

Научно-исследовательская работа

Экология

**ЭКОЛОГИЯ ЗАПУСКОВ РАКЕТ НА ПРИМЕРЕ
КОСМОДРОМА ПЛЕСЕЦК**

Выполнил:

Юлдашев Максим Маратович

учащийся 10 класса

Дворец пионеров и школьников им. Н.К.Крупской,

г. Челябинск

Папулова Наталика Владимировна,

педагог дополнительного образования

высшей категории, Дворец пионеров и

школьников им. Н.К.Крупской

г. Челябинск

Введение

Космическая эра насчитывает более полувека. За этот период в космос запущено десятки тысяч ракет! И каждый год при старте космических аппаратов на Землю падают сотни их ступеней. На орбите постоянно вращается мусор из разрушенных спутников. Запуски ракет влияют и на климат планеты. На высотах от 15 до 50 км происходит разрушение озоносферы продуктами сгорания топлива ракетных двигателей. **Актуальность** этой проблемы очевидна, ведь этот слой атмосферы защищает человека и все живое на Земле от ультрафиолетового излучения.

Еще в 2008 году Роскосмос планировал изменить область падения ступеней межконтинентальных баллистических ракет, запускаемых с Байконура. Ступени ракет должны были падать на границе Челябинской и Свердловской областей. Но в 2011 году, взвесив все «за» и «против», Правительство Челябинской области решило не подписывать соглашение с Роскосмосом. Но что бы стало с экологией, природой, со здоровьем людей, если эти планы стали бы реальностью?

Цель работы: на примере космодрома «Плесецк» и зон падения ступеней ракет изучить влияние запусков ракет на экологическую обстановку.

Для этого поставлены следующие **задачи:** изучение источников информации по теме; анализ, используемого в настоящее время топлива; определение способов устранения негативного воздействия на окружающую среду; проведение опыта по влиянию керосина на растения; посещение космодрома «Плесецк»; составить карту падения ступеней ракет.

Объект исследования: космодром «Плесецк» и зоны падения ступеней при запуске ракет.

Предмет исследования: экологическая обстановка в местах падения ступени ракет.

1 Общие сведения

Ракетные двигатели работают по тому же принципу, что и реактивные. Они движутся вперед, выталкивая из себя мощный поток газов, образующихся при сгорании топлива. Для работы ракетных двигателей используется жидкий кислород или окислитель, представляющий собой химическое соединение, содержащее кислород, необходимый для сгорания [1].

Существующие ракетно-космические системы реализованы, как правило, по многоступенчатой схеме: они имеют от 2 до 6 ступеней и множество других отделяемых элементов, каждый из которых отбрасывается в процессе выведения в космос космического аппарата. Отработавшие первые ступени отделяются на высотах 60-90 км. Скорость движения ступени при вхождении в плотные слои атмосферы недостаточна для ее разрушения. В случае содержания в них остатков НДМГ¹ и азотного тетраоксида при ударе об грунт возможен взрыв, в результате чего фрагменты ступеней разлетаются в стороны от места падения, а продукты сгорания и непрореагировавшие остатки топлива попадают в атмосферу и почву. Первые ступени ракет, использующих углеводородное топливо, падают без взрыва. Оставшийся керосин проливается на почву и испаряется в атмосферу. Иногда возможно воспламенение проливов.

Вторые ступени отделяются на высотах 140-160 км. При вхождении в плотные слои атмосферы происходит нагрев ступени до температуры, приводящей к взрыву (на высотах примерно 35-40 км) остатков топлива в баках и его разрушение.

В настоящее время в ракетоносителе «Протон-М» при отстыковке ступени осуществляется продувка баков от остатков топлива. Этот процесс сопровождается загрязнением атмосферы компонентами топлива на больших высотах, но значительно меньшим – в местах падения.

Воздействие на окружающую среду в аварийных ситуациях проявляется более интенсивной характеризуются длительным загрязнением почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, растительности, воздействием на живые

¹ НГМД - Несимметричныйдиметилгидразин компонент высококипящего ракетного топлива

организмы и человека. Например, пуск ракеты-носителя «Протон-М», осуществленный 6 сентября 2007 г. с космодрома «Байконур», был аварийным. «Протон-М» после неудачного запуска с космодрома «Байконур» упал в 40 км от города Жезказган, залил его окрестности гептилом - высокотоксичным топливом (на момент падения в ракете-носителе его оставалось 218 тонн 979 килограммов)[11].

2 Космодром «Плесецк»

Влияние пусков ракет я решил показать на примере космодрома «Плесецк», где мы побывали во время экспедиции с клубом любителей астрономии «Апекс» и его руководителем Папуловой Наталикой Владимировной (Рисунок А.1).

Космодром представляет собой научно-технический комплекс. Он имеет стационарные технические и стартовые комплексы для всех типов отечественных ракет-носителей лёгкого и среднего класса (Рисунок А.2).

Всего для реализации деятельности космодрома «Плесецк» было отведено 24 сухопутных района падения. (Рисунок А.3) Общая площадь районов падения – 78 тыс. кв. км. Кроме того, есть морские районы падения в акваториях Карского, Баренцева, Восточно-Сибирского морей, Северного-Ледовитого и Тихого океана. На территории Архангельской области находится 11 «полей падения» — 6 районов падения отделяющихся частей ракет и 5 районов падения отделяемых частей межконтинентальных баллистических ракет: «Двинской», «Сия», «Пинега», «Койда», «Мосеево», «Бычьё» и другие. В связи с уменьшением количества запусков происходит снижение нагрузки на районы падения. Район «Бычьё» не задействовался с 1977 года, «Новая Земля» — с 1979 года, «Куприяново» — с 1981 года, «Двинской» — с 1998 года. Только районы «Койда» и «Мосеево» использовались для проведения пусков ракет космического назначения «Циклон». Остальные районы использовались под падение боковых блоков ракет-носителей «Союз», «Молния», «Союз-2». По состоянию на 2006 год на космодроме проводились пуски двух типов межконтинентальных баллистических ракет «Тополь» и «Тополь-М», для чего

использовались 2 района падения: «Сия» и «Пинегга». На территории Ненецкого автономного округа таких «полей падения» — 9 («Нарьян-Мар» и др.), в Республике Коми — 4: «Печора», «Усть-Цильма», «Железнодорожный», «Вашка». В 2012 году ребята из нашего клуба любителей астрономии «Апекс» во время экспедиции на Алтай, посетили один из таких районов падения, где обнаружили различные обломки и фрагменты ракет (Рисунок А.5).

Долгое время «Плесецк» являлся самым рабочим космодромом в мире по количеству осуществленных запусков. За время существования космодрома с его пусковых установок было запущено около 40% всех космических аппаратов планеты. С «Плесецка» осуществлялись пуски ракет-носителей типа «Восток», «Восход», «Молния», «Союз», «Космос-3М», «Циклон-3», «Рокот» и «Ангара». Во время экспедиции клуба любителей астрономии «Апекс», мы побывали в музее, где представлены макеты всех этих кораблей (Рисунок А.4).

В настоящее время на космодроме эксплуатируются ракеты-носители лёгкого класса «Ангара-1.2», «Союз-2.1в», «Рокот», среднего класса «Союз-2.1а», «Союз-2.1б», тяжелого класса «Ангара-А5».

Проведя анализ ракет-носителей, запускаемых с космодрома «Плесецк» я выяснил, что в качестве топлива почти все они используют углеводородное топливо (керосин + жидкий кислород). В настоящее время космодром использует только одну РН, работающую на токсичном топливе (гептиле) — «Рокот» (Рисунок А.6).

3 Влияние на экологию и человека

В качестве основных элементов горючего в ракетных двигателях используются такие вещества, как НДМГ, азотные окислители (азотный тетраоксид - АТ и азотная кислота - АК), углеводороды (керосин, нафтил и синтин), криогенные окислители (жидкий водород и жидкий кислород). Считается, что криогенные окислители не оказывают вредного воздействия на окружающую среду. Проблемы загрязнения связаны преимущественно с токсичностью НДМГ, АТ, АК и керосина, а также продуктов их деградации в почве, воде, тканях растений и животных.

Разрушение баков с горючим сопровождается интенсивным испарением топлива, загрязнением атмосферы, почвы, грунтовых и поверхностных вод. При этом следует помнить, что в топливных магистралях отделяющихся частей жидкотопливных ракет содержится масса опасных для человека и животных веществ. Это, в одних случаях, гидразин и его производные с азотным окислителем, в других - остатки углеводородного горючего (керосина). Азотный тетраоксид вызывает кислотные ожоги растений, гибель гидробиоты² и микрофлоры почвы. Керосин, очень устойчивый в почве и почти не разрушающийся химическим путем, накапливаясь в водоемах, ведет, в конечном итоге, к уничтожению нерестилищ рыб. Но наибольшую опасность из множества компонентов ракетных топлив представляет гидразин, который, по данным экспертов Всемирной организации здравоохранения, являясь веществом 1-го класса, вызывает тяжелые отравления даже в малых дозах. Гидразин в небольших дозах выступает для растительности в роли удобрения. Но птицы, рыбы и дикие животные, поедаящие эти растения и пьющие зараженную воду, становятся опасными для человека.

Научное подтверждение этому я нашел в диссертации старшего научного сотрудника Центра научно-исследовательской лаборатории Северного государственного медицинского университета (СГМУ) Скребцовой Нины Валентиновны «Медико-экологическое обоснование мониторинга здоровья на территориях влияния ракетно-космической деятельности» [5]. Ее исследование построено с учетом требований доказательной медицины. Было организовано 11 экспедиционных выездов в населенные пункты Архангельской области и Республику Коми. Проведено комплексное медицинское обследование населения 14 населенных пунктов Архангельской области, общее количество - 2265 человек. С целью получения данных по заболеваемости и смертности населения изучены истории болезни, акты о смерти, отчетные формы архивов районной и областной больниц, онкологического диспансера, архива Областного ЗАГСа, Государственного Архива Архангельской области. Анализ

²Гидробиоты - организмы, приспособленные к обитанию в водной среде

проведен по 33 селам Мезенского р-на за 47 лет (с 1955 по 2002 г.п) с учетом удаленности села от района падения отделяющихся частей ракет-носителей. По результатам работы она сделала следующие выводы: 1) в группах населения, проживающего вблизи района падения ОЧРН³, до 58% обследованных имеют доклинические признаки нарушения функционального состояния печени, которые сопровождаются эндогенной интоксикацией организма и нарушениями липидного обмена; 2) факторами риска нарушения функционального состояния детоксикационных систем являются: потенциальный контакт с КРТ: нахождение в непосредственной близости от ступени, использование ОЧРН в хозяйстве, употребление воды из источников, находящихся в радиусе 20 м от ОЧРН, ягод и грибов, собранных рядом с местом падения ОЧРН, употребление в пищу оленины и рыбы из районов падения ОЧРН. Скребцова Н.В. показала зависимость заболевания жителей от количества пуска ракет с НГМД с 1980 по 1996 гг. Необходимо отметить, что не выявлено какой-либо взаимосвязи между онкопатологией и пуском ракет, использующих более безопасное топливо из семейства керосинов. В настоящее время ситуация изменилась в лучшую сторону. Это, во-первых, связано с уменьшением пуска ракет, а во-вторых, с тем, что в качестве топлива стали использовать более экологичное топливо – керосин.

4 Топливо НДМГ (гептил). Продукты горения

Что же представляет собой токсичное топливо гептил? Бесцветная прозрачная жидкость с резким неприятным запахом, характерным для аминов. Температура кипения +63.1°C, кристаллизации -58°C. Хорошо смешивается с водой, нефтепродуктами, спиртами и многими органическими растворителями. Легко самовоспламеняется с окислителями на основе азотной кислоты и азотногететраоксида, что обеспечивает легкий запуск и стабильную работу ракетных двигателей. Обладает сильным токсическим действием. Наиболее опасным источником отравления является вдыхание паров. Действие на организм человека: раздражение слизистых оболочек глаз, дыхательных путей

³ ОЧРН -отделяющиеся части ракеты-носителя

и легких; сильное возбуждение центральной нервной системы; расстройство желудочно-желудочного тракта (тошнота, рвота). Попадание брызг в глаза может вызвать мгновенную боль, слезотечение и покраснение. При вдыхании паров возможен кашель, боли в грудной клетке, хрипота и учащение дыхания; в больших концентрациях может наступить потеря сознания.

Какие продукты сгорания гептила и амила (окисления) получаются при запуске ракет носителей. В википедии всё просто и безобидно: $\text{H}_2\text{NN}(\text{CH}_3)_2 + 2\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ - вода, азот и углекислый газ. А в жизни всё сложнее: Когда эти продукты сгорания встречается с воздухом + органика (пыльца) + пыль + оксиды серы + метан + пропан и т.д., то результаты окисления/горения выглядят так:

Нитрозодиметиламин (химическое название: N-метил-N-нитрозометанами́н). Образуется при окислении гептилаамилом. Хорошо растворим в воде. Вступает в реакции окисления и восстановления, с образованием гептила, диметилгидразина, диметиламина, аммиака, формальдегида и других веществ. Является высоко токсичным веществом 1-го класса опасности. Канцероген, обладает кумулятивными свойствами.

Тетраметилтетразен (4,4,4,4-тетраметил-2-тетразен) - продукт разложения гептила. Ограниченно растворим в воде. Стабилен в абиотической среде, в воде очень стабилен. Разлагается с образованием диметиламина и ряда неидентифицированных веществ. По токсичности имеет 3-й класс опасности.

Диоксид азота NO_2 -сильный окислитель, органические соединения загораются в смеси с ним. В обычных условиях диоксид азота существует в равновесии с амилом (тет-раоксидом азота). Оказывает раздражающее действие на зев, может быть одышка, отеки легких, слизистых оболочек дыхательных путей, дегенерация и некроз тканей в печени, почках, головном мозге человека. Класс опасности-2.

Оксид углерода (угарный газ)-продукт неполного сгорания органических (углеродсодержащих) видов топлива. Монооксид углерода может длительно (до 2 месяцев) находиться в воздухе без изменения. Оксид углерода-яд.

Связывает гемоглобин крови в карбоксигемоглобин, нарушая способность к переносу кислорода к органам и тканям человека. При наличии в воздухе одновременно оксида углерода и соединений азота токсическое действие оксида углерода на людей усиливается.

Синильная кислота (цианистый водород) - это сильный яд. Синильная кислота чрезвычайно токсична. Адсорбируется неповреждённой кожей, оказывает общетоксическое действие: головная боль, тошнота, рвота, расстройство дыхания, асфиксия, судороги, может быть смерть. При остром отравлении синильная кислота вызывает быстрое удушье, повышение давления, кислородное голодание тканей. При небольших концентрациях возникает ощущение царапанья в горле, жгуче горький вкус во рту, слюнотечение, поражение конъюнктивы глаз, мышечная слабость, пошатывание, затруднение речи, головокружение, острая головная боль, тошнота, рвота, позывы к дефекации, прилив крови к голове, усиленное сердцебиение и другие симптомы.

Формальдегид (муравьиный альдегид)-токсин. Формальдегид обладает резким запахом, он сильно раздражает слизистые оболочки глаз и носоглотки даже при незначительных концентрациях. Оказывает общетоксическое действие (поражение центральной нервной системы, органов зрения, печени, почек), оказывает раздражающее, аллергенное, канцерогенное, мутагенное действие. Как мы видим, не только сам гептил, но и продукты его распада чрезвычайно опасны для человека и окружающей среды.

5 Способы предотвращения разлива гептила

На сегодняшний день пока не найдены эффективные методы обезвреживания компонентов ракетного топлива. Длительность самоочищения почв от некоторых компонентов составляет более 30 лет, керосина – 5 лет. Применяемые в настоящий момент методы очистки загрязненных ракетным топливом районов можно разделить на физические и химические. Физические методы основаны на снижении концентрации вещества за счет его удаления, а

химические методы основаны на снижении концентрации токсиканта⁴ за счет его разложения до нетоксичных (малотоксичных) продуктов.

Проанализировав различные источники информации, я определил для себя несколько способов уменьшить воздействие токсичного топлива на человека и экологию.

5.1 Замена топлива

Самый простой способ, который приходит сразу же на ум, это конечно замена токсичного, вредного топлива на более экологичное. Что и происходит постепенно с новыми ракетами-носителями. Но просто поменять топливо не получится, это неизменно влечет много проблем в плане изменения конструкции самой ракеты, ее двигателей, переоборудования (а, возможно, и создание нового) стартового комплекса. Минус в том, что данный способ не исключает падения ступеней и разлива неотработанного топлива. При этом экологичное оно только по отношению к имеющимся видам топлива.

5.2 Использование многоразовой ступени

По моему мнению, данный способ выгоден с разных сторон. Во-первых, финансовой: повторное использование первой ступени поможет сэкономить до 30 процентов от стоимости ракеты; исключаются расходы на поиск, утилизацию самой ступени, последствий ее падения и разлива топлива; выплаты компенсаций пострадавшим районам и людям. Во-вторых, экологической: отсутствует пагубное влияние токсичных элементов на здоровье людей, животных и растения; исключается разлив топлива (за исключением внестатных ситуаций).

К сожалению, данный способ дальше теоретических разработок и испытания опытных образцов вперед не продвинулся. Исключение составляет первая ступень Falcon 9 американской компании SpaceX⁵, которая может быть повторно использована, на неё установлено оборудование для возврата и вертикального приземления на посадочную площадку или плавающую

⁴Токсикант - ядовитое для организма вещество

⁵SpaceX – (SpaceExplorationTechnologiesCorporation) американская компания, производитель космической техники со штаб-квартирой в городе Хоторн, Калифорния, США

платформу. Совсем недавно, 12 апреля 2019 года состоялось успешное приземление сразу трех первых ступеней ракеты Falcon Heavy. Со слов академика Российской академии космонавтики им. К. Э. Циолковского Александра Железнякова, в советской космонавтике также были разработки в этом направлении. Однако в них не увидели перспектив из-за низкой эффективности [12]. Сегодня «Роскосмос» снова вернулся к этим разработкам.

Интерес в этой области так же вызывают такие разработки как:

1) **Парашюты.** С развитием синтетических тканей парашюты становятся всё легче и потенциально привлекательней для возврата космической техники. Самый заметный минус - система неуправляемая и для посадки потребуется выделение зоны отчуждения.

2) **Крыло Рогалло.** В 60-е годы НАСА проводило исследования раскладывающегося в полете крыла Рогалло для обеспечения управляемой посадки корабля «Джемини» и спасения первой ступени ракеты «Сатурн-1». Такое крыло занимало 20% веса модели ступени.

3) **Жесткое крыло.** Многоразовая первая ступень с жесткими крыльями, например, «Энергия-2», «Байкал». По сути это полноценный самолёт с двигателем и запасом топлива для обеспечения возврата и посадки на аэродром недалеко от места пуска.

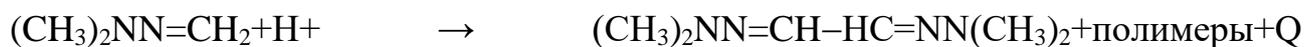
4) **Вертолётный подхват.** При снижении ступени на парашюте эту ступень можно не ронять на землю, а ловить вертолётном, который затем обеспечит гарантированно мягкую посадку в нужном месте.

5.3 Химический способ

Сущность способа уменьшения токсичности НДМГ заключается в подаче в топливные баки ракет 20 % раствора формалина: $(\text{CH}_3)_2\text{NNH}_2 + \text{CH}_2\text{O} = (\text{CH}_3)_2\text{NN}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Q}$. Данная операция в избытке формалина приводит к полному уничтожению НДМГ путем его превращения в диметилгидразон формальдегида за один цикл обработки за время 1-5 секунд. При этом исключается образование диметилнитрозоамина $(\text{CH}_3)_2\text{NN}=\text{O}$.

Следующей фазой процесса является уничтожение

диметилгидразонаформальдегида (ДМГФ) путем добавления в баки уксусной кислоты, вызывающей димеризацию ДМГФ в бис-диметилгидразонглиоксаля и полимерную массу. Время проведения реакции — около 1 минуты:



Образующаяся масса умеренно токсична, хорошо растворима в воде.

5.4 Криогенный способ(заморозка)

Для ликвидации последствий техногенных загрязнений, в том числе и разливов ракетного топлива, связанных с эксплуатацией ракет-носителей, предлагается использование криогенного метода замораживания с последующей утилизацией загрязненного грунта. Для замораживания в местах со сложным рельефом поверхности загрязненного грунта изготовлен опытный образец распылителя жидкого азота типа «пистолета» и проведены испытания, доказывающие заявленную его эффективность (Рисунок А.7). В качестве объекта замораживания использовалось наиболее экологически токсичное ракетное топливо— НДМГ.

6 Опыт с керосином

В различных источниках информации говорится, что современные ракеты летают на экологическом топливе – керосине. Я решил узнать, настолько ли он экологичен и неопасен для окружающей среды? Авиационного керосина у меня нет, так что для эксперимента я взял обычный керосин. На этикетке имеется предупреждение о его токсичности! Керосин имеет сильный, неприятный, устойчивый запах, а при попадании на кожу рук, даже после двукратного тщательного мытья с мылом, запах остается.

Опыт я решил провести на растениях в моем саду. Для эксперимента выбрал: часть морковной грядки заросшей сорняками; редис; одуванчик; куст виктории; ветку сосны (Рисунки А.8).

Через два часа заметные изменения произошли на морковной грядке, с редисом и одуванчиком. На обработанной части грядки скрутились все растения, за исключением моркови и укропа. Подобный эффект наблюдался в радиусе 10-20 сантиметров от обработанной части, куда попадала часть

распрыскиваемого керосина. Ботва у редиса свернулась и пожухла, а сам плод выглядел полупрозрачным, покрыт маслянистой пленкой. У одуванчика изменения произошли только с цветами - они повяли. Листва осталась без изменений. У куста виктории и ветки сосны никаких изменений не выявлено.

Спустя сутки на грядке остались только ростки моркови и укропа, остальные растения погибли. У редиса скрутилась не только ботва, но и начал гнить корнеплод - потерял форму и сморщился. У одуванчика пожухла часть листьев и стеблей, цветы закрылись, а уцелевшие стебли легли на землю. На виктории у раскрывшихся цветов завернулись лепестки, местами листья потемнели, а их края закрутились. На сосне иголки остались без изменений, только часть молодых побегов наклонились в низ.

На основании проделанной работы, я могу сделать вывод, что керосин пагубно влияет на большинство растений и о его экологичности говорить не приходится. Конечно, керосин не так опасен, токсичен как гептил, и основная его часть сгорает в двигателе, но если остатки топлива долетят до земли и прольются то погибнут многие растения. Наш сосед, бывший летчик рассказывал, что при взлете самолетов за ним тянется шлейф несгоревшего керосина и все это оседало на растения. А в тех местах, куда часто попадал керосин (при сливе топлива и т.п.), трава не росла много лет!

Выводы

На данный момент нельзя полностью отказаться от применения токсичных видов ракетного топлива по экономическим причинам, и потому, что они позволяют при меньшей массе выводить полезную нагрузку в разы больше, чем их экологичные конкуренты. В настоящее время ведутся исследования перспективных видов топлив, разработка которых позволит полностью перейти на экологически чистое ракетное топливо. Но пока, даже так называемое экологичное топливо – керосин, на деле оказывается не так уж и безобиден.

Необходимо отметить, что возникающие проблемы экологического характера могут быть обусловлены несколькими причинами:

- воздействие компонентов ракетных топлив и продуктов их сгорания как

при штатных, так и при аварийных запусках непосредственно вблизи пусковых площадок;

- загрязнение окружающей среды высокотоксичными компонентами ракетных топлив в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей;

- замусоривание районов падения металлоломом;

- воздействие на верхние слои атмосферы, в том числе и уменьшение, хотя и не очень существенное и продолжительное, озонового слоя.

Список источников информации

Книги

1. Привезенцев К. Вселенная [Текст]– М.:Мир энциклопедий Аванта+, 2011 - 175 с.

Журналы

2. А.А.Ковьяров, А.Н.Кондратьев.Негативное воздействие компонентов ракетного топлива на состояние среды [Текст]: / Актуальный проблемы авиации и космонавтики: науч.журн., 2017, том 2. – с.592-593

3. А.С.Анопко.Влияние токсичных компонентов топлива на экологию Земли при запусках ракет [Текст]: / Научно-исследовательские публикации: науч.журн., 2016, №2. – с.135-140

4. К.П.Венгер,М.А.Романов, К.В.Туракевич, О.А.Феськов.Устройства и параметры процесса замораживания техногенных загрязнений жидким и газообразным азотом [Текст]: / Вестник Международной академии холода: науч.журн., 2018, №3. – с.14-21

Электронные ресурсы

5. Автореферат диссертации о влиянии космодрома Плесецк на здоровье жителей Архангельской облас [электронный ресурс]: <https://regnum.ru/news/784515.html>

6. Возрождение «Байкала»: что не так с российской многоразовой ракетой? [электронный ресурс]:https://vashinovosty.mediasalt.ru/vozrozhdenie_baykala_что_ne_tak_s_rossiyskoj_mnogorazovoy_raketoy

7. Горючие - компоненты ракетных топлив [электронный ресурс]: <http://www.plesetzk.ru/index.php?d=doc%2Finf&p=inf004>

8. Запуски [электронный ресурс]: <https://www.roscosmos.ru/26086/>

9. Космодром Плесецк [электронный ресурс]: <https://spacegid.com/kosmodrom-plesetsk.html#ixzz5nFdUfRKR>

10. Космодром Плесецк. Экологические последствия [электронный ресурс]: <http://nauka21vek.ru/archives/1395>

11. Ликвидация последствий аварии "Протон-М" в Казахстане завершена [электронный ресурс]: <https://ria.ru/20071015/83879603.html>

12. Плесецк (космодром) [электронный ресурс]: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Плесецк_\(космодром\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Плесецк_(космодром))

13. Почему в СССР отказались от работ по возврату первых ступеней ракет [электронный ресурс]: <https://www.infox.ru/news/282/science/universe/209353-pocemu-v-sssr-otkazalis-ot-rabot-po-vozvratu-pervyh-stupenej-raket>

14. Ракетное топливо: разновидности и состав [электронный ресурс]: <https://www.kakprosto.ru/kak-895199-raketnoe-toplivo-raznovidnosti-i-sostav>

15. Ракетно-космическая деятельность и здоровье человек [электронный ресурс]: <http://teplokot.ru/stat/2631-raketno-kosmicheskaya-deyatelnost-i-zdorove-cheloveka.html>

16. Советская ракета-носитель "Энергия" сверхтяжёлого класса [электронный ресурс]: <https://cosmos.mirtesen.ru/blog/43742340810/Sovetskaya-raketa-nositel-Energiya-sverhtyazhyologo-klassa?nr=1>

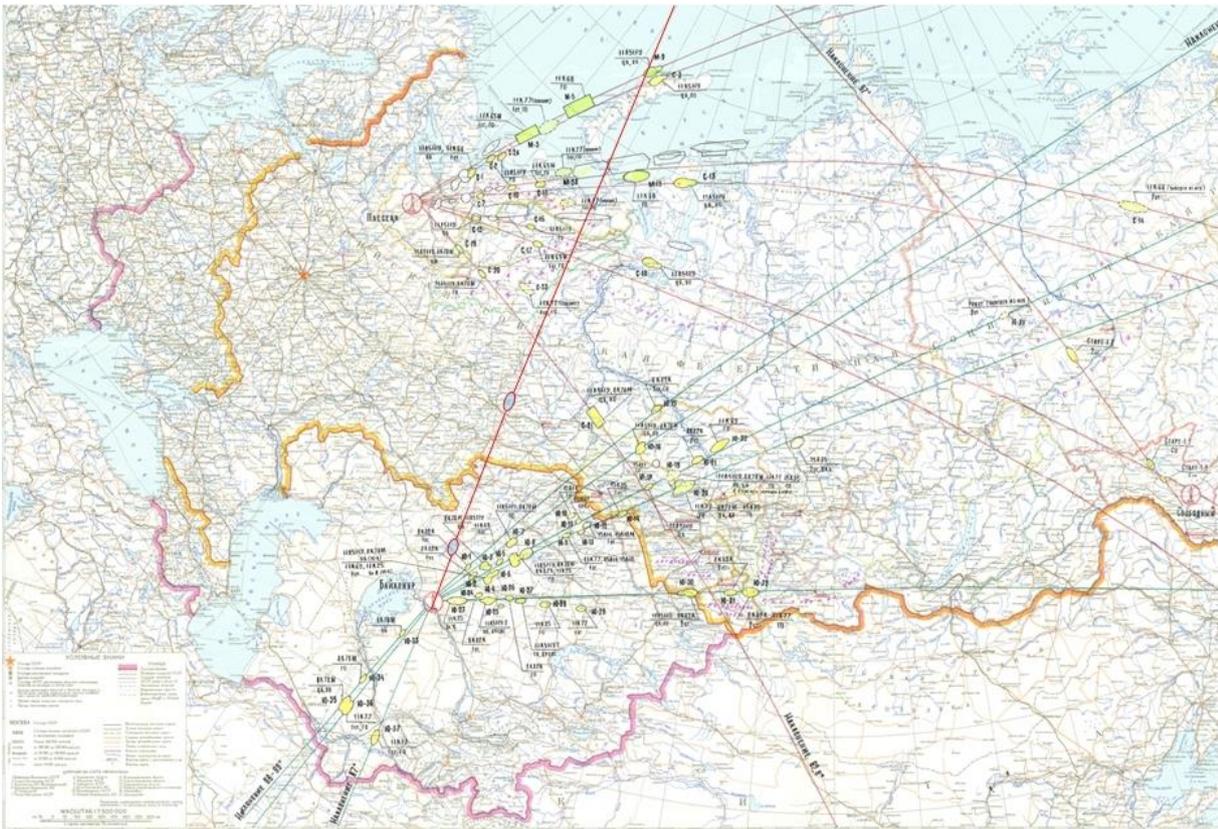


Рисунок А.3 Карта падения ступеней ракет



Рисунок А.4 Музей космодрома «Плесецк»



Рисунок А.5 Обломки ракет, найденные на Алтае в 2012 году ребятами из клуба любителей астрономии «Апекс»

Параметры	Ангара а 5	Ангара 1.2	РОКОТ	Союз-2.1в	Союз-2.1а	Союз-2.1б
Стартовая масса, т	759	171	172	160	314	314
Количество ступеней	3	2	3	2	3	3
Компоненты топлива	керосин РГ-1+ жидкий кислород	керосин РГ-1+ жидкий кислород	НДМГ+АТ	керосин Т-1 + жидкий кислород	керосин Т-1 + жидкий кислород	керосин РГ-1+ жидкий кислород
Маршевые двигатели						
1 ступень	РД-191	РД-191	3× РД-0233 и 1× РД-0234	НК-33, РД-0110Р, РД-0124	РД-107А	РД-107А
2 ступень	РД-191	РД-0124А	РД-0235	РД-0124	РД-108А	РД-108А
3 ступень	РД-0124А		С5.98М		РД-0110	РД-0124
Используемые разгонные блоки	Бриз-М/ДМ/КВТК	Бриз-КС/Бриз-КМ	Бриз-КМ	Волга	Фрегат, Волга	фрегат

Рисунок А.6 Таблица РН запускаемых с космодрома «Плесецк» и используемые компоненты топлива

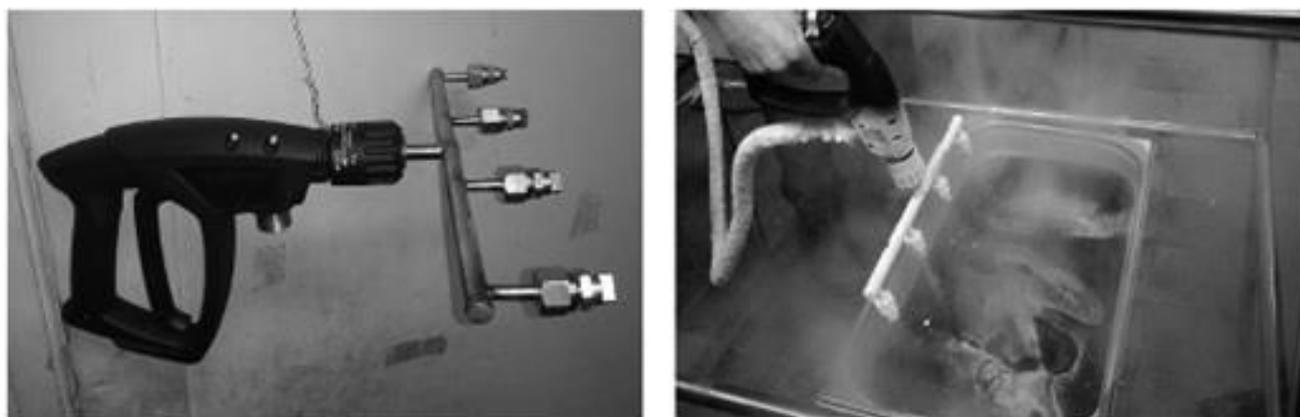


Рисунок А.7 Опытный образец распылителя жидкого азота типа «пистолета»

	Часть морковной грядки	Редис	Одуванчик	Куст виктории	Ветка сосны
Обработка					
Через 2 часа				Изменений нет	Изменений нет
Через сутки					