



«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора
по научной работе ФИЦ ЕГС РАН
Р.А. Дятлев

21 декабря 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Федерального исследовательского центра

Единая геофизическая служба Российской академии наук

(ФИЦ ЕГС РАН)

по диссертационной работе директора ФИЦ ЕГС РАН

Виноградова Юрия Анатольевича на тему:

«Аппаратно-программный комплекс пассивной инфразвуковой локации объектов,
движущихся в атмосфере»

на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Диссертационная работа «Аппаратно-программный комплекс пассивной инфразвуковой локации объектов, движущихся в атмосфере» выполнена в ФИЦ ЕГС РАН в период с 2008 по 2021 годы и посвящена разработке универсального Аппаратно-программного комплекса для пассивной инфразвуковой локации объектов, движущихся в атмосфере и решения широкого круга научных и прикладных задач.

Объектом исследования являются инфразвуковые волны, генерируемые различными движущимися объектами, закономерности их распространения и затухания в атмосфере.

Предметом исследования являются основные факторы, способствующие надежной гарантированной регистрации инфразвуковых сигналов от источников различного типа, определению типов источников и их локация в атмосфере.

Актуальность диссертационной работы

В Федеральной космической программе России на 2016-2025 годы отмечается важность практического решения экологических проблем, возникающих в результате космической деятельности. Обеспечение безопасности вдоль трасс запусков космических аппаратов (КА) и в районах падения отделяющихся частей (ОЧ) ракет-носителей (РН)

является важным элементом космической деятельности. Непрерывное развитие промышленной и сельскохозяйственной инфраструктур, введение в хозяйственный оборот новых земель, ужесточение экологического законодательства, принятие новых земельных законов существенно усложняют проблему отведения районов падения ОЧ для новых трасс запусков КА. В ряде случаев районы падения ОЧ РН находятся на зарубежных территориях (Республика Казахстан, Туркмения), поэтому проблема обеспечения безопасности при запусках КА обсуждается на уровне высшего руководства Российской Федерации и этих государств. Кроме проблемы обеспечения безопасности вдоль уже существующих трасс запуска КА и в выделенных районах падения, в настоящее время актуальна проблема отведения новых районов для приема ОЧ РН, запускаемых с космодрома «Восточный», и обеспечения экологической безопасности вдоль новых трасс запуска КА. Результаты проводимых в последние годы пусков РН «Союз» и «Протон», показывают, что имеет место значительное отклонение размеров фактических эллипсов рассеивания точек падения ОЧ РН от данных, приведенных в баллистической документации предприятий-разработчиков. Их координатные привязки также имеют существенные отличия. Основными причинами несовпадения расчетных данных с фактическими являются: не учет фактического состояния параметров атмосферы; не учет возможного разрушения ОЧ на пассивном участке траектории; ошибки в определении начальных условий движения ОЧ РН.

Опыт эксплуатации районов падения показывает, что зачастую имеет место значительный рост размеров эллипсов рассеивания ОЧ РН по сравнению с характеристиками РП, представленными в баллистической документации на изделия и, соответственно, вылеты фрагментов за пределы выделенных районов, с нанесением вреда окружающей среде и снижением экологической безопасности. Кроме того, отличие прогнозируемых координат точек падения фрагментов ОЧ РН от фактических затрудняет их оперативный поиск, утилизацию, ликвидацию результатов воздействия на окружающую среду и ведет к росту материальных затрат. Повышение точности прогнозирования точек падения отделяющихся частей и фрагментов их конструкции возможно при привлечении дополнительной информации о реальных кинематических параметрах их полёта на конечном участке траектории. Использование существующей технологии внешнетраекторных измерений полёта ступеней ракет-носителей (установка активных ответчиков или навигационной аппаратуры потребителя) затруднено, так как конструкция ступени при снижении с гиперзвуковой скоростью может разрушаться случайным образом. Измерительные средства поисковых групп для определения точек падения фрагментов на сегодняшний день практически отсутствуют. Существующие методы оптического наблюдения относятся к

полигонному оборудованию, поскольку весят несколько сотен килограммов и требуют для установки стационарное бетонное основание. К тому же их применение ограничено в условиях плохой видимости. Использование компактных, мобильных радиолокационных станций позволяет обнаруживать цели на дальностях 60–80 км, но этот вариант тоже имеет свои недостатки, поскольку стоимость радиолокационных станций очень велика, станции требуют мощных источников питания, а условия их применения ограничены необходимостью обустройства специальных бетонных площадок.

Таким образом, проблема прокладки новых трасс запуска КА, отведения новых районов падения фрагментов ОЧ РН и определения фактических эллипсов рассеивания фрагментов отделяющихся ступеней ОЧ является актуальной, особенно в свете развития нового космодрома «Восточный» на Дальнем Востоке России. Данная проблема имеет не только организационное содержание (необходимость согласований на различных уровнях, вывод земель из землепользования и т.п.), но и требует разработки новой методологии прогнозирования районов падения отделяющихся частей РН с учетом оперативных данных о состоянии атмосферы и фактора их разрушения на пассивном участке траектории, а также создании измерительных и программных средств, для оперативного контроля снижающихся фрагментов в режиме близком к реальному времени, которые было бы возможно применять заинтересованными организациями в повседневной практике.

Научная новизна и практическая значимость

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.

Теоретически обоснованный и практически апробированный метод пеленгации объектов, движущихся в атмосфере, 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. Данный метод был впервые применен для целей ракетно-космической отрасли, а именно, для обеспечения безопасности при пусках ракеты-носителя нового типа класса «Ангара». Применение опытного образца комплекса при осуществлении пусков ракеты-носителя нового типа «Ангара», позволило оперативно обнаруживать упавшие фрагменты, подтверждать успешность запуска, при этом экономить на данных мероприятиях более 50

млн. рублей.

В работе представлен теоретически обоснованный и практически апробированный метод пеленгации объектов, движущихся в атмосфере, 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.

Таким образом в диссертационной работе изложены 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, выполненная работа является 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. Основные выводы и защищаемые положения представляют собой результаты, которые прошли научное рецензирование и опубликованы в соответствующих журналах, а также многократно представлялись на всероссийских и международных конференциях.

Личное участие автора в получении результатов

Основу диссертации составляют результаты натурных полевых и экспедиционных работ, натурные экспериментальные исследования по изучению влияния строения и состояния атмосферы на распространение инфразвуковых сигналов, в которых автор принимал непосредственное участие.

Автор принимал участие в разработке и отладке алгоритмов, компьютерной обработке, анализе и интерпретации геофизической информации, полученной в натурных экспериментах, с помощью разработанных алгоритмов и программных комплексов.

На этапе обобщения результатов, подготовки публикаций и диссертационной работы, автор использовал также опубликованные результаты других отечественных и зарубежных исследователей с приведением необходимых ссылок на первоисточники.

Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах автора

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, и 12 печатных работ в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus.

1. Асминг В.Э., **Виноградов Ю.А.**, Евтюгина З.А., Кременецкая Е.О., Прокудина А.В. О результатах наблюдений на Апатитском сейсмо-инфразвуковом комплексе // Вестник МГТУ. Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2008. Т. 11. № 3. С. 512-518.
2. Асминг В.Э., Евтюгина З.А., Виноградов Ю.А., Федоров А.В. Анализ инфразвуковых сигналов, генерируемых техногенными источниками // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12. № 2. С. 300-307.
3. Асминг В. Э., Кременецкая Е. О., **Виноградов Ю.А.**, Евтюгина З. А. Использование критериев идентификации взрывов и землетрясений для уточнения оценки сейсмической опасности региона // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2010. Т.13. № 4/2. С. 998-1007.
4. Асминг В.Э., Баранов С.В., **Виноградов Ю.А.**, Воронин А.И. Сейсмоинфразвуковой мониторинг на Шпицбергене // Сейсмические приборы, 2012. Т. 48, № 3. С.20-33.
5. Провоторов Д.С., А.В. Соловьев, **Ю.А. Виноградов.** Амплитудно – частотные характеристики инфразвуковых сигналов от наземных взрывов // Известия Томского политехнического университета, №2, т.322, 2013. С. 87-90
6. **Виноградов Ю.А.**, Асминг В.Э., Баранов С.В., Федоров А.В., Виноградов А.Н. Сейсмоинфразвуковой мониторинг деструкции ледников (пилотный эксперимент на архипелаге Шпицберген) // Сейсмические приборы, 2014. Т. 50, № 4, с. 5 –14.
7. Маловичко А.А., А. Н. Виноградов, **Ю.А. Виноградов.** Развитие систем геофизического мониторинга в Арктике // Арктика: экология и экономика, №2(14) 2014. С. 16 – 23.
8. Асминг В.Э., Евтюгина З.А., **Виноградов Ю.А.** Калибровка скоростной модели Хибинского горного массива и прилегающей территории с помощью регистрации промышленных взрывов // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2015. Т. 18. № 2. С. 171–177.
9. Асминг В.Э., **Виноградов Ю.А.**, Воронин А.И., Федоров А.В., Чигерев Е.Н., Роскин О.К. Поиск фрагментов ракет – носителей инфразвуковым методом // Вестник НЯЦ РК, вып. 4, 2015. С. 42 – 49
10. Асминг В.Э., **Виноградов Ю.А.**, Воронин А.И., Федоров А.В., Чигерев Е.Н., Роскин О.Г. Определение мест падений фрагментов ракет-носителей по данным инфразвуковых наблюдений // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2016. Т. 52. № 6. С. 707-715.

11. Асминг В.Э., Баранов С.В., Виноградов А.Н., **Виноградов Ю.А.**, Федоров А.В. Использование инфразвукового метода для мониторинга деструкции ледников в арктических условиях // *Акустический журнал*. 2016. Т. 62. № 5. С. 582-591
12. Авраамов А.В., Асминг В.Э., **Виноградов Ю.А.**, Воронин Н.Н., Хохленко Ю.Л. Методика локации источников инфразвуковых колебаний // *Успехи современной радиоэлектроники*, №5, 2016. С. 5 – 9.
13. **Виноградов Ю.А.**, Асминг В.Э. Применение методов инфразвуковой пеленгации и локации для определения мест падения фрагментов отработавших ступеней ракет-носителей // *Сейсмические приборы*. – 2017. – Т. 53, № 4. – С. 5-25. <https://doi.org/10.21455/si2017.4-1>
14. **Виноградов Ю.А.**, Федоров А.В. Катастрофа вертолета на архипелаге Шпицберген: дешифровка инфразвуковых и сейсмических сигналов // *Геофизические процессы и биосфера*. — 2019. — Т. 18, № 1. — С. 111-117.
15. Асминг В.Э., Федоров А.В., **Виноградов Ю.А.**, Чебров Д.В., Баранов С.В., Федоров И.С. Быстрый детектор инфразвуковых событий и его применение // *Геофизические исследования*. – 2021. – Т. 22, № 1. – С.54-67. DOI: 10.21455/gr2021.1-4
16. **Виноградов Ю.А.**, Федоров А.В., Баранов С.В., Асминг В.Э., Федоров И.С. О выделении айсбергообразующих льдотрясений по сейсмоинфразвуковым данным // *Лёд и Снег*. — 2021. — Т. 61, № 2. — С. 262-270. DOI: 10.31857/S2076673421020087

Статьи в Web of Science :

1. E. A. Kasatkina, O. I. Shumilov, **Y. A. Vinogradov**, A. N. Vasilyev Spectral characteristics of atmospheric pressure and electric field variations under severe weather conditions at high latitudes // *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions (ACPD)* , 6 (4), 2006. P. 6613-6626
2. **Vinogradov Yu. A.**, V. E. Asming, S. V. Baranov, A. V. Fedorov, A. N. Vinogradov. Seismic and Infrasonic Monitoring of Glacier Destruction: A Pilot Experiment on Svalbard*// *Seismic Instruments*, 2015, Vol. 51, No. 1, pp. 1–7.
3. **Vinogradov Yu.**, Kozyrev A., Asming V. New 3D velocity model of the Khibiny and Lovozero mountain massifs for accurate location of Rock Bursts and explosions in underground mines and quarries // 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015 Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. 2015. P. 1051-1058.
4. Gibbons S.J., Asming V.E., Fedorov A.V., Fyen J., Kero J., Kozlovskaya E., Kværna T., Liszka L., Näsholm S.P., Raita T., Roth M., Tiira T., and **Vinogradov Yu.A.** The European Arctic: A laboratory for seismoacoustic studies // *Seism. Res. Letters*, 2015, vol. 86, no. 3, pp. 917–928, DOI:10.1785/0220140230.
5. Asming V.E., Baranov S.V., Vinogradov A.N., **Vinogradov Yu.A.**, Fedorov A.V. Using an Infrasonic Method to Monitor the Destruction of Glaciers in Arctic Conditions* // *Acoustical Physics*, 2016. Vol. 62. No. 5. Pp. 583-592 DOI:10.1134/S1063771016040035
6. Vinogradov A., Asming V., Baranov S., Fedorov A., **Vinogradov Yu.** Joint seismoinfrasound monitoring of outlet glaciers in the Arctic: case study of the Nordenskiöld outlet glacier terminus near Pyramiden (Spitsbergen) \ 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016. Book 1. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Conference Proceedings. Vol. III. Hydrology, Engineering Geology & Geotechnics, Applied and Environmental Geophysics, Oil and Gas

- Exploration. Albena, Bulgaria, 30 June – 6 July, 2016. Sophia: STEF92 Technology, 2016. Pp. 521-528. DOI:10.5593/SGEM2016B13
7. Asming V.E., **Vinogradov Yu.A.**, Voronin A.I., Fedorov A.V., Chigerev E.N., Roskin O.K. Determining places of falling of launch vehicle fragments using infrasonic observations* // *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2016. T. 52. № 6. С. 629-636.
 8. **Vinogradov Yu.A.**, Asming V.E. Detection of impact points of fragments of spent launch vehicle stages using infrasound direction-finding methods* // *Seismic Instruments*. — 2018. — V. 54, N 4. — P. 387-400. DOI:10.3103/S0747923918040102
 9. **Vinogradov Yu.A.**, Fedorov A.V. Helicopter crash on the Spitsbergen Archipelago: infrasound and seismic signals decryption* // *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. — 2019. — V. 55, № 7. — С. 779-784. DOI: 10.1134/S0001433819070107
 10. **Vinogradov Yu.A.**, Fedorov A.V., Baranov S.V., Asming V.E., Fedorov I.S. Identification of iceberg-forming ice quakes from seismic and infrasound data* // *Led i Sneg-Ice and Snow*. – 2021. – V. 61, N 2. – P. 262-270. DOI:10.31857/S2076673421020087

Статьи в Scopus:

1. Zhirov D., **Vinogradov Yu.**, Zhirova A., Klimov S., Zhukova S. 3D-analysis of the rock burst taken place on 27/01/2016 at mining section 14 of the Kirovsk mine (Khibiny, Russia) // 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017. Conference proceedings. – 2017. – P. 11-18. DOI: 10.5593/sgem2017/12/S02.002
2. Asming V.E., Fedorov A.V., **Vinogradov Yu.A.**, Chebrov D.V., Baranov S.V., Fedorov I.S. Fast infrasonic event detector and its application* // *Geophysical Research*. – 2021. – V. 22, N 1. – P. 54-67. DOI: 10.21455/GR2021.1-4

*Примечание: *- переводная версия статьи.*

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

Выводы

По совокупности полученных результатов представленную 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.

Материалы диссертационной работы были представлены автором на заседании Ученого совета Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (протокол № 17 от 21.12.2021 г.).

Заслушав и обсудив диссертационную работу Ю.А. Виноградова «Аппаратно-программный комплекс пассивной инфразвуковой локации объектов, движущихся в атмосфере», Ученый Совет ФИЦ ЕГС РАН решил рекомендовать ее к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Ученый секретарь ФИЦ ЕГС РАН, к.ф.-м.н.



И.А. Сдельникова