

## Глауконитовые породы Бакcharского железорудного месторождения (Западная Сибирь): перспективы использования и экономический потенциал

© *М. А. Рудмин*<sup>1</sup>, *А. К. Мазуров*<sup>1</sup>, *И. В. Рева*<sup>1</sup>, *Б. И. Макаров*<sup>2</sup>, *А. С. Рубан*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия.

E-mail: rudminma@tpu.ru

<sup>2</sup> Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа, г. Томск, Россия

В настоящей работе исследуется практический потенциал глауконитовых пород Бакcharского месторождения (Западная Сибирь) в качестве нетрадиционных калийных удобрений. Содержание  $K_2O$  в глауконитовых породах варьируется от 2.5% до 4.1%, что указывает на их положительную характеристику как калийных удобрений для агрономических целей. Глауконитовые породы месторождения разделяются на три разновидности: глауконитолиты, глауконитовые песчаники и глауконит-шамозитовые ооидовые железняки, с концентрацией глауконита 58.5%, 25.7% и 24.6%, соответственно. Промежуточная фракция глауконитолита концентрирует до 90.4% глобулярного глауконита при «мокром» просеивании. Электромагнитная сепарация дополнительно увеличивает концентрацию глауконитовых зерен для каждой разновидности пород, особенно для глауконитового песчаника. Внесение глауконитовых продуктов в почву оказывает стимулирующий эффект на рост овса обыкновенного (*Avena sativa*). Как необработанный глауконитолит, так и его гранулометрическая фракция приводят к одинаковой скорости роста саженцев овса. Результаты исследований показывают, что глауконитовые породы Бакcharского месторождения можно использовать в качестве альтернативного калийного удобрения.

**Ключевые слова:** глауконитовые породы; альтернативные калийные удобрения; гранулометрическая фракция; мокрое-сухое просеивание; магнитная сепарация; Бакcharское месторождение; Западная Сибирь.

## Glauconite rocks of the Bakchar iron ore deposit (Western Siberia): prospects for application and economic potential

*M. A. Rudmin*<sup>1</sup>, *A. K. Mazurov*<sup>1</sup>, *I. V. Reva*<sup>1</sup>, *B. I. Makarov*<sup>2</sup>, *A. S. Ruban*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. E-mail: rudminma@tpu.ru

<sup>2</sup> Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk, Russia

This paper explores suitability of glauconitic rocks from Bakchar deposit (Western Siberia) as alternate potash fertilizer. The  $K_2O$  content of these glauconitic rocks varies from 2.5% to 4.1%, indicating their good potential as K-fertilizer for agronomic uses. Glauconitic rocks can be divided into three types, i.e., glauconitolite, glauconitic sandstone and glauconite-chamosite ooidal ironstone, with glauconite concentrations 58.5%, 25.7% and 24.6%, respectively. The intermediate size fraction of glauconitolite concentrates up to 90.4% of glauconite grains by using wet sieving. Magnetic separation further increases the concentration of glauconite grains for each type of rock samples, especially of glauconitic sandstone. Mixing of glauconitic products with soil stimulate the growth of oat (*Avena sativa*). Both untreated glauconitolite and its granulometric fraction result same rate of growth of oat seedlings. The results of this study suggest that the Bakchar glauconitic deposit can be used as a substitute potash fertilizer.

**Key words:** glauconitic rocks; alternate potash fertilizers; granulometric fraction; wet-dry sieving; magnetic separation; Bakchar deposit; Western Siberia.

В данной работе изучается уникальное по запасам железа Бакcharское месторождение в Томской области. По предварительным оценкам ресурсы месторождения составляют порядка 25 млрд. тонн железа, что справедливо позволяет отнести этот объект к ряду уникальных железорудных месторождений мира. Однако существует три главных препятствия перед его разработкой: (1) сложные горно-геологические условия залегания, а именно высокая обводненность осадочного разреза; (2) относительно низкое содержание железа ( $Fe_2O_{3(total)}$  35–52%) и высокое содержание вредной примеси фосфора ( $P_2O_5$  0.8–1.2%); (3) отсутствие рентабельной технологии обогащения руд.

В данной работе приводятся доказательства того, что Бакcharское месторождение богато не только железом, но и может служить новой сырьевой базой нерудного сырья в виде нетрадиционных калийных удобрений. Сегодня спрос на калийные удобрения покрывается добычей солей из морских эвапоритовых залежей, крупнейшие месторождения которых сосредоточены в Канаде (Саскачеванский соленосный бассейн), России (Верхнекамское месторождение), Беларуси (Старобинское месторождение), Германии (месторождения в районах Ронненбург-Ганса, Зарштедт-Лерте, Фульда и др.) и др. [1, 2]. Россия занимает лидирующие позиции по запасам калия, однако использование калийных удобрений сельхозпроизводителями остается на критически низком уровне, особенно в сибирских регионах. Территориальное развитие сырьевой базы калийных агроруд на основе нетрадици-

онных источников это один из путей повышения спроса на удобрения и снижения экологических рисков сельского хозяйства. Глауконит является одним из наиболее потенциальных источников калийных удобрений [3–6]. Минерал относится к диоктаэдрическим слюдам с дефицитом межслоя и характеризуется изменчивым химическим составом с повышенным содержанием  $K_2O$  (до 9%) [7–9] и типичной глобулярной формой.

В пределах Бакчарского месторождения глауконитовые породы залегают на глубинах 180–230 м среди славгородской и ганькинской свит верхнего мела, которые вмещают так называемый колпашевский железорудный горизонт и перекрываются бакчарским железорудным горизонтом. Глауконитовые породы по данным рентгенодифракционного анализа (РДА) и петрографических исследований состоят из глауконита, кварца, микроклина, гетита и шамозита. Высокое и умеренное содержание  $K_2O$  (от 4.0% до 7.3%) и умеренное  $Fe_2O_{3(total)}$  (от 20.4% до 32.8%) характеризуют наиболее зрелый глауконит (так называемый «неизменный» [10]). Содержание  $K_2O$  и  $Fe_2O_{3(total)}$  глауконита с меньшей степенью зрелости за счет вторичных изменений (ожелезнение) варьирует в пределах 2.6–5.5% и 31.1–49.8%, соответственно. В разрезе Бакчарского месторождения выделяется три основные разновидности глауконит-содержащих пород с концентрацией глауконитовых гранул выше 10%. *Глауконититы* (или *глауконитолиты*) характеризуются содержанием глауконита 58.4%.  $K_2O$  в этих породах составляет 4.1% (среднее) что является наивысшим показателем среди других разновидностей. В *глауконитовых песчаниках* доля глауконита составляет 25.7%, а также доля кварца и полевых шпатов — 37.8%. Концентрация  $K_2O$  в этих породах — 3.1%. *Глауконит-шамозитовые ооидовые железняки* характеризуются следующим составом: глауконит — 24.6%, шамозитовые ооиды — 22.8%, терригенные компоненты (кварц и полевые шпаты) — 21.6%. Среднее содержание  $K_2O$  в них находится на уровне 2.5%. Химический состав глауконитовых пород характеризуется концентрациями тяжелых металлов (Co, Ni, Zn, Mo, Cd, Pb, As) ниже предельно допустимых концентраций в почвах [11].

Для получения глауконитовых концентратов была исследована и разработана схема их обогащения на основе двух этапов: диспергирование и мокрое просеивание, электромагнитная сепарация гранулометрической фракции (-500+125) мкм. Мокрое просеивание глауконитолита позволяла концентрировать доля полезного компонента во фракции (-500+125) до 90%, а для глауконит-шамозитового железняка до 40%. Электромагнитная сепарация увеличивала долю глауконита в магнитных фракциях для каждой разновидности исходных проб (глауконитовых пород). Так содержание глауконита в магнитном продукте достигало 97% при экспериментах с глауконитолитом.

Глауконитовые породы имеют ряд преимуществ перед калийными солями [3, 4, 12]: (а) отсутствие в составе хлора позволяет избежать раннего засоления почв и загрязнения грунтовых вод; (б) концентрации некоторых макро- и микроэлементов (включая Fe, Mn, B, Cu, Zn, Se, Co, Mo, Cr, Vd, Y) являются дополнительными нутриентами для растений; (в) гранулированная форма зёрен улучшает текстуру, пористость и проницаемость почвы. Глауконитовые концентраты, получаемые из пород Бакчарского месторождения, содержат до 8%  $K_2O$ . На основе лабораторных агрохимических опытов были выявлены прямые свидетельства положительного влияния этих продуктов (как концентратов, так и исходных пород) при добавлении в почву на рост распространенной агрокультуры (овёс — *Аvéна satíva*). Высокий положительный эффект на энергию прорастания (96.6%) показывали глауконитолит и его гранулометрическая фракция (-500+125) при концентрации в эквиваленте 30 кг/га. При этом варианте опыта энергия прорастания увеличивалась на 5.2%, высота растений на 14.3% и зеленая масса на 66.9% относительно контрольных экспериментов (без внесения удобрений).

Общие ресурсы глауконита Бакчарского месторождения составляют более 800 млн.т. При таких ресурсах месторождения можно считать крупнейшей сырьевой базой для производства калийных минеральных удобрений на основе глауконита, а также материалов для создания других инновационных продуктов. Использование этих пород может способствовать обеспечению сельскохозяйственных потребителей экологически безопасным и эффективным калийным удобрением местного производства.

На основе представленных результатов можно сделать следующие выводы. (1) Богатые глауконитом породы месторождения подразделяются на три разновидности. (2) Мокрое просеивание глауконитовых пород позволяет концентрировать до 90% полезного компонента во фракции (-500+125). Последующая электромагнитная сепарация этой фракции дополнительно увеличивает долю глауконита в магнитных концентратах для каждой разновидности глауконитовых пород. (3) Аграрные эксперименты показывают глауконитовые породы (особенно глауконитолиты) и их концентраты оказывают явный стимулирующий эффект на рост овса обыкновенного (*Аvéна satíva*). (4) По предварительной оценке ресурсов в 800 млн.т. Бакчарское месторождение следует рассматривать как крупнейшее месторождение глауконита. (5) Минералого-химические характеристики глауконитовых про-

дуктов соответствуют современным требованиям для использования их в качестве минерального удобрения в сельском хозяйстве и в качестве природного сорбционного материала в решении экологических проблем.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области (грант 16-45-700090).*

#### *Литература*

1. Левченко Е. Н., Тигунов Л. П. Глауконит России: состояние, перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы. Москва: ВИМС, 2011. 65 с.
2. Rawashdeh R. Al, Xavier-Oliveira E., Maxwell P. The potash market and its future prospects // *Resources Policy*. 2016. Vol. 47. P. 154–163.
3. 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.
4. The potential of glauconitic sandstone as a potassium fertilizer for olive plants / E. Karimi [et al.] // *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2012. Vol. 58. № 9. P. 983–993.
5. Васильев А. А. Глауконит — эффективное природное минеральное удобрение картофеля // *Аграрный вестник Урала*. 2009. № 6. С. 35–37.
6. Physical and chemical characterization and recovery of potash fertilizer from glauconitic clay for agricultural application / S. Shekhar [et al.] // *Applied Clay Science*. 2017. Vol. 143. P. 50–56.
7. 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.
8. Odin G. S., Matter A. De glauconiarum origine // *Sedimentology*. 1981. Vol. 28. P. 611–641.
9. McRae S. G. Glauconite // *Earth-Science Reviews*. 1972. Vol. 8, № 4. P. 397–440.
10. 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.
11. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
12. Economic potential of glauconitic rocks in Bakchar deposit (S-E Western Siberia) for alternate potash fertilizer / M. Rudmin [et al.] // *Applied Clay Science*. 2017. Vol. 150. P. 225–233.

**Рудмин Максим Андреевич**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск.