

УДК 553.078.2:553.411 (470.22)

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФЛЮОРИТ-СУЛЬФИДНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ КАЛЛИВОЛАМПИ (ВЕДЛОЗЕРСКО-СЕГОЗЕРСКИЙ ЗЕЛЕНОКАМЕННЫЙ ПОЯС, КАРЕЛИЯ)

**А. М. Ручьев**

*Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»  
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)*

На обнаженном участке флюорит-сульфидного проявления Калливолампи, в области тектонического контакта лопийских (неоархейских) и сариолийских (палеопротерозойских) гетерогенных горных пород отчетливо выражены структурные различия разновозрастных сдвиговых дислокаций. С использованием тектонофизических методов выявлены и идентифицированы многочисленные парагенезисы субплоскостных структурных элементов (ПССЭ). Их сопоставление свидетельствует о постсариолийском времени формирования. Установлены полифазность сдвиговой деформации и признаки многократной активизации большинства структурных элементов. Определены наиболее вероятные деформационные режимы формирования ПССЭ: на раннем, дорудном, этапе – доминирующий сбросовый и взбросо-сбросовый; на позднем, рудном и, вероятно, пострудном этапе – преимущественно сдвиговый, а также сбросовый и взбросо-сбросовый. Наличие в числе охарактеризованных рудных минералов благороднометаллических позволяет сравнить рудопроявление с золоторудными объектами. Установлено, что многие ПССЭ на удаленных друг от друга участках рудопроявления Калливолампи и ранее изученного постъятулийского месторождения золота Педролампи весьма сходны, вплоть до полной идентичности, и формировались в одних и тех же деформационных режимах. Одинакова и генеральная последовательность образования сдвиговых дислокаций различной пространственной ориентировки: сначала появились структуры с северо-западным и север-северо-западным, затем с преобладающим север-северо-восточным и северо-восточным простиранием плоскостей генерального смещения. Аналогия рудоконтролирующих структур, очередности их развития и деформационных условий позволяет рассматривать эти рудные объекты в качестве продуктов единой палеопротерозойской (постъятулийской) рудогенерирующей системы. Ответ на актуальный вопрос о принадлежности к ней различающихся по ряду признаков других золоторудных объектов, выявленных на площади Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса и его обрамления, могут дать дальнейшие целенаправленные тектонофизические и геохронологические исследования.

Ключевые слова: деформация; сдвиговая зона; тектонофизический анализ; парагенезис структурных элементов; золото

Для цитирования: Ручьев А. М. Структурные особенности флюорит-сульфидного проявления Калливолампи (Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный

пояс, Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 2. С. 82–98.  
doi: 10.17076/geo1548

Финансирование. Статья подготовлена в рамках НИР Института геологии КарНЦ РАН по теме № 121040600173-1.

## **A. M. Ruchyov. STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE KALLIVOLAMPI FLUORITE-SULPHIDE OCCURRENCE, VEDLOZERO-SEGOZERO GREENSTONE BELT, KARELIA**

*Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences  
(11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)*

The exposed zone of the Kallivolampi fluorite-sulphide occurrence, located at the tectonic contact of heterogeneous Lopian (Neoarchean) and Sariolian (Paleoproterozoic) rocks, clearly displays structural differences in shears of various ages. The numerous parageneses of subplanar structural elements (PSSE) were detected and identified using tectonophysical methods. Their comparison indicates that they formed in post-Sariolian time. The multi-phase pattern of the shear and signs of a multiple activation of most of the structural elements were revealed. The most probable deformation regimes of SPSE formation were recognized: a dominantly faulting and wrench fault regime in an early, pre-ore stage and a dominantly shear and wrench fault regime in a late ore and probably post-ore stage. Considering the presence of noble-metal minerals among the ore minerals, this ore occurrence can be compared with gold bodies. Many PSSEs in the zones of the Kallivolampi ore occurrence and the Post-Jatulian Pedrolampi gold deposit studied earlier, spaced far apart, were shown to be fairly similar and even fully identical and to have formed in the same deformation regimes. The general formation sequence of shears differing in spatial orientation was as follows: structures with the predominant north-western and north-north-western strike of displacement planes were the first to form; these were followed by structures with the dominantly north-north-eastern strike of general displacement planes. The similarity, evolution sequence, and deformation conditions of the structures suggest that they were produced by one Paleoproterozoic, Post-Jatulian ore-generating system. Further tectonophysical and geochronological studies are needed to find out whether other gold bodies with varying characteristics revealed in the Vedlozero-Segozero greenstone belt and its flanks belong to this system.

**Key words:** deformation; shear zone; tectonophysical analysis; paragenesis of structural elements; gold

**For citation:** Ruchyov A. M. Structural characteristics of the Kallivolampi fluorite-sulphide occurrence, Vedlozero-Segozero greenstone belt, Karelia. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;2:82–98. doi: 10.17076/geo1548

**Funding.** The article was prepared within research theme #121040600173-1 of the Institute of Geology KarRC RAS.

### **Введение**

Материалы изучения разнообразных золоторудных проявлений, локализованных на площади распространения пород Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (ВСЗКП), его обрамления и перекрывающих палеопротерозойских отложений, отражают противоречивость мнений о возрасте и последовательности формирования рудоконтролирующих деформационных структур, а также неудовлетворительную изученность их внутреннего строения и условий образования. Устранение этих неопределенностей и не-

достатков – задача важная и в научном отношении, и в практическом, так как успешность геологоразведочных работ зависит в первую очередь от адекватности металлогенических представлений и основанного на них прогноза.

В рамках указанной задачи изложенные далее сведения о рудоконтролирующих сдвиговых дислокациях золотосодержащего флюорит-сульфидного проявления Калливолампи, месторождения золота Педролампи и некоторых других благороднометалльных объектов Эльмусской лицензионной площади (участка) ВСЗКП заслуживают внимания в следующих аспектах.

Сдвиговая по своей физической сущности деформация горных пород – один из главных факторов, инициирующих и локализирующих процессы минерализации, поэтому получение возможно более полной информации о структуре и условиях формирования сдвиговых дислокаций, особенно рудоконтролирующих, необходимо и важно для характеристики разнообразных геологических объектов. Методы структурного анализа, применявшиеся в работе, позволяют: с использованием объективных критериев выделять парагенезисы субплоскостных структурных элементов (ПССЭ), совокупность которых определяет специфику внутреннего строения сдвиговых дислокаций; идентифицировать парагенезисы; решать обратную тектонофизическую задачу и определять принадлежность ПССЭ к тому или иному деформационному режиму. Сведения о структурных особенностях наблюдавшихся сдвиговых дислокаций, приведенные в статье, будут полезны при изучении рудных объектов ВСЗКП.

Массивы данных о ПССЭ дают возможность сравнения условий образования рудоконтролирующих сдвиговых структур. Наличие в них одинаковых парагенезисов является признаком формирования рудных объектов в сходных деформационных обстановках. Выявленная аналогия ПССЭ сдвиговых дислокаций рудопроявления Калливолампи и месторождения Педролампи позволяет считать их производными одной и той же палеопротерозойской рудообразующей системы, а также ставить вопрос о принадлежности к ней и некоторых других рудопроявлений Эльмусского участка ВСЗКП. Представляется, что целенаправленные тектонофизические исследования, подобные описанным в статье, в дальнейшем могут стать эффективным способом получения новых знаний о рудогенерирующих системах и разнообразии продуктов их функционирования.

### Объект исследований

Флюорит-пиритовое проявление Калливолампи (GPS, WGS 84 – 62°39'45" с. ш. 33°40'48" в. д.), открытое специалистами ККГЭ «Севзапгеология» [Сиваев и др., 1982], расположено на площади неоднократно охарактеризованного [Светов, 2005 и ссылки в ней] Койкарско-Семченского участка ВСЗКП, в границах выделяемого здесь Эльмусского золоторудного узла [Максимов и др., 2015] (рис. 1).

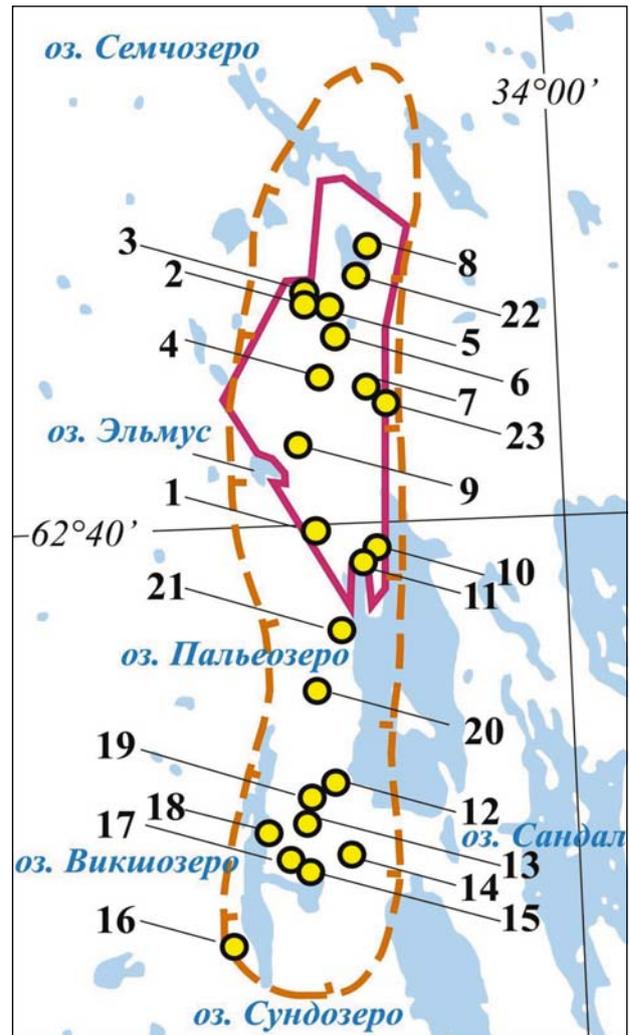


Рис. 1. Золоторудные и золотосодержащие месторождения (М), проявления (П), пункты минерализации (ПМ) в границах Эльмусского золоторудного узла (пунктир) и одноименной лицензионной площади (сплошная линия):

- 1 – Калливолампи (П); 2 – Педролампи (М); 3 – Кюняшельга (П); 4 – Талпус, Талпус-2 (П); 5 – Южка (П); 6 – Гавшламной (П); 7 – Пальеозерское (П); 8 – Североорехозерское (П); 9 – Эльмус (П); 10 – Заозерное (П); 11 – Салвилампи (ПМ); 12 – Шаргилампи (П); 13 – Койкарское колчеданное (П); 14 – Янишьярви (П); 15 – Ятулий-1 (П); 16 – Сухозерское (П); 17 – Кедри-Лампи (П); 18 – Черный Наволок (П); 19 – Северогирвасский (ПМ); 20 – Пальеозерский-2 (ПМ); 21 – Святонаволок (ПМ); 22 – Южноорехозерский (ПМ); 23 – Суглампи (ПМ). Данные по: [Максимов и др., 2015] с изменениями

Fig. 1. Gold and gold-bearing deposits (M), occurrences (O) and mineralization points (MP) in the Elmus gold zone (dashed line) and the Elmus licensed area (solid line):

- 1 – Kallivolampi (O); 2 – Pedrolampi (M); 3 – Kyunyashelga (O); 4 – Talpus, Talpus-2 (O); 5 – Yuzhka (O); 6 – Gavshlammnoya (O); 7 – Palyeozerskoye (O); 8 – Severoorekhovskoye (O); 9 – Elmus (O); 10 – Zaozernoye (O); 11 – Salvilampi (MP); 12 – Shargilampi (O); 13 – Koikary pyrite (O); 14 – Janisjärvi (O); 15 – Jatulian-1 (P); 16 – Sukhozerskoye (O); 17 – Kedri-Lampi (O); 18 – Cherny Navolok (O); 19 – Severogirvassky (MP); 20 – Palyeozersky-2 (MP); 21 – Svyatnavolok (MP); 22 – Yuzhnoorekhozersky (MP); 23 – Suglampi (MP). After: [Maksimov et al., 2015] modified

Рудопроявление локализовано в полимиктовых конгломератах палеозерской свиты сариолийского надгоризонта, контактирующих с фельзитами и кварцевыми порфирами бергаульской свиты верхнего лопия. В конгломератах выявлены две сближенные субмеридиональные линзовидные зоны (длина – 45 и 60 м, мощность – 6,5 и 5,0 м соответственно) тектонических брекчий с флюорит-пиритовым цементом, которые расположены в нескольких метрах от вертикального контакта разновозрастных пород и параллельны ему. При среднем содержании флюорита 2 % его прогнозные ресурсы – 8,7 т. Проявление было отнесено к формации медьсодержащих сульфидизированных метасоматитов зон дробления [Михайлов и др., 2006], позднее – к флюоритовой альбититовой формации [Максимов и др., 2015].

### Методы исследования

При исследовании особенностей строения рудопроявления использован метод идентификации структурных элементов сдвиговых дислокаций и решения обратной тектонофизической задачи подбором адекватного модельного парагенезиса [Ручьев, 2012 и ссылки в ней]. Этот метод, как и его прототип, метод усредненных характеристик [Гинтов, Исая, 1988] или структурных парагенезисов [Гинтов, 2005], основан на представлениях о пространственной ориентировке элементов идеализированного сдвигового структурного парагенезиса, описываемых тектонофизической моделью средней части зоны скалывания: антитетические ( $R'$ ) и синтетические ( $R$ ) сколы Риделя ориентированы под углом скалывания ( $\alpha_0$ ) к оси максимального главного напряжения  $\sigma_1$ , расположены с разных сторон от этой оси и под углом соответственно  $\pi/4 + \alpha_0$  и  $\pi/4 - \alpha_0$  к плоскости генерального смещения, отклоняясь от нее при правом сдвиге вправо, при левом – влево; синтетические  $R$ -сколы ориентированы под углом  $\alpha_0$  к оси минимального главного нормального напряжения  $\sigma_3$  и под углом  $\pi/4 - \alpha_0$  к плоскости генерального смещения, располагаются зеркально-симметрично к плоскости  $R$ -сколов;  $T$  – трещины отрыва – перпендикулярны оси  $\sigma_3$  и компланарны оси  $\sigma_1$ , ориентированы под углом  $\pi/4$  к плоскости генерального смещения, отклоняясь от нее при правом сдвиге вправо, при левом – влево; синтетические  $L$ -сколы параллельны плоскости генерального смещения зоны скалывания; плоскостные элементы структурного парагенезиса пересекаются по линиям, параллельным оси  $\sigma_2$ .

Использованный метод универсально применим для изучения структуры всех морфотипов сдвиговых дислокаций. Он позволяет выявлять ПССЭ, идентифицировать их, вычислять угол скалывания горных пород в природных условиях тектонической деформации, реконструировать пространственную ориентировку потенциальных (не наблюдавшихся) структурных элементов и осей главных нормальных напряжений.

При построении диаграмм, статистическом геометрическом анализе пространственной ориентировки структурных элементов горных пород, моделировании парагенезисов использовалась компьютерная программа StereoNet (v. 2.02). Ориентировка статистических плоскостей определялась по  $\pi S$ -диаграммам, построенным в режиме максимальной детальности (cosine exponent – 1000, Grid Resolution – 30).

Для определения деформационных режимов, соответствовавших условиям образования ПССЭ, применены диаграммы [Гинтов, 2005, рис. 1.68], отражающие связь морфолого-кинематических характеристик дизъюнктивных нарушений с величиной наклонов осей главных нормальных напряжений к горизонту.

При описании ПССЭ информация, необходимая и достаточная для их идентификации, дается в виде формул. Формула парагенезиса, например  $348 \angle 59,9 / ЮЗ < 345,1 \angle 4,9 \{R'RL\} 33-2$ , характеризует: 1) элементы залегания плоскости главного сдвига  $L$  (реконструируемые выделяются курсивом) – азимут линии ее простирания, угол и направление падения –  $348 \angle 59,9 / ЮЗ$  (для более лаконичной записи можно использовать азимут и угол линии падения –  $258 \angle 59,9$ ); 2) характер сдвига:  $<$  – левый,  $>$  – правый; 3) азимут и угол падения линии пересечения парагенетических плоскостных структурных элементов, являющейся также линией действия промежуточного напряжения  $\sigma_2$  –  $345,1 \angle 4,9$ ; 4) тип парагенезиса – совокупность составляющих его элементов, символы которых заключены в фигурные скобки, –  $\{R'RL\}$ ; 5) величину  $\alpha_0$  (цифра после фигурных скобок); 6) условный номер деформационного режима (цифра после дефиса): 1 – взбросовый, 2 – сбросовый, 3 – сдвиговый, 4 – взбросо-сдвиговый, 5 – сбросо-сдвиговый, 6 – взбросо-сбросовый, 7 – октаэдрический. Формула парагенезиса позволяет при необходимости реконструировать пространственную ориентировку всех структурных элементов и осей главных нормальных напряжений.

С учетом простирания плоскости главного сдвига (L) дислокации подразделяются на четыре условные группы: северо-западные (СЗ 293°–337°), субмеридиональные (СЗ 338° – СВ 22°), северо-восточные (СВ 23°–67°) и субширотные (СЗ 270°–292°, СВ 68°–90°).

Макрокомпонентный химический состав образцов горных пород определен в Аналитическом центре Института геологии КарНЦ РАН (г. Петрозаводск) методом количественной рентгенофлуоресцентной спектрометрии плавленных образцов с использованием прибора ARL ADVANT’X Thermo Fisher Scientific (аналитик С. В. Бурдюх). При минералогических исследованиях использовались рентгеноспектральный метод и энергодисперсионный микроанализатор INCA Eneergy 350 на базе электронного микроскопа VEGA II LSH (аналитик А. Н. Терновой).

### Фактический материал и его обсуждение

Западный фланг участка наблюдавшихся обнажений сложен лопийскими фельзитами – светло-серыми мелкозернистыми мусковит-калишпат-кварц-плагиоклазовыми лепидогетерогранобластовыми порфиоровыми (альбит, кварц) породами с соответствующим риоли-

ту средним химическим составом, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 75,79;  $\text{TiO}_2$  – 0,23;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 13,35;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  общ. – 1,36;  $\text{MnO}$  – 0,02;  $\text{MgO}$  – 0,20;  $\text{CaO}$  – 0,33;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 3,79;  $\text{K}_2\text{O}$  – 3,83; п.п.п. – 0,51; сумма – 99,41; S – 0,06. В них присутствуют акцессорные рутил, титанит и пирротин с включениями пирита (Со – до 2,88 мас. %).

В фельзитах ранняя фоновая сланцеватость северо-западного и субмеридионального (север-северо-западного) простирания отчетливо срезается субплоскостными структурными элементами мощной (не менее 25 м) субмеридиональной (север-северо-восточной) сдвиговой зоны (рис. 2, а), в которой и лопийские фельзиты, и примыкающие к ним с востока сариолийские полимиктовые конгломераты (рис. 2, б) подверглись интенсивному рассланцеванию (рис. 2, с), химическим и минеральным преобразованиям.

В области западного эндоконтакта наложенной сдвиговой зоны среди доминирующих рассланцованных фельзитов встречаются относительно крупные блоки флюорит-содержащих мелкозернистых пород с соответствующим кварцевому монцититу химическим составом, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 59,23;  $\text{TiO}_2$  – 0,23;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 13,35;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  общ. – 1,36;  $\text{MnO}$  – 0,02;  $\text{MgO}$  – 0,20;  $\text{CaO}$  – 0,33;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 5,65;  $\text{K}_2\text{O}$  – 2,72; п.п.п. – 0,51; сумма – 99,41; S – 0,06.



Рис. 2. Горные породы участка наблюдений и его обрамления:

а – лопийские фельзиты около запад-северо-западной границы рудоконтролирующей сдвиговой зоны: вне зоны – «фоновые» со сланцеватостью преимущественно северо-западного простирания (светло-серые), в зоне – с доминирующей сланцеватостью север-северо-восточного простирания, обохренные, с сульфидной и флюоритовой минерализацией (компас ориентирован точно на север); б – сариолийские полимиктовые конгломераты вне сдвиговой зоны; с – рассланцованные конгломераты внутри зоны

Fig. 2. Rocks of the observation area and its framing:

а – Lopian felsites near the west-northwest boundary of the ore-controlling shear zone: outside the zone – “background” with shale mainly of the north-western strike (light gray), in the zone – with dominant shale of the north-north-eastern strike, with sulfide and fluorite mineralization (the compass is oriented exactly to the north); б – Sariolian polymictic conglomerates outside the shear zone; с – shale conglomerates inside the zone

Возможно, эти субщелочные породы – материал дайки, дезинтегрированной в ходе полифазной сдвиговой деформации.

Рудоконтролирующая роль наложенной сдвиговой зоны вполне очевидна. Цементирующая флюоритовая и железистоокисная (железогидроокисная) минерализация наиболее интенсивно проявилась в ее западной эндоконтактной области (13–15 м видимой мощности сдвиговой зоны), где также присутствуют следующие минералы. Пирит – доминирующий сульфид нескольких генераций. К предположительно самой ранней из них относятся включения Со-содержащего пирита в пирротине (рис. 3, а). Затем образовывался Ni-, Ni,Tb-, Co,Tb-содержащий пирит кубического габитуса. Более поздняя генерация представлена формирующимся при изменчивых параметрах рудоотложения зональным мышьяковистым (As – 2,68–4,13 мас. %) пиритом с выделениями арсенопирита (рис. 3, б) и включениями пирротина, халькопирита, Tb-содержащего пирита и галенита. К завершающей генерации относится беспримесный пирит с включениями флюорита, а также коллоидный марказит. Пирротин представлен обособленной минеральной фазой с включениями Со-содержащего пирита (Со – 2,46 мас. %), встречается также совместно с галенитом, с кобальтином и халькопиритом, с пиритом и халькопиритом (рис. 3, с), в виде включений (реликтов?) в мышьяковистом пирите. Галенит (примеси, мас. %: Bi – до 5,2, Pd – до 1,63) «нарастает» на пирротин, образует включения в пирите, размещается между зерен силикатных минералов. Халькопирит встречается в ассоциациях: с пирротинном и пиритом (рис. 3, с); с крупными зернами кубического пирита; с арсенопиритом; во включениях в пирите. Сфалерит представлен минеральными индивидами с различным содержанием элементов-примесей, мас. %: Са до 1,98; Са до 7,32 и Fe до 5,6; Fe до 4,96. Арсенопирит присутствует в мышьяковистом пирите в виде включений (рис. 3, б), которым нередко свойственно повышенное содержание Ni (0,9–1,67 мас. %), а также в силикатной матрице в ассоциации с пиритом (рис. 3, д). Кобальтин (Ni,Fe-, Fe-кобальтин) «нарастает» на пирит некубического габитуса (рис. 3, е) и халькопирит. Агрегаты этих минералов встречаются и в силикатном матрикс, и во включениях в пирротине. Бертьерит (мас. %: Fe – 13,41, Sb – 57,30, S – 29,29) и тетраэдрит (мас. %: Ag – 3,51–4,64, Cu – 30,47–30,31, Fe – 10,21–13,03, Sb – 27,54–22,9, S – 25,59–29,12) присутствуют в виде включений в пирите (рис. 3, ф). Акантит образует псевдоморфозы

по аргентиту (рис. 3, г) в силикатной матрице и кристаллизуется на стенках пор во флюорите (рис. 3, h). Электрум (мас. %: Au – 54,08; Ag – 45,92) образует мелкие включения в пирите (рис. 3, i). В образцах пород также наблюдались: монацит, апатит (F до 5,26 мас. %), барит (мас. %: W – 3,9–4,05; Re – 1,84), циркон, окончательно не идентифицированные (оксидные, карбонатные?) минеральные фазы редкоземельных элементов цериевой группы.

Наличие электрума, мышьяковистого пирита – индикатора золотоносности (содержание мышьяка и золота в пирите связано прямой корреляционной зависимостью [Reich et al., 2005]), позволяет рассматривать флюорит-сульфидное проявление Калливолампи как золотосодержащее (потенциально золоторудное) и сравнивать его с другими благородно-металльными объектами ВСЗКП.

Тектонофизический анализ первичных фактических данных о залегании (рис. 4, а, д) и соотношениях субплоскостных структурных элементов (маркируемых минеральными новообразованиями дифференционной полосчатости; сланцеватости, «залеченного» кливажа) позволил с использованием  $\pi S$ -диаграмм определить пространственную ориентировку статистических плоскостей (рис. 4, б, е), выявить и идентифицировать ПССЭ, а также получить информацию о деформационных режимах их образования (табл. 1 и 2). Установлена принадлежность одних и тех же статистических плоскостей к различным ПССЭ (рис. 4, с, ф), указывающая на многократную активизацию большинства реальных структурных элементов в условиях полифазной деформации горных пород.

Фактические данные о субплоскостной анизотропии фельзитов позволяют выделить группы «ранних» и «поздних» ПССЭ (табл. 1). Фоновая сланцеватость фельзитов на площади вне сдвиговой зоны (рис. 2, а) отвечает преимущественно «ранним» дорудным структурным парагенезисам, хотя здесь присутствуют и явно наложенные «поздние» дискретные плоскостные элементы, пространственная ориентировка которых близка к таковой структурных элементов рудоконтролирующей сдвиговой зоны. Субплоскостная анизотропия сильно измененных фельзитов в эндоконтактной области сдвиговой зоны определяется «поздними», главным образом синрудными, а также пострудными ПССЭ, но при этом могут сохраняться структурные элементы, образовавшиеся в ходе дорудных деформаций.

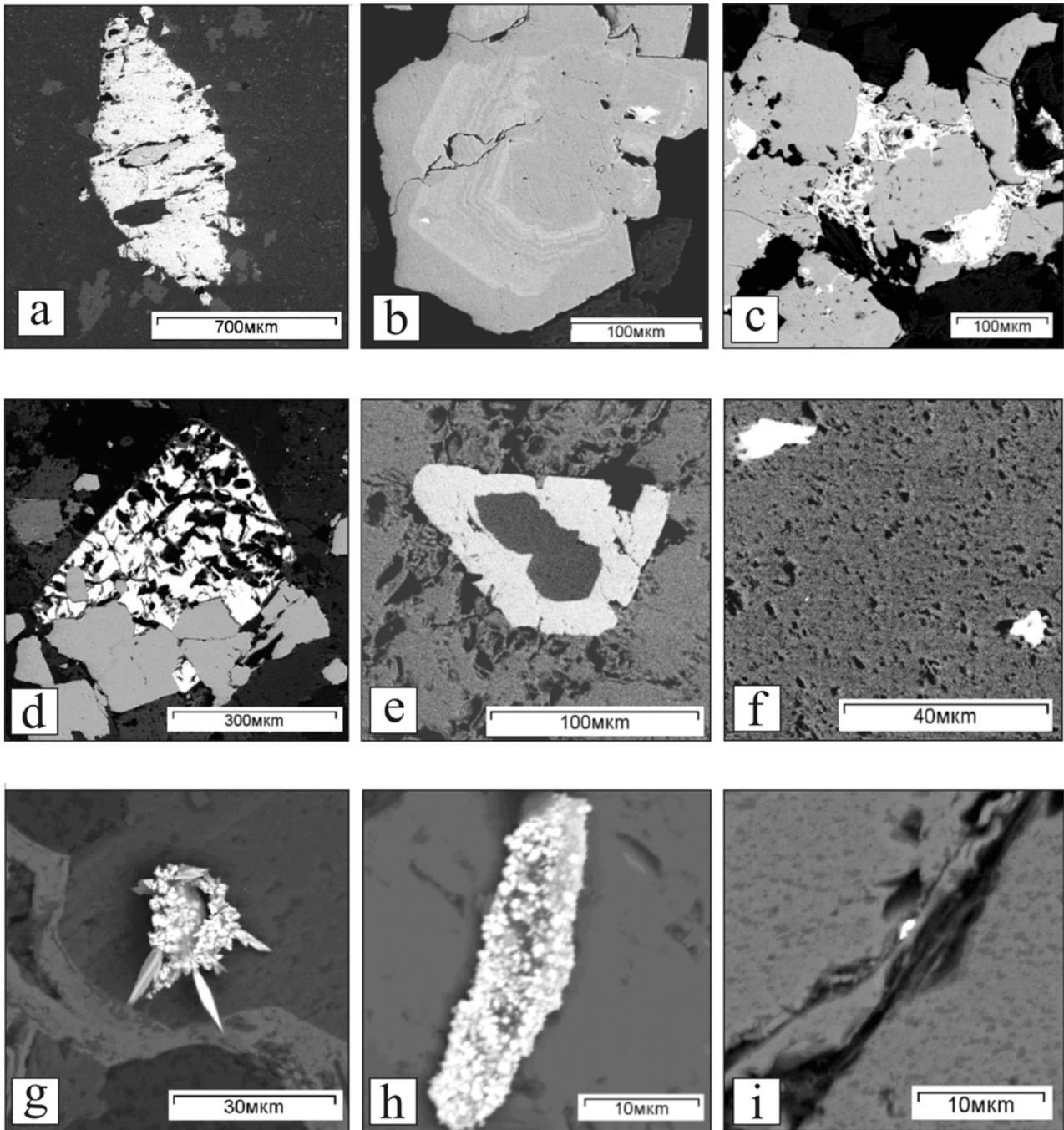


Рис. 3. Минеральные ассоциации в рудоконтролирующей сдвиговой зоне:

a – пирротин с включением пирита (серый), силикатные минералы затемнены; b – зональный мышьяковистый пирит (светлые зоны обогащены As) с включениями никелистого арсенопирита (слева внизу) и пирротина (справа вверх); c – пирит и халькопирит (светлые зерна) в силикатном матриксе (темный фон); d – обрастание пирита (серый) арсенопиритом (белый), силикатные и Fe-окисные минеральные фазы затемнены; e – Ni,Fe-кобальтин (белый), обрастающий пирит (темно-серый), в пирротине; f – включения бертьерита (слева сверху) и тетраэдрита в пирите; g – акантит (псевдоморфоза по аргентиту) в биотите, железозоксидная фаза выполняет трещины между зернами биотита и альбита (черный внизу); h – акантит в флюорите; i – электрум (светлое зерно) в трещине зерна пирита

Fig. 3. Mineral associations in the ore-controlling shear-zone:

a – pyrrhotite with pyrite inclusions (grey), silicate minerals, darkened; b – zonal arsenic pyrite (As-enriched light zones) with nickeliferous arsenopyrite and pyrrhotite inclusions (below, left) (above, right); c – pyrite and chalcopyrite (light grains) in silicate matrix (dark background); d – overgrowing of pyrite (grey) with arsenopyrite (white); silicate and Fe-oxide mineral phases are darkened; e – Ni,Fe-cobaltite (white), overgrowing pyrite (dark-grey), in pyrrhotite; f – berthierite and tetrahedrite inclusions (above, left) in pyrite; g – acanthite (pseudomorph after argentite) in biotite, Fe oxide phase fills fractures between biotite and albite grains (below, black); h – acanthite in fluorite; i – electrum (light grain) in a pyrite grain fracture

Таблица 1. ПССЭ лопийских фельзитов

Table 1. PSSE of the Lopian felsites

№	Формула ПССЭ Formula PSSE	№ No.	Формула ПССЭ Formula PSSE
	«Ранние» парагенезисы «Early» parageneses	40	27,8∠81,1/ЮВ<51,4∠68,6{R'RL}13-3
1	<i>337,1∠88,4/ЮЗ&gt;336,8∠12{R'RPT}31-6</i>	41	357,4∠72,4/CB>10,6∠35,7{R'RL}12-5
2	330∠63,1/CB>336,9∠13,3{R'RL}29-2	42	338,6∠42,1/CB>4,6∠21,6{R'RL}11a-2
3	330∠63,1/CB<148,7∠2,5{R'RTL}24-2	43	32,9∠62,9/C3<253,4∠51,7{R'RL}9-4
4	<i>335,3∠88,4/ЮЗ&gt;334,9∠14,4{RPT}22-6</i>	44	20,2∠17,9/C3<340,9∠11,6{RTL}9-2
5	<b>339,6∠74,9/ЮЗ&gt;336,4∠11,7{R'PL}18-1</b>	45	20,3∠78,3/ЮВ>53∠69,1{R'PL}6-3
6	334,5∠78,2/CB>336,7∠10,3{R'RL}18-2	46	27,8∠81,1/ЮВ<51,4∠68,6{R'PL}2-3
7	323,6∠80,9/CB>324,5∠6,3{RTL}9-2	47	357,4∠72,4/CB<147,8∠57,3{R'PL}38-3
8	334,5∠78,2/CB<151,7∠13{R'RL}14-2	48	<i>352∠67,7/ЮЗ&gt;236,6∠65,6{RPT}35-3</i>
9	<b>330∠83,9/ЮЗ&lt;150,5∠4,5{R'RL}9-2</b>	49	356,7∠80,9/ЮЗ>184,7∠40,9{PTL}32-5
10	323,6∠80,9/CB>328,2∠26,6{R'RL}9-6	50	27,1∠65,8/ЮВ<195,6∠23,8{R'RL}32-2
11	330∠63,1/CB<148,7∠2,6{RTL}9-2	51	329,9∠54/ЮЗ>267,4∠50,7{RTL}28-3
12	329,8∠68,9/CB>335,6∠11,9{RTL}9-2	52	<b>339,6∠74,9/ЮЗ&gt;197,7∠66,4{R'RL}24-3</b>
13	339,4∠69,6/ЮЗ>169,5∠25,2{R'RP}29-2	53	0,1∠71,7/C3<220,9∠63,1{R'RL}26-3
14	<b>340,9∠66,1/ЮЗ&lt;340,4∠1,2{RTL}27-2</b>	54	356,7∠80,9/ЮЗ>283,3∠80,5{R'RL}26-3
15	<b>339,6∠74,9/ЮЗ&gt;167,3∠26,7{R'RPL}24-1</b>	55	323,9∠30,2/ЮЗ>198,6∠25,4{R'RL}25-2
16	327,7∠72/ЮЗ>148,6∠2,7{PTL}21-2	56	27,1∠65,8/ЮВ<131,9∠65,1{R'RL}25-3
17	<b>340,9∠66,1/ЮЗ&lt;336,1∠10,6{R'RL}9-2</b>	57	<b>327,1∠62,9/ЮЗ&gt;195∠55,4{R'RL}24-3</b>
18	<i>340,2∠52,3/ЮЗ&gt;253,5∠52,3{RPT}37-3</i>	58	<b>17,9∠44,7/ЮВ&lt;185,8∠11,7{R'RL}23-2</b>
19	<b>339,6∠74,9/ЮЗ&gt;289,2∠70,7{RPL}23-3</b>	59	350,7∠87/CB<163,8∠66,3{RPL}23-3
20	333,1∠75,2/C3>279,9∠71,7{RPT}19-3	60	327,9∠87/CB>143∠58,3{R'PL}22-3
21	340,4∠69,1/CB>2,2∠44,1{R'RL}11-6	61	17,6∠87/C3<200,2∠41{R'RL}21-7
22	338,6∠42,1/CB>340,2∠1,6{R'RL}18-2	62	357,4∠72,4/CB<169,4∠23,6{R'RTL}20-2
	«Поздние» парагенезисы «Late» parageneses	63	12∠78/ЮВ<183∠36,3{R'RL}18-5
23	<i>13,1∠24,7/C3&lt;359,6∠6,2{R'PT}39-2</i>	64	21,7∠87,1/ЮВ<195,4∠65,1{RTL}18-3
24	10,8∠66,1/ЮВ>147,∠57{R'PL}38-3	65	283,6∠65,9/ЮЗ>138,7∠52,1{R'RL}17-5
25	<b>348∠59,9/ЮЗ&gt;341,1∠11,7{RTL}36-1</b>	66	351,1∠51,2/ЮЗ>178,9∠9,6{R'RL}15-2
26	<i>337,5∠88,3/ЮЗ&gt;333,7∠65,8{RPT}35-3</i>	67	356,7∠80,9/ЮЗ>187,4∠49,2{R'RL}14-3
27	<i>23∠55,5/ЮВ&gt;34∠15,6{RPT}34-2</i>	68	20∠72/C3<217,6∠43{R'RL}13-4
28	<b>348∠59,9/ЮЗ&lt;345,1∠4,9{R'RL}33-2</b>	69	329,8∠68,9/CB>109,5∠59,2{R'RTL}12-3
29	357,4∠72,4/CB>53,2∠69{R'PL}29-3	70	357,4∠72,4/CB<169∠24,6{R'PL}12-2
30	327,9∠87/CB>343,7∠79,1{R'RL}24-3	71	323,9∠30,2/ЮЗ>179,4∠18,7{R'RL}11-2
31	348∠89,5/ЮЗ>347,7∠32{R'RL}21-7	72	36,6∠81,2/C3<236,1∠65,1{R'RL}10-3
32	330∠63,1/CB>347,9∠31,2{R'RL}12-2	73	10,8∠66,1/ЮВ<131,8∠62,7{R'RL}10-3
33	334,5∠78,2/CB>10,5∠70,4{R'TL}20-3	74	326,2∠48,1/ЮЗ>202,6∠42,9{R'RL}9-5
34	17,6∠87/C3<15,9∠29,3{R'RPL}17-6	75	340,4∠69,1/CB>119,7∠59,7{R'RL}8-3
35	<b>348∠59,9/ЮЗ&gt;341,1∠11,7{RTL}36-1</b>	76	<b>347,5∠71,9/ЮЗ&lt;172,6∠15,3{PTL}8-1</b>
36	<b>7,8∠80,9/C3&lt;4,3∠20,8{R'RL}17-2</b>	77	<b>339,6∠74,9/ЮЗ&gt;168∠28,4{R'RL}8-2</b>
37	17,6∠87/C3<344∠84,6{R'RL}16-3	78	27,1∠65,8/ЮВ<193,1∠28,4{R'RL}7-2
38	327,9∠87/CB>334,7∠66{R'RL}14-3	79	326,2∠48,1/ЮЗ>169∠23,5{R'RL}5-2
39	316,6∠80,9/ЮЗ>293,6∠67,7{RTL}14-3	80	316,6∠80,9/ЮЗ>245,9∠80,4{R'RL}5-3

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3 выделены: жирным шрифтом и подчеркиванием – элементы залегания наиболее статистически значимых плоскостей, курсивом – элементы залегания реконструируемых плоскостей; серым фоном – активированные в ходе «поздних» деформаций сколовые и отрывные плоскости, появившиеся на этапе «ранних» деформаций.

Note. Here and in Tables 2 and 3 bold type and underlining indicate the modes of occurrence of the statistically most significant planes, the modes of occurrence of reconstructed planes are indicated by italics; grey colour indicates sheared and detached planes activated during «late» deformations and formed at an «early» deformation stage.

Таблица 2. ПССЭ сариолийских конгломератов

Table 2. PSSE of the Sariolian conglomerates

№	Формула ПССЭ Formula PSSE	№ No.	Формула ПССЭ Formula PSSE
1	330,9∠87,2/CB>331,1∠4,3{RPT}33-6	46	321,5∠84/CB>330,8∠56,9{RTL}22-3
2	330,1∠63,2/CB>330,9∠1,6{RTL}27-2	47	336,8∠26,9/CB>37,4∠23,8{RRL}19-2
3	330,1∠63,2/CB>331,4∠2,8{RTL}24-2	48	39,4∠26,5/IOB>179,8∠17,6{R'RP}14-1
4	336,8∠78/CB>337∠1,1{R'RPL}18-2	49	337,1∠74,9/IO3>161,1∠29,6{(R)PL}18-2
5	339,5∠57/CB>340,5∠1,6{R'RPL}15-2	50	330∠81/CB>346,3∠60,6{RRL}13-3
6	321,7∠70,6/CB>324∠6,6{R'RP}13-2	51	325,6∠77,6/IO3>283,3∠71,9{RRL}11-3
7	329,9∠75/CB>335,1∠18,5{RRL}10-2	52	292,4∠72/IO3>290,4∠6{RRL}6-1
8	330,1∠63,2/CB>331,6∠2,9{RTL}9-2	53	<b>349,2∠84/IO3&gt;341,4∠52,1{PTL}21-3</b>
9	340,1∠52,1/IO3>235,5∠51,2{RPT}37-3	54	<b>13,8∠77,8/C3&lt;10,4∠15,9{R'PL}35-2</b>
10	<b>335,4∠66,1/IO3&gt;163,6∠17,9{R'RPL}29-2</b>	55	12,7∠79,8/C3<2,7∠44{RPT}35-5
11	341,1∠80,9/IO3<340,8∠1,9{R'PL}27-2	56	16,9∠68,9/C3<10,3∠16,5{RTL}10-2
12	332,4∠71,7/IO3>154,2∠5,3{RPL}24-2	57	27,9∠81/C3<19∠44,3{RRL}17-5
13	325,6∠77,6/IO3<324,2∠6,3{R'PL}19-2	58	30∠86,9/IOB<31∠20,4{R'RTL}12-6
14	330∠63,2/CB<151,5∠3,4{RTL}9-2	59	19,7∠87/C3<15,4∠54,9{RRL}12-3
15	<b>335,4∠66,1/IO3&lt;332,5∠6,6{RRL}6-2</b>	60	<b>14,5∠80,8/IOB&lt;153,7∠75,8{RPL}28-3</b>
16	338,4∠73,8/CB>358,9∠50,3{R'RT}10-5	61	17∠57,1/IOB<193,7∠5{RRL}21-2
17	337,1∠74,9/IO3>282,5∠71,7{RTL}23-3	62	<b>4,1∠69,1/IOB&lt;171,2∠30,3{RTL}21-2</b>
18	<b>335,4∠66,1/IO3&gt;172,7∠33,8{RRL}23-2</b>	63	7∠78/CB<110,7∠77,7{PTL}20-3
19	336,8∠78/CB>154,7∠10{RRL}14-2	64	19,7∠87/C3<201∠23,6{PTL}19-6
20	309,9∠35,9/CB<3,8∠30,3{R'PL}40-1	65	357,5∠72/CB<171,3∠18,3{RRL}19-2
21	334,1∠87,1/CB<153,1∠19,9{RRL}21-6	66	<b>6,5∠83,9/IOB&lt;184,4∠19,1{PTL}16-2</b>
22	304,2∠20,8/IO3>160,4∠12,7{RRL}13-2	67	9,1∠60,1/IOB<141,1∠52,3{RRL}10-3
23	351,5∠75/CB<165,9∠19,9{R'RPL}11-2	68	357,1∠65,8/CB<166∠23,1{RRL}8-2
24	330,1∠63,2/CB>335,8∠11,1{RTL}10-2	69	9,1∠60,1/IOB<126∠57,2{RRL}6-3
25	336,8∠78/CB<156,3∠2,2{RRL}9-2	70	349,2∠84/IO3<172,2∠26,3{RTL}8-6
26	0∠36,1/IOB<134,6∠27,5{RRL}11-2	71	27,5∠69/C3<235,1∠51,3{RRL}9-5
27	352∠89,9/CB<171,9∠50,9{RRL}11-3	72	300,1∠32,9/IO3>212,8∠32,9{RRL}7-7
28	0,3∠78,2/IOB<170,2∠40{RRL}11-5	73	<b>357,9∠83,8/IO3&gt;182,1∠33,9{RPL}30-7</b>
29	327,2∠30,4/IO3<179,8∠17,9{R'RP}32-1	74	<b>335,4∠66,1/IO3&gt;163,6∠17,9{R'RPL}29-2</b>
30	350∠72/IO3>171,8∠5,6{RRL}27-2	75	<b>357,9∠84,1/CB&gt;152,7∠76,4{R'RPL}28-3</b>
31	340∠72/IO3>167,3∠21,2{R'PTL}23-2	76	341,1∠80,9/IO3<208,8∠77,8{RPTL}28-3
32	340∠72/IO3<340,4∠1,6{R'RPL}36-2	77	340∠72/IO3>167,1∠20,8{R'PTL}23-2
33	341,1∠80,9/IO3<338,3∠16,7{R'PL}18-2	78	<b>350∠54/IO3&gt;179,6∠12,9{RRL}14-2</b>
34	300,1∠32,9/IO3<152,3∠19{R'PL}14-1	79	340∠72/IO3>274,1∠68,6{RTL}10-3
35	<b>357,9∠84,1/CB&lt;1,2∠29,4{RRL}13-7</b>	80	<b>341,4∠62,8/IO3&gt;174,6∠24{RRL}8-2</b>
36	334,1∠87,1/CB>153,1∠18,8{R'PL}10-6	81	<b>350∠54/IO3&gt;184,3∠18,8{PTL}3-2</b>
37	336,8∠26,9/CB<148,9∠4{RRL}9-2	82	332,2∠81,2/IO3>159,2∠38,2{RRL}14-5
38	21,4∠62,9/C3>3,8∠30,6{R'PL}38-1	83	27,9∠81/C3<231,5∠68,4{RRL}17-5
39	350∠72/IO3<348,2∠5,5{RRL}33-2	84	30∠68,8/IOB<127,1∠68,7{RRL}8-3
40	<b>6,4∠83,9/C3&lt;6∠3,8{R'RPL}18-2</b>	85	332,4∠71,7/IO3>253,4∠71,4{RRL}28-3
41	<b>7∠78/IOB&lt;10,4∠15,7{R'PL}10-1</b>	86	329,9∠75/CB>107,6∠68,3{RRL}12-3
42	339,5∠57/CB>1,6∠30,1{RTL}14-2	87	<b>321,2∠59,8/IO3&gt;213,5∠58,6{RRL}8-3</b>
43	27,9∠81/C3<15,1∠54,4{RRL}19-3	88	332,4∠71,7/IO3>178,4∠52,9{RRL}24-3
44	<b>29,9∠59,7/C3&lt;265,1∠54,6{RRL}13-3</b>	89	6,5∠83,9/IOB<177,9∠47,1{RRL}11-3
45	304∠73,5/IO3>291,4∠52,4{R'PT}38-3	90	350∠72/IO3<176,2∠18,3{R'RPL}14-1

Сравнение развитых в архейских и протерозойских горных породах ПССЭ выявило сходство многих из них (табл. 3). В сопоставляемых выборках не для всех обоснованно и уверенно выделяемых парагенезисов, состоящих из трех-пяти структурных элементов, найдены «полноценные» аналоги. Это может быть обусловлено, с одной стороны, недостаточным объемом первичных фактических данных, собранных на относительно небольших участках наблюдений, с другой – вероятным существо-

ванием парагенезисов, представленных лишь двумя отчетливо выраженными (сохранившимися?) плоскостями. Отмечается систематически повторяющаяся ситуация: парагенетическим структурным элементом, выделенным на одном из сравниваемых объектов, весьма близки по пространственной ориентировке и угловым соотношениям пары статистических плоскостей, выявленных на другом объекте. В связи с этим в выборки ПССЭ включены некоторые гипотетические двухэлементные парагенезисы.

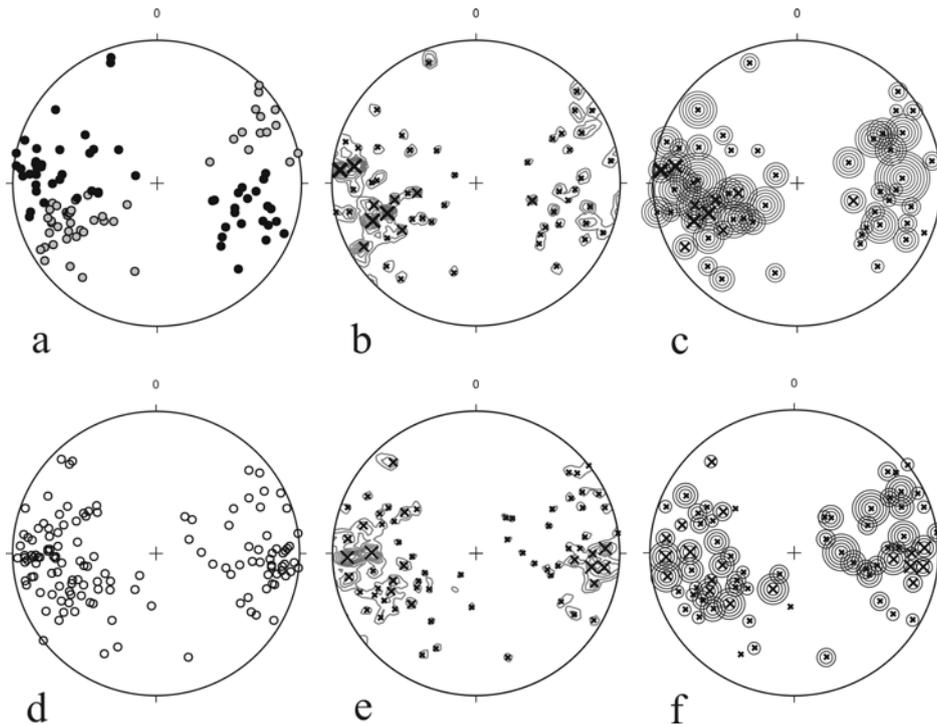


Рис. 4. Пространственная ориентировка субплоскостных структурных элементов горных пород на участке флюорит-сульфидного проявления Калливолампи:

а–с – лопийские фельзиты: а – 106 плоскостей сланцеватости вне и внутри (черные кружки) рудоконтролирующей сдвиговой зоны; б –  $\pi S$ -диаграмма тех же плоскостей, изолинии значений функции распределения – 3,3-6,6-...-33, косые кресты – статистические максимумы; с – гномостереографические проекции статистических плоскостей (косые кресты), соответствующих максимумам функции распределения, число концентрических кругов вокруг них равно числу сдвиговых парагенезисов, в которых участвуют плоскости, и на единицу больше числа фаз тектонической активизации этих плоскостей; д–ф – сариолийские конгломераты: д – 134 плоскости сланцеватости в рудоконтролирующей сдвиговой зоне; е –  $\pi S$ -диаграмма тех же плоскостей, изолинии – 2,6-5,2-...-26, косые кресты – статистические максимумы; ф – см. пояснения к пункту с; равноугольная стереографическая проекция, верхняя полусфера

Fig. 4. Spatial orientation of the subplanar structural elements of rocks at the Kallivolampi fluorite-sulphide occurrence:

а–с – Lopian felsic rocks: а – 106 schistosity planes outside and inside (black circles) the ore-controlling shear-zone; б –  $\pi S$ -diagram of the same planes, distribution function value isolines – 3.3-6.6-...-33, oblique crosses are statistical maxima; с – gnomostereographic projections of statistical planes (oblique crosses) consistent with distribution function maxima; the number of concentric circles around them is equal to the number of shear parageneses in which the planes are involved and is greater by one than the number of the tectonic activation phases of the planes; д–ф – Sariolian conglomerates: д – 134 schistosity planes in the ore-controlling shear-zone; е –  $\pi S$ -diagram of the same planes, isolines – 2.6-5.2-...-26, oblique crosses are statistical maxima; ф – see notes to point c; isogonal stereographic projection, upper hemisphere

Таблица 3. Сопоставление ПССЭ в породах рудопроявления Каливолампи и месторождения Петролампи  
 Table 3. Comparison of PSSE in the rocks of the Kallivolampi ore occurrence and the Pedrolampi deposit

Каливолампи Kallivolampi		Петролампи* Pedrolampi	
Лопийские породы Loripian rocks	Сариолийские породы Sarioilian rocks	Лопийские породы Loripian rocks	Ятулийские породы Jatulian rocks
Формула ПССЭ The PSSE formula	Формула ПССЭ The PSSE formula	Формула ПССЭ The PSSE formula	Формула ПССЭ The PSSE formula
1	2	3	4
«Ранние» парагенезисы «Early» parageneses			
339,4<69,6/Ю3>169,5<25,2{R'RP}29-2	<b>335,4&lt;66,1/Ю3&gt;163,6&lt;17,9{R'RP}29-2</b>	<b>339,6&lt;75/Ю3&gt;161,7&lt;7,9{PTL}30-2</b> 335,9<60,1/Ю3>164,6<15,5{R'RTL}30-2	<b>339,6&lt;75/Ю3&gt;160&lt;1,4{RPL}30-2</b>
<b>340,9&lt;66,1/Ю3&gt;340,4&lt;1,2{R'TL}27-2</b>	341,1<80,9/Ю3<340,8<1,9{R'PL}27-2	342,8<57,2/Ю3<338,1<6,9{R'RL}27-2	339,9<54/Ю3<338,2<2,4{R'RL}24-2
<b>340,9&lt;66,1/Ю3&gt;336,1&lt;10,6{R'RL}9-2</b>	<b>335,4&lt;66,1/Ю3&gt;332,5&lt;6,6{R'RL}6-2</b>	342,8<57,2/Ю3<336,6<6,5{R'RL}9-2	339,9<54/Ю3<332,2<10,5{R'PL}9-2
327,7<74/Ю3<325,1<8,2{RL}18-2**	325,6<77,6/Ю3<324,2<6,3{R'PL}19-2	<b>332,4&lt;82,2/Ю3&gt;329,4&lt;20,2{RPL}18-2</b>	329,2<79,2/Ю3<325,4<19,2{RP}18-2**
<b>339,6&lt;74,9/Ю3&gt;167,3&lt;26,7{R'RP}24-1</b> <b>340,9&lt;66,1/Ю3&gt;174,4&lt;27,7{RL}22-2**</b>	<b>335,4&lt;66,1/Ю3&gt;172,7&lt;33,8{R'RL}23-2</b>	332,6<68,9/Ю3>173,5<42,4{RTL}20-2 <b>339,6&lt;75/Ю3&gt;173,8&lt;43,7{RL}24-5**</b>	<b>333,2&lt;62,9/Ю3&gt;162,9&lt;18,2{R'RL}23-2</b>
327,7<72/Ю3>148,6<2,7{PTL}21-2	332,4<71,7/Ю3>154,2<5,3{RPL}24-2	332,4<75,2/Ю3>156,5<15,3{RTL}20-2	330<72/Ю3>154,6<14{R'PL}20-2
334,5<78,2/СВ>151,7<13{R'RL}14-2	336,8<78/СВ>154,7<10{R'RL}14-2	<b>332,4&lt;82,2/Ю3&gt;152,5&lt;0,8{RTL}17-2</b> 332,6<68,9/Ю3>153,9<3,5{RPL}18-2	333,2<62,9/Ю3>154,5<2,5{R'PL}15-2
330<63,1/СВ<148,7<2,6{RTL}9-2	330<63,2/СВ<151,5<3,4{RTL}9-2	332,5<51,2/СВ<152,4<0,9{R'TL}9-2	-
<b>330&lt;83,9/Ю3&gt;150,5&lt;4,5{R'RL}9-2</b>	332,2<81,2/Ю3<153,8<11,5{RL}9-2**	332,4<75,2/Ю3>152,7<1,1{R'RP}9-2	330<72/Ю3>150<0,1{RPL}9-2
340,2<52,3/Ю3>253,5<52,3{RPT}37-3	340,1<52,1/Ю3>235,5<51,2{RPT}37-3	-	-
<b>339,6&lt;74,9/Ю3&gt;289,2&lt;70,7{RPL}23-3</b>	337,1<74,9/Ю3>282,5<71,7{RTL}23-3	<b>339,6&lt;75/Ю3&gt;288,1&lt;72,9{RPL}21-3</b>	327,3<69,1/Ю3>283,3<61,4{RL}21-3**
<b>339,6&lt;74,9/Ю3&gt;336,4&lt;11,7{R'PL}18-1</b>	337,1<74,9/Ю3>337,1<0,1{PL}18-1**	332,4<82,2/Ю3>329<20,1{RPL}18-1	346,8<74,9/Ю3>341<21{RTL}16-1
338,6<42,1/СВ>340,2<1,6{R'RL}18-2	339,5<57/СВ>340,5<1,6{R'RP}15-2	<b>327,1&lt;62,8/СВ&gt;335,5&lt;16,1{RTL}15-2</b>	330<72,1/СВ>348<45,3{R'RL}17-5 <b>342&lt;74,9/СВ&gt;345,6&lt;13,5{PTL}18-2</b>
337,1<88,4/Ю3>336,8<12{R'RP}31-6	330,9<87,2/СВ>331,1<4,3{RPT}33-6	<b>336&lt;89,7/Ю3&gt;336,1&lt;12,8{RL}30-6**</b>	<b>340&lt;89,9/Ю3&gt;339,9&lt;21,4{RTL}29-6</b>
330<63,1/СВ>336,9<13,3{R'RL}29-2	330,1<63,2/СВ>330,9<1,6{RTL}27-2	332,7<68,8/СВ>337,2<11,6{R'RL}27-2	<b>336,3&lt;57/СВ&gt;345,8&lt;14,4{R'RL}27-2</b>
330<63,1/СВ<148,7<2,6{R'RTL}24-2	330,1<63,2/СВ>331,4<2,8{R'TL}24-2	333,5<51,2/СВ<152,4<1,4{RTL}28-2	340,7<64/СВ<154,2<12,8{R'T}25-2**
334,5<78,2/СВ>336,7<10,3{R'RL}18-2	336,8<78/СВ>337<1,1{R'RL}18-2	<b>339,2&lt;78,8/СВ&gt;339,4&lt;0,4{R'RL}19-2</b>	337,8<81,1/СВ>338,2<3{RPT}21-2
323,6<80,9/СВ>324,5<6,3{RTL}9-2	321,7<70,6/СВ>324<6,6{R'RP}13-2	<b>321,9&lt;66/СВ&gt;327,9&lt;13,1{R'TL}10-2</b>	320<74,9/СВ>325<17,9{R'RL}10-2
340,4<69,1/СВ>2,2<44,1{R'RL}11-6	338,4<73,8/СВ>358,9<50,3{R'T}10-5	<b>339,2&lt;78,8/СВ&gt;343,7&lt;22,3{RTL}10-2</b> <b>338,9&lt;80,8/СВ&gt;342,9&lt;22,8{R'RL}12-2</b>	<b>342&lt;74,9/СВ&gt;353,4&lt;36,2{R'RL}11-2</b>
323,6<80,9/СВ>328,2<26,6{R'RL}9-6	329,9<75/СВ>335,1<18,5{R'RL}10-2	332,7<68,8/СВ>336,4<9,5{R'RL}9-2	320<74,9/СВ>323,1<11,2{RTL}9-2
329,8<68,9/СВ>336,6<11,9{RTL}9-2	330,1<63,2/СВ>331,6<2,9{RTL}9-2	<b>327,1&lt;62,8/СВ&gt;331,3&lt;8,1{R'RL}9-2</b>	<b>330&lt;72,1/СВ&gt;330,1&lt;0,2{R'L}9-2**</b>

Окончание табл. 3  
Table 3 (continued)

1	2	3	4
	«Поздние» парагenezисы «Late» paragenezes	«Поздние» парагenezисы «Late» paragenezes	
-	39,4<26,5/ЮВ>179,8<17,6{R'RP}14-1	16,3<26,9/ЮВ>182,8<6,7{R'PL}14-1	-
<b>348</b> <59,9/Ю3<345,1<4,9{R'RL}33-2	350<72/Ю3<348,2<5,5{R'RL}33-2	<b>357</b> <60/Ю3<345,7<18,9{PL}32-2**	355,6<77,8/Ю3<350,9<20,8{RPL}33-2
<b>7,8</b> <80,9/С3<4,3<20,8{R'RL}17-2	<b>6,4</b> <83,9/С3<6<3,8{R'RP}18-2	<b>8,5</b> <84/С3<7,1<11,9{PTL}14-2 0,4<74,6/С3<359,4,9{R'RP}17-2	<b>2,3</b> <78/С3<356,6<25,1{R'RP}17-2
<b>339,6</b> <74,9/Ю3<333,7<20,5{PL}19-2**	341,1<80,9/Ю3<338,3<16,7{R'PL}18-2	349,8<72/Ю3<342,4<21,9{RPL}17-2	346,8<74,9/Ю3<341,4<19,6{PL}16-2**
17,6<87/С3<15,9<29,3{R'RP}17-6	27,9<81/С3<19<44,3{R'RL}17-5	-	18,9<80,1/С3<15<22,7{RL}18-2**
338,6<42,1/СВ>4,6<21,6{R'RL}11-2	339,5<57/СВ>1,6<30,1{RTL}14-2	348,4<47,9/СВ>9,6<21,8{R'RL}13-2	348,7<47,9/СВ>15,3<26,3{R'RL}13-2
323,6<80,9/СВ>325,2<51,9{TL}22-3**	321,5<84/СВ>330,8<56,9{R'TL}22-3	322,6<71,9/СВ>336<35,9{RTL}22-3	320<74,9/СВ>339,9<52,1{RTL}20-3
327,9<87/СВ>334,7<66{R'RL}14-3	330<81/СВ>346,3<60,6{R'RL}13-3	334,3<83,9/СВ>338,5<34,4{R'RL}12-7	320<74,9/СВ>87,5<71,4{R'RL}13-3
32,9<62,9/С3<253,4<51,7{R'RL}9-4	<b>29,9</b> <59,7/С3<265,1<54,6{R'RL}13-3	36,3<68/С3<259,7<59,5{R'RP}9-3**	31,6<71,2/С3<253,1<62,6{R'RP}9-3**
357,4<72,4/СВ>169,4<23,6{R'RTL}20-2	357,5<72/СВ>171,3<18,3{R'RL}19-2	357,7<77,9/СВ>175,2<11{R'RTL}20-2	357,2<65,9/СВ>170,5<14,4{RTL}20-2
-	<b>4,1</b> <69,1/ЮВ<171,2<30,3{RTL}21-2	-	<b>3,1</b> <86,9/ЮВ<180,2<41{RTL}21-5, -7
-	19,7<87/С3<201<23,6{PTL}19-6	15,1<77,9/С3<196,2<5{R'RL}18-1	19,6<87,1/С3<200,4<10,4{R'RL}21-6
357,4<72,4/СВ>169<24,6{R'PL}12-2	351,5<75/СВ>165,9<19,9{R'RP}11-2	1,3<68,9/ЮВ<176,1<13{R'RL}11-2	358,3<51,1/СВ<169<10,8{R'RL}11-2
10,8<66,1/ЮВ<131,8<62,7{R'RL}10-3	9,1<60,1/ЮВ<141,1<52,3{R'RL}10-3	14,4<69/ЮВ<132,1<66,5{RL}10-3**	4,7<57/ЮВ<124,6<53,1{RL}10-3**
<b>347,5</b> <71,9/Ю3<172,6<15,3{PTL}8-1	349,2<84/Ю3<172,2<26,3{R'TL}8-6	353,4<78/Ю3<174<1,6{RTL}9-2, -6?	<b>355,4</b> <78,1/Ю3<175,8<1,9{R'PL}9-1
323,9<30,2/Ю3>179,4<18,7{R'RL}11-2	-	330,3<41,9/Ю3>181,6<25{R'RL}13-2	322,6<48,1/Ю3>175,3<31,1{R'RL}12-2
36,6<81,2/С3<236,1<65,1{R'RL}10-3	27,5<69/С3<235,1<51,3{R'RL}9-5	45<78,2/С3<243,1<56,5{R'RP}10-3**	32,7<82,4/С3<224,9<57,7{R'RP}10-3**
356,7<80,9/Ю3>184,7<40,9{PTL}32-5	<b>357,9</b> <83,8/Ю3>182,1<33,9{RPL}30-7	<b>357,8</b> <83,9/Ю3>181,6<30{PL}30-7**	348,6<87,1/Ю3>170,5<34,5{PTL}30-7
<b>339,6</b> <74,9/Ю3>197,7<66,4{R'RL}24-3	332,4<71,7/Ю3>178,4<52,9{R'RL}24-3	<b>339,6</b> <75/Ю3>188,7<61,4{RL}25-3** 332,4<75,2/Ю3>175,7<56,1{RL}23-3**	330<71,8/Ю3>172,4<49,5{RL}22-3**
<b>339,6</b> <74,9/Ю3>165,2<20,1{PL}22-2**	340<72/Ю3>167,1<20,8{R'PTL}23-2	-	<b>339,6</b> <75/Ю3>166,8<24,9{RL}23-2**
351,1<51,2/Ю3>178,9<9,6{R'RL}15-2	<b>350</b> <54/Ю3>179,6<12,9{R'RL}14-2	353,4<54/Ю3>179,8<8,6{R'RL}14-2	356,6<54/Ю3>177,5<0,8{R'PL}15-2
<b>339,6</b> <74,9/Ю3>168<28,4{R'RL}8-2	<b>341,4</b> <62,8/Ю3>174,6<24{R'RL}8-2	342,8<57,2/Ю3>174,1<16,9{R'RL}11-2	339,9<54/Ю3>169<11,9{R'RL}11-2
<b>348</b> <59,9/Ю3>185,5<27,4{RL}3-2**	<b>350</b> <54/Ю3>184,3<18,8{PTL}3-2	353,4<54/Ю3>182,4<12,2{R'RL}5-2	352,8<62,9/Ю3>182,9<19{TL}2-2**
-	332,4<71,7/Ю3>253,4<71,4{R'PL}28-3	332,6<68,9/Ю3>221,8<67,5{RL}28-3**	333,2<62,9/Ю3>254<62,5{RL}28-3**
329,8<68,9/СВ>109,5<59,2{R'RTL}12-3	329,9<75/СВ>107,6<68,3{R'RL}12-3	327,6<75,7/СВ>106,8<68,8{RTL}12-3**	-
326,2<48,1/Ю3>202,6<42,9{R'PL}9-5	<b>321,2</b> <59,8/Ю3>213,5<58,6{R'RL}8-3	-	330<72/Ю3>205,6<68,6{R'RL}6-5

Примечание. \* По опубликованному материалу [Ручьев, 2011] и новым данным; \*\* гипотетические двухэлементные парагenezисы.  
Note. \* From publication [Ruchvov, 2011, numbers of figures and diagrams] and new data; \*\* hypothetical two-element paragenezes.

Наличие в разновозрастных породах парагенезисов-аналогов способствовало разделению ПССЭ интенсивно дислоцированных сариолийских конгломератов на группы «ранних» и «поздних» (табл. 3).

Правомерность отнесения парагенезисов к различным возрастным группам подтверждается намечающимися различиями деформационных режимов, продуцировавших «ранние» и «поздние» ПССЭ (табл. 1). При формировании «ранних» парагенезисов доминировал сбросовый режим (59,1 % ПССЭ), характерный для обстановок растяжения земной коры. Взбросо-сбросовый, взбросовый, сдвиговый режимы (соответственно 18,2; 9,1; 13,6 % ПССЭ) проявились гораздо слабее. Подавляющее число (86,4 %) «ранних» парагенезисов дает информацию о преобладавшей вертикальной составляющей смещения блоков горных пород.

В группе «поздних» ПССЭ только 29,3 % отвечают сбросовому, 5,2 % – взбросовому, 1,7 % – взбросо-сбросовому, 3,4 % – октаэдрическому деформационным режимам. Остальные парагенезисы формировались преимущественно в сдвиговом, сбросо-сдвиговом, взбросо-сдвиговом режимах (соответственно 48,3; 8,6; 3,5 % ПССЭ), то есть большая часть (60,4 %) «поздних» парагенезисов образовались в условиях деформации со значимой горизонтальной компонентой перемещения.

Сопоставление ПССЭ лопийских и сариолийских пород показывает, что в последних присутствуют аналоги всех «ранних» структурных парагенезисов, свойственных фельзитам (табл. 1, 3). Этот факт безоговорочно свидетельствует о постсариолийском относительно возрасте «ранних» ПССЭ. Разумеется, наложенные «поздние» рудоконтролирующие структуры моложе «ранних», причем с учетом изменения специфики деформационных режимов возможен большой разрыв во времени их образования.

Таким образом, в очередной раз подтверждено, что локализация рудоконтролирующих сдвиговых зон в архейских породах сама по себе, без дополнительной аргументации, не является основанием для суждений об архейском возрасте рудных объектов. Это ограничение применительно к геологическим образованиям ВСЗКП не всегда принималось во внимание или игнорировалось.

Уже первое посещение рудопроявления Калливолампи оставило впечатление о сходстве принципиальных особенностей геологической ситуации с наблюдавшейся на расположенном в пятнадцати километрах севернее

разведочном участке золоторудного месторождения Педролампи (рис. 1), структурный анализ которого был сделан ранее [Ручьев, 2011]. Выполненное для исследованных участков Калливолампи и Педролампи сопоставление ПССЭ горных пород выявляет сходство многих из них вплоть до полной идентичности, одинаковые деформационные условия и общую генеральную последовательность формирования (табл. 3). Все это позволяет рассматривать ПССЭ рудопроявления Калливолампи как постъятулийские.

Относительный возраст сдвиговых дислокаций, определенный с помощью тектонофизического анализа, не противоречит данным изотопного датирования метасоматитов из рудоконтролирующих структур месторождения Педролампи и уточняется ими: возраст  $\approx 1,72$  млрд лет интерпретируется как соответствующий процессу золоторудной минерализации [Ларионова и др., 2013], возраст  $1713,1 \pm 9,5$  млн лет – как ее поздний временной рубеж [Глебовицкий и др., 2014].

Таким образом, результаты изучения рудопроявления Калливолампи служат новым подтверждением феномена палеопротерозойского благороднометалльного рудогенеза в области развития архейских пород ВСЗКП. Этот рудогенез широко проявился и в других зеленокаменных поясах Карельского кратона [Ларионова и др., 2013 и др.], и в постархейских геологических образованиях. В пределах Фенноскандинавского щита именно протерозойские проявления и месторождения золота наиболее многочисленны и экономически значимы [Филиппов, Вревский, 2013].

Сходство ПССЭ, выявленных на проявлении Калливолампи и месторождении Педролампи (табл. 3), свидетельствует о принадлежности золотоконтролирующих структур к одной и той же рудогенерирующей системе. В связи с этим возникает вопрос: другие золотоносные объекты ВСЗКП, различающиеся по особенностям минерализации и традиционно используемым классификационным признакам, – продукты единой или нескольких рудообразующих систем?

В опубликованных материалах, характеризующих территориально сближенные благороднометалльные проявления наиболее изученной Эльмусской лицензионной площади (рис. 1), больше внимания обращалось на их различия, а не на признаки сходства, что нашло отражение в рудно-формационной типизации [Олейник и др., 2013] и подборе возможных аналогов [Булавин и др., 2013] золоторудных объектов. Однако различия,

устанавливаемые главным образом по специфике руд и принимаемые в качестве атрибутивных, могут быть обусловлены как зависимостью минерализации от свойств вмещающей среды, так и уровнем эрозионного среза крутопадающих зональных рудных тел в субвертикально перемещенных блоках горных пород.

Для аргументации вывода о формировании группы золотоносных объектов в условиях одной и той же рудогенерирующей системы важна информация о чертах их сходства. Природные предпосылки для ее получения есть. В этом аспекте привлекает внимание отчетливо выраженный контроль разнотипного оруденения преимущественно субмеридиональными (СЗ 338° – СВ 22°) зонами сдвиговых дислокаций. Неоднократно высказывались мнения об архейской природе этих структур. Однако наиболее изученные из них, судя по результатам тектонофизических и геохронологических исследований, имеют палеопротерозойский возраст. Близость пространственной ориентировки предположительно гетерохронных рудоконтролирующих структур – уже достаточный повод для их детального исследования, которое позволит расширить и уточнить представления об условиях и времени образования.

В зависимости от реологических свойств горных пород и интенсивности деформаций рудоконтролирующие сдвиговые зоны могут относиться к различным морфотипам, но при этом формироваться в ходе одних и тех же эпизодов тектоногенеза. При многообразии особенностей внутреннего строения сдвиговых дислокаций обоснованные суждения об условиях их генезиса возможны с использованием сведений о ПССЭ. Так, например, на разведочном участке Педролампи, где вертикальная составляющая смещения по тектоническому контакту архейских и протерозойских пород – не менее двухсот метров, в обнажении сброшенного блока ятулийских метапесчаников наблюдалось сублинейное тело псефитовых кластолитов, в железистоокисном цементе которых было установлено [Алексеев и др., 2007] высокое содержание золота, присутствие серебра, платины, палладия. По своим морфологическим особенностям зона кластолитов относится к типу хрупких сдвиговых дислокаций, резко отличается от золотоносных зон тонкого расщепления лопийских метабазитов, но, по результатам сопоставления ПССЭ, сформировалась в ходе тех же деформационных эпизодов, что и они [Ручьев, 2011]. Зона кластолитов, скорее всего, представляет один из вариантов эрозионного среза

апикальной части рудных тел месторождения, поэтому было отмечено [там же], что сдвиговые зоны дезинтеграции и железистоокисной минерализации разновозрастных горных пород на территории ВСЗКП и его обрамления заслуживают внимания как потенциальные постъятулийские благороднометалльные объекты.

В связи с этим интересно рудопроявление Южка, выявленное в полутора километрах юго-восточнее месторождения Педролампи поисковыми работами ООО «Индустрия», проводившимися с 2011 г. Судя по описаниям [Булавин и др., 2013; Кулешевич, Олейник, 2018], этот крупноразмерный объект (мощная зона, или система зон тектонических брекчий с золотонесущим гетит-гематитовым и лимонитовым цементом, прослеженная бурением на глубину около двухсот восьмидесяти метров) имеет ту же природу, что и педролампинские кластолиты. Иначе говоря, есть основания для предположения о единых причинах происхождения золоторудных объектов Южка и Педролампи. Его проверка важна для оценки благороднометалльного потенциала Эльмусского участка недр.

Разумеется, при выяснении природы рудопроявлений необходимо сочетание тектонофизических и обычно применяемых методов исследования, так как кроме структурных имеются и иные черты сходства. Например, многим золотоносным объектам ВСЗКП свойственна сурьмяная минерализация. Теннантит и антимонит есть в золото-пиритовых рудах месторождения Педролампи. На проявлении Кюняшельга широко развит тетраэдрит [Олейник и др., 2013]. Здесь, на северном фланге Центральной залежи месторождения, золото-пиритовые руды вскрыты на глубинах 130 м и более, а на поверхности, в ятулийских кварцито-песчаниках и конгломератах, наблюдается золотоносная Sb-Ag-Cu минерализация, которая предположительно отнесена к верхнему уровню рудно-метасоматической колонки [Булавин и др., 2013]. В качестве геохимического спутника золота сурьма отмечалась при описании рудопроявлений Гавшламной и Южка [Олейник и др., 2013], на последнем присутствуют тетраэдрит, плагионит, джемсонит, семсейит, буланжерит [Кулешевич, Олейник, 2018]. Тетраэдрит и бертьерит найдены на рудопроявлении Калливолампи (рис. 3, ф). Южнее, на Северо-Гирвасском проявлении золота, выявлены Ag-тетраэдрит, ульманнит, As-ульманнит, фалькманит, менегенит, кобеллит, тучекит, фаматинит, гаухекорнит [Лавров, Кулешевич, 2012; Иващенко и др., 2014]. Не вызывает сомнения, что целенаправленное

изучение минералов сурьмы, признанных индикаторов условий рудообразования, даст ценную информацию о чертах сходства и различия перечисленных объектов. Число подобных примеров можно увеличить.

Таким образом, совокупность материалов изучения рудопроявления Калливолампи и предшествующих исследований других объектов приводит к заключению о наличии геологических обстоятельств, благоприятствующих выяснению генетической принадлежности многочисленных и разнообразных рудопроявлений, выявленных на Эльмусской лицензионной площади. Следует отметить, что не только эта площадь, но и вся территория ВСЗКП и его ближайшего обрамления является удобным полигоном для детального изучения рудообразующих систем и разнообразия продуктов их функционирования.

## Выводы

На обнаженном участке золотосодержащего флюорит-сульфидного проявления Калливолампи с использованием тектонофизических методов выявлены и идентифицированы ПССЭ тектонически контактирующих лопийских (неоархейских) и сариолийских (палеопротерозойских) гетерогенных горных пород. Сопоставление ПССЭ разновозрастных пород свидетельствует о постсариолийском времени их полифазной сдвиговой деформации. В ходе ее большинство субплоскостных структурных элементов подверглось многократной активизации. Определены наиболее вероятные деформационные режимы формирования ПССЭ: на раннем, дорудном, этапе – доминирующий сбросовый и взбросо-сбросовый; на позднем, рудном и, вероятно, пострудном этапе – преимущественно сдвиговой. Новые статистические данные о пространственной ориентировке структурных элементов рудоконтролирующих сдвиговых дислокаций могут быть с пользой применены при геологоразведочных работах.

Выявление признаков золотоносности позволяет сравнивать рудопроявление Калливолампи с другими благороднометалльными объектами ВСЗКП. Установлено, что на удаленных друг от друга участках этого рудопроявления и постъятулийского месторождения золота Педролампи многие ПССЭ весьма сходны вплоть до полной идентичности и формировались в одних и тех же деформационных режимах. Одинакова и генеральная последовательность образования сдвиговых дислокаций различной пространственной ориенти-

ровки: сначала появились структуры с северо-западным и север-северо-западным, затем с преобладающим север-северо-восточным и северо-восточным простиранием плоскостей генерального смещения. Аналогия ПССЭ рудоконтролирующих сдвиговых дислокаций на золотосодержащем флюорит-сульфидном проявлении Калливолампи и месторождении золота Педролампи позволяет считать эти объекты продуктами одной и той же постъятулийской рудообразующей системы, а также ставить вопрос о принадлежности к ней и некоторых других проявлений золотоносной минерализации на территории Эльмусского рудного узла.

Результаты изучения рудопроявления Калливолампи – новое подтверждение феномена палеопротерозойского благороднометалльного рудогенеза в лопийских образованиях. Обоснование постъятулийского возраста рудоконтролирующих структур, как уже отмечалось, расширяет поисковые перспективы на площади ВСЗКП, указывая на возможность выявления золоторудных проявлений не только в архейских, но и в перекрывающих палеопротерозойских образованиях.

## Литература

- Алексеев В. Ю., Волков А. В., Прокофьев В. Ю. Минералогия и условия формирования золоторудного проявления Педролампи (Карелия, Россия) // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерализация Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 12–15.
- Булавин А. В., Добрынина Д. Н., Олейник И. Л. Новые данные о золотоносности Эльмусской площади (Центральная Карелия) // Золото Фенноскандинавского щита: Мат-лы междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 16–19.
- Гинтов О. Б., Исай В. М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. Киев: Наук. думка, 1988. 228 с.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.
- Глебовицкий В. А., Бушмин С. А., Беляцкий Б. В., Богомолов Е. С., Бороздин А. П., Савва Е. В., Лебедева Ю. М. Rb-Sr возраст метасоматоза и рудообразования в низкотемпературных зонах сдвиговых деформаций Фенно-Карельского кратона, Балтийский щит // Петрология. 2014. Т. 22, № 2. С. 208–232. doi: 10.7868/S0869590314020022
- Иващенко В. И., Голубев А. И., Ибрагимов М. М., Ромашкин А. Е. Золотосодержащее оруденение архея Койкарской структуры: генетическая типизация, минеральные ассоциации, условия образования, перспективы // Труды Карельского научного центра РАН. 2014. № 1. С. 39–55.

Кулешевич Л. В., Олейник И. Л. Рудная минерализация и генезис золото-лимонитового проявления Южка (Эльмусская площадь, Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. № 11. 2018. С. 96–110. doi: 10.17076/geo761

Лавров О. Б., Кулешевич Л. В. Золоторудная минерализация Койкарской структуры, Центральная Карелия // Труды Карельского научного центра РАН. 2012. № 3. С. 87–99.

Ларионова Ю. О., Самсонов А. В., Шатагин К. Н., Носова А. А. Изотопно-геохронологические свидетельства палеопротерозойского возраста золоторудной минерализации в архейских зеленокаменных поясах Карелии (Балтийский щит) // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55, № 5. С. 374–396. doi: 10.7868/S0016777013050055

Максимов А. В., Богданов Ю. Б., Воинова О. А., Коссовая О. Л., Бахтеев А. Р., Евдокимова И. О., Горбачевич Н. Р., Ногина М. Ю., Никонова А. С., Суриков С. Н., Чуйко М. А., Шишлянников А. Н., Астафьев Б. Ю., Воинов А. С., Богачев В. А., Яновский А. С., Амонтов А. В., Андросов Е. А., Иванова Н. О., Сулова С. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Р-(35),36. Петрозаводск. Объяснительная записка. СПб.: Картогр. ф-ка ВСЕГЕИ, 2015. 400 с.

Михайлов В. П., Леонтьев А. Г., Голованов Ю. Б., Ярцев В. М., Ушков В. В., Ручьева Н. П., Дегтярева Т. А., Федюк З. Н., Борисова Р. И., Щипцов В. В., Шеков В. А., Демидов И. Н., Бискэ Н. С., Панов В. А., Федюк А. В., Родионов В. С., Аминов В. Н., Щукин О. Н. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. Петрозаводск: Карелия, 2006. 356 с.

Олейник И. Л., Кулешевич Л. В., Лавров О. Б., Иванов Д. В. Рудно-формационные типы и минеральные ассоциации золоторудных объектов Эльмусской площади // Золото Фенноскандинавского щита: Мат-лы междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 141–145.

Ручьев А. М. Структурные особенности разведочного участка и относительный возраст золоторудного месторождения Педролампи // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 14. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 92–112.

Ручьев А. М. Структурный анализ сдвиговых зон: новый метод, первые результаты // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 15. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 115–124.

Светов С. А. Магматические системы зоны перехода океан-континент в архее восточной части Фенноскандинавского щита. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2005. 230 с.

Сиваев В. В., Горошко А. Ф., Горбатьюк Л. В. Отчет о групповой геологической съемке и доизучении масштаба 1:50 000 северо-западного крыла Онежской мульды и ее обрамления, проведенных в 1978–1982 гг. (Центральная Карелия, листы Р-36-32, 33, 44, 45, 55, 56, 67, 68). 1982. ТФГИ по Республике Карелия. № 232.

Филиппов Н. Б., Вревский А. Б. Золото Фенноскандии: от статистики к стратегии // Золото Фенноскандинавского щита: Мат-лы междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 166–171.

Reich M., Kesler S. E., Utsunomiya S., Palenik Ch. S., Chrissyoulis S. L., Ewing R. C. Solubility of gold in arsenian pyrite // Geochim. Cosmochim. Acta. 2005. Vol. 69, no. 11. P. 2781–2796.

## References

Alekseev V. Yu., Volkov A. V., Prokof'ev V. Yu. Mineralogy and conditions of formation of the Pedrolampi gold deposit (Karelia, Russia). *Geodinamika, magmatizm, sedimentogenez i minerageniya Severo-Zapada Rossii = Geodynamics, magmatism, sedimentogenesis and minerageny of the North-West of Russia*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2007. P. 12–15. (In Russ.)

Bulavin A. V., Dobrynina D. N., Oleinik I. L. New data on the gold potential of the Elmus area, Central Karelia. *Zoloto Fennoskandinavskogo shchita: Mat-ly mezhd. Int. Conf. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2013. P. 16–19. (In Russ.)*

Filippov N. B., Vrevskii A. B. Gold of Fennoscandia: from statistics to strategy. *Zoloto Fennoskandinavskogo shchita: Mat-ly mezhd. Int. Conf. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2013. P. 166–171. (In Russ.)*

Gintov O. B., Isai V. M. Tectonophysical studies of consolidated crust faults. Kiev: Nauk. Dumka; 1988. 228 p. (In Russ.)

Gintov O. B. Field tectonophysics and its application in the study of crustal deformation. Kiev: Feniks; 2005. 572 p. (In Russ.)

Glebovitskii V. A., Bushmin S. A., Belyatskii B. V., Bogomolov E. S., Borozdin A. P., Savva E. V., Lebedeva Yu. M. Rb-Sr age of metasomatism and ore formation in the low-temperature shear zones of the Karelian Craton, Baltic Shield. *Petrologiya = Petrology*. 2014;22(2): 208–232. doi: 10.7868/S0869590314020022 (In Russ.)

Ivashchenko V. I., Golubev A. I., Ibragimov M. M., Romashkin A. E. Archean auriferous mineralization of the Koikary structure: genetic typification, mineral assemblages, formation conditions, perspectives. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre of RAS*. 2014;1:39–55. (In Russ.)

Kuleshevich L. V., Oleinik I. L. Ore mineralization and genesis of the Yuzhka gold-limonite occurrence, Elmus area, Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre of RAS*. 2018;11:96–110. doi: 10.17076/geo761 (In Russ.)

Lavrov O. B., Kuleshevich L. V. Gold mineralization of the Koikary structure, Central Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre of RAS*. 2012;3:87–99. (In Russ.)

Larionova Yu. O., Samsonov A. V., Shatagin K. N., Nosova A. A. Isotope-geochronological evidence of the Paleoproterozoic age of gold mineralization in the

Archean greenstone belts of Karelia (Baltic Shield). *Geologiya rudnykh mestorozhdenii = Geology of Ore Deposits*. 2013;55(5):374–396. doi: 10.7868/S0016777013050055 (In Russ.)

Maksimov A. V., Bogdanov Yu. B., Voinova O. A., Kossovaya O. L., Bakhteev A. R., Evdokimova I. O., Gorbachevich N. R., Nogina M. Yu., Nikonova A. S., Surikov S. N., Chuiko M. A., Shishlyannikov A. N., Astaf'ev B. Yu., Voinov A. S., Bogachev V. A., Yanovskii A. S., Amontov A. V., Androsov E. A., Ivanova N. O., Suslova S. V. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). The Baltic series. Sheet P-(35),36 - Petrozavodsk. Explanatory note. St. Petersburg: VSEGEI; 2015. 400 p. (In Russ.)

Mikhailov V. P., Leontiev A. G., Golovanov Yu. B., Yartsev V. M., Ushkov V. V., Ruch'eva N. P., Degtiareva T. A., Fedyuk Z. N., Borisova R. I., Shchiptsov V. V., Shekov V. A., Demidov I. N., Biske N. S., Panov V. A., Fedyuk A. V., Rodionov V. S., Aminov V. N., Shchukin O. N. Mineral resources of the Republic of Karelia. Book 2. Nonmetallic minerals. Underground waters and therapeutic muds. Petrozavodsk: Kareliya; 2006. 356 p. (In Russ.)

Oleinik I. L., Kuleshevich L. V., Lavrov O. B., Ivanov D. V. Ore-facies types and mineral associations of gold ore sequences in the Elmus area. *Zoloto Fennoskandinavskogo shchita: Mat-ly mezhd. konf.* =

*Gold of the Fennoscandian Shield: Proceed. Int. Conf. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2013. P. 141–145. (In Russ.)*

Ruchyov A. M. Structural characteristics of the exploring area and relative age of the Pedrolampi gold ore deposit. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Iss. 14. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2011. P. 92–112. (In Russ.)

Ruchyov A. M. Structural analysis of shear zones: a new method, the initial results. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Iss. 15. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2012. P. 115–124. (In Russ.)

Svetov S. A. Magmatic systems in the ocean-continent transition zone in the Archean of the eastern Fennoscandian Shield. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2005. 230 p. (In Russ.)

SivaeV V. V., Goroshko A. F., Gorbatyuk L. V. Report on the group geological survey and additional study of the 1:50,000 scale of the north-western wing of the Onega Mulda and its framing, conducted in 1978–1982. (Central Karelia, sheets P-36-32, 33, 44, 45, 55, 56, 67, 68). 1982. TFGI for the Republic of Karelia. No. 232. (In Russ.)

Reich M., Kesler S. E., Utsunomiya S., Palenik Ch. S., Chryssoulis S. L., Ewing R. C. Solubility of gold in arsenian pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2005;69(11):2781–2796.

Поступила в редакцию / received: 10.02.2022; принята к публикации / accepted: 15.03.2022.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Ручьев Андрей Михайлович**

старший научный сотрудник

e-mail: ruchyov@krc.karelia.ru

## CONTRIBUTOR:

**Ruchyov, Andrey**

Senior Researcher