

УДК 614.2:614.771:629.78:551.4:523.3

КАЧЕСТВО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕГОЛИТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ГОРНЫХ МАТЕРИКОВЫХ РАЙОНОВ ЛУНЫ

Гавришин А.И.

*Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова,
Новочеркасск, e-mail: agavrishin@rambler.ru*

В настоящее время большое внимание уделяется использованию космических природных ресурсов и, прежде всего, полезных ископаемых на Луне. Эту проблему поставили и успешно развивают космические агентства России, Соединенных Штатов Америки, Китая, стран Европейского Союза и многих других стран. Цель исследования: оценить опасность освоения Луны и дать прогноз вероятного влияния микроэлементного состава реголита на здоровье будущих селенавтов, геохимическую характеристику реголита (лунного ландшафта) и земной почвы, оценку коэффициента концентрации и коэффициента уменьшения качества реголитов. Основным объектом исследований для оценки опасности освоения Луны выбраны реголиты, доставленные космическими экспедициями «Луна-20» и «Аполлон-16» из горных материковых районов. При работе селенавтов на поверхности Луны следует учитывать ряд негативных факторов: практическое отсутствие атмосферы и кислорода, очень низкую температуру, космическое излучение, падение метеоритов, лунную пыль и многие другие. В связи с этим выполнены геохимическая (селенохимическая) характеристика лунного ландшафта и анализ вероятного влияния химического состава реголита на состояние и здоровье будущих селенавтов. В данной работе произведена оценка качества микроэлементного состава реголита путем сравнения его химического состава с составом земных почв. Рассчитанный для материковых реголитов коэффициент уменьшения качества соответствует категории «кризис». Это свидетельствует о том, что в реголитах ряд микроэлементов содержится в концентрациях, значительно превышающих концентрации в земных почвах. К таким элементам, прежде всего, относятся Ni, Cr, Co, Ag, Au и лантаниды Ho и Er. Это важно учитывать при колонизации Луны, так как высокие концентрации указанных химических элементов могут оказывать негативное влияние на здоровье селенавтов и вызывать аллергические реакции, раздражение глаз, нарушение дыхания, умственной и физической работоспособности.

Ключевые слова: Луна, качество реголита, геохимия горных ландшафтов, опасность для здоровья, лунные колонисты, освоение Луны

THE QUALITY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF REGOLITH AND ITS INFLUENCE ON THE CONDITIONS FOR THE DEVELOPMENT OF THE MOUNTAINOUS CONTINENTAL REGIONS OF THE MOON

Gavrishin A.I.

*South Russian State Polytechnic University named M.I. Platov, Novocherkassk,
e-mail: agavrishin@rambler.ru*

Currently, much attention is paid to the use of space natural resources and, above all, minerals on the Moon. This problem has been posed and is being successfully developed by the space agencies of Russia, the United States of America, China, the European Union and many other countries. To assess the danger of lunar exploration and to predict the possible influence of the microelement composition of regolith on the health of future lunar colonists. Geochemical characteristics of regolith and terrestrial soil; assessment of the concentration coefficient and the total indicator of reducing the quality of regoliths. The main object of research to assess the danger of lunar exploration is the regolith's delivered by the Luna-20 and Apolon-16 space expeditions from mountainous continental areas. With a long stay of a person on the moon, it is necessary to take into account a number of negative factors: the practical absence of the atmosphere and oxygen, very low temperature, cosmic radiation, the fall of meteorites, lunar dust and many others. In this regard, the study of the possible influence of the chemical composition of lunar regolith on the state and health of a person was carried out. In this paper, the quality of the microelement composition of regolith is assessed by comparing its chemical composition with the composition of terrestrial soils. The quality reduction indicator calculated for this regolith's was almost the same and corresponds to the category of «crisis». This indicates that in regoliths a number of trace elements are contained in concentrations significantly higher than concentrations in terrestrial soils. Such elements primarily include Ni, Cr, Co, Ag and Au, as well as the lanthanides Ho and Er. This is important to consider when colonizing the Moon, since high concentrations of these chemical elements can have a negative impact on the health of selenauts and cause allergic reactions, eye irritation, and respiratory failure, mental and physical performance.

Keywords: Moon, regolith quality, geochemistry of mountain landscapes, hazard, health of lunar colonists, lunar exploration.

Изучение и освоение Космоса являются одной из самых заветных целей человечества. И особый интерес вызывает Луна – ближайший космический сосед Земли. Это единственный в настоящее время космический объект, на котором побывал

человек, с которого доставлены на землю и проанализированы образцы пород. Поставлен вопрос о разработке на Луне полезных ископаемых.

С проблемой колонизации Луны тесно связаны вопросы необходимости изучения

геохимии (селенохимии) лунных ландшафтов, реголита и земной почвы, сравнения химического состава реголита с составом земной почвы и определения возможного влияния состава реголита на состояние и здоровье селенавтов. В связи с этим основная цель исследований – оценить опасность освоения Луны и дать прогноз вероятного влияния микроэлементного состава реголита на здоровье будущих лунных колонистов.

По результатам изучения Луны опубликовано большое количество работ, в которых рассматриваются вопросы генезиса, свойств и состава лунных пород. Например, проблемы освоения Луны рассмотрены в публикациях [1, 2, 3]; общий химический состав лунных ландшафтов и реголитов – в [4, 5]; состав отдельных образцов реголитов – в [6, 7, 8]; состав земных почв – в [9, 10]; методические аспекты исследований отражены в публикациях [2, 10, 11]; проблемы космической медицины и заболеваний рассмотрены в [12, 13, 14]. Автором опубликовано несколько статей по геохимии лунных пород и стекол [7, 11].

В последнее время большое внимание уделяется проблеме использования космических природных ресурсов и, прежде всего, полезных ископаемых на Луне [1, 2, 3]. Подчеркивая важность изучения и освоения Луны, еще в прошлом веке ее назвали седьмым континентом Земли. Предложены многочисленные проекты освоения лунной поверхности и возведения сооружений для размещения жилых комплексов, лабораторий и производств. Предлагается использовать для этого лунный реголит и самые современные технологии возведения сооружений [1, 3].

Лунный реголит – это рыхлый покров обломочного материала, включающий камни и обломки разных размеров, смещенные с места своего залегания. Реголит образуется под воздействием ударно-взрывных процессов кратерообразования с участием перемещения вещества вниз по склонам и некоторых других процессов.

Деятельность селенавтов на поверхности Луны связана с высоким риском для здоровья и жизни. Человек попадает в очень агрессивные условия, которые требуют использования мощных средств индивидуальной защиты. Необходимо учитывать следующие факторы: почти нулевое давление на поверхности и практическое отсутствие газовой атмосферы, низкую температуру (до -160°C), низкую гравитацию,

отсутствие магнитного поля, незащищенность от космического излучения, возможность столкновения Луны с крупными метеоритами и др. [3].

Эти проблемы обуславливают высокую актуальность детального изучения лунного реголита, необходимость оценки его качества путем сравнения его химического состава с составом земной почвы и выделения химических элементов, концентрации которых значительно выше в реголите и которые могут оказать отрицательное влияние на состояние и здоровье будущих селенавтов. В данной работе основное внимание уделено изучению геохимии лунного ландшафта и оценке качества химического состава реголита по анализам проб, отобранных в горных материковых районах Луны космическими экспедициями «Луна-20» и «Аполлон-16» [4–8].

Материалы и методы исследования

В настоящей статье для оценки опасности при освоении лунной поверхности и при разработке полезных ископаемых применен широко известный в геохимии и геоэкологии метод расчета коэффициента концентрации (R_i) и коэффициента уменьшения качества (P_c) [7, 10]. Выделено пять категорий опасности: «норма», «риск», «кризис», «бедствие» и «катастрофа» (табл. 1). Коэффициент концентрации i -го компонента рассчитывается по следующей формуле:

$$R_i = C_i / C_n,$$

где C_i – концентрация компонента в реголите, C_n – фоновая концентрация компонента в земной почве.

Качество почв и окружающей среды по n компонентам оценивается по коэффициенту уменьшения качества:

$$P_c = \sum_i K_i - (n - 1).$$

Таблица 1

Категории качества

Значение коэффициента	Название категории
<2	Норма
≥2–16	Риск
≥16–128	Кризис
≥128–1024	Бедствие
≥1024	Катастрофа

Чем больше величина коэффициента уменьшения качества, тем ниже качество

реголита. Например, значение коэффициента, равное 14, соответствует категории «риск», а значение, равное 200, соответствует категории «бедствие». В данной работе использованы фоновые концентрации микроэлементов в земной почве [9, 10] и в реголитах, полученных экспедициями «Луна-20» и «Аполлон-16» [3–8].

В последнее время значительные исследования о влиянии на здоровье человека недостатка, избытка или дисбаланса микроэлементов выполнены в рамках новых научных дисциплин «Медицинская геология» и «Медицинская геохимия» [12, 13, 14]. Все это позволило сделать прогноз возможного влияния на здоровье селенавтов микроэлементов, концентрации которых в лунном реголите значительно выше, чем в земных почвах.

Например, высокие концентрации в реголитах хрома могут вызвать такие заболевания, как дерматит, язва желудка, нарушение сердечной деятельности; никеля – ишемическая болезнь сердца, саркома, ухудшение зрения; кобальта – астма, гипертензия щитовидной железы и др. Повышенные концентрации лантанидов относятся к токсичным. Даже очень высокие содержания Au и Ag могут оказываться вредными для здоровья и вызывать дерматит, стоматит, диарею.

Необходимо отметить также негативное влияние на здоровье и самочувствие селенавтов лунной пыли. В обзорной работе [2] детально и всесторонне охарактеризованы свойства лунной пыли и рассмотрена ее потенциальная опасность. Более 95% массы реголита составляют частицы менее 1 мм. Частицы <100 мкм относятся к лунной пыли. Средний размер лунной пыли – от 40 до 100 мкм, и эти частицы составляют около половины массы реголита. Форма пылевых частиц разнообразна, они имеют ярко выраженные заостренные края, что обуславливает их очень высокую негативную особенность. Оказалось, что скорость вращения левитирующих микронных и субмикронных частиц на Луне может составлять миллионы оборотов в секунду. Видимо, эта особенность обуславливает высокую токсичность и агрессивность воздействия на поверхности приборов и способность проникать сквозь герметические уплотнители. Абразивные свойства пыли приводили к тому, что циферблаты многих приборов были настолько поцарапаны, что было невозможно прочитать показания.

Качество реголита «Луна-20»

Автоматическая станция «Луна-20» совершила посадку в типичном материковом районе Луны в феврале 1972 г., на северо-восточной оконечности Моря Изобилия (Foecunditatis). Рельеф района посадки типичен для материковых областей. На Землю доставлено 55 г реголита [4]. Образец характеризуется относительно невысоким содержанием вторичных частиц, в нем преобладают породы анортозитового типа.

По результатам космической экспедиции «Луна-20» произведены геохимическая характеристика материкового ландшафта и сравнение химического состава земных почв и реголита, выполнена оценка качества химического состава горного реголита путем расчета коэффициента уменьшения качества реголита по концентрациям 34 элементов (табл. 2).

По величине коэффициента уменьшения качества (Pc), который равен 35,18, ситуация относится к категории «кризис». В материковом лунном реголите обнаружен ряд химических элементов, концентрации которых значительно превышают их содержание в земной почве. К таким элементам относятся Cr, Ni, Co, Sc, Ag и Au, а также лантанид Ho. Все это важно учитывать при организации поселений и разработке полезных ископаемых на Луне.

Достижения современной медицинской геологии позволяют сделать предположения о возможном влиянии на состояние и здоровье лунных колонистов повышенных концентраций некоторых обнаруженных микроэлементов, которые приведены выше.

Качество реголита «Аполлон-16»

«Аполлон-16» (Apollo 16) — десятый пилотируемый полет в рамках программы «Аполлон», состоявшийся 16–27 апреля 1972 г. Это пятая высадка людей на Луну. В ходе полета «Аполлона-16» лунный модуль «Орион» осуществил посадку в высокогорном материковом районе Луны на плато Кэйли (Cayley Plains) [4, 5]. Астронавтами было собрано и доставлено на Землю 95,7 кг лунных образцов.

По результатам космической экспедиции «Аполлон-16» произведены геохимическая характеристика материкового ландшафта и сравнение химического состава земных почв и реголита, выполнена оценка качества химического состава горного реголита путем расчета коэффициента уменьшения качества реголита по концентрациям 34 микроэлементов (табл. 3).

Таблица 2

Геохимическая характеристика материкового лунного ландшафта
и оценка качества горного реголита «Луна-20»

Элемент	Концентрация		R_i	Элемент	Концентрация		R_i
	Земля	Луна			Земля	Луна	
Ba	500	120	0,24	Sb	1	0,2	0,2
Co	9	30	3,3	Au	1	7,8	7,8
Cs	3	0,2	0,07	Sr	300	230	0,77
Cu	25	27	1,1	La	40	9,7	0,24
Zn	60	76	1,27	Ce	60	24,5	0,41
Ga	20	3,4	0,17	Pr	7	3,3	0,47
Se	0,4	0,2	0,5	Nd	33	16,6	0,5
Rb	150	2	0,013	Sm	5	4,5	0,9
Sc	7	16	2,3	Eu	1,5	1,1	0,73
Nb	24	6,8	0,28	Gd	4	5,5	1,37
Ni	20	194	9,7	Tb	0,65	0,78	1,2
V	90	54	0,6	Dy	4	5,5	1,4
Zr	300	400	1,38	Ho	0,6	1,2	2,0
Ag	70	720	14,4	Er	2	3	1,5
Pb	20	1,2	0,06	Tm	0,6	0,48	0,8
Cr	70	780	11,14	Yb	3	2,4	0,8
Sn	4,5	3	0,67	Lu	0,4	0,4	1,0
P_c							35,18

Таблица 3

Геохимическая характеристика материкового лунного ландшафта
и оценка качества горного реголита «Аполлон-16»

Элемент	Концентрация		R_i	Элемент	Концентрация		R_i
	Земля	Луна			Земля	Луна	
Ba	500	140	0,28	Sb	3	0,045	0,015
Co	9	26	2,9	Au	1	10	10
Cs	3	0,12	0,04	Sr	300	188	0,63
Cu	25	7	0,28	La	40	13	0,38
Zn	60	29	0,48	Ce	60	30	0,5
Ga	20	5,2	0,26	Pr	7	4,6	0,15
Se	0,4	0,28	0,7	Nd	33	15	0,3
Rb	150	2,3	0,015	Sm	5	5	1,0
Sc	7	10	1,43	Eu	1,5	1,2	0,8
Nb	24	11	0,46	Gd	4	5	1,25
Ni	20	380	19	Tb	0,65	1,1	1,69
V	90	25	0,28	Dy	4	7	1,75
Zr	300	200	0,67	Ho	0,6	1,5	2,5
Ag	70	340	4,8	Er	2	4	2,0
Pb	20	2,3	0,12	Tm	0,6	0,7	1,17
Cr	70	600	8,57	Yb	3	4,6	1,53
Sn	4,5	0,5	0,11	Lu	0,4	0,6	1,5
P_c							34,28

Результаты оценки качества химического состава реголита «Аполлон-16» очень близки к результатам оценки реголита «Луна-20». По величине коэффициента уменьшения качества (P_c), который равен 34,28, ситуация относится к категории начального кризиса (табл. 1). В лунном реголите обнаружен ряд химических элементов, концентрации которых значительно превышают их содержание в земной почве. К таким элементам относятся Ni, Cr, Co, Ag и Au, а также лантаниды Ho, Er. Все это важно учитывать при организации поселений на Луне. Как показано выше, высокие концентрации перечисленных микроэлементов могут вызывать целый ряд легочных, сердечно-сосудистых и желудочно-кишечных заболеваний.

Заключение

В данной работе выполнена геохимическая характеристика лунного ландшафта в материковом районе Луны и изучено качество горных реголитов, доставленных космическими экспедициями «Луна-20» и «Аполлон-16». Для изучения вероятного воздействия микроэлементного состава материковых реголитов на здоровье будущих селенавтов использованы концентрации 34 химических элементов. Установлено, что концентрации ряда микроэлементов в горных реголитах намного превышают их концентрации в земных почвах, это может оказывать негативное влияние на здоровье селенавтов при работе на лунной поверхности и при разработке полезных ископаемых.

К таким опасным для здоровья селенавтов микроэлементам относятся Ni, Cr, Co, Ag и Au, а также лантаниды Ho и Er. Это важно учитывать при колонизации Луны, так как высокие концентрации указанных химических элементов могут вызывать аллергические реакции, раздражение глаз, нарушение дыхания, умственной и физической работоспособности.

К размещению на Луне собственных баз готовятся несколько крупных держав: Россия [3, 4], США [5], Китай [8], Япония,

страны Европейского Союза, а также несколько частных компаний. Планируется использовать естественный спутник Земли как ресурсную базу (энергия, гелий, лед, различные составляющие реголита), опытный и научный полигон, где будут тестироваться космические технологии для дальних полетов, в том числе на Марс.

Список литературы

1. Жданова Д.Н., Шмарин Н.В. Луна – проблемы и перспективы связанные с освоением // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. Т. 3. № 4 (14). С. 555-556.
2. Захаров А.В., Зеленый Л.М., Попель С.И. Лунная пыль: свойства, потенциальная опасность // Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы. 2020. Т. 54. № 6. С. 483-507.
3. Плеханов Н.С., Летунова О.В. Освоение космоса: цели, задачи и перспективы // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2018. Т. 3. № 4 (14). С. 719-720.
4. Грунт из материкового района Луны: сборник статей. М.: Наука, 1979. 708 с.
5. Fourth Lunar Science conference. USA. Houston. 1973. 980 p.
6. Berezhnoy A.A. Behavior of volatile elements during impact events on the moon // European Lunar Symposium. Münster. Germany. 2017. P. 45-46.
7. Гавришин А.И. Сравнительный анализ двух методов оценки качества вод // Геоэкология. 2021. № 2. С. 57-66.
8. Wu Y.Z., Wang Z.C., Zhang X.Y. In situ spectra of the moon. European Lunar Symposium. Münster. Germany. 2017. P. 235-236.
9. Головин А.А., Временные рекомендации к геохимическому обеспечению геологосъемочных работ, завершающихся созданием Госгеолкарты – 200. М.: изд-во МПР, 1999. 350 с.
10. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. М.: изд-во ИМГРЭ, 1982. 66 с.
11. Гавришин А.И. Применение цифровой классификационной технологии при анализе техногенных изменений окружающей среды // Известия высших учебных заведений. Технические науки. 2020. № 1. С. 11-17.
12. Баранов В.М., Катунцев В.П., Баранов В.М., Шпаков А.В., Тарасенков Г.Г. Вызовы космической медицине при освоении человеком Луны: риски, адаптация, здоровье, работоспособность // Ульяновский медико-биологический журнал. 2018. № 3. С. 109-123.
13. Орлов В.П., Фаррахов Е.Г., Вольфсон И.Ф., Алексеев В.М., Прозорова М.В. Современное состояние и перспективы медицинской геологии (к итогам VII конференции международной медико-геологической ассоциации мед-гео) // Разведка и охрана недр. 2018. № 1. С. 3-7.
14. Шопина О.В. Медицинская геохимия ландшафтов. Влияние особенностей элементного состава окружающей среды на здоровье населения // Российский журнал восстановительной медицины. 2019. № 4. С. 47-67.