

Стосовно рукопису статті

І. Гусарової, Г. Осінового, Л. Потапович

«Технологія видобування води на Місяці без зміни фази льоду»

Скажу відверто, що прохання академіка-секретаря Відділення наук про Землю О. М. Пономаренка надати відгук на рукопис статті стосовно видобутку води на Місяці застало мене зненацька. Але оскільки в цей час я готував для Геофізичного журналу відгук на рукопис статті В. В. Гордієнка, присвяченої формуванню земної кори та появі води на Землі, то я дав згоду ознайомитись і висловити свою думку.

Раніше до інформаційних повідомлень щодо наявності води на Місяці я відносився скептично, а про розробки технології її видобутку навіть не здогадувався. Тому наведене у рукопису аналітичне дослідження технологій для видобутку води на Місяці і продемонстровані авторські розробки енергоефективних методів я відправив на рецензію В. С. Білецькому, оскільки посилення на навчальний посібник і монографію авторських колективів за його участі наведено у переліку використаних джерел.

Мене, як геофізика, більш зацікавив виконаний авторами аналіз розподілу температури по глибині реголіту на полюсах Місяця, а також фізичні властивості крижаних реголітів як початкового матеріалу для розробки концепції інтегрованої системи відділення з них льоду. Стисло висловлю свої міркування з цього приводу.

В останні роки я все частіше потрапляв на наукові статті щодо доказів існування води на супутнику Землі. Припущення про те, що водяний лід може бути ув'язненим у місячних холодних полярних кратерах, понад півстоліття тому висунув Ватсон та ін. [Watson, K., Murray, B., & Brown, H. (1961). On the possible presence of ice

on the Moon. *Journal of Geophysical Research*, 66, 1598—1600]. Однак тільки з застосуванням низьки дистанційних методів були отримані результати щодо виявлення та кількісної оцінки потенційних скупчень, які не можна однозначно пов'язати з наявністю водяного льоду, але можна пояснити присутністю мінеральної речовини, яка містить гідроксил (ОН) тощо.

Прямі докази наявності водяного льоду на поверхні Місяця були отримані в останні роки із застосуванням двох технологій дистанційного зондування.

Перше підтвердження відбулося в 2008 році, коли дані індійського космічного корабля «Чандраяан-1» виявили ознаки подібних до води молекул на південному полюсі Місяця. Потім NASA запустило космічний корабель під назвою LCROSS, який впав на Місяць у 2009 році, піднявши матеріал і підтвердивши наявність води у певній формі. А в 2018 році дослідники, використовуючи самі ті дані, знайшли прямі докази водяного льоду на полюсах [Li, S., Lucey, P. G., Milliken, R. E., Hayne, P. O., Fisher, E., Williams, J.-P., et al. (2018). Direct evidence of surface exposed water ice in the lunar polar regions. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 115(36), 8907—8912].

Вдруге, завдяки Стратосферній обсерваторії інфрачервоної астрономії (SOFIA), вдалося зафіксувати специфічну унікальну хвилю для молекул води в одному з найбільших кратерів у Південній півкулі Місяця [Honniball C. I., Lucey P. G., Li S., Shenoy S., Orlando T. M., Hibbitts C. A., et al. (2020). Molecular water detected

on the sunlit Moon by SOFIA. *Nature Astron.*, **5**, 121–127]. До цього ознаки наявності води вдавалося виявити лише на неосвітлених частинах супутника Землі. Однак, попри важливість цих відкриттів, остаточного розуміння природи водних накопичень на Місяці досі немає.

Згідно з дослідженнями NASA, у кратерах на полюсах Місяця, куди практично не потрапляє сонячне світло і де температура досягає мінус 120 градусів за Цельсієм, може бути достатньо води у крижаному стані. Але навіть якщо вдасться підтвердити наявність значних обсягів льоду на Місяці, головною проблемою залишається видобуток з них води, яка не може існувати на поверхні Місяця в рідкому стані, бо вона моментально випарується. Слід мати на увазі, що кратери на південному полюсі Місяця небезпечно холодні за земними мірками, що практично унеможливує добування крижаного льоду за допомогою сучасних технологій. Тому більш привабливими видаються результати досліджень, опубліковані в журналі «Nature», стосовно виявлення як безпосередньо молекул води на ділянках Місяця освітлених Сонцем, так і припущення щодо наявності водяного льоду в їхніх кратерах.

Однак автори сконцентрували основну увагу на запозичених у роботі [Gläser P., Sanin A., Williams J.-P., Mitrofanov I., Oberst J. (2021). Temperatures near the lunar poles and their correlation with hydrogen predicted by LEND. *J. Geophys. Res.: Planets*, **126**, e2020JE006598] результатах дослідження місячних полярних регіонів на наявність у них водню у верхньому прошарку реголіту. Зазначені дослідники ідентифікували

кілька аномальних постійно затінених областей, які збігаються з областями пригнічення нейтронів (області надмірної концентрації водню) на Північному та Південному полюсах, в яких можливе існування води у крижаному стані. Для цих восьми аномальних областей були виконані розрахунки мінімальних, середніх та максимальних температур на поверхні та на трьох реперних глибинах. Отримані результати містять хоч і дуже ймовірні, але все ж орієнтовні оцінки. Останнє може слугувати виправданням окремих тверджень авторів рукопису, зокрема висновку, що температури по всіх досліджених полярних площах на глибинах до 2 м однакові (рис. 4). З цим не можу погодитись, через те що на такій значній площі, ще й на двох полюсах Місяця, постійну температуру верхнього шару важко уявити.

Зазначу, що якщо воду з крижаного реголіту можна буде видобувати на Місяці, замість того щоб відправляти її туди із Землі, то наш природний супутник цілком може стати придатним перевалочним пунктом для наступних місій на інші планети. Таким чином, прагнення фахівців Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», застосувати накопичений досвід у гірничій справі на Землі для видобутку води на Місяці заслуговує на увагу.

Головний науковий співробітник
Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна
Національної академії наук України,
доктор геологічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України,
Володимир Коболев

References

1. Watson, K., Murray, B., & Brown, H. (1961). On the possible presence of ice on the Moon. *Journal of Geophysical Research*, **66**, 1598-1600.
2. Li, S., Lucey, P. G., Milliken, R. E. et al. (2018). Direct evidence of surface exposed water ice in the lunar polar regions. *Proceedings of the NAS of the USA*, **115**(36), 8907—8912.
3. Honniball C. I., Lucey P. G., Li S., Shenoy S. et al. (2020). Molecular water detected on the sunlit Moon by SOFIA. *Nature Astron.*, **5**, 121—127.
4. Gläser P., Sanin A., Williams J.-P. et al. (2021). Temperatures near the lunar poles and their correlation with hydrogen predicted by LEND. *J. Geophys. Res.: Planets*, **126**, e2020JE006598