

**В. ПЕТЕРСЕЛЛЬ**

## **О СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ЯГАЛАСКОЙ ТОЛЩИ**

Ягаласкую толщу образуют метаморфизованные в условиях амфиболитовой фации регионального метаморфизма свекофенские осадочно-вулканогенные породы ( $PR_1$ ), которые распространены в кристаллическом фундаменте Северной Эстонии в окрестностях бассейна р. Ягала под мощным (100—300 м) чехлом вендских и палеозойских осадочных отложений (Пуура и др., 1972). Толща выделена в ходе картирования кристаллического фундамента Эстонии в 1967—1973 гг. Породы толщи мощностью от 8 до 420 м вскрыты 39 буровыми скважинами и детально изучены. Установлены сульфидная минерализация и геохимические аномалии микроэлементов (Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Mo и Au), которые представляют как научный, так и, несомненно, поисковый интерес.

В настоящей статье использованы петрографические характеристики буровых скважин, описания аншлифов, минералогические анализы и другие геологические материалы, собранные автором статьи, а также коллегами К. Сууроя, В. Мыттусом, Х. Коппельмаа, М. Нийном, Х. Перенсом и В. Клейном из Управления геологии СМ ЭССР.

Ягалаская толща представлена мелко- и среднезернистыми переслаивающимися и частично фациально совмещающимися преимущественно вулканогенными кварц-полевошпатовыми, биотитовыми, биотит-амфиболовыми гнейсами и амфиболитами, а также осадочными биотитовыми и амфибол-биотитовыми гнейсами и глиноземистыми кордиеритовыми, силлиманитовыми, гранатовыми, биотитовыми микрогнейсами и переходными между ними типами (рисунок). Достаточно мощные (до десятков метров) прослои вулканогенных пород прослеживаются в глиноземистых гнейсах и наоборот. Кроме того, в глиноземистых и очень редко в вулканогенных породах встречаются прослои графитосодержащих разновидностей пород. Содержание графита в этих прослоях доходит до 5—10% и выше. Нередко совместно с графитом наблюдается вкрапленность сульфидов.

Стратиграфическое положение перечисленных типов пород однозначно не выяснено. Предполагается лишь, что разрез начинается вулканогенными и заканчивается глиноземистыми разновидностями пород. Характер выходов пород, расположение гравимагнитных полей и сопоставимость их со свекофенскими породами Центральной Швеции и Южной Финляндии, а также другие косвенные геологические материалы позволяют предполагать, что вулканическая деятельность в рассматриваемом районе была многократной.

Химический состав кварц-полевошпатовых гнейсов наиболее близок к риолитам, липаритам и кварцевым кератофирам, а породы биотит-амфиболового ряда сопоставимы с дацитами и андезитами, реже с более основными типами. Химический состав глиноземистых гнейсов соответствует песчано-глинистой смеси с соотношением песчанистого и глинистого материалов примерно 1 : 1. Осадочные гнейсы амфибол-биотитового ряда отличаются повышенным содержанием Са и Mg. На диаграмме А. Симонена (Simonen, 1953) кварц-полевошпатовые гнейсы и биотитовые и биотит-амфиболовые породы ложатся соответственно в нижнем правом углу поля вулканогенных пород, редко ниже, и на левой половине этого поля, а гнейсы биотитовые и глиноземистые осадочного генезиса — на поле глинистых и песчанистых осадков и между ними.

Породы толщи мигматизированы. Интенсивность мигматизации крайне неравномерная. В одной скважине в непосредственной близости друг от друга встречаются мелкозернистые разновидности и микрогнейсы без следов мигматизации и мигматиты, а также различные переходные между ними типы.

Породы толщи характеризуются близким к кларковому содержанием микроэлементов соответствующих типов пород (Квисилла и др., 1974). В целом им свойственна ассоциация элементов основных пород, что указывает на источник породообразующего материала — вулканогенное происхождение основного ряда.

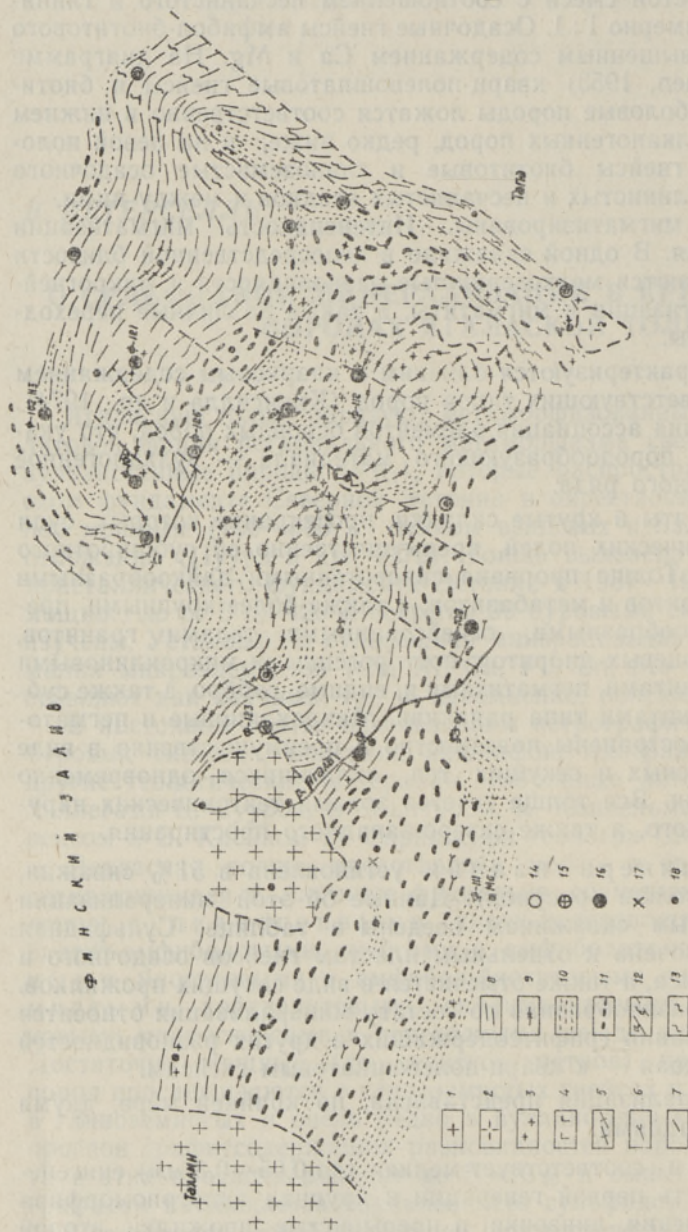
Породы толщи смяты в крутые складки, простирающие которых, судя по характеру геофизических полей, преимущественно от субширотного до северо-западного. Толща прорвана синорогенными дайкообразными телами метаультрабазитов и metabазитов, а также более крупными, преимущественно пластообразными, огнейсованными телами гранитов, гранодиоритов и кварцевых диоритов, посторогенными микроклиновыми и пегматоидными гранитами, пегматитами и, видимо, габбро, а также субплатформенными гранитами типа рапакиви. Микроклиновые и пегматоидные граниты распространены повсеместно и преимущественно в виде жилеобразных согласных и секущих тел, являющихся одновременно мигматитобразующими. Вся толща сетется зонами тектонических нарушений северо-восточного, а также северо-западного простираения.

Сульфидная минерализация установлена в 51% скважин, вскрывших породы толщи (рисунок). Данные об этой минерализации по наиболее изученным скважинам сведены в таблице. Сульфидная минерализация приурочена к отдельным пластам гнейсов осадочного и вулканогенного генезиса, а также отмечается в виде секущих прожилков. Наиболее богатая и разнообразная по составу минерализация относится к участкам переслаивания графитсодержащих и других разновидностей гнейсов, наиболее бедная — к кварц-полевошпатовым гнейсам.

Сульфидная минерализация представлена, по крайней мере, двумя разновозрастными стадиями.

Первой стадии соответствует мелкая (до 0,05—0,3 мм) сингенетическая вкрапленность первой генерации и крупная аллотриоморфная вкрапленность, скопления, линзочки и прерывистые прожилки второй генерации.

Сингенетическая вкрапленность наиболее часто прослеживается в микро- и мелкозернистых разновидностях гнейсов. В глиноземистых гнейсах она приурочена к графиту и биотиту и, в меньшей мере, к остальным породообразующим минералам или расположена между ними. В биотит-амфиболовых породах вкрапленники сульфидов также нередко отмечаются в биотите и в других минералах, но чаще между



1 — граниты типа рапакиви ( $\gamma$  PR<sub>2</sub>); 2 — граниты типа рапакиви или микроклиновые ( $\gamma$  PR<sub>2</sub> или  $\gamma$  PR<sub>1-2</sub>); 3 — граниты микроклиновые, часто пегматоидные, преимущественно живообразные ( $\gamma$  PR<sub>1-2</sub>); 4 — габбро ( $\gamma$  PR<sub>1-2</sub>); 5 — граниты гнейсовидные, лейкократовые и биотитовые ( $\gamma$  PR<sub>1</sub>); 6 — гранодiorиты и кварцевые диориты гнейсовидные, их мигматиты ( $\delta$  PR<sub>1</sub>); 7 — дайки метатальрабазитов и метабазитов ( $\gamma$  PR<sub>1</sub>); 8 — гнейсы с кордиеритом, силлиманитом, гранатом, графитом; биотитовые микрогнейсы (PR<sub>1</sub>); 9 — парагнейсы биотитовые и реже биотит-амфиболовые и сланцы (PR<sub>1</sub>); 10 — гнейсы биотитовые и биотит-амфиболовые, редко амфиболиты (PR<sub>1</sub>); 11 — гнейсы кварц-полевошпатовые (биотит кварц-полевошпатовые, двуслюдные кварц-полевошпатовые и гранито-гнейсы) (PR<sub>1</sub>); 12 — тектонические нарушения; а) достоянные, б) предполагаемые; 13 — зона катаклаза и милонитизации; 14 — сульфидная минерализация первой стадии; 15 — то же второй рудной стадии; 16 — то же первой и второй рудной стадии; 17 — гидрогеохимическая аномалия Cu, Zn, Mo (Pb); 18 — буровая скважина.



ними. Местами они приобретают более аллотриоморфный облик, заполняя как будто пустоты между породообразующими минералами. Сульфидная вкрапленность представлена овальными или округленными зернами пирротина и развивающегося по нему пирита, значительно реже халькопирита и сфалерита. Два последних минерала встречаются часто в виде включений в пирит-пирротине. Содержание в породе сульфидов первой генерации обычно незначительное — от единичных зерен до 3—5% и выше.

Наиболее широко распространена сульфидная минерализация второй генерации. Она представлена неравномерной, но более крупной по сравнению с первой генерацией аллотриоморфной вкрапленностью, скоплениями, а также преимущественно согласными с гнейсовидностью прерывистыми прожилками и линзочками. В глиноземистых гнейсах сульфиды этой генерации часто отмечаются в мигматизированных интервалах пород, особенно на участках развития кордиеритизации. Вкрапленники, скопления, прожилки и линзочки сульфидов сконцентрированы в обогащенные биотитом, графитом, в меньшей мере, кордиеритом и другими глиноземистыми минералами полосы или в эти минералы. Сульфиды (кроме молибденита) встречаются в виде включений в породообразующих минералах, заполняя трещины их спайности, а также наблюдаются в прослоях кварц-полевошпатовых гнейсов и в мигматитобразующих гранитах. Нередко породообразующие минералы, особенно кордиерит, графит и некоторые другие корродированы сульфидами. Это позволяет условно считать сульфиды разновозрастными с последней стадией метаморфизма и мигматизацией.

В биотит-амфиболовых гнейсах сульфиды второй генерации встречаются редко. Они представлены аллотриоморфными зернами, местами в сростаниях с биотитом, реже линзовидными скоплениями или прерывистыми прожилками.

Минералогический состав сульфидов второй генерации принципиально не отличается от первой (таблица). Дополнительно здесь встречаются включения пентландита в пирит-пирротине и выделения сфалерита в халькопирите. Ко второй генерации условно относятся также редкие находки молибденита, который часто встречается в сростаниях с графитом, а также единичные рассеянные кристаллы галенита, не связанные определенно с прожилковым типом оруденения. В аншлифах нередко наблюдаются переходы от первой генерации ко второй.

Содержание сульфидов второй генерации колеблется в больших пределах — от редких отдельных зерен или скоплений до 10—15%, а в отдельных аншлифах до 25—30%. В последних случаях сульфиды цементируют уже обломки и минералы вмещающих пород и имеют явно наложенный характер. Как уже отмечалось, в их составе резко преобладает пирротин и развивающийся по нему пирит. Нередко пирит почти полностью замещает пирротин, причем установлено, что с глубиной интенсивность такого замещения убывает. Это явление характерно также для пирит-пирротина первой генерации. Содержание халькопирита и сфалерита во второй генерации также незначительное: от единичных зерен или скоплений до 0,5—1,0%, редко выше. Наиболее обогащенные халькопиритом участки установлены в скважинах Ф-102 и Ф-113, где в отдельных аншлифах его содержание достигает 3—5%. Сфалерит встречается более часто в скв. Ф-110. Корреляция между интенсивностью пирит-пирротиновой, сфалерит-халькопиритовой и молибденитовой минерализацией не устанавливается. Наиболее богатые участки с пирит-пирротиновой минерализацией относительно бедны халькопиритом и сфалеритом, а иногда лишены их вообще. Преобладающее скопление халько-

пирита, а также сфалерита обычно отмечается по краям участков пирит-пирротиновой минерализации, а также в отходящих от них микроскопических прожилках или апофизах, особенно в местах их выклинивания.

Второй стадии соответствуют секущие прожилки и линзочки сульфидов во всех типах пород толщи, включая также мигматитобразующие и пегматоидные граниты района. Это маломощные (до 1—2 мм, редко больше), часто разветвляющиеся прожилки или их сближенные группы. Местами они образуют линзовидные раздувы, густую сеть или «конский хвост». Нередко эти прожилки секут контакты пород, а также вкрапленность и скопления сульфидов первой стадии. В наиболее оруденелых интервалах их густота достигает 10—15 на погонный метр керна. Минералогически они сложены в основном пиритом, который по краям изредка имеет зональное строение и с которым часто ассоциируется марказит. В отдельных интервалах керна среди этих пиритовых прожилков встречаются и так наз. рудные прожилки с разнообразным минералогическим составом: халькопирит-пиритовые, сфалерит-галенит-пиритовые и халькопирит-сфалеритовые. В единичных случаях с ними ассоциируются кристаллы арсенопирита, молибденита и урановой смолки. Иногда в пирите из рудных прожилков наблюдаются реликты пирротина или даже пирротин в преобладающем количестве. С этими рудными прожилками, видимо, также связана вкрапленность сульфидов  $Cu$ ,  $Pb$  и  $Zn$  во вмещающих породах, которая нередко обнаруживается в приконтактной полосе прожилков.

Содержание сульфидов  $Cu$ ,  $Pb$  и  $Zn$  в этих прожилках достигает обычно 10%, реже 20—30%. В скв. Ф-110 встречен небольшой прожилок, состоящий из халькопирита и сфалерита. В ряде скважин рудные прожилки сопровождаются гидротермального типа изменениями вмещающих пород, вплоть до образования цойзита (скв. Ф-108).

Возрастные взаимоотношения секущих прожилков не выяснены. Они секут мигматитобразующие и связанные с ними пегматоидные граниты района. В гранитах рапакиви аналогичные сульфидные прожилки не установлены.

Масштабы сульфидной минерализации в ягальской толще изучены явно недостаточно. Судя по данным литературы (Чернов и др., 1970; Магто и др., 1951; Нувярinen, 1969; Magnusson, 1970), аналогичные ягальской толще ассоциации сульфидов широко развиты на открытой части Балтийского щита. В благоприятных для локализации руд геологических условиях они нередко образуют промышленные скопления. Принимая во внимание изложенное выше, в частности насыщенность пород толщи сульфидами и наличие геохимических аномалий  $Co$ ,  $Ni$ ,  $Cu$ ,  $Pb$ ,  $Zn$ ,  $Mo$  и  $Au$  (таблица, рисунок), можно предположить, что в породах толщи могут быть встречены сульфидные залежи промышленного значения аналогично залежам на открытой части Балтийского щита в пределах распространения свекофеннид. В поисковом отношении первоочередное значение приобретает полоса, сложенная вулканогенными и графитсодержащими разновидностями пород, особенно в пределах зон тектонических нарушений и распространения гранитоидов, т. е. участки, где установлено наибольшее количество проявлений сульфидной минерализации.

#### ЛИТЕРАТУРА

Кивисилла Я. Я., Петерсэль В. Х., Пуура В. А. 1974. О методике изучения и результатах оценки рудоносности кристаллического фундамента Эстонии по геохимическим данным, Минск, ИГГ АН БССР.

- Пуура В. А., Кивисилла Я. Я., Петерселль В. Х. 1972. Результаты глубинного картирования кристаллического фундамента Эстонии. В сб.: Геология, формационный анализ, петрография и металлогеническая специализация кристаллических образований Русской платформы (тезисы II петрографического совещ. по Европейской части СССР), ВГУ, Воронеж.
- Чернов В. М., Инина К. А., Горьковец В. Я., Раевская М. Б. 1970. Вулканогенные железисто-кремнистые формации Карелии. Тр. Ин-та геологии Карельского филиала АН СССР, вып. 5. Петрозаводск.
- Hувärinen L. 1969. On the geology of the copper ore field in the Virtasalmi area, eastern Finland, Bull. Comm. Géol. Finl., nr. 240.
- Magnusson N. 1970. The origin of the iron ores in Central Sweden and the history of their alternations, Sveriges geol. unders., nr. 643.
- Мармо V., Mikkola A. 1951. On sulphides of the sulphidebearing schists of Finland, Bull. Comm. Géol. Finl., nr. 156.
- Simonen A. 1953. Stratigraphy and sedimentation of the Svecofennidic Early Archean supracrystal rocks in south-western Finland, Bull. Comm. Géol. Finl., nr. 160.

Управление геологии  
Совета Министров Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
12/X 1973

V. PETERSELL

### JÄGALA KIHTKONNA KRISTALSETES KIVIMITES ESINEVAST SULFIIDSEST MINERALISATSIOONIST

Jägala kihtkonna amfiboliitse faatsiese tingimustes metamorfiseerunud ja ebaühtlaselt migmatiseerunud, kurrutatud ja tektooniliste riketega kivimid levivad Põhja-Eesti kristalses aluskorras Jägala jõe piirkonnas. Neiks on valdavalt vulkanogeensed kvarts-päevakivi, biotiit- ja amfiboolbiotiitgneissid ning settelised biotiit- ja amfiboolbiotiitgneissid, samuti alumiiniumirikkad gneissid (joon.). Viimastes esineb vahekihtidena grafiiti ja sulfiide sisaldavaid peeneteralisi erimeid.

Kihtkonna kivimites laialt levinud sulfiidne mineralisatsioon esineb vähemalt kahe erivanuselise staadiumina: 1) süngeneetiliste peente kristallikülvidena (esimene generatsioon) ja metamorfismi ning migmatiseerumise kestel ümberkristalliseerunud ja ümberjaotatud ebaühtlaste jämedateraliste külvidena, nende kogumikuna, läätседena või katkendlike soonekestena (teine generatsioon) ja 2) lõikuvate soonekestena (tab.). Esimese staadiumi moodustavad pürroitiin ja teda asendav püriit, milledes esineb kalkopüriidi ja sfaleriidi suletisi. Viimased esinevad kivimis ka iseseisvate kristallidena. Esimese staadiumi teisele generatsioonile lisanduvad püriidis-pürroitiinis harvad pentlandiidi suletised ning üksikud molübdeniidi ja galeniidi kristallid. Teise staadiumi moodustavad lõikuvad maagivabad püriidisoonekesed ja harvad maagisooned. Viimastes esineb koos püriidiga märkimisväärsel hulgal kalkopüriiti, sfaleriiti, galeniiti, harva arsenopüriiti, molübdeniiti jt. mineraale. Maagisoonekestega kaasnevad ümbritsevate kivimite hüdrotermaalset tüüpi muundused.

Arvestades seda, et kompleksi kuuluvaid kivimeid ei ole veel piisavalt uuritud, samuti maagistumisahtuste ning geokeemiliste anomaaliade esinemissagedust, on tõenäoline, et kompleksis võib esineda märkimisväärsed Cu, Pb, Zn, Ni, Au jt. metallide kontsentratsioonid.

V. PETERSELL

### ON THE SULPHIDE MINERALIZATION OF THE CRYSTALLINE ROCKS IN THE JÄGALA FORMATION

The rocks occurring in the Jägala formation metamorphized and uniformly migmatized under the conditions of an amphibolitic facies, folded and showing tectonic faults, are distributed in the North-Estonian crystalline basement, in the region of the Jägala River. They are mainly represented by vulcanogenic quartz-feldspars, biotite and amphibole-biotite gneisses and by sedimentational biotite and amphibolite gneisses, as well as by aluminium-rich gneisses (Fig.). Among the latter there are fine-grained varieties containing graphite and sulphides, occurring in intercalations.

The sulphide mineralization widely occurring in the rocks of the formation discussed, is represented by at least two different-aged stages: 1) in the form of syngenetic, fine-grained crystal belts (the first generation) and by recrystallized and redistributed, in the course of metamorphism and migmatization, irregular coarse-grained crystal belts, their assemblages in lenses or interrupted thin veins (the second generation), and 2) in the form of intersecting veinlets (Table). The first stage is formed by pyrrhotite and pyrite, replacing the former, both of which contain calcopyrite and sphalerite enclosures. The latter occur in the rock as independent crystals, as well. The second generation of the first stage is complemented by scarce pentlandite enclosures in the pyrite-pyrrhotite, and by some single crystals of galenite and molybdenite. The second stage is formed by intersecting oreless pyrite veinlets and by scarce veins of ore. The latter contain, together with pyrite, abundantly calcopyrite, sphalerite, galenite, rarely arsenopyrite, molybdenite, and other minerals. The ore veinlets are accompanied by hydrothermal transformations of the surrounding rocks.

Considering the fact that the rocks of the discussed complex have not yet been sufficiently studied, as well as in view of the frequency of mineralization and geochemical anomalies, it is probable that the complex might contain considerable concentrations of Cu, Pb, Zn, Ni, Au, and other metals.

#### ON THE SULPHIDE MINERALIZATION OF THE CRYSTALLINE ROCKS IN THE JACALA FORMATION

The rocks occurring in the Jacala formation metamorphosed and uniformly migmatized under the conditions of an amphibolite facies, folded and showing tectonic lineaments. They are mainly represented by variously developed quartz-schists, biotite and amphibole schists, and by sedimentary rocks and igneous rocks. The latter are represented by gabbro, diorite, and quartzite. The gabbro is represented by a massive, fine-grained, and medium-grained variety, and by a variety with a coarse-grained, irregular texture. The diorite is represented by a massive, fine-grained, and medium-grained variety, and by a variety with a coarse-grained, irregular texture. The quartzite is represented by a massive, fine-grained, and medium-grained variety, and by a variety with a coarse-grained, irregular texture.