



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической
безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему: «Ракетно-космическая деятельность как фактор воздействия на
окружающую природную среду»

Исполнитель: Коробицына Анастасия Дмитриевна

Руководитель: доктор биологических наук, профессор,

Витковская Светлана Евгеньевна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Дроздов Владимир Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Оглавление

Введение	4
Глава 1 Ракетно-космическая деятельность в Мировом масштабе.....	6
1.1 Основные цели и задачи космических миссий	6
1.2 Космодромы в Море и РФ	9
1.3 Экологические проблемы ракетно-космической деятельности и их масштабы	19
1.3.1 Загрязнение окружающей среды ракетным топливом	19
1.3.2 Воздействие на окружающую среду при производстве изделий ракетно-космической техники.....	20
1.3.3 Проблемы утилизации космических отходов	20
1.3.4 Возникновение аварийных и нештатных ситуаций.....	21
1.3.5 Физическое загрязнение окружающей среды	23
Глава 2 Влияние ракетно-космической деятельности на окружающую среду	25
2.1 Объекты и изделия ракетно-космической техники, представляющие опасность для окружающей природной среды	25
2.1.1 Средства выведения космических аппаратов.....	25
2.1.2 Двигательные установки ракет космического назначения	28
2.2 Воздействие ракетно-космической техники на окружающую среду.....	32
2.2.1 Воздействие на атмосферу и климат.....	32
2.2.2 Воздействие на водные ресурсы.....	34
2.2.3 Воздействие на почвенный покров	35
2.2.4 Воздействие на здоровье населения.....	37
2.3 Экологическое состояние территории космодрома «Плесецк»	37
Глава 3 Объекты и методы исследования.....	39
3.1 Исследование с использованием тест-системы «Эколюм»	39
3.2 Исследование с использованием тест-культуры водоросли хлорелла	40
Глава 4 Оценка влияния гидразина как составного компонента ракетного топлива на окружающую среду	42
4.1 Общая характеристика гидразина и его применение в ракетной технике	42

4.2 Анализ результатов экспериментального исследования.....	45
4.2.1 Результаты исследования (тест-система «Эколюм»).....	45
4.2.2 Результаты исследования (тест-культура «Хлорелла»).....	47
4.3 Переход на экологически чистые виды ракетного топлива.....	52
Выводы	54
Список использованной литературы	56
Приложение А Сведения о космодромах Мира.....	60
Приложение Б Сведения о космических аппаратах и ракетных топливах	63
Приложение В Оборудование для проведения исследования.....	67

Введение

Актуальность исследования. В современном мире ракетно-космическая деятельность (РКД) активно развивается и является ключевым элементом широкого спектра научных исследований и, как следствие, оказывает влияние на качество окружающей среды. С развитием и совершенствованием технологий в данной области, растет и негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Многие страны имеют статус космической державы. С увеличением числа таких стран, возрастает и конкуренция на мировом космическом рынке, что неизбежно приводит к росту ракетных запусков и нагрузке на околоземное космическое пространство.

Среди множества источников антропогенного воздействия на экосистемы ракетно-космическая техника (РКТ) является одной из самых масштабных и эколого-экономически значимых источников. Токсичные компоненты ракетного топлива попадают в окружающую среду при пусках ракет космического назначения. В местах падения ракет-носителей происходит загрязнение твердыми фрагментами ракетной техники, и, как следствие, засоряется воздушная, наземная и водная среды (Ладыгина Л.Ф. и др., 2013).

Актуальность исследований в области оценки и прогноза воздействия РКД на окружающую среду обусловлена необходимостью совершенствования подходов к обеспечению экологической безопасности, управлению экологическим риском.

Цель исследования – анализ ракетно-космической деятельности как фактора воздействия на окружающую среду.

Задачи:

- 1) Охарактеризовать ракетно-космическую деятельность в мировом масштабе.
- 2) Изучить имеющуюся информацию о влиянии РКД на компоненты окружающей среды.

- 3) В условиях модельного лабораторного эксперимента установить влияние различных концентраций компонентов ракетного топлива (гидразина) на тест-объекты в водной среде.
- 4) На основе анализа экспериментальных данных и литературных данных оценить токсичность гидразина.

Объектом исследования являлась ракетно-космическая деятельность, в частности, объекты ракетно-космической техники.

Предмет исследования – компоненты окружающей природной среды, подверженные негативному влиянию ракетно-космической техники.

Работа изложена на 68 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 4 глав и выводов. Содержит 13 рисунков, 8 таблиц и 3 приложения. Список использованной литературы содержит 40 источников.

Глава 1 Ракетно-космическая деятельность в Мировом масштабе

1.1 Основные цели и задачи космических миссий

На сегодняшний день освоение космического пространства играет большую роль в развитии многих сфер жизнедеятельности человека. Ежегодно страны планируют и реализуют космические миссии разного масштаба и характера. Таким образом, формируются цели и задачи космических миссий, зависящие от типа миссий и используемых технологий для их осуществления.

Научные исследования – одна из явных и глобальных целей космических миссий. Более детальное изучение планет, звезд, галактик, астероидов, комет и других небесных тел позволит расширить понимание структуры Вселенной и протекающих в ней процессов. Изучая то, что окружает Землю, можно составлять прогнозы дальнейшего ее существования, возможных угроз со стороны естественных космических объектов (Кондратьев и др., 2015).

В пределах Млечного Пути, исключая Землю, находятся и другие планеты. Исследования их поверхности и атмосферы, геологического строения, климата позволяет давать предположения о существовании различных форм жизни на этих планетах. Такая научная дисциплина, как астробиология, зародившаяся в XX веке, изучает возникновение жизни за пределами Земли. Для определения химического состава небесных тел существует такой раздел астрономии, как астрономическая спектроскопия. Суть ее методов заключается в преобразовании света от планет в цифровой спектр, который сравнивается с уже известными спектральными данными химических веществ.

Помимо исследований космического пространства и небесных тел в нем, ракетно-космическая деятельность (РКД) направлена и на изучение Земли и многих происходящих на ней процессов. Уже после вывода первого искусственного спутника в 1957 году на околоземную орбиту стала известна новая информация о физических параметрах Земли. В 1959 году была произведена посадка автоматической межпланетной станции (АМС) на Луне – единственном естественном спутнике Земли, а в 1961 году Юрий Гагарин стал первым

человеком, совершившим полет в космос. С этого момента начался новый этап в освоении космического пространства и исследовании Земли (<https://год-науки.рф/>).

Широкое распространение получили методы дистанционного зондирования. С их помощью происходит сбор данных о конкретном объекте или явлении на определенном расстоянии при отсутствии прямого физического контакта с ним. На основе полученной информации создаются различные услуги и сервисы, которые используются в повседневной жизни людей. Система ДЗЗ применяется для мониторинга поверхности суши и океанов, состояния атмосферы, климата, а также для изучения природных ресурсов планеты и поиска новых месторождений полезных ископаемых. Более того, с помощью ДЗЗ можно предсказывать опасные природные явления и катаклизмы, такие как ураганы, смерчи, лесные пожары, извержения вулканов, наводнения и многое другое. Космические аппараты ДЗЗ активно используются для решения задач геодезии, метеорологии, картографии, гидрологии, сельского хозяйства, медицины, цифровых коммуникаций (Заичко и др., 2022).

Главной перспективой развития спутниковых технологий является расширение их области применения и улучшение их характеристик, что будет способствовать совершенствованию многих областей жизнедеятельности человека, в том числе системы экологического контроля.

С каждым годом страны формируют новые космические миссии. Далее будут представлены некоторые из них, запланированные на 2024 год.

Одной из таких миссий является исследование спутника Юпитера – Европы. Европа имеет ледяную оболочку, под которой находится водный океан, предположительно содержащий намного больше воды, чем акватория Земли. Учеными был обнаружен углекислый газ, выделяющийся из океана. Все эти факторы могут свидетельствовать о наличии жизни на Европе. Для получения большей информации о химическом составе и геологии спутника NASA планирует запуск космического аппарата на октябрь 2024 года, примерное время полета составит 6 лет (<https://www.techinsider.ru/science/news>).

Существуют куда более близкие к Земле, чем Европа, интересующие ученых небесные тела. Это единственные обнаруженные на сегодняшний день спутники Марса – Фобос и Деймос. Аэрокосмическое агентство исследований Японии в сентябре 2024 года отправит космический аппарат на один из спутников с целью изъятия образца грунта, что в дальнейшем поможет определить происхождение и состав этих спутников (<https://www.techinsider.ru/news/>).

Еще одна миссия октября 2024 года носит название «Нега». Она будет направлена на исследование астероида Дидимос и его спутника Диморфос. Ранее, в 2022 году, состоялась миссия «DART», в результате которой произошло намеренное столкновение космического зонда с Диморфосом. Цель этого столкновения – проверить технику защиты Земли от астероидов и расширить базу знаний о методах их отклонения. Столкновение изменило орбиту астероида и привело к значительной деформации Диморфоса. Задача «Нега» – зафиксировать изменения и последствия в системе астероидов в результате этого столкновения (<https://www.techinsider.ru/news/>).

Перед российской корпорацией «Роскосмос» в 2024 году встала задача осуществления полета биологического спутника «Бион-М» №2, что является продолжением программы «Бион-М». На борту спутника полетят мухи, мыши, микроорганизмы, растения. Они и станут объектами исследования. «Бион-М» №2 собираются запустить на расстояние, почти вдвое превышающее орбиту МКС, где уровень радиации намного выше. Цель этой миссии – оценить влияние невесомости и повышенной радиации на живые организмы, что позволит разработать усовершенствованные медико-биологические системы обеспечения жизнедеятельности космонавтов (<https://www.techinsider.ru/news/>).

На примере этих миссий прослеживается заинтересованность ученых со всего мира в развитии человеческой цивилизации с помощью исследования космического пространства.

Подводя итог, можно выделить следующие основные задачи космических миссий:

- 1) Исследование и освоение космического пространства;

- 2) Разработка и тестирование новых технологий для космических исследований;
- 3) Проведение экспериментов для подготовки к долгосрочным полетам;
- 4) Сбор данных для расширения знаний о влиянии космического пространства на Землю;
- 5) Мониторинг состояния Земли и протекающих на ней процессов;
- 6) Разработка методов защиты Земли от потенциальных угроз из космического пространства.

1.2 Космодромы в Море и РФ

Освоение космического пространства и развитие космической отрасли в целом невозможно без строительства космодромов. Космодром представляет собой территорию с комплексом сооружений и технологических установок, специально предназначенных для хранения, обслуживания, испытания, подготовки к запуску и запуска космических аппаратов.

Так как космодром является зоной повышенной опасности, выбор места для его строительства сопровождается большим количеством условий. Такие комплексы должны располагаться вдали от густонаселенных пунктов, иметь обширные санитарно-защитные зоны (СЗЗ) и включать в себя территории, рассчитанные на падение ступеней ракет-носителей. При этом зона должна обладать хорошей транспортной доступностью, это необходимо для перевозки крупных грузов. Маршруты ракет не должны создавать помехи другому воздушному движению. Учитываются также климатические условия и рельеф. Климат должен быть относительно устойчивым, без резких перепадов температур, рельеф местности в большей степени равнинный. Эти условия помогут уменьшить затраты на строительство космодрома и увеличить срок эксплуатации оборудования (Железняков и др., 2014).

Обслуживание космодрома требует огромного количества денежных средств и персонала. Территория должна быть оснащена промышленными предприятиями, научно-исследовательскими центрами, медицинскими

учреждениями, инженерными коммуникациями. Все это подразумевает наличие жилого города с внутренней инфраструктурой. Как правило, такие города относятся к закрытым территориально-административным образованиям (ЗАТО), попасть в которые можно только при наличии пропуска с указанием причины (Железняков и др., 2014).

Сейчас в мире насчитывается около 30 космодромов. Большинство из них являются действующими, но некоторые в настоящее время относятся к закрытым. Все ракетные комплексы делятся на стационарные и подвижные по способу базирования. Стационарные космодромы располагаются на территории суши и состоят из стартовых установок и связанных с ними механизмов. Подвижные, не привязанные к определенному месту, в основном размещены в водном и воздушном пространстве и функционируют на временной основе. В (Приложение А) представлены все известные стационарные космодромы мира, их территориальное расположение и год ввода в эксплуатацию (Агапов и др., 2016). Далее будут рассмотрены 6-ть российских космодромов, представленных на рисунке 1.1.

Российский космодром Байконур – первый и крупнейший в мире действующий стационарный космодром. Он расположен на территории Казахстана недалеко от поселка Тюратам. Это место было выбрано в связи с выгодным географическим положением. Рядом находится крупная азиатская река Сырдарья, близко проходят железнодорожные пути, местность довольно пустынная, малое среднегодовое количество осадков. Отсюда, с пусковой площадки №1, позднее названной «Гагаринский старт», был выведен в космос первый искусственный спутник Земли и запущен первый космический корабль «Восток» с человеком на борту. С этой же площадки совершила свой полет в космос Валентина Терешкова – первая женщина-космонавт в мире. Последний запуск с «Гагаринского страта» был совершен в 2019 году. В настоящее время планируется переформирование площадки в музейный комплекс с образцами космической техники.

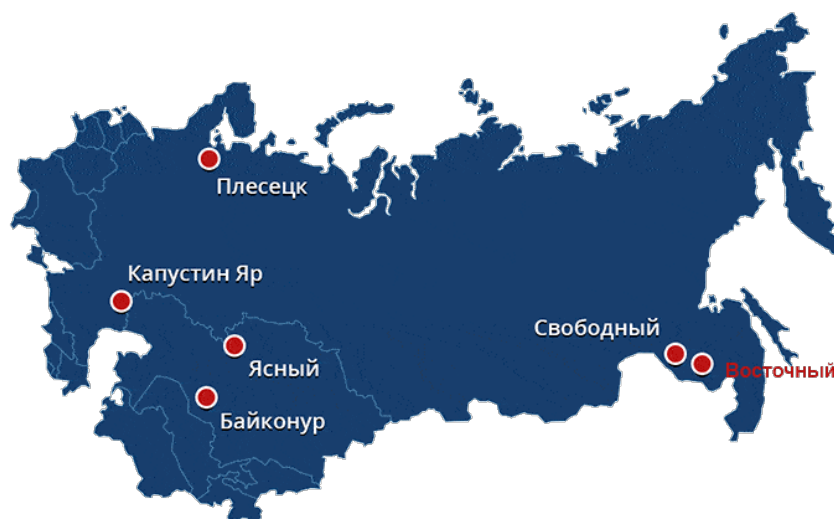


Рис. 1.1 – Карта российских космодромов (<https://chaltlib.ru/>)

На рисунке 1.2 представлен снимок со спутника площадки №1. Карта-схема Байконура представлена в (Приложение А).

Ниже представлена динамика запусков с космодрома «Байконур» с момента его основания по 2020 год по типам ракет-носителей (рис. 1.3). Наибольшее количество запусков осуществлено в период 1957-1970 гг. и 1981-1990 гг. Последние 3 десятилетия наблюдается тенденция на снижение числа пусков, это может быть связано с перераспределением нагрузки между другими российскими космодромами в связи с распадом СССР в 1991 году и «переходом» «Байконура» на территорию Казахстана (Останин и др., 2021).

«Плесецк» – еще один крупный действующий российский космодром, располагается в Северо-Западном федеральном округе страны и является самым северным космодромом в мире. Он находится на территории Архангельской области, административный центр Плесецка – город Мирный.



Рис. 1.2 – Снимок со спутника стартовой площадки №1 космодрома «Байконур» (Яндекс Карты)

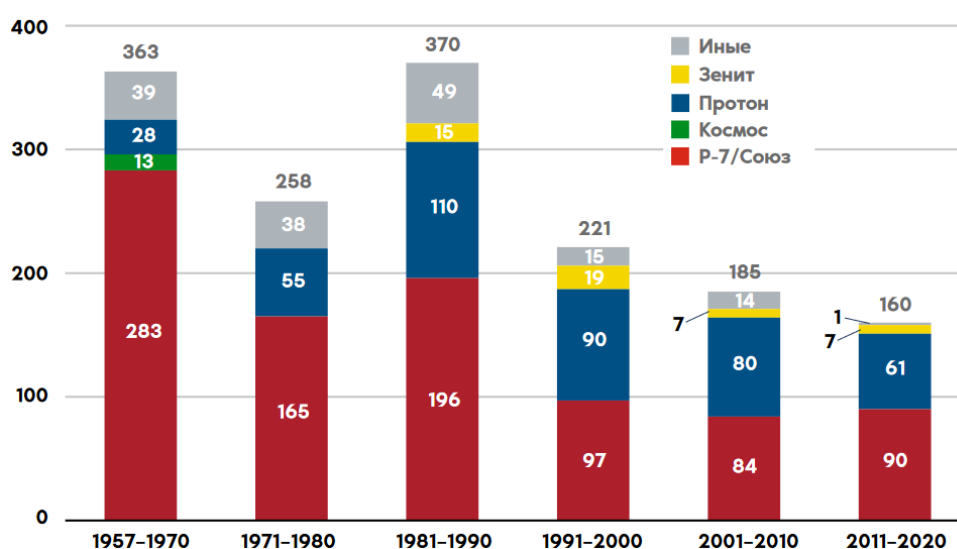


Рис. 1.3 – Динамика количества пусков по типу ракеты-носителя с «Байконура» (Останин и др., 2021).

Космодром «Плесецк» принадлежит и управляется Министерством обороны РФ, имеет важное стратегическое значение и считается первым государственным испытательным космодромом. Здесь проводятся испытания и запуски разных типов космических аппаратов, в том числе военных спутников и

баллистических ракет. Особенность положения заключается в близком расположении к северному полюсу (Железняков и др., 2014).

На рисунке 1.4 представлен стартовый комплекс №43, состоящий из двух пусковых установок, эксплуатируемых с 1960-х годов, с которых производилось наибольшее число запусков.



Рис. 1.4 – Стартовый комплекс №43 космодрома «Плесецк», снимок со спутника (Яндекс Карты)

Космодром «Свободный», расположенный на территории Дальнего Востока в Амурской области, строился как второй испытательный космодром Министерства обороны РФ. Его строительство началось после распада СССР, когда космодром «Байконур» оказался на территории Казахстана. Перед Минобороны встал вопрос о создании нового космодрома непосредственно на территории России. Космодром был закрыт в 2007 году в связи с недостатком финансирования и большой удаленностью от промышленных предприятий космической индустрии. За время функционирования космодрома было проведено всего несколько запусков (Железняков и др., 2014).

На смену вышеупомянутого закрытого космодрома пришел космодром «Восточный». Он расположен в Амурской области к северо-востоку от космодрома «Свободный» недалеко от города Циолковский. В данное время «Восточный» уже является действующим, хотя строительные работы объектов его инфраструктуры ведутся до сих пор. Это новый современный космодром, имеющий большие перспективы развития. Проект такого масштаба позволит России быть более конкурентноспособной на мировом космическом рынке. В отличие от «Байконура» он находится на собственной территории РФ, а по сравнению с «Плесецком» имеет более выгодное географическое положение, так как располагается значительно южнее (Комаров и др., 2015).

На рисунке 1.5 представлено 3 стартовых комплекса космодрома «Восточный» - Площадка 1С, Площадка 1А и стартовый комплекс для ракет сверхтяжелого класса.

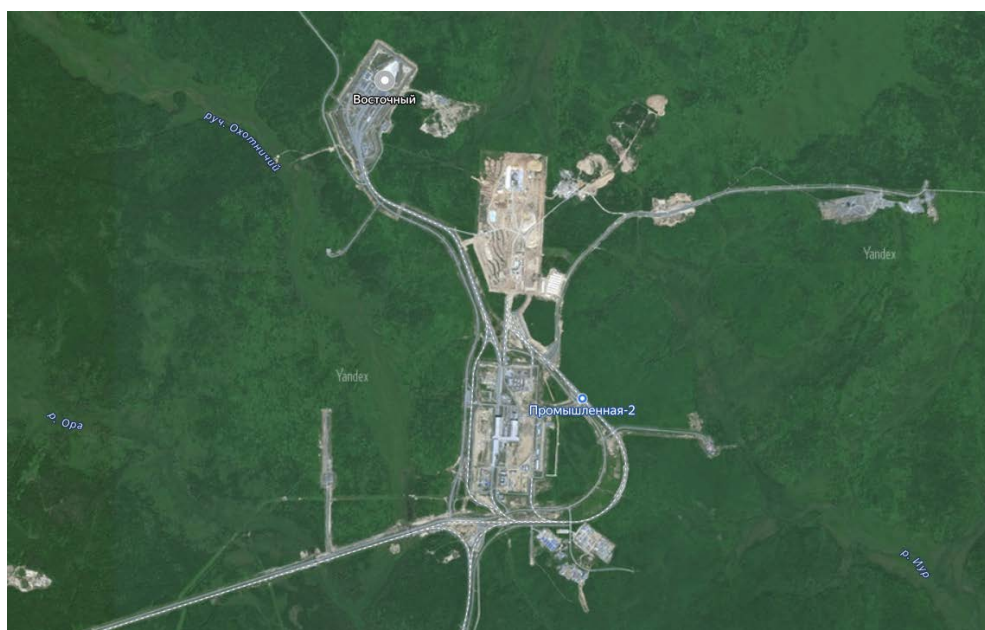


Рис. 1.5 – Стартовые ракетные комплексы космодрома «Восточный», снимок со спутника (Яндекс Карты)

В Оренбургской области находится еще один российский космодром – «Ясный», введен в эксплуатацию в 1964 году. Он используется на нерегулярной основе и предназначен для испытаний, запуска военных

спутников и ракет-носителей. Информация о его деятельности и возможностях в силу военного статуса ограничена (Железняков и др., 2006).

Последний рассматриваемый российский космодром – «Капустин Яр». Он находится в Астраханской области и является государственным военным полигоном Минобороны РФ. В 1946 году введен в эксплуатацию, до 1957 года использовался как единственное место в СССР для испытания баллистических ракет и только в 1961 году стал эксплуатироваться как космодром. В основном с него происходили запуски исследовательских спутников с помощью ракет-носителей легкого класса и небольших космических аппаратов. На территории присутствует очень много сооружений, располагающихся под землей. Большинство из них засекречены и не отображаются на картах (Железняков и др., 2014).

В таблице 1.1 представлены сведения о космодромах РФ, в том числе о количестве произведенных запусков с момента существования космодрома до настоящего времени (или до его закрытия) и применяемых типов ракет на пусковых площадках.

Помимо стационарных космодромов в России находятся также космодромы мобильного базирования. Два из них расположены в Мурманской области - Подводная лодка «Новомосковск» и Подводная лодка «Екатеринбург». Оба крейсера были построены в Северодвинске на заводе «Севмаш». С первого в 1998 году успешно была запущена ракета-носитель с выводом на орбиту двух небольших немецких спутников. С обоих космодромов производились запуски баллистических ракет. Третий космодром «Морской старт» до 2020 года находился в морях Тихого океана. В 2020 году был перемещен в порт на Дальний Восток недалеко от Владивостока, в настоящее время не эксплуатируется (<https://cosmos.vdnh.ru/>).

Не только Россия позиционирует себя как космическая держава, но и многие другие страны, такие как США, Китай, Индия, Япония и некоторые страны Европейского Союза.

Таблица 1.1– Сведения о космодромах России (<https://www.roscosmos.ru/>)

Космодром	Место расположения	Площадь территории, км ²	Первый космический запуск	Количество произведенных запусков (с момента основания)	Примеры используемых типов ракет
Байконур	Респ. Казахстан, г. Байконур	6717	15 мая 1957 г.	1538 пусков РН с выводом 1997 КА	«Союз-ФГ», «Протон-М», «Зенит-3SLБ»
Плесецк	Архангельская обл., г. Мирный	1762	17 марта 1966 г.	1665 пусков РН с выводом 2147 КА	«Союз-2», «Ангара», «Рокот»
Свободный (закрыт)	Амурская обл., г. Циолковский	410	4 марта 1997 г.	5 пусков РН с выводом 5 КА	«Старт-1»
Восточный	Амурская обл., г. Циолковский	700	28 апреля 2016 г.	16 пусков РН с выводом 364 КА	«Союз-2», в перспективе «Ангара-А5» и «Ангара-А5М»
Ясный	Оренбургская обл., р-н Ясненский	Данные отсутствуют, площадь Ясненского р-на – 3500	12 июля 2006 г.	10 пусков РН с выводом 90 КА	«Днепр», РС-20, «Воевода»
Капустин Яр	Астраханская обл., г. Знаменск	650	16 марта 1962 г.	101 пуск РН с выводом 90 КА	«Космос», «Буря»

После окончания Второй мировой войны между СССР и США началась так называемая «космическая гонка». После запуска первого спутника Земли СССР, США создали национальное космическое агентство NASA. В июле 1969 года экипаж под командованием Нила Армстронга достиг Луны и совершил первую в истории высадку на ее поверхности на космическом корабле «Аполлон-11». После некоторых неудач СССР в космической области, в том числе смерти Юрия Гагарина, в 1975 году американский «Аполлон» и советский корабль «Союз» впервые совершили стыковку в космосе. С этого момента напряженность в гонке уменьшилась, началось сотрудничество двух держав в освоении космического пространства (<https://www.culture.ru/>).

В (Приложение А) представлены некоторые космодромы США. Самый известный расположен в штате Флорида на мысе Канаверал, откуда был произведен запуск первого космического аппарата (КА) на Луну. Фактически там находится 2 космодрома – «Мыс Канаверал» и Космический центр

Кеннеди. Еще один американский космодром – «Ванденберг» в Калифорнии имеет важное значение для системы безопасности и противоракетной обороны США. Космодром на острове Уоллопс является научно-исследовательским испытательным центром. Космодром «Кадьяк» на побережье Аляски используется для запусков небольших КА на полярную орбиту. Кроме того, страна располагает двумя космодромами мобильного базирования - Самолёт «Боллс 8» и Самолёт «Старгейзер». В (Приложение А) также отмечены иные частные и коммерческие космодромы США. (Железняков и др., 2014).

В азиатской части континента Евразия, в частности в Китае, Индии, Японии, КНДР, Ираке, Иране, Израиле также располагаются космодромы. Космодромы Китая: «Вэньчан Хайкоу», «Сичан», «Тайюань» и «Цзюцюань» и 1 строящийся космодром – «Сяньшань».

Сейчас в Китае активно ведется разработка различных видов спутников, происходит развитие технологий для исследования Луны, Марса и изучения астероидов. В 2020 году Китай установил мировой рекорд по числу запусков – было осуществлено 39 космических миссий (<https://qyzyq.kz>).

Рядом с Китаем в КНДР располагаются космодромы «Тонхэ» и «Сохэ», в Республике Корея находится космодром «Наро». В Японии также присутствуют 2 космодрома – «Танэгасима» и «Утиноура».

В Индии, Ираке, Иране, Израиле находится по одному космодрому – «Шрихарикота», «Аль-Анбар», «Семнан» и «Пальмахим» соответственно. В настоящее время космодромы в Ираке и Иране закрыты.

Существуют также итальянский морской космодром «Сан-Марко» и французский «Хаммагир». «Сан-Марко» иначе называется космическим центром Луиджи Брোলло и находится на побережье Кении. «Хаммагир» - испытательный ракетный центр, расположенный в Алжире. Франции принадлежит еще один космодром, который находится в Южной Америке – «Куру». До недавнего времени с его площадок производились запуски российских ракет-носителей «Союз». Недалеко от него расположен «Алкантара» - бразильский

космодром. Оба космодрома располагаются на побережье Атлантического океана.

Еще два стационарных космодрома – «Вумера», принадлежащий Великобритании и «Rocket Lab» находятся в Австралии и Новой Зеландии соответственно. «Rocket Lab» является коммерческим и принадлежит американской компании с одноименным названием (<https://rus.team/>).

Несмотря на то, что космодромов в мире достаточно много, Россия долгое время занимала и занимает на сегодняшний день одну из лидирующих позиций на мировом космическом рынке. Изначально лидерство разделяли между собой СССР и США, впоследствии к ним присоединился Китай. На рисунке 1.6 представлена динамика запусков с начала освоения космического пространства по 2020 год (Останин и др., 2021).

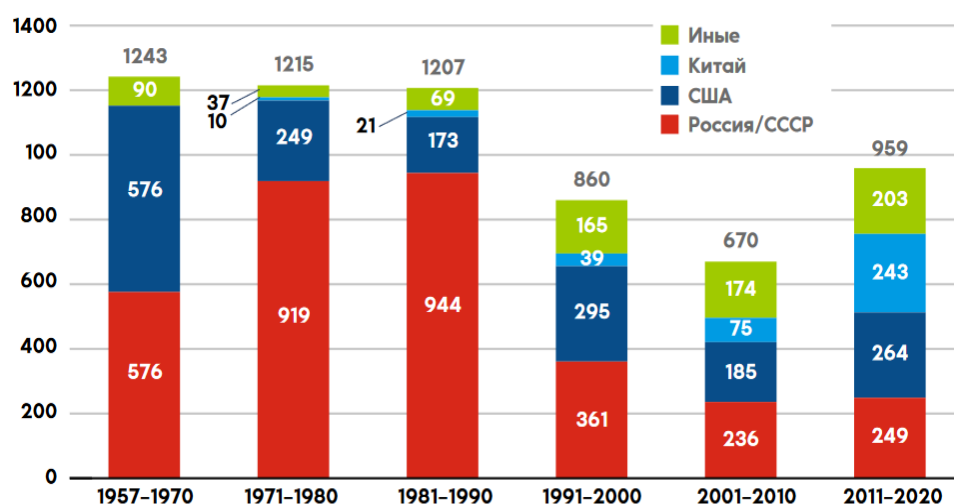


Рис. 1.6 – Динамика числа мировых запусков с начала космической эры по 2020 год (Останин и др., 2021)

Таким образом, к настоящему времени существует 3 крупнейших и лидирующих среди остальных стран космических сверхдержавы - Россия, США и Китай (Останин и др., 2021).

1.3 Экологические проблемы ракетно-космической деятельности и их масштабы

При развитии космической деятельности важно уделять особое внимание вопросам экологической безопасности, так как пренебрежение этим аспектом может нести за собой непоправимые последствия. Хотя космическая индустрия существует относительно недолгое время, она уже успела оказать существенное негативное воздействие на окружающую среду. Это воздействие проявляется в разрушении озонового слоя, выбросах оксидов металлов и углерода в атмосферу, засорении ближнего космоса обломками отработанных аппаратов. В связи с этим оценка рисков такого воздействия, повышение экологической безопасности производства и использования ракетной техники становятся крайне важными задачами (Агапов и др., 2016).

К наиболее важным экологическим проблемам в ходе РКД относятся: загрязнение окружающей среды ракетным топливом, воздействие на среду при производстве изделий ракетно-космической техники (РКТ), утилизация космических отходов, возникновение аварийных и нештатных ситуаций, физическое загрязнение окружающей среды.

1.3.1 Загрязнение окружающей среды ракетным топливом

Ракетные двигатели в основном работают на топливе, состоящем из высокотоксичных веществ, таких как гидразин, диметилгидразин, углеводороды, азотный тетраоксид. Попадание таких веществ в природу пагубно влияет на все ее составляющие компоненты. Сюда же относится воздействие на слои атмосферы. Выбросы паров и продуктов сгорания ракетного топлива значительно уменьшают качество воздуха, в некоторых случаях могут вызывать изменения климата, особенно при регулярных запусках (Агапов и др., 2016).

Самыми токсичными компонентами топлива считаются НДМГ – несимметричный диметилгидразин и АТ – азотный тетраоксид. Эти компоненты выгодны, так как обладают свойством самовозгорания и сохраняют свои физические свойства в течение продолжительного времени хранения.

Особенно подвержены негативному воздействию места падения отделяющихся частей ракет-носителей. При разливах топлива велика вероятность загрязнения не только атмосферы, но и почвенного покрова, природных водоемов (Крестников, 2017).

1.3.2 Воздействие на окружающую среду при производстве изделий ракетно-космической техники

Производство изделий РКТ требует значительного потребления энергии, воды и других природных ресурсов, что приводит к дополнительной нагрузке на экосистемы. Производство сопровождается сбросом сточных вод, которые должны проходить систему качественной очистки. При сборке компонентов техники, химической обработки материалов также возможны выбросы токсичных газов. Производства таких масштабов оставляет за собой большие объемы промышленных отходов, что может создавать трудности с их обращением (Агапов и др., 2016).

1.3.3 Проблемы утилизации космических отходов

Одним из основных источников загрязнения космоса является образование космических отходов в результате запусков искусственных спутников. Куда более сильный источник отходов – разрушение космических объектов вследствие столкновения с обломками других объектов, взрывов, в процессе выхода аппаратов из строя. Также источниками отходов являются отработавшие ступени ракет-носителей. Космические отходы негативно воздействуют на функционирование систем контроля космического пространства. Они создают помехи в работе средств обнаружения и отслеживания космических объектов. Блики от отражения света от обломков также мешают наблюдениям. Ученые техасского университета создали интерактивную карту, где в реальном времени можно отследить положение космических объектов в околоземном космическом пространстве (рис. 1.7) (Мозжорин и др., 1991).

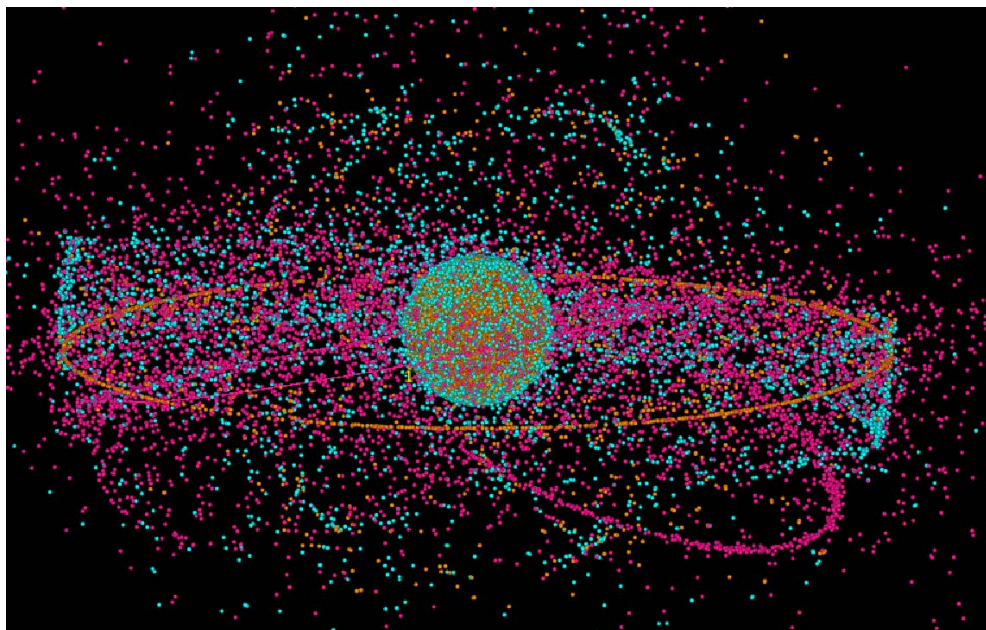


Рис. 1.7 – Карта космических объектов, окружающих Землю по данным на 30.03.2024 (<http://astria.tacc.utexas.edu/AstriaGraph/>)

Активные спутники на карте отмечены оранжевым цветом, все остальное – элементы космических отходов, неактивные спутники, корпуса ракет и различного рода обломки. Согласно статистическим данным, общее число отходов в космосе превысило 100 млн единиц. Большая его часть состоит из мелких обломков до 10 см и частиц меньше 1 см. Даже эти небольшие объекты, двигаясь со скоростью около 8 км/с, способны нанести сильные повреждения или вовсе привести к уничтожению космических аппаратов (Мозжорин и др., 1991).

1.3.4 Возникновение аварийных и нештатных ситуаций

Риск возникновения таких ситуаций существует как во время изготовления и хранения изделий ракетной техники и топлива, так и при проведении испытаний ракет и их запусков. Среди чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть, наиболее высок риск отказов систем ракет-носителей и наземных стартовых систем. Такие инциденты должны подвергаться более детальному изучению. В основном риск аварий возникает на начальном сроке эксплуатации, когда недочеты в производстве еще не до конца устранены. Также

возможны ошибки в работе со стороны персонала, некорректное управление космическим аппаратом (Голованов, 2013).

Нештатные ситуации происходят во всех странах, занимающихся космической деятельностью. В таблице 1.2 приведены данные о количестве всех запусков по странам доля аварийных запусков их число от общего числа за последние 10 и 5 лет. Из показателей США исключены данные компании «SpaceX», так как число запусков этой компании намного превышает запуски других стран и разумно будет включить в статистику эту компанию отдельно от США. Зеленым цветом выделена максимальная доля аварийности, розовым – максимальное число аварийных запусков (<https://umbra.blog/>).

Таблица 1.2 – Аварийные космические запуски по странам за последние 10 и 5 лет (<https://umbra.blog/>)

Страна	10 лет			5 лет		
	Количество запусков	Аварийность, %	Число аварийных запусков	Количество запусков	Аварийность, %	Число аварийных запусков
США	423	4	17	278	4,7	13
Китай	358	3,9	14	227	4,4	10
Россия	258	5	13	107	1,9	2
SpaceX	252	1,2	3	188	0,5	1
ЕС	70	4,3	3	24	12,5	3
Индия	52	5,8	3	21	9,5	2
Япония	40	7,5	3	12	16,7	2

За последние 10 лет в процентном соотношении США лидирует по минимальной аварийности запусков, на втором месте находится Китай, на третьем ЕС. Россия занимает только четвертую позицию. Однако если процент переводить в число запусков, то в США за последние 10 лет произошло 17 аварийных пусков, в Китае – 14, в РФ – 13. С экологической точки зрения логичнее рассматривать именно число аварийных запусков, а не их долю в общем рейтинге стран. За последние 5 лет ситуация для РФ значительно меняется. Она выходит на первое место по минимальной доле аварийных пусков.

Максимальное число таких пусков приходится также на США и Китай, следующий за ними – Европейский Союз (<https://umbra.blog/>).

Хотя процент аварийности у трех главных космических сверхдержав – США, Китая, РФ в целом меньше, чем у других стран, очевидно их влияние на экологическую обстановку планеты значительное более высокое (<https://umbra.blog/>).

1.3.5 Физическое загрязнение окружающей среды

К физическому загрязнению среды относится шумовое, тепловое, радиоактивное, электромагнитное загрязнение. Последнее обусловлено работой радиотехнических систем в ультравысокочастотном и сверхвысокочастотном диапазонах с мощностью до 1000 кВт в импульсе. Эти частоты отличаются тем, что энергия электромагнитного поля эффективно переходит в другие формы энергии, особенно в тепловую. Влияние СВЧ на живые организмы определяется на основе интенсивности излучения. По экспериментальным данным известно, что при сильном воздействии радиоволн наблюдается уменьшение активности фотосинтеза в листьях растений. Однако сложность состоит в том, что биота способна адаптироваться к излучениям СВЧ. Таким образом, влияние излучений требует дальнейшего изучения (Агапов и др., 2016)

Тепловое загрязнение может возникать в результате работы систем энергоснабжения, промышленных предприятий, выбросов парниковых газов, влияния ракетной техники на природную среду. Повышение CO_2 в атмосфере ведет к увеличению среднегодовой температуры (Агапов и др., 2016).

Шумовое загрязнение также является неотъемлемой частью РКД. Например, при запуске ракеты «Сатурн V» NASA зафиксировала уровень шума равный 204 дБ. Для сравнения, шум, создаваемый двигателями реактивного самолета, находится в диапазоне от 120 до 160 дБ, что уже считается опасным для человека при воздействии более 30 секунд (Агапов и др., 2016).

Радиоактивное загрязнение связано с использованием ядерных реакторов. Для обеспечения безопасности энергетические установки размещают на высоких орбитах, где их срок службы превышает время распада радиоактивных частиц. Однако существует экологическая угроза в виде падения обломков разрушенных ядерных установок с осадением радиоактивных частиц в приземные слои атмосферы. Такого рода загрязнения могут негативно влиять на работу спутников, навигационных систем и иных систем наблюдения (Ладыгина и др., 2013).

Это лишь некоторые примеры экологических проблем РКД. Сюда также относятся проблемы в обращении с отходами, разрушение озонового слоя, влияние на биоразнообразие, здоровье человека. Подробнее о воздействии ракетной техники на окружающую среду написано в следующих главах.

Глава 2 Влияние ракетно-космической деятельности на окружающую среду

2.1 Объекты и изделия ракетно-космической техники, представляющие опасность для окружающей природной среды

Ракетно-космическая техника (РКТ) охватывает достаточно широкий спектр объектов, которые зачастую оказывают негативное воздействие на окружающую среду. К таким объектам относится вся наземная космическая инфраструктура, в состав которой входят космодромы с их стартовыми и техническими комплексами, средства управления космическими объектами, зоны падения отделяющихся частей ракет-носителей, хранилища ракетного топлива и другие объекты наземной инфраструктуры. Также к ракетно-космической технике относятся различные космические аппараты (в частности спутники, модули международной космической станции (МКС)), средства выведения (в том числе ракеты-носители), разгонные блоки (РБ), боевая ракетная техника (баллистические ракеты и другие военные ракетные системы) (Агапов и др., 2016).

Понятие космодрома и условия его расположения были описаны в предыдущей главе. Сама по себе территория космодрома со всеми его составляющими уже подвержена сильному негативному воздействию со стороны объектов этого космодрома. Далее будут приведены примеры объектов и изделий РКТ, которые могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду.

2.1.1 Средства выведения космических аппаратов

Средства выведения космических аппаратов – это ракетные системы, специально разработанные для выведения различных космических аппаратов на орбиту Земли и в космическое пространство. Эти средства обеспечивают необходимую скорость и направление для запусков КА в космос (Агапов и др., 2016).

Самым распространенным средством выведения является ракета-носитель, состоящая из нескольких ступеней, которые сжигаются по мере движения ракеты вверх. В таблице 2.1 приведены сведения о некоторых российских ракетах-носителях, в том числе виде топлива, на котором работает ракетный двигатель (Агапов и др., 2016). В (Приложение Б) представлена схема ракеты-носителя «Союз-СТ».

Разгонные блоки (РБ), приведенные в таблице 2.1 в общей характеристике РН, предназначены для дополнительного ускорения и направления КА на орбиту. РБ представляют собой последнюю ступень РН и могут работать на разных видах ракетного топлива. В основном используются для выведения КА на геостационарную орбиту (ГСО), что приводит к увеличению космических отходов на этой орбите. Для сокращения загрязнения после отделения КА от РБ последний уводится на орбиту длительного хранения. Эта орбита отличается от ГСО в среднем на 200 км (Воробьев и др., 2014).

Таблица 2.1 – Примеры российских ракет-носителей и их краткая характеристика (<http://www.roscosmos.ru/>)

Ракета-носитель	Космодром запуска	Топливо	Общая характеристика
«Союз-СТ-А», «Союз-СТ-Б»	Куру	Керосин + жидкий кислород	Модификация РН «Союз-2», трехступенчатые РН среднего класса, РБ «Фрегат-МТ», произведено 9 пусков с выводом 22 КА и 18 пусков с 79 КА соответственно
«Рокот»	Плесецк	НДМГ + АТ	Трехступенчатая РН легкого класса, создана на базе двухступенчатых баллистических ракет, третья ступень – РБ «Бриз-КМ», 34 пуска с выводом 74 КА
«Протон-М»	Байконур	НДМГ + АТ	Усовершенствованная РН «Протон-К», трехступенчатая тяжелого класса, 115 пусков с 134 КА, РБ «Бриз-М»
«Зенит-2»	Байконур	Керосин + жидкий кислород	Двухступенчатая РН, 37 пусков с выводом 33 КА на низкие орбиты
«Ангара-А5»	Плесецк	Керосин + жидкий кислород	Трехступенчатая РН тяжелого класса, способна выводить до 37,5 т полезного груза на низкую орбиту, РБ «Бриз-М/ДМ/КВТК»

Например, РБ «Фрегат» используется в составе РН типа «Союз». Он способен выводить полезную нагрузку без вмешательства Земли, а также автоматически выходить из возможных нештатных ситуаций. «Фрегат» может активно функционировать до двух суток, выводить КА на ГСО. Компонентами топлива «Фрегата» являются АТ и НДМГ. РБ «Бриз-М» и «Бриз-КМ» используются в составе РН «Протон-М», «Ангара-А5» и «Рокот» соответственно. Двигатели обоих блоков, как и блока «Фрегат», работают на высококипящих токсичных компонентах ракетного топлива (КРТ) – АТ и НДМГ. РБ «ДМ» из семейства блоков предназначен выводов КА с опорной орбиты на целевую вокруг Земли или на межпланетные территории. В отличие от предыдущих РБ, этот работает на относительно безопасных для окружающей среды КРТ – жидкий кислород и керосин (Воробьев и др., 2014).

Космические аппараты (КА) представляют собой широкий спектр технических устройств, предназначенных для выполнения различных задач в космическом пространстве и на поверхности небесных тел. В место назначения КА доставляются ракетами-носителями. КА, который используется для транспортировки людей или оборудования в верхние слои атмосферы называется космическим кораблем. КА могут быть классифицированы по таким критериям, как функциональное назначение, размеры и технические характеристики, тип миссии. Классификации КА по назначению представлена в (Приложение 2) (Воробьев и др., 2014).

На рисунке 2.1 представлена Международная космическая станция (МКС) – самый крупный международный космический проект, реализация которого была начата в 1988 году. В создании принимали участие такие страны как Россия, США, Япония, Канада, некоторые страны ЕС. МКС представляет собой пилотируемую орбитальную станцию, используемую для многочисленных космических исследований и экспериментов (<https://www.roscosmos.ru/>).

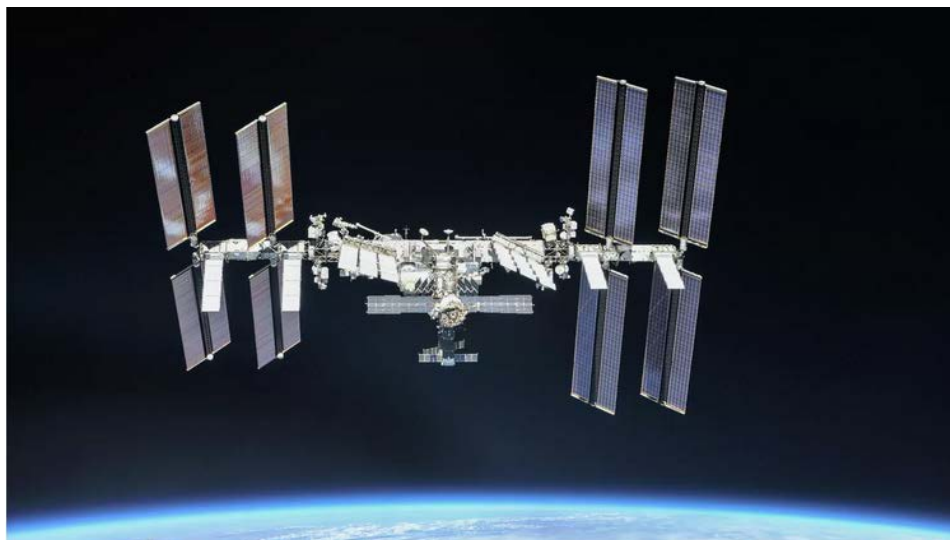


Рис. 2.1 – Международная космическая станция (<https://www.roscosmos.ru/>)

МКС находится на низкой околоземной орбите (высота варьируется от 390 до 420 км над Землей). Этот диапазон считается оптимальным из-за баланса между экономической эффективностью, безопасностью для космонавтов и оборудования. Выбор высоты также связан с оптимизацией стоимости доставки грузов, возможностью доступа к станции для различных космических кораблей (<https://www.roscosmos.ru/>).

2.1.2 Двигательные установки ракет космического назначения

Ракетные двигатели (РД) представляют собой систему, которая обеспечивает тягу, необходимую для передвижения ракет в космическое пространство. Тяга – сила, которая создается двигателем путем выброса массы рабочего тела с некоторой скоростью в направлении, обратном действию силы. Рабочим телом является вещество, благодаря которому осуществляется работа РД. Двигатели играют ключевую роль в процессе запуска и маневрирования космических аппаратов. Существует несколько типов двигательных установок в зависимости от вида используемого топлива. Выделяют химические, ядерные и электрические двигатели. Самый распространенный тип – химические ракетные двигатели (Егорычев и др., 2007).

Химические ракетные двигатели (ХРД) – это тип двигателей, использующих химические реакции для создания тяги. По виду топлива они делятся на

жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), твердотопливные и гибридные. Топливо ЖРД может быть однокомпонентным, двухкомпонентным и трехкомпонентным. На практике чаще всего применяется двухкомпонентное топливо, состоящее из горючего и окислителя. Примеры окислителей и горючего и их краткая характеристика представлены в (Приложение Б).

Самыми широко применяемыми окислителями являются тетраоксид азота (АТ) и жидкий кислород. Это обусловлено их хорошей окислительной способностью, что делает их эффективными для создания высокой тяги в РД и позволяет ракетами достигать необходимой скорости и высоты при минимальном расходе топлива. По сравнению с другими окислителями они менее токсичные, их стоимость ниже, транспортировка и хранение вызывают меньшие затруднения (Егорычев и др., 2007).

Произвольная комбинация горючего и окислителя невозможна. При выборе сочетания учитывается энергетическая эффективность, термодинамическая совместимость, безопасность, стабильность хранения и транспортировки. Наиболее востребованными на практике являются 3 топливных пары: «НДМГ + АТ», «керосин + жидкий кислород», «жидкий водород + жидкий кислород». Первое топливо обладает высоким удельным импульсом тяги и плотностью, отличается стабильностью и долгосрочной сохранностью. Это позволяет использовать его в боевых ракетах, которые должны находиться в готовности к запуску на протяжении длительного времени. Несмотря на высокую токсичность этого топлива, запрет на его применение не был принят. Два следующих топлива применяются в основном в ракетах-носителях. Они характеризуются высоким удельным импульсом тяги и практически не токсичны. Их стабильность не имеет значения, так как заправка ракет производится непосредственно перед запуском. Двигатели первых ступеней ракет в основном работают на керосине и кислороде, так как топливо водород и кислород имеет низкую плотность и используется для верхних ступеней ракеты. На рисунке 2.2 представлена упрощенная схема ЖРД (Егорычев и др., 2007).

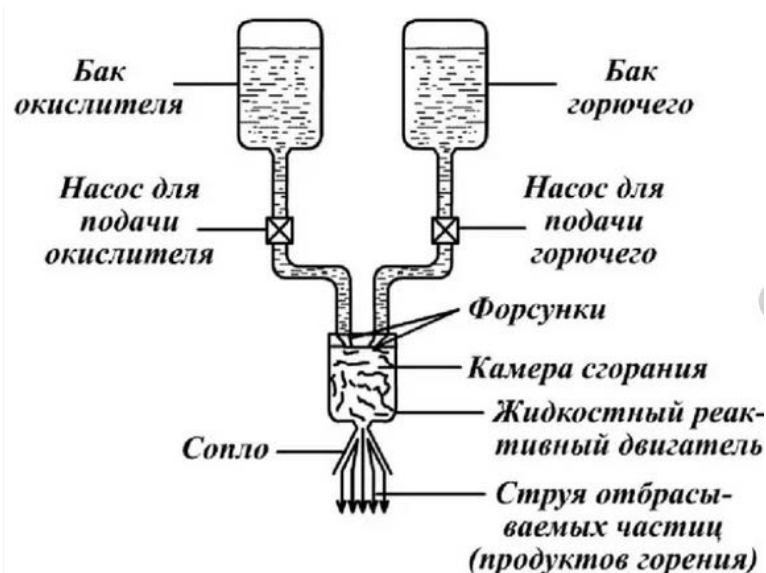


Рис. 2.2 – Схема жидкостного ракетного двигателя (Егоровичев и др., 2007)

Твердые виды топлива также в составе имеют окислительные и горючие элементы, которые могут вступать в реакцию горения. Примером может служить двухосновное топливо, где первая основа – нитроцеллюлоза с разным содержанием азота, вторая основа – нитроглицерин, в котором происходит растворение нитроцеллюлозы. Чтобы увеличить удельный импульс такого топлива, в него добавляют высокоэффективные вещества, такие как перхлорат аммония, продуктами сгорания которого являются токсичные хлористые вещества. Очевидные преимущества твердого топлива: меньше подвергается утечкам в сравнении с жидким топливом, не требует специальных систем подачи и хранения. Недостатки – менее гибкое в управлении и регулировании тяги, невозможность остановки работы двигателя после запуска (Воробьев и др., 2014).

Гибридное топливо сочетает в себе твердые и жидкие/газообразные компоненты. Оно имеет значительное преимущество за счет возможности использования компонентов, которые не подходят для применения в жидких или твердых топливах. Ряд твердых компонентов топлива, имеющих высокие энергетические характеристики и плотность, несовместимы с условиями использования в ракетных двигателях твердого топлива (РДТТ). В эксплуатации гибридные ракетные двигатели (ГРД) обладают хорошими характеристиками,

превосходя жидкостные РД, но уступая РДДТ в связи с меньшей плотностью (Егорычев и др., 2007).

Энергия ядерного ракетного двигателя (ЯРД) вырабатывается при нагревании рабочего тела за счет энергии, выделяемой в результате ядерных реакций, а не как в химических РД при сгорании топлива. ЯРД включает в себя нагревательную камеру с ядерным реактором, который служит источником тепла, систему подачи рабочего тела и сопло. Рабочее тело (водород) подается в активную зону реактора и проходит через каналы, нагретые реакцией ядерного распада. В результате чего оно нагревается до очень высоких температур и выбрасывается через сопло, таким образом создается реактивная тяга. По виду топлива различают 3 типа ЯРД: твердофазный, жидкофазный, газофазный. ЯРД имеют потенциальную радиационную опасность для окружающей среды и человека, особенно в случае аварии или повреждения реактора (<https://cosmos.vdnh.ru/>).

Электрический ракетный двигатель (ЭРД) представляет собой вид двигателя, который использует электрическую энергию для создания тяги. Самые распространенные типы ЭРД – ионные двигатели и газовые плазменные двигатели. Ионные двигатели используют ускорение ионизированных газов (ксенон, криптон) с помощью электрического поля, которые выпускаются через сопло, создавая тягу. Газовые плазменные двигатели используются для ускорения плазмы (заряженных частиц) с помощью магнитных полей. Плазма создается нагревом и ионизацией газа, который ускоряется и выпускается через сопло. В отличие от ХРД, которые имеют ограниченные запасы топлива, ЭРД могут работать эффективно длительное время, и они более безопасны в эксплуатации в сравнении с ЯРД. Однако ядерные и химические РД обеспечивают более высокую тягу, что делает их предпочтительными для запуска с большими грузами или достижения высоких скоростей за короткое время (Воробьев и др., 2014).

2.2 Воздействие ракетно-космической техники на окружающую среду

Все вышеперечисленные объекты и изделия ракетно-космической техники в разной степени оказывают влияние на окружающую среду в процессе использования. Далее рассматривается непосредственное влияние этих объектов и изделий на атмосферу, климат, водные ресурсы, почвенный покров и здоровье населения.

2.2.1 Воздействие на атмосферу и климат

Выбросы паров компонентов ракетного топлива (КРТ) и продуктов сгорания КРТ при осуществлении РКД оказывают значительное воздействие на экологическую обстановку в районах использования РКТ. Они не только загрязняют различные слои атмосферы, но также могут быть одной из причин разрушения озонового слоя Земли. Пары компонентов ракетного топлива могут образовываться как в процессе подготовки ракеты к запуску в момент заправки, так и в случае аварийных разливов топлива. В момент запуска РД на стартовом комплексе образуется облако газовых продуктов сгорания топлива. Эти продукты способны распространяться в форме газа, аэрозоля или жидкости в зависимости от химического состава топлива и метеорологических условий. В некоторых случаях размер капель может стать достаточно большим для выпадения в виде кислотных осадков (Агапов и др., 2016).

Отработавшие верхние ступени РН при падении разрушаются в верхних слоях атмосферы на высоте около 40 км. Остатки топлива после разрушения попадают в атмосферу. Исследования областей падения верхних ступеней РН не выявляют больших количеств токсичных компонентов топлива, что позволяет делать вывод об испарении остатков топлива и разбавлении их до безопасных концентраций. Однако такое заключение не было проверено на практике.

Озоновый слой в верхних слоях атмосферы наиболее уязвим к воздействию различных факторов. Практически оценить степень воздействия на него компонентов топлива очень сложно, поэтому были проведены только теоретические исследования, не исключающие возможные погрешности. В таблице

2.6 представлено влияние каталитических циклов на разрушение озона (Крестников, 2017).

Таблица 2.2 – Вклад различных каталитических циклов в разрушение озона (Крестников, 2017)

Компонент	Вклад в процесс разрушения, %		
	Все источники		Ракетные двигатели
	Вся стратосфера	Слой 25-30 км	
Окислы азота	32	70	0,00005
Кислород	23	10	0
Водород/гидроксил	26	10	0,0012
Хлор	19	10	0,032
Всего	100	100	0,034

Из таблицы 2.2 видно, что вклад РД в разрушение озона очень мал в сравнении с другими источниками. Запуски ракет оказывают лишь кратковременное и ограниченное воздействие на озоновый слой. Однако этот вопрос требует дальнейшего практического изучения (Крестников, 2017).

Наибольшую опасность представляет горючее НДМГ и окислитель АТ. ПДК этих и других компонентов топлива в атмосферном воздухе представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – ПДК КРТ в атмосферном воздухе (Агапов и др., 2016)

ПДК	Окислители		Горючие			
	O ₂	АТ	НДМГ	Керосин	CH ₄	H ₂
ПДК _{мр} , мг/м ³	-	0,085 (по NO ₂)	0,001	ПДК _{рз} = 300 мг/м ³	7000	-
ПДК _{сс} , мг/м ³		0,04 (по NO ₂)	0,001	1,2-5,0	300	

В настоящее время наблюдается стабильная тенденция к отказу использования токсичных НДМГ и АТ. В новых образцах РКТ применяются либо углеводородные горючие с жидким кислородом, либо комбинация жидкого кислорода и жидкого водорода. Токсичными продуктами сгорания пары

«АТ+НДМГ» являются окись углерода (CO) и хлороводород (HCl). Также к продуктам сгорания относятся парниковые газы: водяной пар (H_2O), углекислый газ (CO_2), метан (CH_4). Например, масса CO_2 , выделившегося при сгорании 1 кг топлива РБ «Бриз-М» составляет примерно 364 г на 1 кг топлива. Парниковые газы считаются нетоксичными, однако напрямую влияют на создание парникового эффекта, что приводит к глобальному потеплению и, как следствие, к изменению климата (Агапов и др., 2016).

2.2.2 Воздействие на водные ресурсы

В результате использования воды для смыва компонентов топлива образуются сточные воды. Промышленные стоки образуются также при функционировании лабораторий на территории космодрома, при очистке заправочных установок, различных рабочих площадок и при смывах нештатных проливов топлива. Все сточные воды должны проходить качественную систему водочистки (Агапов и др., 2016).

Гидразиновые горючие, попадая в воду, подвергаются окислению кислородом, который содержится в воде. В результате образуются различные азотные соединения. Гидразин сам по себе является очень токсичным, ПДК НДМГ (производного гидразина) для водной среды указаны в таблице 2.4.

Азотсодержащие окислители также вступают в реакцию с водой с образованием азотной и азотистой кислот, кислоты диссоциируют с образованием нитритов и нитратов, те в свою очередь оказывают пагубное влияние на гидробионты, вызывая нарушения в кровоснабжении. ПДК такого окислителя представлены в таблице 2.4. Кроме того, избыток нитритов и нитратов может стать причиной эвтрофикации водоема – явлении, при котором происходит повышение роста водной растительности. Избыток растительности на стадии гниения отмерших растений способен привести к недостатку растворенного кислорода в воде, что будет оказывать негативное воздействие на гидробионты (Агапов и др., 2016).

Таблица 2.4 - ПДК КРТ в воде (Агапов и др., 2016)

ПДК	Окислители		Горючие			
	O ₂	АТ	НДМГ	Керосин	CH ₄	H ₂
ПДК _{хоз.-быт.} , мг/л	-	45,0 (по NO ₄ ⁻) 3,3 (по NO ₃ ⁻)	0,02	0,01	2	-
ПДК _{рыб.-хоз.} , мг/л		40,0 (по NO ₄ ⁻) 0,08 (по NO ₃ ⁻)	0,0005	0,05	0,01	

Углеводородные горючие (например, керосин) также являются опасными для водоемов. При загрязнении на поверхности воды образуется углеводородная пленка, которая может нарушить процесс аэрации воды и привести к недостатку кислорода для гидробионтов. Так, при концентрации 0,1 мг/л гибнет планктон, при 50 мг/л начинает гибнуть рыба (Нельсон-Смит, 1977).

Гибель фитопланктона в водоемах может привести к недостаточной переработке углекислого газа и высвобождению кислорода, что может негативно сказаться на климате планеты (Агапов и др., 2016).

Таким образом, попадание в водоемы компонентов ракетного топлива не только делает воду непригодной для хозяйственно-бытового использования, но и наносит вред обитателям этих водоемов.

2.2.3 Воздействие на почвенный покров

Загрязнение почвенного покрова химическими веществами в ходе эксплуатации ракетной техники может происходить в результате осаждения продуктов сгорания топлива в местах запусков ракет, а также при проливах остатков топлива в местах падения из баков отработавших РБ.

Конструкции отделяющихся частей РН в основном изготавливаются из алюминия и его сплавов. При падении твердых фрагментов ионы алюминия попадают в почву, становятся водорастворимыми, а значит доступными для растений. Алюминий может нарушить поглощение растениями питательных элементов, снизить интенсивность их дыхания и затруднить процессы метаболизма. Также он влияет на усвоение таких элементов как кальций, медь и железо. Кальций нужен растениям для стабилизации клеточных стенок и

мембран, он обеспечивает устойчивость растений к механическим воздействиям (Климашевский, 1991).

При попадании гидразиновых горючих в почву происходит их разложение с образованием таких токсичных продуктов, как формальдегид (H_2CO), диметиламин (C_2H_7N), синильная кислота (HCN) и другие. Эти горючие способны накапливаться, сохраняться и мигрировать в глубокие слои почвы в течение длительного времени. Способность гидразина мигрировать зависит от типа почвы, ее водного режима и поглощательной способности, а также от количества попавшего на поверхность горючего. Так, фильтрационная способность песка намного выше, чем у глины. Глина обладает высокими сорбционными свойствами и способна лучше задерживать миграцию горючего, но даже при таком условии полная задержка миграции невозможна. Например, в случае пролива на глину 12 кг НДМГ, горючее может проникнуть вглубь на 130 см за 4 месяца. Попадание горючего на растительный покров может привести к ожогам щелочью (рН гидразина около 12), в результате чего растительность высыхает и меняет цвет на коричневый. При этом гидразиновые горючие способны находиться в растениях более 12 месяцев. Что интересно, в умеренных количествах (до 1 г/кг почвы) горючие могут стимулировать рост биомассы, но при концентрациях от 1 до 10 г/кг почвы показатели продуктивности уже снижаются, в пределах от 10 до 50 г/кг состояние растений значительно ухудшается, а концентрация в 100 г на 1 кг почвы является смертельной для растений (Панова, 1997).

Избыток углеводородных горючих (УВГ) в почве может привести к недостатку кислорода, калия, фосфора, вызвать изменения в микроэлементном составе, нарушить баланс азота и углерода. Однако при концентрациях УВГ до 0,7 мл/кг все показатели почвы остаются неизменными, изменения наступают при превышении этой концентрации (Агапов и др., 2016).

Помимо загрязнения КРТ существует вероятность разрушения почвенного покрова из-за очень высоких уровней шума, вибрации, давления при запуске ракеты. В случае использования ядерных РД при нарушении техники

безопасности велика вероятность радиоактивного загрязнения (Агапов и др., 2016).

2.2.4 Воздействие на здоровье населения

Воздействие ракетной техники на человека в основном проявляется через химическое загрязнение окружающей среды. Проявлениями воздействий могут быть отравления, хронические заболевания, такие как бронхит, отит, туберкулез, конъюнктивит и другие. В связи с загрязнением атмосферы токсичными веществами могут возникать поражения легких, злокачественные новообразования дыхательных путей. Например, при концентрациях НДМГ в атмосферном воздухе 5-10 мг/м³ на протяжении часа или 100-1000 мг/м³ в течение 2 минут происходит отравление легкой степени тяжести. Попадание КРТ на кожу может стать причиной химического ожога, обморожения возможны при контакте с жидким азотом или кислородом. Признаками острого отравления НДМГ является поражение нервной системы, почечная недостаточность, рвота, потеря сознания и в худшем случае может наступить смерть (Пособие..., 2009).

При выбросе паров окислителя АТ на предприятиях, работающих с ракетным топливом, фиксируется 50% пострадавших с легкой степенью отравления от общего числа пострадавших, 20% отравлений средней степени тяжести и 15 % тяжелых случаев отравления. Отравления могут проявляться в виде кашля, затрудненного дыхания и в более тяжелых случаях в виде отека легких. ПДК АТ и НДМГ в атмосферном воздухе указаны в таблице 2.7. Отравление перхлоратом аммония, который используется как окислитель в твердотопливных РД имеет схожие симптомы отравления, его ПДК в воздухе рабочей зоны составляет 1 мг/м³ (Справочник..., 1999).

2.3 Экологическое состояние территории космодрома «Плесецк»

Ранее были проведены исследования территорий падения отделяющихся частей РН (ОЧРН) – района «Койда» в Архангельской области. Исследования

были направлены на изучение распространения НДМГ и АТ в окружающей среде и продуктов разложения НДМГ. По результатам исследований химическое загрязнение топливом носило локальный характер. Токсичные компоненты были распространены в радиусе от 10 до 50 м от эпицентра падения ОЧРН. Максимальная глубина проникновения топлива в почву в эпицентре достигла 1 м. Впоследствии было установлено, что в силу климатических условий (арктический климат) территории в глеевых горизонтах торфяно-болотистых почв НДМГ может сохраняться от 8 лет с момента падения. Накопление загрязнителей наблюдалось на глубине 40 – 70 см от поверхности. Химическое загрязнение «Койда» в целом распространилось практически на 92 га (0,03% от всей территории). Перенос загрязнений (горизонтальный), в частности, происходил за счет течения поверхностных и подземных вод. Также было установлено механическое загрязнение (захламление территории фрагментами ступеней РН, разрушение почвы от ударов) и рекультивное (снижение ягодных и грибных запасов, а также охотничьих ресурсов).

В целом, природно-климатический комплекс района «Койда» определили как более устойчивый к химическим загрязнениям и менее устойчивый к механическим и рекультивным загрязнениям (Попов, 2009).

Глава 3 Объекты и методы исследования

С целью изучения токсичности гидразина в водной среде был заложен модельный лабораторный эксперимент.

Изучение влияния гидразина на водную среду проводили с помощью тест-объектов в лаборатории на базе центра лабораторных исследований и проектирования (ЦЛИП) «УМЭко» с 26.03.2024 по 3.04.2024. В качестве основного компонента (модельного токсиканта), который имитирует химические и токсикологические свойства гептила (компонента ракетного топлива), был взят раствор гидразина сернокислого (гидразин-сульфата) в различных концентрациях. В качестве тест-объектов использовались лиофилизированные люминесцентные бактерии «Эколюм» и водоросли хлорелла.

3.1 Исследование с использованием тест-системы «Эколюм»

Принцип метода заключается в определении изменения интенсивности биолюминесценции бактерий при воздействии химических веществ (в данном случае – гидразина) в исследуемых пробах в сравнении с контролем с помощью прибора «Биотокс-10М» (Приложение В). Подготовку бактерий к исследованию производили согласно (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04).

Растворы гидразина в различных дозировках подготавливались для исследования в микропробирках (эппендорфах), которые представлены в (Приложение В). Исходный раствор гидразина готовился путем взятия навески гидразина сернокислого массой 25 мг (25000 мкг) и растворением его в дистиллированной воде объемом 1 мл. Такая дозировка гидразина превышает его ПДК (0,00025 мкг/мл) для рыбохозяйственных водоемов в 10^8 раз (Гоголашвили, 2001).

Измерение биолюминесценции проводили в пробирках, представленных в (Приложение 3). Схема опыта:

- 1) Контроль (0,9 мл дистиллированной воды + 0,1 мл суспензии бактерий);

- 2) Вариант №1 (0,9 мл раствора гидразина (0,00025 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии бактерий, разбавление в 100 000 000 раз);
- 3) Вариант №2 (0,9 мл раствора гидразина (0,0025 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии бактерий, разбавление в 10 000 000 раз);
- 4) Вариант №3 (0,9 мл раствора гидразина (0,025 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии бактерий, разбавление в 1 000 000 раз);
- 5) Вариант №4 (0,9 мл раствора гидразина (0,25 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии бактерий, разбавление в 100 000 раз);
- 6) Вариант №5 (0,9 мл раствора гидразина (2,5 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии бактерий, разбавление в 10 000 раз);
- 7) Вариант №6 (0,9 мл раствора гидразина (25 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии бактерий, разбавление в 1000 раз);
- 8) Вариант №7 (0,9 мл раствора гидразина (250 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии бактерий, разбавление в 100 раз);
- 9) Вариант №8 (0,9 мл раствора гидразина (2500 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии бактерий, разбавление в 10 раз);
- 10) Вариант №9 (0,9 мл раствора гидразина (25000 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии бактерий, без разбавления).

По данной схеме были проведены измерения в трех повторностях.

3.2 Исследование с использованием тест-культуры водоросли хлорелла

Суть методики заключается в определении оптической плотности тест-культуры, которая выращивалась в содержащей токсическое вещество (в данном случае – гидразин) среде и в среде без токсического вещества. Выращивание и подготовка хлореллы к исследованию производилась в соответствии с методикой. Измерения плотности в ходе эксперимента проводились с помощью фотоэлектроколориметра ИПС-03 (Приложение В), 2 раза – до помещения водоросли в многокуветный культиватор КВМ-05 и после 22 часов выращивания в культиваторе (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04).

Исходный раствор гидразина концентрацией 25000 мкг/мл готовили путем взятия навески гидразина 0,15 г и растворением его в 6 мл дистиллированной воды. Схема опыта:

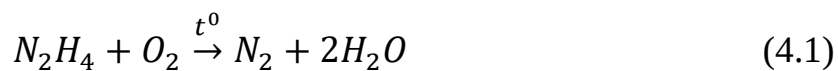
- 1) Контроль (6 мл дистиллированной воды + 0,1 мл суспензии водоросли);
- 2) Вариант №1 (6 мл раствора гидразина (0,00025 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии водоросли, разбавление в 100 000 000 раз);
- 3) Вариант №2 (6 мл раствора гидразина (0,0025 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии водоросли, разбавление в 10 000 000 раз);
- 4) Вариант №3 (6 мл раствора гидразина (0,025 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии водоросли, разбавление в 1 000 000 раз);
- 5) Вариант №4 (6 мл раствора гидразина (0,25 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии водоросли, разбавление в 100 000 раз);
- 6) Вариант №5 (6 мл раствора гидразина (2,5 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии водоросли, разбавление в 10 000 раз);
- 7) Вариант №6 (6 мл раствора гидразина (25 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии водоросли, разбавление в 1000 раз);
- 8) Вариант №7 (6 мл раствора гидразина (250 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии водоросли, разбавление в 100 раз);
- 9) Вариант №8 (6 мл раствора гидразина (2500 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии водоросли, разбавление в 10 раз);
- 10) Вариант №9 (6 мл раствора гидразина (25000 мкг/мл) + 0,1 мл суспензии водоросли, без разбавления).

Глава 4 Оценка влияния гидразина как составного компонента ракетного топлива на окружающую среду

4.1 Общая характеристика гидразина и его применение в ракетной технике

Гидразин в чистом виде был открыт в 1887 году, до этого были известны только некоторые его производные. К настоящему времени в качестве компонента ракетного топлива широкое распространение получил относящийся к гидразиновым горючим НДМГ (гептил), который активно использовался уже во времена Второй мировой войны. В основном на таком топливе работают двигатели баллистических ракет, иногда ракет-носителей и пилотируемых космических кораблей. В связи с высокой токсичностью этого компонента в последние десятилетия идет тенденция на замену НДМГ на более экологически чистые виды топлива (Бугаев и др., 2017).

При нормальных температурах гидразин (N_2H_4) представляет собой прозрачную вязкую маслянистую жидкость с запахом аммиака. Гидразин сильно гигроскопичен и летуч, его пары по плотности превышают воздух в 1,1 раз. Молекула гидразина содержит 2 группы NH_2 , расположенные относительно друг друга, что характеризует его как полярное вещество, способное смешиваться с полярными растворителями (спирты, аммиак, вода и др.). Гидразин легко воспламеняется, его горение сопровождается выделением большого количества энергии. Окисление кислородом (реакция горения) протекает следующим образом:



Основными конечными продуктами сгорания являются азот и вода. В зависимости от условий и степени сгорания могут образовываться токсичные соединения оксидов азота (Бугаев П.А. и др., 2017).

Температура кипения ($t_{кип}$) гидразина составляет 113, 5 °С, температура плавления ($t_{пл}$) равна 2 °С. Плотность гидразина в твердом состоянии при $t =$

5 °С равна 1,146 г/см³, в жидком состоянии при t = 0 °С равна 1,0253 г/см³. Гидразин обладает термодинамической неустойчивостью, что означает его склонность к легкому разложению при воздействии на него высоких температур (около 250 °С). Реакция разложения гидразина с образованием азота и аммиака протекает следующим образом:

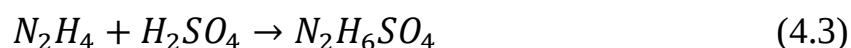


НДМГ ((CH₃)₂N₂H₂) – производное гидразина, обладающее схожими с ним свойствами, однако НДМГ более стабилен и устойчив, что делает его предпочтительным в выборе КРТ. Температура кристаллизации НДМГ составляет минус 57 °С, t_{кип} = 63 °С, t_{пл} = 58 °С. Он способен растворяться в спиртах, воде, аммиаке, самовоспламеняется при взаимодействии азотными окислителями. В окружающей среде НДМГ не устойчив, его трансформация в среде происходит с образованием высокотоксичных продуктов, таких как ДМНА (диметилнитрозоамин), токсичность которого превосходит токсичность НДМГ в несколько раз. ДМНА является продуктом прямого окисления НДМГ. В таблице 4.1 представлены гигиенические регламенты НДМГ и продуктов его окисления в окружающей среде (Колесников, 2014).

Таблица 4.1 – Гигиенические регламенты НДМГ и продуктов его окисления в объектах окружающей среды (Колесников, 2014)

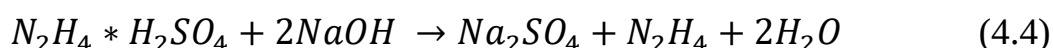
Вещество	Предельно допустимые концентрации							Почва, мг/кг	Пище- вые про- дукты
	Воздух раб. зоны, мг/м3	Класс опас- ности	Атмосферный воздух		Вода водоемов				
			Макс. разовая	Средне- суточная	Хоз.- быт.	Рыб. хоз.			
НДМГ	0,1	I	0,001	0,001	0,02	0,0005	0,1	-	
ДМА (димети- ламин)	1,0	II	0,005	0,005	0,1	0,005	-	-	
ТМТ (тетраме- тилтетразен)	3,0	III	0,005	0,005	0,1	-	-	-	
ДМНА (диме- тилнитрозо- амин)	0,01	I	-	0,0001	0,01	-	-	0,002	
Формальдегид	0,5	II	0,035	0,003	0,05	0,25	7,0	-	

В связи с невозможностью использовать НДМГ в описанном выше эксперименте в качестве основного компонента, который имитирует химические и токсикологические свойства гептила, был взят гидразин сернокислый (промежуточный компонент химического синтеза гептила). В ходе реакции гидразина с серной кислотой образуется гидразин-сульфат, который представляет собой хорошо растворимое в воде твердое вещество в виде белого кристаллического порошка. Реакция получения гидразин-сульфата протекает следующим образом:



Гидразин-сульфат применяется в лечении онкобольных, однако в больших дозах при длительном приеме способен оказывать канцерогенное воздействие, он относится к 1 классу опасности. Плотность гидразин-сульфата равна 1,37 г/см³, $t_{пл} = 254\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Колесников, 2014).

Чтобы получить гидразин в чистом виде из гидразин-сульфата, необходимо приготовить раствор гидразин-сульфата путем растворения его в воде. Далее в раствор постепенно добавляется щелочь. В ходе реакции ионы кислоты и щелочи обмениваются друг с другом, происходит взаимная нейтрализация. Реакция получения гидразина из гидразин-сульфата может протекать следующим образом:



Далее из полученной реакционной смеси можно извлечь гидразин, например, путем дистилляции. Извлеченный гидразин при необходимости подвергается дополнительной процедуре очистки. (Колесников, 2014).

В целом гидразиновые горючие по своим характеристикам хорошо выполняют функцию эффективного ракетного топлива, хотя и являются чрезвычайно токсичными для окружающей среды и человека.

4.2 Анализ результатов экспериментального исследования

4.2.1 Результаты исследования (тест-система «Эколюм»)

В ходе эксперимента с помощью прибора «Биотокс-10М» была определена интенсивность биолюминесценции бактерий при различных концентрациях гидразина в воде. Результаты измерений представлены в таблице 4.1. Также в таблице 4.1 представлен средний индекс токсичности (Т) по всем трем измерениям (повторностям) и определена степень токсичности образцов по этому индексу в соответствии с (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04).

Зависимость между средней (по трем измерениям) интенсивностью биолюминесценции бактерий и дозой гидразина в образце представлена на рисунке 4.1. Коэффициент корреляции (r) составил $-0,5$ (при критическом значении r на 5% уровне значимости $0,67$), что указывает на тенденцию снижения интенсивности биолюминесценции при возрастании концентрации гидразина в воде. Из рисунка 4.2 следует: чем выше доза гидразина в образце, тем ниже интенсивность биолюминесценции бактерий.

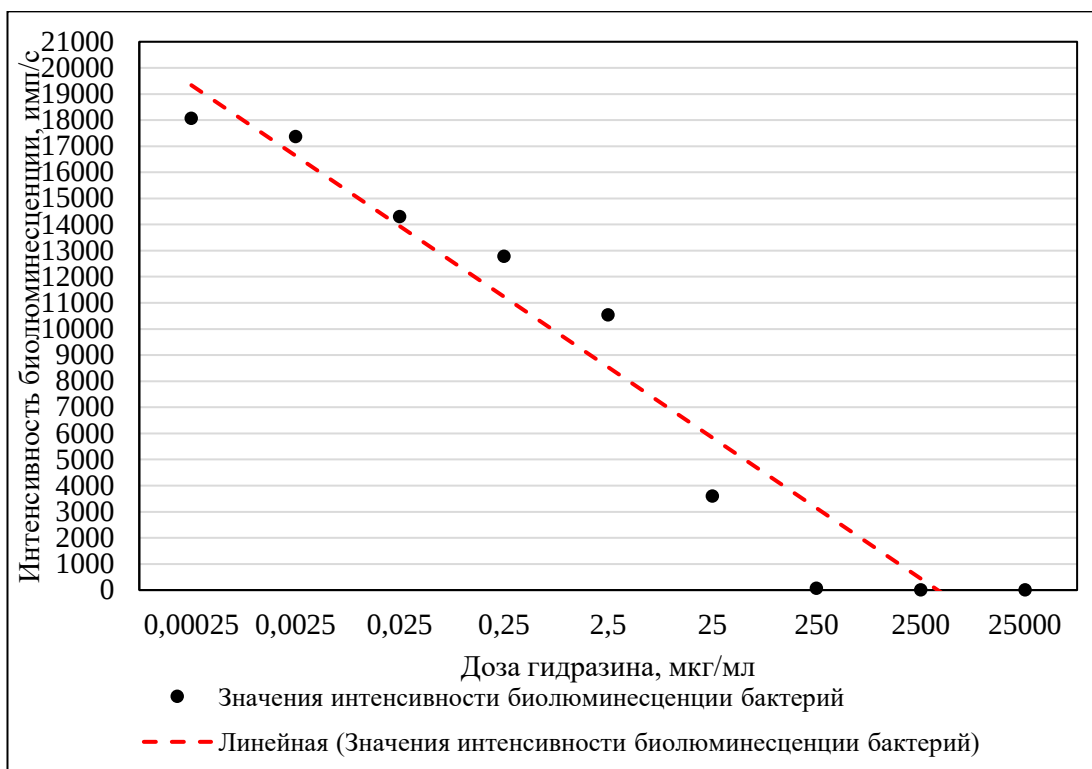


Рис. 4.1 – Зависимость интенсивности биолюминесценции бактерий от дозы гидразина

Таблица 4.2 – Результаты исследования влияния гидразина с использованием тест-системы «Эколюм»

Вариант	Доза гидразина, мкг/мл	Интенсивность биолюминесценции, имп/с $\pm \sigma$	Индекс токсичности Т ср	Степень токсичности
Контроль	0	8579 ± 5800	-	-
1	0,00025	18078 ± 10125	-110,7	Образец не токсичен
2	0,0025	17380 ± 9320	-102,6	Образец не токсичен
3	0,025	14312 ± 6569	-66,8	Образец не токсичен
4	0,25	12789 ± 5926	-49,1	Образец не токсичен
5	2,5	10547 ± 4580	-22,9	Образец не токсичен
6	25	3613 ± 2686	57,9	Образец сильно токсичен
7	250	81 ± 64	99,1	Образец сильно токсичен
8	2500	21 ± 8	99,8	Образец сильно токсичен
9	25000	12 ± 3	99,9	Образец сильно токсичен

Зависимость между индексом токсичности гидразина и его дозой в образце представлена на рисунке 4.2. Коэффициент корреляции (r) составил 0,5 (при критическом значении r на 5% уровне значимости 0,67), что указывает на тенденцию увеличения показателя индекса токсичности при возрастании концентрации гидразина в воде. В соответствии с методикой все значения индекса токсичности выше 50 свидетельствуют о высокой степени токсичности образца. Следовательно, концентрация гидразина 2,5 мкг/мл является максимальной концентрацией, при которой образец остается не токсичным. При содержании гидразина 25 мкг/мл токсичность образца резко возрастает и образец становится сильно токсичным. Соответственно, образец становится токсичным при превышении ПДК гидразина в 100 000 раз.

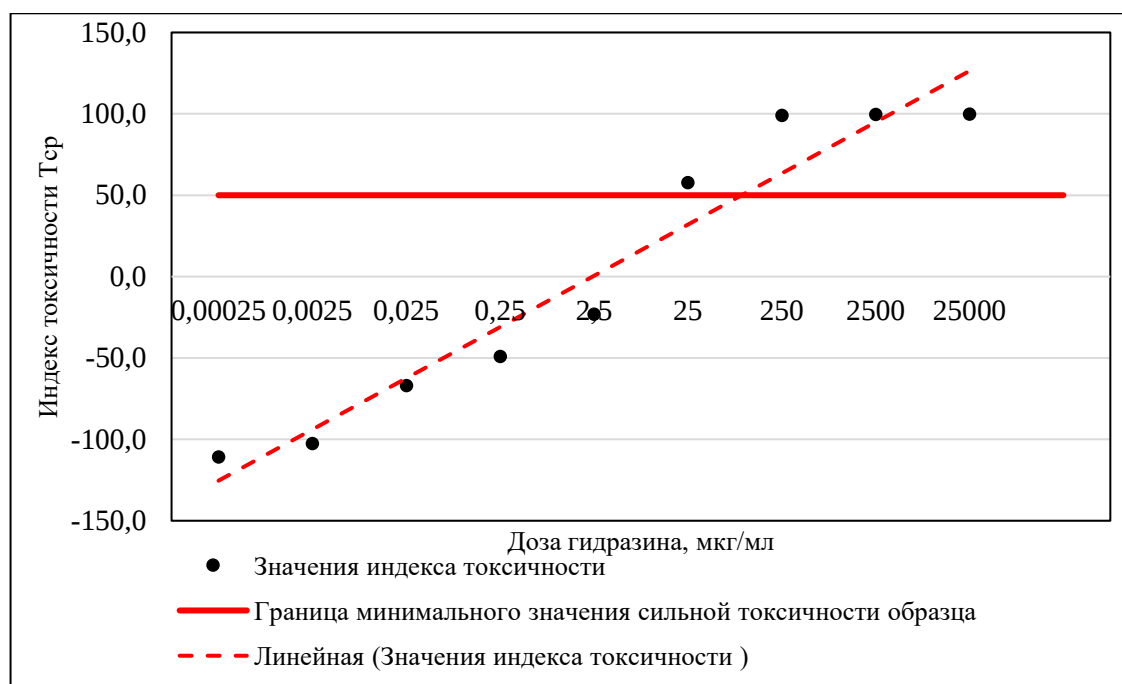


Рис. 4.2 –Зависимость индекса токсичности от дозы гидразина

4.2.2 Результаты исследования (тест-культура «Хлорелла»)

С помощью прибора ИПС-3 были проведены измерения оптической плотности образцов до и после выращивания в кюветах тест-объекта. Результаты измерений представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты исследования влияния гидразина с использованием тест-объекта хлореллы

Номер повтора	Доза гидразина, мкг/мл	D0	D22	D22-D0	Dcp	Отклонение от контроля I, %
1	Контроль	0,008	0,210	0,202	0,214	-
2		0,010	0,237	0,227		
3		0,009	0,250	0,241		
4		0,006	0,193	0,187		
1	0,00025	0,009	0,214	0,205	0,206	3,9
2		0,006	0,207	0,201		
3		0,003	0,201	0,198		
4		0,004	0,224	0,220		
1	0,0025	0,009	0,246	0,237	0,203	5,3
2		0,005	0,090	0,085		
3		0,002	0,251	0,249		
4		0,005	0,246	0,241		
1	0,025	0,004	0,204	0,200	0,202	5,7
2		0,001	0,212	0,211		
3		0,003	0,201	0,198		
4		0,003	0,202	0,199		
1	0,25	0,005	0,203	0,198	0,198	7,7
2		0,007	0,207	0,200		
3		0,003	0,211	0,208		
4		0,014	0,199	0,185		
1	2,5	0,002	0,191	0,189	0,173	19,4
2		0,001	0,151	0,150		
3		0,007	0,175	0,168		
4		0,004	0,188	0,184		
1	25	0,003	0,014	0,011	0,006	97,1
2		0,005	0,008	0,003		
3		0,001	0,011	0,010		
4		0,001	0,002	0,001		
1	250	0,002	0,000	-0,002	-0,001	100,5
2		0,002	0,001	-0,001		
3		0,003	0,002	-0,001		
4		0,000	0,000	0,000		
1	2500	0,003	0,000	-0,003	-0,001	100,6
2		0,002	0,001	-0,001		
3		0,000	0,000	0,000		
4		0,001	0,000	-0,001		
1	25000	0,003	0,000	-0,003	-0,002	100,7
2		0,001	0,000	-0,001		
3		0,000	0,000	0,000		
4		0,002	0,000	-0,002		

В таблице 4.3 также рассчитаны средние значения плотностей опытных образцов и отклонение их от контрольного образца в процентном соотношении. В соответствии с (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04) снижение средней величины

оптической плотности опытного образца на 20% по сравнению с контрольным образцом является критерием токсичности образца и свидетельствует о подавлении роста тест-культуры.

Из таблицы 4.3 видно, что при концентрации гидразина 25 мкг/мл отклонение от контроля составляет 97,1%, что практически в 5 раз превышает предыдущий показатель (19,4%) с концентрацией гидразина 2,5 мкг/мл. Таким образом, можно сделать вывод о высокой токсичности образцов с концентрацией гидразина 25 мкг/мл и выше.

На рисунке 4.3 представлена зависимость средней оптической плотности образцов от дозы гидразина. Коэффициент корреляции (r) составил -0,4 (при критическом значении r на 5% уровне значимости 0,67), что указывает на тенденцию снижения оптической плотности при увеличении дозы гидразина.

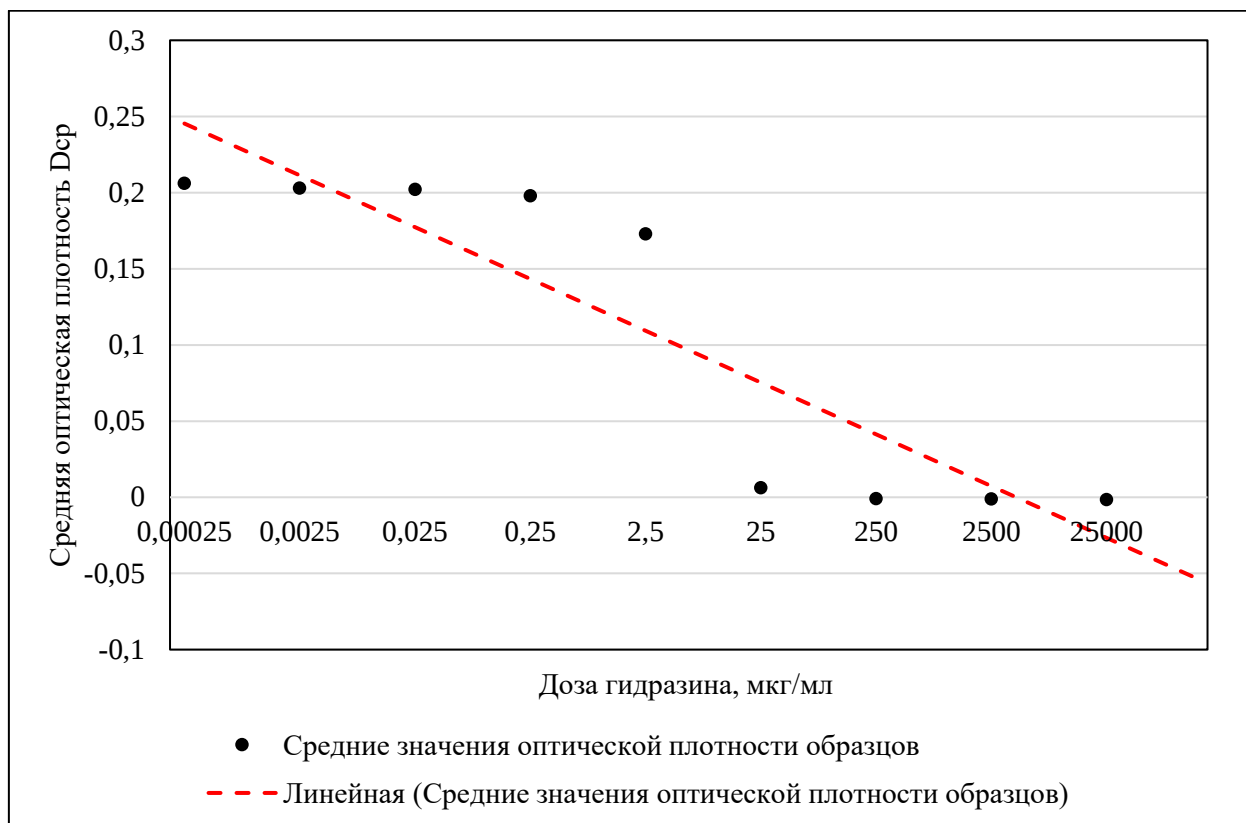


Рис. 4.3 –Зависимость средней оптической плотности
от дозы гидразина

На рисунке 4.4 представлена зависимость отклонений от контроля средней плотности опытных образцов от дозы гидразина. На рисунке 4.4 также отмечено граничное значение критерия токсичности образцов (20%). Все значения, находящиеся выше этой границы, указывают на высокую токсичность рассматриваемых образцов (на подавление роста тест-культуры). Коэффициент корреляции (r) составил 0,4 (при критическом значении r на 5% уровне значимости 0,67), что указывает на тенденцию увеличения показателя отклонения от контроля при возрастании концентрации гидразина в воде.

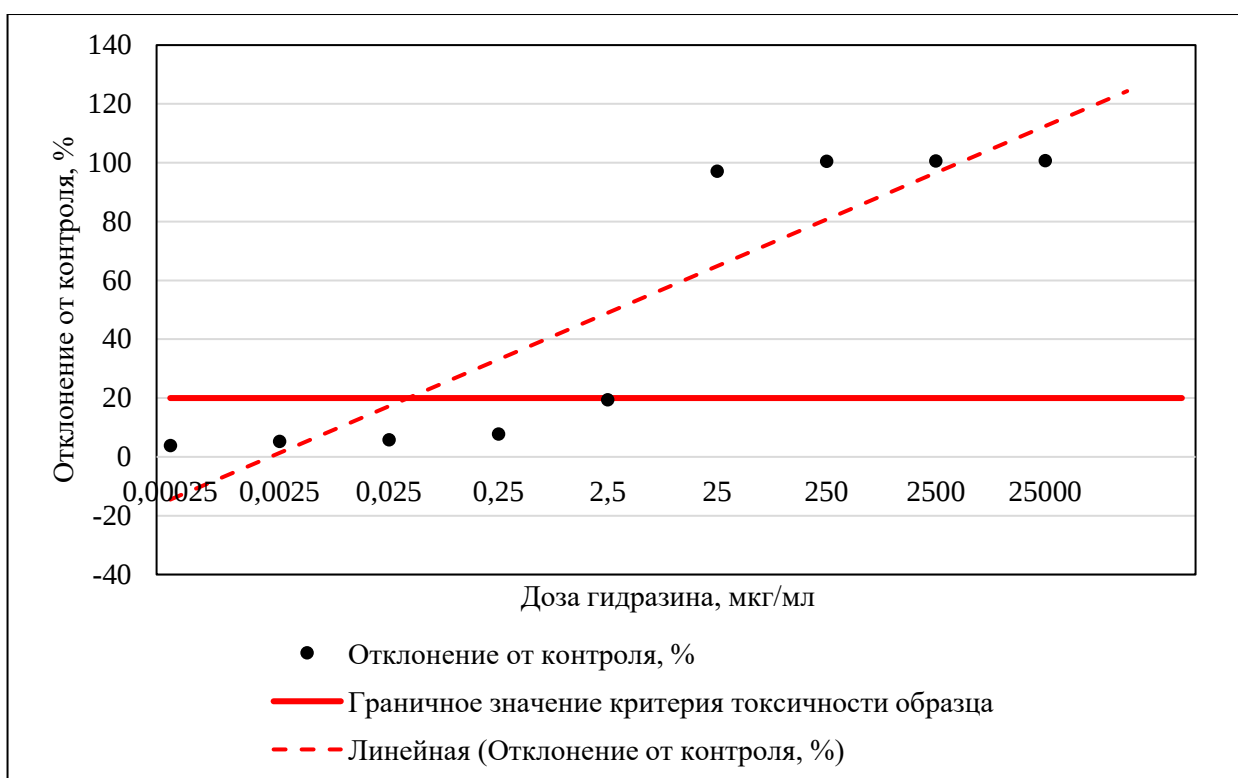


Рис. 4.4 – Зависимость отклонений от контроля средней плотности от дозы гидразина

Если критерий токсичности в 20% превышен, то рассчитывается токсичная кратность разбавления (ТКР) по формуле 4.5:

$$ТКР = 10^{\frac{(lg P_6 - lg P_M) * (I_M - 0,2)}{I_M - I_6} + lg P_M} \quad (4.5)$$

где P_6 – наибольшая величина разбавления, при которой индекс отклонения был ниже критерия токсичности; P_M – меньшая величина разбавления, при

которой индекс отклонения был выше критерия токсичности; I_6 и I_m - величины соответствующих этим разбавлениям индексов I , выраженные в долях.

Таким образом, ТКР составила 9709 раз, что приблизительно равно 10 000 раз. Такая кратность разбавления исходного образца соответствует образцу с дозой гидразина 2,5 мкг/мл. Можно заметить, что отклонение от контроля при такой дозе составило 19,4%, что очень близко к границе в 20%.

Ранее проводилось исследование воздействия гидразина на генеративную систему крыс в приближенных к ПДК воды водоемов и сопоставимых с ней концентрациях (Дымин и др., 1984). В качестве токсиканта выступал гидразингидрат – производное гидразина. Его биологическая активность изучалась при ингаляционном и пероральном путях поступления в организм животных. При пероральном воздействии крысы в течение 6 месяцев получали питьевую воду в концентрациях $0,82 \pm 0,043$ мг/л (группа 1), $0,018 \pm 0,0019$ мг/л (группа 2), $0,002 \pm 0,0002$ мг/л (группа 3), контрольные – чистую воду. Ингаляционное воздействие проводилось по 5 ч в день 5 раз в неделю в течение 4 месяцев в концентрациях $0,85 \pm 0,14$ мг/м³, $0,13 \pm 0,02$ мг/м³ и $0,01 \pm 0,002$ мг/м³ для трех групп соответственно. Контрольным животным подавался чистый воздух.

При пероральном воздействии у самок крыс 1 и 2 группы наблюдалось снижение числа живых эмбрионов, у самцов этих же групп ухудшилось состояние гонад и увеличилось число канальцев со слущенным эпителием. В 3 группе изменений в состоянии не наблюдалось.

При ингаляционном воздействии у самок первых двух групп также было снижено число живых эмбрионов, наблюдалось увеличение резорбцированных плодов и повышение до- и постимплантационной гибели. У животных 1 группы увеличилась частота хромосомных aberrаций. У самцов 2 и 3 группы наблюдалось снижение индекса сперматогенеза.

При обоих путях воздействия гидразина на организм животных 1 группы наблюдалось выраженное эмбриотоксическое, мутагенное и гонадотоксическое действие. Концентрации гидразина 2 группы животных оказались

пороговыми, а 3 группы неэффективными. Однако при ингаляционном воздействии концентрация 0,01 мг/м³ (3 группа) оказалась близка к пороговой по надотоксическому эффекту.

В рассмотренном исследовании ПДК гидразина для питьевой воды и воздуха рабочей зоны составляла 0,01 мг/л и 0,1 мг/м³ соответственно. Данные эксперимента показывают, что гидразин в концентрациях не только превышающих ПДК, но и сопоставимых с ней, оказывает влияние на генеративную функцию организма. Такой вывод говорит о потенциальной опасности гидразина для человека при поступлении его в организм в течение длительного времени на уровне ПДК.

Полученные данные могли являться основанием для пересмотра санитарно-гигиенических нормативов, однако в настоящее время приведенные в статье значения ПДК гидразина являются действующими (Дымин и др., 1984).

4.3 Переход на экологически чистые виды ракетного топлива

Долгое время с начала развития космической индустрии в качестве основного компонента ракетного топлива применялся НДМГ, однако в силу его токсичности современное ракетостроение подразумевает переход на более экологически чистые, но не уступающие по эффективности НДМГ виды топлива.

Примером такого топлива может служить сжиженный природный газ (СПГ), например, метан. Его использование совместно с кислородом в качестве окислителя исключает образование сажи. В сравнении с керосином метан обладает хорошей охлаждающей способностью, после использования не оставляет за собой отложения сажи и смолы. Разработка космических систем на основе кислородно-метанового топлива поддерживается в России и за рубежом. Кроме того, в РФ добывается достаточно много природного газа, в том числе метана, что исключает возможные проблемы с нехваткой топлива. Помимо экологической чистоты компонентов топливная пара «СПГ + кислород» обладает следующими преимуществами: дешевизна топлива, высокий удельный импульс при практически неизменной массе конструкции, исключаются

некоторые проблемы при проектировании отсеков для топлива и РД в связи с нахождением в одном диапазоне температуры кипения и замерзания топлива (Чистов, 2022).

11 апреля 2024 года впервые с космодрома «Восточный» состоялся запуск РН тяжелого класса «Ангара А-5». Ее преимущественное отличие от ранее запускаемых РН класса «Протон» состоит в использовании экологически чистой топливной пары «керосин + жидкий кислород». Из-за токсичности топлива «Протона» эти ракеты запускали без людей, «Ангара» же сможет поднять до 6 космонавтов без угрозы их здоровью (<https://www.roscosmos.ru/>).

Керосин по своей эффективности несколько уступает метану, однако ни один из этих компонентов не представляет серьезную опасность для состояния объектов окружающей среды в отличие от рассмотренного выше НДМГ, который абсолютно точно считается ядом. Таким образом, переход на более экологически чистые виды ракетного топлива является серьезным шагом к снижению негативного воздействия на окружающую среду, улучшению экологической обстановки на планете и обеспечению устойчивого развития ракетно-космической отрасли (Чистов, 2022).

Выводы

- 1) Ракетно-космическую деятельность можно рассматривать как существенный фактор негативного воздействия на окружающую среду. Наибольшее негативное воздействие (химическое, физическое и механическое загрязнение) происходит в процессе эксплуатации ракетно-космической техники (космических аппаратов (в том числе неактивных спутников), ступеней ракет-носителей, разгонных блоков, стартовых площадок, боевых ракет и иных отдельных фрагментов техники).
- 2) К механическому загрязнению относится поступление в околоземное космическое пространство отходов, образующихся в процессе РКД, загрязнение мест падения отделяющимися частями ракет-носителей.
- 3) К физическому загрязнению относится шумовое, тепловое, радиоактивное и электромагнитное загрязнение. Звуковые волны и вибрации негативно сказываются на здоровье человека, могут вызывать дезориентацию животных в дикой природе.
- 4) Решением проблемы физического и механического загрязнения является внедрение многоразовых ракет, разработка программ для отслеживания и удаления космических отходов с поверхности планеты и с орбиты Земли; регулярный мониторинг и очистка территорий космодромов от загрязнений.
- 5) Наиболее опасными химическими загрязнителями являются гидразиновые горючие вещества, используемые в качестве компонентов ракетного топлива. Самой опасной является топливная пара «НДМГ + АТ». Несмотря на высокую токсичность этих компонентов, их продолжают использовать, так как они являются более эффективными.
- 6) В условиях модельного эксперимента методом биотестирования в водной среде на тест-объектах «Эколюм» и водоросли хлореллы была выявлена минимальная токсичная доза гидразина – 25 мкг/мл. При разбавлениях исходного раствора с концентрацией 25 000 мкг/мл гидразина в

10 000 раз (в случае с «хлореллой» – в 9709 раз (ТКР)) и выше токсичность не выявлена.

- 7) Действующая в РФ ПДК гидразина (0,00025 мкг/мл) может быть превышена в 10 000 раз без вреда для гидробионтов. Токсичность гидразина в водной среде наблюдается при концентрациях в водной среде, превышающий ПДК в 100 000 раз и более.
- 8) Решением проблемы химического загрязнения окружающей среды под воздействием РКД является переход на более экологически чистые компоненты ракетного топлива, такие как жидкий водород, керосин, метан.
- 9) В целом загрязнения в ходе РКД носят локальный характер и не являются основными источниками загрязнения планеты, однако тенденция на совершенствование ракетных технологий в пользу снижения негативного воздействия на окружающую среду все же указывает на существующую проблему загрязнения.

Список использованной литературы

1. Агапов И.В., Ключников В.Ю., Шатров Я.Т. Воздействие ракетно-космической техники на окружающую среду. - Москва: ГЕОС, 2016. - 795 с.
2. Бугаев П.А., Антушевич А.Е., Рейнюк В.Л., Башарин В.А., Зацепин В.В. Гидразин и его производные: токсикологическая характеристика // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 4
3. Воробьев Е.В. Проектирование транспортных средств специального назначения: учеб. пособие / Е.В. Воробьев, О.Е. Денисов, В.И. Кузнецов; под ред. А.Н. Совы. – М.: МАДИ, 2014. – 96 с.
4. Гоголашвили Э.Л, И.В. Молгачева, А.А. Исаков Обезвреживание гидразина в сточных водах // Теплоэнергетика. - 2001. - №11. - С. 55-60.
5. Голованов М.В., Баранов М.Е. Аварийные ситуации при эксплуатации ракетно-космической техники // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. - 2013. - №9. - С. 318-319.
6. Дымин В.В., Денисов В.Л., Андропова С.Н., Малетин В.П. Влияние гидразина на генеративную функцию животных при различных путях поступления в организм // Гигиена и санитария. - 1984. - №9. - С. 25-28.
7. Егорычев В.С. Топлива химических ракетных двигателей: учеб. пособие. - Самара: СГАУ, 2007. - 72 с.
8. Железняков А.Б., Кораблев В.В. «Космические гавани» планеты часть I. космодромы России // Глобальная энергия. - 2014. - №3. - С. 14-22.
9. Железняков А.Б., Кораблев В.В. «Космические гавани» планеты. Часть II. Космодромы США, Китая и других стран // Глобальная энергия. - 2014. - №3. - С. 23-34.
10. Заичко В.А., Шведов Д.О., Кутумов А.А. О состоянии и развитии российской государственной космической системы дистанционного зондирования Земли // Дистанционное зондирование Земли из космоса в России. - 2022. - №2. - С. 6-17.
11. Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. - Москва: Агропромиздат, 1991. - 415 с.

12. Колесников, С.В. Окисление несимметричного диметилгидразина (гептила) и идентификация продуктов его превращения при проливах. - Новосибирск: СибАК, 2014. - 110 с.
13. Комаров И.А., Милованов А.Г., Чмаров К.В. Космодром "Восточный" - будущее российской космонавтики // Космическая техника и технологии. - 2015. - №3. - С. 3-14.
14. Кондратьев А.Д., Касимов Н.С., Кречетов П.П. Экологическая безопасность ракетно-космической деятельности. - Москва: Спутник +, 2015. - 280 с.
15. Крестников И.Ф. Космическая деятельность: экологические аспекты качества жизни // Качество и жизнь. - 2017. - №2. - С. 10-16.
16. Ладыгина Л.Ф., Галуцкая Т.В., Рагозина М.А. экологические проблемы космической деятельности: воздействие ракетно-космической техники на окружающую природную среду // Решетневские чтения. - 2013. - №17. - С. 355-356.
17. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлореллы (*chlorella vulgaris beijer*) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04, Т 16.1:2:2.3:3.7-04
18. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолуминесценции тест-системой «Эколюм». ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.8-04 (издание 2010 г.)
19. Мозжорин Ю.А., Чекалин С.В. Космос и экология. - Москва: Знание, 1991. - 63 с.
21. Нельсон-Смит, А. Нефть и экология моря. - Москва: Прогресс, 1977. - 302 с.

21. Останин А.А., Бадун Е.В., Басова И.К., Сержантов Т.М. «Байтерек» - будущее Байконура. Россия и Казахстан вступают в новую эпоху сотрудничества в космонавтике // Русский космос. - 2021. - №31. - С. 29-32.
 22. Панова Г.Г. Влияние компонентов ракетного топлива на почвенно-растительную систему: автореф. дис. канд. биол. наук: 06.01.14. - СПб., 1997. - 16 с.
 23. Попов И.Н. влияние ракетно-космической деятельности на окружающую среду европейского севера России: на примере Архангельской области: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук: 25.00.36. - Москва, 2009. - 24 с.
 24. Пособие по токсикологии, гигиене, химии, индикации, клинике, диагностике острых и хронических интоксикаций и профилактике профессиональных заболеваний при работе с несимметричным диметилгидразином / Под общ. ред. М. Ф Киселева, В. Р. Рембовского, В. В. Романова. - СПб., 2009. - 252 с.
 25. Справочник по токсикологии и гигиеническим нормативам (ПДК) потенциально опасных химических веществ / Под ред. В. С. Кушневой и Р.Б. Горшковой. - М.: ИздАТ, 1999. - 272 с.
 26. Чистов К.С. Использование сжиженного природного газа в качестве основного компонента ракетного топлива в России // Проблемы повышения эффективности научной работы в оборонно-промышленном комплексе России: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции. - Знаменск: 2022. - С. 161-163.
- Интернет-ресурсы:
27. В Китае началось строительство пятого космодрома // QYZYQ URL: <https://qyzyq.kz/news/world/> (дата обращения: 25.03.2024).
 28. Главные космические миссии 2024 года по исследованию Луны, Европы и Фобоса // Техинсайдер URL: <https://www.techinsider.ru/news/1627341> (дата обращения: 18.03.2024).
 29. Карта космодромов США URL: <https://t.co/d0wuL287Cd> (дата обращения: 25.03.2024).

30. Космическая гонка // Культура.РФ URL: <https://www.culture.ru/materials/50445/> (дата обращения: 24.03.2024).
31. Космодромы Мира // RusTeam Media URL: <https://rus.team/articles/> (дата обращения: 30.03.2024).
32. Освоение космоса // Год науки и технологий URL: <https://год-науки.рф/upload/iblock/8a8/jw8ynpv0ujue5wu049earmyl3pj2y5jr/aprel.pdf> (дата обращения: 15.03.2024).
33. Роскосмос URL: <https://www.roscosmos.ru/> (дата обращения: 31.03.2024).
34. Российские космодромы – путь к звездам // Межпоселенческая центральная библиотека Мясниковского района URL: https://chaltlib.ru/articles/resurs/jubilei_goda/god_rossijskojj_kosmonavtik/ (дата обращения: 19.03.2024).
35. Статистика космических запусков за последние 10 лет // Umbra.Cursor URL: <https://umbra.blog/2023/08/spacelaunches.html> (дата обращения: 31.03.2024).
36. Углекислый газ на спутнике Юпитера Европе поступает из подледного океана. Возможно, там жизнь // Техинсайдер URL: <https://www.techinsider.ru/science/news-1614239/> (дата обращения: 18.03.2024).
37. Фотометр ИПС-03 для измерения плотности суспензии // Лабораторное оснащение URL: <https://www.moslabo.ru/production/analitich/fotometry/fotometr-ips-03/> (дата обращения: 18.05.2024).
38. Ядерные ракетные двигатели // Центр космонавтика и авиация URL: <https://cosmos.vdnh.ru/izdoma/> (дата обращения: 12.04.2024).
39. Яндекс Карты URL: <https://yandex.ru/maps/> (дата обращения: 22.03.2024).
40. AsriaGraph // URL: <http://astria.tacc.utexas.edu/AstriaGraph/> (дата обращения: 30.03.2024).

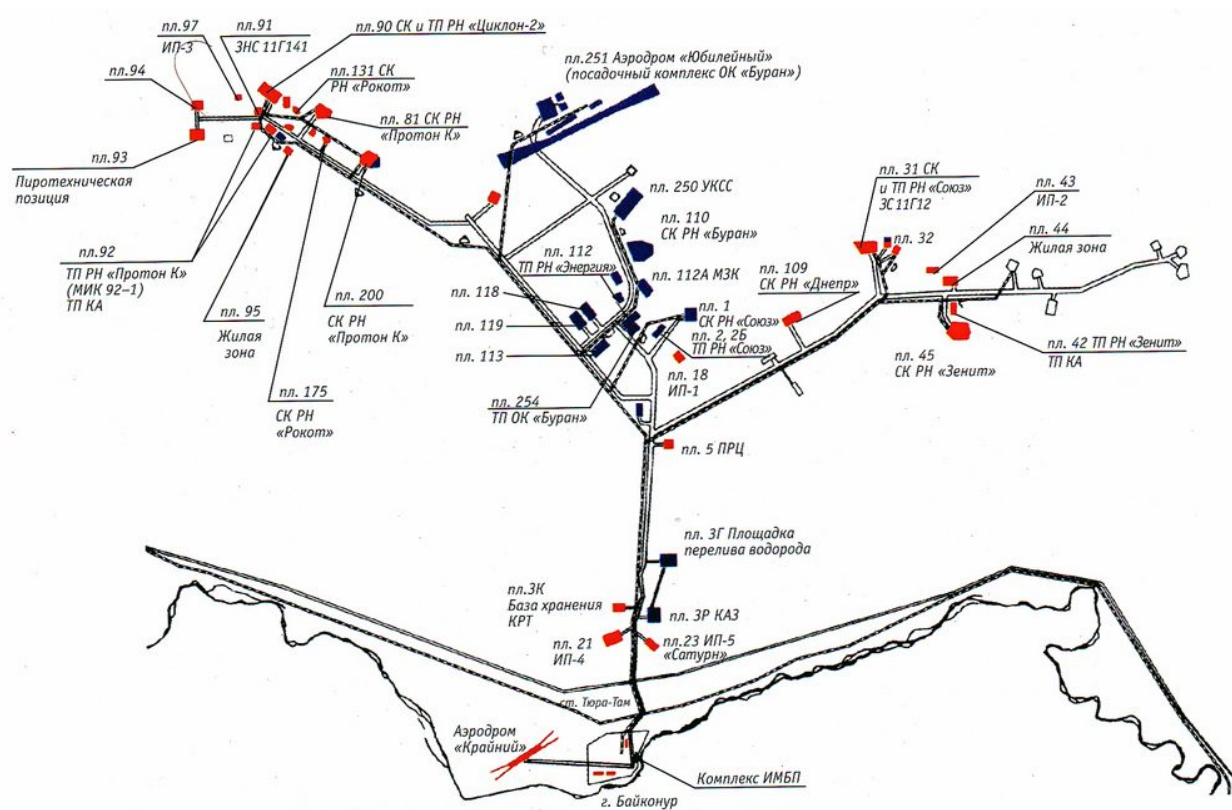
Сведения о космодромах Мира

Приложение А.1 – Сведения о космодромах Мира

Название космодрома	Территориальное расположение	Страна-владелец	Год ввода в эксплуатацию
Байконур	Кызылординская обл., респ. Казахстан, Приаральские Кара-Кумы	Россия	1957 г.
Плесецк	Архангельская обл., г. Мирный		1959 г.
Свободный	Амурская обл., г. Циолковский		1996 г. (закрыт в 2007 г.)
Восточный	Амурская обл., г. Циолковский		2016 г.
Ясный	Оренбургская обл., р-н Ясненский		1964 г.
Капустин Яр	Астраханская обл., г. Знаменск		1946 г.
Ванденберг	Тихоокеанское Побережье, шт. Калифорния	США	1957 г.
Кадьяк	Остров Кадьяк, штат Аляска, мыс Нэрроу		1998 г.
Кваджалейн	Маршалловы острова в Тихом океане, а также на о. Уейк		1964 г.
Космический центр Кеннеди	Штат Флорида, о. Меррит и м. Канаверал		1962 г.
Мыс Канаверал	Штат Флорида, о. Меррит и м. Канаверал		1949 г.
Уоллопс	Восточное побережье шт. Вирджиния и на о. Уоллопс		1945 г.
Вэньчан Хайкоу	О. Хайнань, в 60 км от г. Хайкоу	Китай	2012 г.
Сичан	Провинция Сычуань, у подножия хребта Далианшань		1970 г.
Тайюань	Провинция Шанси, на высоте 1500 м над уровнем моря в 500 км, юго-западнее от г. Байчен		1968 г.
Цзюцюань	Пустыня Гоби, провинция Ганьсу в р-не г. Шуанчэнцзы		1958 г.
Тонхэ	Восточное побережье Северной Кореи в уезде Хвадэгун провинции Хамгён-Пукто	КНДР	1984 г.
Сохэ	Провинция Пхёнан-Пукто на западе КНДР		1990 г.
Танэгасима	О. Танэгасима, префектура Кагосима	Япония	1969 г.
Утиноура	Побережье Тихого океана вблизи г. Кимоцуки, в префектуре Кагосима		1962 г.
Наро	Провинция Чолла-Намдо, юго-запад Южной Кореи	Республика Корея	2009 г.

Куру	Французская Гвиана в северо-восточной части Южной Америки на побережье Атлантического океана	Франция	1968 г.
Хаммагир	Алжир, недалеко от границы с Марокко		1947 г. (закрыт в 1967 г.)
Вумера	Австралия, штат Южная Австралия	Великобритания	1947 г. (закрыт в 1976 г.)
Алкантара	Штат Мараньян	Бразилия	1990 г.
Пальмахим	Центральный округ, пустыня Негев	Израиль	1971 г.
Шрихарикота	Штат Андхра-Прадеш, одноименный о. в Бенгальском заливе	Индия	1971 г.
Аль-Анбар	Провинция Аль-Анбар, в 50 км юго-западнее Багдада	Ирак	1989 г. (закрыт в 1991 г.)
Семнан	Пустыня Деште-Кевир (север Ирана), в 60 км от г. Семнан	Иран	2008 г. (закрыт в 2015 г.)
Сан-Марко	Индийский океан, залив Формоза, кенийские территориальные воды	Италия	1964 г. (закрыт в 1988 г.)

Приложение А.2 – Карта-схема космодрома «Байконур»

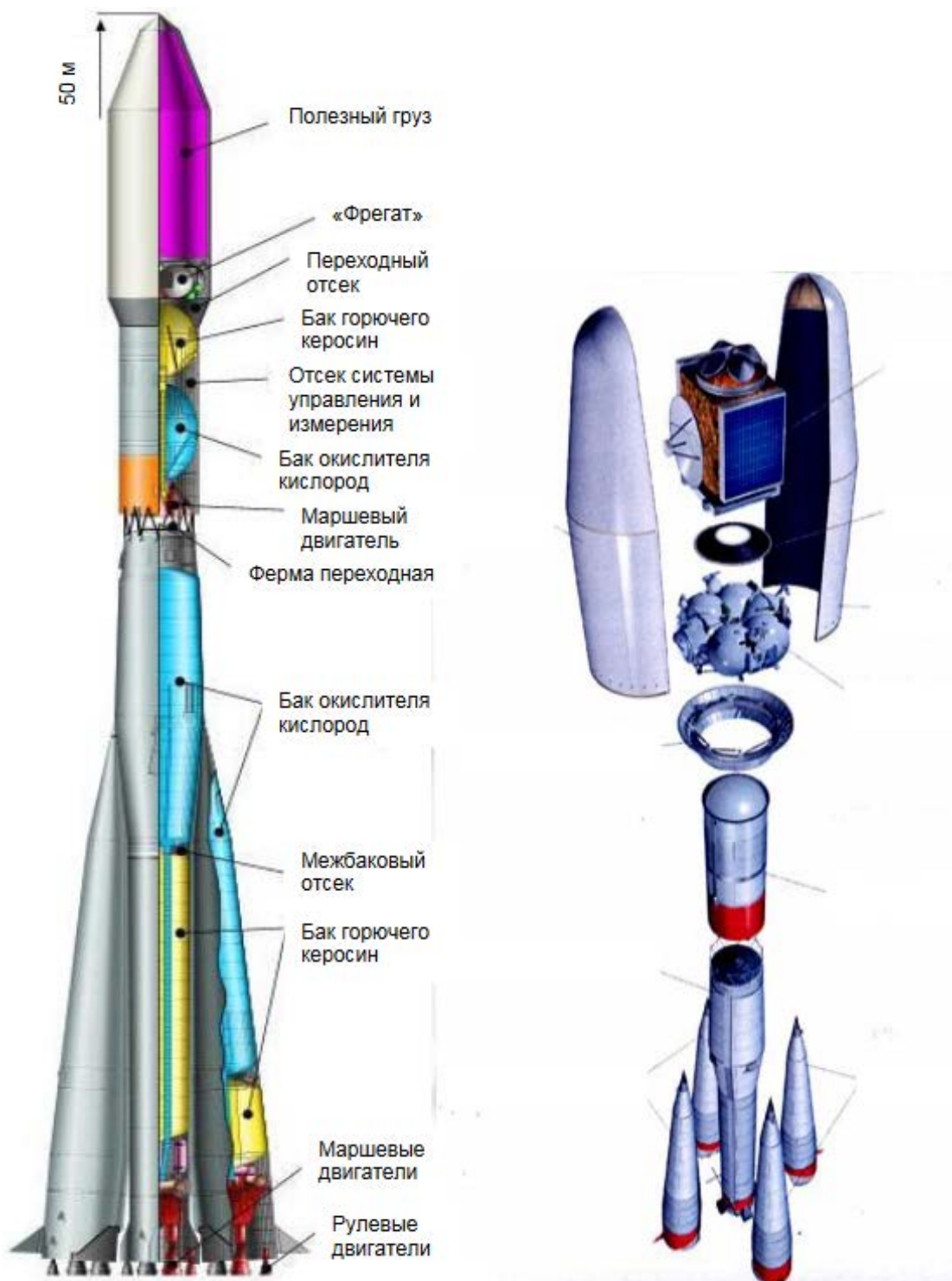


Приложение А.3 – Карта космодромов США



Сведения о космических аппаратах и ракетных топливах

Приложение Б.1 – Структурная схема ракеты-носителя «Союз-СТ» (Егорычев, 2007)



Приложение Б.2 - Классификация космических аппаратов по функциональному назначению (<https://eos.com/ru/>)

Классификация	Функции	Примеры КА
Навигационные	Обеспечивают глобальную навигацию и позиционирование на поверхности Земли	Системы GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), Galileo (Европейский Союз), Bei-Dou (Китай)
Коммуникационные	Передают сигналы связи, включая телевидение, интернет и другие виды коммуникации	Intelsat (США), SES (Голландия), Eutelsat (Франция)
Наблюдательные (дистанционного зондирования)	Используются для наблюдения за Землей и другими объектами (включая наблюдения за климатом, атмосферой, ландшафтом и др.)	Landsat (США), Sentinel (ЕС), TerraSAR-X (Германия)
Научно-исследовательские	Направлены на выполнение исследований в космическом пространстве	МКС – международная космическая станция (совместный проект NASA, ESA, JAXA, CSA, Роскосмоса)
Военные	Применяются для военной разведки, связи и навигации, наблюдения за военными объектами	Keyhole (США), Early warning satellites (Россия), Military Communication Satellites (США)
Метеорологические	Предоставляют данные для прогнозирования погоды, наблюдения за климатическими изменениями	GOES (США), Meteosat (ЕС), Fengyun (FY) (Китай), Himawari (Япония)

Приложение Б.3 - Примеры и характеристика окислителей в составе
жидкого ракетного топлива (Егорычев, 2007)

Окислитель	Характеристика	Преимущества	Недостатки
Жидкий кислород ($O_{2ж}$)	Один из самых распространенных окислителей, плотность $\rho = 1,14 \text{ г/см}^3$, $T_{кип} = 90 \text{ К}$, не имеет запаха, голубоватый оттенок	Относительно высокая плотность и низкая стоимость, считается не токсичным, отсутствуют загрязнения в результате сгорания	Требует специальных систем охлаждения и хранения из-за его криогенных свойств, высокая огнеопасность при взаимодействии с горючими веществами
Перекись водорода (H_2O_2)	Состоит на 94% из кислорода, $\rho = 1,44 \text{ г/см}^3$, $T_{кип} = 424 \text{ К}$, $T_{пл} = 272,3 \text{ К}$, бесцветная жидкость, 4 класс опасности, ПДК рабочей зоны 1 мг/м^3	Низкая токсичность, высокая плотность, возможность использования в качестве однокомпонентного топлива	Взрывоопасна, высокая коррозионная активность, нужен постоянный контроль состояния при транспортировке, высокая температура плавления
Азотная кислота (HNO_3)	Едкий запах, $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$, $T_{кип} = 359 \text{ К}$, ПДК рабочей зоны 2 мг/м^3 , 4 класс опасности	Невзрывоопасная, хранение не вызывает затруднений, низкая стоимость	Высокая коррозионная активность, считается токсичной
Азотный тетраоксид (N_2O_4)	Наиболее распространенный окислитель, окраска от светло-оранжевой до бурой при нагревании, запах азотной кислоты, $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$, $T_{кип} = 294 \text{ К}$, ПДК рабочей зоны 5 мг/м^3	Невзрывоопасен, менее токсичный в сравнении с азотной кислотой, стабильный, менее агрессивен к материалам конструкций	Небольшой диапазон температур для жидкого состояния, в связи с чем усложняется эксплуатация
Жидкий фтор ($F_{2ж}$)	Имеет желтый цвет, резкий запах, $\rho = 1,51 \text{ г/см}^3$, $T_{кип} = 85 \text{ К}$, ПДК рабочей зоны $0,03 \text{ мг/м}^3$, 2 класс опасности, является перспективным окислителем	Самый высокоэффективный окислитель	Чрезвычайно токсичен и взрывоопасен, высокая коррозионная активность

Приложение Б.4 - Примеры и характеристика горючего в составе жидкого ракетного топлива (Егорычев, 2007)

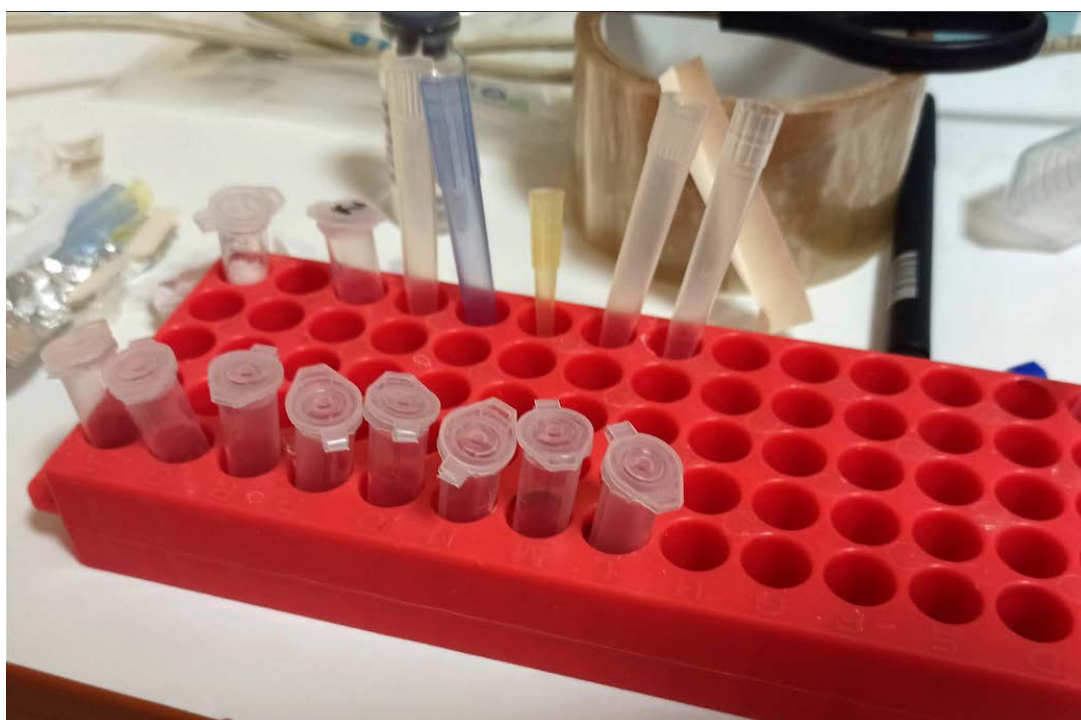
Горючее	Характеристика	Преимущества	Недостатки
Жидкий водород ($H_{2ж}$)	Бесцветная жидкость без запаха, высокая степень криогенности, $T_{кип} = 20,4 \text{ К}$, $T_{пл} = 14 \text{ К}$, $\rho = 0,071 \text{ г/см}^3$	Высокоэффективное горючее, не обладает коррозионной активностью, нетоксичный	Низкая плотность, большие потери на испарение, высокая взрывоопасность
Керосин ($C_{7,21}H_{13,29}$)	Углеводородное горючее желтовато-зеленого цвета, $T_{кип} = 420-550 \text{ К}$, $T_{пл} = 213 \text{ К}$, $\rho = 0,82-0,85 \text{ г/см}^3$, широко распространен в современных РД, 4 класс опасности	Способствует получению высокого импульса удельной тяги, слаботоксичный, невысокая взрывоопасность, низкая стоимость, не обладает коррозионной активностью	Большая летучесть паров, стабильность в большой степени зависит от состава, менее эффективен в сравнении с жидким водородом
Гидразин (N_2H_4)	Бесцветная маслянистая жидкость, $T_{кип} = 386,5 \text{ К}$, $T_{пл} = 274,6 \text{ К}$, $\rho = 1,01 \text{ г/см}^3$, гигроскопичен, 1 класс опасности, самовоспламеняющийся	Более высокая плотность в сравнении с керосином, стабильность в хранении	Очень токсичный, высокие затраты на обработку и безопасность в обращении
Несимметричный диметилгидразин, НДМГ ($C_2H_8N_2$)	Бесцветная жидкость с запахом аммиака, гигроскопичный, $T_{кип} = 335 \text{ К}$, $T_{пл} = 216 \text{ К}$, $\rho = 0,79 \text{ г/см}^3$, 1 класс опасности, ПДК рабочей зоны $0,1 \text{ мг/м}^3$	Термическая стабильность, стойкость, низкая коррозионная активность, высокоэффективен, требует меньше кислорода для сгорания	Высокая токсичность, сложность производства, при высоком давлении контакт с кислородом в воздухе способен привести к взрыву
Жидкие метан (CH_4), пропан (C_3H_8), этан (C_2H_6)	Углеводородные горючие с низкой степенью криогенности, являются перспективными, $T_{кип} (CH_4) = 112 \text{ К}$, $T_{пл} = 91 \text{ К}$, $\rho = 0,42 \text{ г/см}^3$, 4 класс опасности	Слаботоксичные, вредных примесей при сгорании выделяется меньше в сравнении с керосином	Сравнительно низкая плотность и температура кипения

Оборудование для проведения исследования

Приложение В.1 – Прибор экологического контроля «Биотокс-10М»



Приложение В.2 – Микроцентрифужные пробирки (эппендорфы) (1 мл)



Приложение В.3 – Пробирки для микропроб многоразового пользования
(1,5 мл)



Приложение В.4 – Фотоэлектроколориметр ИПС-03

