

7. Рампилова М. В., Рампилов М. О., Избродин И. А. Особенности вещественного состава и возраст щелочных гранитов ингурского массива, Западное Забайкалье // Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. – №. 4. – С. 1.
8. Цыганков А. А. и др. Последовательность магматических событий на позднепалеозойском этапе магматизма Забайкалья (результаты U-Pb изотопного датирования) // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – №. 9. – С. 1249-1276.

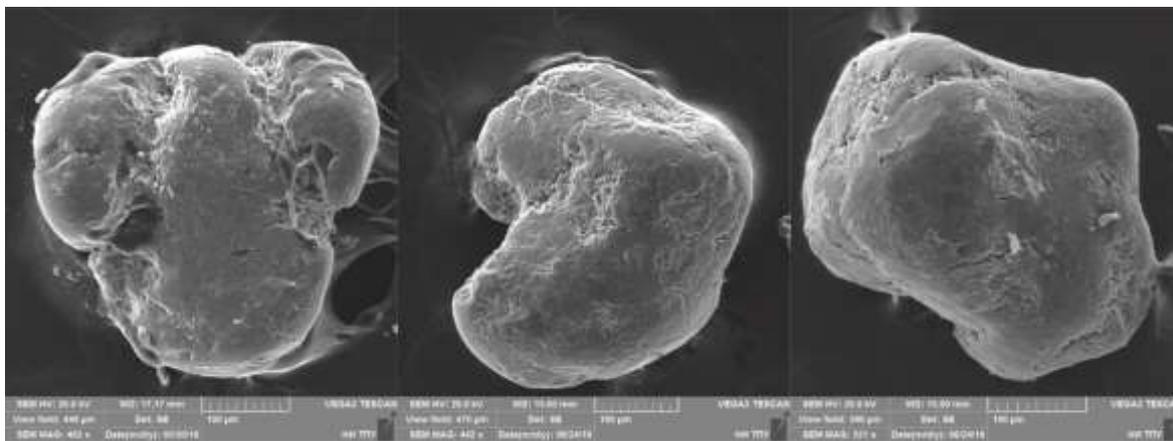
## ГЛАУКОНИТ: ОБЗОР УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ, ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Рудмин М.А.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Глауконит долгое время исследуется как минерал с редким набором палеогеографической информации и сырьём для различных отраслей промышленности. К примеру почвы, развивающиеся на глауконитовых отложениях, известны своей высокой плодородностью [1]. Глауконит это диоктаэдрический слоистый минерал (2:1 слои) из группы слюды с дефицитом межслоя, который отличается повышенной долей калия и железа, а также распространенной глобулярной (гранулярной) формой зёрен (рис.) [1–3]. Он часто встречается в прибрежно-морских отложениях [4], где образуется как правило при диагенезе [5–8] или при наложенных процессах метановых просачиваний [9], реже развивается в гидротермальных образованиях [10, 11]. Предполагается, что глауконит кристаллизуется по трём основным моделям: слоистой решётки [12], «озеленения» [3, 13–15] и псевдоморфного замещения [16, 17]. Согласно предложениям Г.Одина глауконит по химическому составу и степени упорядоченности своей структуры подразделяется на четыре основные разновидности [3]: зарождающийся («nascent»), слабо зрелый («slightly evolved»), зрелый («evolved») и высоко зрелый («highly evolved»). Пользуясь широким распространением среди осадочных пород, глауконит России изучается уже на протяжении более 60 лет. Первыми отечественными исследователями, которые заложили фундаментальные основы классификации, номенклатуры, кристаллической структуры глауконитовых и закономерностей разнообразия глауконитовых минералов являются В.А. Дриц [2] и И.В. Николаева [18,19].

За счет повышенного содержания калия ( $K_2O$  до 8–9%), ионно-обменных свойств, сорбционной способности и наличию смектитовых слоёв в зависимости от степени упорядоченности минерала [3] он может служить нетрадиционным сырьём для производства удобрений [20, 21]. Крупные месторождения известны в Бразилии, России, США, Австралии, Дании, Египте, Новой Зеландии, Украине, Индии и т. д. Сегодня активно разрабатываются глауконит-содержащие породы так называемые «verdete rocks» в Бразилии компанией VERDE Agritech [22]. Накопленный на сегодня опыт прикладных исследований глауконита, позволяют рассматривать этот минерал в качестве перспективного сырья для создания удобрений с различными вариантами применения.



*Рис. Снимки сканирующей электронной микроскопии глобулярной морфологии глауконита*

Породы с высокой долей глауконита являются самостоятельным видом минеральных удобрений [20, 23]. В случае применения простейших технологий обогащений для подобных пород возможно получение минерального концентрата с повышенной эффективностью для агрохозяйства [21], в том числе с пролонгированным эффектом. На основе полевых опытов было установлено, что в почвенных условиях при добавлении глауконита в течение вегетации пшеницы он претерпевает морфологические и структурно-химические изменения. К примеру, в ходе двух сезонов по выращиванию пшеницы и овса в почвах закономерно увеличивается концентрация обменных форм нутриентов (K, P, аммония, Ca, Mg) и pH. Полученные результаты [24] позволяют считать глауконит калийным минеральным удобрением пролонгированного действия.

Глауконитовые породы могут выступать минеральным сырьём для получения традиционных удобрений в виде калийных солей [25, 26] при помощи физико-химических технологий. Восстановление калия увеличивается до 65.2 % после обжига образцов при 900 °C и выщелачивания при температуре 150 °C по сравнению с выщелачиванием калия без предварительного обжига [25]. Однако, при температуре выщелачивания 100 °C выход

калия составляет около 62 % и эту температуру следует считать оптимальной, так как дальнейшее увеличение температуры способствует улетучиванию паров соляной кислоты. При этом было установлено, что восстановление калия из структуры глауконита заметно увеличивается по мере увеличения концентрации кислот и температуры выщелачивания. Извлечение калия также возрастает с продолжительностью выщелачивания и незначительно с увеличением количества стадий и заметно увеличивается за счет изменения соотношения растворенного вещества и растворителя от 1:2 до 1:5. Результирующими продуктами, извлекаемыми в процессе обжига-выщелачивания, являются соли соответствующих кислот с незначительным количеством примесей Si и Al. Оптимальный выход калия 62–63 % достигается одностадийным выщелачиванием при 100°C в течение 120 минут в соотношении 1:5 с предварительным обжигом при 900 °С.

Глауконит является полезным компонентом для создания так называемых «умных» удобрений (smart fertiliser) или удобрений с контролируемым действием [27, 28]. К примеру, механическая и механохимическая активация смесей глауконит-мочевина позволила выявить систематическое изменение внутренней структуры минерала, интеркаляцию азотных соединений, формирование азот-содержащего покрытия за счёт абсорбции [27]. Подобные глауконитовые наноконпозиты представляют собой минеральные вещества с тремя основными типами взаимодействия между азотными веществами (как правило аммоний и нитраты) и глауконитом – интеркалированный, абсорбированный и адсорбированный. За счёт этого выделение азота из активированных композитов происходит с различной скоростью и медленнее относительно традиционных азотных удобрений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-77-10002).*

#### Литература

1. Science Reviews. 1972. Vol. 8, № 4. P. 397-440.
2. Drits V.A. Isomorphous Cation Distribution in Celadonites, Glauconites and Fe-illites Determined by Infrared, Mössbauer and EXAFS Spectroscopies // Clay Minerals. 1997. Vol. 32, № 2. P. 153-179.
3. Odin G.S., Matter A. De glauconiarum origine // Sedimentology. 1981. Vol. 28. P. 611-641.
4. Белоусов П. Е. и др. Месторождения глауконитов России: геологическая позиция, условия образования и перспективы освоения // Литология и полезные ископаемые. – 2022. – № 3. – С. 270.
5. Banerjee S. A review on palaeogeographic implications and temporal variation in glaucony composition / Banerjee S., Bansal U., Vilas Thorat A. // Journal of Palaeogeography. 2016. Vol. 5, № 1. P. 43-71.
6. Amorosi A. Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research // Sedimentary Geology. 1997. Vol. 109, № 1–2. P. 135-153.
7. Baldermann A. The role of Fe on the formation and diagenesis of interstratified glauconite-smectite and illite-smectite: A case study of Lower Cretaceous shallow-water carbonates / Baldermann A., Dietzel M., Mavromatis V. et al. // Chemical Geology. Elsevier, 2017. Vol. 453. P. 21-34.
8. Tribouillard N. Syndepositional glauconite as a paleoenvironmental proxy - the lower Cenomanian Chalk of Cap Blanc Nez (N-France) / Tribouillard N., Bout-Roumazielles V., Delattre M. et al. // Chemical Geology. Elsevier, 2021. Vol. 584. P. 120508.
9. Zhang Q. Novel use of unique minerals to reveal an intensified methane seep during the last glacial period in the South China Sea / Wu D., Jin G. et al. // Marine Geology. Elsevier, 2022. Vol. 452. P. 106901.
10. Reolid M., Abad I. Glauconitic laminated crusts from hydrothermal alteration of Jurassic pillow-lavas (Betic Cordillera, S Spain): A microbial influence case // Journal of Iberian Geology. 2014. Vol. 40, № 3. P. 389-408.
11. Nieto F. Textural and genetic relationships between glauconite and celadonite at the nanoscale: Two different structural-compositional fields / Nieto F., Abad I., Bauluz B., Reolid M. // European Journal of Mineralogy. Copernicus GmbH, 2021. Vol. 33, № 4. P. 503-517.
12. Burst J.F. Mineral heterogeneity in "glauconite" pellets // American Mineralogist. 1958. Vol. 43, № 5–6. P. 481-497.
13. Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A. Compositional variation of glauconites in Upper Cretaceous-Paleogene sedimentary iron-ore deposits in South-eastern Western Siberia // Sedimentary Geology. 2017. Vol. 355. P. 20-30.
14. Banerjee S. Substrate control on formation and maturation of glauconites in the Middle Eocene Harudi Formation, western Kutch, India / Banerjee S., Chatteraj S.I., Saraswati P.K. et al. // Marine and Petroleum Geology. 2012. Vol. 30, № 1. P. 144-160.
15. Bansal U. The distinctive compositional evolution of glauconite in the Cretaceous Ukra Hill Member (Kutch basin, India) and its implications / Banerjee S., Pande K. et al // Marine and Petroleum Geology. 2017. Vol. 82. P. 97-117.
16. Dasgupta S., Chaudhuri A.K., Fukuoka M. Compositional characteristics of glauconitic alterations of K-feldspar from India and their implications // Journal of Sedimentary Research. GeoScienceWorld, 1990. Vol. 60, № 2. P. 277-281.
17. Banerjee S. Compositional variability of glauconites within the Upper Cretaceous Karai Shale Formation, Cauvery Basin, India: Implications for evaluation of stratigraphic condensation/ Banerjee S., Bansal U., Pande K. et al. // Sedimentary Geology. Elsevier, 2016. Vol. 331. P. 12-29.
18. Николаева И.В. Минералогия и геохимия глауконита. Новосибирск: СО РАН СССР, 1981. 121 p.
19. Николаева И.В. Минералы группы глауконита в осадочных формациях. Новосибирск: Наука, 1977. 323 p.
20. Rudmin M. An investigation of plant growth by the addition of glauconitic fertilizer / Rudmin M., Banerjee S., Makarov B. et al. // Applied Clay Science. Elsevier, 2019. Vol. 180. P. 1-8.
21. Rudmin M. Economic potential of glauconitic rocks in Bakchar deposit (S-E Western Siberia) for alternate potash fertilizer / Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A. et al. // Applied Clay Science. 2017. Vol. 150. P. 225-233.
22. Veloso C. Verde Agritech announces \$1.358 Million revenue in 2018. Belo Horizonte, 2019. 3 p.
23. Franzosi C., Castro L.N., Celeda A.M. Technical Evaluation of Glauconies as Alternative Potassium Fertilizer from the Salamanca Formation, Patagonia, Southwest Argentina // Natural Resources Research. Kluwer Academic Publishers, 2014. Vol. 23, № 3. P. 311-320.
24. Rudmin M., Banerjee S., Makarov B. Evaluation of the Effects of the Application of Glauconitic Fertilizer on Oat Development: A Two-Year Field-Based Investigation // Agronomy. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020. Vol. 10, № 6. P. 872.
25. Rudmin M. et al. Roasting-leaching experiments on glauconitic rocks of Bakchar ironstone deposit (Western Siberia) for evaluation their fertilizer potential // Applied Clay Science. – 2018. – Т. 162. – С. 121-128.

26. Shekhar S. Physical and chemical characterization and recovery of potash fertilizer from glauconitic clay for agricultural application / Shekhar S., Mishra D., Agrawal. A.m Sahu K.K. // *Applied Clay Science*. 2017. Vol. 143. P. 50-56.
27. Rudmin M. Formulation of a slow-release fertilizer by mechanical activation of smectite/glaucanite and urea mixtures / Rudmin M.A., Benerjee S., Yakich T. et al. // *Applied Clay Science*. Elsevier, 2020. Vol. 196. P. 105775.
28. Rudmin M. Glauconite-Urea Nanocomposites As Polyfunctional Controlled-Release Fertilizers / Rudmin M.A., Benerjee S., Makarov B.I. et al. // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. Springer, 2022. Vol. 22, № 4. P. 4035-4046.

## ЗОНАЛЬНОСТЬ РУДНОЙ ЗАЛЕЖИ ОЗЕРНОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Бадмажапов Б.Б.**

Научный руководитель заместитель директора Дамдинов Б.Б.  
*Геологический институт им. Н.Л. Дobreцова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия*

Аннотация. В работе рассмотрено Озерное свинцово-цинковое месторождение для выявления особенностей минерального состава и минералого-геохимической зональности рудной залежи исследовался разрез скважины OZGM-007 Озерного месторождения. Среди главных рудных минералов преобладают пирит, сфалерит, галенит, в подчиненном количестве присутствуют халькопирит, арсенопирит, пирротин и гематит. Получены данные о составе минералов со сканирующего микроскопа с 134,3 метров по 171,7 которые помогут выявлению особенностей химического состава минералов и возможной скрытой зональности оруденения.

Ключевые слова: Озерное месторождение, пирит, Еравнинский рудный район, внутреннее строение, рудная залежь.

Озерное свинцово-цинковое месторождение находится в Еравнинском районе. Месторождение расположено в пределах Озернинского рудного узла Еравнинского рудного района [1].

В тектоническом плане Еравнинский рудный район рассматривается в составе Удино-Витимской зоны палеозой Байкало-Витимской складчатой системы [2, 3] и характеризуется циклическим развитием, объединяя вещественные комплексы каледонского (С-S1), раннегерцинского (S2-C2) и позднегерцинского (PZ3) структурных этажей, становление которых происходило в определенных геодинамических обстановках. Все породы разреза Озернинского рудного узла в разной мере насыщены сульфидами, главным образом пиритом. Сульфидные рудные тела приурочены к нескольким стратиграфическим уровням разреза рудовмещающей толщи и представляют собой серию расположенных друг над другом пластовых и пластообразных залежей, разделенных безрудными слоями осадочных и вулканокластических пород мощностью от 5 до 30 м.

Пробы отобраны в 2022 г. из керна скважины OZGM-007 на Озерном колчеданно-полиметаллическом месторождении. Образцы представлены брекчиевыми и массивными рудами с различной степенью метасоматического преобразования. Химические составы минералов были определены с использованием сканирующего электронного микроскопа Leo-1430 с приставкой для количественного анализа Inca-Energy. Пробы были проанализированы методом РФА (аналитики – Жалсаарев Б.Ж., Бартанова С.В.). Аналитические исследования выполнены в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ).

Для выяснения особенностей состава и минералого-геохимической зональности рудной залежи исследовался разрез скважины OZGM-007 Озерного месторождения. Изучение объекта проводилось в интервале 83 м, на горизонтах от + 96,6 м до + 180 м и не охватывает всю скважину. Предлагаемые данные необходима дальнейшая доработка в последующем изучении. Для этого исследовался рудный слой на предмет изменений руды с целью уточнения состава руд и изменения состава цинка, железистости сфалерита, мышьяковистости арсенопирита, по данным анализа видно, что показания галенита пирита и арсенопирита остаются в пределах нормы, но сфалерит имеет незначительные колебания, где при увеличении железа уменьшается доля цинка и также наоборот.

Разрез скважины сложен переслаиванием туфитов, туфопесчаников, диабазовых порфиринов, КПМ руды и известковой брекчии, с горизонтами полосчатых и брекчиевых руд. Мощность рудных прослоев достигает до 40 м.

Среди главных рудных минералов преобладают пирит, сфалерит, галенит, в подчиненном количестве присутствуют халькопирит, арсенопирит, пирротин и гематит.

Пирит наблюдается в трех генерациях. Пирит 1 – наблюдается во всех аншлифах и составляет основную их массу, в основном образует тонкое и весьма тонкие мелкозернистые агрегаты. Преобладает пирит с размером зерен 0.05 мм. зерна и агрегаты пирита включают в себя нерудные минералы, часто выступают зоны с сфалеритовым агрегатом, занимающим доминирующее положение в которых редко встречаются кристаллы арсенопирита. Зерна пирита нередко срastaются, образуя гипидиоморфнозернистый или аллотриоморфнозернистый агрегат.

Пирит 2 представляет собой относительно крупные идиоморфные кубические кристаллы размером в среднем 100 мкм, образующие крупнозернистые (перекристаллизованные?) агрегаты среди тонкозернистого пирита 1. В пирит 2 часто ассоциирует со сфалеритом, зерна которого слегка трещиноваты.

Пирит 3 встречается преимущественно в секущих или полосчатых кварц-сульфидных прожилках в виде крупных идиоморфных кристаллов размером от 40–250 мм, большинство которых расположены ассоциирует с агрегатами галенит-сфалеритового состава.

Сфалерит встречается в виде цемента для пирита 1 в мелко-тонкозернистых полосчатых рудах, в виде прожилковидных выделений с неровной и шероховатой поверхностью, которые интенсивно замещают кристаллы арсенопирита. Также крупные агрегаты сфалерита присутствуют в кварц-сульфидных прожилках, в ассоциации с пиритом 3. На всей площади крупных выделений сфалерита прослеживается эмульсионная вкрапленность халькопирита. Кроме того, сфалерит, как и другие рудные минералы, диагностируется в виде включений в пирите.