

ческого картирования масштаба 1:200 000 в пределах зеленокаменных структур Ведлозерско-Сегозерского пояса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иващенко, В.И. Золото и платина Карелии: формационногенетические типы оруденения и перспективы / В.И. Иващенко, А.И. Голубев — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. — 368 с.
2. Кулешевич, Л.В. Месторождение Педролампи и золоторудные проявления Эльмусской площади / Л.В. Кулешевич, О.Б. Лавров // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 10. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. — С. 140–158.
3. Плющев, Е.В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований / Е.В. Плющев, В.В. Шатов, С.В. Кашин. — СПб, 2012. — 559 с.
4. Nurmi, P., Sorjonen, P. Geological development, gold mineralization and exploration methods in the Late Archean Hattu Schist Belt, Ilomantsi, Eastern Finland // Spec.pap/Geol. Surv.Finl., 17, 1993.

© Миронов Ю.Б., Афанасьева Е.Н., Лебедев И.О., 2016

Миронов Юрий Борисович // Yuri_Mironov@vsegei.ru
Афанасьева Елена Николаевна // Elena_Afanasieva@vsegei.ru
Лебедев Иван Олегович // ivan_lebedev@vsegei.ru

УДК:549.623.5

Сапожникова Л.Н., Быстров И.Г., Иоспа А.В. (ФГБУ «ВИМС»), Добrorодный В.Н., Доля А.Н., Омельченко В.Л. (ОАО «Севкавгеология»)

МЕЛКОЧЕШУЙЧАТЫЕ СВЕТЛЫЕ СЛЮДЫ КУБАНЬ-КОЛЬТЮБИНСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ

*Приводится краткая характеристика геологической позиции и основных данных прогнозируемого проявления мелкочешуйчатого мусковита на Кубань-Кольтюбинской площади в Карачаево-Черкесской Республике. Рассмотрены разновидности протерозойских метаморфических пород продуктивной шаукольской свиты с детальной характеристикой светлых слюд. Отличительной чертой их состава является присутствие парагонита наряду с мусковитом. Слюды образовались в результате метаморфизма в основном терригенных пород в условиях фации зеленых сланцев. На разных ступенях процесса при повышении его температуры они перекристаллизовывались от серицитов до средне-, крупночешуйчатых образований. **Ключевые слова:** протерозой, метаморфизм, слюдистые сланцы, парагонит, мелкочешуйчатый мусковит (фенгит).*

Sapozhnikova L.N., Bystrov I.G., Iospa A.V. (VIMS), Dobrorodnyy V.N., Dolya A.N., Omelchenko V.L. (Sevkavgeologiya)

FINELY SCALY LIGHT KUBAN-KOLTYUBINSKOGO MANIFESTATIONS

There is a brief description of the geological position and the main data display projected small — scaly muscovite-Koltyubinskoy the Kuban area in Karachay-Cherkessia Republic. There are considered species of Proterozoic rocks metamorphic productivity suite with detailed characteristic of light mica. The distinctive feature of the composition there is the presence of paragonite along with muscovite. Mica has formed as a result of metamorphism of mainly clastic rocks in green schist facies conditions. There was at different stages of the process by increasing the temperature they are re-crystallized from sericite

*to mid-, small — scaly formations. **Keywords:** Proterozoic, metamorphism, mica schists, small — scaly, Paragon muscovite (phengite).*

Кубань-Кольтюбинская площадь находится на Северном Кавказе в Карачаево-Черкесской Республике, в правом борту долины р. Кубань в 17 км южнее г. Карачаевск. ОАО «Севкавгеология» в 2013–2015 гг. на этой площади были проведены поисковые работы на мелкоразмерный мусковит, в результате которых локализованы и оценены значительные прогнозные ресурсы мелкочешуйчатого мусковита в протерозойских метаморфических сланцах. Единственное в РФ разведанное крупное месторождение мусковитовой чешуйки Центральное в графит-двуслюдяных сланцах амфиболитовой фации метаморфизма верхнепротерозойского возраста расположено в отдаленном Мамско-Чуйском районе Иркутской области и не разрабатывается. Известны прогнозные ресурсы чешуйчатого мусковита. Они оценены в архейских (лопийский комплекс) кварц-кианит-мусковитовых сланцах с проявлениями полихронных метаморфо-метасоматических процессов — метаморфизм амфиболитовой фации в раннем архее и близкий ему по режиму, но с широким проявлением кислотного выщелачивания — в нижнем протерозое (проявление Восточная Хизоваара, Республика Карелия) [7]. В сланцах, метаморфизованных в условиях зеленосланцевой фации, прогнозные ресурсы оценивались впервые. Поэтому изучение в них особенностей полезного ископаемого — чешуйки представляется не только научный, но и практический интерес.

Кубань-Кольтюбинская площадь приурочена к выходам докембрийского фундамента Скифской плиты в эрозионных окнах Бечасынской тектонической зоны. Породы фундамента представлены протерозой–палеозойским метаморфическим бечасынским комплексом (позднекарельского/рифейского? возраста), перекрытым палеозойскими и мезо-кайнозойскими осадочными и вулканогенно-осадочными образованиями. В составе бечасынского метаморфического комплекса находится продуктивная на мелкочешуйчатый мусковит шаукольская свита. В ней выделены две подсвиты. Нижняя подсвита сложена относительно однородными мусковит-хлорит-кварц-альбитовыми порфиروبластовыми кристаллическими, так называемыми «типовыми», сланцами и обычно не содержит инородных прослоев. Видимая мощность — 700 м. Верхняя подсвита характеризуется наличием среди аналогичных сланцев прослоев менее слюдистых сланцев гнейсовидного облика, кварцитов, эпидот-хлорит-альбитовых, иногда амфиболсодержащих сланцев. Мощность подсвиты около 300 м. Неполная мощность всей свиты в районе — 1–1,2 км. Залегание свиты, как и разреза в целом, опрокинутое наклонное. Падение пород изменчиво, но в первом приближении соответствует падению крыльев Кольтюбинской синформы. Метаморфизм пород свиты соответствует условиям низких ступеней эпидот-амфиболитовой фации и фации зеленых сланцев [5].

Прогнозируемое месторождение представляет собой пластообразную залежь мощностью 50 м (согласно заданным параметрам), оцененную в пределах трех тек-

тонических блоков — Западного, Центрального и Восточного (рис. 1). Центральный блок полностью находится в пределах полезной толщи нижней подсвиты, Западный — в большей мере и Восточный — в меньшей — обеих подсвит продуктивной шаукольской свиты. Средние содержания *извлекаемых светлых слюд* в подсчетных блоках по определению ЦНИИгеолнеруд методом флотации достаточно близки и составляют в среднем 26,14 %, что выше упомянутых объектов.

Детальное изучение руд слюдястых сланцев шаукольской свиты проводилось с привлечением петрографических, оптико-минералогических, химико-аналитических методов, рентгенографического количественного фазового анализа (РКФА), рентгеноспектрального, электронно-зондового микроанализов. По результатам РКФА, подтвержденным микроанализом, в составе пород установлено присутствие наряду с мусковитом парагонита в количестве 3–8 %, что от общего объема светлых слюд составляет 10–30 отн. %. Главные диагностические аналитические линии парагонита, проявленные на рентгенограмме (межплоскостные расстояния d_{hkl} , Å), — $d_{002} = 9,62$; $d_{004} = 4,81$; $d_{020} = 4,44$; $d_{022} = 4,03$; $d_{006} = 3,20$; $d_{116} = 2,68$; $d_{115} = 2,82$. Для мусковита характерны немного иные аналитические линии с большими

углами 2θ , что объясняется разницей в размере элементарных ячеек мусковита и парагонита: $d_{002} = 9,98$; $d_{004} = 4,98$; $d_{110} = 4,49$; $d_{006} = 3,31$; $d_{116} = 2,78$; $d_{400} = 1,29$.

Присутствие *парагонита* является отличительной особенностью сланцев шаукольской свиты, наряду с такой известной особенностью, как широкое развитие альбитового порфиробластеза. Предполагается, что эти особенности состава свиты могут быть обусловлены захороненной в осадках морской водой [4].

Все разнообразие разновидностей слюдястых сланцев создается довольно ограниченным набором типичных для зеленосланцевой фации главных и характерных минералов, среди которых присутствуют кварц, слюды, хлорит, альбит, эпидот, гранат, рудные минералы. Содержание светлых слюд в различных разновидностях пород шаукольской свиты по результатам количественного подсчета минералов в шлифах колеблется от первых до 50–60 %. По этому признаку породы объединены в три основные группы: высокслюдистые (> 35–50 %), среднеслюдистые (20–35 %) и низкслюдистые (< 20 %).

Следует отметить, что содержание слюды в породах, фиксируемое минералогическими, петрографическими методами всегда выше и более близко к природному значению, чем извлекаемое (за счет неизвлекаемого).

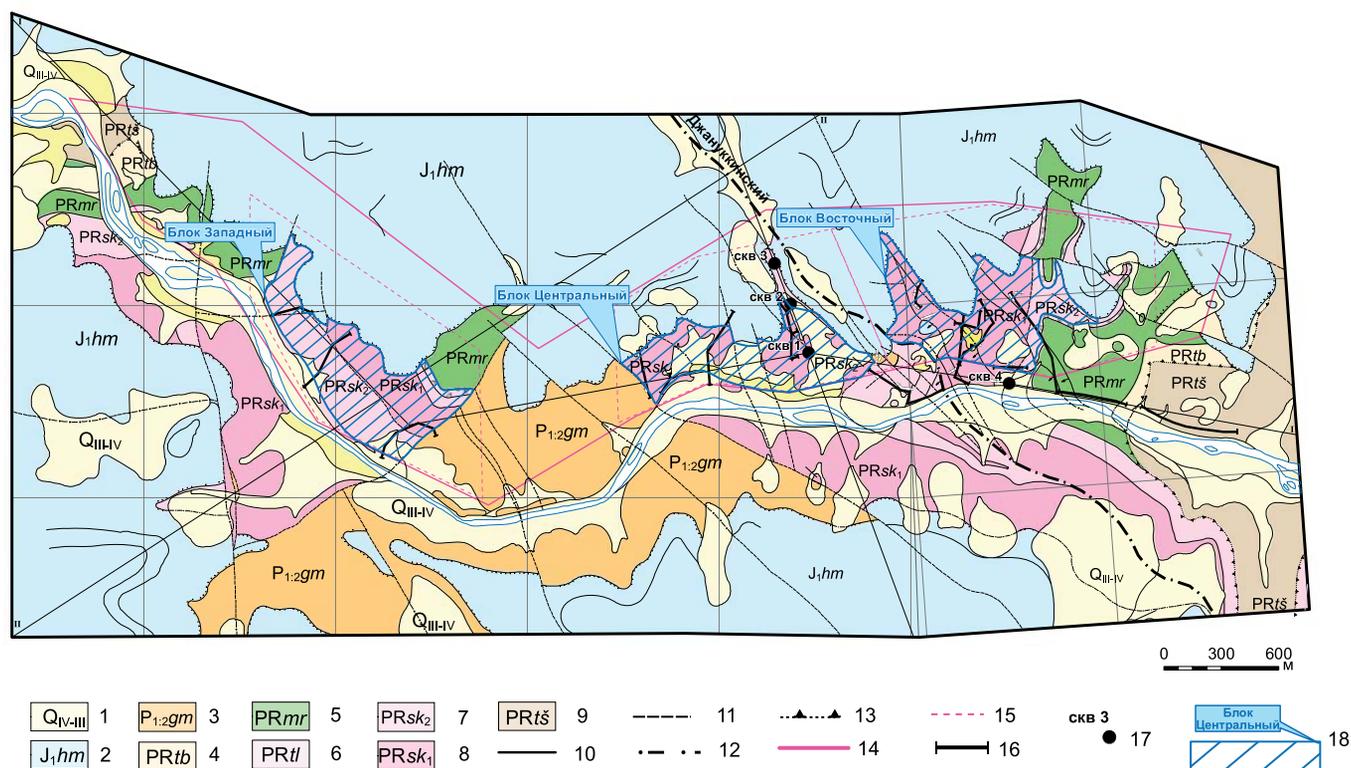


Рис. 1. Геологическая карта Кубань-Кольчубинской площади с блоками оценки прогнозных ресурсов. М-6 1:10 000. Составил В.Н. Доброродный: 1 — кайнозой, четвертичная система: рыхлые отложения, валунники, галечники, гравий, суглинки; 2 — мезозой, юрская система, нижний отдел, хумаринская свита: песчаники, реже аргиллиты; 3 — палеозой, пермская система, нижний/верхний отделы, гималдыкская свита: конгломераты красноватые; 4–9 — протерозой, бечасынский комплекс: 4 — тубаллыулакская свита: черные филлиты, микросланцы; 5 — мораллыкольская свита — зеленые эпидот-хлоритовые и амфиболовые микросланцы, метабазиты; 6 — таллыкольская свита: светлые кварциты; 7 — шаукольская свита (продуктивная), верхняя подсвита (низкопродуктивная): переслаивание порфиробластовых хлорит-мусковит-кварц-альбитовых сланцев с гнейсовидными, прослои кварцитов и метабазитов; 8 — верхняя подсвита (высокопродуктивная): порфиробластовые (гранат-биотит)-хлорит-мусковит-кварц-альбитовые сланцы; 9 — ташлыккольская свита: микросланцы серицит-хлорит-кварц-плаггиоклазовые; 10–13 — разрывные нарушения: 10 — достоверные, 11 — предполагаемые, 12 — скрытые под вышележащими образованиями, 13 — надвиги; 14 — контур Кубань-Кольчубинской поисковой площади; 15 — контуры перспективных участков; 16 — литолого-петрографические профили с горными выработками и опробованием; 17 — скважины; 18 — блоки с оценкой прогнозных ресурсов и их наименование

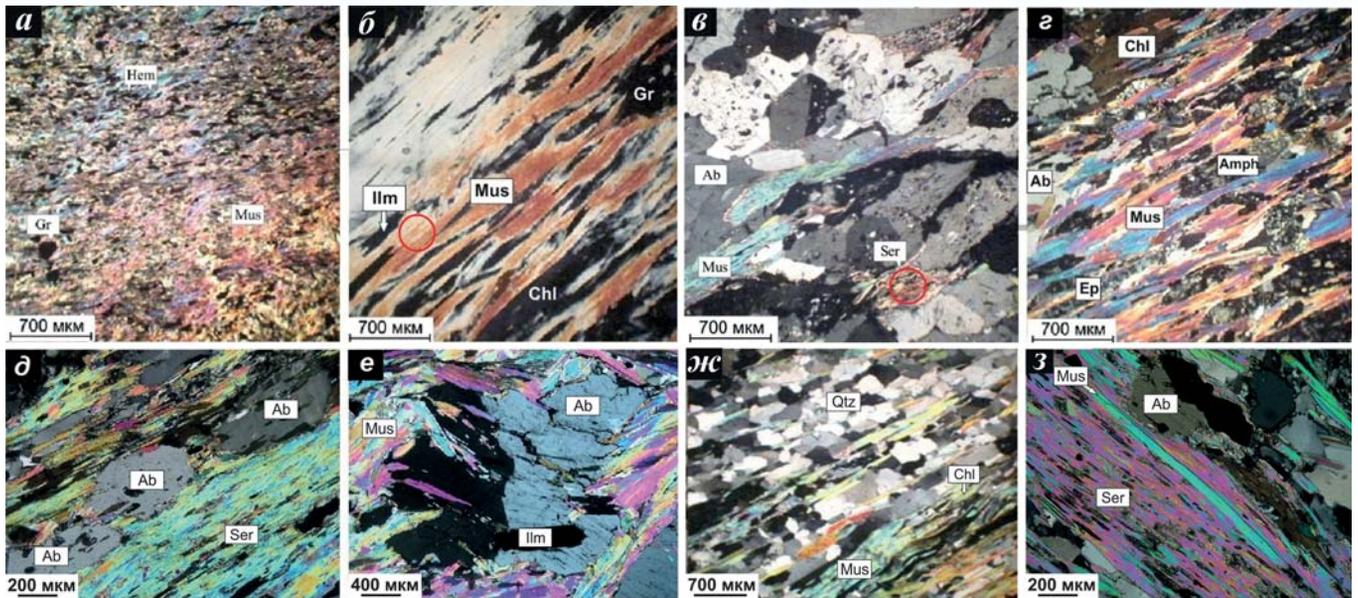


Рис. 2. Разновидности слюдястых сланцев шаукольской свиты (фото шлифов, николи +): **а** — магнетит-серицитовые микросланцы; **б** — крупночешуйчатые хлорит-парагонит-мусковитовые сланцы (гранат, альбит, кварц). Красным кругом обозначена область детализации — рис. 4е; **в** — сланцеватая мелкозернистая альбитовая порода с реликтами серицитов и мусковитовитализацией по полосам серицита. Красным кругом отмечена область детализации — рис. 4г; **г** — эпидот-амфибол-хлорит-мусковитовые сланцы; **д** — мелкие порфиробласты альбита в кварц-(серицит)-мусковитовом (с хлоритом и гранатом) сланце; **е** — развитие мусковита по трещинам и в контакте порфиробласта альбита с простым «парным» двойником (черное-белое), двойниковый шов деформирован; **ж** — хлорит-мусковит-кварцевый сланец; **з** — образование пластинчатого мусковита по серициту. Укрупнение чешуек мусковита в контакте с крупнозернистым кварцем (правый верхний угол)

Первая группа представлена хлорит-парагонит-мусковитовыми (альбит, гранат, кварц) сланцами и включает разновидности пород, отличающиеся разной степенью кристалличности, структурно-текстурными особенностями. Общим для их состава является преобладание слоистых силикатов: светлых слюд 35–60 % и хлорита 5–20 %. Кварц в линзовидных и прожилковидных выделениях находится в подчиненном количестве — 10–18 %, порфиробласты альбита в среднем ~ 10 %. Часто присутствует гранат — 1–6 %. Из аксессуаров встречаются турмалин, апатит, рутил, из рудных — ильменит.

Разновидности: крупночешуйчатые сланцы с характерными полосами-«пакетами» плотно сросшихся мусковита с подчиненным количеством парагонита и хлорита. Отдельные пластинки слюды по удлинению имеют размер от 0,5 до 1,5–3,5 мм и более. Преобладают гранолепидобластовые, порфиробластовые микроструктуры, текстуры полосчатые, линзовидно-полосчатые (рис. 2б)*. Другая разновидность — мелкочешуйчатые (серицитовидные) сланцы того же состава с мелкими 0,1–0,3 мм чешуйками светлых слюд, на фоне которых выделяются продолговатые пятна-скопления более позднего хлорита. Породы в меньшей степени раскристаллизованы, характеризуются развитием продольной микроплойчатости между слоями с параллельной сланцеватостью. К этой же группе относится маг-

нетит-серицитовый микросланец верхней подсвиты. Серицит (мусковит 27 %, парагонит 8 %) представлен чешуйками размером 0,03–0,08 мм, беспорядочно ориентированными на одних участках и с зачатками сланцеватости и перекристаллизации — на других, составляет основную массу породы. Магнезиальный хлорит (прохлорит — 16 %) соразмерен светлым слюдам и равномерно распределен в слюдястой массе. Также отмечается высокое содержание магнетита (титаномагнетита) > 10 % и рутила — 3–5 %. Характерны немногочисленные мелкие (0,05–0,1 мм) зерна марганцовистого граната обломочно-окатанной, реже почти квадратной формы и редкие мелкие (0,4–0,5 мм) порфиробласты альбита изометричной или субтаблитчатой формы (рис. 2а). По химическому составу высокослюдястые сланцы — это калиевые ($K_2O > 3\%$, $Na/(Na+K) = 0,22–0,30$), глиноземистые ($Al_2O_3 \sim 20\%$, $(Na+K)/Al = 0,25–0,30$) породы с содержанием SiO_2 не выше 65 %.

Вторая группа среднеслюдястых сланцев по разнообразию минеральных разновидностей самая многочисленная и неоднородная. Одну подгруппу составляют породы с примерно равным содержанием (на уровне 20–25 %) всех основных породообразующих минералов: мусковита, кварца, альбита, хлорита. Гранат отсутствует. Разновидности отличаются присутствием характерных минералов в количестве 5–15 %. Эпидот-хлорит-парагонит-мусковит-альбит-кварцевые сланцы с терригенным мельчайшим (0,05–0,1 мм) эпидотом (до 5–6 %) в серицитовых слоях, гематит (магнетит)-хлорит-парагонит-мусковит-кварц-альбитовые сланцы с содержанием рудного минерала до 9–16 %. Химический состав метапелитов этой подгруппы отличается от рассмотренного выше более низким содержанием

* Здесь и далее используются следующие сокращения названий минералов: аб, ab — альбит; амф, Amph — амфибол; би, Bi — биотит; гем, Hem — гематит; гр, Gr — гранат; ил, Ilm — ильменит; ка, Cal — кальцит; кв, Qtz — кварц; мт, Mt — магнетит; му, Mus — мусковит; пар, Par — парагонит; сер, Ser — серицит; хл, Chl — хлорит; Эп, Ep — эпидот

Al_2O_3 — 14–16 %, K_2O ~ 2 %, соизмеримым с ним Na_2O ($Na/(Na+K) = 0,5$), SiO_2 также не выше 65 %. Характерно (как и для 1-й группы) высокое содержание фемических компонентов — $FeO+Fe_2O_3+MgO+TiO_2$ — в среднем около 12 %.

К этой же группе относятся некоторые разновидности метабазитов: эпидот-амфибол-хлорит-мусковитовые сланцы, которые состоят из примерно равного количества амфибола и эпидота, перемежающихся с мусковитом и хлоритом. На их фоне выделяются небольшие малочисленные «очки» альбита. Амфибол полностью замещен агрегатом хлорита, кварца, кальцита. Содержание мусковита может достигать 30 % (рис. 2г).

Вторая подгруппа включает хлорит±биотит-парагонит-мусковит-кварцевые (альбит, гранат) сланцы. Минеральная ассоциация та же, что в хлорит-мусковитовых сланцах 1-й группы, но отличается повышенным количеством кварца. В чередовании кварцевых и слюдяных полос преобладают кварцевые слои, увеличивается их мощность. Обычно кварц мелкозернистый, равномернотернистый, субизометричной формы с ровными очертаниями зерен. Состав (в %): кварц ~ 50; мусковит — 20–25; хлорит (иногда с биотитом) — 3–20; альбит — от единичных порфиробласт (3–4 мм) до 16, почти всегда присутствует мелкий гранат (рис. 2ж). При увеличении количества кварца порода относится к слюдяным кварцитам с пониженным содержанием мусковита. Химический состав пород подгруппы достаточно однообразный: SiO_2 — 75–79 %, Al_2O_3 — 10–12 %, сумма фемических компонентов не превышает 5–6 %, K_2O — 1–1,5 редко до 2 %.

Третья группа (малослюдяных) пород представлена кварц-альбитовыми рассланцованными (гнейсовидными) породами, содержание мусковита в которых обратно пропорционально содержанию альбита и в среднем составляет ~ 18 %. Преобладают мелкозернистые сланцеватые кварц-мусковит-альбитовые породы. Содержание альбита в них 65–70 %. Альбит содержит множество мельчайших (0,05 мм) пойкилитовых хаотично расположенных включений рудных минералов и кварца. Структура породы гранобластовая, текстура линзовидно-полосчатая (рис. 2в).

Содержание мусковита зависит от состава породы, в т.ч. первичного, который, несмотря на преобразования в результате процессов метаморфизма, находит отражение в их современном облике и химическом составе. Например, на основе аналитических данных расчетное содержание мусковита в высокослюдоносных крупночешуйчатых гранат-хлорит-парагонит-мусковитовых сланцах в четыре раза выше, чем в слюдяно-кварцевых (кварцитовидных) породах — 35 и 9 % соответственно, что согласуется с минералогическими и петрографическими данными. Формирование в высокослюдоносных сланцах ассоциации

парагонит+фенгит+хлорит возможно, как предположение при преобразовании иллит-монтмориллонитовых глин [2], а слюдяно-кварцевой ассоциации в кварцитовидных сланцах — при преобразовании полевошпат-кварцевых песчаников (алевролитов). О значении первичного состава свидетельствует и независимость слюдоносности от степени перекристаллизации пород: нахождение в 1-ой группе по содержанию крупночешуйчатых слюд и микросланцев.

Зависимость концентраций слюды от альбитового порфиробластеза выражена общей тенденцией в снижении содержания мусковита при возрастании доли полевого шпата (рис. 3). Локально развитые процессы диафореза также приводят к уменьшению количества мусковита и увеличению кварца, т.к. при замещении хлоритом таких минералов как гранат, биотит выделяется избыток SiO_2 .

Во всех изученных разновидностях пород присутствуют светлые (белые) слюды. Они представлены серицитом, мусковитом и парагонитом. К *серицитам* отнесены тонкочешуйчатые (0,008–0,05 мм) разновидности слюды разного состава — серицит мусковитовый и парагонитовый [3]. Он образует агрегаты плотно прилегающих друг к другу («спрессованных») чешуек с неровными часто изогнутыми ограничениями по 001. Чешуйки расположены субпараллельно и ориентированы обычно по сланцеватости (рис. 4г). В шлифе образования выглядят как непрерывный волокнистый агрегат. Серицит слагает отдельные разновидности пород — магнетит-серицитовые микросланцы (рис. 2а), но также находится в виде реликтов среди разнообразных более поздних ассоциаций: в кварце, альбитовых мелкозернистых сланцах (рис. 2в), биотит-хлорит-мусковитовых сланцах, где они деформируются совместно с более поздними слюдами (рис. 4а, б). Химический состав светлых слюд (около 200 определений) по результатам изучения в 20 комбинированных шлифах методами спектрального микроанализа и электронно-зондового анализа с волновой дисперсией на микроанализаторе в обобщенном виде представлен в табл. 1 и 2.

Мусковитовый серицит обладает всеми характерными чертами, присущими для низкотемпературных метаморфических пород фации зеленых сланцев: он от-

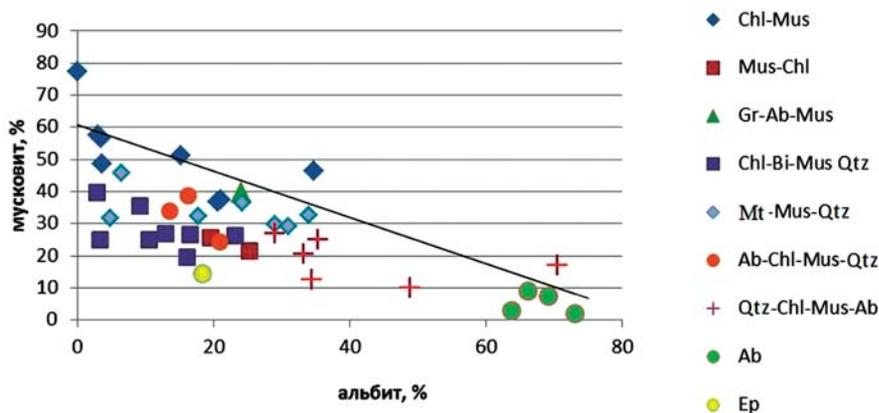


Рис. 3. Соотношение содержания мусковита и альбита в породах шаукольской свиты (по результатам количественного подсчета в шлифах). Разновидности пород обозначены сокращенными буквенными индексами

Таблица 1
Состав серицита в разновидностях слюдястых сланцев

Номер анализа	Наименование сланцев	Номер шлифа	Компоненты, пересчитанные на оксиды, мас. %									Коэфф. железист. f
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	сумма	
Серицит мусковитовый												
1	(Титано)-магнетит-серицитовые (микросланцы)	26	48,48	0,42	29,49	4,22	2,39		0,58	9,94	95,11	50
2	Магнетит-мусковитовые (серицит)-альбит-кварцевые	177-1	49,46	0,22	28,05	4,55	2,31	0,04	0,48	10,23	95,34	53
3	Хлорит-парагонит-мусковитовые (гранат, альбит, кварц)	98	48,10		29,50	4,65	2,26		0,35	9,70	94,46	54
4		68	48,99		26,63	3,44	2,72		0,58	10,05	92,40	41
5	Биотит-хлорит-мусковитовые-альбит-кварцевые (гранат)	3	47,24		30,18	3,31	1,91		0,31	9,81	93,14	49
6	Эпидот-хлорит-парагонит-мусковит-кварц-альбитовые	55	48,96	0,28	27,74	3,41	2,25	0,01	0,74	10,00	93,51	46
		среднее	48,54	0,3	28,60	3,93	2,31	0,00	0,51	9,96	94,15	49
Серицит парагонитовый												
7	Хлорит-парагонит-мусковитовые (гранат, альбит, кварц)	98	44,09		38,44	1,20			5,74	1,34	90,81	
8		68	46,15		36,21	0,82	0,41		6,39	1,79	91,78	
9	Биотит-хлорит-мусковитовые-альбит-кварцевые (гранат)	3	45,81		38,87	0,67			8,32	1,33	94,99	
10	Кварц-парагонит-мусковит-альбитовые	105	45,75		39,72	1,18			6,66	1,05	94,36	
11	Эпидот-хлорит-парагонит-мусковит-альбит кварцевые	55	47,59	0,03	38,47	0,82	0,1		6,64	0,62	94,42	
		среднее	45,88	0	38,34	0,94			6,75	1,23	93,14	

Примечание. Каждый анализ представляет собой среднее из 5–15 измерений.

*Измеренное общее Fe пересчитано на оксиды в FeO. Железистость f рассчитана в единицах кристаллохимической формулы: $f = \text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) \times 100$

Кристаллохимические формулы рассчитаны кислородным методом по зарядам.

носится к *фенгитам*, который отличается от теоретического состава мусковита избытком Si и недостатком Al, повышенным содержанием Mg, Fe. Сумма FeO+MgO в фенгитах составляет 5–7 мас. %. Она выше в породах с высоким содержанием рудного минерала (ан. 1, 2). В этих же породах обычно выше коэффициент железистости ($f = \text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$, мол. %): 50–54 % против 41–46 % в биотит-, эпидот-хлорит-мусковитовых сланцах. Кристаллохимическая формула среднего состава мусковитового серицита $(\text{K}_{0,87}\text{Na}_{0,07})_{0,94}(\text{Mg}_{0,23}\text{Fe}_{0,22}\text{Al}_{1,61})_{2,06}[\text{Si}_{3,31}\text{Al}_{0,69}]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

Парагонитовый серицит в отличие от серицита-фенгита по составу приближается к теоретическому: $(\text{Na}_{0,86}\text{K}_{0,1})_{0,96}(\text{Al}_{1,96}\text{Fe}_{0,05})_{2,01}[\text{Si}_{3,0}\text{Al}_{1,0}]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. В тетраэдрической позиции отношение Si:Al = 3:1, также в октаэдрической — количество Al близко к 2. Помимо Al здесь присутствует небольшое количество FeO — 0,3–1,6 мас. %, редко — 0, n % MgO. Более высокое содержание фемических компонентов наблюдается в парагоните в тех же породах, где оно отмечено для мусковитов (фенгитов). Как и в фенгитах сумма K+Na < 1. Содержание Na₂O чаще всего колеблется в узком интервале 6,4–6,7 мас. %, один случай — 8,32 % (близок к максимальному, полученному экспериментально [3]).

Мусковит, так называемый перекристаллизованный («пластинчатый»), присутствует в виде тонких

пластин 0,5–1,5 мм до 3,5 мм и более с коэффициентом удлинения ~ 5 (рис. 2з). Нередко переход от серицита к мусковиту постепенный и связан с укрупнением чешуек, в отличие от известного по публикациям скачкообразного изменения размера чешуек на границе разных метаморфических зон [1]. Состав мусковита принципиально не отличается от состава серицитов-фенгитов и обладает всеми чертами мусковитов зеленосланцевой фации метаморфизма, он тоже относится к фенгитам. Близки и их средние кристаллохимические формулы: $(\text{K}_{0,88}\text{Na}_{0,06})_{0,94}(\text{Mg}_{0,23}\text{Fe}_{0,21}\text{Al}_{1,60})_{2,04}[\text{Si}_{3,3}\text{Al}_{0,7}]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

Детальные вариации состава мусковита зависят от состава пород. Общей тенденцией является снижение коэффициента железистости мусковита f со снижением суммы фемических компонентов. Повышенное содержание Mg+Fe ~ 7 % и f = 55–56 % характерно для мусковита амфибол-хлорит-мусковитовых и некоторых разновидностей хлорит-мусковитовых (ан. 12) сланцев. В хлорит-мусковитовых сланцах наблюдается снижение содержания (Mg+Fe) до ~ 6 %, f составляет 47–51 %. Дальнейшему снижению указанной суммы до < 6 % соответствует f = 45–47 % в биотит-, эпидот-хлорит-мусковитовых сланцах. В самих лейкократовых кварц-альбитовых (гнейсовидных) сланцах мусковит обеднен Mg и Fe, а его f = 41–45 %.

Более кардинально состав мусковита изменяется в результате локальных гидротермально-метасоматических процессов при развитии его по микротрещинам и пятнам в гранате, редко по полосам серицита (табл. 2, ан. 18, 19, 20, рис. 2в). Такой мусковит отличается высокой железистостью — $f = 58-66\%$ и низким Mg. Отличия очевиднее при сравнении пар анализов мусковита из слюдястых слоев и микротрещин одной и той же породы — ан. 12 и 20 в хлорит-мусковитовых сланцах, ан. 16 и 19 в кварц-альбитовых гнейсовидных породах.

Парагонит присутствует практически во всех разновидностях сланцев. При укрупнении чешуек в слабо сланцеватых «гнейсовидных» кварц-альбитовых породах парагонит имеет такой же облик, как и мусковит: идиоморфные разно ориентированные пластинки размера $0,4 \times 0,07$, $0,3 \times 0,2$ мм (рис. 4д). В амфибол-хлорит-мусковитовых сланцах при перекристаллизации мусковит и парагонит плотно примыкают и перемежаются друг с другом (плотная «упаковка»), располагаясь параллельно в виде полос размером $0,1 \times 0,01-1,5 \times 0,05$ мм

с неровными очертаниями по сланцеватости и заостренными на концах, благодаря чему приобретают игольчатый облик. Сами эти полосы парагонита и мусковита неоднородны (о чем кроме внешних признаков свидетельствуют анализы составов) и представляют собой результат неполной перекристаллизации серицитов (рис. 4в). В крупночешуйчатых хлорит-парагонит-мусковитовых сланцах полосы парагонитового и мусковитового составов многократно увеличиваются в размере $> 3,5 \times 0,5$ мм. Но они остаются такими же неровно волнистыми по сланцеватости и с тонким проникновением друг в друга. Поэтому в микроскопе такие слюдястые полосы выглядят как волокнистый агрегат с одинаковой интерференционной окраской (рис. 4е).

По составу укрупненный парагонит близок к одноименному серициту, но отличается более совершенным соотношением компонентов: сумма $K+Na = 1$ при повышении содержания $Na_2O > 7\%$ и понижении $K_2O < 1\%$. Содержание FeO выше в сланцах с амфиболом (ан. 22) и/или с высоким содержанием хлорита (ан. 26). Кристаллохимическая формула среднего со-

Таблица 2
Состав мусковита и парагонита в разновидностях слюдястых сланцев шаукольской свиты

Номер	Наименование сланцев	Номер шлифа	Компоненты, пересчитанные на оксиды, мас. %									Коэфф. железист. f
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	сумма	
Мусковит												
12	Хлорит-парагонит-мусковитовые (гранат, альбит, кварц)	98	47,35		30,27	4,57	2,11		0,39	9,79	94,48	55
13		68	48,65	0,42	27,61	3,68	2,34		0,57	10,33	93,60	47
14		77	48,16	0,17	27,30	3,79	2,34		0,32	10,41	92,48	48
15	Биотит-хлорит-мусковитовые-альбит-кварцевые (гранат)	3	49,5	0,3	28,50	3,54	2,31		0,62	10,16	94,93	47
16	Хлорит-парагонит-мусковит-кварц-альбитовые (гнейсов.)	58	49,68	0,38	27,36	3,20	2,47		0,54	10,22	93,85	45
17	хлорит- мусковит-кварцевые (кварцитовидные)	94	47,5	0,42	30,99	4,00	2,05		0,50	10,17	95,63	51
		среднее	48,47	0,34	28,67	3,80	2,27		0,49	10,18	94,22	48
18	Кварц-парагонит-мусковит-альбитовые	105	46,66	0,52	31,78	4,53	1,69		1	10,07	96,25	58
19	Хлорит-парагонит-мусковит-кварц-альбитовые (гнейсов.)	58	45,55		34,86	2,54	0,96		0,08	10,27	94,26	58
20	Хлорит-парагонит-мусковитовые (гранат, альбит, кварц)	98	46,53		30,82	5,97	1,29		0,43	9,49	94,54	66
		среднее	46,25		32,49	4,35	1,31		0,5	9,94	94,84	65
21	Включения $0,3 \times 0,02$ в альбите в породах с аплит. структ.	69	49,67	0,44	27,43	3,38	2,51	CaO 0,04	0,5	10,17	94,14	43
Парагонит												
22	Амфибол-хлорит-парагонит-мусковитовые (альбит, кварц)	67	44,71		36,68	1,15			6,48	0,71	89,73	
23	Хлорит-парагонит-мусковитовые (гранат, альбит, кварц)	68	46,43		37,23	0,60	0,1		7,11	1,11	92,48	
24		77	46,26		37,5	0,42			7,28	0,62	92,08	
25	Хлорит-парагонит-мусковит-кварц-альбитовые (гнейсов.)	58	47,67		38,49	0,59			7,52	0,6	94,88	
26	Хлорит-парагонит-мусковитовые (гранат, альбит, кварц)	14	45,68		36,11	0,84	0,32		7,95	1,51	92,41	
		среднее	46,15		37,2	0,72			7,27	0,91	92,25	

* См. примечание к табл. 1

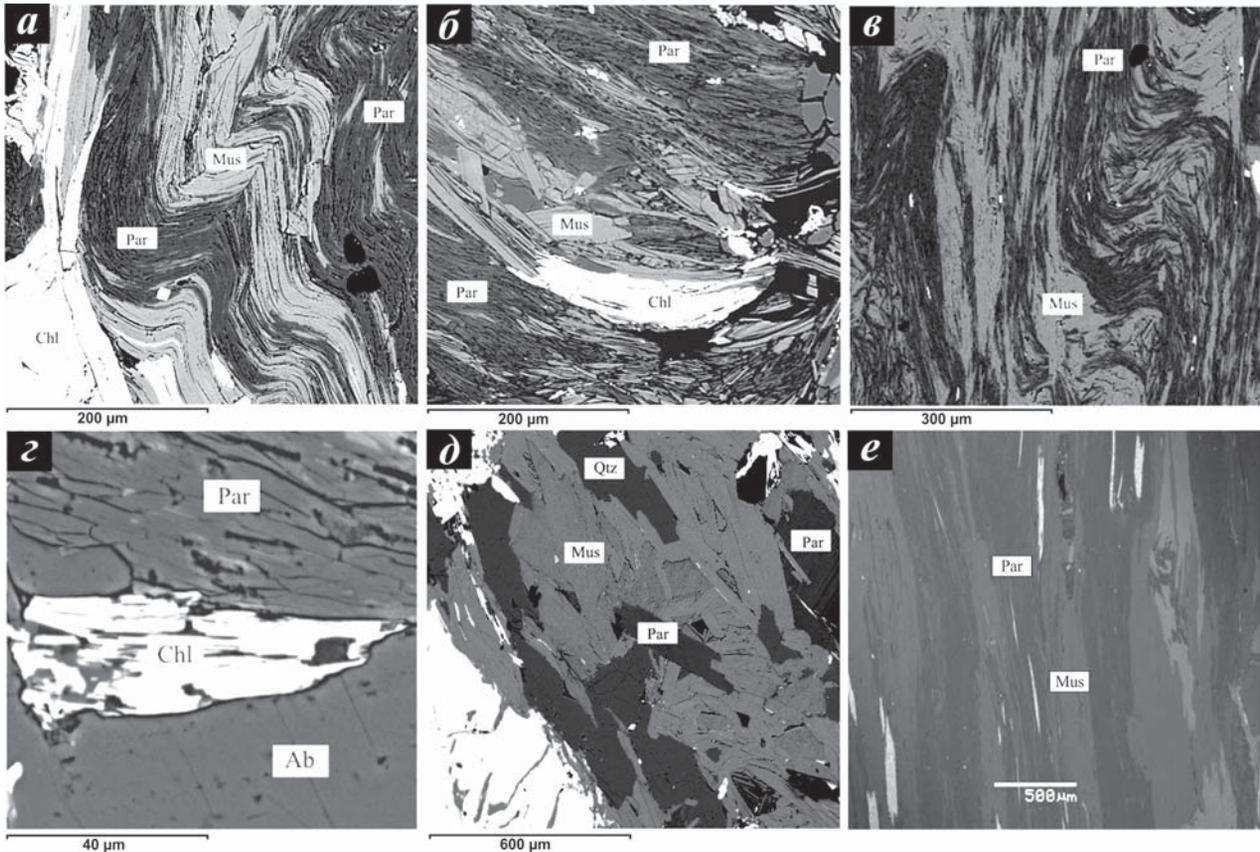


Рис. 4. Серциты и перекристаллизованные светлые слюды (микронзонд, изображение в обратно-рассеянных электронах): **а** — реликтовые прослойки серцита существенно парагонитового состава с примесью мусковита среди крупночешуйчатых слюд в гранат-альбит-кварц-биотит-хлорит-мусковитовых сланцах, впоследствии совместно деформированы; **б** — слои серцита парагонитового и мусковитового состава в биотит-хлорит-мусковит-кварцевых (альбит, гранат) сланцах; **в** — перекристаллизованные чешуйки парагонита и мусковита в слоях с гофрированной текстурой в амфибол-хлорит-мусковитовых сланцах; **г** — серцит парагонитового состава — детализация рис. 2в; **д** — идиоморфные разноориентированные чешуйки мусковита и парагонита в кварц-альбитовых «гнейсовидных» породах; **е** — хлорит-парагонит-мусковитовые слои в крупночешуйчатых сланцах, по спайности ильменит с лейкоксеном — детализация рис. 2б

става парагонита: $(\text{Na}_{0,93}\text{K}_{0,07})_{1,0}(\text{Al}_{1,95}\text{Fe}_{0,04})_{1,99}[\text{Si}_{3,05}\text{Al}_{0,95}]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

Детальное изучение светлых слюд в породах показало их трансформацию от серцитов до крупночешуйчатых скоплений по мере развития процесса метаморфизма, в котором по парагенетическим ассоциациям породообразующих и характерных минералов в метapelитах выделены условные ступени.

Серцитовая ступень наиболее ранняя и низкотемпературная. Серцитовые сланцы сохранились главным образом в виде реликтов среди разнообразных более поздних ассоциаций. Парагенезисы: *сер + кв + аб + мт* и *сер (му + пар) + кв + аб + Мнгр + хл + мт*. Серцит отвечает мусковитовому (фенгит) и парагонитовому составу. Особо стоит отметить, что гранат этой ассоциации содержит максимальное из исследован-

ных образцов количество марганца (15 % MnO). По А. Мияширо наиболее марганцовистые гранаты характерны для низкотемпературных зон, а убывание содержания Mn в гранатах связано с ростом температур [4].

Мусковит-хлоритовая ступень. Ассоциации: *эн + хл + пар + му + аб + кв + ка + ил, мус + пар? + хл + мт (зем) + аб + кв*.

Таблица 3
Сравнение состава мусковита Кубань-Кольчубинского проявления с другими объектами в метаморфических сланцах

Месторождение, проявление	Компоненты, пересчитанные на оксиды, мас. %								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO*	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O
Кубань-Кольчубинское проявление, мусковит	48,47	0,34	28,67		3,80	2,27		0,49	10,18
Парагонит	46,15		37,2		0,72			7,27	0,91
Месторождение Центральное, неизмененные сланцы	49,0		29,7	2,8		1,7			8,1
Измененные	46,9		29,8	1,4–2,3		1,15–1,3			9–9,5
Проявление Восточная Хизоваара	46,56	1,32	34,26	0,59	0,23	1,86	0,03	1,11	9,18

* См. примечание к табл. 1

Характерно отсутствие граната. Хлорит (прохлорит) в виде пятен развивается по эпидот-серицитовой (парагонит-мусковитовой) массе. Из светлых слюд преобладает серицит. Мусковит в перекристаллизованных чешуйках до 0,5–1 мм развит спорадически.

Гранат-мусковит-хлоритовая ступень наиболее распространена, образуется при возрастании температуры. Парагенезис — $xl+mu+par+kv+ab+зональный\ гр.$ Основными минералами являются: хлорит (рипидолит) со средней железистостью $f = 55–58\%$ и содержанием Al_2O_3 до 20%. Размер мусковита (фенгита) и парагонита укрупняется почти повсеместно. Формируются плотные «пакеты» мусковита-парагонита-хлорита. Гранат зональный с марганцовистым ядром (9–14% MnO) и алмандиновой оторочкой. Развивается сланцеватость с одновременной сегрегацией кварца, альбита и хлорито-слюдистых минералов, вследствие чего образуются полосчатые, линзовидно-полосчатые текстуры сланцев.

Гранат-биотитовая ступень. С дальнейшим повышением температуры связано появление парагенезиса $bi+Al-xl+mu\pm par+kv+ab+существенно\ альмандиновый\ гр.$ Парагенезис $gr+xl+bi$ считается критическим для верхней границы зеленосланцевой фации до границы со ставролитом [6]. Биотит в этой ассоциации не является ведущим минералом, т.к. его стабильность в умеренно глиноземистых породах зависит от температуры и отношения $Al/Mg+Fe$ в породе — стабильны либо $xl+mu$, либо $bi+mu+xl$ в сравнительно железистых породах [6].

Серицитовые сланцы, несмотря на высокое содержание светлых слюд, имеют ограниченное промышленное значение, т.к. относятся к труднообогатимым рудам. Основной промышленный интерес представляют перекристаллизованные светлые слюды гранат-мусковит-хлоритовой и гранат-биотитовой ступеней метаморфизма. Максимум перекристаллизация, укрупнение чешуек достигают в контакте прожилков и линз изофациального мономинерального крупнозернистого светлого кварца. При этом происходит только изменение облика полезного ископаемого, а концентрация остается прежней.

Температура кристаллизации мусковита-фенгита нами оценена с использованием фазовой диаграммы «мусковит-парагонит» Эйтстера и Йодера [3]. Содержание парагонитовой составляющей в мусковитах, сосуществующих с парагонитом, составляет 5–12 мол. %, чему соответствует температурный интервал кристаллизации мусковита-фенгита в 320–420⁰, т.е. типичные температуры зеленосланцевой фации метаморфизма. Состав мусковита (фенгита) типичен для этих условий образования и характеризуется избытком Si и недостатком Al, повышенным содержанием Mg, Fe, что отличает его от мелкочешуйчатого мусковита в сланцах, метаморфизованных в условиях других фаций (табл. 3). Повышенное содержание фемических компонентов может ограничивать область его применения. Специфической особенностью слюдистых сланцев является присутствие в составе светлых слюд наряду с мусковитом парагонита.

Таким образом, мусковит и парагонит образовались в результате метаморфизма терригенных и меньше вулканогенно-осадочных пород в условиях фации зеленых

сланцев. На разных ступенях процесса метаморфизма при повышении его температуры они изменялись в результате перекристаллизации от серицитов, до средне-, крупночешуйчатых образований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Великославинский, Д.А. Сравнительная характеристика регионального метаморфизма умеренных и низких давлений / Д.А. Великославинский. — Л.: Наука, 1972. — 192 с.
2. Винклер, Г. Генезис метаморфических пород / Г. Винклер. — М.: Недра, 1979. — 327 с.
3. Дир, У.А. Породообразующие минералы. Т. 3. Листовые силикаты / У.А. Дир, Р.А. Хауи, Дж. М. Зусман. — М.: Мир, 1966. — 320 с.
4. Добрецов, Н.Л. Фации регионального метаморфизма умеренных давлений / Н.Л. Добрецов, В.С. Соболев, В.В. Хлестов. — М.: Недра, 1972. — 288 с.
5. Добродородный, В.Н. К стратиграфии протерозоя Бечасынской зоны: Сб. докладов «Проблемы геологии докембрия юга России» / В.Н. Добродородный. — Новочеркасск, 2003. — С. 47–68.
6. Кориковский, С.П. Фации и субфации регионального метаморфизма в бедных СаО породах / Термодинамический режим метаморфизма / С.П. Кориковский. — Л.: Наука, 1976. — С. 127–138.
7. Щипцов, В.В. Мусковитовые кварциты Карелии — новый тип слюдяного сырья / В.В. Щипцов, Л.С. Скамницкая, Т.П. Бубнова и др. // Геология и полезные ископаемые Карелии. — Вып. 6. — Петрозаводск, 2003. — С. 67–77.

© Коллектив авторов, 2016

Сапожникова Лариса Николаевна // sapojnikova@vims-geo.ru
Быстров Иван Георгиевич // bysivg@gmail.com
Иоспа Анастасия Владимировна // vims-rentgen@mail.ru
Добродородный Владимир Николаевич // sevkavgeo@yandex.ru
Доля Алексей Николаевич // sevkavgeo@yandex.ru
Омельченко Владислав Леонидович // vlomelchenko.geo@gmail.com

УДК 549.283:553.04

Ожогин Д.О. (ООО «ГРК»)

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПИРИТА ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНЫХ РУД СХОЛОЖСКОГО ТИПА

*Выявлены типоморфные особенности пирита золотосульфидных руд месторождений Сухой Лог и Маломыр (морфология выделений, реальный состав и физические свойства), которые могут быть использованы при поисках и оценке руд, локализованных в углеродисто-терригенных отложениях. **Ключевые слова:** золотосульфидные руды, рудная стадия, пирит, генерация, типоморфные особенности, микро-нанопарагенезис, микротвердость, проводимость.*

Ozhogin D.O. (GRK)

TYPOMORPHIC FEATURES OF PYRITE GOLD-SULFIDE ORE SUKHOLOZHNSKY TYPE

*There were revealed typomorphic features of pyrite gold-sulfide ore deposit Sukhoi Log and Malomyr (morphology selections, the real composition and physical properties), which can be used in the search for and evaluation of ore trapped in carbon-clastic sediments. **Keywords:** gold-sulfide ore, ore stage, pyrite, generation, typomorphic especially, micro-nano pairagenesis, microhardness, conductivity.*

Месторождения золота, локализованные в углеродисто-терригенных отложениях, в мировой практике считаются наиболее перспективными, с ними связано 12%