

Министерство обороны Российской Федерации  
Российская академия наук  
Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского  
Кафедра технологий и средств геофизического обеспечения войск

---



Материалы конференции

Редколлегия:  
председатель **Ю.В. Кулешов**, доктор техн. наук, профессор;  
зам. председателя **Г.Г. Щукин**, доктор физ.-мат. наук, профессор;  
**И.А. Готюр**, доктор техн. наук, профессор;  
**А.М. Болдырева** (ответственный секретарь);  
**В.В. Филиппёнок** (технический редактор).

**Материалы IX Всероссийской научной конференции по атмосферному электричеству** / под общ. ред. Ю.В. Кулешова; редкол.: Ю.В. Кулешов, Г.Г. Щукин и др.; отв. за вып.: А.М. Болдырева, В.В. Филиппёнок. – СПб.: Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, 2023 – 543 с.

Сборник содержит материалы докладов IX Всероссийской научной конференции по атмосферному электричеству, состоявшейся в Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского 26 – 28 сентября 2023 года.

Основная часть работ посвящена развитию методов и средств наблюдений за состоянием электрического поля атмосферы, грозоопасного состояния облаков и молниевой активности, взаимодействию электрических и метеорологических процессов в облаках, а также исследованию влияния процессов, протекающих в верхней атмосфере, на состояние электрического поля. Представлены результаты математического моделирования электрических процессов в приземном слое атмосферы. Затронуты вопросы регулирования грозовой активности, а также влияния вариаций электрического поля на метеорологические явления, опасные для людей.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов, занимающихся атмосферным электричеством.

Материалы докладов представлены в редакции авторов

© ВКА имени А.Ф.Можайского, 2023

---

Подписано к печ. 24.09.2023  
Гарнитура Times New Roman  
Уч. - печ. л. 4,00

Формат печатного листа 445×300/8  
Авт. печ. л. 1,50  
Заказ 2751 Бесплатно

---

Типография ВКА имени А.Ф.Можайского

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:**

*Почетный председатель:* Залиханов М.Ч., академик РАН (ВГИ, Нальчик)

*Председатель:* Кулешов Ю.В., д.т.н., профессор (ВКА имени А.Ф.Можайского, С-Петербург)

*Сопредседатель:* Щукин Г.Г., д.ф.-м.н., профессор (ВКА имени А.Ф.Можайского, С.-Петербург);

*Заместитель председателя:* Аджиев А.Х., д.ф.-м.н., профессор (ВГИ, Нальчик)

*Ученый секретарь:* Караваев Д.М., к.т.н. (ВКА имени А.Ф.Можайского, С-Петербург)

*Члены программного комитета:*

Асмус В.В., д.ф.-м.н., профессор (НИЦ «Планета», Москва)

Анисимов С.В., д.ф.-м.н., профессор (ГО «Борок» ИФЗ РАН, пос. Борок)

Базелян Э.М., д.ф.-м.н., профессор (ЭНИН им. Г.М. Кржижановского, Москва)

Балега Ю.Ю., академик РАН (САО РАН, Нижний Архыз)

Бейтуганов М.Н., д.ф.-м.н. (Северо-Кавказская ВС, Нальчик)

Беккиев М.Ю., чл.-корр. РАН (ВГИ, Нальчик)

Горбатенко В.П., д.г.н., профессор (ТГУ, Томск)

Готюр И.А., д.т.н., профессор (ВКА имени А.Ф.Можайского, С-Петербург)

Грунская Л.В., д.ф.-м.н., профессор (ВлГУ, Владимир)

Жеребцов Г.А., академик РАН (ИСЗФ СО РАН, Иркутск)

Зеленый Л.М., академик РАН (ИКИ РАН, Москва)

Зернов Н.Н., д.ф.-м.н., профессор (СПбГУ, С-Петербург)

Иванов В.Н., к.ф.-м.н. (НПО «Тайфун», г. Обнинск)

Иудин Д.И., д.ф.-м.н., профессор (ИПФ РАН, Н.Новгород)

Караштин А.Н., д.ф.-м.н. (ФГБНУ НИРФИ, Н.Новгород)

Козелов Б.В., д.ф.-м.н., профессор (ПГИ КНЦ РАН, Мурманск)

Козлов В.И., к.ф.-м.н. (ИКФИА СО РАН, Якутск)

Куповых Г.В., д.ф.-м.н., профессор (ЮФУ, Таганрог)

Кузнецов А.Д., д.ф.-м.н., профессор (РГГМУ, С-Петербург)

Кузнецов В.Д., д.ф.-м.н., профессор (ИЗМИРАН им. И.В. Пушкова, Троицк)

Лукин Д.С., д.ф.-м.н., профессор (МФТИ, Москва)

Макоско А.А., чл.-корр. РАН (Президиум РАН, Москва)

Малинин В.Н., д.г.н., профессор (РГГМУ, С-Петербург)

Мареев Е.А., академик РАН (ИПФ РАН, Н.Новгород)

Медведев А.В., чл.-корр. РАН (ИСЗФ СО РАН, Иркутск)

Морозов В.Н., д.ф.-м.н. (ГГО им. А.И. Воейкова, С-Петербург)

Мохов И.И., академик РАН (ИФА им. А.М.Обухова, Москва)

Нагорский П.М., д.ф.-м.н., профессор (ИМКЭС СО РАН, Томск)

Панасюк М.И., д.ф.-м.н., профессор (НИИЯФ МГУ, Москва)

Пташник И.В., чл.-корр. РАН (ИОА СО РАН, Томск)

Репин А.Ю., д.ф.-м.н., доцент (ИПГ, Москва)

Смышляев С.П., д.ф.-м.н., профессор (РГГМУ, С-Петербург)

Собисевич А.Л., чл.-корр. РАН (ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта, Москва)

Трошичев О.А., д.ф.-м.н., профессор (ААНИИ Росгидромета, С-Петербург)

Удриш В.В., (ГМС ВС РФ, Москва)

Швецов Б.М., д.ф.-м.н., профессор (ИКИР ДВО РАН, Паратунка)

Шулейкин В.Н., д.ф.-м.н. (ИПНГ РАН, Москва)

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:**

*Председатель:* Кулешов Ю.В. д.т.н., профессор (ВКА имени А.Ф.Можайского, С-Петербург)

*Заместители председателя:*

Готюр И.А., д.т.н., профессор (ВКА имени А.Ф.Можайского, С-Петербург)

Щукин Г.Г., д.ф.-м.н., профессор (ВКА имени А.Ф. Можайского, С.-Петербург);

Ответственный секретарь: Болдырева А.М. ((ВКА имени А.Ф.Можайского, С-Петербург)

## **СЕКЦИЯ 2. Электричество хорошей погоды, атмосферные ионы и аэрозоли**

Н.Ю. Агафонова\*

*кандидат физ.-мат. наук*

Л.Б. Безруков\*

*доктор физ.-мат. наук*

Р.И. Еникеев\*

Е.А. Добрынина\*

Ю.Н. Ерошенко\*

*доктор физ.-мат. наук*

С.В. Ингерман\*

И.С. Карпиков\*

*кандидат физ.-мат. наук*

В.В. Казалов\*

*кандидат физ.-мат. наук*

А.К. Межох\*

*кандидат тех. наук*

В.В. Синев\*, \*\*

*доктор физ.-мат. наук*

Н.А. Филимонова\*

И.Р. Шакирьянова\*

В.Ф. Якушев\*

\* ИЯИ РАН

\*\* НИЯУ «МИФИ»

### **СОЗДАНИЕ СЕТИ УСТАНОВОК ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ АЭРОИОНОВ В ПОДЗЕМНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

Представлены данные по аэроионам в подземных помещениях, полученные с помощью сети установок, находящихся в лабораториях БНО (Баксан, Россия), НИИЯФ МГУ (Воробьевы горы, Москва), ИЯИ РАН (Троицк, Москва). Описана схема работы детекторов, включающая в себя высокоточный термодокорректируемый счетчик аэроионов, сконструированный на базе Сапрфир-3М, радиометр радона и метеостанцию. Предложены научные задачи, которые можно решить с использованием сети установок, разработанных в ИЯИ РАН.

Ключевые слова: аэроионы, радон, подземная физика, корреляционный анализ, заряд земли.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Исследования скорости счета положительных и отрицательных ионов имеют важное значение не только для изучения их влияния на качество жизни людей и самочувствие, но также необходимы в различных областях знаний: изучение электричества в атмосфере и в земле, исследования воздуха в подземных помещениях, выхода радона из грунта, и т.д.

На основании требований СанПиН [1], касающихся аэроионного состава воздуха, к регулируемым показателям относится концентрация аэроионов и коэффициент униполярности – отношение числа положительно заряженных ионов к отрицательным. Минимально допустимым является значение концентрации ионов является величина 400 ион/см<sup>3</sup>, максимально предельным – 50000 ион/см<sup>3</sup>. Коэффициент униполярности не должен превышать значения 1,0 и минимальным – 0,4.

Мы создали установку, которая может измерять скорость счета положительных и отрицательных аэроионов в подземных помещениях в течении длительного времени в удаленном режиме.

В воздухе подземного помещения (полости) должно рождаться равное количество положительных и отрицательных аэроионов в процессе ионизации воздуха заряженными радиоактивными частицами, например радиоактивным газом радоном. Положительно заряженные аэроионы при столкновении с отрицательно заряженными стенами должны рекомбинировать.

Так как для атмосферного электрического поля земная кора является отрицательно заряженным электродом, то мы под землей ожидали получить или избыток отрицательных зарядов или равное их количество, в пределах статистики. Однако же, наши измерения [2] показывают, что положительных аэроионов в подземных помещениях больше «+/-» > 1.3.

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ**

Основным элементом установки является высокоточный термокорректируемый счетчик аэроионов, на базе счетчика Сапфир-3м. Сапфир-3м был модернизирован путем помещения его аспирационной камеры в нагреватель [2]. Нагреватель повышает температуру камеры в работающем приборе на десять градусов Цельсия выше температуры воздуха в помещении, в котором он находится. Такое повышение температуры помогает избавиться от оседания влаги на изоляторах.

Доработка коммерческого образца позволила создать автономную станцию длительного дистанционного контроля плотности аэроионов. Станция состоит из модифицированного счетчика аэроионов «Сапфир-3М», источника бесперебойного питания и компьютера, подключенного к линии Интернет. Измерения аэроионов производятся раз в 4 секунды, величина погрешности относительных измерений составляет 3%.

Модифицированный счетчик вместе с радиометром радона и метеостанцией образуют установку, которая позволяет проводить длительные измерения плотностей аэроионов обоих знаков во влажных помещениях, открывает новые возможности в изучении изменчивости плотностей аэроионов обоих знаков и их зависимости от различных факторов, а также даст ответ на вопрос о знаке и величине плотности избыточного заряда в грунте, окружающем подземное пространство. Важным преимуществом установки является ее автономность, т.к. приборы очень чувствительны к перемещению воздуха в помещении и эффект присутствия человека влияет на все показания измерительного комплекса.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ УСТАНОВОК**

Сейчас введены в строй три установки для регистрации аэроионов, находящиеся в разных местах.

Первая установка находится в лаборатории НИИЯФ МГУ на Воробьевых горах, Москва. Помещение порядка 40 м<sup>3</sup> находится на высоте около 190 м над уровнем моря и глубине под землей около 10 метров (25 метров водного эквивалента). Среднее давление в Лаборатории, такое же, как и в среднем по Москве около 745 мм рт. ст. Температура воздуха в лаборатории равна 19°C, температура аспирационной камеры работающего прибора составляла 29°C. В помещении закрыта принудительная вентиляция, поступление воздуха происходит через небольшие щели и через дверь при ее открывании. Присутствие человека и открытая дверь вызывают «возмущения» в данных, которые легко можно убрать из статистики накопления данных.

Активность радона в Бк/м<sup>3</sup> измерялась прибором Альфард-плюс, настроенным на измерения раз в 4 часа.

Установка работает с середины 2021 года. Пример данных за период с 18 января по 10 марта 2023 г показан на рис. 1. Приведены данные скоростей счета положительных и

отрицательных аэроионов, давления и концентрации радона. На нижней панели показан коэффициент униполярности, средняя величина которого составляет 1.3.

На статистике данных с декабря 2022 г по март 2023 г нами был выполнен корреляционный анализ для пар измерений “давление-радон” и “давление-ионы”. Обнаружен эффект выхода радона из грунта с задержкой по времени относительно эпизодов понижения давления. Измерения положения экстремумов корреляционных функций показали, что максимум в концентрации ионов достигается примерно через 18 часов после понижения давления и опережает максимум концентрации радона, наступающего через 2 суток [Ссылка на семинар Ерошенко].

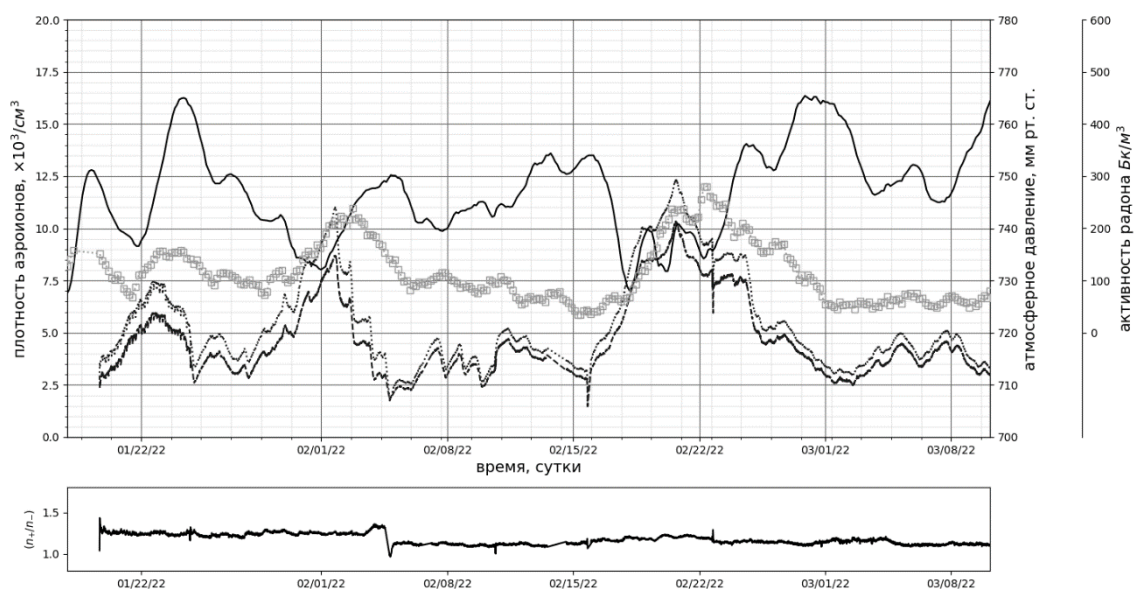


Рис. 1. Пример данных с установки в лаборатории НИИЯФ МГУ. Левая ось – скорости счета положительных и отрицательных аэроионов (нижние пунктирные линии). Правая ось – давление (сплошная линия) и концентрации радона (квадраты). Нижняя панель – коэффициент униполярности

Вторая установка находится в лаборатории на территории института в Троицке, Москва. Помещение порядка 40 м<sup>3</sup> находится на высоте около 195 м над уровнем моря и глубине под землей около 15 метров (38 метров водного эквивалента). Среднее давление в помещении такое же как в Москве 745 мм рт. ст., температура около 19° и влажность около 35%. Принудительная вентиляция закрыта.

Установка работает с начала 2023 года. Пример данных скорости счета аэроионов вместе с давлением и концентрацией радона показан на рис. 2. На нижней панели показан коэффициент униполярности, средняя величина которого составляет 1.3. Выбросы в данных аэроионов и коэффициента униполярности связаны с присутствием человека. Новый воздух, зашедший в помещение в момент открывания дверей, внес искажения: радон вышел из помещения и соответственно уменьшилось число аэроионов. Также как и в лаборатории в НИИЯФ МГУ видно антикорреляцию числа аэроионов с атмосферных давлением.

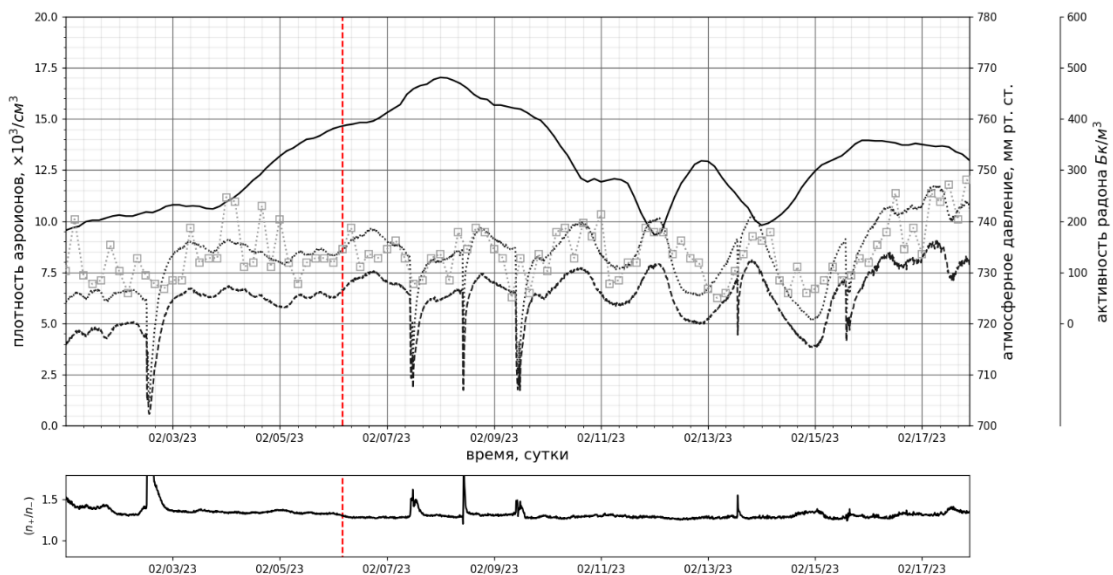


Рис. 2. Пример данных с установки в лаборатории в Троицке ИЯИ РАН. Левая ось – скорости счета положительных и отрицательных аэроионов (нижние пунктирные линии). Правая ось – давление (сплошная линия) и концентрации радона (квадраты). Нижняя панель – коэффициент униполярности

Недавно была смонтирована третья установка – в подземной лаборатории БНО ИЯИ РАН (Баксанская нейтринная обсерватория), Эльбрусский район, КБР. Закрытое помещение в подземном туннеле Лаборатории БНО порядка  $100 \text{ м}^3$  находится на высоте около 1700 м над уровнем моря и глубине грунта над установкой около 2000 метров (~4800 метров водного эквивалента). Особенности этой лаборатории состоят в близком расположении к вулкану Эльбрус. Среднее атмосферное давление в лаборатории около 620 мм рт.ст, температура в помещении около 35 гр. Цельсия, влажность 43%.

Установка работает с февраля 2023 года. Пример данных показан на рис. 3. Коэффициент униполярности по данным скорости счета аэроионов в лаборатории БНО больше 2.

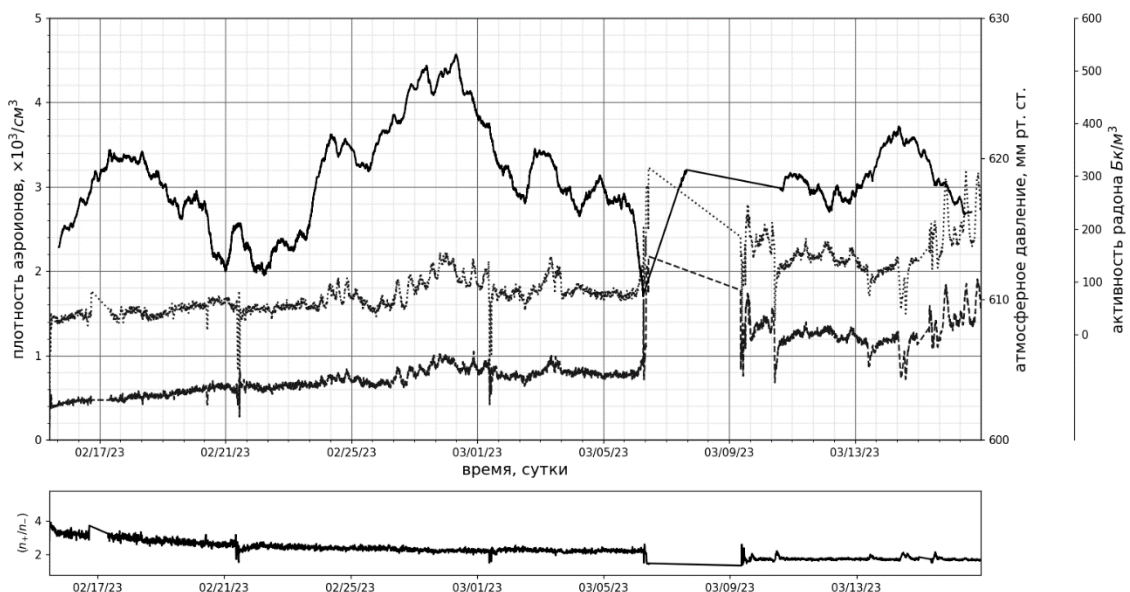


Рис. 3. Пример данных с установки в лаборатории БНО ИЯИ РАН. Левая ось – скорости счета положительных и отрицательных аэроионов (нижние пунктирные линии). Правая ось – давление (сплошная линия). Нижняя панель – коэффициент униполярности



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Нами смонтирована сеть экспериментальных установок, способных в удаленном режиме регистрировать аэроионы в подземном помещении. Вместе со счетчиком положительных и отрицательных аэроионов в установку входит радиометр радона и метеостанция.

Первые результаты наблюдений показывают избыток положительных зарядов под землей.

Новые исследования позволят:

- изучать глубинные вулканические газы под землей, с помощью установи на БНО около Эльбруса;
- разработать экспресс анализа активности радона в подземных лабораториях и её мониторинг;
- изучать электрическое поле Земли и понять механизмы создания и перемещения зарядов [4, 5].

### **Список используемых источников**

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09.
2. Наблюдение избытка положительных аэроионов в подземных полостях / Л.Б. Безруков, А.Ф. Громцева, В.П. Заварзина, И.С. Карпиков, А.С. Курлович, Д.А. Лебедев, А.К. Межох, П.Ю. Наумов, С.В. Силаева, В.В. Синёв // Геомагнетизм и аэрономия. – 2022 – Т. 62, № 6. – С. 755–768.
3. Ерошенко Ю.Н. Исследование задержанного пампинг-эффекта в подземной лаборатории методом корреляционного анализа концентраций радона и аэроионов. – Доклад на 192-й семинар "Нейтринная и ядерная астрофизика" им. Г.Т.Зацепина. 03 марта 2023 г.
4. Об отрицательно заряженном слое электрического поля Земли / Л.Б. Безруков, В.П. Заварзина, А.С. Курлович, Б.К. Лубсандоржиев, А.К. Межох, В.П. Моргалюк, В.В. Синёв // Доклады Академии наук. – 2018. – Т. 480, 2. – С. 155–157.
5. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 5. Электричество и магнетизм. - М.: Мир, 1966. – 296 с.