

Краткое сообщение  
УДК 551.594  
DOI: <https://doi.org/10.18127/j5604128-202405-12>

## Передвижной комплекс регистрации низкочастотных электромагнитных волн

О.В. Капустина<sup>1</sup>, Г.И. Дружин<sup>2</sup>, В.Е. Никифоров<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (Москва, г. Троицк, Россия)

<sup>2</sup> Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (с. Паратунка, Камчатский край, Россия)

<sup>1</sup> olkap@izmiran.ru, <sup>2</sup> drug@ikir.ru, <sup>3</sup> nika@izmiran.ru

### Аннотация

**Постановка проблемы.** Исследование распространения низкочастотных электромагнитных волн и их связи с природными и техногенными событиями.

**Цель.** Создание передвижного наземного комплекса регистрации ОНЧ-КНЧ излучений (ПНКР) в сейсмически активном регионе.

**Результаты.** Обнаружены атмосферерики, связанные со спрайтами. Проведена оценка влияния тропических циклонов на распространение низкочастотных электромагнитных волн, а также связи ОНЧ-волн с землетрясениями. Выявлена повышенная активность СА в связи циклонической деятельностью. Оценены некоторые параметры ионосферы.

**Практическая значимость.** Результаты исследований показали связь эффектов ОНЧ-КНЧ распространения с землетрясениями и тайфунами. По характеристикам КНЧ сигналов твигов можно оценить параметры ионосферы.

### Ключевые слова

Солнечные батареи, ОНЧ-КНЧ электромагнитные волны, атмосферерики, спрайты, твики, свистящие атмосферерики (СА)

### Для цитирования

Капустина О.В., Дружин Г.И., Никифоров В.Е. Передвижной комплекс регистрации низкочастотных электромагнитных волн // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 76–81. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-12>

A brief version in English is given at the end of the article

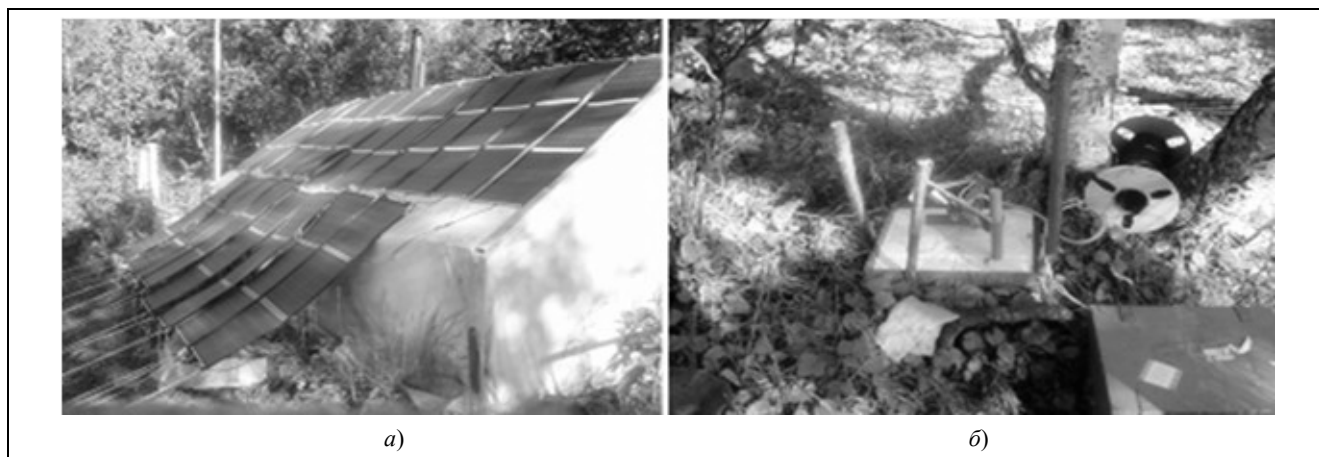
### Описание ПНКР и методика его работы

Цель работы – создание передвижного наземного комплекса регистрации ОНЧ-КНЧ излучений (ПНКР) в сейсмически активном регионе.

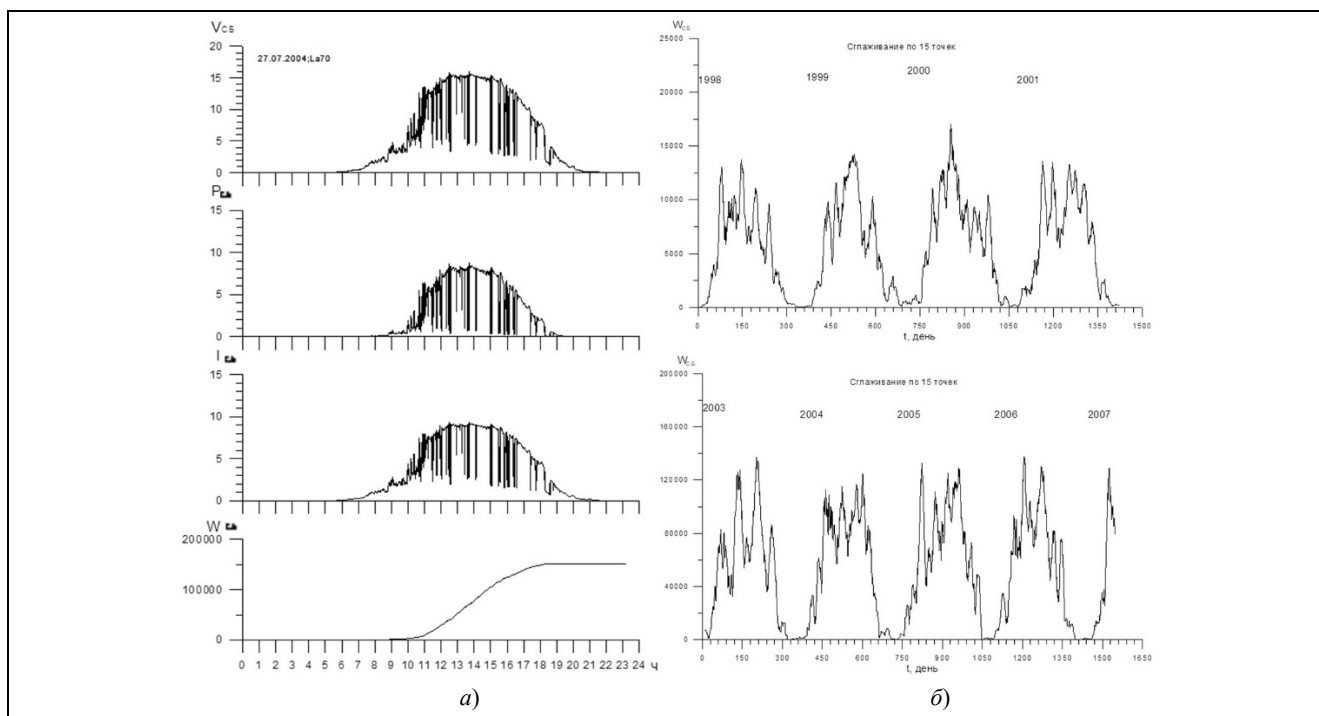
По инициативе Ю.М. Михайлова ИЗМИРАН совместно с ИКИР и ИВиС ДВО РАН был организован наземный пункт регистрации (рис. 1) у реки Левая Авача (54°N, 158°E) на Камчатке [1]. Электропитание ПНКР осуществлялось посредством автономной системы электроснабжения (СЭС) постоянного тока: стандартной 12 В аккумуляторной батареи (АБ) и контроллера заряда/разряда, обеспечивающего автоматическую защиту АБ от перезаряда, поддержание положительного энергобаланса в системе при изменяющихся погодных условиях и в ночное время суток. При освещении Солнцем генерируемая мощность солнечных батарей обеспечивает питание нагрузки и заряд аккумулятора.

На теневом участке, в пасмурные дни и ночью питание нагрузки осуществляется от АБ. В качестве иллюстрации на рис. 2 представлены графики изменения основных энергетических параметров солнечного излучения в фотоэлектрическом диапазоне для московского региона. В целом автономная система электроснабжения на основе солнечных батарей показала свою эффективность и надежность в течении длительного времени.

Во время работы ПНКР электромагнитные сигналы в широкой полосе (10 Гц – 20 кГц) принимались на две магнитные антенны, регистрировались приемником и, оцифрованные с шагом по времени  $\Delta t = 20$  мкс, записывались на портативный компьютер в режиме 1 мин в начале каждого часа. В остальное время широкополосные данные поступали на спектроанализатор с набором узкополосных аналоговых фильтров. На выходе каждого фильтра огибающие с шагом 1 мин записывались в файл на диск. Регистрация проводилась круглосуточно с августа по октябрь 2002 г. и с августа по начало ноября 2004 г.



**Рис. 1.** Комплекс ОНЧ-регистрации у реки Левая Авача: *a* – аккумулятор и солнечные батареи; *б* – антенный блок. В палатке – приемная аппаратура и портативный компьютер  
**Fig. 1.** The VLF registration complex near the Levaya Avacha River: *a* – a battery and solar panels; *b* – an antenna unit. The tent has reception equipment and a notebook



**Рис. 2.** *a* – суточный ход  $V_{sb}$ ,  $I_{sb}$ ,  $P_{sb}$  и  $W_{sb}$  за 27 июля 2004 г.; *б* – изменение во времени усредненных по 15 отсчетов  $W_{sb}$  за годы 1998–2001(вверху) и 2003–2007 (внизу)  
**Fig. 2.** *a* – the daily running of  $V_{sb}$ ,  $I_{sb}$ ,  $P_{sb}$  and  $W_{sb}$  for July 27, 2004; *b* – the time change of the 15  $W_{sb}$  counts averaged over the years 1998–2001 (top) and 2003–2007 (bottom)

### Результаты работы комплекса

По широкополосным записям августа 2002 г. обнаружены КНЧ-атмосферики, возможно связанные со спрайтами [2]. Узкополосные записи в августе 2004 г. (рис. 3) были использованы в исследованиях атмосферных эффектов в нижней ионосфере во время тропических циклонов [3], электрических и электромагнитных процессов в приземной атмосфере перед землетрясениями на Камчатке [4].

Сравнение записей в пунктах Левая Авача (вверху) и Паратунка (внизу) (рис. 4) демонстрирует преимущество положения основного пункта в том, что почти полное отсутствие окружающих промышленных и бытовых помех позволяет выделить и проанализировать ОНЧ-КНЧ события и их связь с естественными катаклизмами: землетрясения, тропические циклоны (тайфуны).

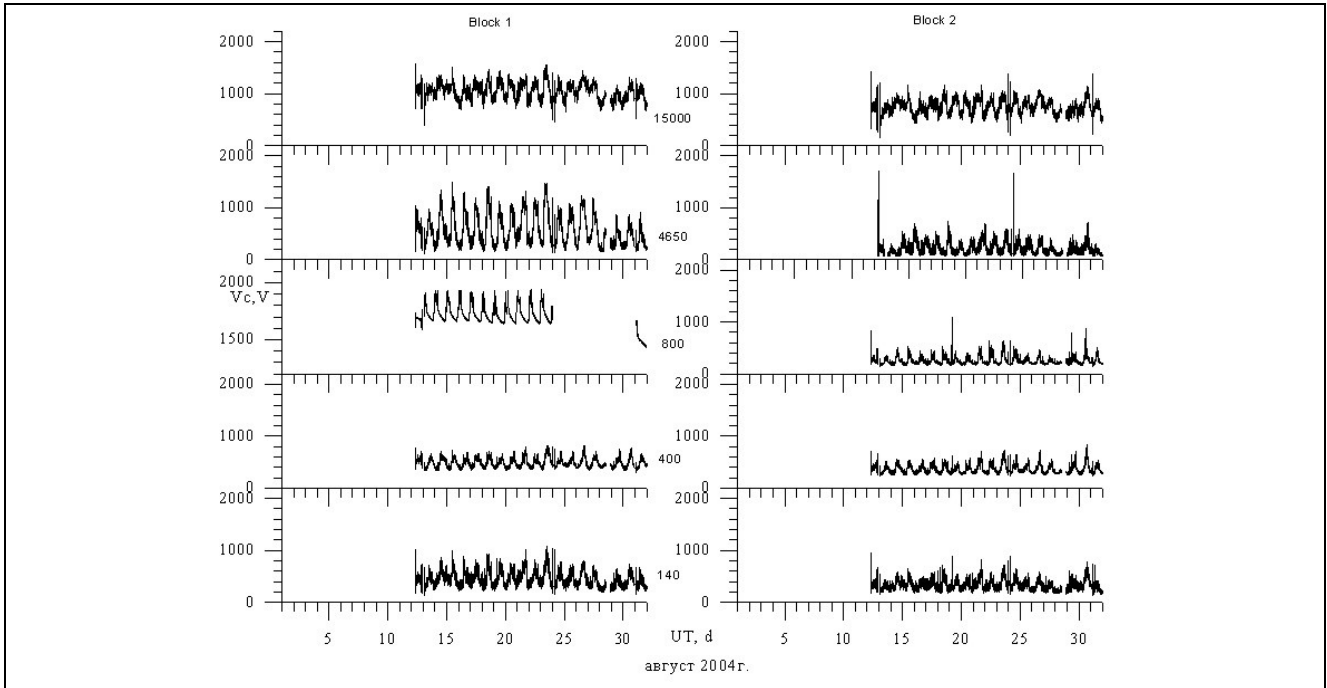


Рис. 3. Узкополосные записи в пункте Левая Авача  
 Fig. 3. Narrowband recordings at the Left Avacha point

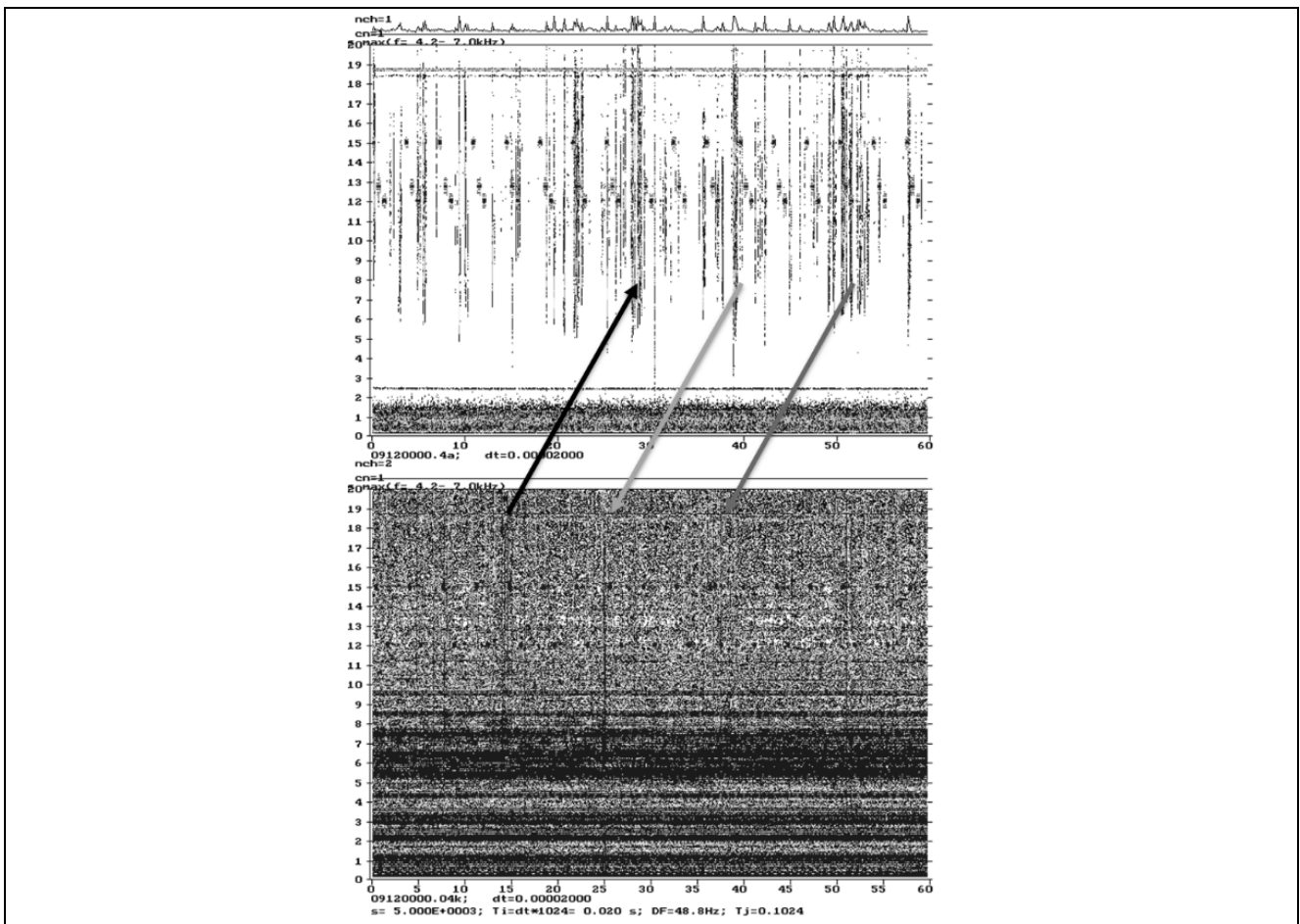


Рис. 4. Одновременная регистрация в пунктах Левая Авача и Паратунка  
 Fig. 4. Simultaneous registration at the Left Avacha and Paratunka points

Комплекс в п. Карымшина работал с электрической антенной и полосовым фильтром (2–10 кГц). Анализ данных, полученных в ноябре, декабре 2008 г. и в начале января 2009 г., выявил повышенную активность свистящих атмосфериков (СА), что можно объяснить грозовой активностью в противоположном полушарии и действием тропического циклона, а также модификацией ионосферы в этот период [5].

На рис. 5 показаны эхо сигналы СА в результате образования ионосферного канала.

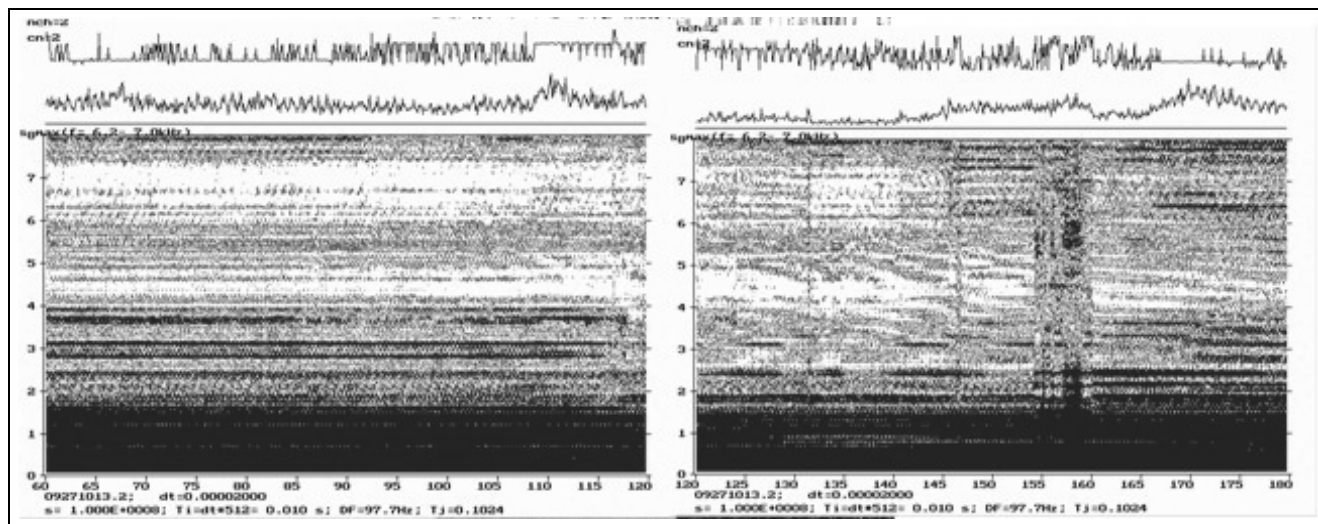


Рис. 5. Эхо СА  
Fig. 5. Echo Wistlers

Пункт наблюдений был также организован в горах Северного Вьетнама. В комплекте аппаратуры отсутствовали солнечные батареи. Наблюдались обычные атмосферерики с максимумом в спектре 4–9 кГц, иногда сопровождаемые «хвостами» на частотах ниже 1 кГц, а также твики (~ 10 мс). По спектрально-временным данным твиков оценены некоторые параметры ионосферы и расстояние до источника атмосфериков [6], которое соответствует данным мировой сети локализации молний WWLLN (TOGA) [7].

### Заключение

Для исследования особенностей распространения электромагнитных волн в связи с техногенными и природными событиями создан передвижной наземный комплекс ОНЧ-регистрации (ПНКР). С его помощью получены следующие результаты:

1. Обнаружены атмосферерики, возможно связанные со спрайтами.
2. Проведена оценка влияния тропических циклонов на распространение низкочастотных электромагнитных волн, а также связи ОНЧ-волн с землетрясениями.
3. Выявлена повышенная активность СА в связи с грозовой и циклонической деятельностью.
4. Оценены некоторые параметры низкоширотной ионосферы.

### Список источников

1. Михайлов Ю.М., Рожков В.Б., Капустина О.В. Полевой автономный ОНЧ-приемник / V-я Междунар. конф. ИКИР ДВО РАН. С. Паратунка, Камчатской край, 2–7 августа. Сб. трудов. С. 150–151. 2010.
2. Дружин Г.И., Малкин Е.И., Капустина О.В. Атмосферерики, связанные со спрайтами, по КНЧ/ОНЧ-наблюдениям на п-ове Камчатка // Геомагнетизм и аэрномия. 2023. Т. 63. № 5. С. 657–666.
3. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Чернева Н.В. Возможные атмосферные эффекты в нижней ионосфере по наблюдениям атмосферных радишумов на Камчатке во время тропических циклонов // Геомагнетизм и аэрномия. 2005. Т. 45. № 6. С. 824–839.
4. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э. Электрические и электромагнитные процессы в приземной атмосфере перед землетрясениями на Камчатке // Геомагнетизм и аэрномия. 2006. Т. 46. № 6. С. 839–852.
5. Михайлов Ю.М., Капустина О.В., Дружин Г.И. Свистовые характеристики в периоды возмущений ионосферы // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2019. Т. 29. № 4. С. 173–181.

6. Труонг К.Х., Во Т.С., Михайлов Ю.М., Харитонов А.Л., Капустина О.В. ОНЧ-электромагнитный фон в сейсмоактивном регионе Северного Вьетнама // Геомagnetизм и аэрономия. 2010. Т. 50. № 5. С. 717–720.
7. Dowden R.L., Brundell J.B., and Rodger C.J. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 2002. 64. 817–830.

#### Информация об авторах

**Ольга Васильевна Капустина** – к.ф.-м.н., ст. научный сотрудник

SPIN-код: не представлен

**Геннадий Иванович Дружин** – д.ф.-м.н., вед. научный сотрудник

SPIN-код: не представлен

**Виктор Евгеньевич Никифоров** – к.т.н., ст. научный сотрудник

SPIN-код: не представлен

Статья поступила в редакцию 30.08.2024

Одобрена после рецензирования 06.09.2024

Принята к публикации 20.09.2024

## ЖУРНАЛ «РАДИОТЕХНИКА»

Главный редактор: академик РАН Юрий Васильевич Гуляев

Международный научно-технический журнал «Радиотехника» – один из старейших и известнейших научно-технических журналов России. Основное внимание журнала сосредоточено на ключевых проблемах, определяющих успех развития авангардных направлений радиотехники и электроники. В нем публикуются оригинальные статьи, технические решения и приводятся результаты новейших исследований во всех областях радиотехники и электроники: локация, навигация, связь, управление, радиопротиводействие, оптоэлектроника, акустоэлектроника и др. Включен в Перечень ВАК. Включен в состав базы Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science. Издается с 1937 г.

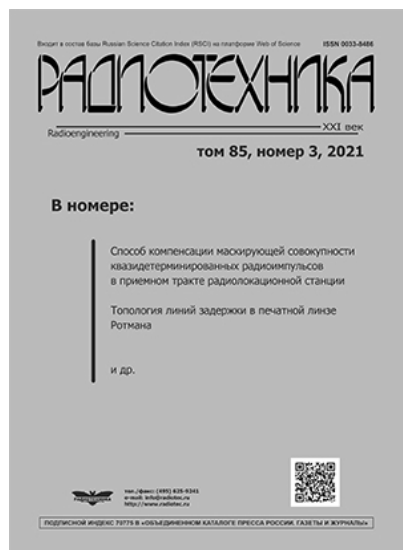
ISSN 0033-8486

Периодичность – 12 номеров в год

«Пресса России» – индекс 70775

#### Научные специальности ВАК

- 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики
- 1.3.4. Радиофизика
- 1.3.5. Физическая электроника
- 1.3.6. Оптика
- 1.3.7. Акустика
- 1.3.8. Физика конденсированного состояния
- 1.3.9. Физика плазмы
- 1.3.11. Физика полупроводников
- 1.3.12. Физика магнитных явлений
- 1.3.13. Электрофизика, электрофизические установки
- 1.3.19. Лазерная физика
- 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств
- 2.2.7. Фотоника
- 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды
- 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы
- 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения
- 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии
- 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций
- 2.2.16. Радиолокация и радионавигация
- 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации
- 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей
- 2.3.6. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность



Подписаться на журналы, выпускаемые Издательством «Радиотехника» (см. 4-ю сторону обложки), можно с любого месяца и на любой срок непосредственно в Издательстве.

Адрес Издательства:

107031, г. Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6,  
тел./факс: (495) 625-78-72, 621-48-37, 625-92-41  
<http://www.radiotec.ru>, e-mail: [info@radiotec.ru](mailto:info@radiotec.ru)

Short message

# Mobile complex for registration of low-frequency electromagnetic waves

**O.V. Kapustina<sup>1</sup>, G.I. Druzhin<sup>2</sup>, V.E. Nikiforov<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup> Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian Academy of Sciences (Moscow, Troitsk, Russia)

<sup>2</sup> Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS (Paratunka, Kamchatka Territory, Russia)

<sup>1</sup> olkap@izmiran.ru, <sup>2</sup> drug@ikir.ru, <sup>3</sup> nika@izmiran.ru

## Abstract

A description of a mobile ground-based registration complex (MGRC) consisting of magnetic sensors, a VLF-ELF receiver powered by batteries recharged using solar panels (SP) is presented (Fig. 1). Preliminary laboratory tests, as well as experimental studies have shown the effectiveness and reliability of the SP for a long time (Fig. 2). The following results were obtained: ELF-atmospherics associated with sprites were detected [2]. From narrowband data we showed the influence of tropical cyclones on the propagation of low-frequency electromagnetic waves [3], as well as the connection of VLF waves with earthquakes [4]. From broadband data, we revealed increased activity of whistlers in connection with cyclonic activity [5]. Multiple echoes were confirm the steady propagation of whistlers in the ionosphere-magnetosphere channel (Fig. 5). Based on the time-frequency data of the tweaks, we estimated some parameters of the ionosphere and the distance to the atmospheres, the sources of the tweaks [6], which corresponds to the data of the world lightning localization network WWLLN (TOGA) [7].

## Keywords

*Solar panels, VLF-ELF electromagnetic waves, atmospherics, sprites, tweaks, whistlers*

## For citation

*Kapustina O.V., Druzhin G.I., Nikiforov V.E. Mobile complex for registration of low-frequency electromagnetic waves. Electromagnetic waves and electronic systems. 2024. V. 29. № 5. P. 76–81. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-12> (in Russian)*

## References

1. *Mikhailov Yu.M., Rozhkov V.B., Kapustina O.V. Polevoj avtonomny`j ONCh-priemnik / V-ya Mezhdunar. konf. IKIR DVO RAN. S. Paratunka, Kamchatskoj kraj, 2–7 avgusta. Sb. trudov. S. 150–151. 2010.*
2. *Druzhin G.I., Malkin E.I., Kapustina O.V. Atmosferiki, svyazanny`e so sprajtami, po KNCh/ONCh-nablyudenyam na pove Kamchatka. Geomagnetizm i ae`ronomiya. 2023. T. 63. № 5. S. 657–666.*
3. *Mikhailov Yu.M., Mikhailova G.A., Kapustina O.V., Druzhin G.I., Cherneva N.V. Vozmozhny`e atmosfery`e e`ffekty` v nizhnej ionosfere po nablyudenyam atmosfery`x radioshumov na Kamchatke vo vremya tropicheskix ciklonov. Geomagnetizm i ae`ronomiya. 2005. T. 45. № 6. S. 824–839.*
4. *Mikhailov Yu.M., Mikhailova G.A., Kapustina O.V., Druzhin G.I., Smirnov S.E`. E`lektricheskie i e`lektromagnitny`e processy` v prizemnoj atmosfere pered zemletryasenyami na Kamchatke. Geomagnetizm i ae`ronomiya. 2006. T. 46. № 6. S. 839–852.*
5. *Mikhailov Yu.M., Kapustina O.V., Druzhin G.I. Svistovy`e karakteristiki v periody` vozmushhenij ionosfery`. Vestnik KRAUNCz. Fiz.-mat. nauki. 2019. T. 29. № 4. S. 173–181.*
6. *Truong K.X., Vo T.S., Mikhailov Yu.M., Kharitonov A.L., Kapustina O.V. ONCh-e`lektromagnitny`j fon v sejsmoaktivnom regione Severnogo V`etnama. Geomagnetizm i ae`ronomiya. 2010. T. 50. № 5. S. 717–720.*
7. *Dowden R.L., Brundell J.B., and Rodger C.J. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites. J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 2002. 64. 817–830.*

## Information about the authors

**Olga V. Kapustina** – Ph.D. (Phys.-Math.), Senior Research Scientist

**Gennady I. Druzhin** – Dr.Sc. (Phys.-Math.), Leader Research Scientist

**Victor E. Nikiforov** – Ph.D. (Phys.-Math.), Senior Research Scientist

The article was submitted 30.08.2024

Approved after reviewing 06.09.2024

Accepted for publication 20.09.2024