

**МИКРОВОЛНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ИОНОСФЕРЫ КАК ФАКТОР ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК И ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ НА БИОСИСТЕМЫ**

© 2005 г. С. В. Авакян, доктор физ.-мат. наук

ВНЦ “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

E-mail: avak@soi.spb.ru

Предложена и обоснована гипотеза о механизме влияния солнечной и геомагнитной активности (прежде всего солнечных вспышек и магнитных бурь) на биосферу, в том числе на человека. Гипотеза включает введенный автором новый для аэрономии физический механизм – возбуждение ионосферными электронами высоколежащих (ридберговских) состояний всех газов верхней атмосферы Земли. Это возбуждение приводит к монохроматическим эмиссиям ионосферы в микроволновом диапазоне радиоволн. Эксперименты показали, что это микроволновое излучение многократно возрастает во время вспышек на Солнце и полярных сияний. В свою очередь микроволновое излучение практически свободно проникает вниз, до высот биосферы, а его резонансное воздействие на различные биологические объекты, включая человека, уже многие годы имеет экспериментальное подтверждение.

Коды OCIS: 350.4010, 350.5400, 020.5780.

*Поступила в редакцию 11.03.2005.*

Одной из фундаментальных проблем современного естествознания является поиск биофизических механизмов влияния на людей и биосферу в целом эффектов солнечной и геомагнитной активности и прежде всего солнечных вспышек и магнитных бурь. Известно, что в периоды солнечных вспышек наиболее сильно возрастает (до нескольких тысяч, а иногда и до десяти тысяч раз) поток излучения, ионизирующего верхнюю атмосферу Земли в диапазоне от мягкого рентгеновского до вакуумного ультрафиолетового излучения (с длинами волн от 0,1 до 134 нм). Энергия этого потока на 6–7 порядков выше, чем энергия потока солнечного радиоизлучения в периоды сильных вспышек. Однако до земной поверхности коротковолновое (рентгеновское и вакуумное ультрафиолетовое) излучение Солнца не доходит, полностью поглощаясь в верхней атмосфере Земли.

Во время сильных магнитных бурь также происходит увеличение на несколько порядков величины вторгающихся в верхнюю атмосферу Земли из вышележащих радиационных поясов потоков заряженных частиц, в основном электронов, а также протонов. И в периоды солнечных вспышек, и во время магнитных бурь первейшим процессом полной диссипации энергии потоков частиц, вторгающихся в земную верхнюю атмосферу, является ионизация всех атмосферных газов с образованием фотоэлектронов, вторичных и оже-электронов [1].

Следует подчеркнуть, что до настоящего времени мониторинг вариаций абсолютной величины потоков солнечного ионизирующего излучения и их спектрального состава отсутствует. Нет и экспериментальных данных о спектрах и приращениях величин потоков в периоды вспышек на Солнце разных баллов и классов. В табл. 1 приведены результа-

ты анализа осуществленных и планируемых космических экспериментов по контролю за солнечной коротковолновой активностью за период с 1996 по 2012 гг. Видно, что единственным экспериментом, выполняющим задачи по полному мониторингу солнечной коротковолновой активности, является предложенный нами “Постоянный космический солнечный патруль”. Этот эксперимент включает измерения во всем спектральном интервале с необходимым для солнечно-земной физики спектральным разрешением около 1 нм в постоянном режиме с непрерывным сканированием спектра каждые 72 с, что близко и к продолжительности субвспышек, и к импульсной фазе мощных вспышек.

В 1994 г. нами впервые в аэрономии и физике ионосферы предложено [2] учитывать безусловное наличие в плазме верхней атмосферы Земли (и в других планетных атмосферах) высоковозбужденных ридберговских состояний атомов, молекул и их ионов как новый фактор в физике солнечно-земных связей. Ридберговские состояния соответствуют случаю сильного возбуждения валентного электрона, который оказался на орбите с высоким главным квантовым числом  $n > 10$ . Практически это состояние атомно-молекулярной частицы любого газа верхней атмосферы, близкое к ее потенциалу ионизации. Соответствующие атомные спектры экспериментально были впервые исследованы шведским физиком Йоханнесом Робертом Ридбергом (1854–1919). Эти ридберговские состояния являются метастабильными (долгоживущими), так как вероятность большинства излучательных квантовых переходов с них мала. Переходы с ридберговских состояний заполняют практически весь диапазон электромагнитного спектра верхнеатмосферных

Таблица 1. Космические эксперименты по мониторингу коротковолновой солнечной активности

| Действующие или недавно закончившиеся эксперименты по измерениям потока ионизирующего излучения от полного диска Солнца |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Космический аппарат, страна                                                                                             | Аппаратура, спектральный диапазон ( $\Delta\lambda$ ) и разрешение ( $\delta\lambda$ )                                                                                                                                                                           | Примечания                                                                                                                                                                                             |
| SOHO* (Solar and Heliospheric Observatory), международный                                                               | SEM (Solar EUV Monitor), $\Delta\lambda = 26-34$ нм и $0,1-50$ нм, $\Delta\lambda = \delta\lambda$<br>SUMER (Solar Ultraviolet Measurements of Emitted Radiation)<br>$\Delta\lambda = 46,5-80$ нм и $66-161$ нм, $\delta\lambda = 0,004$ нм в обоих каналах      | Измерения каждые 15 сек с ограничением по разрешению и без перекрытия всего диапазона. Диск Солнца полностью сканируется только за несколько часов, но и эти измерения, как правило, не осуществляются |
| SNOE (Student Nitric Oxide Explorer), США                                                                               | SXP (Solar XUV Photometer), $\Delta\lambda = 3-20$ нм, $\delta\lambda$ – всего 3 спектральных интервала                                                                                                                                                          | Измерения 4 раза в сутки с ограничениями по разрешению и диапазону спектральных интервала                                                                                                              |
| GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites), США                                                          | XRS (Solar X-ray Sensor), $\Delta\lambda = 0,05-0,8$ нм, $\delta\lambda$ – всего 2 спектральных интервала                                                                                                                                                        | Непрерывные измерения в узкой области солнечного спектра                                                                                                                                               |
| КОРОНАС-И и -Ф (комплексные орбитальные околоземные наблюдения активности Солнца), Россия, Польша                       | СУФР (солнечный УФ радиометр) и ВУСС (УФ солнечный спектрометр) $\Delta\lambda < 130$ нм, $\approx 120$ нм, $< 12$ нм, $\delta\lambda$ всего 3 интервала                                                                                                         | Одно измерение в 7 минут без необходимого для геофизических задач разрешения                                                                                                                           |
| TIMED (Thermosphere-Ionosphere - Mesosphere-Energetics-Dynamics), США                                                   | SEE (Solar EUV Experiment): XPS (XUV Photometer System), $\Delta\lambda = 0,1-27$ нм, $\delta\lambda$ – всего 12 спектральных интервалов;<br>EGS (EUV Grazing Spectrograph), $\Delta\lambda = 26-195$ нм, $\delta\lambda = 0,4$ нм в этом спектральном интервале | Измерения менее 4 мин за виток (97 мин) с полным перекрытием диапазона                                                                                                                                 |
| SORCE (Solar Radiation and Climatic Experiment), США                                                                    | XPS (XUV Photometer System), $\Delta\lambda = 1-34$ нм, $\delta\lambda$ – всего 10 спектральных интервалов;<br>$\lambda = 121,6$ нм, $\Delta\lambda = 115-195$ нм, $\delta\lambda = 1$ нм в этом спектральном интервале                                          | Измерения до 60% времени на витке, но без перекрытия основной части диапазона                                                                                                                          |
| Планируемые эксперименты                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                        |
| МКС (Международная космическая станция), Германия                                                                       | SOLACES (Solar Auto Calibrating EUV/UV Spectrometers), $\Delta\lambda = 17-220$ нм, $\delta\lambda = 0,3-0,9$ нм в этом спектральном интервале                                                                                                                   | Измерения до 15 мин на витке, 600 ч/год, 2005 г.                                                                                                                                                       |
| GOES, США                                                                                                               | Пять широких спектральных полос в крайнем УФ диапазоне                                                                                                                                                                                                           | 2005 г.                                                                                                                                                                                                |
| Solar-B, Япония, США, Великобритания                                                                                    | XRT (X-Ray Telescope) – улучшенный аналог SXT (Soft X-Ray Telescope) – на Solar-A (Yohkoh), $\Delta\lambda = 0,2-6,0$ нм, спектр за время менее 10 с                                                                                                             | 2005 г.                                                                                                                                                                                                |
| КОРОНАС-Фотон, Россия и Германия                                                                                        | “EUV-Фока”, $\Delta\lambda < 10-130$ нм, $\delta\lambda$ – всего 6 спектральных интервалов                                                                                                                                                                       | 2007 г.                                                                                                                                                                                                |
| Proba-2, ЕКА, Бельгия, Швейцария, Германия                                                                              | “Лука”, $\lambda = 121,6$ нм, $\Delta\lambda = 200-220$ нм, $\Delta\lambda = 17-70$ нм, $\Delta\lambda = 1-20$ нм (всего 4 указанных спектральных канала)                                                                                                        | 2007 г.                                                                                                                                                                                                |

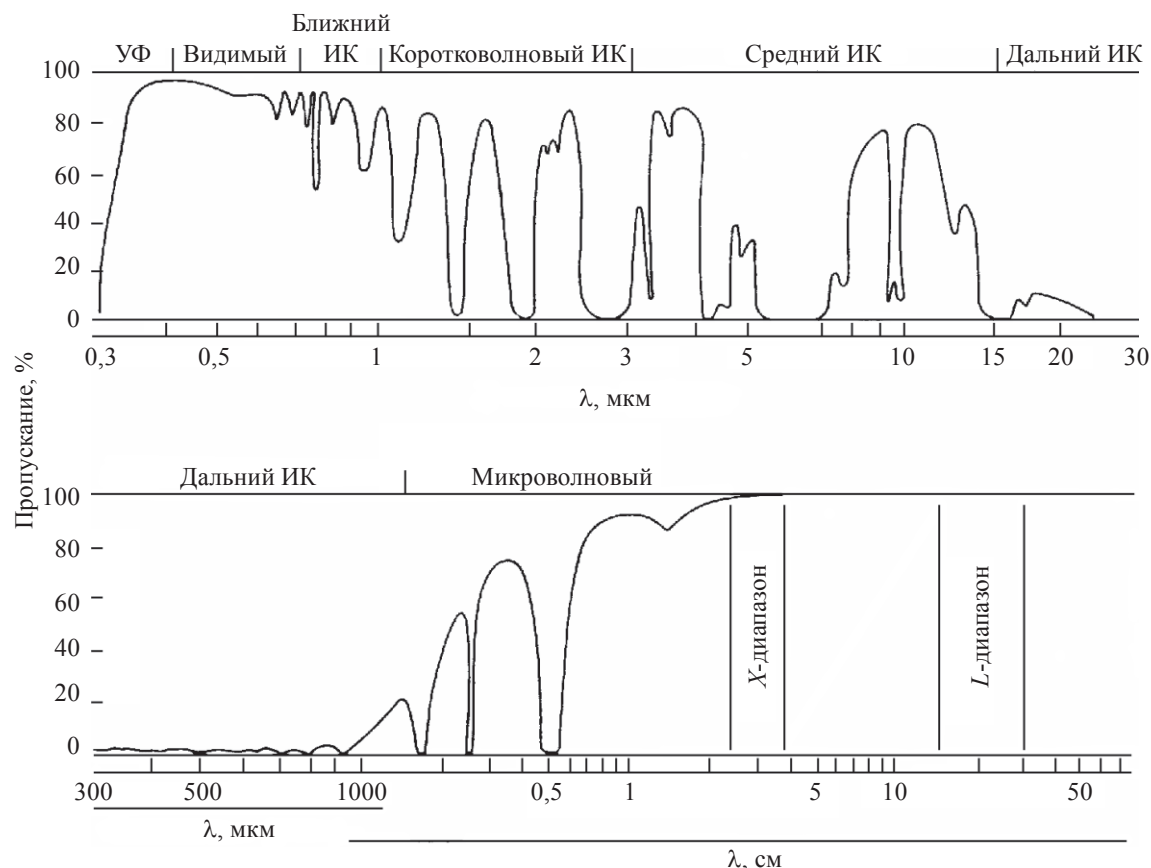
# Продолжение таблицы 1

|                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SDO (Solar Dynamics Observatory), США                                                                             | “Irradiance Monitor” (спектрометр), $\Delta\lambda = 0,1-100$ нм, $\delta\lambda = 0,1-0,2$ нм в этом интервале                                                                                                                | 2008 и 2010 гг.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Международная космическая станция, российский сегмент, служебный модуль “Звезда”, Россия                          | “Солнечный патруль” Радиометр $\Delta\lambda = 0,14-157$ нм, $\delta\lambda$ – всего 20 спектральных интервалов КУФ (крайний УФ)-спектрометр, $\Delta\lambda = 17-155$ нм, $\delta\lambda$ лучше 1 нм                          | Периодические (из-за экономии энергии на МКС – один раз в неделю по 20 мин) абсолютные спектрофотометрические измерения потока во всем ионизирующем диапазоне в непрерывном режиме с получением полных спектров каждые 72 с в динамическом диапазоне солнечного потока от самой низкой активности до самых больших вспышек (6 порядков величины) |
| Космический аппарат (КА) будет определен в соответствии с Федеральной космической программой Российской Федерации | “Постоянный космический солнечный патруль”: Радиометр $\Delta\lambda = 0,14-157$ нм, $\delta\lambda$ – 20 спектральных интервалов; РУФ (рентгеновско-УФ)-спектрометр, $\Delta\lambda = 1,8-198$ нм, $\delta\lambda$ около 1 нм | Постоянные абсолютные измерения полных спектров каждые 72 с в непрерывном режиме.                                                                                                                                                                                                                                                                |

\* На КА SOHO, как и на ряде других аппаратов (TRACE, Коронас, GOES-12, RHESSI, STEREO, Solar-B, SDO и Solar Orbiter – 2015 г.) имеются приборы для получения изображения Солнца в коротковолновом диапазоне – солнечные телескопы, которые дают важную информацию о распределении активности по диску, о спектральном составе излучения различных областей, но их данные практически не пригодны для осуществления мониторинга текущего абсолютного “потока” от диска в области 0,1–134 нм.

эмиссий, начиная от жесткого УФ излучения. Согласно правилам отбора для электрических дипольных переходов разрешенными переходами будут те, при которых орбитальный квантовый момент либо не изменяется, либо изменяется на величину  $l = \pm 1$ . Поэтому из-за высоких значений  $n$ , а значит, и  $l$  ( $l = n - 1$  и меньше) переходы из высоких  $l$  могут осуществляться только между соседними ридберговскими состояниями, а следовательно, лежат в радиодиапазоне. Например, в атомном кислороде, основной составляющей верхней атмосферы, радиоизлучение в переходах с  $\Delta n = 1$  на  $n = 10-20$  лежит в сантиметровом диапазоне, при больших  $\Delta n$  – в миллиметровом, а дециметровое излучение ридберговски возбужденных атомов кислорода появляется в случае переходов с  $\Delta n = 0$  для  $n = 20-40$ . Главное, что все это излучение (начиная с длины волны  $\lambda \approx 0,8$  мм и более) свободно проникает в нижнюю атмосферу до земной поверхности [3] (рис. 1).

В той же работе [2] была проанализирована возможность объяснить именно ридберговским возбуждением наличие спорадического радиоизлучения ионосферы, обнаруженного в СССР учеными НИРФИ при синхронных наблюдениях всплесков в нескольких пунктах в радиодиапазоне от 3 до 50 см, проведенных в течение 1970–1971 гг. в рамках исследований по проблеме SETI (поиска внеземных цивилизаций) [4–7]. На основе анализа пространственно-временных характеристик нескольких тысяч всплесков обнаружено, что частота и сила возрастания мощности радиоизлучения полностью коррелируют с изменением площади солнечных пятен, особенно с продолжительными хромосферными рентгеновскими вспышками на Солнце и полярными сияниями, включая периоды рекуррентных возрастаний солнечной активности. Излучение ионосферы в радиодиапазоне поляризации не обнаруживает, что также говорит в пользу эмиссий после ридберговского возбуждения. Следовательно, можно констатировать наличие у ионосферы и верхней атмосферы Земли микроволнового радиоизлучения (см. табл. 2), которое генерируется в квантовых переходах между высоковозбужденными ридберговскими состояниями всех атомно-молекулярных составляющих верхнеатмосферной плазмы и является строго характеристическим (монохроматическим). Его интенсивность (существенное превышение над фоном) прямо коррелирует как с солнечной активностью, особенно со вспышками, так и с геомагнитными бурями. Действительно, основной механизм возбуждения ридберговских уровней – электронный удар. В верхней атмосфере и ионосфере есть три типа электронов с энергиями до нескольких десятков и сотен электронвольт, при которых сечения ридберговского возбуждения максимальны:



**Рис. 1.** Прозрачность атмосферы во всем диапазоне электромагнитного спектра.

фотоэлектроны, возникающие при ионизации газов рентгеновским и жестким УФ излучением Солнца;

вторичные электроны, образующиеся при ионизации высыпавшимися в верхнюю атмосферу во время геомагнитных бурь и суббурь корпускулами (электронами и протонами из радиационных поясов);

электроны Оже, образующиеся как при фотоионизации, так и при корпускулярной ионизации.

Эффект Оже во всех его проявлениях в ионосферах планет впервые также был рассмотрен в наших работах [8]. Все эти электроны ионизации по интенсивности своего потока прямо прослеживают любые вариации солнечной и геомагнитной активности – от спокойных периодов до самых сильных солнечных вспышек и геомагнитных бурь и суббурь. Соответственно, ридберговское радиоизлучение ионосферы, возбужденное этими электронами, несет полную пространственно-временную информацию обо всех изменениях ионизирующих пото-

ков, т. е. сканирует все виды гелиогеофизической активности.

Итак, следует считать, что обнаружен прямой канал информации самых нижних слоев атмосферы и самой биосферы о вариациях солнечной и геомагнитной активности [1, 9, 10]. Для биосферы и, в частности, для организма человека эта информация в виде вариаций потока микроволнового излучения как раз и может быть тем агентом X, который постулировал А.Л. Чижевский. Следует подчеркнуть, что само Солнце излучает в радиодиапазоне, но это излучение не прямо коррелирует с основным вспыхивающим потоком – потоком геоэффективного коротковолнового (крайнего ультрафиолетового и рентгеновского) излучения, величина энергии которого на семь порядков выше, чем радиопотока. Главное же в том, что радиоизлучение Солнца не монохроматическое и состоит не из отдельных линий и полос, а имеет сплошной спектр.

Последнее обстоятельство может быть решающим в проявлении биоэффективности микроволно-

**Таблица 2.** Микроволновое излучение (частоты и длины волн)

| Ультракороткие радиоволны – микроволновое излучение |                                                     |                                                     |                                                      | Далекий ИК диапазон                              |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Очень высокие частоты ОВЧ (VHF), метровые волны     | Ультравысокие частоты УВЧ (UHF), дециметровые волны | Сверхвысокие частоты СВЧ (SHF), сантиметровые волны | Крайневысокие частоты КВЧ (EHF), миллиметровые волны | Гипервысокие частоты ГВЧ, субмиллиметровые волны |
| 30–300 МГц                                          | 0,3–3 ГГц                                           | 3–30 ГГц                                            | 30–300 ГГц                                           | 300 ГГц–3 ТГц                                    |
| 10 м–1 м                                            | 10 дм–1 дм                                          | 10 см–1 см                                          | 10 мм–1 мм                                           | 1 мм–0,1 мм                                      |

**Таблица 3.** Теоретические и экспериментальные резонансы в живых системах

| Системы              | $f$ , Гц                    | $\lambda$  | Литература |
|----------------------|-----------------------------|------------|------------|
| Клетка               | $41,782 \times 10^9$        | 7,2 мм     | [11]       |
|                      | $83,564 \times 10^9$        | 3,6 мм     |            |
| ДНК-спираль          | $4 \times 10^{10}$          | 7,5 мм     | [12]       |
| Молекула ДНК         | $10^9$                      | 3 дм       | [13]       |
| Молекула РНК         | $10^9$                      | 3 дм       | [13]       |
| Клеточная мембрана   | $10^{10} - 10^{11}$         | 3 см–3 мм  | [13]       |
| Эритроциты           | $10^{10}$                   | 3 см       | [14]       |
| Молекула гемоглобина | $42,26 \times 10^9$         | 7,1 мм     | [11]       |
|                      | $(44,5 - 50,3) \times 10^9$ | 6,0–6,7 мм |            |

вого излучения ионосферы. Дело в том, что многочисленные экспериментальные и теоретические работы по исследованиям механизмов воздействия миллиметрового и сантиметрового излучений на живой организм подчеркивают резонансный характер отклика биологической клетки и эритроцитов крови на такое облучение (см. табл. 3). Ширина резонансов составляет  $10^{-3} - 10^{-4}$  действующей частоты, что, кстати, представляется близкой к реальной ширине атомной линии в ридберговском переходе при ее столкновительном (лоренцевском) уширении в реальных условиях ионосферы с учетом сечений столкновений ридберговской частицы. Для ридберговских молекул эти ширины больше, чем атомные, однако для радиопереходов они достаточно узкие, поскольку для высоких значений орбитального квантового момента, по-видимому, начиная с  $l = 2$  [15], вероятности автоионизации, диссоциации и преддиссоциации этих молекул малы [15], так как их сечения могут на порядок уменьшаться с ростом  $l$  на единицу [16]. Для основных атмосферных молекул  $N_2$  и  $O_2$  также важно, что неполярные молекулы в ридберговских состояниях имеют очень малые сечения для процесса столкновительной ионизации. Поэтому устойчивость ридберговски возбужденных атмосферных молекул к столкновительному разрушению велика [16]. Недавно ридберговские атомы привлечены к объяснению феномена шаровой молнии на высотах нижней атмосферы. Не оценивая правдоподобность гипотезы [17], отметим, что главные компоненты атмосферы – молекулярные газы – при этом необходимо также учитывать.

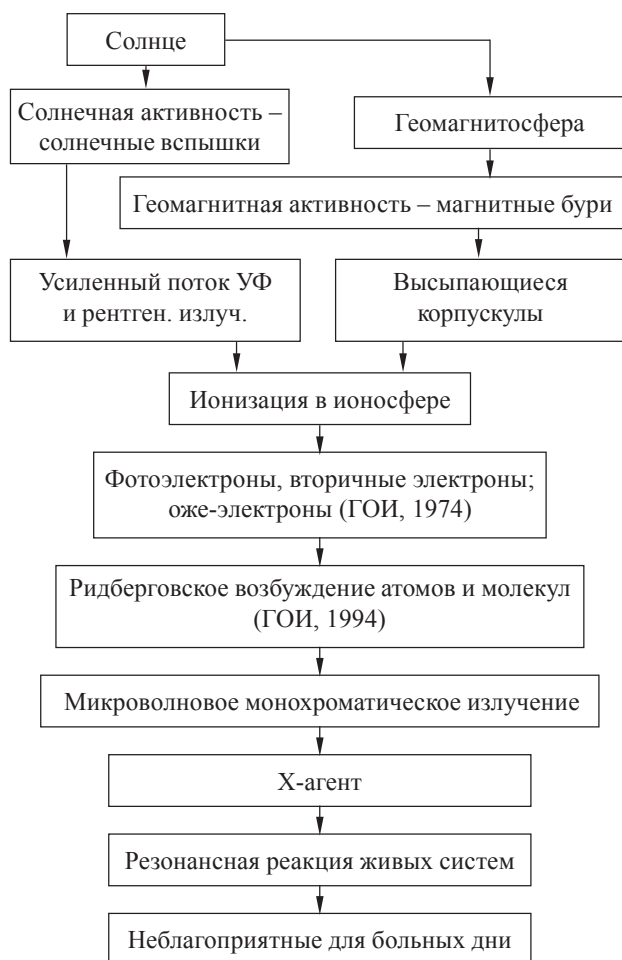
Возвращаясь к воздействию микроволнового излучения на живые системы, отметим результат наблюдения в микроволновом диапазоне (на частоте 10 ГГц) резонанса в частоте электрического поля вокруг эритроцитов крови человека [14] и резонансов для молекулы гемоглобина [11] (см. табл. 3). Следовательно, не только клетка человеческого организма, но и кровь имеют резонансные микроволновые частоты, на которых излучает возбужденная вспышками и магнитными бурями ридбергов-

ская ионосфера. Отсюда вытекает объяснение воздействия вспышек и бурь на сердечно-сосудистых больных. Так, влияние геомагнитных возмущений на капиллярный кровоток у больных ишемической болезнью сердца [18] в день магнитной бури, влияние солнечных вспышек и магнитных бурь на больных с сосудистой патологией сердца и мозга [19] прямо объясняются воздействием ридберговских радиоизлучений на кровь, включая увеличение вязкости и деформируемости эритроцитов.

О влиянии на кровь гипотетического сигнала, связанного с солнечной активностью и проявляющегося в период вспышки на Солнце и во время последующей геомагнитной бури (по статистике сердечно-сосудистых заболеваний), говорилось в [20]. Конечно, ранее эти вопросы рассматривал А.Л. Чижевский. При этом он полагал, что агент X – это (в том числе) “электрические колебания определенной частоты” [21] и, далее, что агент воздействия солнечной активности – это, в частности, и “миллиметровое излучение” [22]. В развитие этих идей нами предложена [1, 9, 10] схема гелиогеобиокорреляций (рис. 2) – одного из остроактуальных и приоритетных научных направлений [23]. Важно, что микроволновое излучение в предлагаемой нами схеме способно выступать как несущая частота с модуляцией инфразвуковыми, акустико-гравитационными внутренними волнами верхней атмосферы, а также колебаниями фонового электромагнитного поля, в том числе в области биоритмов. Это усиливает эффект влияния низкочастотных колебаний фонового электромагнитного поля с его большой биоэффективностью, но низкой энергетикой воздействия [24], особенно благодаря удивительно сильному действию на биообъекты со стороны микроволнового излучения [23].

В перспективе следует сосредоточиться на следующих проблемных вопросах:

– уточнении порогов восприятия характеристических острорезонансных микроволновых (ридберговских) излучений для здоровых и больных людей с учетом возможных синергетических эффектов на



**Рис. 2.** Биологические эффекты солнечной активности и ридберговские состояния – схема гелио-геобиокорреляций.

фоне увеличенных потоков УФ-Б излучений (при деградации озоновой защиты), а также других радиационных воздействий и воздействий естественных и искусственных электрических, магнитных и электромагнитных полей (как повышенных, так и пониженных уровней);

- исследованиях в области эффектов каналирования в передаче управляющих сигналов электромагнитным микроволновым излучением внутрь живых организмов с учетом резонансного отклика на уровне биологии клеток, с включением долгоживущих колебательных мод и синергетических эффектов широкополосных по спектру воздействий, а также принимая во внимание возможную трансформацию микроволнового излучения в акустические и электроакустические колебания и волны;

- уточнении пропускания земной атмосферы для микроволнового ионосферного излучения и истинных спектральных распределений ридберговских верхнеатмосферных эмиссий во всех окнах прозрачности, включая детальные исследования ширины линий и полос и возможные эффекты с участием

неравновесной заселенности по ридберговским состояниям;

- модельных теоретических и экспериментальных исследованиях формирования ридберговского излучения в плазме атмосферных газов, включая малые составляющие и антропогенные загрязнения, с учетом воздействия всех факторов солнечно-геомагнитной активности, в том числе космических лучей, ионизации под воздействием естественной радиации;

- моделировании возможного временного и пространственного модулирования микроволнового излучения ионосферы при прохождении акустико-гравитационных и инфразвуковых волн в верхней атмосфере, генерируемых естественными и искусственными источниками (включая периоды сильной геофизической и метеорологической возмущенности), особенно на частотах основных ритмов человеческого организма;

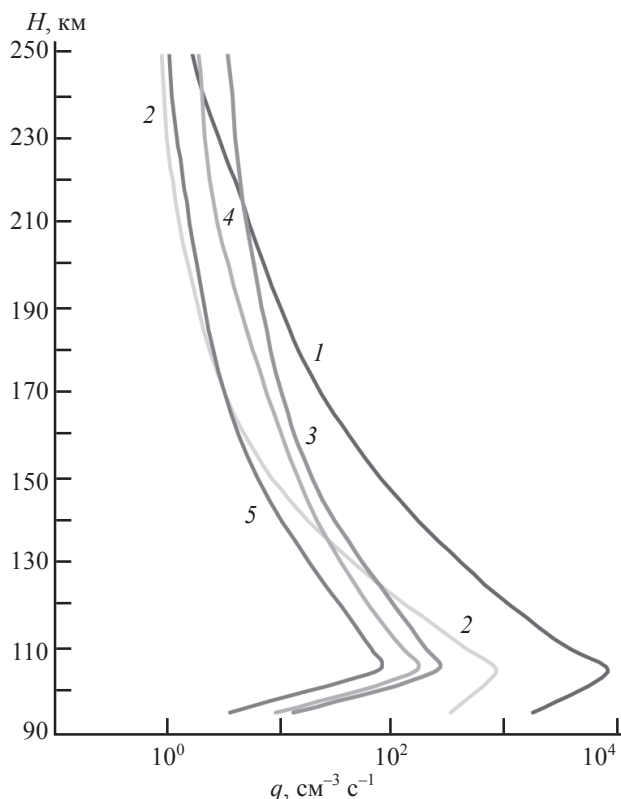
- исследовании роли эффектов модулирования микроволновой ионосферной эмиссии колебаниями фонового электромагнитного поля Земли с частотами ниже 100 Гц.

На первом этапе предлагаемого комплекса исследований необходимо определить роль микроволнового излучения ионосферы в биологии человека на основе сравнительного анализа данных по характеристикам крови, состоянию сердечно-сосудистой системы, в том числе мозгового кровообращения, и спектроэнергетическим параметрам спорадического радиоизлучения ионосферы, возмущенной коротковолновым излучением солнечных вспышек и корпускулярными выпадениями в верхнюю атмосферу во время геомагнитных бурь. Высотные профили скоростей ридберговского возбуждения ионосферы Земли для солнечной вспышки рассчитаны в [25], а для электронных выпадений во время магнитной бури (для полярного сияния) приведены на рис. 3. Следует отметить, что в среднем вспышка дает микроволновое излучение ионосферы в сотни раз менее интенсивное, чем магнитная буря.

Биологическое влияние микроволнового излучения имеет многочисленные экспериментальные подтверждения. Из совокупности подобных исследований можно ожидать уникально низких уровней порогового воздействия, вплоть до  $10^{-15}$  Вт/см<sup>2</sup>, что близко к порогам восприятия зрения и слуха [23]. Приведем ряд соображений в пользу достоверности таких аномально низких пороговых уровней:

- зафиксированное воздействие через акупунктурные точки позволяет говорить о возможности понижения порога в реальных лабораторных экспериментах;

- низкочастотная модуляция микроволнового излучения (в том числе в диапазоне биоритмов) может понижать порог воздействия этого излучения;



**Рис. 3.** Высотные профили скоростей возбуждения  $q$  для ридберговских состояний в зоне полярных сияний во время магнитной бури (ночное сияние второго балла): 1 – суммарное возбуждение для молекулы азота, 2 – суммарное возбуждение для молекулы кислорода, 3–5 – парциальное возбуждение атома кислорода ( $\Delta s$  – изменение спинового квантового числа,  $\Delta l$  – изменение орбитального квантового числа): 3 –  $\Delta s = 0$ , 4 –  $\Delta l = 1$ ,  $\Delta s = 0$ , 5 –  $\Delta l = 0$ ,  $\Delta s = 0$ .

– при определении спектральных резонансов возможен вклад неточности резонанса при использовании лабораторных источников микроволн;

– вклад синергетического эффекта при совокупном воздействии нескольких факторов (например, в периоды геомагнитной бури идет воздействие микроволнового излучения ионосферы и буревых вариаций геомагнитного поля);

– появление синергетического эффекта от реакции на внешнее воздействие (например, солнечную вспышку или магнитную бурю) одновременно нескольких индивидуумов, общающихся при этом между собой и влияющих друг на друга (в том числе через биомagnetизм [26]) под воздействием (в обсуждаемом случае) спорадического микроволнового излучения ионосферы.

Примерам воздействия микроволнового излучения на фотосинтезирующие организмы посвящена монография [27]. Показано выраженное стимулирующее действие этого облучения, в частности, и на рост и выход биомассы. Такой же эффект можно наблюдать, по-видимому, и при воздействии

микроволнового ридберговского излучения ионосферы на камбий, сезонные изменения активности которого обуславливают образование годичных колец древесины. А тогда следует сделать вывод, что не только погодно-климатические условия, но и непосредственно коротковолновая солнечная активность и геомагнитные возмущения (через сопровождающие их всегда корпускулярные выбросы) определяют из-за воздействия через увеличенное микроволновое излучение ионосферы индекс годового прироста деревьев. Это особенно важно для выделения вклада различных явлений (солнечной активности, геомагнетизма, климатических факторов), исходя из содержания радиоуглерода в годичных кольцах деревьев [28], и еще более – для датировки деревьев по годичным кольцам – дендрохронологии. Если заметное влияние вариаций микроволнового излучения ионосферы Земли на рост камбия будет доказано, то появится новый аспект в проблеме исследования изменения климата в прошлом по индексу годового прироста деревьев. В этой же монографии [27] одним из механизмов воздействия на подобные водосодержащие среды со стороны микроволнового излучения предложено считать его резонанс с величиной водородной связи в структурированной воде. Образовавшиеся под действием квантов этого излучения кластеры из молекул воды могут находиться в неустойчивых состояниях достаточно долго – до нескольких недель.

Итак, в статье обоснован новый физический механизм солнечно-геомагнитно-биосферных связей, основанный на анализе данных пионерских отечественных работ [1, 2, 4–7, 9–11, 21, 22, 24]. Это – результаты анализа А.Л. Чижевского об определяющей роли цикличности солнечной активности в различных земных процессах и явлениях, экспериментальное открытие спорадического усиления микроволновой радиоэмиссии земной ионосферы в периоды солнечных вспышек и магнитных бурь (полярных сияний), обнаружение биологически активной роли микроволнового излучения в малых дозах. Наконец, это введение в физику верхней атмосферы нового физического механизма, известного из физики и оптики плазмы – ридберговского возбуждения газов сверхтепловыми электронами ионосферы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Avakyan S.V. New processes in aeronomy: Auger effect – 30 years later, multiple photoionization – 25 years later, Rydberg excitation – 10 years later // Proc. of 5-th Intern. conf. "Problems of Geocosmos". SPb., 2004. P. 190–195.
2. Авакян С.В. Новый фактор в физике солнечно-земных связей – ридберговские состояния атомов и молекул //

- Тез. докл. Междунар. конф. по физике солнечно-земных связей, Алматы, 1994. С. 3–5.
3. Дюшоссуа Г. Дистанционная индикация из космоса. Достижения и перспективы в Европе // Импакт. 1986. С. 88–107.
  4. Троцкий В.С., Стародубцев А.М., Бондарь Л.Н. и др. Поиск спорадического радиоизлучения из космоса на сантиметровых и дециметровых волнах // Изв. вузов. Радиофизика. 1973. Т. 16. № 3. С. 323–341.
  5. Троцкий В.С., Бондарь Л.Н., Стародубцев А.М. и др. Новый тип радиощумов. Спорадическое радиоизлучение околоземной среды на сантиметровых и дециметровых волнах // ДАН. 1973. Т. 212. № 3. С. 607–610.
  6. Троцкий В.С., Бондарь Л.Н., Стародубцев А.М. Поиск спорадического радиоизлучения из космоса // УФН. 1974. Т. 113. В. 4. С. 719–723.
  7. Бондарь Л.Н., Стреленева К.М., Троцкий В.С. Спорадическое радиоизлучение фона, солнечная активность и полярные сияния // Астрономический вестник. 1975. Т. 9. № 4. С. 210–217.
  8. Авакян С.В. Оже-процессы в оптике верхней атмосферы // Оптический журнал. 1998. Т. 65. № 11. С. 4–10.
  9. Авакян С.В. Биологические эффекты солнечной активности и ридберговские состояния // Междисциплинарный семинар “Биологические эффекты солнечной активности”. ИКИ РАН, ИТЭБ РАН, 2004, г. Пущино-Оке. С. 45–47.
  10. Avakyan S.V. Microwave Emission of Rydberg States as a New Factor of Solar–Biosphere Relations // Proc. of 5-th Intern. conf. “Problems of Geocosmos”. SPb., 2004. P. 335–338.
  11. Севастьянова Л.А., Бородин А.Г., Зубеннова Э.С. и др. Резонансные характеристики воздействия радиоволн миллиметрового диапазона на биологические системы / В кн. “Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты” (под ред Н.Д. Девяткова). М., 1983. С. 63–77.
  12. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991.
  13. Fröhlich H. The biological effects in microwaves and related questions // Adv. in electronics and electron physics. 1980. V. 53. P. 85–152.
  14. Pohl H.A. Natural Oscillating fields of cells // In “Coherent excitations in biological Systems”. Berlin: Springer, 1983. P. 198–210.
  15. Голубков Г.В., Иванов Г.К., Балашов Е.М. Взаимодействие высоковозбужденных атомов и молекул с нейтральными частицами // Хим. физика. 1995. Т. 14. № 8. С. 38–55.
  16. Tarr S.M., Schiavone J.A., Freund R.S. Long-lived high-Rydberg molecules formed by electron impact: H<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and CO // J. Chem. Phys. 1981. V. 74. № 5. P. 2869–2878.
  17. Gilman J. Cohesion in ball lightning // Appl Phys. Lett. 2003. V. 83. № 11. P. 2283–2284.
  18. Гуркинфельд Ю.И., Любимов В.В., Ораевский В.Н. и др. Влияние геомагнитных возмущений на капиллярный кровоток. Препринт ИЗМИРАН, 1994.
  19. Ионова В.Г., Сазонова Е.А., Сергиенко Н.П. и др. Реакция организма человека на гелиогеофизические возмущения // Биофизика. 2003. Т. 48. № 2. С. 380–384.
  20. Владимирский Б.М. О возможных факторах солнечной активности, влияющих на процессы в биосфере / В сб. “Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли”. М.: Наука, 1971. С. 126–141.
  21. Чижевский А.Л. Космический пульс жизни. М.: Мысль, 1995. С. 646–647.
  22. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. С. 327.
  23. Бинги В.Н. Магнитобиология. Эксперименты и модели // М.: ИОФ РАН, 2002. 592 с.
  24. Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г. Низкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. Киев: Наукова думка, 1992. 150 с.
  25. Авакян С.В., Воронин Н.А., Серова А.Е. Роль ридберговских атомов и молекул в верхней атмосфере // Геомагнетизм и аэрономия. 1984. Т. 37. № 3. С. 99–106.
  26. Введенский В.Л., Ожогин В.И. Сверхчувствительная магнитометрия и биомагнетизм. Сер. Современные проблемы физики. М.: Наука, 1986. 199 с.
  27. Тамбиев А.Х., Каримова Н.Н., Бецкий О.В., Гуляев Ю.В. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы / Под ред. Ю.В. Гуляева, А.Х. Тамбиева. М.: Радиотехника, 2003.
  28. Дергачев В.А., Векслер В.С. Применение радиоуглеродного метода для изучения природной среды прошлого. Л.: ФТИ, 1991. 257 с.