

DOI: 10.51981/2588-0039.2021.44.032

«ТРИ ИСТОЧНИКА – ТРИ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ» ГЕНЕРАЦИИ ТЕРМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Э.Г. Мирмович, к.ф.-м.н., доцент,

ГБПОУ МО «Колледж «Подмосковье», Москва, Россия; e-mail: mirmovich1940@mail.ru

«На всех высотах в ионосфере дует ветер,
Ионный ветер, нейтральный ветер.
За этот ветер по Союзу я в ответе,
И с ним я за границу вылетал...»
Шутка на сочинской «Школе ионосферы»,
посвящённая д.ф.-м.н., проф. Э. С. Казимировскому

Аннотация

Как альтернатива термину «ионосферно-магнитное возмущение» автором в конце 70-х годов введен и защищён диссертационным исследованием термин «термосферно-ионосферное возмущение». В статье приводятся аргументы в пользу права на его существование как отдельного фундаментального термина в физике ионосферы. Начальные возмущения термосферы могут порождаться различными источниками нарушений регулярной циркуляции и нейтрального состава верхней атмосферы, которые превращаются в возмущения ионосферы солнечным излучением и/или другими источниками ионизации. В период солнечного события термосфера подвергается непосредственному воздействию ультрафиолетовым и рентгеновским солнечным излучением, солнечными космическими лучами и вторжениями в магнитосферу возмущённого солнечного ветра, ответственного за планетарную геомагнитную бурю. Наиболее известным и изученным претендентом на роль генератора термосферно-ионосферных и магнитно-ионосферных (а не ионосферно-магнитных) возмущений в этот период являются три высокоширотных источника: два авроральных электроджета и полярный касп. Именно введением этих источников в соответствующие геомагнитные широты модели верхней атмосферы автор усовершенствовал её, разработал и протестировал для средних широт метод отдельного прогнозирования возмущений области F-ионосферы по корреляционным соотношениям между возмущениями нейтрального состава и оперативными индексами геомагнитной активности. Открытое автором опережение некоторыми типами положительных возмущений ионосферы начала магнитной бури тестировалось по эффекту поглощения в полярной шапке как показателя вторжения заряженных частиц в касп.

Ключевые слова: термосфера, возмущение, термосферное цунами, источник ионизации, ионосферное возмущение, авроральные электроджеты, полярный касп.

1. Введение

Термин «термосферно-ионосферные возмущения» (ТИВ), представляющий собой результат превращения первичных возмущений нейтрального состава верхней атмосферы в ионизационно-рекомбинационном цикле в возмущённое состояние ионосферной частично ионизованной плазмы, был автором введен и защищён диссертацией «Исследование и прогноз термосферно-ионосферных возмущений» в 1981 году [1] как детерминированная альтернатива, вообще говоря, не вполне корректному термину и понятию «ионосферно-магнитные возмущения» (ИМВ), являющемуся обозначением магнитно-ионосферных возмущений (МИВ).

Он был введен автором на основании цикла работ 1973–1981 гг. (например, [2–6]) и подтверждён в [7], где указано, что к МИВ могут быть отнесены не все возмущения ионосферы. Сама идея выделения ТИВ в отдельный объект исследований и прогноза родилась при расчёте и анализе N(h)-профилей и температуры области F по наземным и спутниковым измерениям в рамках комплексного проекта «Исследования в ионосфере при помощи спутника «Космос-378» (17.11.1970 – 17.08.1975 гг.), опубликованной в [8] и отмеченной в соответствующем разделе Википедии статье. Спутниковые данные на высотах $> h_m F_2$ по измерениям зондом Ленгмюра и сферическим зондом В. Афонина показывали неустранимое аппаратными допусками расхождение с рядом дневных профилей в возмущённых условиях, рассчитанных по ионограммам вертикального зондирования (ВЗИ) и модели IRI для дальневосточных станций, контролирующих широтный пояс $\Delta\phi \sim 55 \div 45^\circ N$.

Однако десятки лет до настоящего времени термин ни у нас, ни за рубежом не был воспринят и использован. Из известных автору работ он был употреблён лишь в работе [9], и то исключительно в её названии, хотя идеи о роли «конкуренции» между собой векторов спокойного и возмущённого термосферного ветра в генерации и развитии МИВ не противоречат идеям автора [1, 10, 11].

Причиной этому явились два аспекта: во-первых, недооценка исследователями термина как продуктивной генетической альтернативы МИВ и применением вместо ТИВ не вполне адекватного термина «термосферно-ионосферное взаимодействие», а во-вторых, автор не сумел донести свою идею до мировой научной общественности через зарубежные издания.

2. Материалы и инструментарий

Материалами для статьи явились более ранние исследования автора, большая часть из которых остаётся актуальной и в настоящее время, хотя и не опубликованных в печати статуса SCOPUS. Инструментарий – авторских и иных источников по термосферно-ионосферным исследованиям. В противоположность некоторым исследователям выделение возмущений термосферы и как следствие ионосферы в отдельный вид явлений, требующий диагностики, исследования и прогнозирования вне численных и аналитических моделей регулярной циркуляции и состава с их сезонными и суточными вариациями. В своих работах автор старался следовать адекватному имитационному моделированию ТИВ, отделив их от регулярного невозмущенного хода параметров термосферно-ионосферной среды. А возврат к теме с задержкой в 40 лет ([1] – 1981) при этом не является уникальным случаем и во всей науке, и в космической и гелиогеофизике. Так, например, с 1926 года весь мир пользуется термином «ионосфера», в то время как защищено его авторство за одним из родоначальников радиолокации Sir Robert Alexander Watson-Watt лишь через 43 года публикацией его письма в журнале Nature. И таких примеров множество.

3. Отличие ТИВ от МИВ

Принципиальное отличие ТИВ от МИВ заключается в том, что «термосферное цунами» в форме нейтральных вихревых, циклональных, солитонных неоднородностей и облаков может иметь локальный характер, другой генезис, в том числе не электромагнитного характера. При ТИВ такого рода, как правило, ничего не происходит с ТЕС средних широт. Это относится, например, к открытой автором квазипериодической структуры дневного хода параметра f_oF_2 среднеширотной ионосферы в спокойное время и исчезающее во время повышения геомагнитной активности, интерпретируемой им в рамках задачи обтекания крупных горных систем масштаба Гималаев, Кордильер и др. ветровыми потоками [12, 13]. Автор считает, что чёткое применение ТИВ как термина будет способствовать развитию (нет, не численной калькуляции системы нарастающего числа уравнений с подгонкой коэффициентами к эмпирическим моделям) понимания динамики и физики возмущений в верхней атмосфере, а, значит, к их детерминированному моделированию и прогнозу. В рамках численных моделей ионосферы, даже лучших из них (например, цикла MSIS – вариант NRLMSISE-00, СибНИГМИ, а также более ранних) описать адекватно физические механизмы ТИВ до прогностического применения невозможно. Это, накатывающееся термосферное «цунами» на $h \leq F$ -области ионосферы от зарождения с инкрементом $tg(t) \geq 1$ до диссипации с запаздывающим релаксационным по эффекту Харстли декрементом «проживает» свою, не очень зависимую от регулярной термосферной циркуляции и стандартных вариаций ионосферы жизнь. А параметр возмущённости нейтрального состава в качестве предиктора задан отдельно лишь в единственной известной автору модели – TIEGCM, и то в виде некоего условного уровня возмущения лишь параметра O_2 , а не типичных для верхней атмосферы, включая экзосферу, O и N_2 и/или хотя бы их соотношения $[O]/[N_2]$.

4. Генератор среднеширотных ТИВ

На основе полуэмпирических моделей нейтральной атмосферы [14] автору удалось сделать ещё в 80-х годах. Основа в модели автора – ввод запаздывания между «включениями» двух источников (электроджетов) в виде входных параметров (предикторов), выраженных заданием $Kp' = Kp(t - \tau)$, где $\tau = 0^d.1 + 0^d.2 \cos \Phi'$, а также индексов aa и угла между векторами скоростей спокойной циркуляции по модели и возмущения. Это позволило понять и интерпретировать известное выражение для времени запаздывания возмущений термосферы из цикла моделей CIRA: $\tau = 7.5 - 0.11/\Phi'$, в которое превращается формула для τ в модели, если положить скорость перемещения возмущения $V' = 300$ м/с и экваториальную границу его затухания $\Phi' = 68^\circ$ на ночной стороне аврорального овала. При таком подходе автором объяснены положительные возмущения ионосферной плазмы, зависимость начала ТИВ от местного времени, т.н. «запрещённое время» начала отрицательной фазы МИВ в местное дневное время; было показано, что через параметры возмущённости нейтрального состава и температуры можно выразить не только δf_oF_2 (параметр, введенный автором в [2]), но и ряд других параметров возмущений ионосферы ($\delta N_m F_2$, $\delta h_m F_2$, $\delta MPЧ$).

Качественная двухуровневая модель циркуляции в виде ветрового переноса дополнительного материала на $h > 200$ км (область F), построенная по модифицированной автором модели верхней атмосферы

введением в неё утреннего и вечернего электроджетов и дневного каспа в качестве источников показывает, что поступает он, «втягиваясь» в область разрежения плотности из низких, а не высоких широт, откуда по уровню < 150 км приходит нейтральный материал в средние широты; адвективный перенос ветром дополнительной концентрации нейтралов приводит к росту N_e воздействием солнечного УФ; мелкие девиации-осцилляции N_e в области F, ответственные за F-рассеяние, объяснены воздействием инфразвука [15] от разных (в т.ч., возможно, и сейсмических) источников. Нет четкой, однозначной связи между подъемом высоты и увеличением электронной концентрации при положительной фазе бури. Этот факт говорит не в пользу объяснения положительной фазы ионосферной бури дрейфовым механизмом. Начальная стадия развития ТИВ, в особенности в летний период сопровождается в утреннее и послеполуденное время возникновением или усилением Es-типа "с". При этом, ему обязательно предшествует кратковременное (15–30 мин.) появление Es типа "h". Это говорит о том, что перенос первоначального импульса возмущения в виде ветрового сдвига происходит на высотах «долины».

Таким образом, основным генератором ТИВ в гелиоактивный период является зарождение и развитие возмущения термосферной циркуляции, отличной от регулярной циркуляции верхней атмосферы в спокойное полярно-авроральное время. Тремя источниками служат вечерний и утренний электроджеты в авроральной зоне как диссипативный результат вторжения потоков заряженных частиц возмущенного солнечного ветра и резкого повышения интегральных частот столкновений на высотах $\sim 10^5$ м и дневной cusp – вихревую воронку на геомагнитных полюсах для мягких электронов и последующие за ним эффекты. Однако остаётся не ясным, почему работа дневного каспа опережает начало активности аврорального овала. В работе [16] было отмечено, что одна из опережающих положительных ионосферных бурь началась почти одновременно с эффектом поглощения в полярной шапке (РСА) за более чем сутки до начала первой суббури, что допускает в качестве её источника непосредственные солнечные космические лучи (СКЛ) с протонами (а не касп). При этом, скорость солнечного ветра $V_{sw} \sim 10^6$ м/с, в то время как частицы всплеска СКЛ перемещаются на два порядка быстрее: $V_{scr} \geq 10^8$ м/с. Не менее интересной кажется возможность повышения содержания электронов на $h \geq h_m F_2$ за счёт прямого воздействия солнечного излучения с длиной волны 50 ± 5 нм и 80 ± 5 нм непосредственно во время вспышки [16], что также может быть источником положительного возмущения в максимуме на дневной стороне.

Кроме того, прогностические резервы эффекта опережения отдельным видом положительных ТИВ начала развития кольцевого тока (Dst-вариаций), всплеска обоих электроджетов (AE и aa-индексы) и всех локальных и планетарных магнитных индексов (k_i и K_p) [17, 18], на взгляд автора, имеют реальные перспективы в совершенствовании прогноза т.н. «космической погоды» и чрезвычайных ситуаций гелиогеофизического характера [19]. Во всяком случае, этот класс возмущений ионосферы во временном отрезке между непосредственными эффектами от вспышки и приходом потока возмущенного солнечного ветра является мало изученным предметом в комплексе солнечно-магнитосферно-ионосферной физики.

5. Заключение

В данной статье не только защищается авторство обсуждаемого термина, но и доказывается научная оправданность его введения для целого класса, если не большинства, возмущений верхней атмосферы. Это актуально хотя бы потому, что до высот $\sim 10^6$ м содержание нейтралов, ответственных за термин «термосфера», превышает концентрацию заряженных частиц (электронов и ионов), ответственных в свою очередь за сам термин «ионосфера» как компоненту верхней атмосферы в форме плазмы. Таким образом, введение в научный обиход специального термина «термосферно-ионосферные возмущения» способствует пониманию физических механизмов ионосферных возмущений и выстраивает или/и корректирует детерминированную цепочку процессов их генерации. Прогноз ионосферных возмущений, которые лучше назвать магнитно-ионосферным возмущением, а не наоборот, можно осуществлять по данным о возмущениях нейтральной компоненты термосферы с привлечением оперативных магнитных данных и минимума данных ВЗИ. Всё это важно не только из-за трудности, а порой невозможности использования на практике громоздких численных моделей. Это по-прежнему актуально в службе мониторинга «космической погоды» для оперативного прогнозирования ионосферных возмущений и бурь, влияющих на дальнейшее распространение коротких радиоволн, а также на многие виды жизнедеятельности на земле и в ближнем космосе, включая работу КА и даже воздействие на баллистику МБР в пассивной части их траектории в период интенсивных именно ТИВ, а не любых МИВ.

Библиографический список

1. Мирмович Э.Г. Исследование и прогноз термосферно-ионосферных возмущений // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Иркутск: СибИЗМИР. 1981. 23 с.
2. Мирмович Э.Г. К использованию параметра δfoF_2 для оценки ионосферной возмущенности // Исслед. по геомагнетизму, аэрон. и физ. Солнца. М.: "Наука". 1973. вып. 27. С. 165–168.

3. Мирмович Э.Г. Полярный разогрев и детерминированный прогноз среднеширотных термосферно-ионосферных возмущений // Всесоюз. совещ. "Крупномасштабная структура субавроральной ионосферы". Якутск, июнь, 1981 г. Якутск, 1981. С. 15–17.
4. Мирмович Э.Г., Климов Н.Н. Зависимость начала термосферно-ионосферных возмущений от местного времени // II Всесоюз. семинар по ионосферному прогнозированию. Хабаровск, 15–18 сентября, 1981, Хабаровск, 1981. С. 24–26.
5. Климов Н.Н., Мирмович Э.Г. Роль полярной ионосферы в прогнозе среднеширотных возмущений термосферы и ионосферы // II Всесоюз. совещ. по полярной ионосфере и магнитосферно-ионосферным связям. Норильск, апрель, 1980. Иркутск, 1980. С. 14–16.
6. Климов Н.Н., Мирмович Э.Г. О возможности прогноза параметров ионосферной возмущенности на основе характеристик нейтральной атмосферы // Исслед. по геомагнетизму, аэрон. и физ. Солнца. М.: "Наука". 1979. Вып. 47. С. 166–172.
7. Мирмович Э.Г. Термосферно-ионосферные возмущения как отдельный класс возмущений ионосферы // Физика плазмы в солнечной системе. 16-я ежегодная конференция, 8-12 февраля 2021 г. М.: ИКИ. С. 193.
8. Мирмович Э.Г., Шапиро Б.С. Исследования в ионосфере при помощи спутника «Космос-378». N(h)-профили и температура области F по наземным и спутниковым измерениям над Хабаровском // Геомагн. и аэрномия. М.: 1975. Т. 15, № 5. С. 934–936.
9. Захаров И.Г., Мозговая О.Л., Таран В.И., Тырнов О.Ф. Некоторые особенности термосферно-ионосферных возмущений при переходе от спокойных к возмущенным условиям по данным Харьковского радара НР // Космічна наука і технологія. Додаток. № 2. Том 8. 2002. С. 152–158.
10. Мирмович Э.Г. Двухуровневая модель детерминированного прогноза крупномасштабных термосферно-ионосферных возмущений, влияющих на распространение радиоволн // XXV областная НТК, посвященная Дню Радио. 14-16 апреля 1982. Новосибирск, 1982. С. 23–25.
11. Климов Н.Н., Мирмович Э.Г., Повышение точности прогнозов по модели J-77 с источником в овале // Исслед. по геомагнетизму, аэрон. и физ. Солнца. М.: "Наука". 1981. Вып. 55. С. 94–97.
12. Мирмович Э.Г. Квазипериодическая структура дневного хода foF2 // Экспресс-информация ВНИИГМИ-МЦД, метеорология. Обнинск, 1976. Вып. 3(47). С. 14–18.
13. Мирмович Э.Г. О реакции ионосферы на некоторые виды возмущений нейтральной составляющей верхней атмосферы // III Всесоюз. совещ. по исследованию динамических процессов верхней атмосферы. Обнинск, октябрь, 1979. Обнинск, 1979. С. 85–87.
14. Jacchia L.G. Thermospheric temperature, density and composition: new models // Spec. Rept. Smithsonian Astrophys. Observ. 1977. № 375. 106 p.
15. Мирмович Э.Г., Прудников П.Т., Ройхваргер З.Б. Понижение электронной концентрации под воздействием нейтральных волн в ионосфере // Геомагн. и аэрномия. 1978. Т. 18, № 3. С. 535–536.
16. Mirmovich E.G. Ionospheric behavior during August 2-11, 1972 derived from data of ionosphere vertical sounding over Khabarovsk // Report UAG, №28, WDC A, Boulder, USA. 1973. Part II. PP. 557–560.
17. Кринберг И.А., Тащилин А.В., Фридман С.В. О возможной природе «горячей» зоны в плазмосфере Земли // Геомагн. и аэрномия. 1980. Т. 20, № 6. С. 1028–1035.
18. Мирмович Э.Г. Фундаментальность явления опережения начала магнитной бури одним из типов положительных возмущений среднеширотной ионосферы // Физика плазмы в солнечной системе. 16-я ежегодная конференция, 8-12 февраля 2021 г. М.: ИКИ. С. 192.
19. Мирмович Э.Г. Потенциальные источники чрезвычайных ситуаций гелиогеофизического происхождения // Физика плазмы в солнечной системе. 16-я ежегодная конференция, 8-12 февраля 2021 г. М.: ИКИ. С. 279.