородной серы, сульфидов Fe, Cu, Ag, более поздние прожилки марказита с киноварью, а иногда и аурипигмента с реальгаром.

Для рудопроявлений и месторождений рассматриваемого узла характерна единая последовательность смены оксидных минеральных форм сульфидными, затем теллуридно-селенидными, самородными, интерметаллическими и, наконец, сульфатно-гидрооксидными (Данченко, 1991). Обозначенная последовательность фиксируется не только сменой во времени, но и в пространстве (от уровня моря до горизонта +400 м) золото-касситерит-кварцевой минерализации, золото-полисульфидно-кварцевой, затем золото-селенидно-теллуридно-кварцевой, золото-адуляр(карбонат)-кварцевой, наконец золото-алунит(гетит)-кварцевой. Отмеченная зональность подчеркивается пространственной сопряженностью первых трех типов оруденения с интрузивными, субвулканическими телами и дайками, а двух последних — с экструзивами и прижерловыми фациями.

На о. Уруп, как и на других островах южного звена, распространены ранее названные геологические комплексы (от зеленотуфового до базальтового и андезитового), вмещающие многофазные габбро-диорит-тоналит-плагиогранитные интрузивные массивы (площадью до 10-30 км²) и субвулканические тела сложного состава: от долеритов, андезибазальтов, кварцевых диоритовых порфиров до риодацитов (Данченко, 1991; Ковтунович и др., 2004; Пискунов, 1987). Специализированными на благородные металлы считаются магматиты кислого состава разного возраста (7.8±1.5 - 4.2±0,9; 6.6-4.7 Ма, К-Аг) (Буряк и др., 2002; Данченко, 1991; Кириллов, Горошко, 2008). Здесь выделяют несколько потенциальных рудных полей с кварц-колчеданной, полиметаллической (с Au), сульфосольно-сульфидной, сульфидно-сульфоарсенидной и убогосульфидной золото-серебряной минерализацией (Кириллов, Горошко, 2008). Оруденение экзоконтактов субвулканических тел и даек кислого состава сопряжено с ореолами гидрослюдисто-серицит-кварцевых, гидрослюдисто-хлорит-кварцевых вторичных кварцитов, окаймленных зонами каолинит-кварцевых метасоматитов и аргиллизитов. По восстанию во вторичных кварцитах появляются кварцевожильные с Аи тела. Еще выше они содержат гетит, алунит, гипс и самородную серу. К-Ar возраст гидротермально-метасоматических образований приходится на интервал 10.6-4.0 Ма (Кириллов, Горошко, 2008).

Кроме отмеченных традиционных для островных дуг проявлений эндогенного оруденения в Кушашир-Урупском звене обнаружена и атипичная минерализация. В 1975–1978 гг. В.И. Федорченко, А.И. Збруев и Л.В. Разин открыли на о. Кунашир среди производных современной наземной деятельности андезитбазальтовых вулканов Менделеева и Головнина нетрадиционное комплексное золото-платиноидное (РGE и Au) сырье (Разин, 2011). Специализированными гидро- и рудно-геохимическими исследованиями нескольких фумарольных полей по периферии вулканов, где распространены многочисленные гидросольфатары (с самородной серой), парогидротермы разной мощности, донные фумаролы и грязевые котлы с горячей водой, подвергающейся воздействию вулканических газов, а также крупных колчеданных залежей, установлены повышенные уровни содержаний благородных металлов (PGE+Au) в диапазоне от 0.342 до 0.58 г/т (Разин, 2011). Они представляются потенциально перспективными природными минерально-сырьевыми объектами нового типа.

Открытие рениевой минерализации в стационарных газовых струях вулкана Кудрявый (о. Итуруп) сделано сотрудниками РАН (Знаменский и др., 1993; Коржинский и др., 1993). В кальдере Медвежья, где находится этот вулкан, более 100 лет действуют высокотемпературные (до 940°С) струи (Ткаченко и др., 1992). Рудопроявление с Re (In, Ge, Tl, Cd, Se, Mo, Sn, W) минерализацией обладает признаками сходства с молибденит-серными проявлениями среди кратерно-озерных отложений местной кальдеры. Резкое до 10³ обогащение In, Cd, Zn и Cu обнаружено вокруг флюидопроводящих каналов вулкана Кудрявый среди измененных базальтов. В основании кальдеры Медвежья выявлены субвулканические тела и экструзии риодацитов (4.9±0.3 Ma) и базальт-андезитов (1.25±0.15 Ma), перекрытые пемзами, лавами и агломератами базальтов-андезитов с ксенолитами габбро-плагиогранитов (Данченко и др., 1999). Ксенолиты вероятно принадлежали местному погребенному интузивно-купольному поднятию.

Последующими ревизионными исследованиями многих неоген-четвертичных рудномагматических систем БКГ подтверждено, что подобная (с Re) минерализация распространена в эпитермальных Au-Ag, Cu и Cu-Zn-Pb (±As, Sb) объектах, но почти исключительно на о-вах Уруп, Итуруп и Кунашир (Данченко и др., 1999).

При изучении сульфидно-селенидно-теллуридной минерализации Прасоловского эпитермального Au-Ag месторождения (о-в Кунашир) было установлено присутствие в рудных телах не только высокоиндиевого (до 1.5% In) сфалерита, но и гипогенного рокезита (CuInS₂) в ассоциации с блеклыми рудами теннантит-тетраэдрит-голдфильдитового ряда (Коваленкер и др., 1993). Редкометальная, обогащенная In и Cd минерализация, экстремально формировалась на ЮК по крайней мере с позднего миоцена.

Примечательно, что во всех рудных полях, месторождениях и рудопроявлениях Кунашир-Урупского звена БКГ чаще других проявлены разрывные нарушения «курильского» (СВ 55°) и ортогонального к нему «сахалинского» (СЗ 290–330°) направлений.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Распространенность на ЮК проявлений колчеданно-полиметаллической и золото-серебряной минерализации, а также платиноидного, редкометального оруденения предопределены, по всей веротности, глубинной геодинамикой. Отметим, что по поводу неоднородности распределения левых и правых сдвигов вдоль дуги существуют и другие мнения (Злобин, Полец, 2010; Кожурин, 2013). А.И. Кожурин рассматривает сдвиги, главным образом, у поверхности о. Сахалин и Камчатки, а Злобиным Т.К и Полец А.Ю. проанализированы лишь мелкофокусные (до глубины 50 км) катастрофические землетрясения. Одним из авторов настоящей публикации изучены данные фокальных механизмов (очагов) сдвиговых землетрясений в пределах субдуцирующего слэба, то есть — глубинных. Это в целом более объективно отражает геодинамическую обстановку в КОС. Неоднородность простираний левых и правых сдвигов, отраженная на розе-диаграмме (рис. 4), свидетельствует, что сдвиговые землетрясения образуют сопряжённую систему, которая согласуется с простиранием главных осей максимальных сжимающих напряжений. А максимум последних (роза-диаграмма на рис. 4) соответствует направлению движения Тихоокеанской плиты. Если же данные Т.К. Злобина и А.Ю. Полец (2010) о катастрофических сдвиговых землетрясениях свести на розу-диаграмму, то получится весьма схожая с нашей картина.

В пользу приводимой авторами трактовки феномена Кунашир-Урупского звена КОС указывает присутствие к востоку от них крупных долгоживущих разломных зон Носаппу, Итуруп, Уруп трансформного типа и пространственно сопряженных с ними центров высокощелочного вулканизма, называемых японскими учеными «petit-spot» (Хомич и др., 2018; Ogawa, Hirano, 2003).

Вероятность участия горячей подсубдукционной астеносферы в формировании не только магматитов petit-spot, но и частичном плавлении базальтов и осадков океанической коры пододвигаемой океанской плиты, предполагает возможность нового сценария формирования РМС южного звена Курил. По этому сценарию поступление первичных флюидов для зарождения магматических очагов в континентальной литосфере и земной коре, последующего вулканизма и рудообразования проходило из подсубдукционной астеносферы. При этом дегидратация серпентина и талька в океанской астеносфере (Авдейко и др., 2006) могла быть, первичным источником воды, а попутно PGE, Re, In, Cd, Ag, Au и других элементов, то есть своего рода «спусковым крючком». Возникшие в подсубдукционной астеносфере флюидноэнергетические потоки, проникая по разломным зонам трансформного типа через океанскую литосферу и перемещаясь вверх, могли обогащаться перечисленными компонентами и за счет океанских осадков, сосредоточенных у СФЗ. Дальнейшая миграция потоков происходило через мантийный клин и надсубдукционную (подконтинентальную) астеносферу.

Характерная для высокотемпературных (605-940°С) газовых струй обогащенность 10¹-10⁴ широкой гаммой цветных, редких и драгоценных металлов, подчеркивает уникальное разнообразие элементов, поступавших в составе флюидно-энергетических потоков из обеих (под- и надсубдукционной) астеносфер. Известное геохимическое сходство Re (№ 75), Os (№ 76), Ir (№ 77) и Pt (№ 78), Au (№ 79) да и других PGE, обладающих к тому же близкими величинами ионных, атомных радиусов и потенциалами ионизации (Солодов, Семенов, 1997) указывает на природную обусловленность присутствия их на островах Кунашир-Урупского звена БКГ. Различия в динамике напряжений (растяжение-сжатие), присущие соответственно южному и северному звеньям КОС (Christensen, Ruff, 1988), хорошо согласуются с фактическими материалами, изложенными в предыдущих разделах, и могут быть учтены в усовершенствованной островодужной модели РМС (рис. 6). Выявление повышенных содержаний Pt, Re, Au и других элементов (Park et al., 2016) в конденсатах, возгонах и измененных дацитах подводного вулкана Миуатахи-Мотутахи (Miuatahi-Motutahi) (Северный фланг островной дуги Тонга) весьма убедительно подтверждает обоснованность предлагаемой авторами модели, учитывающей влияние на магмо- и рудообразующие процессы подокеанской астеносферы. Не противоречат упомянутой модели и данные о переносе Re, Au, Рt и других элементов газовыми струями вулкана Эрта Але (Эфиопия) (Zelenski et al., 2013), а также обогащенности золотом лав и возгонов Толбачиских вулканов (Камчатка) (Zelenski et al., 2016). В связи с этим авторы считают полезным и необходимым проведение специальных гидро- и рудно-геохимических исследований во всех камчатских центрах активного вулканизма (на востоке полуострова) для обнаружения здесь возможной рениевой и платинометальной минерализации. Тем более, что на Камчатке известны весьма крупные рудно-россыпные узлы PGE: Сейнав-Гальмоэнанский и др. (Сидоров и др., 2004). На Курилах по примеру Приамурья, Приморья, Филиппин, Тайваня, Камчатки (Плечов и др, 2017; Hedenquist et al., 1998; Sillitoe, 1989, 2010), желательно проведение поисково-оценочных работ для выявления, Аи-Си-Мо-порфирового



Рис. 6. Усовершенствованная модель формирования рудно-магматических систем Кунашир-Урупского звена БКГ. По (Авдейко и др., 2006; Кулаков и др., 2011) с дополнениями: 1 — подводящие каналы флюидов; 2 — разноуровневые очаги магм; 3 — участки генерации магм в надсубдукционном мантийном клине; 4 — направление миграции летучих компонентов над сейсмофокальной зоной; 5 — субконтинентальная литосфера: a — сиаль, δ — сима; δ — океаническая литосфера (a), кора (δ), пелагический осадочный слой (b); 7 — вулканы; 8 — аномалии скоростей сейсмических волн: a — повышенных, δ — пониженных; 9 — изотермы, С°.

Fig. 6. Improved formation model for ore-magmatic systems of the Kunashir-Urup chain in the Greater Kuril island-arc (Avdeiko et al., 2006; Koulakov et al., 2011) with additions 1 - fluid channels; 2 - magma chamber; 3 - zones of partial melting; 4 - fluid ascent pathways; 5 - continental crust (a), continental lithosphere (δ); 6 - oceanic lithosphere (a), crust (δ), sediments (a); 7 - volcanoes; 8 - speed anomalies: a - increased, $\delta -$ reduced; 9 - isotherms, C°.

оруденения, ассоциирующего с проявлениями Au-Ag минерализации. В пользу реальности такого предположения свидетельствует наличие и на восточной Камчатке (Озерновское), и на Курилах (Прасоловское, Купол) Au-Se-Teкварцевых месторождений (Демин, 2018; Кириллов, Горошко, 2008; Коваленкер и др., 1993; Хомич и др., 2018).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минерагеническая «аномальность» Кунашир-Урупского звена КОС обусловлена влиянием глубинной геодинамики. Она обеспечила воздействие на литосферу и земную кору флюидно-энергетических потоков подсубдукционной и надсубдукционной астеносферных зон. Из этого следует необходимость более пристального внимания к деталям строения тектоносферы и мантии под другими ВПП Тихоокеанского рудного пояса, где возможно существование ярусно расположенных астеносферных зон.

Список литературы [References]

Авдейко Г.П., Палуева А.А., Хлебородова О.А. Геодинамические условия вулканизма и магмообразования Курило-Камчатской островодужной системы // Петрология. 2006. Т. 14. № 3. С. 248–265 [Avdeiko G.P., Palueva A.A., Khleborodova O.A. Geodynamic conditions of volcanism and magma formation in the

ВЕСТНИК КРАУНЦ. НАУКИ О ЗЕМЛЕ. 2019. № 3. ВЫПУСК 43

Kurile-Kamchatka island-arc system // Petrology. 2006. V. 14. Iss. 3. P. 230–246. https://doi.org/10.1134/ S0869591106030027].

- Буряк В.А., Науменко Б.А., Роготнев Г.Н. Золото Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: Сахалинское книжное издательство, 2002. 82 с. [Buryak V.A., Naumenko B.A., Rogotnev G.N. Gold of Sakhalin and the Kuril Islands. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin Book Publishing House, 2002. 82 p. (in Russian)].
- Быкова Е.Ю., Знаменский В.С., Коваленкер В.А. идр. Ассоциации и условия отложения минералов молибдена в эксгаляционных продуктах вулкана Кудрявый, Итуруп, Курильские острова // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 3. С. 265–273 [*Bykova E.Yu., Znamensky V.S., Kovalenker V.A. et al.* Associations and conditions for the deposition of molybdenum minerals in the exhalation products of Kudryavyi Volcano, Iturup, the Kuril Islands // Geologiya rudnykh mestorozhdeniy. 1995. Т. 37. № 3. Р. 265–273 (in Russian)].
- Говоров Г.И. Фанерозойские магматические пояса и формирование структуры Охотоморского геоблока. Владивосток: Дальнаука, 2002. 198 с. [Govorov G.I. Fanerozoic magmatic belts and the formation of the structure of the Okhotsk sea geoblock. Vladivostok: Dal'nauka, 2002. 198 p. (in Russian)].
- Данченко В.Я. Соотношение золотой и золото-серебряной минерализации в складчато-блоковых структурах Восточного Сахалина // Соотношение разных типов оруденения вулкано-плутонических поясов Азиатско-Тихоокеанской зоны сочленения / Ред. В.Г. Хомич. Владивосток, ДВО АН СССР, 1991. С. 43–60 [Danchenko V.Ya. The ratio of gold and gold-silver mineralization in the fold-block structures of Eastern Sakhalin / The ratio of different types of mineralization of the volcano-plutonic belts of the Asia-Pacific joint zone / V.G. Khomich (Ed.). Vladivostok: DVO AN SSSR, 1991. P. 43–60 (in Russian)].
- Данченко В.Я. Редкие металлы в рудах Курильских островов. Южно-Сахалинск, ИМГиГ ДВО РАН, 1999. 88 с. [Danchenko V.Ya. Rare metals in the ores of the Kuril Islands. Yuzhno-Sahalinsk: IMGiG DVO RAN, 1999. 89 pp. (in Russian)].
- Данченко В.Я. Геологическое положение и вещественно-генетические типы оруденения редких и благородных металлов в Южно-Охотском регионе Тихоокеанского обрамления. Южно-Сахалинск, ИМГиГ Сах. научн. центра ДВО РАН. 2003. 227 с. [Danchenko V.Ya. Geological position and real-genetic types of mineralization of rare and noble metals in the South Okhotsk region of the Pacific Rim. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG Sakh. Scientific. Center of FEB RAS, 2003. 227 p. (in Russian)].
- Данченко В.Я., Рыбин А.В., Штейнберг Г.С. Рениеносная минерализация Курильских островов // Тихоокеанская геология. 1999. № 4. С. 85–98 [Danchenko V.Ya., Rybin A.V., Steinberg G.S. Rhenium mineralization of the Kuril Islands // Tikhookeanskaya geologiya. 1999. № 4. Р. 85–98 (in Russian)].
- Демин А.Г. Характерные особенности рудообразования с активным участием вулканических (первичных) и регенерированных газов и связанное с ними разнообразие минерально-сырьевого потенциала ряда молодых вулканогенно-гидротермальных месторождений активных вулканических поясов (на примере Озерновского

золоторудного месторождения) // Рациональное освоение недр. 2018. № 6. С. 30-52 [*Demin A.G.* Features of ore formation with the active participation of volcanic (primary) and regenerated gases and the diversity of the minerals potential of a number young volcanogenic-hydrothermal deposits of active volcanic belts (on the example of the Ozernovsky hardrock gold deposit // Ratsional'noye osvoyeniye nedr. 2018. № 6. P. 30-52 (in Russian)].

- Дистлер В.В., Диков Ю.П., Юдовская М.А. и др. Платино-хлор-фосфор-углеводородные комплексы в вулканических флюидах – первая находка в земной обстановке // Доклады академии наук. 2008. Т. 420. № 2. С. 217–220 [Distler V.V., Dikov Yu.P., Yudovskaya M.A. et al. Platinum-chlorinephosphorus-hydrocarbon complex in volcanic fluids: The first find in the terrestrial environment // Doklady Earth Sciences. 2008. V. 420. P. 628–631. https://doi. org/10.1134/S1028334X08040223].
- Злобин Т.К., Злобина Л.М. Строение земной коры Курильской островной системы // Тихоокеанская геология. 1991. № 4. С. 24–35 [*Zlobin T.K., Zlobina L.M.* The structure of the earth's crust of the Kuril island system // Geology of the Pacific ocean. 1991. № 6. Р. 24–35 (in Russian)].
- Злобин Т.К., Полец А.Ю. Исследования закономерностей распределения тектонических напряжений в Курило-Камчатской зоне // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. № 1. С. 36–54 [Zlobin *T.K., Polets A.Yu.* Investigations of regularities in distribution of tectonic stresses in the kuril-kamchatka zone // Geodynamics and tectonophysics. 2010. V. 1. № 1. Р. 36–54 (in Russian)].
- Знаменский В.С., Лапутина И.П., Таран Ю.А. и др. Рудоотложение из высокотемпературных газовых струй вулкана Кудрявый, о. Итуруп, Курильские острова // ДАН. 1993. Т. 333. № 2. С. 227–230 [Znamenskii V.S., Laputina I.P., Taran Yu.A. et al. The ore deposition from high-temperature gas jets of Kudryavy volcano, Iturup, the Kuril Islands // Doklady Earth Sciences. 1993. V. 333. P. 227–230 (in Russian)].
- Касаткин С.А. Современные сдвиговые дислокации в сейсмофокальной зоне Охотоморского региона и значение разломной зоны Носаппу в формировании Северо-Сахалинской нефтегазоносной области. В кн. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Под ред. А.О. Глико, Ю.Г. Леонов. Т. 2. М.: ИФЗ РАН, 2012. С. 309–312 [Kasatkin S.A. Modern shear dislocations in the seismic focal zone of the Okhotsk region and importance of the Nosappu fault zone in the formation of the North Sakhalin oil and gas region. In: Gliko A.O. and Leonov Yu.G (Eds.) Tectonophysics and topical issues of Earth sciences. V. 2. Moscow: IFZ RAN, 2012. P. 309–312 (in Russian)].
- Кемкина Р.А., Кемкин И.В. Вещественный состав руд и минералого-геохимическая методика оценки потенциального загрязнения окружающей среды токсичными элементами (на примере Прасоловского месторождения). Владивосток: Дальнаука, 2007. 212 с. [Kemkina R.A., Kemkin I.V. Mineral composition of ores and mineralogicalgeochemical technique of a rating potential pollution of an environment by toxic elements (on an example of Prasolovka Au-Ag deposit). Vladivostok: Dalnauka, 2007. 212 p. (in Russian)].

- Кириллов В.Б., Горошко М.В. Золотоносность острова Уруп Большекурильской островной дуги // Региональные проблемы. 2008. № 9. С. 50–55 [Kirillov V.B., Goroshko M.V. Gold of the Urup Island belonging to the Bolshekurilsk Arc Islands // Regional Problems. 2008. № 9. Р. 50–55 (in Russian)].
- Коваленкер В.А., Лапутина И.П., Знаменский В.С. и др. Индиевая минерализация Большой Курильской островной дуги // Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35. № 6. С. 547–552 [Kovalenker V.A., Laputina I.P., Znamenskii V.S. et al. Indium mineralization of the Great Kurile island-arc // Geologiya rudnykh mestorozhdenii 1993. V. 35. № 6. P. 547–552 (in Russian)].
- Ковтунович П.Ю., Лебедев В.А., Чернышов И.В. и др. Хронология и эволюция магматизма острова Уруп (Курильский архипелаг) по данным К-Аг изотопного датирования и диатомового анализа // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 6. С. 32–44 [Kovtunovich P.Yu., Lebedev V.A., Chernyshov I.V. et al. Chronology and evolution of Magmatism of the Urup Island (Kuril archipelago) according to K-Ar data of isotope dating and diatom analysis // Russian Journal of Pacific Geology 2004. V. 23. № 6. Р. 32–44 (in Russian)].
- Кожурин А.И. Активная геодинамика северо-западного сектора тихоокеанского тектонического пояса (по данным изучения активных разломов): Автореф. дисс. докт. геол.-мин. наук. Москва, 2013. 46 с. [Kozhurin A.I. Active geodynamics of the northwestern sector of the Pacific tectonic belt (according to the study of active faults): Abstract of dissertation doct. geol.-min. sciences. Moscow, 2013. 46 p. (in Russian)].
- Коржинский М.А., Ткаченко С.И., Романенко И.М. и др. Геохимия и рениевая минерализация высокотемпературных газовых струй вулкана Кудрявый, остров Итуруп, Курильские острова // ДАН. 1993. Т. 330. № 5. С. 627–629 [Korzhinskii M.A., Tkachenko S.I., Romanenko I.M. et al. Geochemistry and rhenium mineralization of high-temperature gas jets of Kudryavyi volcano, Iturup Island, Kuril Islands // Doklady Earth Sciences.1993. V. 330. № 5. Р. 627–629 (in Russian)].
- Кулаков И.Ю., Добрецов Н.Л., Бушенкова Н.А. и др. 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 [Koulakov I.Yu., Dobretsov N.L., Bushenkova et al. 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. Р. 650–667. https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.05.008].
- Пискунов Б. Н. Вулканизм Большой Курильской Гряды и петрология высокоглиноземистой серии (на примере островов Уруп и Симушир). Новосибирск: Наука. 1975. 187. с. [*Piskunov B.N.* Volcanism of the Great Kuril Range and petrology of the high-alumina series (on the example of the Urup and Simushir islands). Novosibirsk: Nauka, 1975. 187 p. (in Russian)].
- Пискунов Б.Н. Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. М.: Наука, 1987. 230 с. [*Piskunov B.N.* Geological and petrological specifics of volcanism of island arcs. Moscow: Nauka, 1987. 237 p. (in Russian)].

- Плечов П.Ю., Некрылов Н.А., Бланди Д. Сравнение одно- и двустадийной моделей формирования меднопорфировых месторождений // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2017. № 4. С. 31–38 [Plechov P.Yu., Nekrylov N.A., Blundy J. Comparison of One- and Two-Stage Models of Porphyry Copper Deposition. Moscow University Geology Bulletin. 2017. V. 72. № 5. P. 332–338. https:// doi.org/10.3103/S01458752170500 9X].
- Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги // Отв. ред. Ю.М. Пущаровский. М.: Наука, 1992. 528 с. [Underwater volcanism and zonality of the Kuril island-arc system // Yu.M. Pushcharovskii (Ed). Moscow: Nauka, 1992. 528 p. (in Russian)].
- Разин Л.В. Современная вулканогенная платиновая металлоносность и золотоносность на острове Кунашир, генетически связанная с молодым андезит-базальтовым вулканизмом Большой Курильской Гряды // 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 // Platinum of Russia. Collection of transactions. Vol. VII. Krasnoyarsk, 2011. Р. 476–493 (in Russian].
- Сергеев К.Ф. О механизме образования Курильской островной системы // Тихоокеанская геология. 1985. № 1. С. 62–71 [Sergeev K.F. On the mechanism of the formation of the Kuril island system // Tikhookeanskaya geologiya. 1985. №. 1. Р. 62–71 (in Russian)].
- Сергеев К.Ф., Красный М.Л. (Ред.) Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы. Ленинград: ВСЕГЕИ, 1987. 36 с. [Sergeev K.F., Krasnyi M.L. Geological and geophysical atlas of the Kuril island-arc system. Leningrad: VSEGEI, 1987. 36 p. (in Russian)].
- Сидоров Е.Г., Толстых Н.Д. Особенности минералов платиновой группы основных и ультраосновных комплексов Корякско-Камчатской области // Платина России. Сборник трудов. Красноярск. 2011. Том VII. С. 200–216 [Sidorov E.G., Tolstykh N.D. Special features of platinum group minerals of basic – hyperbasic complexes of Koriak-Kamchatka region // Platinum of Russia. Collection of transactions. V. VII. Krasnoyarsk, 2011. P. 200–216 (in Russian)].
- Солодов Н.А., Семенов Е.И. Об условиях нахождения рения в природе // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 39. № 1. С. 106–108 [Solodov N.A., Semenov E.I. On the conditions of finding rhenium in nature // Geologiya rudnykh mestorozhdenii. 1997. V. 39. № 1. Р. 106–108 (in Russian)].
- Ткаченко С.И., Таран Ю.А., Коржинский А.М. и др. Газовые струи вулкана Кудрявый, о. Итуруп, Курильские острова // ДАН. 1992. Т. 325. № 4. С. 823–828 [*Tkachenko S.I., Taran Yu.A., Korzhinskii A.M. et al.* Gas streams of Kudryavyi volcano, Iturup Island, Kuril Islands //Doklady Earth Sciences. 1992. V. 325. № 4. P. 823–828 (in Russian)].
- Федорченко В.И., Абдурахманов А.И., Родионова Р.И. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1989. 239 с. [Fedorchenko V.I., Abdurakhmanov A.I., Rodionova R.I. Volcanism of the Kuril island-arc system. Moscow: Nauka, 1989. 239 p. (in Russian)].

ВЕСТНИК КРАУНЦ. НАУКИ О ЗЕМЛЕ. 2019. № 3. ВЫПУСК 43

ГЛУБИННАЯ ГЕОДИНАМИКА

- Хомич В.Г., Борискина Н.Г., Касаткин С.А. Феномен Кунашир-Урупского звена Курильской островодужной системы: геодинамика и минерагения. Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит». 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 // Proceedings of IV Russian scientific conference with foreign participations «Geological Processes in the Lithospheric Plates Subduction, Collision, and Plate Environments». Vladivostok: Dalnauka, 2018. P. 307–310 (in Russian)].
- Chil-Sup S., Danchenko V.Ya., Seong-Tack Yu. et al. Teand Se- bearing epithermal Au-Ag mineralization, Prasolovskoye, Kunashir Island, Kuril Island Arc // Economic Geology. 1995. V. 90. № 1. P. 105–117.
- Christensen D.H., Ruff L.F. Seismic coupling and outer rise earthquakes // JGR. 1988. V. 93. № B11. P. 13421– 13444.
- Hedenquist J.W., Arribas A.J., Reynolds T.J. Evolution of an Intrusion-Centred Hydrothermal System: Far Southeast-Lepanto Porphyry and Epithermal Cu-Au deposit, Philippines // Economic Geology. 1998. V. 93. № 4. P. 373-404.
- Kasahara J., Sato T., Mochizuki K., Kobayashi K. et al. Paleotectonic structures and their influence on recent seismo-tectonics in the south Kuril subduction zone // The Island Arc 1997. V. 6. № 3. P. 267–280.
- Nakanishi M. Topographic expression of five fracture zones in the northwestern Pacific Ocean. In: The Mesocoic Pacific: Geology, Tectonics, and Volcanism, (edited

by M. S. Pringle et al.). Geophys. Monogr. Ser., AGU, 1993. V. 77. P. 121–135

- Nakanishi M., Tamaki K., Kobayashi K. Mesozoic magnetic anomaly lineations and seafloor spreading history of the northwestern Pacific // Journal Geophysical Research. 1989. V. 94. P. № B11. 15437–15462.
- 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. V. 430. № 1. P. 451–470.
- *Ogawa Y., Hirano N.* En echelon knolls in the Nosappu Fracture Zone, NW Pacific: A possible leaky transform fault zone // Shipboard Scientific Party Kr03-07. American Geophysical Union. Fall Meeting, 2003. Abstract #V21D-0553.
- Park Jung-Woo, Ian H. Campbell, Jonguk Kim. Abundances of platinum group elements in native sulfur condensates from the Niuatahi-Motutahi submarine volcano, Tonga rear arc: Implications for PGE mineralization in porphyry deposits // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2016. V. 174. P. 236–246.
- *Sillitoe R.H.* Gold deposits in western Pacific Island arcs: The magmatic connection, In: The Geology of Gold Deposits: the Perspective in 1988, (edited by R. Keays et al.,). Economic Geology Monographs. 1989. V. 6. P. 274–291.
- Sillitoe R.H. Porphyry copper systems // Economic Geology 2010. V. 105. № 1. P. 3–41.
- Zelenski M.E., Tobias P., Fischer T.P. et al. Trace elements in the gas emissions from the Erta Ale volcano, Afar, Ethiopia // Chemical Geology. 2013. V. 357. P. 95–116.
- Zelenski M., Kamenetsky V.S., Hedenquist J. Gold recycling and enrichment beneath volcanoes: A case study of Tolbachik, Kamchatka // Earth and Planetary Science Letters. 2016. V. 437. P. 35–46.

DEEP-EARTH GEODYNAMICS AND METALLOGENIC PECULIARITIES IN THE KUNASHIR-URUP CHAIN OF THE KURIL ISLANDS

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

Far East Geological Institute Far East Branch RAS, Vladivostok, Russia

The southern part of the Kuril island-arc system (from Kunashir to Urup islands) differs from the northern part (from Simushir to Paramushir islands) in its spatial arrangement relative to the subducting Pacific megaplate's motion vector, greater number of volcanoes, and endogenic mineralization diversity (Au, Ag, PGE, Re, IN, Sn, Cu, Zn, Pb and others). The location of deep northwest-trending zones of strike-slip faulting on the opposite oceanic slope of the Kuril Trench is another peculiarity of the Southern Kurils. Significant extent (up to 1000 km), great depth (more than 100 km) and permanent (J-Q) activity of the strike-slip faults allowed thermal-fluid flows from the undersubduction asthenosphere to penetrate through the seismic focal zone, above the mantle wedge and oversubduction asthenosphere and reach subcontinental lithosphere. The upwelling of the flows was accompanied by metasomatic processes, formation of initial magma reservoirs and both the transitional and peripheral reservoirs in the Kuril island-arc crust, as well as by the evolution of volcanic activity and ore genesis. The synthesis of the Southern Kurils' metallogeny and geodynamics data allows us to recognize the islands as a natural phenomenon intended for study of geological problems and mineral resources exploitation.

Keywords: deep-level geodynamics, under-, oversubduction, thermal-fluid flows, metallogeny.