

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИФЗ РАН
Чл.-корр. РАН



С.А. Тихоцкий

25 апреля 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт физики земли им. О.Ю.Шмидта
Российской академии наук (ИФЗ РАН)
на диссертационную работу **Виноградова Юрия Анатольевича**
«Аппаратно-программный комплекс пассивной инфразвуковой локации
объектов, движущихся в атмосфере», представленную на соискание
учёной степени доктора технических наук по специальности
25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых»

Диссертационная работа посвящена решению фундаментальных и прикладных, практически значимых задач в рамках комплексной проблемы пассивной инфразвуковой пеленгации и локации объектов, движущихся в атмосфере со сверхзвуковой скоростью.

Актуальность диссертационной работы

В условиях перехода к новому технологическому укладу ракетно-космическая отрасль представляется определяющей для достижения экономического суверенитета, повышения обороноспособности, пространственного и научно-технологического развития нашей страны. Расположение отечественных космодромов на материковой части определяет обширные районы падения отделяющихся частей ракет-носителей. При этом не менее половины площадей этих районов охвачены активной хозяйственной деятельностью. Данное обстоятельство диктует актуальность проблемы оптимальной прокладки трасс запуска космических аппаратов, отведения новых районов падения (РП) и определения фактических эллипсов рассеивания фрагментов отделяющихся ступеней ракет-носителей (РН). Однако, современные инструменты оперативного поиска точек падения фрагментов малочисленны, недостаточно мобильны и, как правило, требуют подготовки специальных стационарных площадок для натурных наблюдений. Данная проблема представляется крайне актуальной, в том числе и в свете активной работы с космодрома «Восточный», а её решение непосредственно

связано с разработкой новой методологии прогнозирования районов падения отделяющихся частей РН с учётом оперативных данных о состоянии атмосферы на пассивном участке траектории, а также создания новых измерительных и программных средств, для оперативного контроля снижающихся фрагментов в режиме близком к реальному времени.

Соответствие темы диссертации паспорту специальности.

Представленная диссертация соответствует паспорту специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» по следующим пунктам:

п.14. Методы обработки и интерпретации результатов измерения геофизических полей;

п.15. Компьютерные системы обработки и интерпретации геолого-геофизических данных;

п.19. Измерительная техника, средства, технологии, системы наблюдений и сбора геофизических данных; геофизические излучающие и измерительные системы.

Научная новизна и практическая значимость

Основная идея работы состоит в применении выявленных в последнее десятилетие закономерностей распространения инфразвуковых волн в атмосфере, образующихся при движении объектов в атмосфере, для создания эффективных моделей, алгоритмов, программных комплексов и специальной аппаратуры, позволяющих производить пеленгацию мест генерации инфразвуковых сигналов, определять типы их источников на основе специально разработанной базы данных типовых волновых форм и прогнозировать места возможных падений объектов на земную поверхность.

Автором обосновывается новый алгоритм детектирования инфразвуковых импульсов, позволяющий надежно и более эффективно, чем традиционно применяемые методы, выделять сигналы от источников инфразвука различного происхождения. Также обосновывается новый метод пеленгации объектов, движущихся в атмосфере со сверхзвуковой скоростью и генерирующих ударные волны. Отметим, что этот метод был применён в решении ряда практически значимых задач ракетно-космической отрасли и продемонстрировал высокую эффективность.

Лично и при непосредственном участии автора разработан портативный аппаратно-программный комплекс пассивной инфразвуковой локации движущихся в атмосфере объектов, предназначенный для решения широкого круга научных и прикладных задач, и создана на основе многолетних наблюдений и подтвержденная данными физического моделирования

база данных волновых форм, инфразвуковых сигналов, генерируемых различными фрагментами снижающихся частей ракет-носителей.

Научная новизна диссертационной работы Виноградова Ю.А. заключается в создании оригинальных, научно-обоснованных и эффективных алгоритмов, методик и технологий, а также создании пионерного аппаратно-программного комплекса пассивной инфразвуковой локации, успешно прошедшего практическую апробацию в течение 2010-2021 годов при решении различных практических задач.

Практическая значимость работы подтверждена двумя актами внедрения полученных результатов и непосредственно связана с разработкой методического, аппаратного и программного обеспечения, аппаратно-программного комплекса для инфразвуковой локации объектов, движущихся в атмосфере, в интересах решения различных научных и практических задач. Представленный комплекс в настоящее время используется при проведении плановых пусков ракеты-носителя «Ангара».

Таким образом, в диссертационной работе представлены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в экологическую безопасность ракетно-космической деятельности на территории Российской Федерации. Результаты применения работы в хозяйственной деятельности (при осуществлении пусков ракет-носителей и уточнения площадей районов падения) приносят конкретный экономический эффект.

В целом, диссертационная работа представляется оригинальной, а разработанные методы, математические модели и реализующие их программные комплексы и аппаратные средства удовлетворяют критериям новизны и существенных отличий.

Обоснованность и достоверность научных результатов

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается использованием апробированных на практике классических и современных методов и моделей распространения звука в неоднородной среде, а также данными многочисленных экспериментов, проведенных автором. Научные материалы работы были опубликованы в рецензируемых российских и международных журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых РИНЦ, WoS и Scopus, а также были неоднократно представлены на всероссийских и международных научных конференциях.

Личное участие автора в получении результатов

Ознакомившись с содержанием диссертации, автореферата и научными работами автора, опубликованными в открытой печати, становится понятным, что Виноградову Ю.А. принадлежит оригинальная идея создания программно-аппаратурного комплекса, разработка основных технических решений и алгоритмов, участие в полевых экспедиционных исследованиях и непосредственной обработке, анализе и интерпретации геофизических данных. Ранее опубликованные результаты отечественных и зарубежных исследователей процитированы корректно, что подтверждается обширным списком первоисточников.

Полнота изложения материалов диссертации

Структурно рукопись объёмом в 230 страниц состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 264 наименований, содержит 99 рисунков и 23 таблицы.

Введение формулирует комплексную проблему и основную идею работы с обоснованием актуальности, новизны, защищаемых положений и практической значимости. Приведены сведения о результатах апробации научных материалов, личном вкладе автора, а также благодарности коллегам.

В первой главе дается краткое описание инфразвукового метода мониторинга и современное состояние исследований в мире, рассмотрены типовые источники инфразвуковых колебаний, возбуждаемые в атмосфере движущимися объектами, отражены современные подходы к проведению инфразвукового и акустического мониторинга, проводимого ведущими специалистами различных стран мира, рассмотрены и описаны современные модели атмосферы, обоснован их выбор для применения в составе описываемого аппаратно-программного комплекса, рассматриваются основные тенденции развития инфразвукового метода мониторинга.

Во второй главе проведен всесторонний анализ имеющейся аппаратуры для регистрации инфразвука, обоснован выбор инфразвуковых датчиков. В этой же главе приводится подробное описание процесса создания и развития технической (аппаратной) части комплекса, описание его составных частей и их взаимодействия между собой.

В третьей главе описываются основные алгоритмы, используемые для выделения инфразвуковых сигналов от движущихся источников, приводится обоснование методики пеленгации движущихся целей, описание структуры программной части аппаратно-программного комплекса, описание и назначение основных программ, входящих в состав комплекса.

В четвертой главе рассмотрены результаты физического моделирования, проведенного в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по определению аэродинамиче-

ских характеристик типовых фрагментов конструкции ОЧ РН «Союз» и имитационного тематического моделирования по распаду 1-й ступени. Описана методика создания базы данных инфразвуковых сигналов, генерируемых снижающимися фрагментами отделяющихся ступеней ракет-носителей.

В пятой главе приведены результаты практического применения мобильного автономного аппаратно-программного комплекса пассивной инфразвуковой локации и технологии инфразвуковой локации для определения мест падения снижающихся фрагментов 1-й и 2-й ступеней ракет-носителей «Союз», «Протон» и «Ангара» в штатных районах падения.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам работы и рассмотрены перспективы её дальнейшего развития.

Основные защищаемые положения автора обосновываются в представленной работе, а именно:

– *новый алгоритм* выделения и выборки коррелированных по форме и времени прихода инфразвуковых импульсов на систему, состоящую из 3 инфразвуковых датчиков, впервые примененный для выделения слабых инфразвуковых сигналов импульсного типа обоснован в разделе 3.1;

– *новый метод инфразвуковой пеленгации* движущихся в атмосфере объектов, позволяющий с использованием 2-х и более мобильных инфразвуковых групп, надежно определять места падений, как одиночных, так и летящих группой многочисленных объектов, снижающихся в атмосфере со сверхзвуковой скоростью, обоснован в разделах 3.2 и 3.3, а также результатами натурных экспериментов, приведенными в главе 5.

– действующий портативный *аппаратно-программный комплекс*, предназначенный для решения широкого круга научных и прикладных задач, использующий современные средства передачи данных, обеспечивающий надежную регистрацию, накопление и оперативную передачу зарегистрированных данных в центр обработки обоснован в разделах 2.2 и 3.4, а также результатами натурных экспериментов, приведенными в главе 5;

– *уникальная база данных* волновых форм, созданная на основе многолетних наблюдений и подтвержденная данными физического моделирования, включающая различные параметры инфразвуковых сигналов, генерируемых различными фрагментами снижающихся частей ракет-носителей, обоснована в главе 4.

Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в 63 печатных работах, внесенных в базу РИНЦ, в том числе 19 печатных работ из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, утвержденного ВАК. По результатам работы получены 3 патента РФ, 1 авторское свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

В диссертации корректно используются результаты из научных работ, опубликованных соискателем лично, а также работ других авторов, тем самым подтверждается соответствие ее требованиям, установленным пунктом 14 Положения о присуждении ученых степеней.

По материалам, входящим в диссертационную работу, подготовлена и внедрена в образовательный процесс Кольского филиала Петрозаводского Государственного университета учебная программа дополнительного образования «Программные средства для инфразвуковой локализации объектов в атмосфере».

Замечания и недостатки работы

1. Во введении критически проанализированы существующие методы контроля снижающихся фрагментов ракет-носителей (оптический и радиолокационный), при этом помимо недостатков было бы логичным отметить и преимущества этих методов (если таковые имеются).

2. Созданный в ходе выполнения работы объект интеллектуальной собственности, а именно – база данных волновых форм инфразвуковых сигналов, вызванных снижением фрагментов ракет-носителей, по невыясненной причине не имеет государственной регистрации в ФИПС.

3. Отсутствуют выводы по главам.

Несмотря на высказанные замечания, все защищаемые положения автором доказаны, а диссертационную работу следует признать законченной и выполненной на высоком научном и техническом уровне. Автореферат полностью отражает содержание диссертации и соответствует требованиям ВАК.

Практическое приложение результатов исследования.

Практические результаты реализации данной работы заключаются в следующем:

– в десятки раз сокращены зоны поиска приземлившихся фрагментов отделяемых частей РН «Союз-2», «Протон-М», «Ангара 1.2ПП», «Ангара А5» с соответственным уменьшением материальных затрат, связанных с использованием авиационных средств;

– внедрён в практику обеспечения пусков РН инструмент экологического контроля мест падения фрагментов отделяемых частей в реальном масштабе времени, что дает предпосылки к оперативной локализации неблагоприятных последствий падения и за счет этого снижает экологический ущерб, наносимый окружающей среде районов падения;

– инструментально подтверждено выполнение программы первого испытательного пуска РН легкого класса «Ангара 1.2ПП» в части точности приземления фрагментов РН и головного обтекателя в районе падения на полуострове Камчатка;

– методами инструментального контроля подтверждено выполнение условий экологической безопасности в части особо охраняемых природных территорий при запуске РН «Ангара А5»;

– разработан инструмент, способный обеспечить решение задачи сокращения отчуждаемых территорий за счет установления причинно-следственных связей между конструктивными особенностями РН, параметрами полетных заданий и состоянием реальной атмосферы с характеристиками реальных зон рассеивания фрагментов отделяемых частей.

Выводы

Всё вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что диссертационную работу можно квалифицировать, как исследование по актуальному направлению современной геофизики, а именно, разработке новой методологии прогнозирования районов падения отделяющихся частей ракет-носителей с учетом оперативных данных о состоянии атмосферы и фактора их разрушения на пассивном участке траектории, созданию измерительных и программных средств для оперативного контроля снижающихся фрагментов в режиме реального времени непосредственно в районах падений.

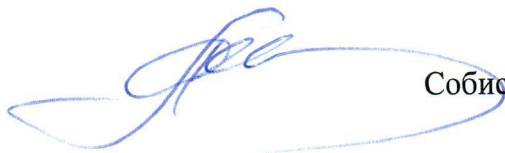
Таким образом, диссертационная работа Виноградова Юрия Анатольевича является законченным трудом, в котором, на основании выполненных автором исследований и разработок осуществлено новое решение актуальное научно-технической задачи в рамках комплексной проблемы повышения эффективности и экологической безопасности ракетно-космической деятельности в нашей стране.

Отзыв подготовили:

Заместитель директора ИФЗ РАН, заведующий лабораторией сильных землетрясений и сейсмометрии (305) ИФЗ РАН, доктор физико-математических наук

Татевосян Рубен Эдуардович

Заместитель директора ИФЗ РАН, заведующий лабораторией фундаментальных проблем экологической геофизики и вулканологии (703), доктор физико-математических наук, член-корр. РАН



Собисевич Алексей Леонидович

Материалы диссертационной работы были представлены автором на заседании Проблемного совета ИФЗ РАН «Сейсмичность Земли, природные и природно-техногенные катастрофы» (протокол № 2022/1 от 10.03.2022 г.). На этом же заседании данный отзыв был рассмотрен и утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации.

Представленная диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для ученой степени доктора наук, а её автор – Виноградов Юрий Анатольевич – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (сокращенное название – ИФЗ РАН).

Адрес: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10.

Телефон: +7 (499) 766-2656, факс: +7 (499) 766-2654.

Эл. почта: direction@ifz.ru

Подписи Зам. директора ИФЗ РАН, зав. лабораторией сильных землетрясений и сейсмологии (305) ИФЗ РАН, д.ф.-м.н. Татавояна Р.Э. и зам.директора ИФЗ РАН, зав. лабораторией фундаментальных проблем экологической геофизики и вулканологии (703), д.ф.-м.н., член-корр.РАН Собисевича А.Л. заверяю.

Ученый секретарь ИФЗ РАН



Д.В. Лиходеев