

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О МЕДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПРИБРЕЖНОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЮЖНОЙ КАМЧАТКИ

© 2024 О.В. Владимирцева<sup>1,2</sup>, О.В. Бергаль-Кувикас<sup>1,2,3</sup>, Н.А. Субботин<sup>4</sup>, С.Ю. Орлов<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,  
Москва, Россия, 119017; e-mail: olga\_9\_4@mail.ru

<sup>2</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006

<sup>3</sup>Камчатский государственный университет им. В. Беринга,  
Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006

<sup>4</sup>ООО «Вега Развитие», Москва, Россия, 123112

<sup>5</sup>ООО «Геоархив», Королев, Россия, 141080

Поступила в редакцию 21.07.2024; после доработки 11.12.2024; принята в печать 25.12.2024

Представлена новая информация о медной минерализации прибрежного вулканического комплекса (ПВК) входящего в состав Восточно-Камчатско-Курильского вулcano-плутонического пояса (часть Курило-Южнокамчатской островодужной системы). Исследуемый район располагается вдоль восточного побережья южной части п-ва Камчатка, от Авачинской губы до бухты Мутная. При исследованиях отобранного каменного материала в значительной части образцов вулканических и интрузивных пород были выявлены повышенные содержания меди по сравнению с кларковыми. Источники поступления меди в породы ПВК являются дискуссионными, в статье рассмотрено ее возможное происхождение. Распространение медно-порфировых месторождений в сходных тектонических обстановках других островных дуг Тихоокеанского кольца ставит вопрос поисков таковых в прибрежной полосе юго-восточной части Камчатки. Исходя из геолого-структурных и вещественных особенностей ПВК, авторами допускается принципиальная возможность существования в исследуемом районе нескрытых на поверхности медно-порфировых систем. Полученные нами в ходе исследований результаты могут быть основой для обоснования постановки тематических поисковых работ.

*Ключевые слова:* медь, островная дуга, медно-порфировые системы, прогнозирование, Камчатка

Статья публикуется в разделе «Дискуссии» по предложениям рецензентов.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из регионов, перспективных для выявления медно-порфировых систем в России является п-в Камчатка (Бескин и др., 2016; Мигачев и др., 2015, 2020). Рассматриваемый район Юго-Восточного побережья Камчатки является наименее изученным в отношении медно-порфировых проявлений. В этой связи крайне важны новые данные о распределении меди и сопутствующих элементов во всех геологических комплексах, доступных для непосредственного полевого изучения.

Всестороннее геологическое изучение прибрежного вулканического комплекса (ПВК) важно для уточнения генетической природы

миоценового магматизма Южной Камчатки и геодинамической эволюции активной континентальной окраины Азии (Бергаль-Кувикас, Рогозин, 2023). По своим петрологическим особенностям породы ПВК могут являться носителями медно-порфирового оруденения. В настоящее время (Chiaradia et al., 2022) теоретические работы по медно-порфировым системам рассматривают их как проявления прерванных в развитии крупных эруптивных систем. То есть даже при возможном отсутствии экономической значимости потенциальных медно-порфировых объектов, их выявление и изучение важно для уточнения закономерностей развития кайнозойского магматизма в регионе.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
РЕГИОНА ИЗУЧЕНИЯ

Исследуемый район располагается вдоль восточного побережья южной части Камчатки, от Авачинской губы до бухты Мутная (рис. 1). Район сложен прибрежным вулканическим комплексом (ПВК), входящем в состав Восточно-Камчатско-Курильского вулкано-плутонического пояса ( $P_3-N_2$ ) (Государственная..., 2000). Данные по геологической изученности ПВК и актуальным вопросам его современного изучения представлены в работе (Бергаль-Кувикас и др., 2023). Данные палеомагнитного изучения миоценовых магматических образований ПВК (Латышев и др., 2023) свидетельствуют об их формировании на широтах близких к современным, т.е. они не испытывали значительных горизонтальных перемещений со времени своего формирования.

Достоверные центры вулканической активности имеют миоценовый возраст (Государственная..., 2000). Вулканическая деятельность продолжалась здесь на протяжении раннего и среднего миоцена, формируя андезитовую формацию, представленную ПВК. Комплекс включает в себя завойковскую плутоническую ассоциацию, ахомтенский вулканический комплекс и асачинский вулканический комплекс, расположенный южнее района исследований (Государственная..., 2006).

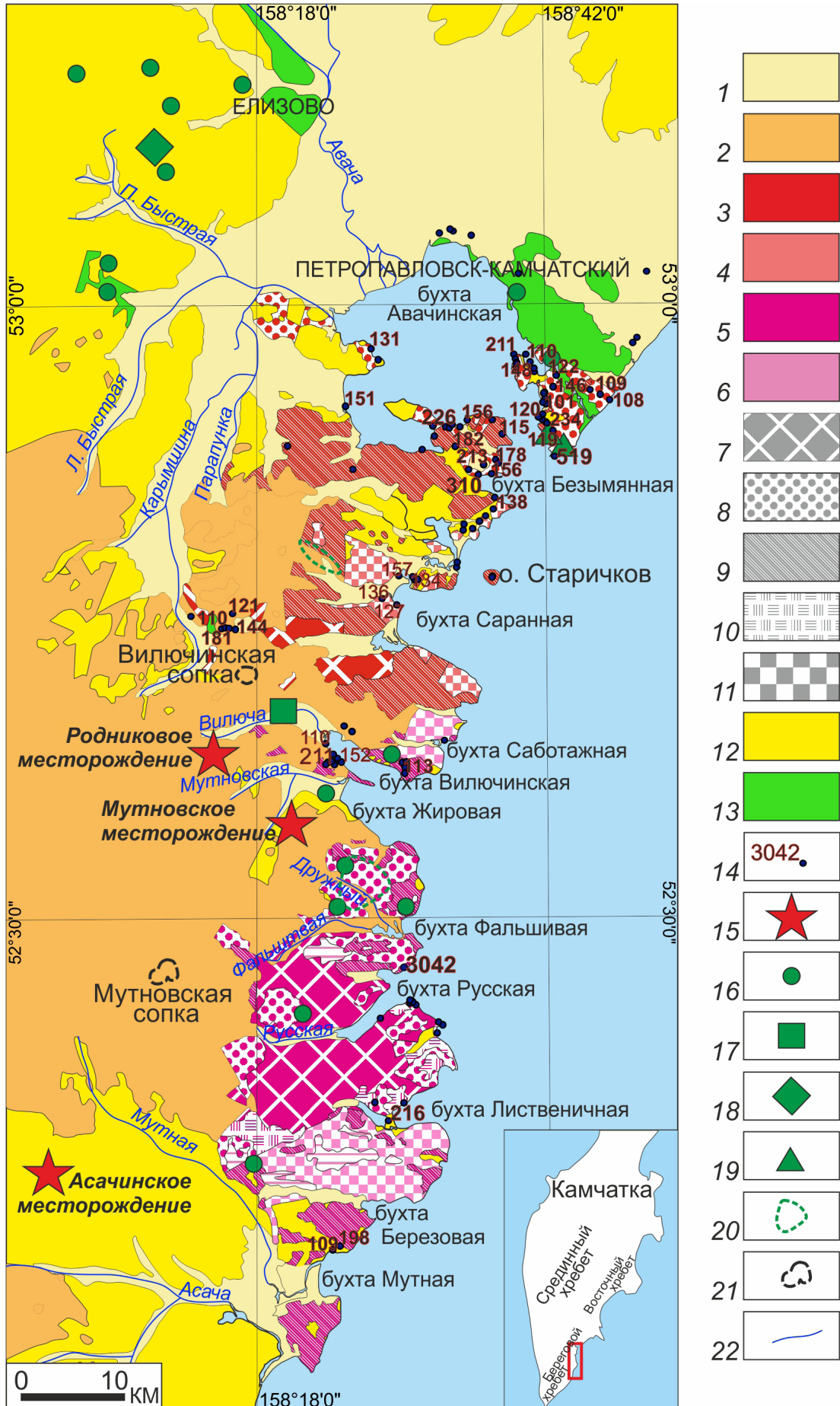
**Завойковская вулкано-плутоническая ассоциация.** Выделяются ранняя (представленная субвулканическими телами дацитов и туффизитов) и поздняя фазы (представленная покровами андезибазальтов и их туфов; субвулканическими

телами андезитов, диорит-порфиров, порфировидными диоритами, долеритами; дайками андезитов). Гранодиориты, кварцевые диориты и диориты гипабиссального завойковского комплекса в районе бухты Саранная формируют Саранскую интрузию площадью около 40 км<sup>2</sup>. Интрузия прорывает отложения олигоцен-миоценовой мутновской толщи и субвулканические тела андезитов поздней фазы завойковского вулканического комплекса (ВК), перекрыта покровами андезибазальтов плиоценового вулканического комплекса (Государственная..., 2000) и по петрографическому составу может быть частью потенциально продуктивной вулкано-плутонической ассоциации (ВПА).

Отложения ахомтенского ВК включают нижнемиоценовые вулканические образования среднего и кислого состава, распространенные вдоль восточного берега Камчатки от бухты Вилучинской до бухты Асача (рис. 1). Комплекс имеет двухфазное строение. Ранняя фаза сложена породами кислого состава, представлена покровной фацией (игнимбриты, туфы кислого состава, туфоалевролиты) и субвулканическими телами (дациты, реже андезиты). Поздняя фаза представлена покровными эффузивно-пирокластическими накоплениями средне-основного состава и субвулканическими интрузиями и дайками, состав которых варьирует от основного до среднего. Гранитоиды ахомтенского ВК формируют большое интрузивное тело (Ахомтенский гранитоидный массив) в районе бухты Русской, включающее в себя по периферии субвулканические тела поздней фазы ВК (Государственная..., 2000).

**Рис. 1.** Схема геологического строения исследуемого района (составлено по (Объяснительная..., 2000) с дополнениями и изменениями: 1 — четвертичные осадочные отложения; 2 — четвертичные вулканические комплексы; 3–6 — прибрежный вулканический комплекс: 3 — поздняя фаза завойковского комплекса, 4 — ранняя фаза завойковского комплекса, 5 — поздняя фаза ахомтенского комплекса, 6 — ранняя фаза ахомтенского комплекса; 7–11 — породы прибрежного вулканического комплекса: 7 — гранодиориты, граниты, аляскиты, 8 — покровная фация: андезибазальты, андезиты и их туфы, 9 — субвулканические тела диорит-порфиров, андезитов, андезит-порфиров, 10 — субвулканические тела базальтов сложного состава, 11 — субвулканические тела дацитов, туффизитов; 12 — кайнозойские вулкано-плутонические комплексы прочие; 13 — меловые вулкано-плутонические комплексы прочие; 14 — точки штупного опробования и наиболее значимые содержания меди по данным РФА (г/т); 15 — благороднометальные эпиптермальные месторождения; 16–20: проявления меди по данным предшественников: 16 — пункты минерализации, 17 — кварц-сульфидные медные руды, 18 — халькозиновые руды, 19 — самородная медь в агатах, 20 — литохимические аномалии меди; 21 — действующие вулканы, 22 — реки.

**Fig. 1.** Scheme of geological structure of the study area (based on Russian..., 2000) with additions and changes: 1 — sedimentary deposits; 2 — Quaternary volcanic complexes; 3–6 — Pribrezhny volcanic complex: 3 — late phase of the Zavoykovsky complex; 4 — early phase of the Zavoykovsky complex; 5 — late phase of the Ahomtensky complex; 6 — early phase of the Zavoykovsky complex; 7–11 — rocks of the coastal volcanic complex: 7 — granodiorites, granites, alaskites; 8 — cover facies: andesite basalts, andesites and their tuffs, 9 — subvolcanic bodies of porphyrite diorites, andesites, andesite basalts; 10 — subvolcanic bodies of complex mixture basalts; 11 — subvolcanic bodies of dacites, tuffisites; 12 — other Cenozoic volcanic-plutonic complexes; 13 — other Cretaceous volcanic-plutonic complexes; 14 — sampling points and the most significant copper contents according to XRF (ppm); 15 — noble-metal epithermal deposits; 16–20: copper occurrences according to predecessor data: 16 — mineralization points; 17 — quartz-sulfide copper ores; 18 — chalcocite ores; 19 — native copper in agates; 20 — lithochemical copper anomalies; 21 — active volcanoes; 22 — rivers.



*Меденосность* района исследования известна и представлена геохимическими аномалиями и пунктами минерализации меди, установленными преимущественно при проведении геолого-съёмочных работ (Государственная..., 2000). Близ Вилючинской сопки в среднем течении р. Вилюча (рис. 1) в развалах валунов обнаружены кварцевые жилы с пиритом, халькопиритом и медью (Государственная..., 2000), также имеются упоминания о находках халькозиновых руд в бортах реки Правая Быстрая в 15 км от аэропорта Елизово (рис. 1). Подобные факты можно рассматривать как признаки наличия медно-порфировых магматических систем. Большая часть аномалий меди характеризуется низкими-средними содержаниями меди в 0.015–0.1%.

Присутствие медных руд в бухте Жировая еще в XVIII веке отмечал Степан Петрович Крашенинников (1755) в первом научном описании Камчатки. В обрывах бухт Жировая и Песчаная в покровных субвулканических фациях поздней фазы ахотенского ВК и приуроченных к ним гидротермально измененных породах выявлена медная минерализация двух типов: проволочки

меди в пустотах и тонкие пренит-халькозиновые прожилки. Содержания меди в единичных штучных пробах достигают 4 % (Государственная..., 2000).

Также медная минерализация была установлена (Palyanova et al., 2020) в агатовых нодулях среди базальтов побережья Авачинской бухты. Она представлена самородной медью, а также сульфидами меди (халькозин, джурлеит, дигенит, анилит, яровит, реже халькопирит) и купритом. Помимо медных минералов, в агатах были обнаружены сфалерит и самородное серебро.

**Тектоно-минерагенические предпосылки перспективности территории на медно-порфировое оруденение.** Перспективы вулcano-плутонических поясов (ВПП) Камчатки на обнаружение медно-порфирового оруденения, базируются на наличии в их строении потенциально продуктивных ВПА, присутствии рудопроявлений медно-порфирового типа, а также широком развитии подобных месторождений, в том числе супер-крупных, в других звеньях (Бескин и др., 2016; Кременецкий и др., 2010; Мигачев и др., 2020) Тихоокеанского вулканического пояса (рис. 2).

**Рис. 2.** Схема локализации меднопорфирового оруденения на Камчатке, Чукотке и Аляске (составлено по (Кременецкий и др., 2010) с использованием данных (Колова и др., 2023; Мигачев и др., 2020; Kreiner et al., 2021) с изменениями и дополнениями: 1 — выходы массивов древней континентальной коры; 2 — области мезозойской складчатости Верхояно-Колымской складчатой области и Северной Америки; 3 — меловой Охотско-Чукотский вулcano-плутонический пояс (ОЧВП); 4 — области современной кайнозойской складчатости с участками более древней коры и комплексами островных дуг; 5–8 — вулcano-плутонические пояса Камчатки: 5 — предполагаемый базальтоидный комплекс Ачайваям-Валагинской островной дуги ( $K_2-P_1$ ), 6 — Ирунейско-Кирганицкий пояс ( $K_2-P_1$ ), 7 — Восточно-Камчатско-Курильский пояс ( $P_3-N_2$ ) (а), Олюторский пояс ( $P_3-N_2$ ) (б), 8 — Камчатско-Курильский современный пояс ( $N_2-Q$ ); 9 — области шельфа и подводных поднятий; 10 — кайнозойские глубоководные впадины с океанической и субокеанической корой; 11 — океаническая кора Тихого Океана (Тихоокеанская плита); 12 — Алеутский и Курило-Камчатский глубоководные желоба; 13 — Северо-Олюторско-Камчатская перспективная площадь; 14 — медно-порфировые объекты Аляски. Кайнозойские: мелкие месторождения и проявления (а), супер-крупное меловое месторождение Пebbл (б); другие меловые (в); 15 — медно-порфировые объекты Камчатско-Курильской области: проявления (а), перспективный объект Кирганик (б); 16 — медно-порфировые объекты Чукотки: проявления (а), месторождение Песчанка (б); 17 — предполагаемая граница областей мезозойской и кайнозойской складчатости на шельфе; 18 — район исследований. Цифрами обозначены: бассейны с корой океанического и субокеанического типа: I — Алеутская котловина, II — Командорская котловина, III — впадина Тинро, IV — котловина Бауэрса; подводные поднятия: 1 — хребет Ширшова, 2 — хребет Бауэрса.

**Fig. 2.** Scheme of localization of copper porphyry mineralization in Kamchatka, Chukotka and Alaska (based on (compiled from Kremenetsky et al., 2010) using data (Kolova et al., 2023; Migahev et al., 2020; Kreiner et al., 2021), with modifications and additions: 1 — outcrops of blocks of ancient continental crust; 2 — Mesozoic folding areas of Russia (Verkhoyano-Kolymskaya area) and Northern America; 3 — Cretaceous Okhotko-Chukotsky volcanic-plutonic belt; 4 — Cenozoic folding areas with parts of older crust and island arcs complexes; 5–8: volcanic-plutonic belts of Kamchatka: 5 — supposed basalts of the Achayvayam-Valaginskaya island arc ( $K_2$ ), 6 — Iruneisko-Kirganiksky belt ( $K_2-P_1$ ), 7 — Vostochno-Kamchansky-Kurilsky belt ( $P_3-N_2$ ) (a), belt Olyutorsky ( $P_3-N_2$ ) (б), 8 — modern Kamchansky-Kurilsky belt ( $N_2-Q$ ); 9 — shelf and submarine uplifts; 10 — Cenozoic deep basins with oceanic and suboceanic crust; 11 — oceanic crust of the Pacific Ocean (Pacific plate); 12 — Aleutian and Kurilo-Kamchatsky deep troughs; 13 — North Olyutorsko-Kamchatskaya perspective area; 14 — porphyry copper objects of Alaska. Cenozoic: small deposits and occurrences (a), super large Cretaceous deposit Pebble (б); others Cretaceous objects (в); 15 — copper porphyry objects of Kamchatka: occurrences (a), perspective object Kirganik (б); 16 — porphyry copper objects of Chukotka: occurrences (a), Peschanka deposit (б); 17 — supposed boundary between Mesozoic and Cenozoic folding areas on the shelf; 18 — research area. Numbers indicate: basins with oceanic and suboceanic crust: I — Aleutian basin, II — Kommandorsky basin, III — Tinro basin, IV — Bowers basin; submarine rises: 1 — Shirshov ridge, 2 — Bowers ridge.

Корякско-Камчатский регион рассматривается (Мигачев и др., 2020) как потенциальная медно-порфировая провинция, так как на его территории установлены ВПА и плутоногенные формации, продуктивные на медно-порфировое оруденение. С этими формациями и ассоциациями также связаны золотосодержащие медно-мышьяковые и золото-полисульфидные проявления (части единых рудно-магматических систем (РМС)) с комплексной металлогенией.

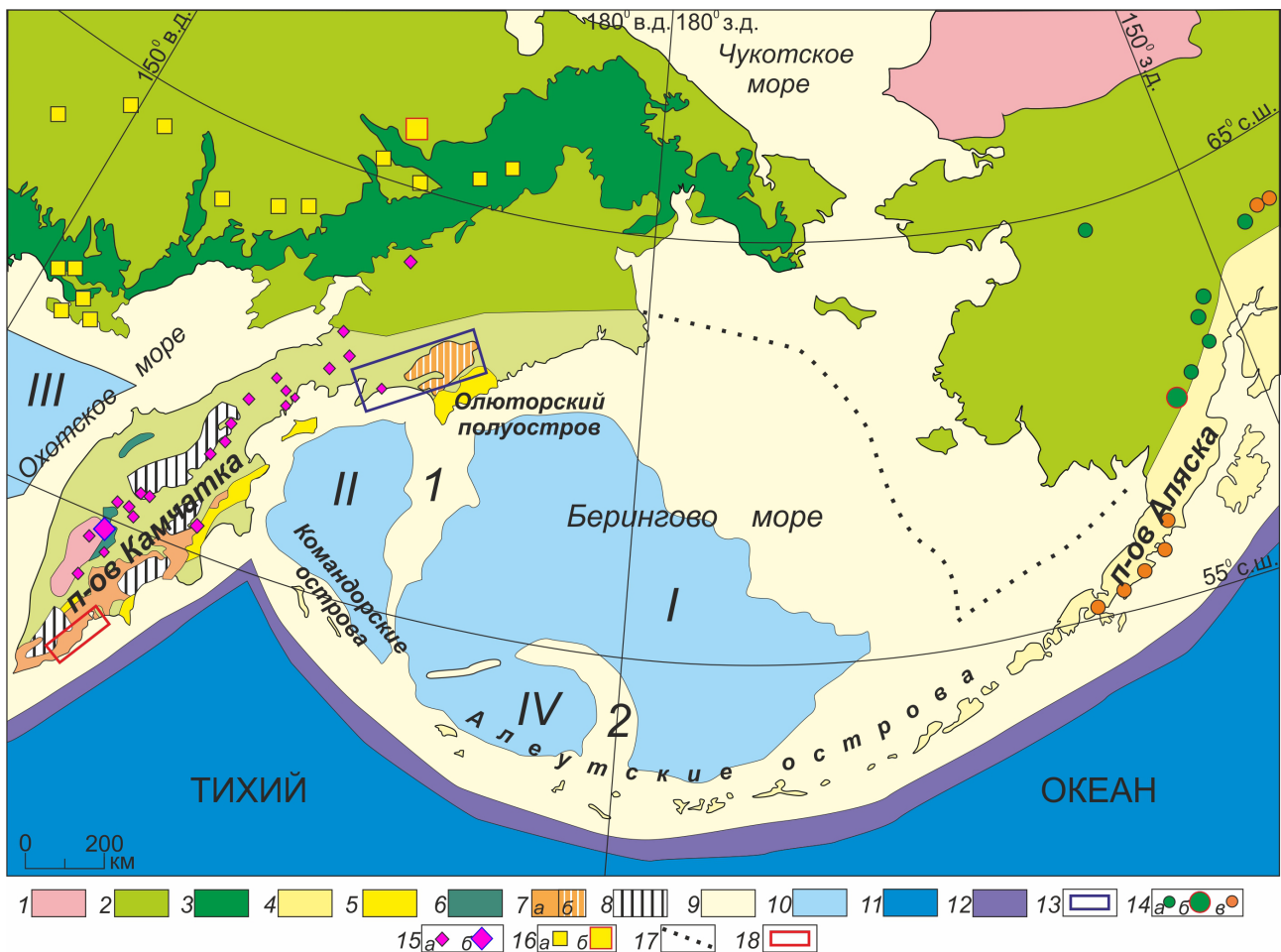
В пределах Камчатки известные проявления медно-порфирового типа отличаются незначительными размерами и сравнительно низкими содержаниями полезных компонентов, а обширные площади содержащие потенциально рудоносные ВПА и интрузивы перспективные на обнаружение медно-порфировых объектов перекрыты более молодыми вулканогенными образованиями, в том числе четвертичными (Мигачев и др., 2020).

Для Камчатки предполагаются (Мигачев и др., 2020) относительно небольшие глубины эрозионного среза и соответственно большая глубина (сотни м — первые км) нахождения внутренних частей РМС, потенциально продуктивных на медно-порфировые руды, оценка которых бурением может быть экономически нецелесообразна.

Ближайшим суперкрупным медно-порфировым объектом к Камчатке является месторождение Пebbл мелового возраста на Аляске (Кременецкий и др., 2010; Kelley et al., 2013). Аляскинский полуостров и полуостров Камчатка представляют собой симметричные кулисные поднятия относительно впадины Берингова моря (совокупность котловин: Алеутской, Командорской и Бауэрс, (рис. 2)). Отмечается, что западная и восточная окраины Берингова моря в целом построены симметрично, (Кременецкий и др., 2010).

Принято считать, что в Камчатской потенциальной медно-порфировой провинции необходимые условия локализации медно-порфировых систем могут реализоваться скорее в пределах Центральной и Северной Камчатки, чем в ее юго-восточной части (Бескин, 2016), нами, исходя из симметрии геологических структур, предполагается развитие сходных с аляскинскими медно-порфировых объектов как на Камчатке в целом, так и в районе развития ПВК.

Известные медно-порфировые проявления на Камчатке сконцентрированы в центральной и западной частях полуострова (Мигачев и др., 2020; Soloviev et al., 2020). Допускается (Бескин и др., 2016; Мигачев и др., 2020; Soloviev et al.,



2020), что в пределах Хим-Кирганикского рудного узла (рис. 2) позднемиоценового-палеоценового возраста существуют нескрытые гранитоидные порфириновые интрузивы, которые могут сопровождаться более крупными и богатыми рудными телами, чем известные в настоящее время. В пределах Камчатской части Восточно-Камчатско-Курильского ВПП известно только проявление Кумрочское (рис. 2) в его северной части, состав прожилков на котором в целом соответствует золото-полисульфидному типу руд медно-порфириновых месторождений (Мигачев и др., 2020). Севернее, в Олюторском поясе выделяется (Кременецкий, 2010) Северо-Олюторско-Камчатская площадь (рис. 2) возможной локализации Cu-Au-Mo оруденения.

Олюторский и Восточно-Камчатский пояса в целом рассматриваются (Мигачев и др., 2015) как зона низкой перспективности на обнаружение медно-порфириновых систем. Вместе с тем прибрежная часть Восточно-Камчатского пояса (береговые хребты и прибрежная зона) в южной части Камчатки (район исследований настоящей статьи) в отношении наличия медно-порфириновых РМС изучена недостаточно (Государственная..., 2000), при том, что в ее сложении участвуют средние и кислые интрузивы по составу благоприятные для локализации медно-порфириновой минерализации.

Данные о положении медно-порфириновых объектов в Индонезии и на Аляске (Звездов, 2019; Kreiner et al., 2021; Maruono et al., 2018) показывают принципиальную возможность локализации крупных медно-порфириновых объектов миоценового возраста не только в тыловых зонах (тыльных относительно современной дуги вулканов), но и в пределах внешней (преддуговой, фронтальной) относительно современной зоны активных вулканов (прибрежной) части островной дуги.

Так, на Аляске в пределах Тихоокеанской прибрежной зоны расположены кайнозойские медно-порфириновые и молибден-порфириновые проявления Ruginid, Mike, Rex, Cape Kumlik, Mallard Duck Bay (200 млн тонн руды) и другие (Kreiner et al., 2021) (рис. 2).

В Индонезии гигантские медно-порфириновые и эпитеpmальные месторождения локализованы в пределах эродированных миоцен-плиоценовых вулканоплутонических узлов (включающих диоритовые интрузии) (Maruono et al., 2018). Эти узлы расположены в структуре Восточно-Сундской островной дуги относительно зоны субдукции и современных вулканических центров аналогично позиции ПВК в структуре Курильско-Камчатской дуги.

Исследуемый нами район относится к фронтальной части современной Курило-Камчатской

дуги. Для фронта дуг, в целом, характерно относительное воздымание, поэтому допускается возможность нахождения внутренних частей РМС на умеренных глубинах относительно эрозионного среза восточного побережья Южной Камчатки. Считается, что смещение на восток положения структурно-фациальных зон и вулканизма Курило-Камчатской дуги в течение миоцена и плиоцена сопровождалось орогеническими движениями и формированием поверхностей выравнивания, которые в результате последующих дифференцированных движений настоящее время частично погружены в современных заливах Восточной Камчатки (Селиверстов, 1998). По нашему мнению, потенциальные миоценовые РМС юго-восточной Камчатки в течение плиоцена могли приблизиться к уровню современного среза.

Значительная распространенность благородно- и редкометального эпитеpmального оруденения (Бортников, 2023) в пределах Восточно-Камчатско-Курильского ВПП предполагает наличие глубинных рудных источников металлов, в первую очередь золота, серебра. Известно, что золоторудные эпитеpmальные месторождения часто генетически связаны с меднопорфириновыми системами, располагаясь на их периферии в верхних частях эрозионного среза (Sillitoe, 2010).

Медно-порфириновые месторождения являются частями гидротермально-метасоматических систем, центральным рудоносным элементом которых обычно является многофазный порфириновый шток интрузивных пород, а наиболее богатые и промышленно значимые концентрации меди формируются в ранние фазы (Кривцов и др., 1986, Sillitoe, 2010). Несмотря на наличие в пределах Юго-Восточной части Камчатки интрузивных тел, потенциально способных быть частями медно-порфириновых РМС (диорит-порфиры, гранодиориты и др.), прямых признаков медно-порфириновых систем (характерные метасоматические изменения горных пород, специфические кварцевые прожилки и медная сульфидная минерализация (Sillitoe, 2010) пока обнаружить не удалось. В нашей работе мы рассматриваем косвенные признаки и доводы в пользу вероятности их существования в изученном районе.

## МЕТОДЫ

Полевые исследования заключались в отборе штучных проб в рамках исследования обнажений ПВК, вскрытых в обрывах Берегового хребта (рис. 1) со стороны Тихоокеанского побережья Южной Камчатки и визуальном определении минералов меди (Бергаль-Кувикас и др., 2022).

Количественный анализ петрогенных и некоторых микроэлементов был выполнен методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа в Центре коллективного пользования Института геологии месторождений полезных ископаемых, петрографии, минералогии и геохимии РАН на вакуумном спектрометре волновой дисперсии Axios по методике 439-РС (Методика..., 2010).

Исследование прозрачных шлифов андезит-порфириров проводилось в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте цветных и благородных металлов с помощью микроскопа Olympus BX51.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ (ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНЫХ ПОРОД)

В рамках полевых исследований была отобрана 141 проба пород слагающих ПВК. Пробы представлены штуфами разностей интрузивных, вулканических и осадочных пород (Бергаль-Кувикас и др., 2022).

Результаты геохимических исследований показали повышенные (более 100 ppm) содержания меди в 49 пробах, достигая максимального значения в 3042 ppm в дайке габбро завойковского ВК в районе бухты Русская. Среднее содержание меди в образцах с ее концентрацией выше 100 ppm составило 223 ppm, в остальных (92 образцов) проанализированных пробах среднее содержание

меди составило от менее чем 10 ppm до 100 ppm, в среднем составив 45 ppm.

Кларковое число для меди в земной коре составляет по различным оценкам от 47 до 100 ppm (Виноградов, 1962). При этом кларк меди существенно различается для типов магматических пород: так, для кислых пород он составляет порядка  $2 \times 10^{-3} \%$  (20 ppm), для основных пород составляет около  $1 \times 10^{-2} \%$  (100 ppm).

Корреляция между петрографическим определением образцов и содержанием меди в них, показывает, что наибольшие содержания характерны для основных и в меньшей степени для средних пород, при этом обнаруженные кислые породы характеризуются содержанием меди чуть выше кларковых – лишь несколько образцов показали содержания меди на уровне  $90 \times 100$  ppm (рис. 3).

Уровень содержания меди зависит от генетического типа пород (рис. 3), наибольшее количество (30 образцов) богатых медью штуфов относятся к интрузивным породам, составляя 43 % от всех исследованных интрузивных пород. Повышенные содержания меди установлены для 27 % всех исследованных эффузивных и осадочных пород.

При микроскопических исследованиях установлено, что андезит-порфириды обладают массивной текстурой, структура характеризуется как полифировая, неполнокристаллическая, пилотакситовая. Основная масса представлена лейстами плагиоклаза и измененным стеклом;

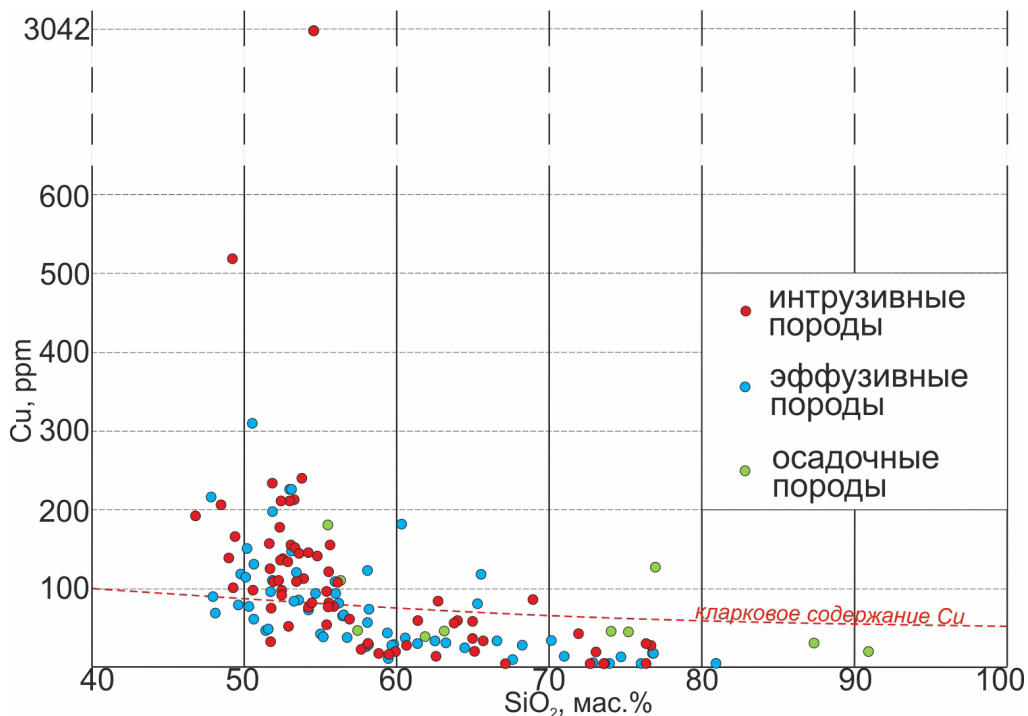


Рис. 3. Зависимость содержания Cu от содержания  $\text{SiO}_2$  в образце.

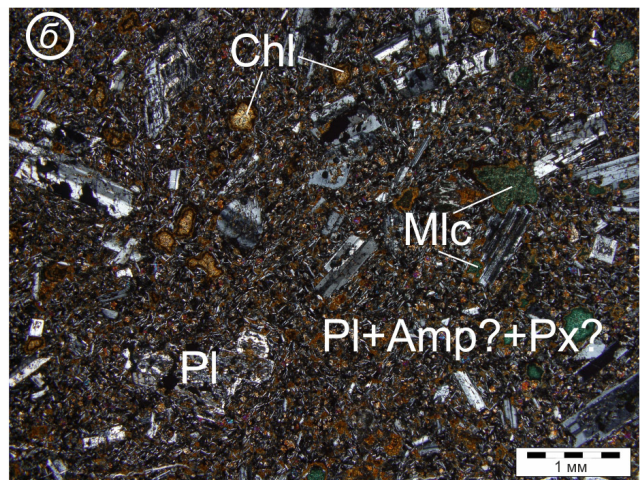
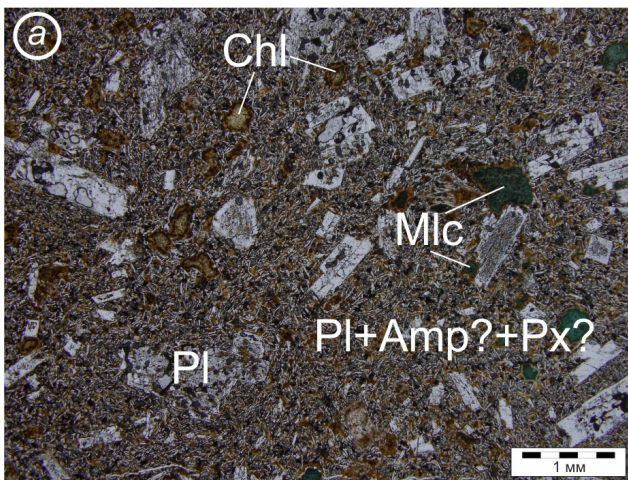
Fig. 3. Dependency of Cu content on  $\text{SiO}_2$  in the sample.

вкрапленники (45–55 %): плагиоклаз, магнетит, амфибол (частично опациitized). Вторичные минералы представлены хлоритом, лейкоксоном, глинистыми минералами, карбонатами, оксидами и гидроксидами железа, малахитом — гидрокарбонаты меди (рис. 4), самородной медью (рис. 5) размером от 0.1 до 3 мм.

Известно (Шведов и др., 2021), что на медно-порфировых месторождениях ассоциация самородной меди с As может указывать на гипогенную природу меди. Однако при проведении рентгено-спектрального флуоресцентного анализа лишь 9 образцов показали содержания мышьяка выше предела чувствительности прибора (>10 ppm), значения не превышали 46 ppm, при этом зави-

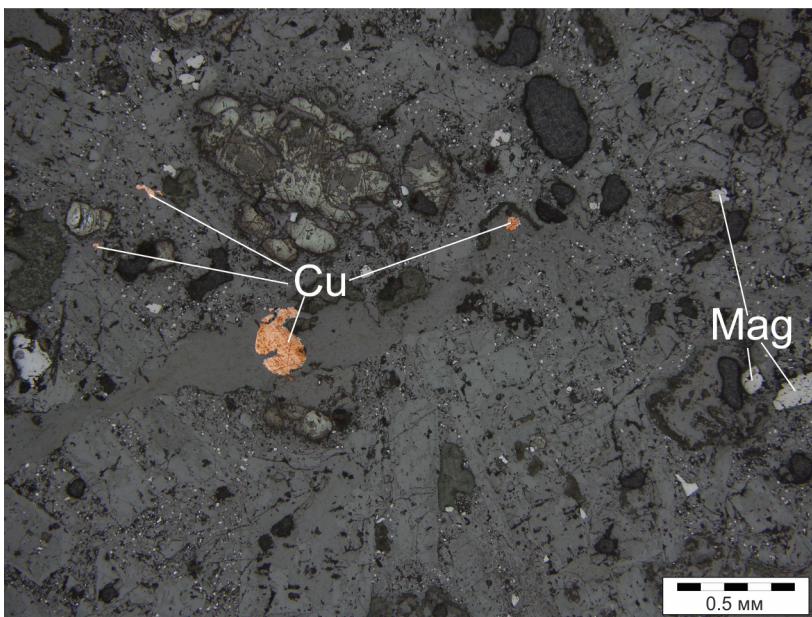
симости содержания меди от наличия мышьяка в образцах не было установлено.

Прямые корреляционные связи для меди установлены с оксидами железа ( $r = 0.62$ ) и ванадия ( $r = 0.69$ ). Значительная связь Cu и V объясняется приуроченностью повышенных содержаний меди к породам основного состава, в которых ванадий в природе имеет наибольшую распространенность, формируя изоморфные примеси в железистых и титанистых минералах. Гидроокислы железа могут быть интерпретированы как продукты разложения сульфидов, так и как вторичные новообразованные железистые минералы, например магнетит (рис. 6). Также положительную корреляционную связь с медью имеет кобальт ( $r = 0.56$ ) несмотря на то, что содер-



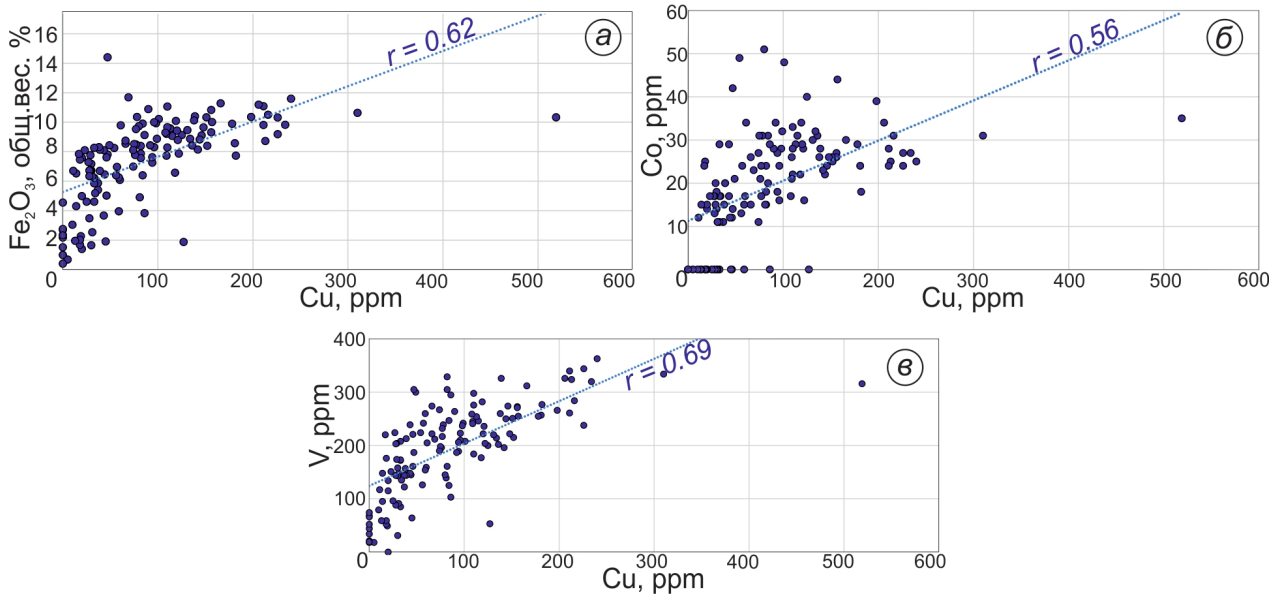
**Рис. 4.** Среднеизмененный андезит-порфирит. Плагиофировая структура: *a* — без анализатора; *б* — с анализатором. Содержание меди в первоначальном образце по данным РФА анализа 192 ppm. Сокращения: Chl — хлорит, Mlc — малахит, Pl — плагиоклаз, Amp — амфибол, Px — пироксен.

**Fig. 4.** Mediumly altered andesite-porphyrite. Plagiophyre texture: *a* — without analyzer; *б* — with analyzer. Copper content in the original sample — 192 ppm according to XRF. Abbreviations: Chl — chlorite, Mlc — malachite, Pl — plagioclase, Amp — amphibole, Px — pyroxene.



**Рис. 5.** Самородная медь в ассоциации вторичных минералов в андезит-порфирите. Вкрапления магнетита в первоначальной породе. Содержание меди в первоначальном образце по данным РФА 109 ppm. Сокращения: Cu — самородная медь, Mag — магнетит.

**Fig. 5.** Native copper in association of secondary minerals association in porphyrite-andesite. Dissemination of magnetite in primary rocks. The content of copper in the original sample according to XRF data is 109 ppm. Abbreviations: Cu — native copper, Mag — magnetite.



**Рис. 6.** Содержания меди и окислов железа (а), меди и кобальта (б), меди и ванадия (в). Без учета образца с содержанием Cu = 3042 ppm.

**Fig. 6.** Dependence copper content and iron oxides (a), copper and cobalt (b), copper and vanadium (v). Sample with 3042 ppm of Cu content excluded.

жания кобальта в образцах в среднем составили менее 20 ppm, при максимальном значении в 51 ppm (рис. 6). Слабая прямая корреляция обнаружена у меди с цинком ( $r = 0.3$ ). Молибден был установлен в 4 образцах, свинец в 8 образцах, при этом зависимости содержания Mo и Pb от Cu не установлено.

Содержания Ni выше предела чувствительности метода исследования (10 ppm) показали 88 образцов, в среднем составив 40 ppm при максимальном значении 270 ppm. Корреляционной связи меди и никеля при этом не установлено ( $r = 0.18$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В целом, породы слагающие ПВК имеют необходимые предпосылки для локализации медно-порфировых систем: благоприятная геолого-структурная обстановка и возраст пород, широкое распространение андезито-базальтовых комплексов со штоками гранодиоритов, гранитов, аляскитов. Меднопорфировое оруденение зачастую приурочено именно к кислым породам, обычно известково-щелочного ряда (Siltoe, 2010). Слабая степень вскрытия гранитных и гранодиоритовых штоков ПВК не позволяет ожидать здесь выявления пород ранних фаз (которые главным образом и содержат рудные концентрации меди) на поверхности, но не исключается вероятность их выявления на глубине.

По результатам исследования вещественных особенностей пород, слагающих ПВК, наи-

большие содержания меди характерны для субвулканических андезибазальтов поздней фазы завойского комплекса, при этом максимальное значение меди из всех исследованных образцов установлено в дайке габбро, относящейся в поздней фазе ахотенского комплекса (выходы на побережье в районе Вилючинской и Жировой бухт с видимой шириной около 15 м (рис. 2)), что подтверждает известные данные (Государственная..., 2000) о пунктах минерализации меди в породах ПВК.

В результате исследования вещественных особенностей отобранных штучных проб, установлено, что медная минерализация представлена самородной медью и карбонатами меди (малахит). Для верхних горизонтов окисленных зон РМС обычны карбонаты меди (малахит) и гидрокарбонаты (азурит), вероятно наличие окислов меди. Но обнаруженная самородная медь более характерна для нижних горизонтов прохождения грунтовых вод. Самородная медь формируется за счет снижения кислотного потенциала при смешивании кислых вод, насыщенных ионами меди, образующимися за счет выщелачивания сульфидов с образованием серной кислоты в более высоких горизонтах, и менее кислых грунтовых вод, питание которых происходит за пределами пород с сульфидной минерализацией.

Устойчивый тренд повышения содержания меди при уменьшении количества  $\text{SiO}_2$  (рис. 3) для образцов с карбонатами и гидрокарбонатами меди, можно объяснить большей проницаемостью данных пород для грунтовых и поверхност-

ных вод, это частично применимо и для образцов с самородной медью.

Гипергенный характер медной минерализации не позволяет однозначно решить вопрос о природе первичного ее источника. Тем не менее, повышенные содержания гипергенной меди и обнаружение вторичного магнетита, могут являться косвенными признаками наличия медно-порфировых систем.

Среднее значение концентрации меди в породах с установленным содержанием выше 100 ppm, принимаемым за кларковое, составило 223 ppm, для пород с содержанием ниже кларка составило 45 ppm. Это показывает и значительное распространение гипергенной медной минерализации по всему ПВК, и контрастность выявленных аномалий. Интенсивность выявленных аномалий сопоставима с интенсивностью аномалий меди в пределах рудного поля медно-порфирового месторождения Песчанка приведенных в работе (Кременецкий и др., 2022). Месторождение Песчанка расположено в Чукотском АО (рис. 2) и является одним из крупнейших медно-порфировых месторождений России.

## ВЫВОДЫ

Медная минерализация, развитая на значительной площади, была установлена для пород ПВК, который в целом еще остается слабо изученным в отношении перспектив промышленной минерализации. Наибольшие содержания меди характерны для субвулканических андезибазальтов поздней фазы ПВК. Наибольшее количество (30 образцов) богатых медью штуфов относятся к интрузивным породам, составляя 43 % от всех исследованных интрузивных пород.

Факты наличия повышенных содержаний гипергенной меди в исследуемом районе, обнаружение вторичного магнетита, могут являться косвенными признаками наличия медно-порфировых систем. Многочисленные золото-серебрянные эпитермальное месторождения (Бортников и др., 2023) развитые западнее района исследований и аналогии с другими известными медно-порфировыми месторождениями активных островных дуг, также предполагают возможность локализации продуцирующих их РМС в пределах прибрежной полосы Южной Камчатки.

Установленные содержания меди в штуфных образцах можно рассматривать как низко-средние геохимические аномалии по первичным ореолам рассеяния. Полученные результаты в будущем могут лечь в обоснование для постановки тематических поисковых работ.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 22-77-10019 «Ревизия геодинамической эволюции Южной Камчатки и оценка вулка-

ноопасности Малко-Петропавловской зоны поперечных дислокаций на основе геохимических, изотопно-геохронологических и палеомагнитных исследований вулканитов завойковского комплекса» (<https://rscf.ru/project/22-77-10019/>).

Авторы выражают признательность П.Н. Лейбгам за неоценимую помощь в работе со шлифами горных пород.

## Список литературы [References]

- Андреев А.В., Гирфанов М.М., Старостин И.А. и др.* Геологическое строение, рудно-метасоматическая и минералого-геохимическая зональность золотосодержащего молибден-меднопорфирового месторождения Кызык-Чадр, Республика Тыва // Руды и металлы. 2021. № 1. С. 57–76. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2021-10004> [*Andreev A.V., Girfanov M.M., Starostin I.A. et al.* Geological structure, ore-metasomatic and mineralogical geochemical zoning of Au-Mo-Cu porphyry Kyzyk-Chadr deposit, Tyva republic // Ores and metals. 2021. № 1. P. 57–76 (in Russian)].
- Бергаль-Кувикас О.В., Буслов М.М., Бушенкова Н.А. и др.* Переход от континентальной окраины Камчатки к островной дуге Курильских островов: Особенности проявления вулканизма, деформации земной коры и геофизические параметры слэба // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 10. С. 1469–1484. <https://doi.org/10.15372/GiG2023136> [*Bergal-Kuvikas O.V., Buslov M.M., Bushenkova N.A. et al.* Transition from the continental margin of Kamchatka to the island arc of the Kurile islands: Features of volcanism, crustal deformation and geophysical parameters of the slab // Russian Geology and Geophysics. 2023. V. 64. № 10. P. 1227–1240. <https://doi.org/10.2113/RGG20234558>].
- Бергаль-Кувикас О.В., Латышев А.В., Аносова М.Б. и др.* Экспедиция по изучению миоценовых магматических пород Южной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2022. Т. 4. № 56. С. 123–129. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2022-4-56-123-129> [*Bergal-Kuvikas O.V., Latyshev A.V., Anosova M.B. et al.* Expedition for the study miocene igneous rocks to Southern Kamchatka // Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle. 2022. V. 4. № 56. P. 123–129 (in Russian)].
- Бергаль-Кувикас О.В., Рогозин А.Н.* Актуальность исследования Прибрежного вулканического комплекса в контексте истории изучения Южной Камчатки // Геодинамика и тектонофизика. 2023. Т. 14. № 0724. С. 1–15. <https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-5-0724> [*Bergal-Kuvikas O.V., Rogozin A.N.* The Relevance of the Study of the Pribrezhny Volcanic Complex in the Context of the History Investigations of South Kamchatka // Geodynamics & Tectonophysics. 2023. V. 14. № 5. P. 1–15 (in Russian)].
- Бескин С.М., Алексеева А.К.* Медно-порфировое оруденение России: перспективные регионы и площади. М.: Научный мир, 2016. 78 с. [*Beskin S.M., Alekseeva A.K.* Medno-porfirovoe orudneneniya Rossii: perspektivny eregiony iploshhadi. Moscow: Nauchnyj mir, 2016. 78 p. (in Russian)].

- Бортников Н.С., Толстых Н.Д.* Эпитермальные месторождения Камчатки, Россия // Геология рудных месторождений. 2023. Т. 65. № 7. С. 722–752. <https://doi.org/10.31857/S001677702307002X> [*Bortnikov N.S., Tolstykh N.D.* Epithermal Deposits of Kamchatka, Russia // *Geology of Ore Deposits*. 2023. V. 65. № 7. P. 722–752 (in Russian)].
- Виноградов А.П.* Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571 [*Vinogradov A.P.* Srednie sodержaniya himicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhenykh gornyykh porod zemnoy kory // *Geokhimiya*. 1962. № 7. P. 555–571 (in Russian)].
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Корякско-Камчатская. Масштаб 1:1000000. Лист N-57: Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ. 2006. 376 с. [*Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Seriya Koryaksko-Kamchatskaya. Masshtab 1:1000000. List N-57: Obyasnitel'naya zapiska. SPb.: VSEGEI. 2006. 376 p. (in Russian)*].
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Южно-Камчатская. Листы N-57-XXI (Северные Коряки), N-57-XXVII (Петропавловск-Камчатский), N-57-XXXIII (сопка Мутновская). Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ. 2000. 302 с. [*Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200 000. Seriya Yuzhno-Kamchatskaya. Listy N-57-XXI (Severnyye Koryaki), N-57-XXVII (Petropavlovsk-Kamchatskij), N-57-XXXIII (sopka Mutnovskaya). Obyasnitelnaya zapiska. SPb.: VSEGEI. 2000. 302 p. (in Russian)*].
- Звездов В.С.* Обстановки формирования крупных и сверхкрупных медно-порфировых месторождений // Отечественная геология. 2019. № 5. С. 16–35. <https://doi.org/10.24411/0869-7175-2019-10036> [*Zvezdov V.S.* Major and giant porphyry copper deposit formation environments // *Otechestvennaya geologiya*. 2019. № 5. P. 16–35 (in Russian)].
- Колова Е.Е., Глухов А.Н., Ползуненков Г.О. и др.* Медно-порфировая минерализация Тальникового рудного поля (Охотский сегмент Охотско-Чукотского вулканогенного пояса) // Тихоокеанская геология. 2023. Т. 42. № 6. С. 39–61. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2023-42-6-39-61> [*Kolova E.E., Glukhov A.N., Polzunenkov G.O. et al.* Porphyry-copper mineralization of Talnikovoye ore field (Okhotsk segment of the Okhotsk Chukotka volcanogenic belt) // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2023. V. 17. № 6. P. 549–569. <https://doi.org/10.1134/S1819714023060064>].
- Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки. 1755. Санкт-Петербург: Императорская Академия Наук. Т. 1. 438 с. [*Krashenninikov S.P.* Description of the Land of Kamchatka. 1755. Saint Petersburg: Imperial Academy of Sciences V. 1. 438 p. (in Russian)].
- Кременецкий А.А., Попов В.С.* Гигантское Cu-Au-Mo месторождение Пebbл на юго-западе Аляски: особенности строения и формирования; перспективы Северо-Востока и Дальнего Востока России // Разведка и охрана недр. 2010. № 9. С. 57–69 [*Kremenetsky A.A., Popov V.S.* The Giant Pebble Cu-Au-Mo Deposit in Southwestern Alaska: geology, formation conditions and their implications for outlook in the Russian Northeast and Far East // *Razvedka i ohrana nedr*. 2010. № 9. P. 57–69 (in Russian)].
- Кременецкий А.А., Спиридонов И.Г., Пилицын А.Г. и др.* Минерально-сырьевые кластеры Арктической зоны России и перспективы расширения внешней границы ее континентального шельфа // Руды и металлы. 2022. № 4. С. 32–53. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2022-10021> [*Kremenetsky A.A., Spiridonov I.G., Pilitsyn A.G. et al.* Mineral-and-energy clusters of the Russian Arctic and prospects for expanding the outer boundary of its continental shelf // *Ores and metals*. 2022. № 4. P. 32–53 (in Russian)].
- Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С.* Медно-порфировые месторождения мира. Москва: Недра, 1986. 236 с. [*Krivtsov A.I., Migachev I.F., Popov V.S.* Medno-porfirovye mestorozhdeniya mira. Moskva: Nedra, 1986. 236 p. (in Russian)].
- Латышев А.В., Аносова М.Б., Латанова Е.А. и др.* Палеомагнетизм неогеновых магматических комплексов Южной Камчатки // Всероссийская конференция с международным участием «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород». Сборник тезисов. Казань. 2023. С. 34 [*Latyshov A.V., Anosova M.B., Latanova E.A. et al.* Paleomagnetism of Neogene igneous complexes of Southern Kamchatka // *All-Russian conference with international participation «Paleomagnetism and magnetism of rocks»*. Abstracts. Kazan. P. 34].
- Методика количественного химического анализа. Рентгеноспектральное флуоресцентное определение фтора, натрия, магния, алюминия, кремния, фосфора, калия, кальция, скандия, ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, стронция, циркония, ниобия в горных породах, рудах и продуктов их переработки. Методика № 439-РС. М., 2010. МПР РФ. Федеральный научно-методический центр лабораторных исследований и сертификации минерального сырья «ВИМС». 26 с. [*Metodika kolichestvennogo himicheskogo analiza. Rentgenospektralnoe fluorescentnoe opredelenie ftora, natriya, magniya, alyuminiya, kremniya, fosfora, kaliya, kalcija, skandiya, vanadiya, hroma, marganca, zheleza, kobalta, nikelya, stronciya, cirkoniya, niobiya v gornyykh porodah, rudah i produktov ih pererabotki. Metodika № 439-RS. M., 2010. MPR RF. Federalnyj nauchno-metodicheskij centr-laboratornyh issledovaniy sertifikacii mineralnogo syr'ya «VIMS»*. 26 p. (in Russian)].
- Мигачев И.Ф., Минина О.В., Звездов В.С.* Корякско-Камчатский регион – потенциальная медно-порфировая провинция // Отечественная геология. 2020. № 4–5. С. 3–23. <https://doi.org/10.47765/0869-7175-2020-10020> [*Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S.* Koryak-Kamchatka region: potential porphyry copper province // *Otechestvennaya geologiya*. 2020. № 4–5. P. 3–23 (in Russian)].
- Мигачев И.Ф., Минина О.В., Звездов В.С.* Перспективы территории Российской Федерации на медно-порфировые руды // Руды и металлы. 2015. № 1. С. 74–92 [*Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S.* Prospectiveness of the Russian Federation territory for Cu-porphyrates // *Ore and metals*. 2015. № 1. P. 74–92 (in Russian)].

- Селиверстов Н.И.* Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Москва: Научный мир, 1998. 160 с. [*Seliverstov N.I.* Stroenie dna prikamchatskih akvatori i geodinamika zony sochleneniya Kurilo-Kamchatskoj i Aleutskoj ostrovnyh dug. Moscow: Nauchnyi mir, 1998. 160 p. (in Russian)].
- Chiaradia M., Caricchi L.* Supergiant porphyry copper deposits are failed large eruptions // *Communication Earth & Environment*. 2022. V. 3. № 107. P. 1–9. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00440-7>.
- Kelley K. D., Lang J. R., Eppinger R. G.* The giant Pebble Cu-Au-Mo deposit and surrounding region, southwest Alaska: Introduction // *Economic Geology*. 2013. V. 108. № 3. P. 397–404.
- Kreiner D.C., Jones J.V. III, Kelley K.D. et al.* Tectonic and magmatic controls on the metallogenesis of porphyry deposits in Alaska // *Porphyry Deposits of the Northwestern Cordillera of North America: A 25-Year Update*. 2021. P. 1–42.
- Maryono A., Harrison R.L., Cook D.R. et al.* Tectonics and Geology of Porphyry Cu-Au Deposits along the Eastern Sunda Magmatic Arc, Indonesia // *Economic Geology*. 2018. №. 113. P. 7–38. <https://doi.org/10.5382/econgeo.2018.4542>.
- Palyanova G., Sidorov E., Borovikov A. et al.* Copper-Containing Agates of the Avacha Bay (Eastern Kamchatka, Russia) // *Minerals*. 2020. V. 10. № 1124. P. 1–24. <https://doi.org/10.3390/min10121124>.
- Sillitoe R.H.* Porphyry copper systems // *Economic Geology*. 2010. V.105. № 1. P. 3–41. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>.
- Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Shapovalenko V.N. et al.* The Kirganik alkalic porphyry Cu-Au prospect in Kamchatka, Eastern Russia: A shoshonite-related, silica-undersaturated system in a Late Cretaceous Island arc setting // *Ore Geology Reviews*. 2021. № 128. P. 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103893>.

## NEW DATA ON COPPER MINERALIZATION OF THE PRIBERZHNY VOLCANIC COMPLEX OF SOUTHERN KAMCHATKA

O.V. Vladimirtseva<sup>1,2</sup>, O.V. Bergal-Kuvikas<sup>1,2,3</sup>, N.A. Subbotin<sup>4</sup>, S.Yu. Orlov<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 119017; e-mail: olga\_9\_4@mail.ru*

<sup>2</sup>*Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006;*

<sup>3</sup>*Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006 e-mail: kuvikas@mail.ru*

<sup>4</sup>*Limited liability company «Vega development», Moscow, Russia, 123112; e-mail: Nikolay.Subbotin@vegadevelopment.com*

<sup>5</sup>*Limited liability company «Geoarkhive», Korolev, Russia, 141080; e-mail: nogik@mail.ru*

Received Yule 21, 2024; revised December 11, 2024; accepted December 25, 2024

New information is presented on copper mineralization in the Priberzhny Volcanic Complex (PVC), which is part of the Eastern Kamchatka-Kurilsk volcanic plutonic belt (part of Kurile-Southern Kamchatka island arc system). The study area is situated along the eastern coast of the southern part of the Kamchatka Peninsula, from Avacha Bay to Mutnaya Bay. The study of the selected rock material revealed elevated copper contents in a significant part of volcanic and intrusive rock samples compared to clark ones. The sources of copper intrusion into the PVC rocks are debatable, and the article considers its possible origin. The distribution of copper porphyry deposits in comparable tectonic settings among other island arcs of the Pacific Rim gives rise to the question of whether such deposits may be present in the coastal strip of the southeastern part of Kamchatka. Based on the geological and structural characteristics of the PVC, the authors admit the principal possibility of existence of copper porphyry systems in the region, despite their absence on the surface. The findings of our research provide a rationale for further thematic prospecting works.

*Keywords: copper, island arc, copper porphyry systems, forecasting, Kamchatka.*