

# AZIDE METHOD FOR GENERATING METAL VAPORS IN SPACE

**Anatoly I. DROBYZHEV**,  
member of Physical Education and Sports Department,  
Samara State Technical University, Samara, Russia,  
[argel33@mail.ru](mailto:argel33@mail.ru)

**Alexander M. PYZHOV**,  
Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Chemistry  
and Technology of Organic Nitrogen Compounds Department,  
Samara State Technical University, Samara, Russia,  
[argel33@mail.ru](mailto:argel33@mail.ru)

**Dmitry A. Sinitsyn**,  
graduate, Chemistry and Technology of Organic Nitrogen  
Compounds Department, Samara State Technical  
University, Samara, Russia,  
[sinitsyndsamara@gmail.com](mailto:sinitsyndsamara@gmail.com)

# АЗИДНЫЙ СПОСОБ ГЕНЕРАЦИИ ПАРОВ МЕТАЛЛОВ В КОСМОСЕ



**Анатолий Иванович ДРОБЫЖЕВ**,  
сотрудник кафедры физвоспитания и спорта,  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический  
университет», Самара, Россия,  
[argel33@mail.ru](mailto:argel33@mail.ru)



**Александр Михайлович ПЫЖОВ**,  
кандидат технических наук, доцент кафедры ХТОСА  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический  
университет», Самара, Россия,  
[argel33@mail.ru](mailto:argel33@mail.ru)



**Дмитрий Андреевич СИНИЦЫН**,  
выпускник кафедры ХТОСА Самарского государственного  
технического университета, Самара, Россия,  
[sinitsyndsamara@gmail.com](mailto:sinitsyndsamara@gmail.com)

**ABSTRACT** | Modern methods of rocket research of the upper layers of the atmosphere and near-Earth space cannot be imagined without the use of glowing artificial clouds (GAC). Traditional pyrotechnic methods for generating vapors of alkali and alkaline earth metals, used for the formation of GAC in space, are ineffective and require, as a rule, the use of metals with high chemical activity.

The article presents the results of studies on the development of an alternative method for generating vapors of alkali and alkaline earth metals to create GAC in near-Earth space using inorganic azides of the corresponding metals.

The long-term use of pyrotechnic metal vapor generators to create GAC in the upper atmosphere, equipped with azide pyrotechnic compositions, confirmed their high efficiency, reliability and safety of use.

**Keywords:** *glowing artificial clouds (GAC) in space, alkali and alkaline earth metal vapors, inorganic azides, azide pyrotechnic compositions, metal vapors pyrotechnic generators*

**АННОТАЦИЯ** | Современные способы ракетного исследования верхних слоев атмосферы и околоземного космического пространства невозможно представить без применения искусственных светящихся облаков (ИСО). Традиционные пиротехнические способы генерации паров щелочных и щелочноземельных металлов, используемые для образования ИСО в космосе, малоэффективны и требуют, как правило, применения металлов с высокой химической активностью.

В статье представлены результаты исследований по разработке альтернативного способа генерации паров щелочных и щелочноземельных металлов для создания ИСО в околоземном космическом пространстве с помощью неорганических азидов соответствующих металлов.

Многолетнее использование пиротехнических генераторов паров металлов для создания ИСО в верхних слоях атмосферы, снаряженных азидными пиротехническими составами, подтвердили их высокую эффективность, надежность и безопасность применения.

**Ключевые слова:** *искусственные светящиеся облака в космосе, пары щелочных и щелочноземельных металлов, неорганические азиды, азидные пиротехнические составы, пиротехнические генераторы паров металлов*



## ВВЕДЕНИЕ

Наблюдение за плазменными хвостами многих комет, направленных от Солнца, навело немецкого астрофизика Бирмана на мысль о существовании солнечного ветра, одного из видов космической плазмы [1]. Многие экспериментаторы, как отметили авторы статьи [2], сделали важное предположение, что искусственно образованные в космическом пространстве видимые облака плазмы, обладающие «ясно выраженными электрическими свойствами», также способны предоставить ученым ценную информацию, которая может не только объяснить поведение хвостов комет, но и помочь в изучении магнитосферы Земли. Однако экспериментальная проверка этого предположения стала возможной лишь с середины прошлого столетия благодаря появлению ракетной техники [3]. Использование ракет в астрофизике позволило ученым перейти от наблюдательного характера космических исследований к экспериментальным исследованиям с помощью искусственных светящихся образований, позволяющих активно воздействовать на протекание естественных физических процессов, что зачастую приводило к новым научным открытиям [3].

Успешно проведенные эксперименты с помощью искусственных светящихся облаков в 1958 – 1959 годах положили начало новому направлению исследования космоса и земной атмосферы в нашей стране.

### ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ РАКЕТ

В начале 50-х годов XX века в связи с интенсивным освоением космического пространства потребовались новые, более детальные данные о параметрах атмосферы Земли на высотах 60 – 200 км и более, где происходило движение ракет-носителей, разделение их ступеней, выведение на орбиту искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и автоматических станций. Для измерения параметров верхней атмосферы на высотах 50 – 150 км в СССР были разработаны конструкции специальных метеорологических ракет.

Первая в мире неуправляемая многоразовая жидкостная метеорологическая ракета МР-1 была создана в СССР в 1951 году [4]. Прототипом этой ракеты послужила американская ракета «Аэробы» [5]. В дальнейшем на базе отечественных боевых ракет были разработаны более эффективные твердотопливные метеорологические ракеты ММР-08, М-100, М-100Б и ракета МР-12 с высотой подъема 150 – 180 км. С 1963 года разработку конструкции ракеты МР-12 курировал Институт прикладной геофизики (ИПГ), а доработка ракеты и ее последующая эксплуатация до 1997 года была поручена НПО «Тайфун» [5].

Именно ракета МР-12 и ее модификации были достаточно успешно использованы в многочисленных экспериментах в нашей стране по исследованию верхних слоев атмосферы с помощью ИСО.

### СПОСОБЫ ГЕНЕРАЦИИ ПАРОВ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В ВЕРХНИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

В практику геофизических исследований в СССР метод ИСО впервые был внедрен в Институте прикладной геофизики (ИПГ) (руководители С. М. Полосков и Н. Н. Танцова) и в его обнинском филиале (ныне Институт экспериментальной метеорологии (ИЭМ) НПО «Тайфун» (руководитель Л. А. Катасев)).

В качестве реагентов для создания ИСО использовались пары лития, натрия, цезия, бария, алюминия и другие вещества. Это было вызвано тем, что вещества, применяемые для создания плазменных объектов в ионосфере Земли, должны были легко испаряться и ионизироваться под действием ультрафиолетового излучения Солнца и излучать в видимом диапазоне спектра [2]. Только в этом случае такие облака можно было наблюдать с поверхности Земли. Оказалось, что перечисленным требованиям удовлетворяют щелочные и щелочноземельные металлы и алюминий, потенциалы ионизации которых среди известных химических элементов имеют наименьшую величину от 3,894 эВ (цезий) до 6,11 эВ (кальций) [6]. Однако практика показала, что из щелочноземельных металлов наиболее эффективным является использование бария, что вызвано меньшим средним временем ионизации, чем, например, у цезия [3].

Средства для выброса веществ, образующих ИСО в атмосфере, создавались и изготавливались силами специалистов как ИЭМ, так и других исследовательских и конструкторских организаций страны, в том числе и сотрудниками кафедры «Химия и технология органических соединений азота» (ХТОСА) Куйбышевского политехнического института имени В. В. Куйбышева (КПТИ имени В. В. Куйбышева) под руководством профессора В. Т. Косолапова.

Традиционные способы генерации паров щелочных и щелочноземельных металлов основаны на горении термитных составов, содержащих испаряемые металлы и их оксиды, или на использовании нитратов соответствующих металлов и кумулятивных зарядов взрывчатых веществ [3, 7].

Однако подобные способы генерации паров металлов имеют существенные недостатки, основными из которых являются низкий выход испаряемого металла (7 – 18 %), недостаточная чистота паров и использование металлов с высокой химической активностью [8]. Первый эксперимент в СССР по созданию ИСО на высоте 430 км был основан на испарении металлического натрия массой 1 кг высокотемпературным железоалюминиевым термитом. Это произошло во время испытания генератора паров натрия в 1958 году, за год до полетов лунных ракет [7]. В этом эксперименте впервые в стране астрономом И. С. Шкловским была проведена оценка возможности использования светящихся паров натрия для определения плотности атмосферы на больших высотах. Плотность атмосферы оценивалась по интенсивности диффузии паров натрия в окружающую среду [9].

Значительным шагом вперед в разработке составов, генерирующих пары бария, явилась оценка возможности использования для этого смеси азиды бария с металлами в режиме горе-

ния, выполненная и опубликованная Г. Г. Петровым в работе [10]. Однако по причине отсутствия в публикации данных о количественном выходе паров бария и зависимости его выхода от условий горения состава, невозможно было оценить эффективность этого способа.

### АЗИДНЫЕ СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ ИСО ПАРОВ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В КОСМОСЕ

В 1950 – 60-х годах прошлого века в стране был усовершенствован процесс получения наиболее важного представителя неорганических азидов – азиды натрия, натриевой соли азотистоводородной кислоты. В КПТИ имени В. В. Куйбышева на кафедре ХТОСА в 1956 году был разработан новый, более эффективный способ получения азиды натрия из гидразина, который в 1968 году начал внедряться на Чапаевском заводе, расположенном в Куйбышевской области. В дальнейшем на кафедре были разработаны научные основы новых методов синтеза и прогрессивных технологий получения неорганических и органических азидов. На кафедре была создана лаборатория для изучения процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) с использованием синтезированных азидов металлов. Впоследствии сформировались два отдельных направления применения СВС: синтез тугоплавких нитридов и карбонитридов металлов в режиме СВС и генерация паров щелочных и щелочноземельных металлов в верхних слоях атмосферы, ионосферы и околоземного космического пространства.

Многолетние исследования, выполненные сотрудниками кафедры ХТОСА А. И. Дробыжевским, В. М. Ериным, Л. Ф. Егоровой, В. А. Рекшинским, А. М. Пыжовым и многими другими, позволили разработать пиротехнические составы для ге-

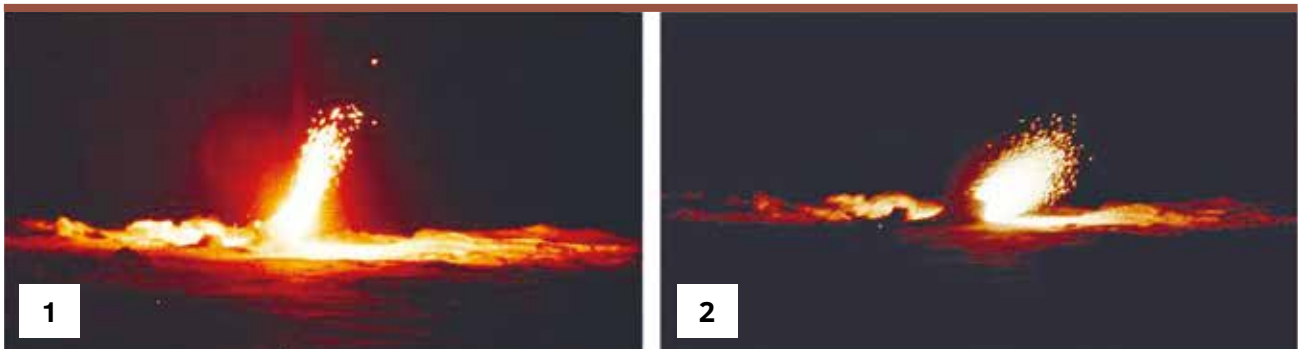


Рис. 1. Испытание генераторов паров бария (1) и лития (2) на суше



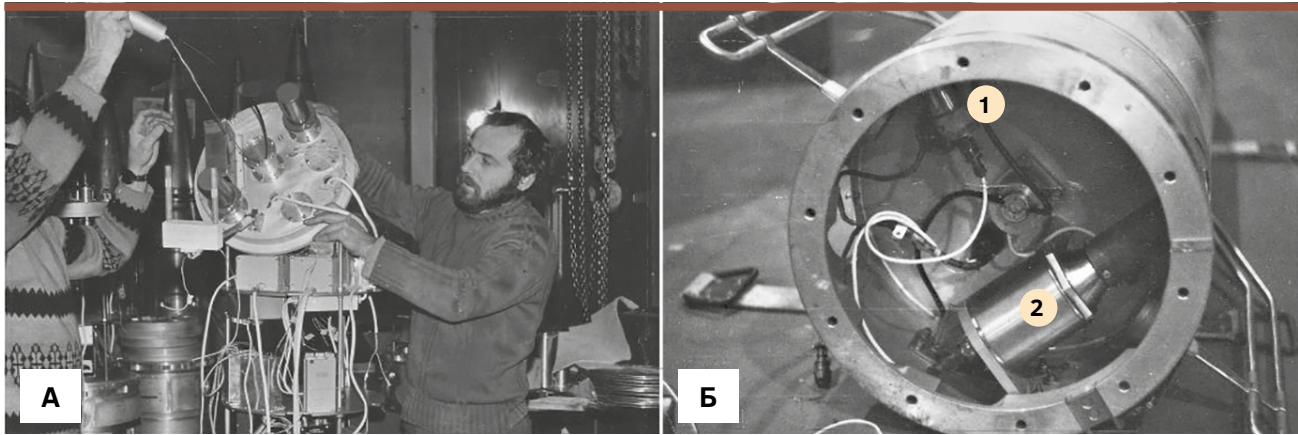
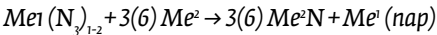


Рис. 2. Монтаж приборного отсека ракеты МР-12 (А) и приборный отсек (Б) с установленными генераторами паров лития (1) и бария (2)

нерации паров бария (АС СССР № 1037630), лития и создать генераторы для их инъекции (Патент РФ № 2488265). Проведенные лабораторные и натурные испытания показали надежность работы генераторов для образования ИСО в верхних слоях атмосферы и их эффективность. Положительные результаты, полученные при создании облаков бария и лития, были положены в основу критериев по оценке возможности использования неорганических азидов для генерации паров других щелочных и щелочноземельных металлов. Проведенная впоследствии оценка подтвердила возможность генерации паров натрия, калия, рубидия, стронция и кальция с помощью соответствующих азидов. Азиды в данных реакциях служат окислителем и одновременно поставщиком парообразных щелочных и щелочноземельных металлов, а используемый металл является горючим. Обобщенное уравнение химической реакции горения подобных азидных составов выглядит следующим образом:



Где  $Me_1 - Li, Na, K, Rb, Ca, Ba$ ;  $Me_2 - Ti, B, Al, Be, Si, Zr$  и др.

За счет высокой теплоты горения образующиеся барий, литий и другие металлы выделяются в парообразном состоянии, а тугоплавкий нитрид металла, имеющий температуру плавления больше, чем температура процесса (например, температура плавления нитрида титана составляет около 3000 °C [11]), остается в виде компактного твердого остатка. Выход испаряемых металлов при горении разработанных составов в лабораторных условиях достигал более 99%, причем какие-либо посторонние примеси-загрязнители отсутствовали. Кроме того, пары всех приведенных металлов получают химическим путем — за счет разложения соответствующего азиды металла, что является дополнительным фактором повышения выхода металла и его чистоты в парообразном состоянии.

В дальнейшем были разработаны простые и доступные способы получения практически всех упомянутых азидов металлов.

В течение ряда лет сотрудники кафедры ХТОСА принимали участие в экспериментах ИЭМ НПО «Тайфун» (г. Обнинск) по изучению верхних слоев атмосферы методом ИСО, создаваемых с помощью разработанных устройств для генерации паров бария и лития в условиях полярных, средних и южных широт. ИСО создавались с помощью ракет МР-12, пуски которых проводились на станциях ракетного зондирования атмосферы (СРЗА), расположенных на острове Хейса (80°37' с. ш., 58°03' в. д.), ракетном полигоне Капустин Яр (48°41' с. ш., 44°21' в. д.) и на станциях морского базирования, оборудованных на научно-исследовательских судах «Профессор Визе» и «Профессор Зубов».

На рисунках 1 – 4 приведены некоторые моменты подготовки и проведения экспериментов на СРЗА на острове Хейса в 1980 году: испытание генераторов паров металлов на работоспособность на суше (рис. 1); монтаж приборного отсека ракеты МР-12 (рис. 2); подготовка головной части ракеты МР-12, транспортировка на пусковую установку и пуск ракеты (рис. 3); схемы расположения и эволюции облаков ИСО в экспериментах (рис. 4).

В экспериментах на острове Хейса на вершине траектории ракеты выбрасывался парообразный барий, затем, через 10 – 15 секунд – смесь ТМА/ТЭА или парообразный натрий, а чуть позже – парообразный литий. После образования облаков паров бария наблюдалось очень быстрое отделение ионизированной компоненты облака пурпурного цвета и ее перемещение к полярному сиянию. Испытания генераторов полностью подтвердили их высокую надежность и эффективность.

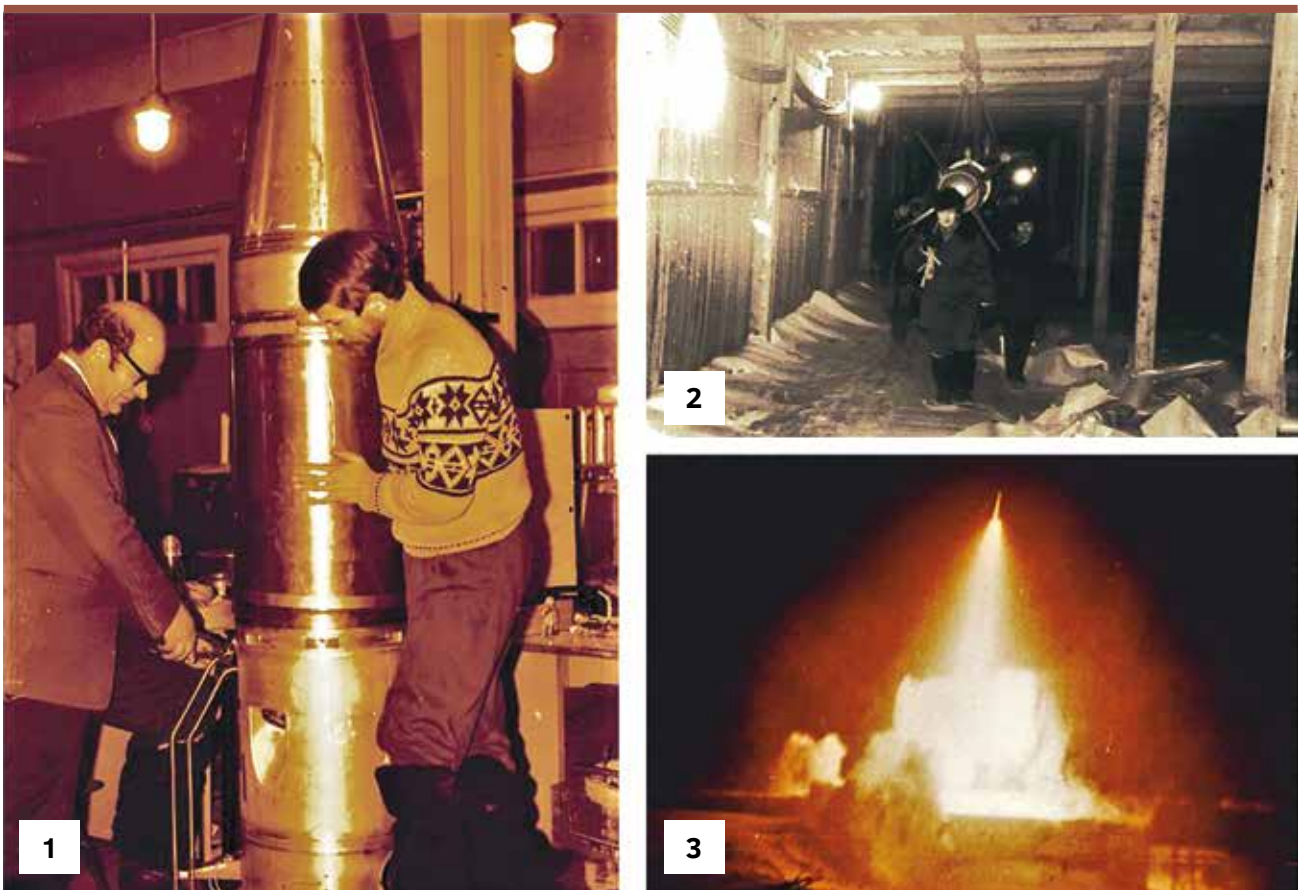


Рис. 3. Подготовка головной части ракеты МР-12 (1), транспортировка ракеты на пусковую установку (2) и пуск ракеты (3)

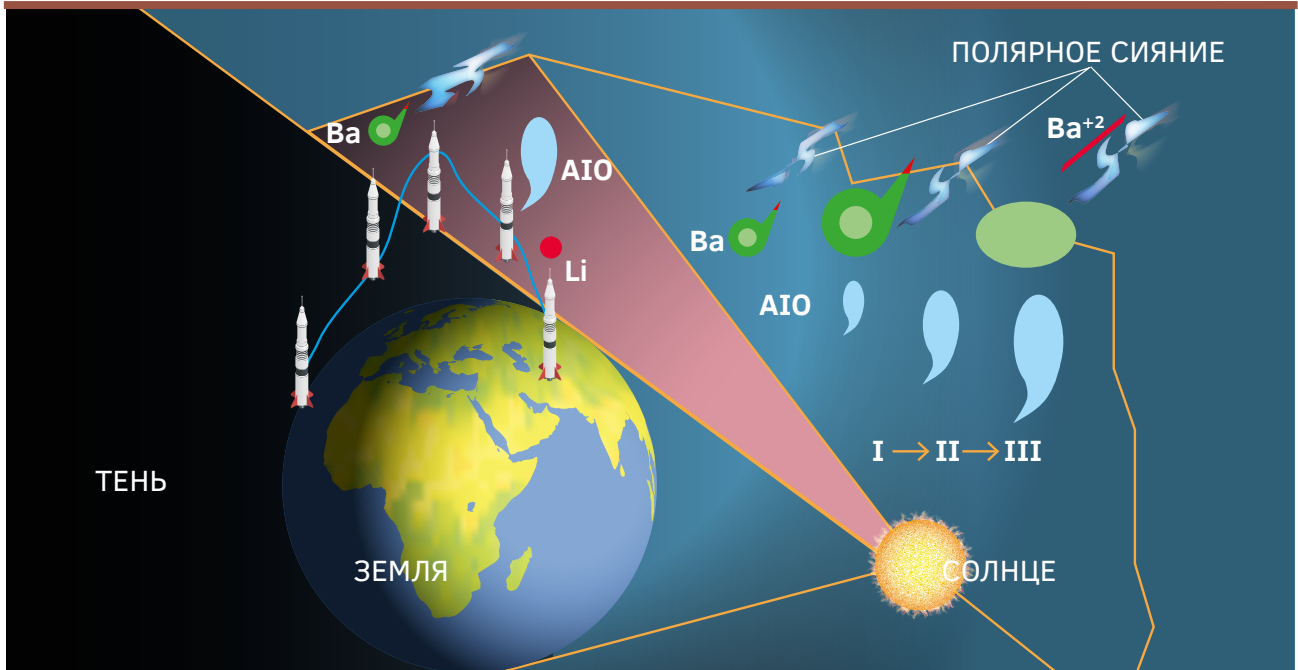


Рис. 4. Схемы расположения и эволюции облаков ИСО в экспериментах



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были разработаны эффективные и простые способы получения азидов щелочных и щелочноземельных металлов, что определило возможность их использования в составах для генерации паров щелочных и щелочноземельных металлов в верхних слоях атмосферы и околоземного космического пространства.

Многолетние натурные испытания генераторов паров металлов в различных широтах и климатических условиях Земли показали их высокую надежность и эффективность.

В настоящее время космические агентства различных стран широко используют методы ИСО для ракетного зондирования ионосферы нашей планеты. Например, совместный проект США и Норвегии AZURE посвящен изучению ионосферы в полярных широтах планеты [12].

Россия продолжает занимать лидирующее положение в мире по разработке и применению азидных пиротехнических составов для образования ИСО, однако происходящее в настоящее время перепрофилирование кафедры ХТОСА СамГТУ грозит закрытием этого направления в стране.

### Литература

1. **Саган К.** Мозг Брока. О науке, космосе и человеке. Пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн, 2018. 458 с.
2. **Герендель Г., Люст Р.** Искусственные облака плазмы в космическом пространстве // Успехи физических наук. 1969. Т. 98. Вып. 4. С. 709 – 721.
3. **Подгорный И.М.** Активные эксперименты в космосе. М.: Знание, 1974. 64 с.
4. Историческая серия «ТМ». Первые метеорологические / под редакцией: академика В. Мишина; летчика-космонавта СССР В. Аксенова. Коллективный консультант: Государственный музей истории космонавтики имени К. Э. Циолковского // Техника – Молодежи. 1981. № 6. С. 40 – 41.
5. **Железняков А.Б.** 100 лучших ракет СССР и России. Первая энциклопедия отечественной ракетной техники. М.: Яуза-пресс, 2016. 152 с.
6. **Гордон А., Форд Р.** Спутник химика. Физико-химические свойства, методики, библиография. Перевод с англ. М.: Мир, 1976. 541 с.
7. **Шидловский А.А.** Основы пиротехники. М.: Машиностроение, 1964. 340 с
8. **Дробыжев А.И., Пыжов А.М., Рекшинский В.А. и др.** Создание искусственных облаков пареообразных щелочных и щелочноземельных металлов в верхней атмосфере Земли // Вестник СамГУ. 2012. № 3/1(94). С. 137 – 144.
9. **Дымович Н.Д.** Ионосфера и ее исследование. М.-Л.: Энергия, 1964. 40 с.
10. **Петров Г.Г.** Азотное горение металлов // Физика горения и взрыва. 1975. № 3. С. 362.
11. Химический энциклопедический словарь. Гл. ред. Кнунянц И.Л. М.: Советская энциклопедия, 1983. 792 с.
12. NASA (США) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/sounding-rocket-mission-will-trace-auroral-winds> (Дата обращения: 04.01.2020).

### References

1. **Sagan K.** Mozg Broka. O nauke, kosmose i cheloveke. Moscow, Al'pina non-fikshn, 2018. 458 p.
2. **Gerendel' G., Lyust R.** Iskusstvennye oblaka plazmy v kosmicheskom prostranstve. Uspekhi fizicheskikh nauk, 1969, vol. 98, iss. 4, pp. 709 – 721.
3. **Podgornyy I.M.** Aktivnye eksperimenty v kosmose. Moscow, Znanie, 1974. 64 p.
4. Istoricheskaya seriya «ТМ». Pervye meteorologicheskie. Eds. akademik V. Mishin; letchik-kosmonavt SSSR V. Aksenov. Tekhnika – Molodezhi, 1981, no. 6, pp. 40 – 41.
5. **Zheleznyakov A.B.** 100 luchshikh raket SSSR i Rossii. Pervaya entsiklopediya otechestvennoy raketnoy tekhniki. Moscow, Yauza-press, 2016. 152 p.
6. **Gordon A., Ford R.** Sputnik khimika. Fiziko-khimicheskie svoystva, metodiki, bibliografiya. Moscow, Mir, 1976. 541 p.
7. **Shidlovskiy A.A.** Osnovy pirotekhniki. Moscow, Mashinostroenie, 1964. 340 p.
8. **Drobyzhev A.I., Pyzhov A.M., Rekshinskiy V.A. et al.** Sozdanie iskusstvennykh oblakov paroobraznykh shchelochnykh i shchelochnozemel'nykh metallov v verkhney atmosfere Zemli // Vestnik SamGU, 2012, no. 3/1(94), pp. 137 – 144.
9. **Dymovich N.D.** Ionosfera i ee issledovanie. Moscow – Leningrad, Energiya, 1964. 40 p.
10. **Petrov G.G.** Azotnoe gorenje metallov. Fizika goreniya i vzryva, 1975, no. 3, pp. 362.
11. Khimicheskij entsiklopedicheskiy slovar'. Ed. Knunyants I.L. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya, 1983. 792 p.
12. NASA. Available at: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/sounding-rocket-mission-will-trace-auroral-winds> (Retrieval date: 04.01.2020).

© Дробыжев А.И., Пыжов А.М., Сеницын Д.А., 2020

#### История статьи:

Поступила в редакцию: 12.01.2020

Принята к публикации: 19.02.2020

Модератор: Гесс Л.А.

Конфликт интересов: отсутствует

#### Для цитирования:

Дробыжев А.И., Пыжов А.М., Сеницын Д.А. Азидный способ генерации паров металлов в космосе // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 3. С. 102 – 108.

