
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ**

**РОЛЬ КОСМИЧЕСКИХ И ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ
В ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ
И КОРРОЗИИ ТРУБОПРОВОДОВ**

© 2011 г. С. В. Авакян*, Н. А. Воронин

Всероссийский научный центр “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

*E-mail: avak2@mail.ru, avak@soi.spb.ru

Поступила в редакцию 31.03.2010 г.

Проведено исследование физических причин, определяющих влияние основных космических факторов на состояние ионосферы и, далее, на погодно-климатические явления, включая глобальное потепление. В основе этих исследований — предложенное авторами ридберговское возбуждение энергичными ионосферными электронами наблюдаемого экспериментально микроволнового излучения земной ионосферы, которое практически свободно проникает в нижнюю атмосферу, обеспечивая каналы влияния солнечной вариабельности на земные явления. Анализируются также причины аномальной изношенности российских трубопроводных систем, описаны пути уменьшения их быстрой коррозии благодаря учету влияния гелиогеомагнитных и ионосферных возмущений. В обеспечение этих исследований предложен космический эксперимент по перманентному мониторингу определяющих факторов гелиогеомагнитной активности: потоков ионизирующего излучения Солнца и потоков электронов, выпадающих из радиационных поясов.

Ключевые слова: микроволновое излучение ионосферы, ридберговское возбуждение, погодно-климатические явления, гелиогеомагнитная активность, коррозия газонефтепроводов

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее актуальной проблемой современной науки является понимание основных причин глобальных изменений в окружающей среде обитания (Кондратьев и др., 2003). Это диктуется угрозами, связываемыми с продолжающимся уже несколько десятилетий глобальным потеплением. Согласно Всемирной программе климатических исследований на 2005–2015 гг. (Detemmerman, 2005), около 90% всех земных катастроф за 10 лет (до 2005 г.) явились результатом погодных и климатических рисков. Пока превалировала та официальная точка зрения, что основной причиной повышения температуры приземного воздуха на земном шаре является увеличение концентрации антропогенных газов, прежде всего двуокиси углерода (углекислого газа CO_2) и метана CH_4 . Действительно, уже с начала XX в. содержание CO_2 в атмосфере растет, превысив исходный уровень более, чем в 1.4 раза, и скорость этого возрастания в последнее время усиливается. Именно это дало основание для международных усилий по принятию Киотского протокола о сокращении промышленных антропогенных выбросов. Однако научное обоснование Киотского протокола подвергается сомнению, в частности, из-за неопределенности аэрозольного вклада в образование облачного покрова (Кондратьев, Ивлев, 2008). В работе (Кондратьев и др., 2003) подчеркивается, что изменение солнечной радиации в качестве клима-

тообразующего фактора требует отдельного внимания, хотя возможные усиливающие механизмы влияния солнечной активности на климат пока все еще далеки от понимания. В то же время о связи гелиогеофизических факторов с погодно-климатическими явлениями, включая даже такие опасные, как ураганы, имеется все больше экспериментальных доказательств (Иванов, 2006; Бондур и др., 2008а, б). При этом для целей нашей работы важно, что в качестве основной причины погодных изменений в нижней атмосфере учитывается конденсационный механизм (Бондур и др., 2008а), в том числе при важном вкладе в этот процесс микроволнового излучения (Кондратьев, Никольский, 1995а), вызываемого повышенной активностью Солнца в виде вспышек и радиовсплесков (Крауклис и др., 1990; Авакян, Воронин, 2007).

С другой стороны, главной задачей космических исследований всегда был контроль за вариациями солнечной и геомагнитной активностей. Действительно, именно Солнце как основной источник энергии определяет условия существования самой жизни на Земле, создает радиационный фон в околоземном космическом пространстве, может вызывать естественные и техногенные катаклизмы, существенно усложняющие человеческую деятельность и в земных условиях и, тем более, в космосе. При этом, как известно, наиболее геоэффективным параметром солнечного электромагнитного спектра являются его мягкий рентгеновский (0.1–10 нм)

и крайний ультрафиолетовый (КУФ) (10–125 нм) диапазоны. Именно данные коротковолновые диапазоны спектра Солнца наиболее сильно варьируют по величине плотности потока как в течение 11-летнего цикла, так и в период 27-дневного вращения и, главное, во время солнечных вспышек (Авакян и др., 1994). Важно, что все другие компоненты активности Солнца: солнечные протоны и электроны, солнечный ветер, выбросы корональной массы — существенно меньше по плотности потока энергии. Поэтому столь важно контролировать это коротковолновое солнечное излучение, причем постоянно, учитывая и случайность распределения вспышек во времени, и существование предвестников вспышки в рентгеновском диапазоне за несколько часов и десятки минут, и, наконец, наличие фаз в процессе развития самой вспышки.

Однако, несмотря на полвека космической эры, так и не получено научно обоснованных ответов на вопросы о влиянии “дыхания” Солнца на биосферу, погоду и климат, литосферные эффекты и, наконец, на возможность техногенных катастроф. Это обусловлено в основном отсутствием прогресса в разработке механизмов солнечно-земных связей и недостаточным вниманием к ключевым космическим экспериментам (КЭ) по мониторингу солнечно-геомагнитной активности (Авакян, 2008, 2009). Так, вместо проведения непрерывных абсолютных спектрорадиометрических измерений главного фактора солнечной variability — потока мягкого рентгеновского и КУФ-излучения — до сих пор выполняются фактически суррогатные эксперименты, что заставляет использовать при оценках электромагнитной активности Солнца так называемые заменяющие индексы.

Действительно, основу солнечно-земных связей составляют те факторы солнечно-геомагнитной активности, которые не проникают до земной поверхности и могут регистрироваться только с борта космического аппарата (КА). Это ионизирующее излучение Солнца, различные корпускулы солнечного происхождения и корпускулярные высыпания из радиационных поясов и магнитосферы. Поэтому реальность вклада солнечно-геомагнитной активности на земные явления можно объяснить только, если обнаруживается механизм передачи энергии, поглощенной в ионосфере, вниз — до земной поверхности. В серии наших работ (Авакян, 2008, 1994, 2005; Авакян и др., 1997; Авакян, Воронин, 2006а), на основе ряда экспериментальных фактов, предложен подобный физический — радиооптический трехступенчатый триггерный — механизм, включающий учет возбуждения энергичными ионосферными электронами ридберговских состояний атмосферных газов. В результате в ионосфере генерируется микроволновое излучение, свободно проникающее в тропосферу. Но для построения модели солнечно-земных связей по этому механизму необходимо знание полного спектра солнечного ионизирующего излучения (для определения спектров электронов ионизации), а не отрывочные све-

дения о потоках в отдельных диапазонах или интенсивных линиях.

Совершенно неприемлемыми (Авакян, 2009) представляются предложения рассчитывать потоки солнечного ионизирующего излучения по данным ионосферного наземного радиозондирования. Например, в (Нусинов, 2004) утверждается, что каждая среднеширотная ионосферная станция может теперь служить как устройство для измерения потоков КУФ-излучения Солнца, при этом точность предсказания солнечных потоков ~7%. Напомним лишь (Avakyan et al., 2002; Avakyan, 2006a), что лучшие спутниковые измерения сейчас ведутся с точностью не более 10%, а теоретические модели дают ошибку не менее, чем в 1.4–2.5 раза в определении критической частоты E -слоя (на основе обычно используемого метода эффективного сечения — т.е. без учета реального спектра фото- и Оже-электронов) (Авакян, 2008). Такие предложения лишь подтверждают назревшую необходимость решить вопрос об осуществлении постоянного (включая периоды солнечных вспышек) мониторинга потока ионизирующего излучения от всего диска Солнца. Ни один из существующих КЭ, включая самый информативный из них — на КА TIMED (Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics), не дает таких перманентных данных. На КА TIMED в настоящее время идут спектроскопические измерения абсолютных потоков во всей области спектра от 0.1 до 200 нм, но только 4% текущего времени (Woods et al., 2005). Следовательно, этот эксперимент не предназначен для мониторинга потока излучения в периоды вспышек на Солнце, что и постулируется самими авторами (Woods et al., 2005). В модельных представлениях “справочного спектра Солнца” также пока нет возможности интерполировать спектр с достаточной достоверностью, поскольку реальные измерения дают результаты с точностью до множителя 2 (Avakyan, 2006a). Без полных же спектральных распределений ионизирующих потоков (во всем диапазоне от 0.1 до 134 нм) невозможно построение ни ионосферных, ни оптических моделей, поскольку основным энергетическим фактором возмущения ионосферы, во всяком случае в периоды солнечных вспышек, являются энергичные ионосферные электроны. Такие же электроны, вторичные от ионизации верхней атмосферы при корпускулярных высыпаниях в периоды геомагнитных бурь и суббурь, участвуют как сильный дополнительный фактор ионообразования и оптического возбуждения (полярных сияний).

В то же время уже несколько лет назад в Государственном оптическом институте им. С.И. Вавилова (ГОИ) создана оптико-электронная аппаратура — “Космический Солнечный Патруль” (КСП). Важно, что попутно получаемой информацией от радиометров КСП (части комплекта, предназначенного для измерения фона) является постоянная регистрация практически отсутствующих до настоящего времени данных о потоках кэВ-электронов, высыпавшихся в периоды геомагнитных бурь (Авакян и др., 2008).

Следовательно, КЭ с аппаратурой КСП позволяет решить проблемы инструментального контроля основных параметров как солнечных вспышек, так и геомагнитных бурь, способных влиять на погодноклиматические характеристики, включая глобальное потепление, а, возможно, и на биосферу, включая человека. В совокупности с разрабатываемыми моделями воздействия солнечно-геомагнитной активности на окружающую среду, окажется возможным прогнозирование этих космофизических проявлений в земных явлениях (Avakyan, 2009; Avakyan et al., 2009, 2010).

Цель данной работы – исследование физического механизма влияния солнечно-геомагнитной активности на погодноклиматические изменения и оценка вклада такой активности в аномально быструю коррозию металла труб трубопроводов.

КОСМОС И ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Влияние космических факторов на погодноклиматические характеристики рассматривалось в различных работах (Кондратьев, Никольский, 1995а, б; Benestad, 2002). Однако обычно исследуется вклад только одного регулирующего фактора – космических лучей галактического и солнечного происхождения, хотя имеется много информации о фактах воздействия в проблеме “Солнце – погода, климат” потоков коротковолнового излучения солнечных вспышек и корпускулярных высыпаний при геомагнитных бурях. Причина такого внимания именно к космическим лучам связана с их проникновением до самых нижних слоев атмосферы. Происходящая при этом ионизация атмосферных газов запускает конденсационный механизм, занимающий, по (Кондратьев, Никольский, 1995а; Крауклис и др., 1990), ведущее положение в солнечно-погодных явлениях.

В то же время как коротковолновое ионизирующее излучение вспышек на Солнце, так и высыпание при магнитных бурях корпускулы (электроны, а в меньшей степени протоны из радиационных поясов и геомагнитосферы) полностью поглощаются в ионосфере Земли на высотах >60 км. Поэтому необходимо рассматривать какой-то механизм передачи воздействия коротковолнового и корпускулярного излучений на ионосферу вниз в тропосферу. Такой радиооптический трехступенчатый триггерный механизм солнечно-земных связей предложен в наших работах, в том числе в приложении к солнечно-погодным явлениям (Авакян, Воронин, 2007, 2006а; Авакян, 2008). Он основан на экспериментальных фактах о возможном воздействии микроволнового излучения на конденсационный механизм (Кондратьев, Никольский, 1995а; Крауклис и др., 1990).

При этом нами как раз и рассматривается физический механизм влияния на глобальные изменения главных факторов гелиогеофизической активности,

являющихся основными как по абсолютному уровню энергетического потока, так и по динамическому диапазону изменчивости с возрастанием солнечно-геомагнитной активности – коротковолновое (крайнее УФ и рентгеновское) излучение Солнца и магнитосферные высыпания электронов в период геомагнитных бурь. Эти факторы являются определяющими в характеристиках физической величины уровня соответственно солнечной и геомагнитной активности, но характеризующие их энергетические потоки не доходят даже до стратосферы. Поэтому нами предложен новый канал влияния на погодноклиматические характеристики как солнечных вспышек, так и геомагнитных бурь – через эмиссионное микроволновое (ридберговское) излучение верхней атмосферы и ионосферы (Авакян, Воронин, 2007, 2006а, б, в, 2010; Avakyan, Voronin, 2006), которое генерируется при возбуждении высоколежащих состояний атомов и молекул атмосферных газов ударом энергичных ионосферных электронов – фотоэлектронов, вторичных электронов и электронов Оже (Авакян, 2008, 1994). Показано, что величиной потока ионосферного микроволнового излучения контролируются скорости реакций образования (ассоциации) и разрушения (диссоциации) кластерных ионов, образующихся в нижней атмосфере на высотах действия галактических космических лучей (ГКЛ) (а также солнечных космических лучей (СКЛ)) из паров воды, и, возможно, из углекислого газа. Учитывалось, что в работах (Кондратьев, Никольский, 1995а, б; Крауклис и др., 1990) при наблюдении вариаций оптической прозрачности атмосферы и ряда погодных характеристик на высокогорной обсерватории была обнаружена их связь со всплесками микроволнового излучения Солнца. При этом определено, что в результате этих воздействий образуются водные кластеры, благодаря чему появляются и углубляются кластерные полосы поглощения в ближней УФ-области длин волн и уменьшается спектральная оптическая толщина атмосферы в видимой и ИК-области.

С другой стороны, в работе (Троицкий и др., 1973) были зарегистрированы спорадические возрастания интенсивности микроволнового излучения ионосферы в периоды солнечных вспышек и полярных сияний (геомагнитных бурь и суббурь). При этом интенсивность в периоды вспышек многократно превышала типичные микроволновые всплески солнечного происхождения.

По (Bates, 1981), коэффициенты скорости диссоциации кластерных ионов из паров воды и молекул углекислого газа сильно зависят от величины орбитального момента (l) ридберговского уровня во время столкновения. При этом вероятность диссоциации увеличивается для малых величин l и, наоборот, низка при больших значениях l . Следовательно, в периоды всплесков радиоизлучения Солнца и, тем более, в периоды спорадического возрастания интенсивности микроволнового ридберговского излучения ионосферы (во время солнечных УФ и рентгеновских вспышек, а также

геомагнитных бурь), будут происходить индуцированное поглощением усиленного потока микроволнового излучения заселение ридберговских электронов с более высокими / в процессе “столкновительной диссоциативной рекомбинации” и, как результат, уменьшение вероятности диссоциации кластерных ионов нижней атмосферы. Итак, нами микроволновому излучению предложена новая роль в микропроцессах в нижней атмосфере Земли с участием водных кластерных ионов: влияние на вероятность диссоциации этих кластеров через механизм (Bates, 1981) “столкновительной диссоциативной рекомбинации” высоких значений орбитальных квантовых чисел состояний ридберговских электронов (возникающих при поглощении квантов микроволнового излучения как Солнца, так и ионосферы). Коэффициенты скорости диссоциации зависят от энергии квантов (а значит, и длины волны) поглощаемого микроволнового излучения (как солнечного, так и ионосферного происхождения).

Таким образом, обоснована следующая схема “трехступенчатого триггера” в солнечно-атмосферных (погодно-климатических) связях (Авакян, 2008):

- преобразование в ионосфере поглощенных потоков излучения Солнца и корпускул из радиационных поясов и магнитосферы (как факторов солнечной и геомагнитной активности) в поток микроволн (через возбуждение ридберговских состояний), практически свободно проникающий до земной поверхности;

- регулирование микроволновым излучением скоростей образования и разрушения водных кластерных ионов;

- вклад кластеров в образование облачных и аэрозольных слоев, влияющих на поток лучистой энергии Солнца и тепловой поток от подстилающей поверхности.

В рамках радиооптического трехступенчатого триггерного механизма понятно, например, отсутствие влияния 11-летней цикличности солнечной активности на температуру приземного слоя атмосферы (Benestad, 2002). Сглаживание происходит из-за воздействия основного фактора геомагнитной активности – высыпающихся потоков частиц, на общую интенсивность микроволнового излучения ионосферы. Действительно, если максимум числа и интенсивности коротковолновых солнечных вспышек приходится на середину цикла, то максимумов геомагнитной активности два за цикл, при этом основной запаздывает от солнечной активности на 3–4 года, а второй по величине несколько опережает максимум вспышек (Авакян и др., 1994). В то же время обнаруживается прямая корреляция между числом тропических циклонов (ТЦ) и геомагнитными бурями (Иванов, 2006). Более того, тропический ураган Katrina также возник в период наисильнейшей геомагнитной бури (Бондур и др., 2008а, б).

Подчеркнем, что все ступени предложенного механизма имеют экспериментальное подтверждение:

- микроволновое излучение ионосферы, усиливающееся во время солнечных и магнитных бурь, обнаружено (Троицкий и др., 1973);

- регулирование влажности на высотах более 3 км как микроволновым излучением Солнца, так и солнечными вспышками, зарегистрировано (Крауклис и др., 1990; Никольский, Шульц, 1991);

- непосредственное влияние солнечных и магнитных бурь на общую облачность четко фиксируется (Дмитриев, Ломакина, 1977; Веретененко, Пудовкин, 1996).

Таковы предпосылки для наших исследований влияния основных событий солнечно-геомагнитной активности (вспышек и магнитных бурь) на погодно-климатические характеристики. Их проведение позволило подробнее изучить вклад природного компонента – солнечной variability – в современные климатические изменения, включая и явление глобального потепления (Авакян, Воронин, 2010).

Общеизвестно, что глобальные потепления и похолодания происходили в истории Земли многократно. Только за последние 7500 лет было 18 похолоданий, так называемых малых ледниковых периодов. На самом деле наибольший вклад в глобальное изменение приземной температуры вносят пары воды, и лишь затем CO_2 , CH_4 , O_3 , а также N_2O и другие составляющие. Но концентрация паров воды связана с температурой воздуха, так что роль водяного пара в глобальном потеплении непрерывно растет, в то же время учет этого вклада (имеющего как антропогенную, так и, в наибольшей степени, естественную причины) для современных “парниковых” моделей очень сложен.

Эпоха современного глобального потепления отсчитывается с конца XIX в., когда среднее значение глобальной температуры приземного воздуха начало возрастать. В (Mende, Stellmacher, 2000; Krivova et al., 2007) на основе анализа палеоклиматических данных получены выводы, что намного ранее, в конце XVIII в., возникает постоянный рост содержания углекислого газа в нижней атмосфере. Последнее обстоятельство весьма плохо ассоциирует со слаборазвитостью индустриального уровня того времени в рамках гипотезы об антропогенном происхождении CO_2 , хотя, возможно, здесь проявлялся вклад сведения лесов, поглощающих углекислый газ. При этом уже с первых десятилетий XIX в., по-видимому, возникла, согласно (Calder, 1999), и тенденция уменьшения потока ГКЛ, хотя устойчивый отрицательный тренд вариации потока ГКЛ показывают с начала XX в. Это уменьшение и может быть причиной повышения практически с этого же времени уровня содержания CO_2 , поскольку есть информация об отрицательной корреляции этих величин (Calder, 1999). Отрицательная корреляция в долговременных трендах интенсивности косми-

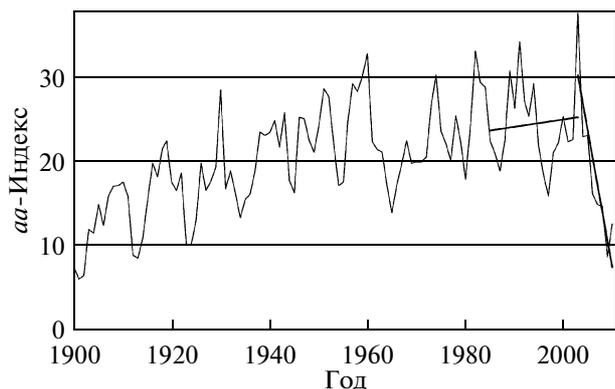


Рис. 1. Вековой ход величин *aa*-индекса и линейная аппроксимация с 1985 г. (после начала падения электромагнитной солнечной активности в вековых циклах) по 2003 г. и после 2003 г. (Авакян, Воронин, 2010).

ческих лучей и средней глобальной температуры приземного воздуха по временному ряду с 1880 г. обнаружена в (Огурцов, 2007).

По современным представлениям, при рассмотрении влияния вариабельности солнечной активности на земные явления следует учитывать:

- потоки космических лучей (ГКЛ и СКЛ);
- вариации солнечной электромагнитной активности, прежде всего изменения в полном потоке солнечного излучения, падающего на границу земной верхней атмосферы (total solar irradiance (TSI)), а также и в его самой коротковолновой, и самой изменчивой частях — крайнем УФ и рентгеновском диапазоне спектра;
- вариации геомагнитной активности, связанной с корпускулярной активностью Солнца.

Вариации этих космических факторов для современного глобального потепления климата следует рассматривать с конца XIX—начала XX вв., когда начались устойчивые тенденции их изменений, продолжавшиеся до недавнего времени. Однако прямые измерения основных параметров таких космических факторов стали выполняться только во второй половине XX в., в том числе с КА. Поэтому мы в своем рассмотрении вековых тенденций используем на более ранние периоды известные реконструкции по косвенным данным.

Так, с первых десятилетий XIX в. началось перманентное увеличение величины общепринятой характеристики уровня солнечной активности — числа солнечных пятен, достигнувшего максимального уровня в 1958 г. Согласно данным, приведенным в (Krivova et al., 2007), одновременно происходило возрастание величины солнечной постоянной TSI, и в целом рост TSI ко второй половине XX в. составил около 1.15 Вт м^{-2} . Отметим, что это удовлетворительно согласуется с последними оценками (Steinhilber et al., 2009), где для величины возрастания TSI, начиная со второй половины XVII в. и до современного уровня, получено значение $0.9 \pm$

$\pm 0.4 \text{ Вт м}^{-2}$. С самого начала XX в. регистрируется почти перманентное возрастание уровня геомагнитной активности (по *aa*-индексу, наиболее хорошо описывающему долговременный тренд геомагнитной возмущенности и частоты появления низкоширотных полярных сияний (Pulkkinen et al., 2001; Наговицын, 2006), рис. 1.

Вариации солнечной активности в различных циклах сопровождаются не только вариациями в геомагнитной активности, но и в интенсивности потока космических лучей, проникающих до нижней атмосферы. И если ГКЛ имеют небольшие вариации интенсивности в виде Форбуш-понижения при сильных возмущениях корпускулярного потока Солнца, то для СКЛ, наоборот, спорадически наблюдаются существенные возрастания потока. Вековой ход потока космических лучей показывает рост с начала XX в. Однако эти два типа событий с ГКЛ и СКЛ происходят на порядок реже, чем сильные солнечные вспышки и мощные геомагнитные бури. Действительно, в среднем за год происходит 50 солнечных вспышек класса M5 и выше, геомагнитных бурь с $K_p = 6$ и более бывает (в зависимости от этапа 11-летнего солнечного цикла) 50–90 (S.E.C., 2000). В то же время заметные Форбуш-понижения на уровень около 3% наблюдаются до двух-четырёх раз в год, на уровень 20% — один раз в год (Usoskin, Kovaltsov, 2008), а СКЛ с появлением потока протонов с энергией выше 100 МэВ регистрируется в среднем пять раз в год.

Рассмотрим также вопрос о важности каждого из космических факторов влияния на погодно-климатические характеристики в энергетическом аспекте. Основные сведения об уровне активности Солнца несут к орбите Земли потоки электромагнитного излучения в коротковолновой области спектра. Действительно, если полный поток солнечного излучения меняется с 11-летним солнечным циклом (а также с 27-дневным периодом вращения Солнца и даже во время вспышек) менее чем на 0.1%, то в далеком УФ-диапазоне (при длинах волн короче 200 нм) поток энергии на орбите Земли составляет 0.1 Вт м^{-2} , а его вариации доходят до 10%, составляя 0.01 Вт м^{-2} . В линии $L\alpha$ атома водорода (121.6 нм) поток в среднем равен 0.004 Вт м^{-2} и может меняться на 50%. На 100% может возрасти поток ионизирующей радиации Солнца с длиной волны короче 103 нм, что составляет 0.003 Вт м^{-2} (Авакян и др., 1994), при этом в рентгеновском диапазоне короче 1 нм во время вспышек возможны повышения потока в несколько тысяч раз. Корпускулярное излучение Солнца несет значительно меньшие потоки излучения (Lean, 1997): поток солнечного ветра достигает 0.0003 Вт м^{-2} , а поток СКЛ — 0.002 Вт м^{-2} . Наконец, поток ГКЛ не превышает $7 \times 10^{-6} \text{ Вт м}^{-2}$. Наибольшие величины потоков энергии при повышенной солнечной активности приносит в земную ионосферу коротковолновый диапазон спектра излучения Солнца (от 0.1 до 134 нм), а в тропосферу — полный поток излучения TSI. Однако в расчете на

единицу массы атмосферного газа в ионосфере поглощается на порядок больше энергии излучения Солнца: так, в ионосфере поглощается 10^{-3} Вт $г^{-1}$, а внизу тропосферы только 7×10^{-5} Вт $г^{-1}$ (Красовский, 1971). Это соотношение еще больше в периоды солнечных вспышек и, особенно, геомагнитных бурь (Авакян, Воронин, 2006а). Действительно, наибольшая часть энергии привносится в ионосферу при высыпаниях электронов из радиационных поясов, при этом потоки возрастают в 100 и более раз даже на средних широтах, достигая 1 Вт $м^{-2}$. Вот почему ионосфера является первым кандидатом на роль участника триггерного механизма солнечно-земных связей (Авакян, 2008) и вот почему при рассмотрении механизмов влияния солнечно-геомагнитной активности на процессы в нижней атмосфере, ответственных за погоду и климат, следует принимать во внимание эффекты солнечных вспышек и магнитных бурь.

Итак, и солнечная вспышка, и сопровождающая ее обычно с задержкой примерно на двое суток геомагнитная буря (во время которой возникают интенсивные высыпания из радиационных поясов Земли энергичных электронов с энергией в несколько кэВ и выше, а также протонов, поток которых может составлять в десятки раз меньшее значение) — это два основных агента влияния солнечно-земных связей. Именно коротковолновое излучение вспышки и поток высыпавшихся электронов и являются эффективными факторами гелиогеофизического воздействия как на ионосферу, так и далее, согласно нашему радиооптическому механизму, на нижнюю атмосферу (Авакян, Воронин, 2007, 2006а; Авакян, 2008, 2005). Такой механизм позволяет передавать энергию поглощенных в ионосфере потоков при вспышках и высыпаниях вниз до земной поверхности с минимальными потерями. Он используется в настоящей работе уже применительно к конкретной климатологической проблеме современного глобального потепления. Так как такое потепление наблюдается несколько десятилетий подряд, мы исследуем возможное влияние долговременных трендов солнечной variability, что по современным представлениям связано с вековыми — квазистолетним и квазидвухсотлетним — циклами активности Солнца.

Важно, что рассмотренные далее вековые тренды в величинах основных космических факторов: потока ГКЛ, в уровнях солнечной и связанной с ней геомагнитной активностей, изменялись со времени начала эпохи глобального потепления так, что это способствовало и росту глобальной температуры приземного воздуха и, по-видимому, концентрации как углекислого газа в тропосфере (отрицательно коррелирующей с падающим потоком ГКЛ), так и паров воды, положительно коррелирующих с повышением температуры. Очевидно, что это может свидетельствовать о преобладании именно природного (неантропогенного) компонента в первом, основном по длительности этапе глобального потепле-

ния. Поскольку уже несколько десятилетий налажены прямые, в том числе достаточно высокоточные измерения почти всех интересующих нас космических факторов, мы имеем возможность исследовать особенности в тенденциях их поведения в последние годы достаточно детально. Покажем, что и в последние десятилетия роль природного компонента — солнечной variability — является преобладающей не только в потеплении климата, но и в снижении темпов этого потепления в самое недавнее время (Авакян, Воронин, 2010).

Налаженные, начиная с ноября 1978 г., спутниковые непрерывные измерения величины TSI позволили констатировать (Lockwood, Frohlich, 2007), что после 1985 г. уровень TSI постоянно падает, хотя есть и другие мнения по тому же набору данных (Willson, Mordvinov, 2003; Scafetta, Willson, 2009). Но такое падение, по крайней мере косвенно, подтверждается тем, что в эти же десятилетия падает величина наиболее изменчивого фактора солнечной электромагнитной активности — потока крайнего УФ и мягкого рентгеновского излучения (Lean, 2005). Действительно, согласно (Lockwood, Frohlich, 2007), величина TSI упала в минимуме последнего одиннадцатилетнего цикла (в 2007 г.) ниже 1365.3 Вт $м^{-2}$ по сравнению со средней величиной в 1365.5 Вт $м^{-2}$ по двум 11-летним минимумам предшествующих циклов. Если это падение является реальным, то оно отражает, по-видимому, существование вековых циклов активности Солнца. Наиболее важные из этих циклов в плане воздействия на изменения климата считаются квазидвухсотлетний и квазистолетний циклы (Дергачев, Распопов, 2000), суммарный пик от которых пришелся на вторую половину XX в.

Падение величины TSI позволило авторам (Lockwood, Frohlich, 2007) сделать вывод, что солнечная электромагнитная variability не может быть причиной наблюдаемого последние десятилетия глобального потепления. При этом в (Lockwood, Frohlich, 2007) подчеркнута, что для первой половины XX в. наблюдается явно выраженный вклад в глобальное потепление как раз variability солнечного излучения.

По нашему мнению, полное воздействие разных вековых циклов на климат не может ограничиваться лишь электромагнитной активностью Солнца. Не менее сильной составляющей являются корпускулярная солнечная активность и прямо связанная с ней геомагнитная активность. По наиболее изученному 11-летнему циклу известно (Авакян и др., 1994) существенное запаздывание (примерно на треть длины цикла) геомагнитной активности (числа геомагнитных бурь) по отношению к максимуму электромагнитной активности Солнца. Нами получено, что подобному запаздыванию следует и геомагнитная активность вековых циклов, в результате чего основной индекс геомагнитной возмущенности (*aa*-индекс) продолжал расти все последние несколько десятилетий с 1985 г. до последних месяцев

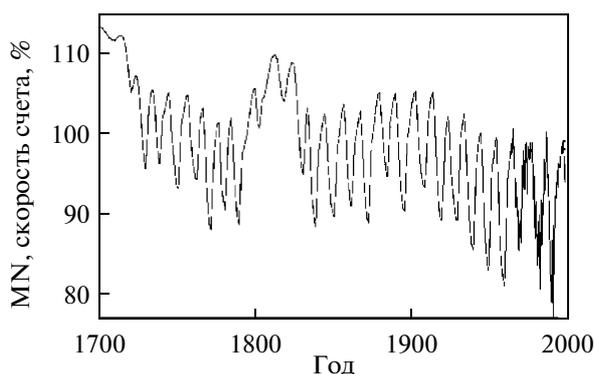


Рис. 2. Вековые вариации космических лучей (реконструкция величины скорости счета полярного нейтронного монитора NM). По данным статьи (Usoskin, Kovaltsov, 2008).

2003 г., и только после этого срока началось его быстрое падение (рис. 1). Возрастание за два десятка лет (+0.3% в год) с 2003 г. сменилось наиболее глубоким за последние 11-летние циклы непрерывно продолжающимся спадом (–10.7% в год), что с учетом суммирования вкладов как солнечной, так и геомагнитной активности в генерацию микроволнового ионосферного излучения, по-видимому, сместило срок перелома в атмосферных трендах к 2000 г. (Авакян, Воронин, 2010).

В течение последних лет произошла смена направления в изменении еще одного из главных космофизических факторов влияния на климат: в интенсивности потока ГКЛ. Будучи весь XX в. спадающим (Usoskin, Kovaltsov, 2008) (рис. 2), поток ГКЛ с 1999–2000 гг. стал возрастать (рис. 3). Роль ГКЛ в формировании облачности и соответственно погоды и климата, последние годы подробно изучалась. В ряде работ (Marsh, Svensmark, 2000; de Jager, Versteegh, 2006; Harrison, Stephenson, 2005; Svensmark, 2007) показано, что ГКЛ могут особенно активно участвовать в образовании оптически плотных облаков нижнего яруса, приводящих как правило к охлаждению приземного воздуха (Carlsaw et al., 2002; Kirkby, Laaksonen, 2000). Поэтому с указанных позиций рост

ГКЛ ведет за собой возрастание охлаждающей облачности, а значит, участвует в ослаблении глобального потепления. Рост ГКЛ наблюдается уже по крайней мере с 1999–2000 гг. (с последнего максимума солнечной активности), когда зафиксирован самый неглубокий с 1970 г. минимум в вариациях потока космических лучей. Возрастание продолжается до последнего времени, приведя в конце сентября–начале октября 2009 г. к наибольшему за текущие несколько десятилетий максимуму потока космических лучей при измерениях в средних широтах (Stozhkov et al., 2008) (рис. 3), а также и в высокогорных условиях (гора Арагац (Chilingaryan et al., 2008)). Имеются и противоположные взгляды на связь ГКЛ и облаков нижнего яруса (Kristjansson, Kristiansen, 2000; Kristjansson et al., 2004), но это, возможно, связано с маскирующим вкладом облачности верхних ярусов (Usoskin, Kovaltsov, 2008) в использованных спутниковых данных.

Обратимся теперь к экспериментальным данным по тенденциям изменения характеристик ряда основных нижнеатмосферных параметров. По мировым (при их отсутствии – на основании сведений по отдельным станциям патрульных наблюдений) данным, обнаруживаются особенности в их поведении именно в последние десять лет. Действительно, начиная, как правило, с 2000 г., произошли устойчивые смены направлений изменений тех атмосферных параметров, которые определяют немалую степень погодно-климатические характеристики, в том числе и такое явление, как глобальное увеличение температуры приземного воздуха (глобальное потепление), а именно:

– содержание паров воды в столбе атмосферы по данным высокогорных измерений непрерывно возрастало с 1980-х годов (как и метана) по 2000–2001 гг., а теперь падает (Арефьев, 2006);

– содержание озона в эти же десятилетия непрерывно уменьшалось, что привело к увеличению потока эритемной составляющей (УФ-А и УФ-Б) облученности (Feister, 2006), но после 1998 года многолетний рост потока эритемного излучения сменился на падение;



Рис. 3. Долговременная зависимость среднемесячных значений вариаций космических лучей на станции Долгопрудный, Московская обл. По данным сайта <http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>.

— глобальное покрытие облачности, падающее с 1985—1987 гг. до 2000 г., в период 2000—2004 гг. возросло, а после 2004 г. опять падает (рис. 4).

Все наблюдаемые изменения находятся в полном соответствии с радиооптическим триггерным механизмом, так как, во-первых, уменьшение содержания водяных паров означает их переход в кластеры, участвующие в свою очередь в образовании облаков, и, во-вторых, поскольку абсолютный максимум геомагнитной активности был в конце 2003 г. (по *aa*-индексу), концентрация водяных кластеров была большой. После 2004 г. глобальная облачность, как и *aa*-индекс начала падение, хотя из-за маскировки (Usoskin, Kovaltsov, 2008) нижнего яруса более высоко расположенными облаками (а они преобладали в период 2000—2004 гг. (Palle et al., 2004, 2006)), это падение для глобальной облачности не столь заметно (рис. 4). Уменьшение глобальной облачности до 2000 г. также полностью укладывается в рамки нашего радиооптического механизма и объясняется уменьшением все эти годы солнечного потока ионизирующего излучения (Lean, 2005). Действительно, это уменьшение привело к падению интенсивности микроволнового излучения ионосферы, что уменьшало весь период до 2000 г. образование водяных кластеров и соответственно сдерживало генерацию облачности в глобальном масштабе. Уменьшение скорости процесса кластерообразования прямо сказывалось на увеличении содержания водяных паров в столбе высокогорной атмосферы, как это зарегистрировано в работе (Арефьев, 2006). В период 1984—2000 гг. также уменьшалось планетарное альbedo (Palle et al., 2004, 2006), а затем оно опять начало возрастать, хотя авторы подчеркивают наличие большой неопределенности в данных по длительным циклам измерений, для чего ими были использованы данные с нескольких КА. Следует отметить важный вывод в работах (Palle et al., 2004, 2006) о преобладании (с разницей вдвое против обычного) в период 2000—2004 гг. площади высоко расположенных облаков над распространенностью облачности нижнего яруса. Ведь именно в это время величина *aa*-индекса достигла абсолютного максимума с XVII в., и именно высокая геомагнитная активность определяет зарождение (в рамках нашего радиооптического триггерного механизма) верхнего облачного слоя, см. далее.

Итак, на основании приведенных выше результатов, можно полагать, что климатическая ситуация последние десятилетия (в эпоху нарастания глобального потепления) в рамках предложенного радиооптического триггерного механизма солнечно-погодных связей определялась прохождением во второй половине XX в. вековых максимумов (квизистолетного и квазидвухсотлетнего) циклов солнечной активности. После 1985 г. полный (интегральный) поток солнечного излучения начал уменьшаться (Lockwood, Frohlich, 2007) с одновременным ослаблением потока в диапазоне ионизирующего мягкого рентгеновского и КУФ-излучения (Lean, 2005). Но геомагнитная активность (по общепринятому *aa*-индексу)

Общее количество облаков, %

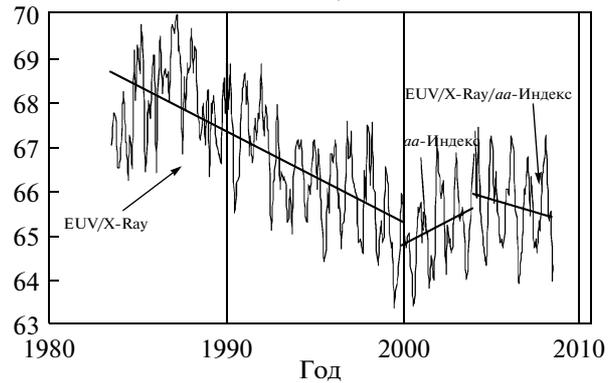


Рис. 4. Изменение глобальной облачности по наблюдениям со спутников по данным сайта <http://isc-cp.giss.nasa.gov/climanal7.html>.

еще продолжала возрастать до конца 2003 г., что, с учетом суммирования вклада солнечной и геомагнитной активности в генерацию микроволнового ионосферного излучения, и могло сместить срок перелома в атмосферных трендах к 2000 г. Возникающее при этом уменьшение роли радиооптического триггерного механизма в образовании облаков и аэрозольных слоев в атмосфере должно приводить к уменьшению общей облачности за счет облаков малой оптической плотности. Ведь очевидно, что такой тонкий механизм, как регулирование скоростью реакций диссоциации и ассоциации кластерных ионов, относится к зарождающимся, оптически тонким облакам, вне устойчивых циклонических или антициклонических образований. Для оптически толстых облаков (как правило — нижнего яруса) требуются гораздо большая энергетика и другие времена эволюции, чем сравнительно короткие всплески потоков при солнечных вспышках и магнитных бурях. Известно, что роль облаков в радиационном бюджете зависит от их оптической толщины (Tsushima et al., 2006): оптически тонкие облака верхних ярусов действуют как нагреватель атмосферы (см. также (Kirkby, Laaksonen, 2000)), в то время как облака большой оптической толщины охлаждают. В (Веретенко и др., 2007) отмечено, что облачность уменьшает как приток коротковолновой солнечной радиации к земной поверхности, так и ее эффективное (длинноволновое) излучение. Результирующий поток радиации к земной поверхности при наличии облаков увеличивается, когда радиационный баланс отрицателен (в умеренных и высоких широтах — зимой) и уменьшается, когда он положителен (летом). Таким образом, увеличение облачности может приводить к различным эффектам в зависимости от широты, характера подстилающей поверхности и сезона. В (Авакян, 2010) рассмотрен вопрос о роли определенного начального условия — наличия оптически плотной облачности — при воздействии солнечных вспышек и геомагнитных бурь на погодно-климатические характеристики. Эта ситуация является весьма распро-

страненным явлением на высоких и средних широтах, особенно, если учесть, что речь идет о плотностях лишь немного больших единицы. В такие периоды сильно нивелируется влияние солнечных вспышек и геомагнитных бурь на погоду в данном регионе, поскольку в таком случае генезис новой — тонкой облачности — незаметен: весь теплорадиационный баланс определяется (для приземного воздуха) оптически плотным облачным покровом.

Ночью, естественно, вклада вспышек нет, а присутствие ночной оптически плотной облачности в зимний период дает замедление остывания приземного слоя воздуха. На ночной стороне вся облачность в отдельности: и оптически плотная (сильно связанная с вариациями потока космических лучей), и вновь образуемая, под влиянием геомагнитной бури, оптически тонкая — в зимний период фактически вызывают замедление остывания приземного слоя воздуха. Это как раз и ведет, вероятно, к таким плохо понятным до последнего времени (Кондратьев, Ивлев, 2008) эффектам глобального изменения климата, как: “преимущественное потепление зим” и “превалирующая последние десятилетия скорость роста (вдвое) ночных (минимальных за сутки) температур приземного воздуха над дневными (максимальными) температурами”.

Следует учитывать, что имеются географические, прежде всего, широтные, особенности реакции атмосферных параметров (например, прозрачности, давления, атмосферной циркуляции) на каждый из факторов воздействия. Эффекты от этих воздействий, как правило, переналагаются и наблюдаются в совокупности, тем более что изменения микроструктуры атмосферы могут продолжаться по несколько часов (Svensmark, 2007; Yu, Turco, 2007; Svensmark et al., 2007). Так, воздействие выпадений частиц из радиационных поясов в периоды магнитных бурь (через увеличенный поток микроволнового излучения из ионосферы) или воздействие потока СКЛ могут налажаться при кластерообразовании на обратный по знаку вклад от уменьшения потока ГКЛ при Форбуш-понижениях. Это может в сумме привести к исчезновению эффекта, например, в облачном покрове (Usoskin, Kovaltsov, 2008).

Итак, в настоящей части работы нами обращено внимание на возможную определяющую роль длительных — вековых (квасистолетного и квазидвухсотлетнего) циклов солнечно-геомагнитной активности в современных глобальных, прежде всего климатических изменениях. Впервые показано, что тренд усиления такой суммарной активности сменился не позже конца 2003 г. (скорее, около 2000 г., с учетом вклада постоянного понижения потока солнечного ионизирующего излучения, начавшегося по (Lean, 2005) еще с 1980-х годов) на спад.

Все наблюдения в переломе знака, отмеченные нами для ряда трендов в последнее десятилетие, могут свидетельствовать об окончании в ближайшее время периода вклада природного — солнечного векового (квасистолетного и квазидвухсотлетнего)

компонента в регистрируемое глобальное потепление климата. Уменьшение солнечной активности ведет, как известно, к возрастанию потока ГКЛ. Кстати, в работе (Огурцов, 2007) выполнен анализ солнечно-климатических изменений с 1880 г., на основе которого отмечена отрицательная корреляция между долговременными вариациями интенсивности ГКЛ и приземной температуры. Следовательно, теперь потепление может, по крайней мере, прекратить свой рост. Это обусловлено не только ростом потока ГКЛ с 1999—2000 гг., а значит, и усилением глобальной оптически плотной (охлаждающей) облачности, но и падением уровня солнечно-геомагнитной активности, что уменьшает количество оптически тонкой (разогревающей) облачности. Действительно, в рамках нашего радиооптического трехступенчатого триггерного механизма солнечно-погодно-климатических связей уменьшение после 1985 г. потока ионизирующего излучения Солнца (Lean, 2005) и, с конца 2003 г., интенсивности корпускулярных высыпаний в ионосферу в периоды геомагнитных бурь (согласно изменениям в *aa*-индексе, наиболее хорошо описывающему долговременный тренд геомагнитной возмущенности и частоту появления низкоширотных полярных сияний (Pulkkinen et al., 2001)) ведут к падению потока ионосферного микроволнового излучения, а, следовательно, и концентрации кластерных ионов в тропосфере, определяющих зарождение оптически тонкой облачности.

В статье как раз и проведено обсуждение возможных причин и механизмов подобных погодноклиматических изменений. Вместе с тем, она носит более широкий характер, поскольку мы ранее, на основе того же радиооптического механизма солнечно-земных связей (Авакян, 2008, 2005; Avakyan, 2009, 2006b), предложили возможный путь к объяснению всей совокупности глобальных изменений в окружающей среде, включая не только погоду и климат, но и биосферные проявления, в том числе физическую основу появления неблагоприятных дней для людей с ослабленным здоровьем.

В то же время воздействие корпускул, выпадающих из радиационных поясов и прямо из геомагнитосферы во время мощных геомагнитных бурь, создает в ионосфере добавочные токовые системы, которые через электрические поля генерируют геомагнитно-индуцированные токи земной поверхности. Эти токи постоянно рассматриваются как угроза работоспособности больших энергосистем, включая ускорение коррозии магистральных трубопроводов. Рассмотрим далее эту проблему подробнее.

РОЛЬ КОСМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В УВЕЛИЧЕНИИ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Россия — вторая страна в мире (после США) по протяженности трубопроводов различного назначения и первая по их изношенности. По (Соколовский, 2009), нарастающий износ нефтегазопрово-

дов у нас превышает 60%, и нужно внедрение новейших отечественных технологий. В то же время, нефтегазодобыча является важным стратегическим приоритетом социально-экономического развития страны. Одной из главных проблем при этом являются разрывы труб из-за неблагоприятных природных факторов, включая магнитные и электрические поля, приводящие к коррозии металла (Рокитянский, 2008). Последняя проблема встает на первый план уже несколько десятилетий из-за старения трубопроводных систем. Срок службы газопроводов определен в 33 года (Рокитянский, 2008), и сейчас этот возраст достигнут более чем для 15% трубопроводов Газпрома и до 30% – для нефтепроводов. При этом более 30–40% аварий на газопроводах связывается с наружной коррозией металла труб (коррозией растрескивания под напряжением (Петров, 1986)), и эта стресс-коррозия стала в последние годы одной из наиболее серьезных причин разрывов на магистральных газопроводах (Безопасность России, 2002; Канайкин, Матвиенко, 1990). В то же время она наименее изучена.

Количество аварий в России на подземных трубопроводах различного назначения, согласно данным МЧС, ежегодно увеличивается в геометрической прогрессии, и при этом коррозия, как природный фактор аварийности – одна из основных причин аварий как на нефте- и газопроводах, так и на водоводах. Коррозионные повреждения отечественных трубопроводов начинают появляться уже спустя 5–10 лет с начала их эксплуатации, приводя к резкому нарастанию частоты отказов, а в Западной Европе это происходит после 25–30 лет эксплуатации (нормальные сроки с точки зрения материаловедения) (Варфоломеева, 2004).

Итак, на современном этапе развития трубопроводных систем самой актуальной является задача увеличения их долговечности и безопасности (в том числе в экологическом аспекте). Эта задача для отечественных магистральных трубопроводов не может быть решена без определенных организационно-информационных разработок, направленных на учет космической погоды при их эксплуатации. Действительно, космофизики из Северной Европы, Северной Америки, Австралии давно работают по заказу владельцев своих больших трубопроводных систем, в том числе, в рамках Европейской программы COST 724 (Pirjola, 2008). При работах по данной программе большое внимание уделялось как раз влиянию космической погоды, прежде всего солнечных вспышек и геомагнитных бурь, на технологические системы, включая коррозию трубопроводов, когда станции катодной защиты выходят из строя или отключены (Rodgers et al., 2000). Основным элементом такого воздействия являются геомагнитно-индуцированные токи (ГИТ) (Gumtow, Eng, 2002; Pirjola, 2008), генерируемые при достаточно сильных геомагнитных бурях на большей части территории России. К сожалению, ГИТ даже не упоминаются в действующих ГОСТ (ГОСТ Р 51164-98; ГОСТ ИСО 9.602-2005). Это, согласно ре-

зультатам нашего анализа, и является в основном источником тех промахов в эксплуатации трубопроводов, которые привели к их аномально-скоротечному коррозионному износу. В (Gumtow, Eng, 2002) отмечено, что ранние (до 1970 г.) экспериментальные результаты о незначительности вклада ГИТ в коррозию газопроводов оказались ошибочными, как из-за низкоширотного местоположения опытных трубопроводов, так и в связи с постоянным возрастанием геомагнитной активности в последующие десятилетия.

Реальное отключение катодной защиты на суммарный период в одни сутки во время геомагнитной бури действительно может привести к “годовому эффекту коррозии” в квартал. В течение года это как раз приводит к четырехкратному усилению скорости коррозии по сравнению со скоростью при штатной работе станций катодной защиты, что и было показано экспериментально. Действительно, наблюдения на северо-востоке Австралии (Rodgers et al., 2000) за скоростью геомагнитно-индуцированной коррозии газовых магистралей показали, что в отсутствие защиты требуется в 4 раза чаще менять трубы.

Основной отечественный нормативный документ ГОСТ Р 51164-98 разрешает отключение катодной защиты трубопроводной системы, функционирующей в рабочем состоянии, при проведении регламентных и ремонтных работ не более одного раза в квартал (до 80 ч). При проведении исследовательских работ допускается отключение электрохимической защиты на суммарный срок не более 10 сут/г. За такой срок могут произойти несколько мировых магнитных бурь, при этом повышенные в сотни раз ГИТ будут воздействовать на трубопровод с отключенной системой катодной защиты несколько суток. В такие периоды электрохимическая стресс-коррозия возрастает на несколько годовых (плановых) норм.

Ежегодно наблюдается до 50–90 сильных геомагнитных бурь с величиной планетарного индекса геомагнитной активности $K_p \geq 6$ (S.E.C., 2000), т.е. в среднем происходит каждую неделю одна, а то и две больших бури. При этом уровне активности эффекты бури проявляются уже на геомагнитных широтах 50°, что соответствует линии, проходящей южнее Братска, Новосибирска, Тулы. Вся территория к северу от этой линии охвачена бурей, включая зону полярных сияний. Примерно одна, еще более сильная геомагнитная буря ($K_p \geq 7$), происходит раз в 10–15 дней, и тогда уже практически вся Россия подвержена ее влиянию. Одним из главных проявлений мощных магнитных бурь является вторжение потоков энергичных корпускул в ионосферу на средних и высоких широтах. Эти корпускулы (в основном электроны) высыпаются из радиационных поясов Земли и прямо из магнитосферы и производят сильную добавочную ионизацию в ионосфере, что ведет к образованию ионосферных токовых систем, которые в свою очередь являются причиной генерации электрических полей. Электрические

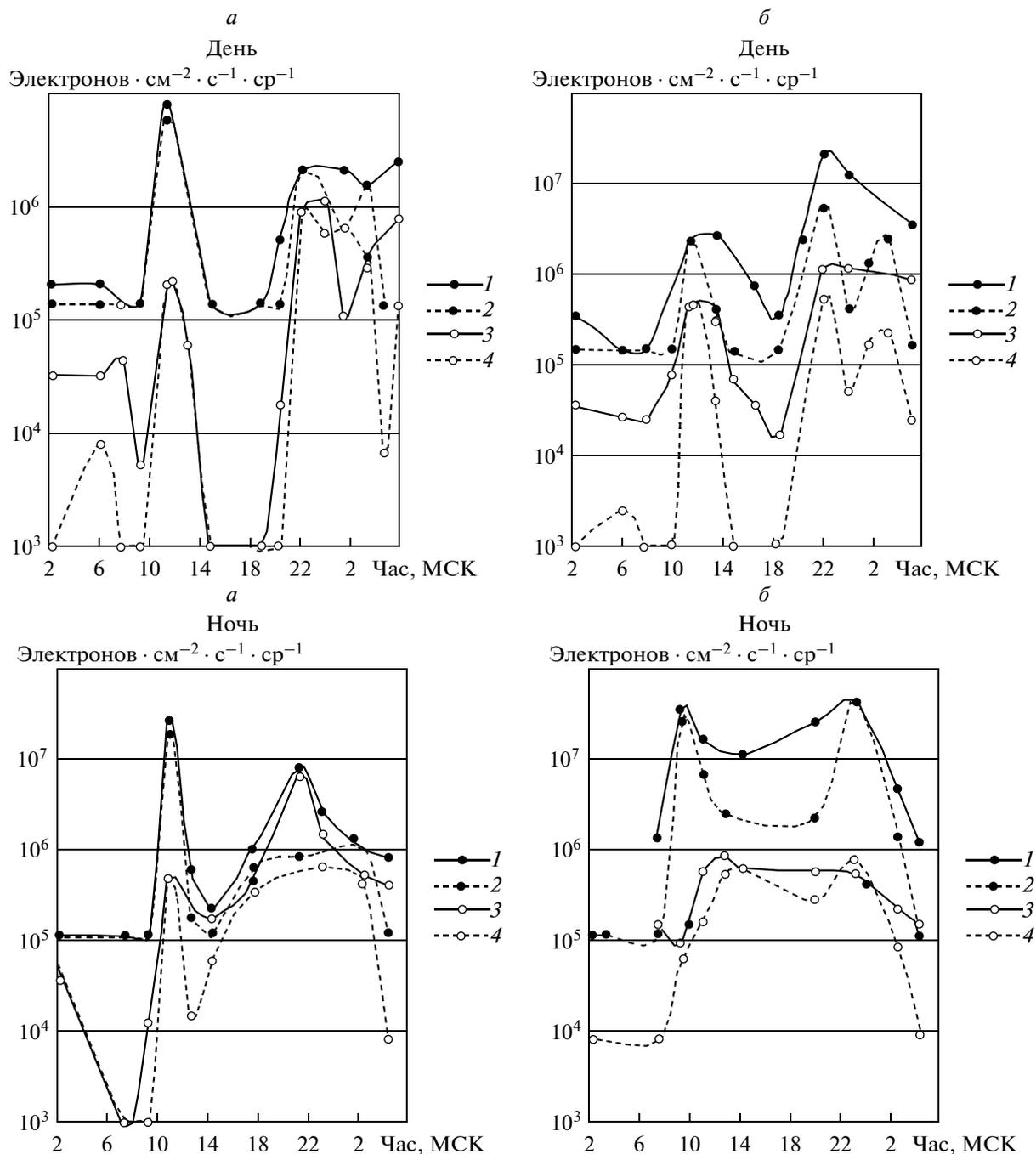


Рис. 5. Вариации интенсивности потоков электронов с энергиями в единицы и десятки кэВ в период сильной геомагнитной бури, высыпающихся из радиационных поясов на средних широтах в Северном полушарии, отдельно для дневной и ночной ионосферы и для двух областей геомагнитных широт -45° – 55° и 55° – 60° : *a* – интервал геомагнитных широт от 45° до 55° , *б* – интервал геомагнитных широт от 55° до 60° ; 1 – потоки захваченных электронов с энергией более 2.5 кэВ, 2 – потоки высыпающихся электронов с энергией более 2.5 кэВ, 3 – потоки захваченных электронов с энергией более 25 кэВ, 4 – потоки высыпающихся электронов с энергией более 25 кэВ.

поля вместе с геомагнитными буревыми вариациями создают ГИТ как в земной поверхности, так и в различных проводящих системах, расположенных над землей и в самом грунте.

В период типовой мировой магнитной бури наиболее сильные возрастания потоков электронов ки-

лоэлектронвольтовых энергий на умеренных и высоких геомагнитных широтах происходят в главную фазу бури (в течение двух–четырех часов) и на фазе восстановления, когда фиксируются рекуррентное возрастание, иногда до наивысших уровней, в течение десятков часов. Согласно (Муллаяров и др.,

2006), последствие геомагнитной бури в виде ГИТ на газопроводе в Якутске продолжается еще сутки—две после главной фазы, т.е. в фазу восстановления бури — на этапе известных рекуррентных возрастаний высыпаний электронных потоков (Соколов, 1987). Усиления высыпающихся в ионосферу электронных потоков и, следовательно, ГИТ, в главную фазу и в фазу восстановления магнитной бури происходят до 300 раз и более, при этом в главную фазу такие изменения идут очень быстро (Авакян и др., 1994, 1974) (рис. 5). Эти экспериментальные данные получены радиометрами ГОИ на ИСЗ “Космос-381”. Действительно, при вариациях величины геомагнитного поля во время бури (с максимумом в центре главной фазы), сопровождающие эти изменения высыпания электронов из радиационных поясов, испытывают в начале и в конце главной фазы резкие ослабления (до порога регистрации на период в течение 1.5–3 ч). Только в центре главной фазы они на средних широтах на 2–4 ч достигают действительно максимальных значений — до уровня авроральных вторжений. Быстрые вариации интенсивных высыпаний хорошо проявляются в картинах мощных сияний в верхней атмосфере, причем внезапные их затухания, а затем всплески интенсивных свечений в главную фазу магнитной бури наблюдались на средних широтах и космонавтами (Лазарев и др., 1983, 1987).

Подобные всплески ведут к мгновенным изменениям потенциалов на трубопроводах, что особенно опасно влияет на электрохимическую коррозию. Поскольку возрастания (над уровнями добуревых эффектов (рис. 5)) до 300 раз и более для высыпающихся потоков, а значит, и в интенсивности ГИТ, происходят чуть ли не целые сутки, то следует констатировать, что отключение катодной защиты во время сильной магнитной бури даже на одни сутки способно увеличить почти вдвое годовой эффект электрохимической коррозии трубопровода. Интенсивность потока высыпающихся электронов сильно меняется с широтой, увеличиваясь от средних к высоким широтам зоны полярных сияний (рис. 5а, 5б), поэтому величины электрического поля и индуцированных токов наиболее значительно меняются именно для трубопроводов меридионального направления. При этом ГИТ могут достигать сотен ампер. По этой причине ожидаются серьезные проблемы в будущем, обусловленные коррозией повышенной интенсивности в новых (меридиональных) газовых магистральных с учетом закладываемого в этих проектах увеличения рабочего давления.

Ионосферные токи на дневной стороне Земли определяют в большой мере скоростью фотоионизации атмосферных газов под действием КУФ и мягкого рентгеновского излучения Солнца. Солнечные вспышки, наиболее сильные именно в этой области спектра, практически полностью контролируют степень ионизации дневной среднеширотной верхней атмосферы. Главное, что вспышечная деятельность Солнца является и основной причиной начала примерно через двое суток магнитных бурь на

Земле, при этом от силы вспышки зависит и мощность геомагнитной бури. Однако до настоящего времени эта связь хорошо не изучена, т.к. в мире отсутствует постоянный мониторинг спектра и потоков коротковолнового солнечного излучения.

Предлагаемый учет ГИТ при использовании и эксплуатации станций катодной защиты важен не только для нефтегазопроводов, но и везде, где применяется такая электрохимическая защита:

- на предприятиях коммунального хозяйства, обслуживающих городские коммуникации, трубопроводы тепловых и газовых сетей;

- на предприятиях химического, энергетического и промышленного комплекса, в других организациях, имеющих металлические коммуникации в области почв с повышенной электрохимической активностью.

Но настоящее предложение наиболее актуально для магистральных газопроводов, особенно меридионального направления, прежде всего из-за повышенной взрывоопасности при аварийных ситуациях.

Итак, в данной части статьи:

- показаны возможные причины сверхнормативного (до нескольких раз) увеличения скорости коррозии отечественных трубопроводных систем (при функционировании станций катодной защиты по действующим ГОСТам);

- предложены меры по исключению незапланированных эффектов стресс-коррозии через введение ограничений на регламентные отключения станций катодной защиты по геофизическим показаниям (во время геомагнитной бури) и использование при аварийных работах специального почасового графика (с учетом вариаций геомагнитно-индуцированных токов в главную фазу магнитной бури);

- определены задачи прогнозирования (по солнечным вспышкам) и контроля (по интенсивности корпускулярных высыпаний из радиационных поясов) параметров геомагнитно-индуцированных токов в периоды больших геомагнитных возмущений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Многолетние исследования по физике и оптике верхней атмосферы и ионосферы (Авакян, 2008) наряду с разработкой оптико-электронной КА для регистрации спектра и абсолютных потоков солнечного ионизирующего излучения (Авакян и др., 2008) впервые привели к получению некоторых важных результатов в области солнечно-земной физики. Среди них предложение принципиально новой концепции о физическом механизме солнечно-земных связей — через микроволновое излучение ионосферы, возникающее при возбуждении электронным ударом ионосферными энергичными электронами по атомам и молекулам верхнеатмосферных газов высоковозбужденных (ридберговских) состояний. Переходы между этими состояниями с главными квантовыми числами $n \geq \sim 10$ лежат в микроволновом диапазоне — в области длин волн

от мм до дм и выше. Такое радиоизлучение свободно (за исключением нескольких полос поглощения) проникает в тропосферу до земной поверхности и, т. о. может являться тем физическим фактором, который воздействует на биосферу и ряд погодных характеристик (Авакян, Воронин, 2007; Авакян, 2008).

Для практических целей здесь важно определение вклада солнечной variability в глобальное изменение климата, включая наблюдаемый в XX в. рост температуры приземного воздуха. В данной работе такой механизм представлен и рассмотрен в совокупности с апробированными ранее, но относящимися только к воздействию космических лучей на погоду и климат (Авакян, Воронин, 2010).

Проведенное нами параллельное изучение долговременных трендов космических факторов и ряда тропосферных характеристик позволяет выявить ключевую информацию для понимания физических механизмов солнечно-атмосферных связей и разработки прогностических оценок изменения климата. В данной работе проанализированы известные и новые характеристики трендов электромагнитной солнечной активности, геомагнитной активности и интенсивности потока ГКЛ на протяжении как всей эпохи современного этапа глобального потепления, так и в нескольких последних 11-летних циклах солнечной изменчивости. Предложено учитывать вклад вековых (квизистолетного и квазидвухсотлетнего) циклов активности Солнца, результатом которого явилась смена знаков в направлениях изменений всех названных космических факторов в последнее десятилетие (Авакян, Воронин, 2006в, 2010). Изучение тенденций в поведении ряда основных тропосферных характеристик также показало изменение их знаков в последние несколько лет. При этом получено отчетливое проявление суммарного вклада вековых трендов солнечной (электромагнитной) и геомагнитной (корпускулярной) активностей в тенденцию изменения тропосферных характеристик и, прежде всего, в вариации глобальной облачности (Авакян, Воронин, 2010).

Показано, что в формировании долговременных климатических трендов участвуют такие мощные, хотя и кратковременные проявления солнечно-геомагнитной активности, как солнечные вспышки и магнитные бури. Получено, что все рассмотренные нами космические факторы влияния на глобальную среднюю температуру приземного воздуха (солнечные вспышки, геомагнитные бури и поток ГКЛ) к настоящему времени изменяются так, что это ведет к охлаждению климата (Авакян, Воронин, 2010).

Предложено полномасштабное решение проблемы продления “жизни” отечественных трубопроводных систем различного н.-х. назначения. Дан анализ причин такой изношенности и обсуждается, что надо сделать, чтобы прекратить аномально быструю коррозию российских трубопроводных систем.

Работа по оценке коррозии трубопроводных систем существенно упростится при реализации эксперимента “Постоянный космический солнечный патруль”, для выполнения которого создана опико-электронная аппаратура ГОИ (Авакян et al., 2002, 2009, 2010; Авакян, 2006а, 2009; Авакян и др., 2008). Конструкция аппаратуры позволяет производить непрерывные измерения, со съемом полного спектра Солнца в диапазоне длин волн от 0.14 до 200 нм каждые 72 сек. Все спектральные диапазоны перекрываются, причем в КУФ-спектрометре это происходит на наиболее интенсивных линиях солнечного спектра: 30.4 нм, 58.4 нм, 911 нм, 121.6 нм. Перекрытие осуществляется и со спектральным поддиапазоном, где работает обычный фотоэлектронный умножитель с окном из фтористого магния — ФЭУ-142, размещенный в обоих — КУФ и рентгеновском спектрометрах. Все это позволяет увеличить надежность функционирования аппаратуры в космосе и контролировать возможную деградацию чувствительности каждого рабочего спектрального канала, оснащенного ВЭУ. Для радиометров предусмотрена постоянная калибровка прямо в космическом полете по изотопу ^{55}Fe на длине волны 0.2 нм. Как показал опыт работы таких радиометров на борту ИСЗ “Космос-381” (Авакян и др., 1974), по фоновому (несолнечному) каналу хорошо регистрируются потоки электронов из радиационных поясов. К настоящему времени весь комплекс аппаратуры “Космический солнечный патруль” изготовлен в расчете на запуск автоматического КА с солнечно-синхронной орбитой. Если это будет отечественный КА, то возможна установка аппаратуры на “Метеоре-3М”.

Авторы выражают глубокую благодарность Ю.И. Стожкову и А.А. Чилингаряну — за предоставленные материалы по вариациям ГКЛ; А.А. Намгаладзе — за исключительно полезные советы; Международному научно-техническому центру, Москва — за поддержку работы по созданию опико-электронной аппаратуры “Космический солнечный патруль”; Н.Г. Петрову и В.В. Притуле — за оценку ситуации с учетом спорадического возрастания ГИТ в периоды мировых магнитных бурь при эксплуатации отечественных трубопроводных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авакян С.В. Новый фактор в физике солнечно-земных связей — ридберговские состояния атомов и молекул // Тез. докл. Межд. конф. по физике солнечно-земных связей. Алматы: Наука, 1994. С. 3–5.
- Авакян С.В. Микроволновое излучение ионосферы как фактор воздействия солнечных вспышек и геомагнитных бурь на биосистемы // Оптический журнал. 2005. Т. 72. № 8. С. 41–48.
- Авакян С.В. Физика солнечно-земных связей: результаты, проблемы и новые подходы // Геомагнетизм и аэронавигация. 2008. Т. 48. № 4. С. 1–8.
- Авакян С.В. Вызов солнечно-земной физике и перспективы ответа, позволяющего решить насущные

- проблемы // Тр. Всерос. конф. по физике Солнца: Год астрономии: солнечная и солнечно-земная физика – 2009. 5–11 июля 2009 г. СПб.: ГАО, 2009. С. 27–29.
- Авакян С.В.* Каналы воздействия космофизических факторов на погодно-климатические характеристики // Тр. Всерос. конф. по физике Солнца: Солнечная и солнечно-земная физика – 2010. 3–9 октября 2010 г. СПб.: ГАО, 2010. 4 с.
- Авакян С.В., Афанасьев И.М., Богданов В.Г., Борткевич С.В., Воронин Н.А., Ефремов А.И., Зоткин И.А., Иванов А.П., Изотов А.Б., Корнилов В.Н. Кувалдин, Э.В., Курпьянов В.Н., Лебединская М.Л., Леонов Н.Б., Леханов Е.Ф., Прибыловский И.М., Сазонов Г.В., Савушкин А.В., Серова А.Е., Черников Д.А.* Исследования в ГОИ рентгеновского и крайнего УФ-излучения Солнца // Оптич. журн. 2008. Т. 75. № 12. С. 31–39.
- Авакян С.В., Болгарцева М.П., Ефремов А.И., Кринберг И.А., Кулаков А.П., Петров В.С., Подмошенский А.Л., Прибыловский И.М., Сазонов Г.В., Шаулин Ю.Н.* Потоки электронов во время магнитной бури 14–15 декабря 1970 г. по данным ИСЗ “Космос-381” // Исслед. по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. 1974. Вып. 32. С. 158–161.
- Авакян С.В., Вдовин А.И., Пустарнаков В.Ф.* Ионизирующие и проникающие излучения в околоземном космическом пространстве. Справочник. СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. 501 с.
- Авакян С.В., Воронин Н.А., Серова А.Е.* Роль ридберговских атомов и молекул в верхней атмосфере // Геомагнетизм и аэронаука. 1997. Т. 37. № 3. С. 99–106.
- Авакян С.В., Воронин Н.А.* Возможные механизмы влияния гелиогеофизической активности на биосферу и погоду // Оптич. журн. 2006а. Т. 73. № 4. С. 78–83.
- Авакян С.В., Воронин Н.А.* Гелиоионосферные микроволновые излучения как единый агент контроля биосферы и погоды // Тр. межд. конф. Погода и биосистемы. СПб.: РГГМУ, 2006б. С. 118–132.
- Авакян С.В., Воронин Н.А.* Контроль погоды гелиоионосферными микроволновыми излучениями // Тр. Х Пулковской Межд. конф. по физике Солнца: Квазипериодические процессы на Солнце и их геоэффективные проявления. СПб.: ГАО, 2006в. С. 223–230.
- Авакян С.В., Воронин Н.А.* О возможном физическом механизме воздействия солнечной и геомагнитной активности на явления в нижней атмосфере // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 2. С. 28–33.
- Авакян С.В., Воронин Н.А.* О радиооптическом и оптическом механизмах влияния космических факторов на глобальное потепление климата // Оптич. журн. 2010. Т. 75. № 2. С. 90–93.
- Арефьев В.Н., Кашин Ф.В., Семенов В.К., Акименко Р.М., Каменоградский Н.Е., Сизов Н.И., Синяков В.П., Упэнз Л.Б., Устинов В.П.* Водяной пар в толще атмосферы северного Тянь-Шаня // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 6. С. 803–815.
- Безопасность России.* Безопасность трубопроводного транспорта / Под ред. И.И. Мазура, О.М. Иванцова. М.: МГФ Знание, 2002. 749 с.
- Бондур В.Г., Пулинец С.А., Ким Г.А.* О роли вариаций галактических космических лучей в тропическом циклогенезе на примере урагана Катрина // ДАН. 2008а. Т. 422. № 2. С. 244–249.
- Бондур В.Г., Пулинец С.А., Узунов Д.* Воздействие крупномасштабных атмосферных вихревых процессов на ионосферу на примере урагана Катрина // Исслед. Земли из космоса. 2008б. № 6. С. 3–11.
- Варфоломеева Л.* Информационные технологии на службе нефтегазовой отрасли России // Нефть России. 2004. № 9. С. 24–25.
- Веретенко С.В., Дергачев И.Ф., Дмитриев П.Б.* Солнечная активность и вариации космических лучей как фактор интенсивности циклонических процессов в умеренных широтах // Геомагнетизм и аэронаука. 2007. Т. 47. № 3. С. 399–406.
- Веретенко С.В., Пудовкин М.И.* Вариации общей облачности в ходе всплесков солнечных космических лучей // Геомагнетизм и аэронаука. 1996. Т. 36. № 1. С. 153–156.
- ГОСТ ИСО 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. М.: Стандартинформ, 2006.
- ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. М.: Госстандарт России, 1998.
- Дергачев В.А., Распопов О.М.* Долговременные процессы на Солнце, определяющие тенденцию изменения солнечного излучения и поверхностной земной температуры // Геомагнетизм и аэронаука. 2000. Т. 40. № 3. С. 9–14.
- Дмитриев А.А., Ломакина Т.Ю.* Облачность и рентгеновское излучение космоса // Эффекты солнечной активности в нижней атмосфере / Под ред. Л.Р. Ракиповой. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. С. 70–77.
- Иванов К.Г.* Корреляция между тропическими циклонами и магнитными бурями в 23-м цикле солнечной активности // Геомагнетизм и аэронаука. 2006. Т. 47. № 3. С. 394–398.
- Канайкин В.А., Матвиенко А.Ф.* Разрушения труб магистральных трубопроводов: современное представление о коррозионном растрескивании под напряжением. Екатеринбург: БИК, 1990. 190 с.
- Кондратьев К.Я., Ивлев Л.С.* Климатология аэрозольей и облачности. СПб.: Изд-во ВВМ, 2008. 555 с.
- Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П.* Перспективы развития цивилизации. Многомерный анализ. М.: Логос, 2003. 573 с.
- Кондратьев К.Я., Никольский Г.А.* Солнечная активность и климат. 1. Данные наблюдений. Конденсационная и озонная гипотезы // Исслед. Земли из космоса. 1995а. № 5. С. 3–17.
- Кондратьев К.Я., Никольский Г.А.* Солнечная активность и климат. 2. Прямое воздействие изменений внеатмосферного спектрального распределения солнечной радиации // Исслед. Земли из космоса. 1995б. № 6. С. 3–20.
- Красовский В.И.* Штили и штормы в верхней атмосфере. М.: Наука, 1971. 136 с.
- Крауклис В.Л., Никольский Г.А., Сафронова М.М., Шульц Э.О.* Об условиях возникновения аномальных особенностей аэрозольного ослабления ультрафиолетового излучения при высокой прозрачности атмосферы // Оптика атмосферы. 1990. Т. 3. № 3. С. 227–241.

- Лазарев А.И., Коваленок В.В., Авакян С.В. Исследование Земли с пилотируемых космических кораблей. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 399 с.
- Лазарев А.И., Коваленок В.В., Савиных В.П. Визуально-инструментальные наблюдения с “Салюта-6”. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 136 с.
- Муллаяров В.А., Козлов В.И., Григорьев Ю.М., Ромащенко Ю.А. Индуцированный в газопроводе ток от большого магнитного возмущения 21.01.05 // Наука и образование. 2006. Т. 1. № 41. С. 53–55.
- Наговицын Ю.А. Солнечная и геомагнитная активность на большой временной шкале: реконструкции и возможности для прогнозов // ПАЖ. 2006. Т. 32. № 5. С. 382–391.
- Никольский Г.А., Шульц Э.О. Спектрально-временные вариации остаточного ослабления в ближней ультрафиолетовой области спектра // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. № 9. С. 961–966.
- Нусинов А.А. Ионосфера как природный детектор для исследования долговременных изменений потоков солнечного геоэффективного излучения // Геомагнетизм и аэрномия. 2004. Т. 44. №6. С. 779–786.
- Огурцов М.Г. Вековая вариация в аэрозольной прозрачности атмосферы как возможное звено, связывающее долговременные изменения солнечной активности и климата // Геомагнетизм и аэрномия. 2007. Т. 47. № 1. С. 126–137.
- Петров Л.Н. Коррозия под напряжением. Киев: Вища школа, 1986. 142 с.
- Рокитянский Я.Г. Судьбоносные загадки нефтегазовой отрасли // Вестн. РАН. 2008. Т. 78. № 8. С. 704–711.
- Соколов С.Н. О связи изменений электронной концентрации в среднеширотной нижней ионосфере с интенсивностью кольцевого тока // Геомагнетизм и аэрномия. 1987. Т. 27. № 3. С. 388–392.
- Соколовский В.В. Кровеносная система российской экономики // Газовый бизнес. 2009. № 28–29. С. 68–69.
- Троицкий 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.
- Avakyan S.V. Space solar patrol: absolute measurements of ionizing solar radiation // Adv. Space Res. 2006a. V. 37. № 2. P. 297–302.
- Avakyan S.V. Microwave ionospheric emission as a new factor of Solar-biosphere relations // Proc. 4th Int. Workshop Biological effects of electromagnetic fields. Crete. 2006b. P. 1513–1522.
- Avakyan S.V. Optics in the global changes of environment // Armenian J. Phys. 2009. V. 2. №. 1. P. 15–35.
- Avakyan S.V., Andreev E.P., Afanas'ev I.M., Leonov N.B., Savushkin A.V., Serova A.E., Voronin N.A. Creating of the permanent Space Patrol of ionizing solar radiation // Innovative Telescopes and Instrumentation for Solar Astrophysics / Eds. S.L. Keil, S.V. Avakyan. Proc. SPIE. 2002. V. 4853. P. 600–611.
- Avakyan S.V., Baranova L.A., Kuvaldin E.V., Leonov N.B., Savinov E. P., Savuyshkin A.V., Voronin N.A., Kovalenok V.V., Savinykh V.P., Pindurin V.F., Nikolenko A.D. Space Solar Patrol data and the weather-climate changes, including the global warming // Proc. 9th Int. Symp. Measurement Technology and Intelligent Instruments. ISTC Special Session. St.-Petersburg. Russia. 2009. P. 22–43.
- Avakyan S.V., Baranova L.A., Leonov N.B., Savinov E.P., Voronin N.A. Space Solar Patrol data and changes in weather and climate, including global warming // Measur. Sci. and Technol. 2010. V. 21. №. 8.085301. 15 p. doi: 10.1088/0957-0233/21/8/085301.
- Avakyan S.V., Voronin N.A. Condensation Process in the Low Atmosphere and Microwave Radiation of the Sun and Ionosphere // Proc. 6th Int. Conf. Problem of Geocosmos. 23–27 May 2006. St.-Petersburg: SPbSU, 2006. P. 24–29.
- Avakyan S.V., Voronin N.A. The ionospheric possible mechanism of warming and its influence today // Proc. 8th Int. Conf. “Problem of Geocosmos”, 20–24 September 2010. St.-Petersburg: SPbSU, 2010. P. 23–30.
- Bates D.R. Electron-ion recombination in an ambient molecular gas // J. Phys. B. 1981. V. 14. №. 18. P. 3525–3534.
- Benestad R.E. Solar Activity and Earth's Climate. Springer-Praxis, 2002. 287 p.
- Calder N. The carbon dioxide thermometer and the cause of global warming // Energy and Environm. 1999. V. 10. № 1. P. 1–7.
- Carslaw K.S., Harrison R.G., Kirkby J. Cosmic rays, clouds, and climate // Science. 2002. V. 298. P. 1732–1736. doi: 10.1126/science.1076964.
- Chilingaryan S., Chilingarian A., Danielyan V., Eppler W. The Aragats data acquisition system for highly distributed particle detecting networks // J. Physics: Conf. Ser. 2008. V. 119. №. 08. P. 9. doi: 10.1088/1742-6596/119/8/082001.
- de Jager C., Versteegh G.J.M., R. van Dorland R. Climate change scientific assessment and policy analysis. Scientific Assessment of Solar Induced Climate Change // Rep. 500102001. March 2006. 154 p.
- Detemmerman V. World Climate Research Programme. WCRP Strategic Framework for 2005–2015. Paris: WMO, 2005. 6 p.
- Feister U., Junk J., Woldt M. Long-term solar UV radiation reconstructed by Artificial Neural Networks (ANN) // Atmos. Chem. Phys. Discuss. 2008. V. 8. P. 453–488.
- Gummow R.A., Eng. P. GIC effects on pipeline corrosion and corrosion-control systems // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 2002. V. 64. № 16. P. 1755–1764.
- Harrison R.G., Stephenson D.B. Empirical evidence for a nonlinear effect of galactic cosmic rays on clouds // Proc. Roy. Soc. A. 2005. V. 462. P. 1221–1233. doi: 10.1098/rspa.2005.1628.
- Kirkby J., Laaksonen A. Solar variability and clouds // Space Sci. Rev. 2000. V. 94. № 1/2. P. 397–403.
- Kristjansson J., Kristiansen J. Is there a cosmic ray signal in recent variations in global cloudiness and cloud radiative forcing? // J. Geophys. Res. 2000. V. 105. P. 11851–11863.
- Kristjansson J.E., Kristiansen J., Kaas E. Solar activity, cosmic rays, clouds and climate – an update // Adv. Space Res. 2004. V. 34. № 2. 407–415.
- Krivova N.A., Balmaceda L., Solanki S.K. Reconstruction of solar total irradiance since 1700 from the surface magnetic flux // Astron. Astrophys. 2007. V. 467. P. 335–346. doi: 10.1051/0004-6361:20066725.
- Lean J. The Sun's variable radiation and its relevance for Earth // Ann. Rev. Astr. Astroph. 1997. V. 35. P. 33–67.

- Lean J.* Living with a variable Sun // *Phys. Today.* 2005. June. P. 32–38.
- Lockwood M., Frohlich C.* Recent oppositely directed trends in solar climate forcings and the global mean surface air temperature // *Proc. Roy. Soc. A.* 2007. doi: 10.1098/r5sspa.2007.1880.
- Marsh N., Svensmark H.* Cosmic rays, clouds, and climate // *Space Sci. Rev.* 2000. V. 94. № 1/2. C. 215–230.
- Mende W., Stellmacher R.* Solar variability and the search for corresponding climate signals // *Space Sci. Rev.* 2000. V. 94. № 1/2. C. 295–306.
- Palle E., Goode P.R., Montanes-Rodriguez P., Koonin S.E.* Changes in Earth's reflectance over the past two decades // *Science.* 2004. V. 304. P. 1299–1301.
- Palle E., Goode P.R., Montacés-Rodríguez P., Koonin S.E.* Can the Earth's albedo and surface temperatures increase together? // *EOS.* 2006. V. 87. № 4. P. 37, 43.
- Pirjola R.* Calculation of geomagnetically induced currents (GIC) in ground-based technological systems. In: COST 724 final report. Developing the scientific basis for monitoring, modeling and predicting Space Weather / Ed. J. Lilén, A. Belehaki, M. Messerotti, R. Vainio, J. Watermann, S. Poedt. 2008. P. 286–289.
- Pulkkinen T.I., Nevanlinna H., Pulkkinen P.J., Lockwood M.* The Sun-Earth connection in time scales from years to decades and centuries // *Space Sci. Rev.* 2001. V. 95. № 1/2. P. 625–637.
- Rodgers D.J., Murphy L.M., Dyer C.S.* Benefits of a European Space Weather Programme. 2000. ESWPS-DER-TN-0001. V. 2.1. 35 p.
- S.E.C. User Notes. 2000. № 28. 7 p.
- Scafetta N., Willson R.* ACRIM-gap and Total Solar Irradiance (TSI) trend issue resolved using a surface magnetic flux TSI proxy model // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. № L05701. doi: 10.1029/2008GL036307.
- Steinhilber F., Beer J., Frohlich C.* Total solar irradiance during the Holocene // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. № L19704. doi: 10.1029/2009GL040142.
- Stozhkov Yu.I., Svirzhevsky N.S., Bazilevskaya G.A., Kvashnin A.N., Makhmutov V.S., Svirzhevskaya A.K.* Long-term (50 years) measurements of cosmic ray fluxes in the atmosphere // *Adv. Space Res.* 2008. V. 42. № 1. P. 978–985.
- Svensmark H.* Cosmoclimatology: a new theory emerges // *Astron. Geophys.* 2007. V. 48. № 1. P. 18–24.
- Svensmark H., Pedersen J.O.P., Marsh N.D., Enghoff M.B., Uggerhøj U.I.* Experimental evidence for the role of ions in particle nucleation under atmospheric conditions // *Proc. R. Soc. A.* 2007. V. 463. P. 385–396. doi: 10.1098/rspa.2006.1773.
- Tsushima Y., Emori S., Ogura T., Kimoto M., Webb M.J., Williams K.D., Ringer M.A., Soden B.J., Li B., Andronova N.* Importance of the mixed-phase cloud distribution in the control climate for assessing the response of clouds to carbon dioxide increase – a multi-model study // *Clim. Dynamics.* 2006. V. 27. P. 113–126.
- Usoskin I.G., Kovaltsov G.A.* Cosmic rays and climate of the Earth: possible connection // *C.R. Geosci.* 2008. V. 340. P. 441–450.
- Willson R., Mordvinov A.* Secular solar irradiance trend during solar cycles 21–23 // *Geophys. Res. Lett.* 2003. V. 30. doi:10.1029/2002GL016038.
- Woods T.N., Eparvier F.G., Bailey S.M., et al.* Solar EUV Experiment (SEE): Mission overview and first results // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110. № A01312. doi: 10.1029/2004JA010765.
- Yu F., Turco R.P.* From molecular clusters to nanoparticles: role of ambient ionization in tropospheric aerosol formation // *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106. № D5. P. 4797–4814.

The Role of Space and Ionospheric Disturbances in the Global Climate Change and Pipeline Corrosion

S. V. Avakyan, N. A. Voronin

All-Russian Scientific Center S.I. Vavilov State Optical Institute, St. Petersburg

The study of the physical causes of the influence of the main factors of space on the state of the ionosphere and then to the weather and climate characteristics, including global warming is presented. The basis of this research – proposed by the authors Rydberg excitation-by the fast ionospheric electrons experimentally observed microwave radiation the Earth's ionosphere, which is almost free to penetrate into the lower atmosphere, providing channels of influence of solar variability on terrestrial phenomena. Analyzed the reasons for abnormal wear out of the Russian pipeline system and describes ways to reduce their rapid corrosion due to accounting effects geliogeomagnetic and ionospheric disturbances. In support of these studies proposed a space experiment on permanent monitoring of the determining factors geliogeomagnetic activity: fluxes of ionizing radiation from the Sun and the fluxes of electrons precipitated from the radiation belts, using the created at the S.I. Vavilov State Optical Institute optoelectronic spectroradiometric devices of new generation, "Space Solar Patrol".

Keywords: microwave emission from ionosphere, Rydberg excitation, weather and climate characteristics, geliogeomagnetic activity, corrosion of gasoilpipelines