# ЕНЕРГИЙНИ, ТОПЛИННИ И ВОДНИ РЕСУРСИ НА СИСТЕМИ ЗА ЖИВОТОПОДДЪРЖАНЕ НА ПОВЪРХНОСТТА НА ЛУНАТА И МАРС

**Павлин Граматиков**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките*
*e-mail: pgramatikov@space.bas.bg*

***Ключови думи:*** *Луна, Марс, енергийни ресурси, топлинни ресурси, водни ресурси, биорегенеративни системи за животоподдържане*

***Резюме:*** *Системите за животоподдържане на Луната и Марс зависят от три ресурса: енергия; топлинен контрол и вода. На Луната почти непрекъснатата слънчева радиация в полярните райони за фотоволтаици, а ядрените източници се ползват през 14-дневната лунна нощ. На Марс по-ниската слънчева инсолация и праховите бури налагат използване на фотоволтаици в комбинация с ядрени реактори. Топлинният контрол отстранява температурни разлики средно −63°C на Марс и от −173°C до +127°C на Луната. Воден лед има в полярните кратери на Луната и под повърхността на Марс.*

# ENERGY, HEAT AND WATER RESOURCES OF LIFE-SUPPORT SYSTEMS ON THE MOON AND MARS SURFACE

**Pavlin Gramatikov**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences*
*e-mail: pgramatikov@space.bas.bg*

***Keywords:*** *Moon, Mars, energy resources, thermal resources, water resources, bioregenerative life-support systems*

***Abstract:*** *Life support systems on the Moon and Mars depend on three resources: energy; heat control and water. On the Moon, the almost continuous solar radiation in the polar regions for photovoltaics, and nuclear sources are used during the 14-day lunar night. On Mars, lower solar insolation and dust storms necessitate the use of photovoltaics in combination with nuclear reactors. Thermal control removes temperature differences averaging −63°C on Mars and from −173°C to +127°C on the Moon. Water ice is found in the polar craters of the Moon and under the surface of Mars.*

## Въведение

Темата за енергийните, топлинните и водните ресурси на космически оранжерии на повърхността на Луната и Марс е ключова за дългосрочното присъствие на човека в Космоса. Тези технологии включват събиране на слънчева енергия, топлообмен, топлинно съхранение, термоелектрическо преобразуване и разсейване на топлина. Основните енергийни системи имат модули за производство на електроенергия и модули за съхранение на енергия, всеки от които включва ядрена енергия, горивни клетки и други мултиенергийни източници. Въздухът за космонавтите трябва да е с: температура 20-25°C; относителна влажност 30–60% и налягане 0.75–0.8 atm [7]. Системата за контрол на околната среда и подпомагане на живота (ECLSS) е изкуствена микросреда, която осигурява ресурси за човека при космически изследвания.

На Луната и Марс космическите оранжерии и биорегенеративните системи за животоподдържане са напълно изолирани. Те трябва да осигуряват: храна; кислород и пречистена вода; защита от радиация, микрометеорити и др.

***Основните различия между Луната и Марс са:***

А) *Луната:* Характерно е: няма атмосфера; има 14-дневни цикли ден/нощ; има екстремални температурни амплитуди от -173°C до +127°C; ниска гравитация (1/6 g) и изобилие от слънчева енергия в двуседмичния ден.

Б) *Марс:* Тази планета има: разредена атмосфера, състояща се главно от $CO_2$ с налягане 0,6% от земното налягане; прашни бури; сезонни температурни вариации от -125°C до +20°C, по-слаба слънчева радиация (~ 43% от земната) и гравитация 0,38 g.

***Енергийни ресурси на Луната:***

А) *Слънчева енергия (основен източник):* Има висока интензивност ~ 1360 W/m², но проблемът е 14-дневната нощ. Може да се използват фотоволтаици заедно с акумулаторни батерии, но акумулаторите имат огромна маса. Приложим е енергиен мост – на кратерите има фотоволтаици, а те захранват оранжерията под повърхността.

Б) *Ядрена енергия (резерв/основа):* Компактни реактори, например Kilopower осигуряват 1–10 kW електрически и топлина денонощно. Ядрената енергия е ключова за оцеляване по време на лунната нощ. Възможности за бъдещето е Хелий-3, добиван от лунния реголит за термоядрен синтез, но технологично е далечно приложението.

***Енергийни ресурси на Марс:***

А) *Слънчева енергия:* По-слаба е от Луната ~ 590 W/m² максимум, често намалявана от прашни бури до < 100 W/m² за седмици. Недостатък е нуждата от големи площи фотоволтаици и почистването им от прах.

Б) *Ядрена енергия*: За Марс това е най-надеждният източник за базово използване и през прашни бури. Може да се ползват малки реактори или радиоизотопни термоелектрически генератори (RTG) с плутоний-238 (238Pu).

В) *Вятърна енергия:* Атмосферата на Марс е разредена с налягане като на 35 km над Земята, вятърът е много слаб, но създава прашни бури. Ефективността е много ниска.

*Извод:* На Луната ще се разчита на хибрид (слънце + батерии/горивни клетки + ядрен източник за нощта), а на Марс – основно на малък ядрен реактор, допълнен от слънчеви панели.

***Топлинни ресурси и терморегулация***

На Марс и Луната огромният проблем е задържането на топлина през нощта и отвеждането на излишната топлина през деня.

А) *Луна:* През деня оранжерията се прегрява – нужда от топлинни радиатори и външни рефлектори, отразяващи слънчевата светлина. През нощта е под -150°C. и оранжерията губи топлина чрез инфрачервено излъчване. Решението е дебела топлоизолация (аерогел, реголитни тухли), фазово-променящи се материали (PCM – солен хидрат, който се топи и се втвърдява около 20°C), геотермална маса (кутии с вода). Топлината от ядрения източник се използва за загряване на въздуха или водния кръг.

Б) *Марс:* Цикълът ден/нощ има по-малко екстремни амплитуди, но атмосферата отнема топлина. Прашните бури намаляват слънчевото затопляне и температурата пада. Оранжерията се отоплява с електрически нагреватели или с топлина от реактора.

В) *Терморегулация:* Използване на топлинна помпа – през деня топлината се отвежда към скалите под повърхността, през нощта се извлича обратно. Използва се система за активно топлоуправление с течен кръг (вода/пропиленгликол), който минава през радиатори, топлообменници и подово отопление на оранжерията.

***Водни ресурси***

Водата е най-ценният ресурс – за пиене, напояване, кислород, защита от радиация.

А) *Луна:* Локални източници са полярните кратери на Луната, например кратер Шумейкър, които съдържат воден лед в постоянна сянка. Температурата е -200°C. Добивът може да е с пробиване, стопяване на леда с електрически нагреватели, събиране на водни пари, пречистване. При затворен цикъл оранжерията ще рециклира > 90% от водата (кондензация от транспирацията на растенията, пречистване на урина и въздух). Ако няма полярен лед (например на екватора) водата трябва да бъде докарана от Земята, което е скъпо. Възможен е добив на вода от реголит (минерали, които съдържат $OH^-$ групи) – енергоемък и с нисък добив.

Б) *Марс:* Локални източници са подповърхностен воден лед (на много места на Марс, на дълбочина 5-50 cm в средните ширини, покрит с реголит, [1]) и хидратирани минерали. Добивът е чрез изкопаване на ледено-реголитна смес, нагряване в херметична камера и кондензация на парите. Това е енергийно умерен метод. Атмосферната влага на Марс има много ниска стойност (абсолютна влажност < 0.1 g/m³), но може да се извлича със сорбционни материали.

В) *Извод:* Марс има леснодостъпна вода в широчини 30-60°. Луната разчита почти изцяло на полярния лед.

**Използване на местни ресурси (ISRU) технологии**

***Добив на кислород***

Лунният реголит съдържа около 40–45% кислород под формата на метални оксиди. Има повече от 20 концептуални решения за извличане на кислород от него. Методите включват: карботермална редукция; електролиза на разтопен реголит и редукция с водород.

Електролизата на вода се използва на китайската космическа станция Tiangong и МКС. Обикновено изисква благородни метални катализатори. Проучвания показват, че лунният реголит може да служи като катализатор за електролиза, намалявайки зависимостта от Земята.

***Строителни материали***

Лунен реголит може да се ползва за 3D принтиране на защитни структури. Реголитът осигурява защита срещу радиация, микрометеорити и екстремални температурни, [1]. Специалисти от SINTEF проучват изграждането на оранжерии от лунен прах

**Състав на Марсианска и Лунна оранжерия**

***Марсианската оранжерия*** е под земята или е покрита от реголит. Използва се малък ядрен реактор 10 kW и слънчеви панели с 20 kW пикова стойност. Топлинният кръг от реактора загрява воден резервоар. Той поддържа +20°C през нощта. Излишната лятна топлина се отвежда към подземни радиатори. Водата се извлича от местен лед. Растенията (картофи, маруля, соя) се напояват капково. Водата от кондензация на въздуха се връща обратно. Кислородът се добива от електролиза на вода (отпадъчната фракция) или директно от $CO_2$ на (технология MOXIE) [6].

***Полярната лунна оранжерия*** използва слънчева енергия в продължение на 14 дни и акумулатори (водородни горивни клетки) или ядрена енергия за нощта. Използва се двоен корпус – външен от реголит (изолатор) и вътрешен с водни стени. Стопяването на лед за вода служи и като топлинен акумулатор. Водата се добива от стопен полярен лед.

***Енергийни системи за Марс и Луната***

А) *Фотоволтаичните клетки*. Те са най-широко разпространеното решение за космически мисии. Конвенционалните силициеви PV клетки имат ефективност около 20%. Клетките от галиев арсенид (GaAs) достигат до 30% ефективност на преобразуване. На Луната, особено в полярните региони близо до кратера Shackleton, има зони с почти непрекъсната слънчева светлина 240 дни в годината, което ги прави идеални за слънчеви енергийни системи.

Б) *Хибридни осветителни системи за оранжерии:* Използват се параболични огледала за събиране на слънчева светлина и оптични влакна за предаването ѝ до оранжерията, допълнени от LED осветление. Проучвания на Германския космически център (DLR) и ESA MELiSSA показват, че хибридната система е предпочитана за лунни оранжерии.

В) *Ядрени енергийни системи:* Радиоизотопните термоелектрически генератори (RTG) са с ефективност под 10%. Стирлинг радиоизотопните генератори (SRG) са по-ефективна генерация. Има системи със затворен цикъл на Brayton (CBC) които: имат високотермична ефективност до 39%; използват свръхкритичен $CO_2$ или хелий-ксенонова смес като работен флуид и компактна структура и имат високо съотношение мощност/тегло.

Г) *Горивни клетки:* Те преобразуват химическа енергия директно в електричество чрез електрохимични реакции.

***Енергийни системи на оранжериите:***

А) LED осветление (най-енергоемкият компонент)

Б) Термален контрол и климатизация

В) Помпи и вентилатори за циркулация на въздух и вода

Г) Системи за рециклиране на вода

Д) Контрол на атмосферата ($CO_2$ инжектиране, филтрация)

Електрическата и термалната връзка с основната база е критична – оранжерията получава енергия от съществуващата инфраструктура на базата. За самоподдържаща се лунна база за 100 души се изискват годишно: 15.16 $m^3$ за човешки нужди; 88.77 $m^3$ за селско стопанство (оранжерии) и 2.46 $m^3$ за технически нужди.

**Топливни ресурси на Луната и Марс**

Производство на гориво чрез ISRU, [2] може да става от воден лед, като водата може да се електролизира за производство на водород и кислород. Кислородът служи за дишане, а водородът може да се използва като ракетно гориво. На Луната водният лед в полярните региони представлява ключов ресурс за производство на гориво. Атмосферата на Марс е рядка, със средногодишно налягане от около 750 Pa, и се състои от 95,3% $CO_2$, 2,7% $N_2$, 1,6% Ar и следи от $O_2$, CO и $H_2O$ [7]. MOXIE експериментът на NASA произвежда кислород чрез

твърдооксидна електролиза на $CO_2$ от марсианската атмосфера [7]. Кислородът може да се комбинира с метан за ракетно гориво. Метаново гориво може да се получи чрез реакцията на Sabatier: $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$, като $CO_2$ се получава от марсианската атмосфера, а $H_2$ от електролиза на вода. Очаква се микровълновата плазма да постигне производствени нива на $O_2$, CO и NOx от 47.0, 76.1 и 1.25 g/h, при съответно енергийна консумация от: 0.021, 0.013 и 0.79 kWh/g съответно; скоростта на производство на $O_2$ е 30 пъти по-висока от тази на MOXIE, [7].

За космическите оранжерии директното използване на гориво е ограничено, но горивата са критични за: транспорт на модули от Земята до Луната/Марс; повърхностни превозни средства (роувъри) и резервни енергийни системи (горивни клетки).

**Водни ресурси на Луната и Марс**

*Лунен* воден лед се намира предимно в постоянно засенчените полярни региони. Концентрациите варират, но са достатъчни за експлоатация. *Марсианските* водни ресурси са от: воден лед в полярни ледени шапки; подповърхностен лед в плитки слоеве на умерени ширини и течна вода под $CO_2$ ледените шапки на южния полюс, Фиг. 1.

***Технологиите за добив на вода са:***

А) *Термален добив (thermal mining).* Състои се от: нагряване на съдържащия лед реголит чрез концентрирана слънчева светлина или други източници на топлина; сублимация или изпарение на леда и улавяне на водната пара чрез студени капани (cold traps). Особено подходящ е за повърхностен лед (0.1–0.3 m дълбочина).

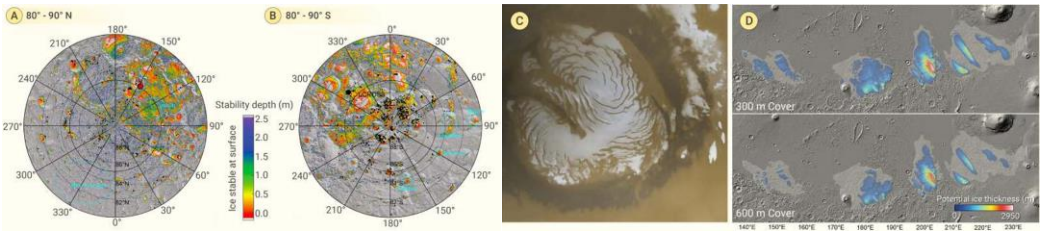
Б) *Механичен добив.* Състои се от изкопаване на съдържащия лед материал и транспорт до енергийно богати зони за екстракция. Има проблеми на използване.

В) *Сондажен добив***:** Използва се за подповърхностен лед на Марс. Прилагат се топли сонди (heat drills) за сублимация.

Да разгледаме системи за рециклиране на вода при затворени цикли в оранжериите. Системата за доставка на хранителни вещества (NDS) е напълно затворена (рециркулационна).

Водата, загубена чрез изпарение и транспирация, се възстановява от кондензатори в системата за управление на атмосферата (AMS). Кондензираната вода се филтрира, стерилизира и се насочва към резервоара с чиста вода. Системата за управление на водата (WMS) осигурява питейна вода за консумация, производство на храна и хигиена, както и среден прием на вода в 1.6–2.8 L/24h на човек. Воднят процесор (WPA) възстановява вода от: кондензат от кабинната влажност (издишана водна пара); произведена вода от реакторите на Sabatier или Bosch и дестилирана урина, хигиенни отпадъци и отпадъци от извънкорабна дейност.

***Ефективност на рециклирането:*** На МКС се постига около 90% възстановяване на водата, а за дългосрочни мисии се изисква над 98% ефективност.




Фиг. 1. Водни ресурси: Северен (А) и южен (В) полюс на Луната, зони с оголен лед (черни точки) и райони, в които ледът е стабилен до определена дълбочина; (С) Северен полярен леден щит на Марс (D) Дебелина на участъци на Марс богати на лед район Medusae Fossae [7].

**Системи за поддържане на живота**

Оранжериите са интегрирана част от системата за екологичен контрол и поддържане на ECLSS и изпълняват множество функции като: производство на храна (зеленчуци, плодове); генериране на кислород чрез фотосинтеза; намаляване на $CO_2$ нивата; пречистване на сиви води и психологическа подкрепа за екипажа. Атмосферното управление се състои от*:* поддържане на повишено $CO_2$ ниво (1000 ppm базова стойност) за оптимален растеж на растенията; мониторинг на $O_2$ нивата; филтрация на летливи органични съединения (VOC) като етилен и HEPA филтрация за предотвратяване на нежелан микроорганизъм растеж.

**Космически програми за оранжерии на МКС и повърхността на Луната**

***NASA:*** Листните зелени култури, които бяха успешно валидирани в камерата Veggie на МКС, включват червена маруля „Outredgeous“, горчица Mizuna, листна маруля „Waldmann's Green“, горчица „Wasabi“, пак чой „Extra Dwarf“, къдраво зеле „Red Russian“ и горчица „Amara“. Китайското зеле „Tokyo Bekana“ не се развиваше добре при условията на МКС поради повишено съдържание на $CO_2$ . Марулята „Драгун“ също се сблъска с трудности, свързани с поливането и съхранението на семената, и ще трябва да бъде тествана отново. Репички „Cherry Belle“, джудже пшеница „Apogee“ и люти чушки Hatch „Española Improved“ бяха успешно отгледани и тествани в Advanced Plant Habitat [4]. Системите за осветление на културите трябва да осигуряват поне 300 μmol m-1 $s^{-1}$, ако може до 1000 μmol m-1 $s^{-1}$.

***Китай:*** През 2019 г. Китай прави успешни експерименти за покълване на семена да в лунна почва при подходящи условия на температура и влажност. От април 2026 г. китайски инженери проучват изграждане на оранжерия на лунната повърхност за оцеляване на екипажи през 14-дневната лунна нощ. Заедно с Китай Русия планира да създаде Международна лунна изследователска станция [3]. Предлага се програма китайски лунен дворец (Lunar Palace) [4].

***МКС:*** Културите, тествани на МКС в мисията VEG-03I, показват вариабилност в кълняемостта по растителни семейства над 2,5 години съхранение, като 3 разновидности на кръстоцветните от семейство Brassica („Red Russian“ kale, „Extra Dwarf“ Pak choi и „Wasabi“ sirup) показват отлична кълняемост и растеж, докато два вида маруля от семейство маргаритки („Outredgeous“ и „Dragoon“) показват бавна или никаква кълняемост при същите условия на съхранение. Листна салата с тегло 15 g всеки ден може да осигури 8% от необходимия витамин С и 30% от витамин К, но изисква сценарий на непрекъснато производство без съхранение.

***ЕКА:*** Луната като цел на човешките космически полети ще се изучава чрез програмата „Артемида“ и „Лунното село“ на ЕКА. Целта тези бъдещи мисии е да се остане на лунната повърхност за по дълъг период от време. Вместо презапасяване, както МКС, управлението на ресурсите ще включва рециклиране и използване на местни ресурси. Прилагането на системи за биорегенеративно животоподдържане (BLSS), ще предостави животоподдържащи услуги на екипажа без прекомерна консумация на ресурси [3]. В началото на 21-ви век се правят опити за разширяване на човешките космически мисии на Луната, Марс и астероиди, например с програмата Constellation на НАСА или програмата Aurora на ЕКА [3].

ЕКА предложи отворена архитектура за лунна база, наречена Moon Village, и е един от партньорите в програмата Artemis и предоставя сервизния модул за космическия кораб Orion. Всички останали партньори на МКС, например Канадската космическа агенция (CSA), се завръщат като партньори за Artemis, с изключение на руския Роскосмос.

Култури като къдраво зеле и листа от горчица могат да бъдат добри източници на прясно приготвен витамин С и витамин К, докато култури като грах, боб, елда и дори репички могат да осигурят витамин В1. Например 20 $m^2$ отглеждани култури при умерена до силна светлина (> 0,25 от слънчева светлина) могат да осигурят целия кислород, необходим за средностатистически член на екипажа [4]. Един от разположените инструменти в Artemis III ще тества растежа на растения и култури на лунната повърхност с видове *Arabidopsis thaliana, Brassica rapa u Wolffia sp*., водно растение.

***Япония*** предлага изследователски център за космическо земеделие и градинарство (Proposed Research Center for Space Agriculture and Horticulture (Chiba University) [4].

**Ядрени източници на енергия**

При ползване на оксида на плутоний-238 (238Pu), намалението на отделянето на енергия поради ядреното делене е само 0,78% годишно. Източниците на база на 238Pu имат десетки и стотици хиляди пъти по-висока енергиен капацитет спрямо химическите енергийни източници като батерии, горивни клетки и други химични елементи [5].

Най-често използваните изотопи за източници на енергия са 238Pu, кюрий-244 (244Cm) и стронций-90 (90Sr). Верижна реакция от 1 g уран може да произведе до 20 MW енергия, докато методът за генериране от радиоизотопи произвежда само ~ 10 W, но периодът му на полуразпад е 90 години. През 2006 г. сондата New Horizons използва изотопа 238Pu като източник на енергия за оборудването на своя космически кораб. Радиоизотопният генератор съдържа 11 kg високочист 238Pu диоксид и произвежда средно 220 W електрическа енергия по време на цялото пътуване: 240 W първоначално (2006 г.) и 200 W в края на пътуването (2020 г.).

Марсоходът Curiosity е оборудван с източник на енергия 238Pu. Марсоходът използва най-новото поколение радиоизотопен термоелектрически генератор (RTG), наречен многомисионен. Той произвежда 125 W електрическа мощност първоначално и 100 W след 14 години. Система за ядрена спомагателна енергия (SNAP-27 RTG) има в мисията Apollo-14 за захранване на инструментите ALSEP. Генераторът съдържа 3,735 kg диоксид на 238Pu, имал е

топлинна мощност от 1480 W и електрическа мощност от 63 W. Най-често използваният енергиен източник в космическите кораби е 238Pu. Характерно за него е: период на полуразпад от 88 г.; освобождава енергия 5,5 MeV; има специфична мощност от ~ 0,54 W/g, а мощността намалява с ~ 0,78% годишно. Оук Ридж планира да произвежда 300-400 g 238Pu годишно, с последващо увеличение до 1,5 kg. Общите запаси от 238Pu в Съединените щати (според оценки на Министерството на енергетиката на САЩ) са приблизително 35 kg. Това включва остатъците от плутоний, произведен през миналия век на обекта Савана Ривър, както и известен плутоний, закупен от Русия [5]. Марс 2020 Роувър е космическа мисия, която използва плутониеви RTG с мощност около 110 W. При естествения радиоактивен разпад на 238Pu се отделя топлина, която се преобразува в електричество чрез термодвойки. Работната температура на критични компоненти се поддържа от RTG, което е ключово за нощите на Марс.

**Предизвикателства и бъдещо развитие**

***Основни предизвикателства:*** високи енергийни изисквания за изкуствено осветление; необходимост от почти затворени водни цикли (> 98% ефективност; екстремни температурни условия (особено на Луната); радиационна защита; ниска гравитация и въздействие върху растежа на растенията и ограничена наличност на локални ресурси в началните фази.

***Бъдещи направления:*** развитие на ядрени енергийни системи за непрекъснато захранване; усъвършенстване на ISRU технологиите за производство на вода, кислород и горива; автоматизация и роботизация на селскостопанските процеси; интеграция на водорасли и други микроорганизми в системите за поддържане на живота; мащабиране за постоянни лунни и марсиански селища. Контролирана екологична система за поддръжка на живота (CELSS) от NASA, серията BIOS от Съветския съюз/Русия, Micro-Ecological Life Support System Alternative (MELiSSA) от Европейската космическа агенция (ESA), CELSS Integrated Experimental Platform и Lunar Palace от Китай и затворената екологична експериментална база (CEEF) от Япония.

**Заключение**

Успешното функциониране на системите за животоподдържане и космическите оранжерии на Луната и Марс изисква интегриран подход към управлението на енергийните, горивните и водните ресурси. Комбинацията от възобновяема слънчева енергия, ядрени системи, усъвършенствани технологии за рециклиране на вода и ISRU за производство на кислород и горива ще бъде критична за устойчивостта на бъдещите извънземни бази и намаляването на зависимостта от доставки от Земята. Технологията за използване на ресурси ISRU извлича и използва ресурси на Луната; воден лед, кислород, Хелий-3 и лунна почва.

**Литература:**


1. Anderson, M. S., Ewert, M. K., & Keener, J. F. (2018). Life support baseline values and assumptions document (No. NASA/TP-2015-218570/REV1), pp. 1–218. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20180001338/downloads/20180001338.pdf
2. Ewert, M. K., Chen, T. T., & Powell, C. D. (2022). Life support baseline values and assumptions document, (NASA/TP-2015–218570/REV2), pp. 1–254. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210024855/downloads/BVAD_2.15.22-final.pdf
3. Maiwald, Volker, et al. "From Antarctic prototype to ground test demonstrator for a lunar greenhouse." Acta Astronautica 212 (2023): 246–260. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.08.012 https://www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S0094576523004101
4. Fritsche, Ralph, Natasha Haveman, Gioia Massa, Matthew Mickens, Trent Smith, Raymond Wheeler, Bruce Link, and LaShelle Spencer. Space Crop Considerations for Human Exploration. No. NASA/TM-20250001897. National Aeronautics and Space Administration, 2024. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20250001897/downloads/20231215%20Space%20Crops%20HRP%20FINAL%20STRIVES%203.pdf
5. Жизнин, Станислав Захарович, and Владимир Михайлович Тимохов. Радиоизотопные источники энергии. Обеспечение энергетической безопасности, *Энергетическая политика* 1 (2017): pp. 111–122. https://cyberleninka.ru/article/n/radioizotopnye-istochniki-energii-obespechenie-energeticheskoy-bezopasnosti/pdf
6. Hecht, M., Hoffman, J., Rapp, D., McClean, J., SooHoo, J., Schaefer, R., Aboobaker, A., Mellstrom, J., Hartvigsen, J., Meyen, F. and Hinterman, E., 2021. Mars oxygen ISRU experiment (MOXIE). *Space Science Reviews*, *217*(1), p. 9. https://doi.org/10.1007/s11214-020-00782-8 https://openurl.ebsco.com/viewer?sid=ebsco%3Aplink%3Acrawler-gcd&id=ebsco%3Agcd%3A148405750&crl=f&jrnl=00386308&link_origin=scholar.google.com
7. Wu, W., Shen, J., Kong, H., Yang, Y., Ren, E., Liu, Z., Wang, W., Dong, M., Han, L., Yang, C. and Zheng, H., 2024. Energy system and resource utilization in space: A state-of-the-art review. The Innovation Energy, 1(2), p.100029. pp. 1–21. https://doi.org/10.59717/j.xinn-energy.2024.100029 https://pdfs.semanticscholar.org/1122/1604c624c7642a228fc4c98542ce85cb2872.pdf