

Т.В. Федоров, И.И. Чайковский
Горный институт УрО РАН, Пермь

НОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ОСАЖДЕНИЯ МЕДИ В ШЕШМИНСКИХ ПЕСЧАНИКАХ ЮЖНО-ПЕРМСКОГО МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНА

Рассмотрены новые механизмы осаждения и переотложения меди в меденосных песчаниках Пермского края. Показано, что в песчаниках, вскрытых у п. Юг, медь сорбировалась чешуйками кластогенных слюд и хлоритов за счет осмоса, а осаждалась в виде малахита за счет изменения pH при гидролизном разложении алюмосиликатов. Для проявления вблизи пос. Новые Ляды зафиксировано формирование меденосной коры выветривания за счет растворения рассеянного малахита органическими кислотами и отложения на карбонатном барьере.

Ключевые слова: медистые песчаники, механизм осаждения, Южно-Пермский минерагенический район.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2026.183

В настоящее время предполагается, что источником меди в медистых песчаниках Предуралья являются красноцветные толщи, из которых она мобилизуется элизионными водами (Лурье, 1988; Тюрин, 2018). Логично предположить, что наряду с терригенным материалом, медь привносилась из размываемых колчеданных месторождений и поверхностными водами (Мязина, 2025). Отсутствие ореола измененных пород и жильных зон позволяет рассматривать поступление меди с гидротермами вдоль разломных зон в пермское (Люткевич, 1958,) или альпийское время (Данилова, 2024) в качестве маловероятного.

Известно несколько механизмов формирования медной минерализации в медистых песчаниках Предуралья. Самым общепринятым считается осаждение на восстановительном барьере за счет разложения растительных (реже животных) остатков (Рычков, 1759; Лепехин, 1795; Паллас, 1809; Хасанов и др. 2009; Хамадиев, Хасанов, 2015), Реакцию образования сульфидов меди на углистых остатках приводят Р.Р. Хасанов с соавторами (2015). Отложение на растительных остатках и обломках черных кремней зафиксировано и для самородной меди (Чайковский и др., 2018). Некоторыми исследователями предполагается образование сульфидов меди из элизионных вод, контактирующих с восходящими потоками подсолевых углеводородных газов (Тюрин, 2019).

Допускается, что осаждение меди из сульфатных растворов могло происходить и на карбонатном барьере (Смирнов, 1936; Перельман, 1989). Возможность его реализации подтверждается наличием малахитовых кайм на обломках известняка и онколитах в медистых песчаниках (Чайковский, Кондратенко, 2005). Эта же реакция могла проявиться и при окислении сульфидов в самих медистых песчаниках, что подтверждается наличием вокруг них ореола малахита и азурита.

Еще два механизма осаждения предполагается на основе находок псевдоморфоз хризоколлы и самородной меди по вулканокластическому материалу (Чайковский, Кондратенко, 2005; Чайковский и др., 2018). В первом случае сложенная гидрослюдой измененная вулканокластика замещается медьсодержащими коллоидами, во втором – медь могла отлагаться при гидролизе стекла с выделением водорода.

Изучение двух медепроявлений (п. Юг и п. Новые Ляды) расположенных в пределах Южно-Пермского минерагенического района позволило выявить еще два механизма отложения меди.

Проявление в пос. Юг. В ходе изучения обнажения, представленного скальным выступом с устьями заброшенных штолен, расположенных у пос. Юг было зафиксировано, несколько типов медной минерализации. Это участки с малахитовым и азуритовым цементами в песчаниках, прожилки и гнезда в аргиллитах, малахитовые фитоморфозы, оторочки вокруг углефицированного детрита, а также многочисленные чешуйки слоистых силикатов, в которых малахит развивается полойно и даже может полностью их замещать (рис. 1).

Исследование химического состава слоистых силикатов показало, что они представлены частично выветрелыми слюдами и хлоритами, состав которых не стехиометричный. На типизационных диаграммах видно, что исследуемые филосиликаты относятся к магнезиальным разновидностям: клинохлору и флогопиту (рис. 3). Соотношение алюминия, железа и магния в хлоритах позволяет связывать их основными и, в меньшей мере, с ультраосновными породами (рис. 4).

Наблюдаемые взаимоотношения допускают как минимум два механизма осаждения. Можно предполагать, что магний, входящий в состав слоистых силикатов, замещается медью, по аналогии с известной реакцией замещения двухвалентного железа, на пример в колчеданных месторождениях. Однако такое замещение должно было сопровождаться образованием медистых слюд и хлоритов, чего не наблюдается. Зафиксированные взаимоотношения кластогенных зерен филосиликатов и новообразованного малахита, образующих ряд: расщепленные агрегаты вдоль плоскостей спайности → чередующиеся слои → полные

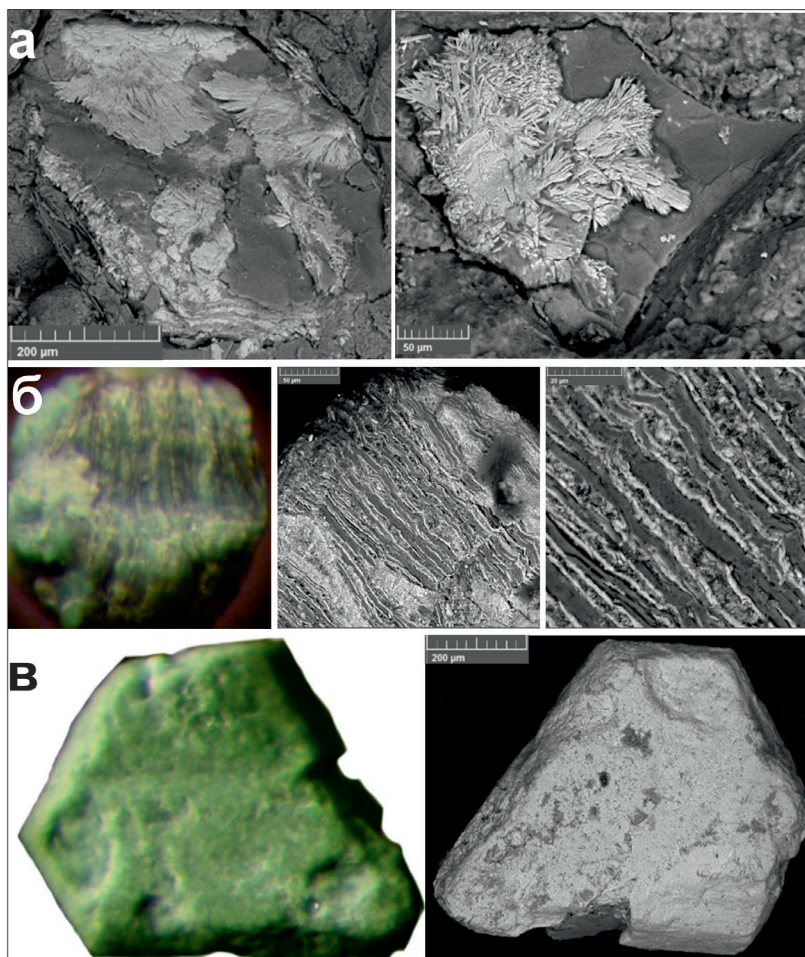


Рис. 1. Взаимоотношение зерен кластогенного хлорита и новообразованного малахита: а – расщепленные агрегаты вдоль плоскостей спайности; б – их переслаивание; в – полные псевдоморфозы

псевдоморфозы, позволяют предполагать проникновение медистых растворов между слоями не за счет ионно-обменных реакций, а за счет осмотических сил, проявляющихся в начавшихся выветриваться минералах. Именно они приводят сначала к механическому расклиниванию вдоль плоских сеток, а затем и выщелачиванию магния, алюминия и кремния.

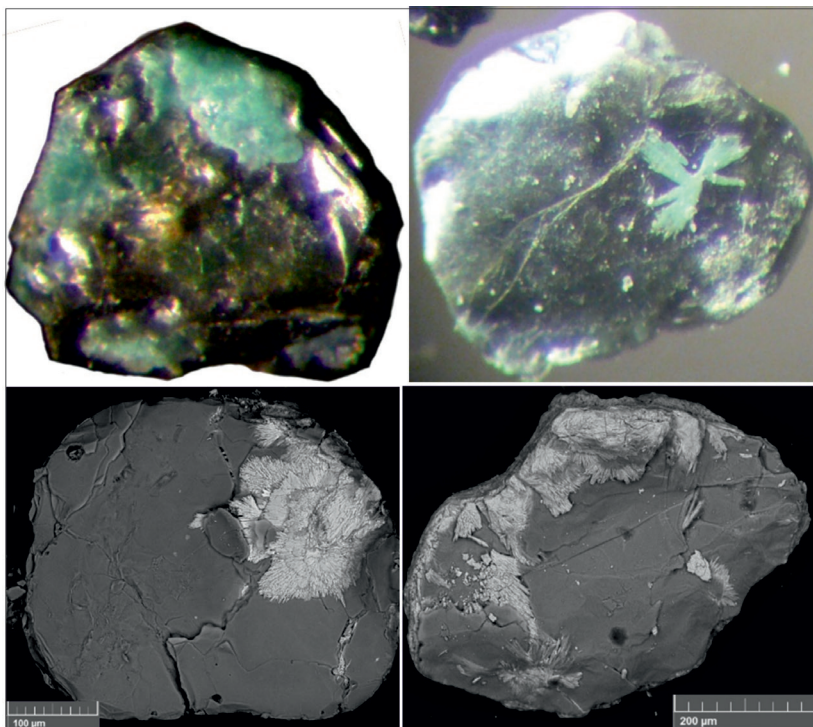


Рис. 2. Расщепленные агрегаты игольчатого малахита вдоль плоскостей спайности флогопита

Таким образом, слоистые силикаты, в силу особенностей своей структуры выступают вначале в качестве осмотического насоса. Последующее гидролизное разложение алюмосиликатов приводит к подщелачиванию растворов и кристаллизации малахита. Следовательно, слюды и хлориты можно рассматривать как физико-химический барьер для меденосных растворов.

Проявление в районе п. Новые Ляды. В карьере «Протон», который находится в 2 км от п. Новые Ляды вскрыт разрез, сложенный в основании неизменными песчаниками с кальцитовым поровым цементом и рассеянной (менее 1 об.%) вкрапленностью малахита (рис. 5). Выше расположены песчаники с полностью выщелоченным карбонатом. На границе этих зон развит горизонт, в которых весь карбонатный цемент (10-15 об.%) представлен малахитом, а над ним – пористый горизонт, обогащенный охристыми гидроксидами железа. Граница между этими зонами постепенная.

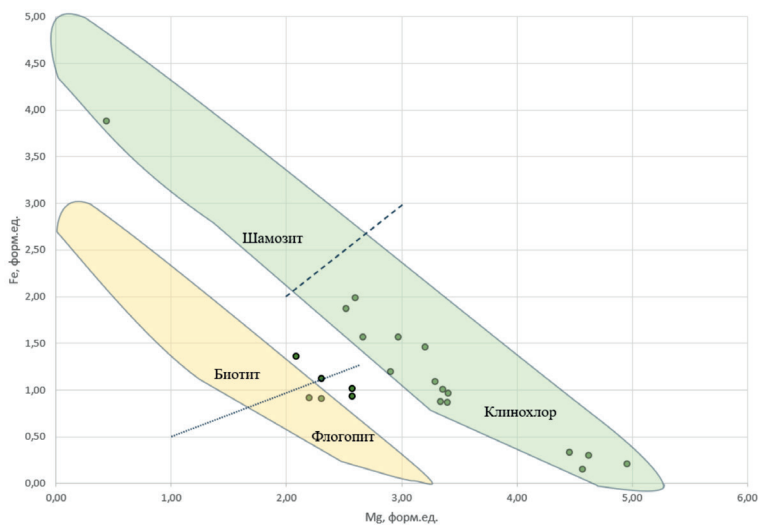


Рис. 3. Соотношения Mg и Fe в слюде и хлорите Юговского рудника (нормировано на 10 форм. ед.) (поля слюд и хлоритов по Диру и др., 1966)

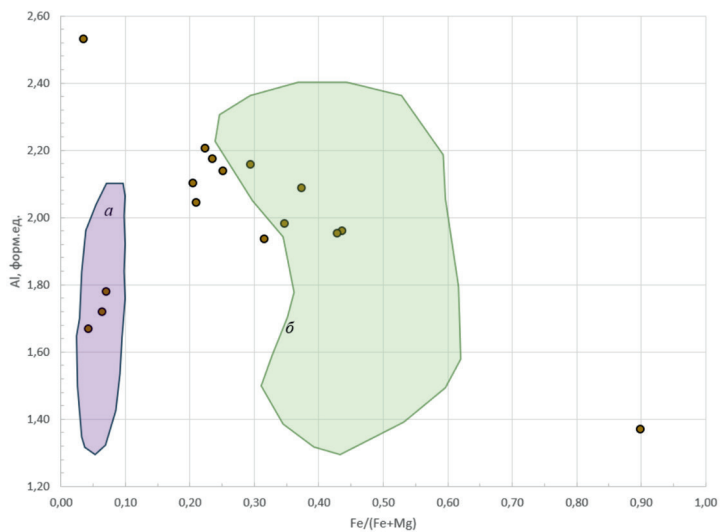


Рис. 4. Соотношение Al и $Fe/(Fe+Mg)$ в исследованных хлоритах Юговского рудника. Поля составов хлоритов из серпентинитов (а) и магматических пород основного состава (б) (поля выделены по Дриц, Коссовская, 1991)



Рис. 5. Строение меденосной коры выветривания: а – неизменный песчаник с кальцитовым поровым цементом и рассеянной вкрапленностью малахита; б – песчаник с малахитовым цементом; в – песчаник с охристыми гидроксидами железа в выщелоченных порах; г – песчаник с выщелоченным кальцитовым цементом

Взаимоотношение минеральных зон свидетельствует о формировании зональной меденосной коры выветривания. В процессе инфильтрации поверхностных вод происходило выщелачивание кальцитового цемента и рассеянной вкрапленности малахита. Растворение кальцита говорит о кислом составе растворов, вероятно, за счет органических (фульвиновых и гуминовых) кислот. Растворенная медь осаждалась ниже по разрезу, на карбонатном барьере за счет замещения кальцита малахитом, формируя зону вторичного обогащения. Наличие над ней зоны ожелезнения позволяет предполагать, что железо не высвобождалось из кальцита или железосодержащих силикатов, а приносилось в виде растворимых комплексов (хелатов) Fe^{3+} с органическими веществами, образующимися при разложении растительности.

Таким образом, на данном проявлении проявилось переотложение меди органическими кислотами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР 124020500052-9).

Библиографический список

- Данилова Е. А. «Медистые песчаники» Свердловской кольцевой мегаструктуры // Региональная геология и металлогения. – 2024. – № 98. – С. 32–40.
 Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, том. 3 // Издательство «Мир», Москва - 1976 – С. 319
 Дриц В.А., Коссовская А.Г., Глинистые минералы: слюды, хлориты // Москва «Наука» - 1991 – С. 176

- Лепехин И.И. Дневные записки путешествия доктора и Академии наук адъюнкта Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства, 1768 и 1769 году. СПб.: Императорская Академия Наук, 1795 - Ч. 1. - 537 с.
- Лурье А.М. Генезис медистых песчаников и сланцев. М.: Наука, 1988. 182 с.
- Люткевич Е.М. Еще раз о генезисе медистых песчаников Приуралья // Геология и геохимия. Ленинград, Гостоптехиздат, 1958 сб. 2 (VIII)
- Мязина Н.Г. К генезису каргалинских медистых песчаников. Вестник Пермского университета. Геология. 2025. Т. 24. № 2. С. 159-168.
- Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российской Империи. СПб.: Императорская Академия Наук, 1809. Ч. 1. - 116 с.
- Перельман А.И. Геохимия // Москва, Высшая школа – 1989 – С. 528: илл.
- Рычков П. И. История Оренбургская по учреждению Оренбургской губернии. СПб., 1759
- Тюрин А.М. Месторождение Сайгажье: геологическая позиция, генезис, прогноз // Недр Поволжья и Прикаспия. 2019, Вып. 97 С. 48-57
- Хасанов Р.Р., Гайнов Р.Р., Варламова Е.С., Исламов А.Ф. Механизмы замещения сульфидами меди растительных остатков в пермских отложениях Вятско-Казанской меденосной полосы // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2009. – Т. 151, кн. 4. – С. 162–169.
- Чайковский И.И., Кондратенко Е.В. К минералогии медистых песчаников Прикамья // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Сб. науч. статей. Перм. ун-т. – Пермь, 2005. Вып. 7. С. 148-166.
- Чайковский И.И., Мулыгин М.Ю., Коротченкова О.В., Чиркова Е.П., Трапезников Д.Е. Минералогия медистых песчаников юга Соликамской впадины // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского – 2018 - №21 – С. 85-98

NEW MECHANISMS OF COPPER PRECIPITATION IN SANDSTONES OF THE SHESHMA SUITE OF THE SOUTH PERMIAN MINERAGENIC REGION

T.V. Fedorov, I.I. Chaikovskiy

Mining Institute UB RAS, Perm

Fe.Taras@yandex.ru

New mechanisms of copper precipitation and redeposition in copper-bearing sandstones of the Perm Region are examined. It is shown that in sandstones exposed near the village of Yug, copper was sorbed by flakes of clastogenic micas and chlorites through osmosis and precipitated as malachite due to pH changes during the hydrolytic decomposition of aluminosilicates. For the occurrence near the village of Novye Lyady, the formation of a copper-bearing weathering crust was recorded due to the dissolution of dispersed malachite by organic acids and deposition on a carbonate barrier.

Keywords: copper-bearing sandstones, sedimentation mechanism, South Perm mineragenic region.