



УДК 553.3/.4:553.2

В. М. Округин¹, Д. А. Яблокова¹, С. В. Москалёва¹,
Г. А. Рослый³, Т. М. Философова¹, М. В. Чубаров¹,
О. А. Зобенько¹, А. М. Округина¹, Е. В. Карташова¹,
К. О. Шишканова¹

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: okrugin@kscnet.ru*

² *Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,
Петропавловск-Камчатский, 683 032*

³ *ООО «Геосервис», Петропавловск-Камчатский, 683 002*

Рудные минералы в осадочных породах Восточной Камчатки

Впервые изучены по разрезу параметрической скважины № 1 (Усть-Камчатск, УКПС1, глубина 3500 м) некоторые типоморфные особенности (размер, форма, микроструктура, химический состав) таких рудных минералов как пирит, сфалерит, халькопирит, сульфиды никеля и кобальта (?) магнетит и др. Применение классических методов минераграфии и петрографии в сочетании с новейшими физико-химическими позволило выявить химическую неоднородность агрегатов пирита, обусловленную неравномерным распределением мышьяка и марганца, образующих в них локальные концентрационные микрзоны и оригинальные сульфидные биоморфозы. В гравелитах и конгломератах встречены обломки кварца с минерализацией эпitherмального типа. В ультраосновных породах обнаружены рудные минералы, характерные для сульфидных медно-никелевых (платиноносных?) руд. Сделано предположение о возможности существования в эоцене, выведенных на эрозионный срез коренных гидротермальных золоторудных месторождений, которые могли стать источником «древних» россыпей.

Введение

Создание сырьевой базы цветных и благородных металлов зависит от степени перспективности территории. Прогнозирование, поиски и оценка новых, прирост запасов уже известных эндогенных месторождений требуют применения самого широкого спектра методов геологоразведочных работ в сочетании с новейшими методами исследований. Один из эффективных инструментов для решения таких задач — учение о типоморфизме минералов. Типоморфные особенности рудных и жильных минералов содержат важную информацию о процессах развития рудообразующих систем, которые позволяет более достоверно оценивать генетические особенности месторождений и рудопроявлений, что, в конечном итоге, способствует разработке эффективных минералого-геохимических поисково-оценочных критериев и прогнозных признаков.

Однако в современной научной литературе практически нет данных, отражающих результаты детальных исследований рудных минералов в отложениях разновозрастных осадочных комплексов Восточной Камчатки. В определённой степени это было связано как со слабой обнаженностью района, так и задачами региональных геолого-съёмочных работ. В 2013–2014 гг. в срединной части восточного

побережья северо-восточнее пос. Усть-Камчатск была пройдена параметрическая (УКПС1) скважина глубиной до 3500 метров (рис. 1).

Авторы данного сообщения принимали участие в изучении керна и получили редкую возможность для детальных исследований рудных минералов, их типоморфных особенностей для реконструкции палеорудообразующих систем.

Краткие сведения о геологическом строении района

Северо-западную часть района занимает хребет Кумроч (650–812 м), северо-восточную — Тарховский и Столбовские хребты (160–830 м), в восточной и юго-восточной части располагается хребет Камчатского Мыса (1298 м). Действующие вулканы Шивелуч (3307 м), Ключевская сопка (4750 м), Безымянный (2882 м) и Ушковский (3943 м) расположены на расстоянии 70–150 км от района исследований.

В геолого-структурном отношении принадлежит Нерпичье-Столбовской депрессии северной части Тюшевского прогиба Восточно-Камчатской структурно-формационной зоны (рис. 1).

Скважина пройдена в пределах площади на слабо всхолмленной равнине, окружающей озера Нерпичье, Култучное, Столбовое, характеризующейся очень сложным геологическим строением. Она на-

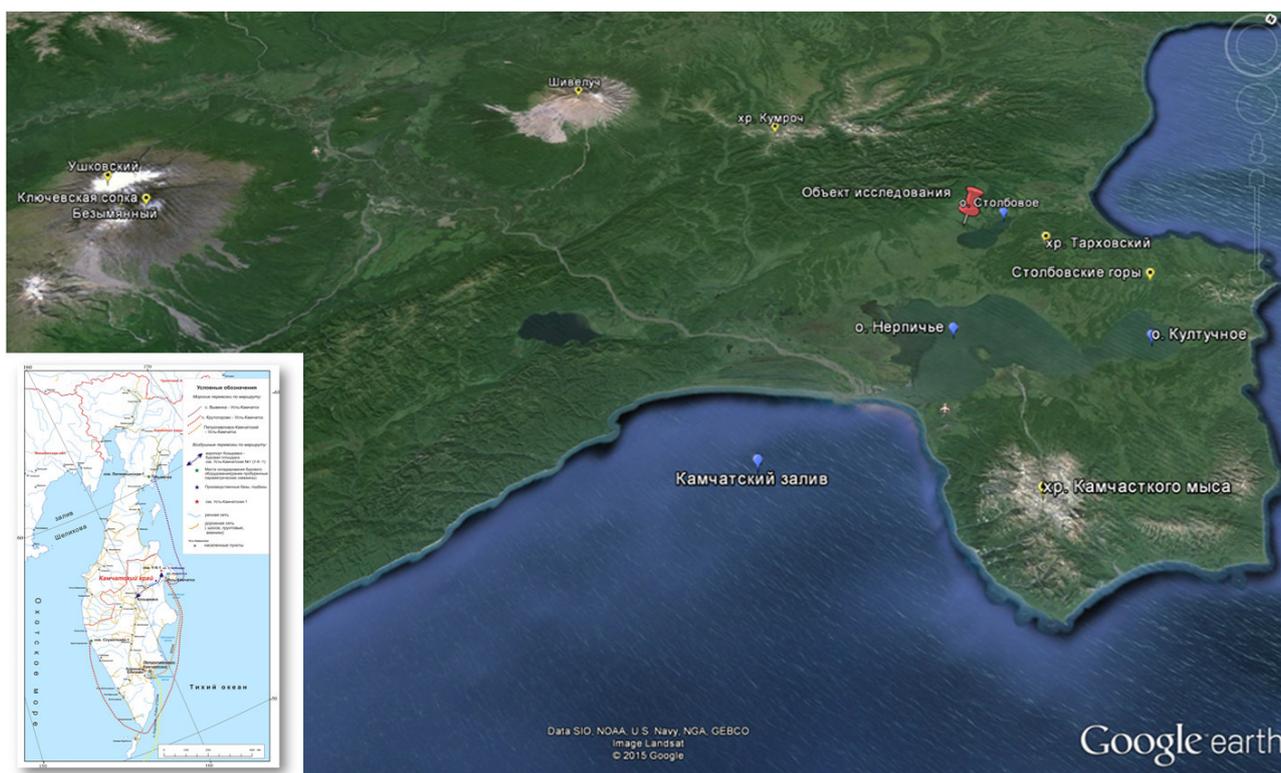


Рис. 1. Схема расположения объекта исследований.

ходится на сочленении двух структурно-формационных зон Кумрочско-Валагинской и Приокеанской. В каждой из этих зон выделяются свои свиты с характерными для них пачками преимущественно осадочных пород. Деформации, вызванные неотектоническими процессами, оказывают огромное влияние на геологическое строение [3]. Вертикальное и горизонтальное сжатия в Нерпичье-Столбовской депрессии продолжаются и в настоящее время.

УКПС1 вскрыла разрез мощностью более 3500 м, сложенный преимущественно осадочными породами от аргиллитов, крупнозернистых песчаников до гравелитов (рис. 2). В стратиграфическом отношении они подразделяются на: — разновозрастные отложения ветловской серии ($P_{1-2}vt$); — нерасчлѐнные каменногорской ($P_{1-2}km$) и баклановской свит ($P_{2}bk$); — горбушенскую толщу ($N_{1}gr$), ольховской свиты ($N_{2}-Q_{1}ol$) (рис. 2).

Осадочные отложения прорваны магматическими породами основного (габбро) и ультраосновного (пироксениты) составов.

Нижняя часть разреза (нижняя толща интервал 3530–2540 м) сложена переслаиванием аргиллитов, алевролитов, песчаников. По результатам биостратиграфического анализа эти отложения выделены в ветловскую свиту палеоцен-нижнеэоценового возраста. В интервале 3170–3080 м они прорваны дайкой (силлом?) магматических пород от основного до ультраосновного состава (габброидами) предположительно баклановского комплекса.

В интервале 2540–1980 м вскрыта — мощная пачка конгломератов с прослоями гравелитов. Выше в интервале 1980–1720 м разрез характеризуется переслаиванием аргиллитов, алевролитов, песчаников, гравелитов и относительно мощной пачкой аргиллитоподобных глин. В целом, породы интервала 2540–1720 м отнесены к нерасчлѐнным отложениям каменногорской и баклановской свитам средне-верхнеэоценового возраста.

Интервал 1720–490 м представлен переслаиванием слабосцементированных аргиллитов, алевролитов, песчаников, гравелитов, валунно-галечных отложений. По микрофауне отложения сопоставляются с горбушинской свитой средне(?)-верхнемиоценового возраста.

В верхней части разреза — интервал 490–115 м залегают грубообломочные отложения из слабосортированных литологических разностей осадочных и вулканогенных пород, выделенных в ольховскую свиту верхнего плиоцен-эоплейстоцена.

Каменный материал

Каменный материал — керн (монолитные образцы с разной степенью трещиноватости и дробления) и шлам (рис. 3). Последний состоит из обломков с размерами от 10,0 мм до 1,0 мм и менее. Традиционная схема изучения шлама сводится к следующим операциям — предварительное описание с помощью бинокулярного микроскопа обломков горных пород. Обломки, как правило, загрязнены пылевидными частицами, «затѐрты» вследствие разрушения

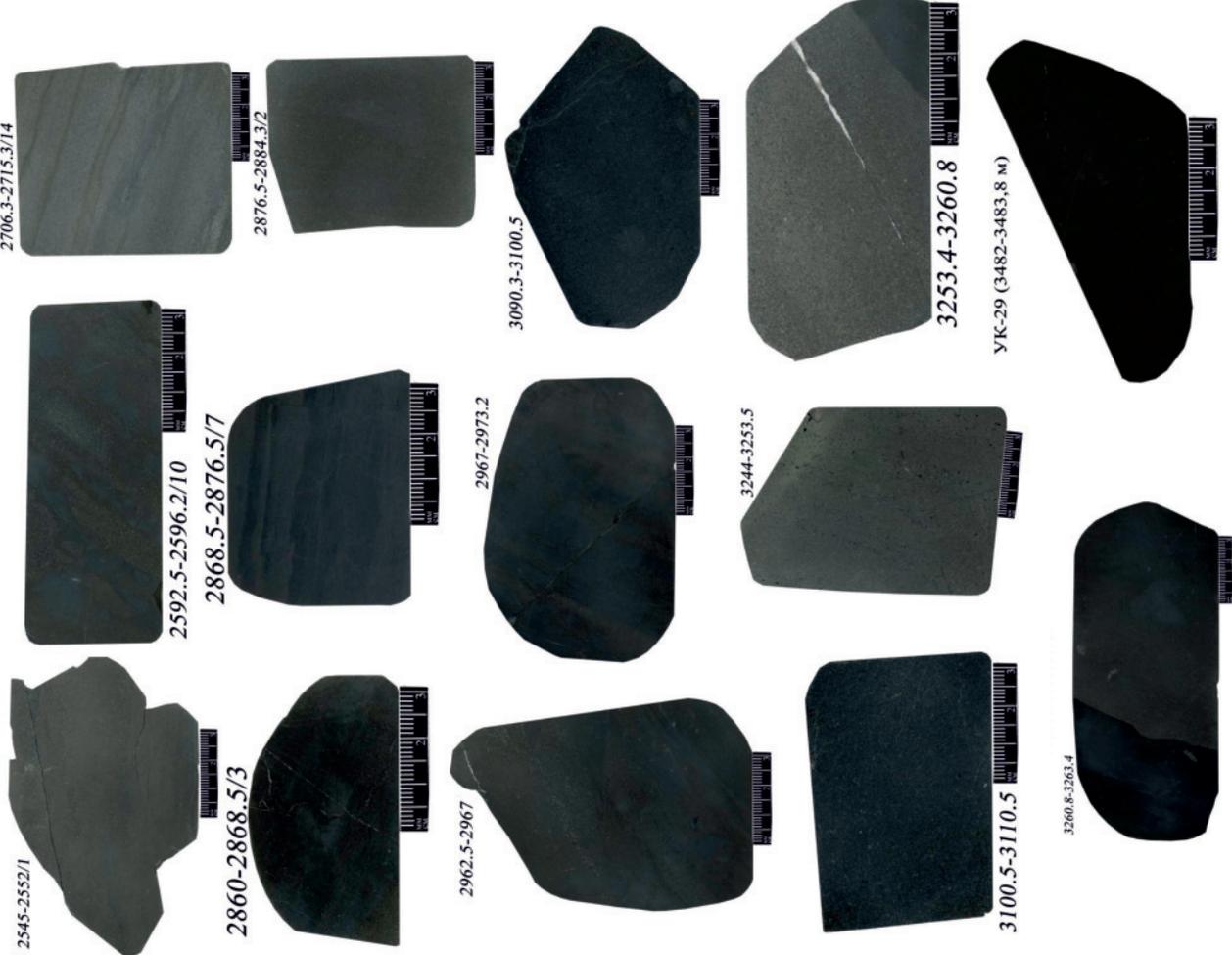
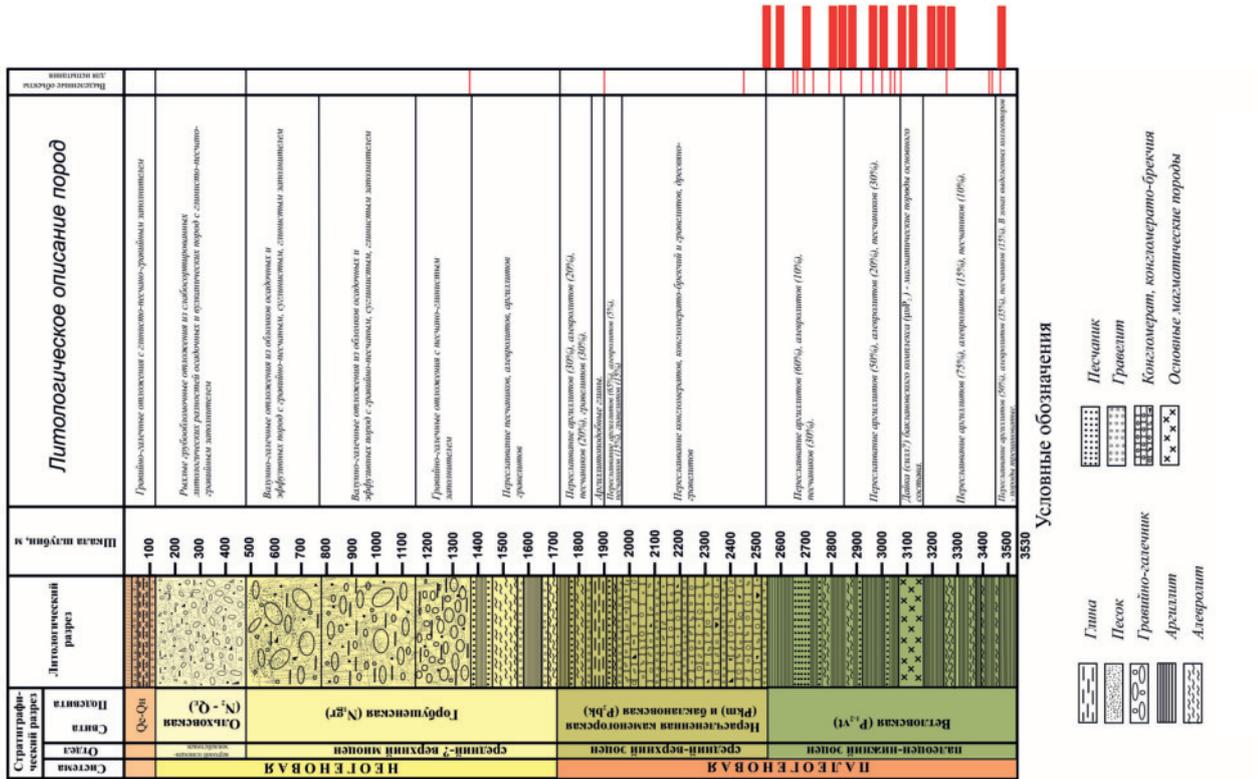


Рис. 2. Литолого-стратиграфическая колонка скважины УКПС1. Красные жирные линии — местоположение наиболее представительного каменного материала обогащенного рудными минералами (глубина в метрах).

- Условные обозначения
- Глина
 - Песок
 - Гравийно-галечник
 - Архаичлит
 - Алеврит
 - Песчаник
 - Гравелит
 - Конгломерат, конгломерно-брекчие
 - Основные магматические породы

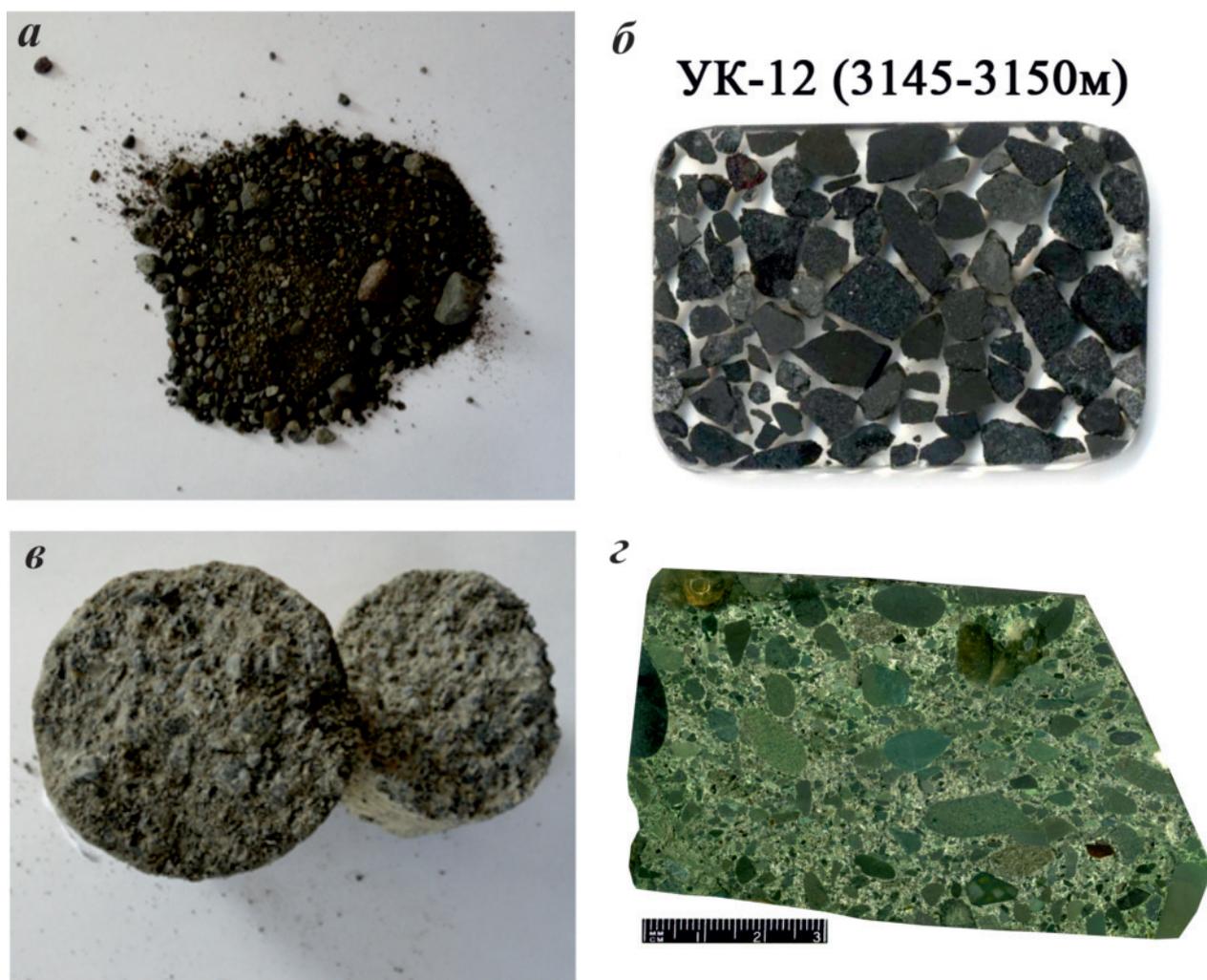


Рис. 3. Каменный материал: а — шлам в естественном состоянии, обр. УКПС1/1063, б — полированный штупф из шлама, обр. УКПС1/3145–3150; в — керн в естественном состоянии, обр. УКПС/1205; г — полированный штупф из керна, обр. УКПС1/2370–2375.

буровым инструментом первичной породы и последующей транспортировки промывочными растворами в шламоприемник. В них трудно, часто почти невозможно, выявить текстурно-структурные особенности исходных пород, строение минеральных агрегатов, диагностировать конкретные минералы. Шлам промывается, отбираются наиболее представительные и характерные обломки для изготовления шлифов, аншлифов и т. д.

При использовании такой схемы изучения исчезает информация о структурно-текстурных особенностях, минеральном составе пород, которые при проходке превращаются в шлам.

Авторами была применена, разработанная ранее методика изготовления искусственных полированных штупфов из многочисленных компонентов шлама, которые обеспечивали «представительность» интервала отбора. Навеска шлама весом 50 гр заливалась дистиллированной водой, промывалась, высушивалась в сушильном шкафу при температуре

105° С, укладывалась в специальную форму и заливалась эпоксидным компаундом. Затем изготавливался полированный штупф.

В керне скважины УКПС1 по составу пород, размерности частиц, степени трещиноватости и катклаза, литификации и метаморфизма выделены на следующие группы пород: — осадочные и магматические; — монолитные и трещиноватые (до тектонических брекчий с фрагментами зеркал скольжения); — от конгломератов и гравелитов до аргиллитов; — от «полулитифицированных» (дресва, «сыпучка») до фаций зелёных и углистых сланцев. Такое разнообразие пород, отличающихся своими физико-механическими и литолого-петрографическими свойствами, потребовало особых усилий на различных стадиях пробоподготовки для минералого-геохимических исследований.

Особые трудности при изготовлении полированных штупфов, аншлифов и шлифов вызывали осадочные породы средней части разреза (1945–2350 м),

сложенные рыхлой обломочной массой, размеры обломков которой составляли 0,01–3,50 мм. Они разрушались уже в процессе транспортировки. Их нельзя было распилить для изготовления полированных штупов, не говоря уже о кондиционных шлифах и аншлифах. Необходимо было выполнить предварительную стабилизацию эпоксидным компаундом по специальной методике.

Использование методов электронно-зондового микроанализа с помощью сканирующей электронной микроскопии SEM, EMPA для изучения химического состава минералов, их фазовой неоднородности и особенностей распределения в них химических элементов предъявляет особые требования к качеству полировки анализируемого объекта. Качество полировки стандарта и анализируемого образца в этом случае прямо влияет на результаты исследований.

Современные прецизионные микроскопические методы изучения минералов в отражённом свете только тогда могут быть эффективными, когда аншлифы и другие препараты обладают высоким качеством полировки.

Методы исследований

Диагностика, отчасти, идентификации рудных минералов осуществлялась методами классической минералогии и минераграфии с применением современного оптического оборудования — прецизионные микроскопы Axioskop 40 (Carl Zeiss, Германия), Eclipse LV 100 pol (Nikon, Япония) с цифровыми камерами для фоторегистрации и последующего изучения их химического и фазового составов с помощью электронно-зондового микроанализа.

Аналитические работы производились в лаборатории вулканогенного рудообразования, Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский), Аналитическом сертификационном испытательном центре ИПТМ РАН (г. Черноголовка). Содержания в породах макро — и микроэлементов (Sc, V, Cr, Co, Ni, Zn, Ga, Sr, Zr, Ba) определялись методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), микрокомпонентный состав — методом индукционно связанной плазмы (ICP-MS, ICP AES).

Изучение микроморфологии и микроструктуры, особенностей распределения элементов-примесей в рудных минералах было выполнено в лаборатории вулканогенного рудообразования (ИВиС ДВО РАН) на приборе Vega 3 Tescan, оборудованном энергодисперсионным X-max 50 mm² и волновым спектрометрами, программное обеспечение — AZtec (версия 2.4). Условия анализа: ускоряющее напряжение — 20 kV; ток зонда — 400 pA — 1 nA.

Результаты исследований

Рудные минералы (чёрные непрозрачные в проходящем свете, отличающиеся металлическим блеском на полированной поверхности) распространены по всему разрезу скважины. Среди них диагностированы сульфиды железа, железа и меди, цинка,

кадмия, кобальта и никеля; шпинелиды железа и хрома; самородные (золото?); оксиды и гидроксиды железа. Преимущественным развитием пользуются сульфиды (в преобладающих количествах — пирит). Они присутствуют повсеместно — от единичных зёрен, убогой вкрапленности и мелких линз до «слоистых тонкополосчатых сульфидных руд» (рис. 2).

Пирит — самый распространённый среди рудных минералов. Для него характерно разнообразие форм нахождения. Размеры зёрен меняются от 10 до 50 и более микрон (мкм). При этом их количества меняются от единичных обособлений, достигая 0,1% и более (до 1–2%) общего объёма породы. Он представлен идиоморфными кристаллами и агрегатами пентагондодекаэдрического, кубического и октаэдрического габитуса, которые образуют как редкую вкрапленность, гнёзда, линзы, сульфидные микрослойки, прожилки с размерами до 300 микрон (рис. 4). Одна из распространённых и оригинальных форм выделений пирита — своеобразные сферолоиды, представляющие собой срастания отдельных кристаллов пирита (пентагоны, кубы, октаэдры) в форме сферы (рис. 4). В некоторых случаях они близки по своей микроморфологии к сферолоидам, которые характерны для гидротермально изменённых пород, перекрывающих геотермальные резервуары Мутновского месторождения парогидротерм [4]. Наибольшего разнообразия морфологии (габитуса), микроструктуры, химического состава (однородность и неоднородность) он достигает на глубинах 2500–3100 метров. Установлены две разновидности пирита — однородный (близкий к стехиометричному) и неоднородный, как правило, зональный (за счёт локального концентрирования мышьяка и марганца в виде отдельных микроучастков — микрозон, ширина которых 1–5 мкм). Концентрации мышьяка в таких микрозонах у отдельных зёрен пирита достигают 4–5 вес. %. Количество марганца варьируют от 0,3 до 2,6 вес. % (табл. 1, рис. 6). Зёрна пирита, зональные по марганцу, напоминают Fe-Mn конкреции (рис. 6).

Присутствие микрофауны — характерная особенность осадочных пород разреза. В некоторых случаях её количество достигает 0,1% и тогда пирит образует псевдоморфозы (биоморфозы), отличающиеся удивительным микростроением (рис. 5).

Сфалерит — один из наиболее редких сульфидов. Он встречен как в осадочных, так и в магматических породах и представлен округлыми гнездами (до 5 мкм, линзовидными выделениями размером 10–15 мкм (рис. 7). Структура, как правило, кристаллическая, иногда с элементами зонального коллоидного строения.

Сфалериты отличаются содержаниями железа. Мелкие размеры единичных зёрен не позволили получить корректные микрозондовые анализы. Однако, в более крупных агрегатах (до 30 микрон)

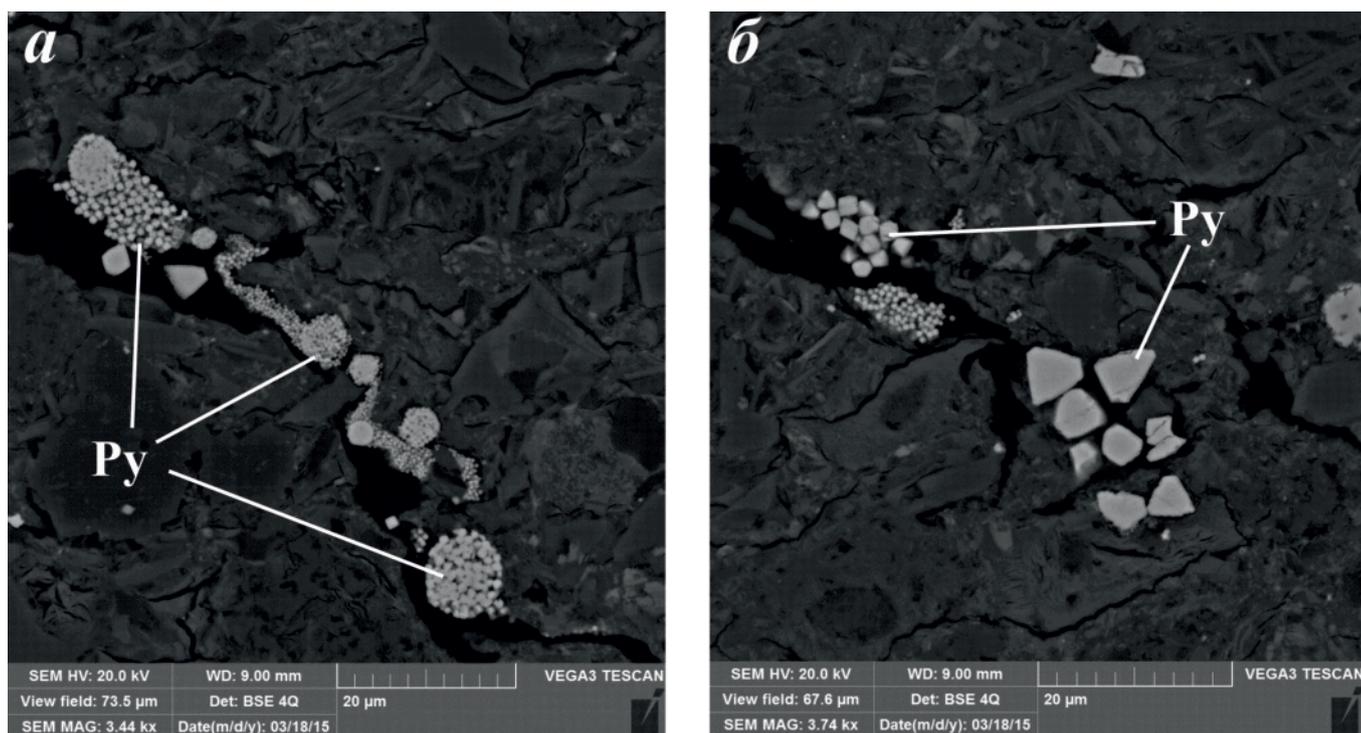


Рис. 4. Формы выделения пирита: а — агрегаты кристаллов (пентагоны, кубы) и сферолоидов, слагающие сульфидный прожилок; б — кристаллические зёрна, выполняющие свободное пространство в осадочных отложениях. Обр. УКПС1/2868,5–2876,5. *Py* — пирит. Растровый снимок в отражённых электронах (BSE), микроскоп Tescan Vega.

Таблица 1. Химический состав пирита по данным электронно-зондового микроанализа (вес. %)

Хим. элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fe	46,14	46,42	45,46	46,12	46,19	46,05	44,09	45,23	44,88	45,19	43,27	42,38
S	51,59	49,11	50,25	50,18	50,12	51,85	53,53	51,68	52,83	52,61	53,61	52,94
As	1,06	4,07	3,29	2,36	2,46	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,88	1,47	0,61	0,30	2,72	2,58
сумма	98,59	99,49	99,00	98,66	98,77	98,40	99,51	98,38	98,32	98,10	99,61	97,90

Примечание: 1–6 — номера анализов с глубин 2868,5–2876,5 м, 7–12 — номера анализов с глубин 2545–2552 м.

Анализы выполнены с помощью системы микроанализа на базе РЭМ Tescan Vega с ЭДС спектрометром Oxford Inst. AZtec X-Max50, ускоряющее напряжение 20кэВ.

обнаружены наиболее высокие концентрации железа (до 5,23 вес. %).

Халькопирит встречается в виде единичных кристаллов (не более 10 микрон), включений в пирите (не более 20 микрон) в гравелитах и габбро (рис. 8).

Самородное золото (?) обнаружено в кварцевой гальке гравелитов и конгломератов (интервал 2540–1720 м) в ассоциации с пиритом и микрофазами содержащими серу, серебро, мышьяк и теллур. Исключительно мелкие размеры при сложном строении рыхлой «сыпучей» матрицы не позволили пока произвести полноценные микрозондовые исследования, которые будут продолжены в будущем.

Магнетит распространен как в осадочных породах, так и в магматических, где представлен

октаэдрическими кристаллами, кристаллическими сростками и агрегатами (рис. 8).

В ультраосновных породах диагностированы такие рудные минералы, как пентландит, халькопирит, пирит, хромшпинелиды (рис. 9). Они образуют собой единичную рассеянную вкрапленность с размерами зёрен не более 50 микрон.

Заключение

Рудные минералы пользуются повсеместным распространением. Их количества в отдельных случаях достигают 0,01–0,10–1,00–2,00%. Среди них диагностированы сульфиды — пирит, сфалерит, халькопирит, пентландит, гринокит; шпинелиды железа и хрома; самородные (золото?); оксиды и гидроок-

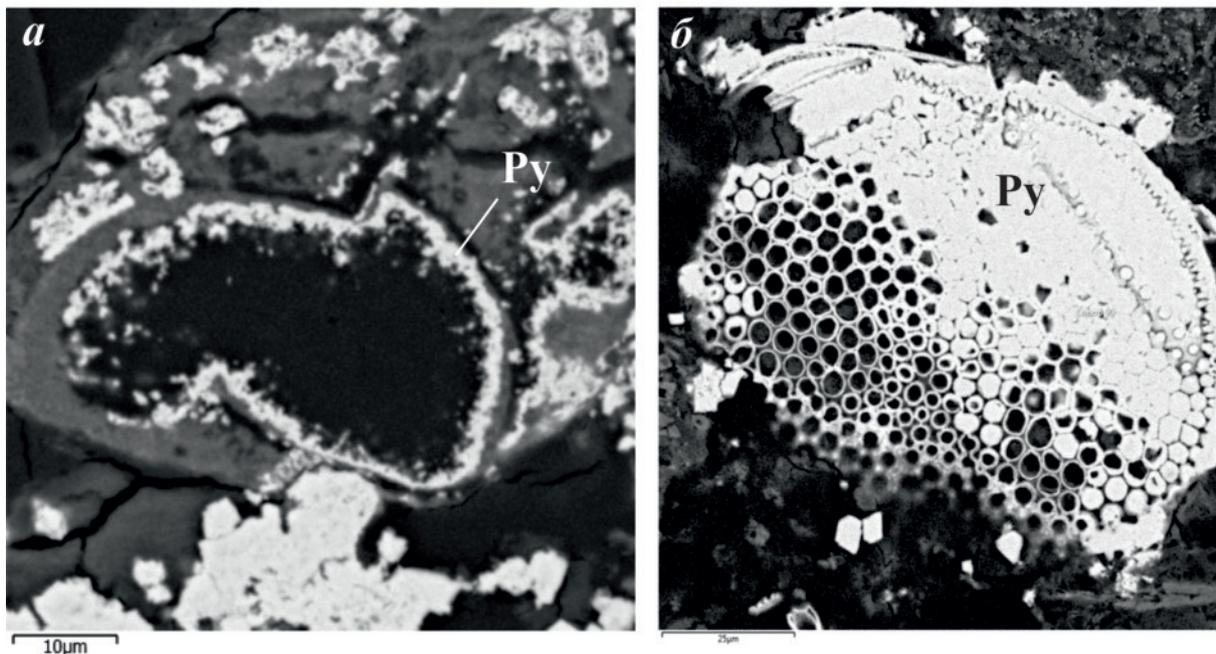


Рис. 5. Биоморфозы пирита: а — обр. УКПС1/2545–2552; б — 3260,8–3263,4. *Py* — пирит. Растровый снимок в отражённых электронах (BSE), микроскоп Tescan Vega

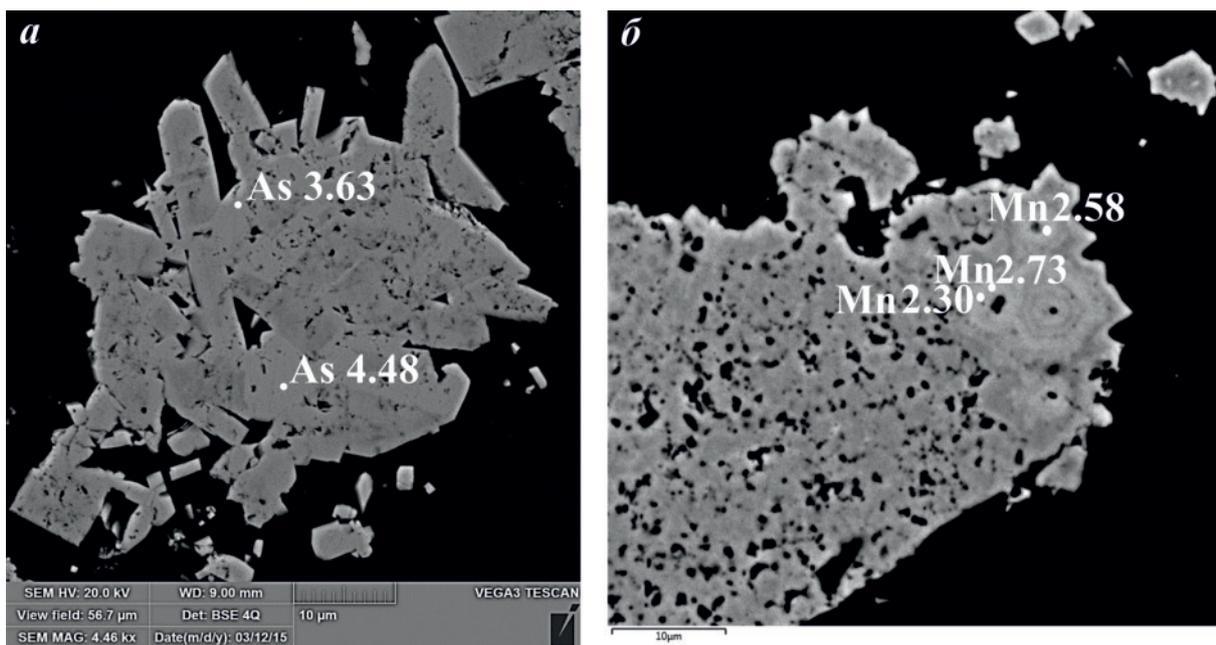


Рис. 6. Неоднородное строение пирита, обусловленное локальным обогащением отдельных зон (белое): а — мышьяком (As), обр. УКПС/2868,5–2876,5; б — марганцем (Mn), обр. УКПС/2545–2552. Растровый снимок в отражённых электронах (BSE), микроскоп Tescan Vega.

сиды железа. Они присутствуют в виде единичных кристаллов, образуют гнезда, линзы, микропрослой и прожилки.

Впервые для осадочных отложений Восточной Камчатки установлены агрегаты пирита, имеющие неоднородное химическое строение за счёт обогащения отдельных микрозон мышьяком и марганцем. Пирит осадочных пород Восточной Камчатки имеет

определенное сходство с пиритом зон гидротермальных изменений над геотермальными резервуарами Мутновского месторождения парогидротерм. Химическая неоднородность пирита по мышьяку и марганцу была установлена в рудах золото-серебро-полиметаллического месторождения Мутновское.

Таким образом, сульфидная минерализация в осадочных отложениях разреза носит полигенный и по-

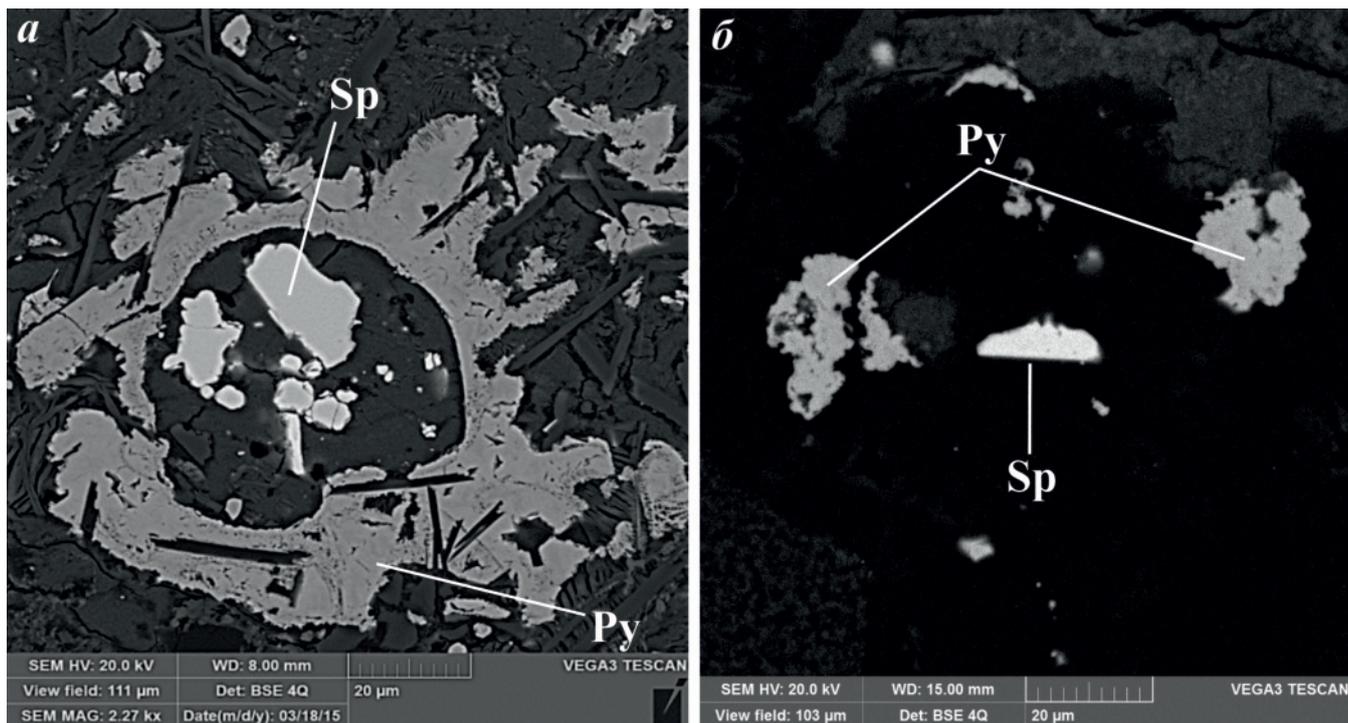


Рис. 7. Взаимоотношения агрегатов сфалерита и пирита: а — обр. УКПС1/2545–2552; б — обр. УКПС1/2962,5–2967. *Py* — пирит, *Sp* — сфалерит. Растровый снимок в отражённых электронах (BSE), микроскоп Tescan Vega.

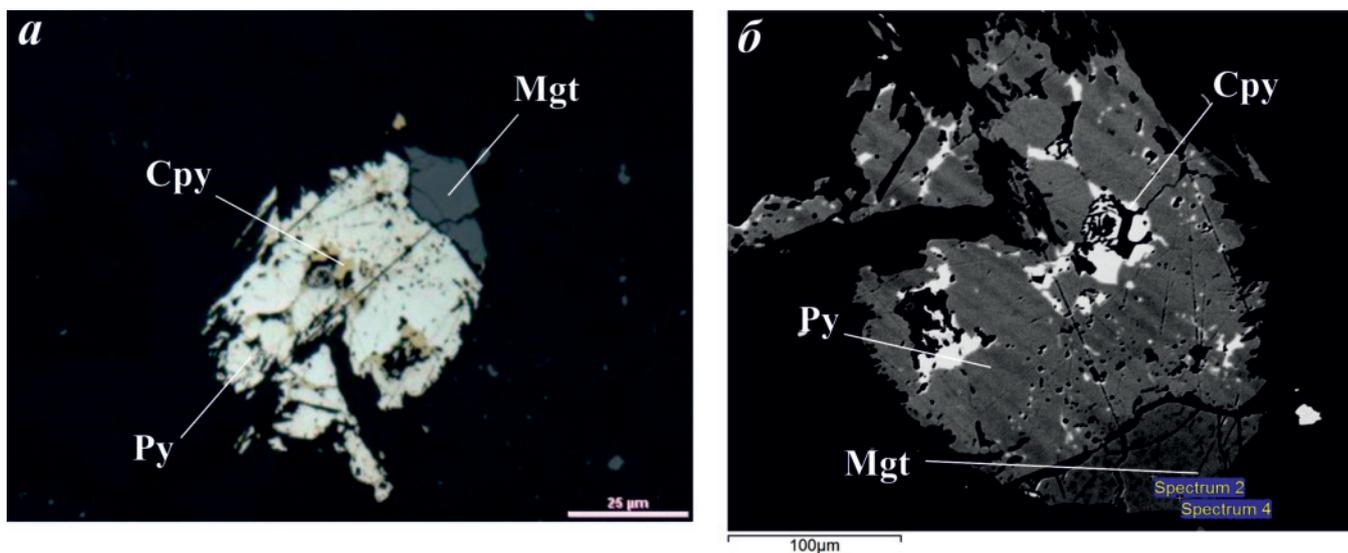


Рис. 8. Включения халькопирита в пирите, который ассоциирует с магнетитом. Обр. УКПС1/2545–2552. *Py* — пирит, *Cpy* — халькопирит, *Mgt* — магнетит. а — фото в отраженном свете, микроскоп Nikon LV100Pol; б — растровый снимок в отражённых электронах (BSE), микроскоп Tescan Vega.

лихронный характер. Нами выделяется: — сингенетичная, связанная, непосредственно, с процессами осадконакопления и литификации; — эпигенетичная, наложенная, обусловленная процессами гидротермальной деятельности, природа которой требует дальнейших исследований.

Обнаружение кварцевой гальки в конгломератах с реликтами минеральной ассоциации типа «Агинской» позволяет высказать предположение

о возможности существования в эоцене коренных гидротермальных золото-серебряных месторождений. Будучи выведенными на дневную поверхность, они могли стать источником «древних» золотоносных россыпей.

Сульфидная медно-никелевая минерализация, наличие хромшпинелидов в магматических породах могут рассматриваться в качестве минералого-геохимических индикаторов присутствия в регионе ру-

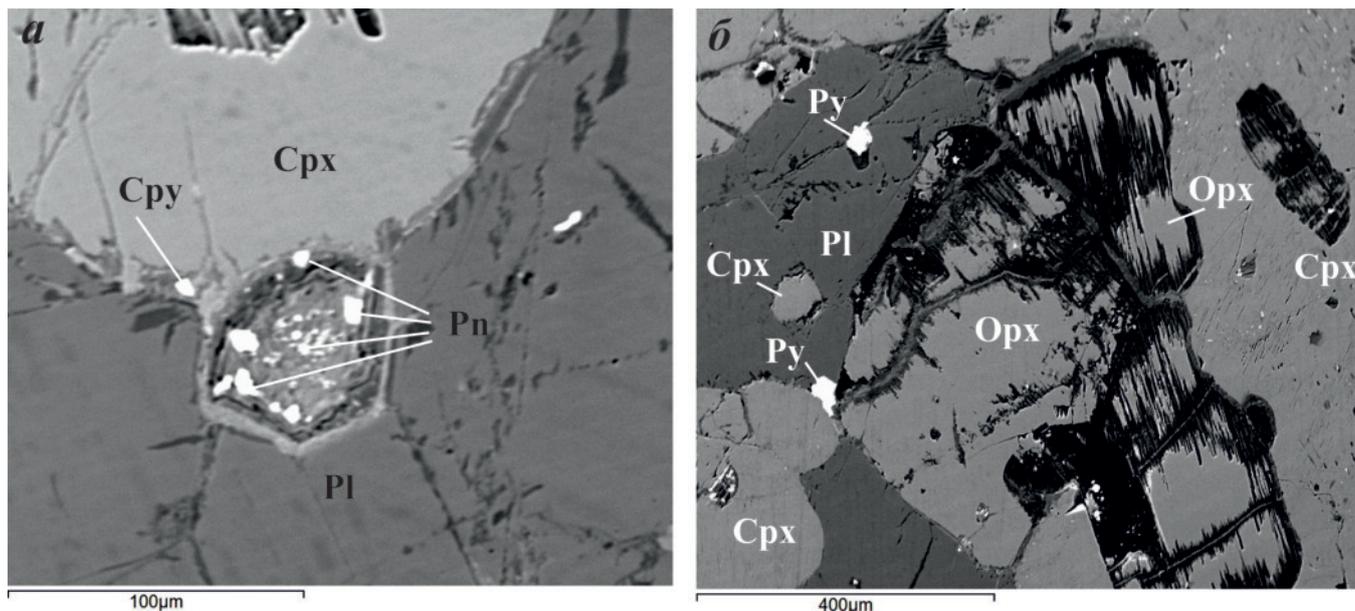


Рис. 9. Формы выделения рудных минералов в ультраосновных породах: а — пентландит и халькопирит; б — пирит. Обр. УКПС1/2400–2552. Орх — ортопироксены, Срх — клинопироксены, Pl — плагиоклазы, Py — пирит, Cpy — халькопирит, Pn — пентландит. Растровый снимок в отражённых электронах (BSE), микроскоп Tescan Vega.

доносных интрузивных комплексов основного-ультраосновного состава, перспективных в отношении платиноидов.

Авторы благодарны руководству ЗАО «Геосервис» и лично Лидии Владимировне Михнюк за помощь и внимание, проявленные на всех этапах проведения исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (программа стратегического развития ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012–2016 гг.), ЗАО «Геосервис».

Список литературы

1. Дир У. А., Хаун Р. А., Зусман Дж. Пирит. Породообразующие минералы. М.: Мир. 1966. Том. 5. С. 148–165.
2. Дир У. А., Хаун Р. А., Зусман Дж. Сфалерит. Породообразующие минералы. М.: Мир. 1966. Том. 5. С. 189–202.
3. Маргулис Л. С. Восточно-Камчатский прогиб. Условия нефтегазоносности и первоочередные геологоразведочные работы на нефть и газ — Тектоника и нефтегазоносность континентальных окраин. С-Петербург.: ВНИГРИ, 2000, 475 с.
4. Округин В. М., Яблокова Д. А. Сравнительный анализ сульфидных сферолоидов золотоносных конгломератов Витватерсранда (ЮАР) и современных гидротермальных систем Камчатки // Вестник КРАУНЦ. 2013. № 2 (22). С. 196–204
5. Округин В. М., Яблокова Д. А., Андреева Е. Д., Шишканова К. О., Чубаров В. М., Философова Т. М., Москалёва С. В., Чернев И. И., Чубаров М. В. Новые данные о пирите современных и палеогидротермальных систем Камчатского края // Тезисы докладов конференции. XVII ежегодная научная конференция, посвящённая Дню Вулканолога. Петропавловск-Камчатский: 27–28 марта 2014 г. С. 324–329.
6. Рамдор П. Рудные и минералы и их сростания. М.: Издательство иностранной литературы. 1962. 1132 с.