

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ДУ «ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО  
СЕРЕДОВИЩА НАН УКРАЇНИ»

ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА

НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА  
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»

**XVII МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

## **ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА: ПРОБЛЕМИ І ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ СТАТЕЙ**

13-17 вересня 2021 р.  
м. Харків, Україна

Харків 2021

УДК 502.58:504.064.4

Друкується за постановою вченої ради УКРНДІЕП

Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей  
XVII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків,  
13-17 вересня 2021 р.) / УКРНДІЕП. – ПП «Стиль-Іздат», 2021. — 242 с.

У збірнику наукових статей висвітлено проблеми, що пов'язані з регіональною екологією, охороною атмосферного повітря та водних об'єктів, переробкою промислових та побутових відходів, моніторингом навколишнього природного середовища, радіоекологічною безпекою та екологічно чистими енергозберігаючими технологіями.

Збірник розраховано на вчених та спеціалістів академічних та галузевих науково-дослідних і проектних інститутів, керівників підприємств різних форм власності, організацій МОЗ України, представників департаментів екоресурсів обласних та міських державних адміністрацій та екологічних інспекцій, управлінь з питань надзвичайних ситуацій, органів державної виконавчої влади та місцевого самоврядування і громадських організацій.

Статті надруковано за авторською редакцією.

© Укладач Науково-дослідна установа  
«Український науково-дослідний  
інститут екологічних проблем»  
(УКРНДІЕП), 2021

<b>Васенко А. Г., Старко Н. В., Игнатенко М. Я.</b> О необходимости оценки изменения экологического состояния водных объектов при проведении биологической мелиорации.....	63
<b>Васютинська К. А., Барбашев С. В.</b> Оцінка впливу викидів від стаціонарних джерел міст обласного підпорядкування на небезпеку атмосферного середовища регіонів.....	70
<b>Величко Г. М., Юрченко А. І.</b> Тенденції розвитку сільського господарства в Україні та його екологізація....	75
<b>Вітько В. І., Хабарова Г. В.</b> Радіаційний вплив АЕС України та Європи на кордоні.....	85
<b>Гоков А. М.</b> Исследования отклика среды распространения радиоволн на удаленные старты и полеты космических аппаратов.....	94
<b>Єфімова А. В., Савцова О. В., Воронов Г. К.</b> Сучасний стан використання кераміки для мінералізації питної води.....	102
<b>Захарченко Ю. В., Квасов В. А., Калугін В. Д., Тютюник В. В.</b> Особливості використання безпілотних літальних апаратів для оцінки екологічної обстановки в районі надзвичайної ситуації.....	109
<b>Коваленко Г. Д., Дудар Т. В.</b> Щодо питання радіоекологічного стану поверхневих вод України.....	115
<b>Левонюк С. М., Кнюпа А. С.</b> Визначення зон міграції глибинних некондиційних вод за гідрогеохімічними показниками якісного складу питних підземних вод.....	123
<b>Мельников А. Ю., Мартинюк Д. Т.</b> Оцінка хімічного стану масивів поверхневих вод р. Дунай в межах України за вмістом важких металів.....	129
<b>Михайлов С. С., Квасов В. А., Варламов Є. М.,</b> Необхідність удосконалення системи моніторингу довкілля для покращення екологічного стану регіонів України.....	132
<b>Монин В. Л.</b> Современное состояние водоснабжения г. Мариуполя и возможности улучшения качества питьевой воды.....	140

Гоков А. М., канд. физ-мат. наук, доц.

*Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця, г. Харьков*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ОТКЛИКА СРЕДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН НА УДАЛЕННЫЕ СТАРТЫ И ПОЛЕТЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

### **Введение**

Старты и полеты космических аппаратов (КА) с работающим двигателем, падение КА, вызывают ряд процессов в ионосфере. Явления, сопровождающие запуски ракет, отличаются многообразием, своими пространственно-временными, энергетическими и другими характеристиками. Они зависят от расстояния до траектории КА, его высоты, типа топлива, мощности двигателей и состояния ионосферы как в месте старта и полета КА, так и в пункте наблюдения. Классификацию возмущений в ионосферной плазме, возникающих в период старта и полета КА, обычно производят по их пространственным масштабам. Возмущения с горизонтальным масштабом  $L_1 \leq 100$  км,  $L_2 \sim 100 - 1000$  км и  $L_3 \sim 1000 - 10000$  км соответственно называют локализованными, крупномасштабными и глобальными. Локализованные возмущения непосредственно примыкают к корпусу ракеты, зависят от ее скорости  $V$  и тяги двигателей  $F$ ; они перемещаются вместе с ракетой вдоль траектории полета. Было установлено, что выбросы сотен тонн воды и молекулярного водорода во время старта ракеты приводят к уменьшению концентрации электронов  $N$  в ионосферной плазме. Это явление получило название ионосферной дыры. Ее размер в F-области ионосферы  $\sim 1000$  км,  $N$  уменьшается в 2–3 раза через  $\sim 30$ –40 мин после запуска ракеты. Время существования дыры составляет несколько часов. Горизонтальный размер области пониженной концентрации растет с ростом высоты и составляет  $\sim 10$ –1000 км для  $z \sim 100$ –300 км соответственно. Возникновение пониженной ионизации сопровождается генерацией волн концентрации с кажущейся скоростью  $V \sim 0,1$ –1 км/с и периодами  $T \sim 10$ –100 мин. Сравнительно хорошо экспериментально изучены основные типы, величина и характер возмущений в плазме в E и F-областях ионосферы, выяснены механизмы переноса возмущений на глобальные расстояния, их скорости распространения. Возмущения в ионосферной плазме возникают в результате генерации ударной акустической волны (УАВ) и волн электромагнитной природы (различного типа магнитогидродинамические волны), что

приводит к существенному электромагнитному загрязнению среды распространения радиоволн. Иная картина в настоящее время имеет место в исследованиях реакции нижней ионосферы на старты и полеты КА. Известны лишь эпизодические экспериментальные исследования. Вызвано это, в первую очередь сложностью состава и физико-химических процессов, протекающих в D-области, а также трудностями проведения длительных экспериментальных исследований. Эта часть ионосферной плазмы наиболее близка к поверхности Земли и широко используется в целях радиосвязи, радионавигации и т.д. Поэтому любые электромагнитные загрязнения среды в ней приводят к существенным изменениям условий распространения радиоволн. В работе приведены результаты экспериментальных исследований вариаций концентрации электронов и условий распространения КВ радиоволн в среднеширотной D-области во время удаленных стартов ракет разного типа.

#### **Техника и методика экспериментальных исследований**

Экспериментальные исследования в течение ряда лет проводились в Радиофизической обсерватории Харьковского Национального Университета им. В.Н. Каразина вблизи г. Харькова при помощи комплекса аппаратуры [1] методом частичных отражений (ЧО). Основные параметры комплекса метода ЧО были следующие: зондирующие частоты  $f = 2,21$  и  $2,31$  МГц, длительность импульсов  $\tau = 25$  мкс с частотой повторения  $F = 1$  Гц, импульсная мощность  $P = 150$  кВт, коэффициент усиления антенны  $G = 40$ . Во время эксперимента регистрировались высотно-временные зависимости амплитуд смеси частично отраженного сигнала и радишума  $A_{\omega, \alpha}(z, t)$  (где  $t$  - время, индексы "о" и "х" соответствуют обыкновенной и необыкновенной поляризациям) с 14 или 22 высотных уровней, начиная с 45 или 60 км через  $\Delta z = 3$  км. Измерения  $A_{\omega, \alpha}(z, t)$  и  $A_{\omega, \alpha}(t)$  выполнялись непрерывными сеансами длительностью единицы-десятки часов. Для выделения амплитуд частично отраженных сигналов  $A_{\omega, \alpha}(z, t)$  записывались также амплитуды только радишума  $A_{\omega, \alpha}(t)$  (2-6 выборок в полосе частот 50 кГц), в моменты времени, предшествующие излучению зондирующего импульса. Оценки средних величин интенсивностей ЧО сигнала  $\langle A_{\omega, \alpha}^2 \rangle$  и шумов  $\langle A_{\omega, \alpha}^2 \rangle$  осуществлялись по 60 реализациям на интервале времени 60 с. Статистическая погрешность этих оценок не превышала 10%. Вычислялись высотно-временные зависимости  $\langle A_{\omega, \alpha}^2 \rangle(z, t)$  и  $\langle A_{\omega, \alpha}^2 \rangle(t)$ . По

полученным  $\langle A_{x,0}^2 \rangle(z)$  на фиксированных высотах с шагом  $\Delta z = 3$  км вычислялись высотные профили электронной концентрации  $N(z)$  по методике дифференциального поглощения на интервалах усреднения  $\Delta t = 5$  и 10 мин. Удаление от места старта ракет до пункта наблюдения составляло  $R_1 \sim 700-10000$  км. Всего анализу подверглись около 220 экспериментов. Из них около 150 экспериментов выполнены во время стартов КА в ночное время и в периоды прохождения утреннего и вечернего солнечного терминатора. Анализ этого массива экспериментальных данных показал, что в этих экспериментах однозначно связать изменения характеристик ЧО сигналов и радиозумов, а также параметров ионосферы с возмущениями в ионосфере, производимыми стартом и полетом КА, не представляется возможным. Поэтому отдельно анализировались данные, полученные в дневное время, когда возможные изменения характеристик ЧО сигналов, радиозумов и параметров ионосферы можно идентифицировать с рассматриваемыми возмущениями.

#### **Результаты экспериментальных исследований**

Поскольку удаление пункта наблюдений от места стартов КА составляло, как отмечено выше,  $R_1 \sim 700-10000$  км, то была предпринята попытка обнаружения возможных глобальных возмущений  $N(z,t)$  в среднеширотной D-области во время удаленных стартов и полетов ракет различной мощности. Отчетливые изменения  $N(z,t)$  удалось зарегистрировать не во всех экспериментах. Это обусловлено рядом причин: условия в ионосфере в месте старта (полета) и наблюдения, тип (мощность двигателей) ракеты, состояние радиационных поясов Земли и др. Основные особенности высотно-временных вариаций  $N(z,t)$  в периоды стартов ракет разного типа сводятся к таким: 1) для ракет типа «Космос» характерным оказалось следующее (старт 15.07.2000): на высотах  $z \geq 84$  км через 40–45 мин после старта  $N$  уменьшалась на 50–100% в течение 40–50 мин с последующим восстановлением к суточному ходу; на  $z \leq 81$  км в экспериментах наблюдались квазигармонические изменения  $N$  с амплитудой  $\sim 50\%$  в течение примерно 2 часов. Отметим, что полная масса ракет этого типа составляла около 110 т, начальная тяга – около 160 000 кгс. Время работы первой и второй ступеней составляло 130 с и 375 с соответственно. Ракета типа «Космос» относится к КА средней тяжести, мощность их двигателей  $\sim 10^8-10^9$  Вт, а энерговыделение не менее  $10^{11}$  Дж. Старт ракет этого типа происходил на самом близком удалении от пункта наблюдений; 2) в период старта КА «Протон»

квазигармонические изменения  $N$  на  $z \geq 87$  км с амплитудой  $\sim 50\%$  с периодом  $T \geq 30$  мин. наблюдались через  $\sim 10$ -15 мин. после старта. Полная масса ракет этого типа составляла около 715 т, начальная тяга – около 903 000 кгс. Время работы первой, второй, третьей и четвертой ступеней составляло 125 с, 206 с, 240 с и 600 с соответственно. Ракета типа «Протон» относится к КА тяжелого типа, мощность их двигателей  $\sim 10^{10}$ - $10^{11}$ Вт, а энерговыделение не менее  $10^{13}$ Дж; 3) в период старта КА «Зенит» на высотах 87–90 км через 10–15 мин после старта значения  $N$  уменьшились на  $\sim 50\%$  в течение примерно 30 мин., затем (т.е. примерно через 45–55 мин после старта) во всей D-области наблюдались квазипериодические изменения  $N$  с амплитудой  $\sim 50$ –100% в течение примерно 3 час (см. пример на рис. 2b). Полная масса ракет этого типа составляла около 480 т, начальная тяга – около 770 000 кгс. Время работы первой и второй ступеней составляло 150 с и 315 с соответственно. Ракета типа «Зенит» относится к КА тяжелого типа, мощность их двигателей  $\sim 10^{10}$ - $10^{11}$ Вт, а энерговыделение не менее  $10^{13}$ Дж; 4) во время старта КА «Союз» обнаружены следующие основные особенности в изменениях  $N$  (полная масса ракет этого типа составляла около 300 т, начальная тяга – около 410 000 кгс. Время работы первой и второй ступеней составляло 150 с и 315 с соответственно. Ракета типа «Союз» относится скорее к КА тяжелого типа тяжести, мощность их двигателей  $\sim 10^{10}$ - $10^{11}$ Вт, а энерговыделение не менее  $10^{13}$ Дж.): квазигармонические изменения  $N$  на 81-84 км с амплитудой  $\sim 50\%$  и периодом  $\sim 50$  мин через 40–50 мин после старта в течение примерно 3 часов; квазигармонические изменения  $N$  во всей D-области с амплитудой  $\geq 50\%$  и периодом  $\sim 50$  мин через 40–50 мин после старта в течение 2–2.5 часов; квазигармонические изменения  $N$  на  $z \geq 93$  км с амплитудой  $\sim 50$ -100% и периодом  $\sim 30$ –40 мин через  $\sim 10$  мин после старта; 5) во время старта КА «Delta-II» обнаружены следующие характерные особенности в изменениях  $N$ : квазигармонические изменения  $N$  на  $z \geq 84$  км с амплитудой  $\sim 50$ -100% и периодом  $\sim 30$ -40 мин через  $\sim 10$  мин после старта. Полная масса ракет этого типа составляла около 230 т, начальная тяга – около 360 000 кгс. Время работы нулевой, первой, второй и третьей ступеней составляло 64 с, 265 с, 444 с и 88 с соответственно. Ракета типа «Delta-II» относится скорее к КА среднего типа тяжести, мощность их двигателей  $\sim 10^9$ – $10^{10}$  Вт, а энерговыделение не менее  $10^{12}$  Дж; 6) во время старта КА «Atlas» на высоте 84 км концентрация электронов возрастала через 10–15 мин примерно на 80% в течение 25-30 мин с последующим типичным суточным ходом. Полная масса ракет этого типа составляла около 234 т, начальная тяга – около 362 000 кгс. Время работы нулевой, первой, второй и третьей ступеней составляло 56 с, 172 с, 283 с и 393 с

соответственно. Ракета типа «Atlas» относится к КА среднего типа тяжести, мощность их двигателей  $\sim 10^9$ - $10^{10}$ Вт, а энерговыделение не менее  $10^{12}$  Дж; 7) в период старта КА «Ariane» на высоте 84 км плотность электронов возрастала через 35–45 мин примерно на 100% в течение 25-30 мин с последующими квазигармоническими изменениями с амплитудой  $\sim 50$ –100% час. Полная масса ракет этого типа составляла около 470 т, начальная тяга – около 550 000 кгс. Время работы нулевой, первой, второй и третьей ступеней составляло 142 с, 205 с, 125 с и 759 с соответственно. Ракета типа «Ariane» относится к КА тяжелого типа, мощность их двигателей  $\sim 10^{10}$ – $10^{11}$ Вт, а энерговыделение не менее  $10^{13}$  Дж; 8) в период старта КА «Columbia» и «Atlantis» отчетливых изменений  $N$ , связанных со стартами, не обнаружено поскольку старты происходили вблизи периода прохождения терминатора в пункте наблюдений и поэтому однозначно идентифицировать наблюдаемые изменения  $N$  не представляется возможным; 9) в период старта тяжелой (масса около 400 т) ракеты GSVL (ракеты запускались с космодрома в Индии, расстояние до места наблюдения составляло около 5600 км обнаружены характерные квазигармонические изменения  $N$  на  $z \geq 84$  км с амплитудой  $\sim 50$ –100% и периодом  $\sim 30$ –40 мин через  $\sim 10$  мин после старта; 10) в период старта КА малой тяжести «Рокот» (масса ракет составляла около 97 т, начальная тяга – около 160 000 кгс.), «Titan» (масса ракет составляла около 150 т, начальная тяга – около 194 000 кгс.) и «Discovery» изменений  $N$ , связанных со стартами, не обнаружено.

### Обсуждение

В периоды удаленных стартов КА экспериментально обнаружены особенности в высотно-временных изменениях концентрации электронов в среднеширотной D-области ионосферы: 1) квазигармонические изменения  $N$  на  $z \geq 81$  км с амплитудой  $\sim 50$ –100% и периодом  $\sim 30$ –40 мин через  $\sim 10$  мин после старта; 2) квазигармонические изменения  $N$  на 81–90 км с амплитудой  $\sim 50$ % и периодом  $\sim 30$ –50 мин через 40–50 мин после старта в течение примерно 2–3 часов; 3) во время старта КА «Космос» на высотах  $z \geq 84$  км через 40–45 мин после старта  $N$  уменьшалась на 50–100% в течение 40–50 мин. с последующим восстановлением к суточному ходу. В целом же поведение концентрации электронов (отклик) носит больше неоднозначный характер, обусловленный, по-видимому, целым рядом факторов, о которых кратко сказано выше. Известно [2], что старты КА сопровождаются крупномасштабными и глобальными возмущениями в ионосфере. В приземной атмосфере ( $z < 90$ –100 км) работа ракетных двигателей и полет КА со сверхзвуковой скоростью приводят к

генерации и усилению ударных акустических волн (УАВ). Мощность таких УАВ составляет  $P_A \approx 10^8 - 10^{10}$  Вт для тяжелых и сверхтяжелых ракет (примерно  $10^{-3} - 10^{-2}$  мощности реактивной струи). Наиболее благоприятным для генерации УАВ является диапазон высот в нижней части *E*-области ионосферы (100-130 км), поскольку эта область ионосферной плазмы расположена над мезосферным волноводом, который эффективно захватывает и каналирует волны акустического типа на большие расстояния. Атмосфера на этих высотах еще достаточно плотная, а КА движется уже со сверхзвуковой скоростью, что полностью удовлетворяет условиям генерации УАВ. Уже экспериментально известно, что УАВ в месте ее генерации приводит к относительным изменениям  $N \sim 10 - 100\%$ . Ударная волна является источником акустико-гравитационных волн (АГВ), которые распространяются на высотах *E* - и *F* - областей ионосферы на расстояния не менее 2000 км. Сверхзвуковое расширение плазмы реактивной струи ракетного двигателя и сверхзвуковое движение плазмы под действием КА в гиротропной ионосфере вызывает генерацию электромагнитных и магнитогидродинамических (МГД) волн различных типов (см., напр., [3]). Экспериментально обнаруженные возмущения концентрации электронов в среднеширотной *D*-области ионосферы примерно через 10–15 мин после старта КА могут быть связаны с генерацией МГД-возмущений в ионосферной плазме, которые, при определенных условиях, воздействуя на радиационные пояса Земли, могут вызвать пульсирующие высыпания электронов высоких энергий. Последние, в свою очередь, могут вызывать наблюдаемые экспериментально изменения концентрации электронов на больших удалениях от места старта КА. Подобный механизм ранее был предложен для объяснения экспериментальных результатов, полученных во время мощных удаленных землетрясений и сильных гроз (см., напр., [4]). Возмущения  $N$  через 45-50 мин. после старта КА, по-видимому, связаны с включением корректирующих двигателей ракет. Маловероятно, что такие значительные возмущения связаны с распространением волн (в частности, АГВ) в нижней ионосфере. Более вероятно, что эти возмущения концентрации электронов вызваны пульсирующими потоками частиц из магнитосферы. Эти процессы высыпаний могут быть стимулированы включением корректирующих двигателей ракет. По методике [5] на основе механизма о высыпании высокоэнергичных частиц (электронов, протонов) для обсуждаемых экспериментов оценим параметры потоков электронов. По величине электронной концентрации в невозмущенных  $N_0$  и возмущенных  $N$  условиях оценивались скорости ионизации  $q_0 = \alpha_0 N_0^2, q = \alpha N^2$ , где  $\alpha_0$  и  $\alpha$  –

соответствующие коэффициенты рекомбинации. Для простоты будем пренебрегать нагревом атмосферы при выпадении частиц и полагать  $\alpha \approx \alpha_0$ . Считается также, что на меньших высотах преобладает рекомбинация электронов с ионами-связками, для которых  $\alpha \approx 10^{-11} \text{ м}^3\text{с}^{-1}$ . Это справедливо при  $z \leq 75\text{--}90$  км в условиях слабо возмущенной ионосферы для дневного и ночного времени соответственно. На больших высотах  $\alpha$  постепенно уменьшается от  $10^{-11}$  до  $2 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3\text{с}^{-1}$ . Последнее значение характерно для рекомбинации электронов с ионами  $\text{NO}^+$  и  $\text{O}_2^+$ . Если пренебречь распределением выпадающих частиц по энергиям, которое при наземных наблюдениях неизвестно, то плотность потока мощности частиц  $P_1 \approx 2\varepsilon_i \Delta z \Delta q$ , где  $\Delta q = q - q_0$ ,  $\varepsilon_i \approx 35$  эВ – энергия, затрачиваемая на один акт ионизации,  $\Delta z$  – диапазон высот, где эффективно поглощается поток частиц данной энергии  $\varepsilon$ . Далее будем полагать, что  $\Delta z = 10$  км. С другой стороны, параметр  $P_1$  связан с потоком частиц  $p$ :  $P_1 = \varepsilon p$ . Имея  $P_1$  можно оценить мощность и энергию частиц выпадающих на площади  $S$ :  $P = P_1 S$ ,  $E = P \Delta T$ , где  $\Delta T$  – длительность выпадений. Методика оценки параметров потока частиц сводится к вычислению величины  $\Delta q$ , затем –  $P_1$ ,  $p$ ,  $P$  и  $E$ . Результаты расчетов приведены в таблице 1. В расчетах принимали  $S = 10^{14} \text{ м}^2$ . Полагали также, что наиболее эффективно воздействуют на плазму в D-области потоки электронов с энергиями  $\varepsilon > 40$  кэВ, что вполне оправданно.

Таблица 1 – Параметры потоков электронов

Дата	05.06.2000	20.11.1998	26.02.2001	13.08.1998	24.10.1998	18.04.2001
$z$ , км	84	87	81	93	84	84
$N_0$ , $\text{м}^{-3}$	$2.0 \times 10^8$	$10 \times 10^8$	$8.5 \times 10^8$	$20 \times 10^8$	$5.0 \times 10^8$	$3.6 \times 10^8$
$N$ , $\text{м}^{-3}$	$4.2 \times 10^8$	$16 \times 10^8$	$1.9 \times 10^9$	$35 \times 10^8$	$11.5 \times 10^8$	$9.0 \times 10^8$
$q_0$ , $\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$	$2.8 \times 10^5$	$2.0 \times 10^6$	$7.2 \times 10^6$	$8.5 \times 10^5$	$1.8 \times 10^6$	$7.2 \times 10^5$
$q$ , $\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$	$12.3 \times 10^5$	$5.2 \times 10^5$	$3.4 \times 10^7$	$24.4 \times 10^5$	$10.5 \times 10^6$	$5.7 \times 10^5$
$\Delta q$ , $\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$	$9.5 \times 10^5$	$3.2 \times 10^6$	$2.7 \times 10^7$	$1.6 \times 10^6$	$8.7 \times 10^6$	$5.0 \times 10^5$
$P_1$ , Дж $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$	$3.2 \times 10^{-6}$	$1.1 \times 10^{-5}$	$9.2 \times 10^{-5}$	$5.4 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-5}$
$p$ , $\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$	$2.1 \times 10^8$	$9.2 \times 10^8$	$2.1 \times 10^9$	$4.5 \times 10^8$	$2.1 \times 10^9$	$1.1 \times 10^9$
$\varepsilon$ , МэВ	0.1	0.08	0.15	0.08	0.1	0.1
$P$ , Вт	$3.2 \times 10^8$	$1.1 \times 10^9$	$9.2 \times 10^9$	$5.4 \times 10^8$	$3.0 \times 10^9$	$1.7 \times 10^9$
$E$ , Дж	$7.7 \times 10^{11}$	$13 \times 10^{12}$	$2.8 \times 10^{13}$	$6.5 \times 10^{11}$	$5.4 \times 10^{12}$	$3.1 \times 10^{12}$
$\Delta T$ , с	$2.4 \times 10^3$	$1.2 \times 10^3$	$3.0 \times 10^3$	$1.2 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$

Оказалось, что наблюдаемые квазипериодические вариации  $N$  в нижней ионосфере могут быть вызваны пульсирующими потоками электронов с  $p \sim 10^3\text{--}10^9 \text{ м}^2\text{с}^{-1}$  с энергией  $10^2\text{--}10 \text{ кэВ}$ . Такие значения концентрации потоков электронов сходны по величине с значениями потоков в периоды возмущений другой природы (см., например, [4, 5]) и не представляются большими в условиях среднеширотной ионосферы. Подобные изменения в ионосферной плазме нижней ионосферы приводят к существенному электромагнитному загрязнению среды распространения радиоволн, нарушениям и сбоям в работе систем радиосвязи, радионавигации, компьютеризованных систем и т.д.

### Література

1. Tymov O. F., Garmash K. P., Gokov A. M., et. al. The Radiophysical Observatory for Remote Sounding of the Ionosphere. *Turkish J. of Physics.* – 1994. – V.18. – No11.–P. 1260 – 1265.
2. Костров Л. С., Розуменко В. Т., Черногор Л. Ф. Доплеровское радиозондирование возмущений в средней ионосфере, сопровождающих старты и полеты космических аппаратов. *Радиофизика и радиоастрономия.* – 1999. – Т.4, – № 3. – С.227 – 246.
3. Афраймович Э. А., Перевалова Н. П., Плотников А.В. Регистрация ионосферных откликов на ударно-акустические волны, генерируемые при запусках ракет-носителей. *Геомагнетизм и аэрономия.* – 2002. – Т. 43. – № 6. – С. 790 – 797.
4. Гоков О. М. Збурення в низькотемпературній плазмі середньоширотної нижньої іоносфери, обумовлені природними джерелами / О. М. Гоков. – Монографія. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2010. – 176 с.
5. Chernogor, L. F. Flux parameters of energetic particles affecting the middle latitude lower ionosphere / L. F. Chernogor, K. P. Garmash, V. T. Rozumenko // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 1998. – Т. 3, № 2. – С. 191– 197.