

УДК 523-62, 523.9

БАЗА ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ГЕОМАГНИТНОЙ И АВРОРАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ, ОРИЕНТИРОВАННАЯ НА ИЗУЧЕНИЕ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ

© 2017 г. Н.Г. Птицына, С.Н. Соколов, В.А. Солдатов, М.И. Тясто

Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Санкт Петербург, Россия

Полученные в последние годы *in situ* данные о геомагнитной и авроральной активности способствовали бóльшему пониманию солнечно-земных процессов. Но поскольку освоение космоса началось только в середине XX в., полученных *in situ* данных недостаточно для анализа геомагнитных вариаций и вариаций солнечной активности во временном масштабе от десятилетий до столетий. Российская сеть магнитных и метеорологических обсерваторий обеспечивает один из самых длинных рядов данных. Например, магнитограммы станций «Санкт-Петербург» (SPE), «Павловск» (SLU) и «Воейково» (LNN) – это многолетние серии непрерывных записей вариаций склонения (D), горизонтальных (H) и вертикальной (Z) компоненты геомагнитного поля. Цель статьи – сделать эти данные общедоступными. Для этого разработана специализированная база данных, ориентированная на изучение различных аспектов солнечно-земных связей, включая гелиобиомагнитологию. База содержит: 1) цифровые изображения аналоговых магнитограмм станций SPE (1869–1877 гг.) и SLU (1878–1921 гг.; сканирование для 1921–1941 гг. продолжается); 2) ежечасные величины склонения D , горизонтальной H и вертикальной Z компонент геомагнитного поля, полученные на станциях SPE и SLU в 1869–1914 гг.; 3) данные о геомагнитных бурях на станции SLU в 1878–1941 гг. и на станции LNN в 1947–1954 гг.; 4) данные о полярных сияниях, наблюдавшихся на 141 станции Российской метеорологической сети в 1837–1909 гг. База данных предназначена для обеспечения доступа в Интернете к российской коллекции исторических сведений о геомагнитной и авроральной активности. На этой основе можно проводить исследования различных аспектов космической погоды и климата, используя ее в том числе для решения задач гелиомагнитобиологии. Пользователю предоставляется легкий доступ к отдельным магнитограммам при различных уровнях масштабирования. Онлайн-доступ позволит использовать данные базы для решения задач, связанных с космической погодой в прошлом, широкому кругу исследователей.

Ключевые слова: база данных, цифровые изображения, магнитограммы, магнитные бури, полярные сияния, исторические данные о геомагнитной и авроральной активности.

Введение

Человечество живет в океане электромагнитных полей естественного и искусственного происхождения. Основным естественным электромагнитным полем (ЭМП) является магнитное поле Земли. Вариации магнитного поля Земли – один из элементов космической погоды, а наиболее важными из них являются магнитные бури (МБ). Из результатов экспериментальных и эпидемиологических исследований, а также из теоретических соображений следует, что скорее магнитная, а не электрическая компонента ЭМП может быть значима для человеческого организма, так как магнитные поля, в отличие от электрических, могут проникать в живые ткани. Спектр электромагнитных излучений занимает диапазон частот от 0 до 10^{20} Гц, но максимальная интенсивность техногенных полей, окружающих человека на работе и дома, находится в КНЧ- (10–300 Гц) и УНЧ- (0–10 Гц) диапазонах. При этом техногенные поля по величинам, как правило, не превышают 100 мкТл, что сравнимо с величиной естественного постоянного магнитного поля Земли (~ 50 мкТл). В КНЧ- и УНЧ-диапазонах находятся и основные вариации естественных магнитных полей. Таким образом, в идеале желательнее оценивать воздействие космической погоды на фоне техногенных магнитных полей. Магнитные поля окружающей среды – техногенные низкочастотного диапазона (< 300 Гц) и естественные геомагнитные вариации того же диапазона частот – считаются слабыми. Следует подчеркнуть, что амплитуды вариаций естественного геомагнитного поля (МБ, суббури, магнитные пульсации) на несколько порядков меньше, чем амплитуды вариаций техногенного магнитного поля.

Несмотря на то что как естественные, так и техногенные магнитные поля окружающей среды являются слабыми, имеются свидетельства того, что они могут воздействовать на биосистемы и приводить к проблемам со здоровьем [Темурьянц и др., 1992; Handbook..., 2006]. Наиболее четко установлена связь между МБ и различными заболеваниями сердечно-сосудистой системы, инфарктами, инсультами (см. [Комаров и др., 1989; Roederer, 1995; Птицына и др., 1998; Бреус, Рапопорт, 2003; Бреус и др., 2005] и ссылки в этих работах). В работе [Feigin et al., 2014] на основе шести статистических регистров Австралии, Новой Зеландии и различных стран Европы за 1981–2004 гг. получен вывод об увеличении числа инсультов во время МБ. Причем исследователи выяснили, что ключевым параметром подобного увеличения была интенсивность бурь: во время МБ с величинами $A_p > 60$ наблюдалось достоверное увеличение случаев инсультов. Кроме того, много работ было посвящено поискам связи изменения солнечных и геомагнитных параметров с заболеваниями нервной системы. Даже такие экзотические данные, как число галлюцинаций, зарегистрированных в XIX в. в США, использовались как материал для биомедицинских исследований [Randall W., Randall S., 1991]. И действительно, такие корреляции были обнаружены [Fridman et al., 1953; Chibrikin et al., 1995; Птицына и др., 1998; Бреус, Рапопорт, 2004]. Вполне закономерно эти исследования примыкают к работам, в которых еще со времен А.Л. Чижевского поведение и реакции человека и значимые общественные явления на длительных временных интервалах связывают с изменениями солнечной и магнитной активности [Чижевский, 1976; Chibrikin et al., 1995; Владимирский, 2011, 2012].

Однако в этой области исследований существуют, по крайней мере, две нерешенные проблемы. Во-первых, это значительная несогласованность результатов. В разных исследованиях обнаруживаются корреляции противоположного знака между медико-биологическими параметрами и геомагнитной активностью. Повышение заболеваемости/смертности отмечалось как во время, так и до, и после МБ (см. [Птицына и др., 1998] и список литературы к этой статье). Еще более серьезной, можно сказать, фунда-

ментальной, нерешенной проблемой магнитобиологии является не разработанный до сих пор механизм взаимодействия внешних слабых магнитных полей с организмом человека. Известно, что электрические и магнитные поля, воздействуя посредством различных физических механизмов на животных и человека, приводят к серьезным изменениям в организме (см. [Птицына и др., 1998, 2010] и список литературы в этих статьях). Среди таких механизмов можно отметить изменение движения ионов и молекул, вариации температуры тела из-за нагрева, изменение времени жизни свободных радикалов и ориентации молекул.

Достаточно хорошо, хотя и не полностью, известен механизм действия магнитных полей высокой интенсивности, которые могут вызывать электрическую стимуляцию мускулов и приводить к изменению в клетках или даже их разрушению за счет нагрева или электропорации – создания пор в мембране под действием электрического поля. Но все это относится к эффектам сильных магнитных полей. Слабые техногенные магнитные поля низкочастотного диапазона, которые обычно окружают нас, индуцируют в организме электрические поля, меньшие чем 10^{-3} В/м, или магнитные, меньшие чем ~ 100 мкТл. Слабые электрические и магнитные поля, индуцированные естественными магнитными вариациями, еще на несколько порядков меньше. С физической точки зрения, действие слабых техногенных и естественных геомагнитных полей окружающей среды весьма проблематично, так как оно слабее собственного электромагнитного шума (часто ~ 500 мкТл), возникающего в организме за счет движения заряженных частиц – ионов, энзимов, эритроцитов, протеинов и т.д. Чтобы обойти эту проблему, предлагались различные биофизические идеи: возможность преобразования и усиления процессов на клеточных мембранах; существование резонансного механизма, при котором статическое поле (например, геомагнитное) и поле, меняющееся в низкочастотном диапазоне, при взаимодействии могут вызывать значительные биологические эффекты; наличие особых магнетитовых частиц в мозгу человека, реагирующих на слабые поля, и т.д. (см. обзоры [Goldberg, Creasey, 1991; Roederer, 1995; Птицына и др., 1998; Sadafi et al., 2006; Vincze et al., 2008]). Однако все эти теоретические модели имеют свои ограничения и недостатки, и до сих пор нет общепринятого механизма воздействия магнитных полей на здоровье человека.

В отсутствие такого механизма неясно, какие параметры магнитного поля являются потенциально опасными: амплитуда, частота, амплитудно-частотные комбинации, дискретность, специфическая поляризация или другие [Valberg, 1995; Ptitsyna et al., 2003]. Соответственно, неясно, какой агент космической погоды действует на биологические объекты: интенсивность бури, частотный диапазон (различный для разных фаз бури), наличие внезапного начала бури (т.е. дельта-спектр), наличие сопутствующего форбуш-понижения космических лучей, сопровождающие полярные сияния во время геомагнитных возмущений ультразвук или инфразвук, присутствие шумановского резонанса на частоте 8 Гц и т.д. В различных работах указывается на возможную связь показателей здоровья с этими или другими параметрами космической погоды [Villoresi et al., 1995; Птицына и др., 1998; Cherry, 2002; Breus, Panopom, 2004].

В последнее время получены свидетельства, что таким биотропным агентом могут быть короткопериодные пульсации [Breus и др., 2005б; Panopom и др., 2006; Клейменова и др., 2007; Клейменова, 2013]. Если дальнейшие исследования подтвердят биоэффективность пульсаций, такой подход может оказаться полезным для согласования результатов многих исследований об отрицательных биоэффектах, наблюдаемых во время, а иногда до или после МБ. Дело в том, что короткопериодные пульсации наблюдаются примерно в половине случаев МБ и могут возникать на различных фазах бурь.

Для более подробной разработки этого вопроса и достоверного выявления биоэффективного агента космической погоды нужны дальнейшие исследования. Необходимым исходным элементом таких исследований представляется наличие базы оригинальных данных регистрации магнитных полей со статистикой различного типа МБ и сопутствующих им явлений на длительном интервале времени.

В этой статье мы представляем такую базу данных «АвроМаг», создаваемую в Санкт-Петербургском филиале Института земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (СПбФ ИЗМИРАН). Как нам представляется, она может оказаться полезной для решения различных задач солнечно-земной физики, в том числе задач гелиомагнитобиологии. Сейчас база включает:

- 1) цифровые изображения аналоговых магнитограмм станций «Санкт-Петербург» (1869–1877 гг.) и «Павловск» (1878–1921 гг.), дополняющие оцифрованный нами ранее [Sokolov, Soldatov, 2014] массив дискретных ежечасных величин склонения (D), горизонтальной (H) и вертикальной (Z) составляющих поля на этих станциях за те же годы;
- 2) информацию о МБ, наблюдавшихся на станциях «Павловск» и «Воейково» (1878–1954 гг.) и сведенных ранее в каталоги с разделением бурь по типу и величинам;
- 3) каталог зарегистрированных на станциях российской метеорологической сети в 1837–1909 гг. полярных сияний.

Создание первой части базы – сканирование сохранившихся бумажных магнитограмм второй половины XIX в. и первых десятилетий XX в. и создание online-коллекции их цифровых репродукций – совпадает с усилиями мирового научного сообщества по спасению аналоговых архивов различных обсерваторий для будущих исследований. Эта цель, заявленная в 2003 г. в проекте IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) «Спасение старых аналоговых магнитограмм путем перевода их в цифровую форму», фактически пока достигнута только для нескольких британских магнитных обсерваторий [UK DATA, 2016].

Целью работы по созданию базы данных является перевод имеющихся в архиве СПбФ ИЗМИРАН аналоговых данных геомагнитных наблюдений, а также другой косвенной информации об изменениях космической погоды в прошлом (МБ, появления полярных сияний) в электронную форму, обеспечение online-доступа к ним и создание интерфейса, позволяющего использовать и визуализировать эти данные.

Магнитограммы

На обсерватории SPE («Санкт-Петербург») в 1869–1871 и 1873–1877 гг., а затем на обсерватории SLU («Павловск») в 1878–1941 гг. проводилась непрерывная фоторегистрация вариаций геомагнитного поля магнитографом Эди (Adie) [Stewart, 1860]. Сохранившиеся магнитограммы дают почти непрерывный ряд многолетних наблюдений вариаций D , H и Z , являющийся одним из наиболее продолжительных по времени из существующих. Обсерватории Российской геомагнитной сети были прекрасно оборудованы, и в них использовались самые современные на то время стандарты геомагнитных исследований [Купфер, 1855; Птицына и др., 2009; Тясто и др., 2009]. Наряду с архивом магнитограмм британских обсерваторий эти магнитограммы представляют ценный источник информации о космической погоде и о вариациях геомагнитного поля начиная с 1869 г.

Магнитограммы обсерваторий SPE и SLU – это записи на фотобумаге вариаций одной из компонент (D , H , Z) за одни или двое суток. Количество магнитограмм, полученных за каждый год наблюдений, составляет, таким образом, либо 1095 (365×3 компоненты), либо их число вдвое меньше.

Для сканирования магнитограмм использовался сканер Mustek A3600S. Сканирование с разрешением 600 dpi в цветном формате дает в перспективе возможность оцифровки записей с минутным и большим временным разрешением, а выбранный режим сканирования позволяет выявить на цифровых репродукциях магнитограмм детали записи, в некоторых случаях плохо различимые на бумажных оригиналах. Сейчас переведено в цифровые изображения и архивировано более 37 000 магнитограмм (~ 600 Гб) за 1869–1921 гг.

Базисные линии – прямые под записями вариаций поля – соответствуют постоянным величинам, определявшимся визуально (и независимо от наблюдений магнитографа); их значения, как и цены деления вариометров, приведены в сохранившихся (к сожалению, не для всего периода наблюдений) ежегодных отчетах Петербургской и Павловской обсерваторий. Они использовались при расчетах ежечасных величин D , H и Z , приведенных в этих отчетах (см. сайт СПбФ ИЗМИРАН: <http://db.izmiran.nw.ru/geomag>), и необходимы для абсолютной калибровки наблюдений.

Магнитные бури

Магнитные бури (МБ) – это глобальные возмущения геомагнитного поля, вызванные взаимодействием солнечного ветра с магнитосферой Земли. Традиционно МБ было принято разделять на бури с внезапным началом (*sudden commencement*, SC) и бури с постепенным началом (*gradual commencement*, GC). Внезапное начало вызвано резким увеличением динамического давления солнечного ветра вблизи орбиты Земли, когда в нем наблюдается ударная волна. Бури с внезапным началом чаще всего являются следствием выбросов корональной солнечной массы [*Lindsay et al.*, 1994]. Магнитное возмущение, связанное с ударной волной, регистрируется на магнитограммах наземных обсерваторий как короткий (несколько минут) импульс с амплитудой в единицы, иногда в десятки нанотесл. Идентификация SC зависит от принятых критериев (амплитуды, длительности, количества станций, на котором оно наблюдалось) и особенно от характера последующего геомагнитного возмущения. На Генеральной ассамблее Международной ассоциации геомагнетизма и аэрономии в 1969 г. было принято, что SC – это импульс, за которым следует МБ или увеличение геомагнитной активности с длительностью не менее 1 ч. П. Майо [*Mayaud*, 1973] создал уникальный каталог SC за 100 лет (1869–1968 гг.), применив для отбора критерии, несколько отличавшиеся от использовавшихся ранее. Он предложил считать событиями SC те импульсы, вслед за которыми наблюдается «смена ритма» последующей геомагнитной активности независимо от ее амплитуды и длительности. Это определение SC применяется и в настоящее время, хотя оно несколько субъективно. Согласно [*Curto et al.*, 2007], авторы, использовавшие каталог П. Майо для идентификации МБ с внезапным началом, отмечали, что после SC вместо бурь иногда наблюдались лишь сравнительно слабые возмущения.

Каталоги МБ, изданные в первой половине XX в. [*Moos*, 1910; *McNish*, 1934; *Бенькова*, *Калинин*, 1941; *Newton*, 1948], составлялись их авторами более или менее независимо, с применением собственных (и, следовательно, субъективных) критериев отбора, хотя и в эти, и в более ранние годы происходил постоянный обмен данными наблюдений обсерваторий. Поэтому списки бурь с SC в этих каталогах несколько отличаются друг от друга. Тем не менее морфологические особенности временных распределений МБ, полученные на основе упомянутых каталогов, в целом соответствуют друг другу [*Curto et al.*, 2007]. Проведенный нами анализ показал, что данные британских каталогов [*Moos*,

1910; Sunspot..., 1955] довольно хорошо согласуются с данными каталога [Бенькова, Калинин, 1941] в годы одновременных наблюдений на обсерваториях Гринвича, Павловска и Бомбея, а также с данными *aa*-индексов, созданных и рассчитанных П. Майо в конце 1960-х годов [Mayaud, 1973]. «Официально признанный» список SC сейчас общедоступен

(см. сайт в Интернете: http://isgi.unistra.fr/events_ssc.php). Практически все SC из этого списка видны на магнитограммах (и цифровых изображениях) вариаций *H* и *D*, полученных на обсерваториях SPE и SLU. При этом число SC в упомянутом списке заметно превышает число бурь с SC, выделенных ранее авторами бумажных каталогов. Это связано, главным образом, с тем, что в эти каталоги вносились, как правило, только достаточно большие по амплитуде бури (бóльшие – в Гринвиче, менее сильные – в Бомбее и Павловске) и не учитывались более слабые (и наиболее частые) возмущения, отмеченные П. Майо. Сказанное относится как к бурям с SC, так и к бурям без SC.

В электронную базу «АвроМаг» входят данные о бурях, зарегистрированных на обсерваториях в Павловске и Воейково в 1878–1954 гг. Как уже говорилось, в бумажных каталогах все МБ были разделены на бури с SC и без SC [Бенькова, Калинин, 1941; Справочник..., 1954; Афанасьева, Бычкова, 1979]. В этих каталогах использовалась собственная амплитудная классификация МБ: по максимальному размаху отклонений (в нанотеслах) D (R_d), H (R_h) и Z (R_z), отличающаяся от классификации бурь британских ученых на обсерваториях Гринвича и Бомбея. «Умеренные» бури соответствуют в этой классификации $35 < R_d \leq 70$, или $150 < R_h \leq 300$, или $150 < R_z \leq 300$. «Большими» считались бури с $70 < R_d \leq 115$, или $300 < R_h \leq 500$, или $300 < R_z \leq 500$. Наконец, к «очень большим» отнесены бури с $R_d > 115$, или $R_h > 500$, или $R_z > 500$. Так называемые «малые» бури, меньшие по амплитуде, чем «умеренные», не учитывались из-за трудности выделения времени их начала и окончания. Позднее классификация МБ по величине стала проводиться при помощи индексов геомагнитной активности (a_p , k_p , D_{st} , aa , k_{aa} и др.; см. сайт в Интернете: http://isgi.unistra.fr/geomagnetic_indices.php).

Данные о бурях за 1942–1946 гг. взяты нами из [Справочник..., 1954; Афанасьева, Бычкова, 1979], где приведены списки МБ, зарегистрированных одновременно в г. Свердловск (географическая широта $\varphi = 56.49^\circ$, геомагнитная широта $\Phi = 48.36^\circ$), куда была эвакуирована на время войны Павловская обсерватория ($\varphi = 59.6^\circ$; $\Phi = 56.14^\circ$), а также в обсерваториях, расположенных в городах Средникан, Южно-Сахалинск, Ташкент и Иркутск.

Полярные сияния

Полярные сияния, как и магнитные бури, являются отражением нестационарных процессов на Солнце, в гелиосфере, земной магнитосфере и ионосфере. Полярные сияния наблюдались на протяжении столетий невооруженным глазом; они являются незаменимым инструментом для изучения взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли, пересоединения магнитных силовых линий и долговременных вариаций этих процессов. Анализ авроральных событий важен для понимания физики магнитосферы и космической погоды.

Наблюдение и обработка метеорологических данных, в том числе наблюдения и документация полярных сияний, велись единообразными методами [Кунфер, 1857; Вильд, 1869]. Данные наблюдений публиковались в виде ежегодников Главной физической

обсерватории сначала как «Annuaire magnetique et meteorologique...» [Annuaire..., 1843–1849]. Затем наблюдения стали публиковаться ежегодно в издании «Свод наблюдений...» [Свод..., 1855–1865]. С 1865 г. Свод заменили Летописи Главной физической обсерватории [Летописи..., 1852–1855, 1872]. Мы извлекли данные о наблюдении полярных сияний на различных станциях сети из этих ежегодников. Координаты станций, на которых были зафиксированы полярные сияния, приведены в сопутствующей таблице и отражены на интерактивной карте.

Наша база включает появления сияний в 1837–1909 гг. на 141 станции, расположенных в широком диапазоне широт как в Европейской, так и в Азиатской части России. Число станций менялось на протяжении столетия, т.е. приведенный их набор не являлся постоянным для всех лет наблюдений. Отметим, что некоторые станции, данные которых включены в ежегодники, не находились на территории России, но исторические или иные связи позволяли российским метеорологам проводить наблюдения на этих станциях. Так, например, это делалось в г. Ситка на Аляске, принадлежавшей России до 1867 г., в г. Пекин, где измерения проводились при российском посольстве, а также в норвежском г. Хаммерфест.

В создаваемой нами базе содержится ~ 3000 событий (N). Частота сияний N вычислялась как число суток, когда наблюдалось явление, суммированных за год независимо от числа станций, где это сияние регистрировалось. Например, грандиозное полярное сияние 04.02.1872 г. наблюдалось на 31 российской станции от г. Вильно до г. Енисейск, в г. Ташкент и повсеместно на Кавказе. Но в нашем каталоге оно регистрировалось как одно событие.

Характеристики базы данных «АвроМаг»

Создаваемая нами информационная система функционирует на базе специализированного Линукс-сервера СПбФ ИЗМИРАН. Для облегчения доступа через Интернет исходные сканы магнитограмм в формате tiff (~ 17 Мб каждый) конвертируются в более легкий формат jpg, затем изображения размещаются в специализированной базе данных. Для обеспечения поиска файлы маркируются в соответствии с выбранными критериями. Доступ к данным осуществляется посредством системы управления контентом (CMS). Для удобства просмотра и масштабирования графиков высокого разрешения предусмотрено использование специализированного программного обеспечения – потокового веб-сервера изображений.

Пример отбора и визуализации данных

Визуализация является необходимым и одним из наиболее эффективных методов анализа данных в области солнечно-земной физики. В базе данных «АвроМаг» особое внимание уделено визуализации данных. Программное обеспечение, которое осуществляет визуализацию данных в базе, удовлетворяет двум основным требованиям; оно дает возможность увидеть сразу глобальную картину, а при необходимости увеличить степень детализации.

В этом разделе приводится алгоритм использования базы данных «АвроМаг» на примере исследования магнитной бури 24–25.10.1870 г. Это была очень примечатель-

ная магнитная буря, которая регистрировалась вблизи максимума 11-летнего цикла солнечной активности. Во время этой бури наблюдалось одно из трех так называемых великих полярных сияний XIX в., видимых по всему земному шару вплоть до очень низких широт.

Зайдя на соответствующую страницу сайта – сервера баз данных СПбФ ИЗМИРАН (URL: <http://db.izmiran.nw.ru/geomag>), пользователь может перейти на начальную страницу коллекции магнитограмм (рис. 1). Далее надо выбрать ту компоненту магнитного поля, которая его интересует, год и месяц. На рис. 2 представлены магнитограммы D - и H -компонент магнитного поля, измеренного на обсерватории в г. Санкт-Петербург 23–27.10.1870 г. В этот период произошли две экстремально большие МБ, причем вторая, более мощная, наложилась по времени на первую. Первая буря началась внезапно 24.10.1870 г. в 09:54 UT (11 ч 56 мин в г. Санкт-Петербург). Амплитуда SC достигла почти 50 нТл в H -компоненте и $10'$ в D -компоненте, а сама буря имела амплитуду почти в 1.5° ($88'$) в D -компоненте, 400 нТл в H -компоненте и 450 нТл в Z -компоненте. Пиковое значение трехчасового aa -индекса 24.10.1870 г. составило 337 , среднесуточного Aa -индекса – 139 . Вторая буря также началась с SC в 12:12 UT (14 ч 14 мин в г. Санкт-Петербург) 25.10.1870 г., а закончилась в начале следующего дня; она имела экстремальные амплитуды: более $59'$ в D -компоненте, 1150 нТл в H -компоненте и 775 нТл в Z -компоненте. Величины aa - и Aa -индексов составили 464 и 189 соответственно.

Предлагаемое нами программное обеспечение позволяет увеличить цифровое изображение на любом участке для того, чтобы рассмотреть его с большей дискретностью и исследовать мелкие детали. Например, увеличение можно использовать для поиска пульсаций, которые могли бы быть биоэффективным элементом бури. Отметим, в частности, что на различных участках записи на рис. 2 видны пульсации $Pc5$ – 6 . Однако подробное исследование этих элементов бури не входило в нашу задачу.



Рис. 1. Начальная страница коллекции магнитограмм из базы данных «АвроМаг», выложенной на сайте СПбФ ИЗМИРАН (URL: <http://db.izmiran.nw.ru/geomag>)

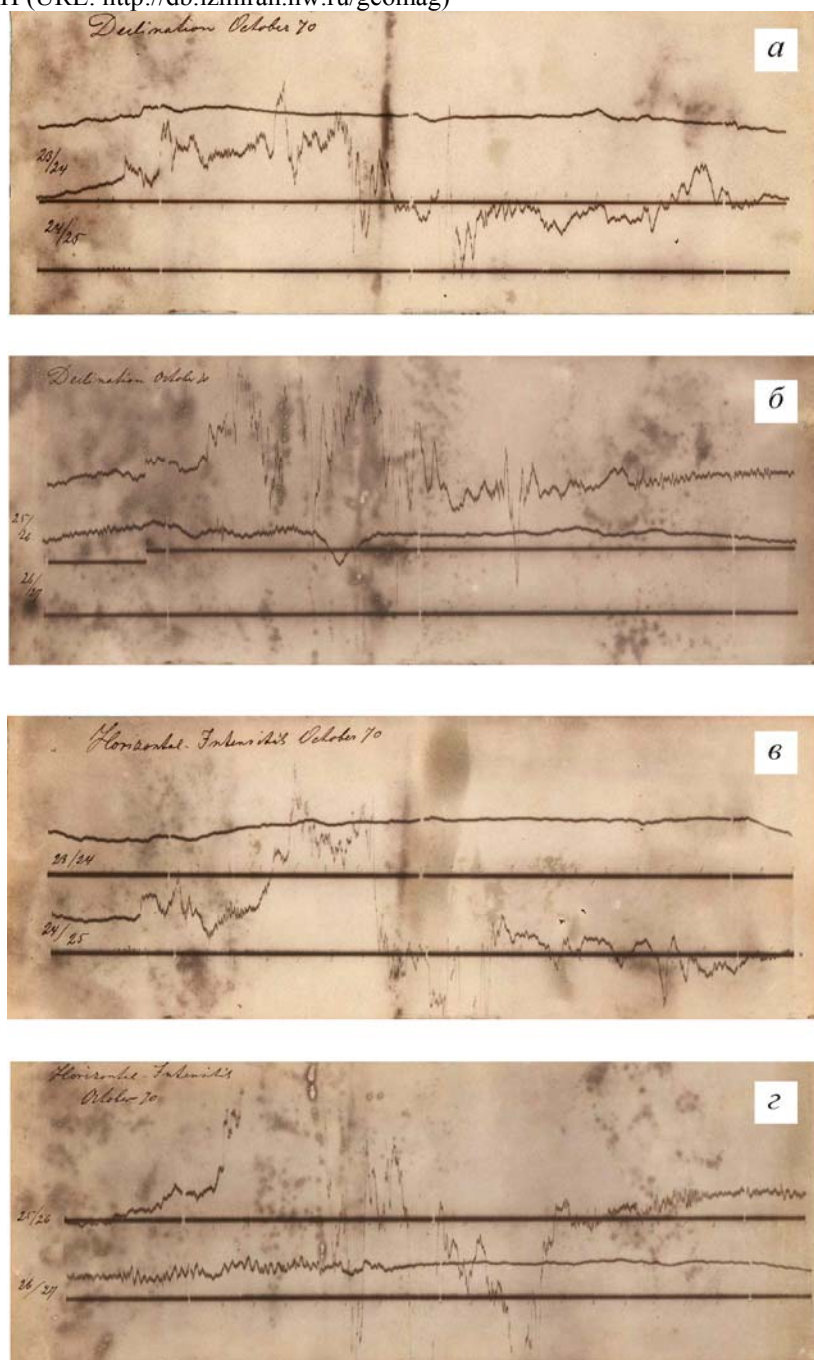


Рис. 2. Магнитограммы склонения D (а, б) и горизонтальной компоненты H (в, г) геомагнитного поля в г. Санкт-Петербург 23–25.10 (а, в) и 25–27.10 (б, г) 1870 г.

Двухсуточные записи D и H начинаются и заканчиваются около 9 ч утра (время местное, равное UT плюс 2 ч 2 мин)

Далее можно посмотреть, где в России наблюдались полярные сияния во время этой бури. Пользователь должен зайти на начальную страницу каталога полярных сияний и выбрать необходимую дату. Ниже приведена страница из каталога для октября 1870 г. (даты приведены по новому стилю):

«1870, Окт. – 01. Богословск, Кемь. – 14. Варшава, Вильна, Виндава, Балтийский порт. – 15. Богословск. – 19. Гогландский маяк. – 20. Архангельск. – 21. Архангельск. – 24. Екатеринбург, Нерчинск, Богословск, Златоуст, Варшава, Вильна, Оренбург, Иргиз, Кронштадт, Кемь, Виндава, Архангельск, Грозное, Ставрополь, Балтийский порт, Урга. – 25. Екатеринбург, Нерчинск, Москва, Киев, Златоуст, Варшава, Вильна, Оренбург, Иргиз, Николаев, Кронштадт, Кемь, Виндава, Ревель, Архангельск, Тифлис, Гудаурь, Грозное, Ставрополь, Поти, Баку, Форт №1. – 26. Дерпт, Златоуст, Иргиз, Поти».

Видно, что 25.10.1870 г. полярное сияние наблюдалось на 22 станциях, расположенных в основном в Европейской части России. В то же время станции, расположенные восточнее г. Екатеринбург, не зафиксировали сияние, что может свидетельствовать об асимметрии аврорального овала во время этой магнитной супербури. Данные базы «АвроМаг» позволяют также проследить временную динамику этого аврорального возмущения. Оказывается, что полярные сияния наблюдались также 24 (16 станций) и 26.10.1870 г. (4 станции).

Заключение

До настоящего времени научное сообщество имело доступ только к коллекции старых британских магнитограмм [UK DATA, 2016]. Нами отсканированы магнитограммы 1869–1921 гг., хранящиеся в СПбФ ИЗМИРАН и представляющие собой один из самых длинных из существующих в мире рядов непрерывных наблюдений. Цифровые изображения магнитограмм детализируют дискретные ежечасные табличные значения магнитного поля, оцифрованные нами ранее [Sokolov, Soldatov, 2014]. Данные о МБ различного типа, наблюдавшихся на обсерваториях «Павловск» и «Воейково», а также о полярных сияниях, отмеченных наблюдателями на 141 станции Российской метеорологической сети, дополняют весьма скудную информацию о космической погоде в XIX в. и первой половине XX в.

Перевод магнитограмм в цифровой формат и создание базы данных «АвроМаг» позволяет сохранить уникальную информацию о магнитном поле планеты, полученную российскими магнитологами в XIX – начале XX в., и представить эту информацию мировому геофизическому сообществу в современной электронной форме с интернет-доступом. Цифровые изображения магнитограмм, электронные данные о МБ и полярных сияниях в России дают возможность детализировать исследования различных аспектов космической погоды в допутниковую эпоху.

В частности, табличные ежечасные значения магнитного поля в городах Санкт-Петербург и Павловск использованы для реконструкции геомагнитной активности в конце XIX в. и коррекции существующих индексов геомагнитной и солнечной активности [Lockwood et al., 2014]. Кроме того, были выявлены особенности экстремальных магнитных бурь XIX в., таких, например, как буря 02.09.1859 г. [Птицына и др., 2009; Тясто и др., 2009].

Еще одним примером использования данных базы «АвроМаг» является изучение долговременных вариаций в частоте появления полярных сияний. В работе [Птицына и др., 2017] установлено наличие 22-летнего цикла частоты появления полярных сияний; при этом 22-летняя вариация имеет разный характер в зависимости от широты, на которой наблюдаются полярные сияния.

Литература

- Афанасьева В.И., Бычкова А.К.* Сводный каталог магнитных бурь за 1949–1958 годы. М.: ИЗМИРАН, 1979. С. 7–93.
- Бенькова Н.П., Калинин Ю.Д.* Каталог магнитных бурь Слуцкой магнитной обсерватории // Космические данные: Декадный обзор. Л.; М.: Гидрометеиздат, 1941. Вып. 125. С. 8; Вып. 126. С. 5; Вып. 127. С. 5.
- Бреус Т.К., Рапопорт С.И.* Магнитные бури: Медико-биологические и геофизические аспекты. М., 2004. 253 с.
- Бреус Т.К., Комаров Ф.И., Рапопорт С.И.* Медицинские эффекты магнитных бурь // Клиническая медицина. 2005а. № 3. С. 4–12.
- Бреус Т.К., Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Рапопорт С.И.* Возможное биотропное влияние геомагнитных пульсаций $Pc1$ (0.2–5.0) на сердечно-сосудистую систему // Материалы 3-й Междунар. конф. «Болезни цивилизации в аспекте учения В.И. Вернадского», г. Москва, 10–12 октября 2005 г. М.: Изд-во РУДН, 2005б. С. 50.
- Вильд Г.И.* Инструкция для метеорологических станций. СПб.: Тип. Императ. Акад. наук, 1869. 98 с.
- Владимирский Б.М.* Большие минимумы солнечной активности и социодинамика культуры // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 4. С. 30–44.
- Владимирский Б.М.* Большие максимумы солнечной активности и социокультурная динамика // Геофизические процессы и биосфера. 2012. Т. 11, № 4. С. 47–58.
- Клейменова Н.Г.* Пульсации в геомагнитном поле как важный биотропный фактор космической погоды // Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле: Тр. Междунар. конф., г. Москва, 4–8 июня 2012 г. / Под ред. А.И. Григорьева, Л.М. Зеленого. М.: ИКИ РАН, 2013. Т. 1. С. 163–183.
- Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Бреус Т.К., Рапопорт С.И.* Сезонные вариации инфарктов миокарда и возможное биотропное влияние короткопериодных пульсаций геомагнитного поля на сердечно-сосудистую систему // Биофизика. 2007. Т. 52, вып. 6. С. 1112–1119.
- Комаров Ф.И., Бреус Т.К., Рапопорт С.И., Мусин М.М., Наборов И.В.* Гелиогеофизические факторы и их воздействие на циклические процессы в биосфере. М., 1989. 175 с. (Итоги науки и техники. Сер. Медицинская география. Т. 18).
- Купфер А.Я.* Наставление к производству магнитных и метеорологических наблюдений, составленное директором Главной физической обсерватории для магнитных обсерваторий Горного ведомства: Прибавление к Своду наблюдений за 1852 г. Изд. 2-е / Ред. А.Я. Купфер. СПб.: Изд. Корпуса горн. инженеров, 1855. С. 35–53.
- Купфер А.Я.* Руководство к производству метеорологических наблюдений, составленное А.Я. Купфером, директором Главной физической обсерватории. СПб.: Тип. А. Якобсона, 1857. 16 с.
- Летописи Главной физической обсерватории. Тома за 1849–1852 гг. / Под ред. А. Купфера, СПб.: Изд-во А. Якобсона, 1852–1855.
- Летописи Главной физической обсерватории за 1870 г. / Изд. Г. Вильд. СПб.: Тип. Императ. Акад. наук, 1872.
- Птицына Н.Г., Тясто М.И., Храпов Б.А.* Очень большие геомагнитные бури в 1841–1870 гг. по данным сети Российских геомагнитных обсерваторий // Геомагнетизм и аэрономия. 2009. Т. 52, № 5. С. 649–659.
- Птицына Н.Г., Тясто М.И., Храпов Б.А.* 22-летний цикл в частоте появления полярных сияний в XIX веке: Широтные эффекты // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. № 57 (2). С. 208–216.
- Птицына Н.Г., Виллорези Дж., Дорман Л.И., Юччи Н., Тясто М.И.* Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья // Успехи физ. наук. 1998. Т. 168, № 7. С. 767–791.

- Птицына Н.Г., Виллорези Дж., Копытенко Ю.А., Тясто М.И. Магнитные поля на электро-транспорте и экология человека. СПб.: Изд-во Нестор-История, 2010. 120 с.
- Рапопорт С.И., Бреус Т.К., Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Малиновская Н.К. Геомагнитные пульсации и инфаркты миокарда // Терапевтический архив. 2006. № 4. С. 56–60.
- Свод наблюдений, произведенных в Главной физической и подчиненных ей обсерваториях под руководством академика А. Купфера. Тома за 1848, 1853–1862 гг. СПб.: Изд-во А. Якобсона, 1851, 1855–1865.
- Справочник по переменному магнитному полю СССР / Под ред. В.И. Афанасьевой. Л.: Гидрометеорол. изд-во, 1954. С. 212–266.
- Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. Киев: Наук. думка, 1992. 188 с.
- Тясто М.И., Птицына Н.Г., Веселовский И.С., Яковчук О.С. Экстремально сильная геомагнитная буря 2–3 сентября 1859 года по архивным магнитным данным российской сети наблюдений // Геомагнетизм и аэрономия. 2009. Т. 49, № 2. С. 163–168.
- Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. Изд. 2-е / Отв. ред. П.А. Коржуев. М.: Мысль, 1976. 555 с.
- Annuaire magnetique et meteorologique du corps des ingenierus des mines de Russie. Annee 1841–1846 / Ed. A.T. Kupffer. St.-Petersbourg: l'Imprimerie de A. Jacobson, 1843–1849.
- Cherry R. Schumann resonances – a plausible biophysical mechanism for the human health effects of Solar/geomagnetic activity // Natural Hazards. 2002. V. 26. P. 279–331.
- Chibrikin V.M., Samovichev E.G., Kashinskaia I.V. Dynamics of social processes and geomagnetic activity. 1. Periodic components of variations in the number of recorded crimes in Moscow // Biofizika. 1995. V. 40. P. 1050–1053.
- Curto J.J., Araki T., Alberca L.F. Evolution of the concept of sudden storm commencements and their operative identification // Earth Planets Space. 2007. V. 59. P. i–xii.
- Feigin V.L., Parmar P.G., Barker-Collo S., Bennett D.A., Anderson C.S., Thrift A.G., Stegmayr B., Rothwell P.M., Giroud M., Bejot Ya., Carvil P., Krishnamurthi R., Kasabov N. Geomagnetic storms can trigger stroke: Evidence from 6 large population-based studies in Europe and Australasia // Stroke. 2014. V. 45, N 6. P. 1639–1651.
- Friedman H., Becket R.O., Bachman C.H. Geomagnetic parameters and psychiatric hospital admissions // Nature. 1953. V. 200. P. 626–628.
- Handbook of biological effects of electromagnetic fields. 3rd ed. / Eds F.S. Barnes, B. Geenebaum. CRC Press, 2006. 960 p.
- Goldberg R.B., Creasey W.A. A review of cancer induction by extremely low frequency electromagnetic fields: Is there a plausible mechanism? // Med. Hyp. 1991. V. 35. P. 265–274.
- Lindsay G.M., Luhmann J.G., Russell C.T., Gaziz P.R. On the sources of interplanetary shocks at 0.72 AU // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. P. 11–17.
- Lockwood M., Nevanlinna H., Vokhmyanin M., Ponyavin D., Sokolov S., Barnard L., Owens M.J., Harrison R.G., Rouillard A.P., Scott C.J. Reconstruction of geomagnetic activity and near-Earth interplanetary conditions over the past 167 yr. Pt. 3: Improved representation of solar cycle 11 // Ann. Geophys. 2014. N 32. P. 367–381. DOI 10.5194/angeo-32-367-2014.
- Mayaud P. A hundred year series of geomagnetic data, 1868–1967: Indices *aa*, storm sudden commencements // IAGA Bull. N 33. Paris: IUGG Publ. Office, 1973. P. 256.
- McNish A.G. Sudden commencements at Watheroo // Comptes rendues Assemblee de Lisbonne. 1933. IATME Bull. 1934. N 9. P. 234–238.
- Moos N.A.F. Magnetic observations made at the Government Observatory for the period 1846 to 1905. Pt. II. The phenomenon and its discussions. Bombay: Printed at the Government Central Press by order of His Majesty's Government, 1910. P. 452–453, 457–459.

- Newton H.W.* «Sudden commencements» in the Greenwich magnetic records (1879–1944) and related sunspot data // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 1948. V. 5. P. 159–185.
- Ptitsyna N.G., Kopytenko Y.A., Villorosi G., Pflugger D.H., Ismaguilov V.S., Iucci N., Kopytenko E.A., Zaitzev D.B., Voronov P.M., Tyasto M.I.* Waveform magnetic field survey in Russian DC- and Swiss AC-powered trains: A basis for biologically relevant exposure assessment // *Bioelectromagnetics*. 2003. V. 24. P. 546–556.
- Randall W., Randall S.* The solar wind and hallucinations: A possible relation due to magnetic disturbances // *Bioelectromagnetics*. 1991. V. 12, N 1. P. 67–70.
- Roederer J.G.* Are magnetic storms hazardous to your health? // *EOS Transactions, Amer. Geoph. Union*. 1995. V. 76. P. 441–456.
- Sadafi H.A., Mehboodi Zh., Sardar D.* A review of the mechanisms of interaction between the extremely low frequency electromagnetic fields and human biology // *Symp. on Progress in electromagnetics research, Cambridge, USA, 2006. March 26–29. Cambridge, 2006.*
- Sokolov S.N., Soldatov V.A.* Geomagnetic observations at Pavlovsk Observatory in 1878–1914 // *Proc. of the 10th Inter. conf. «Problems of geocosmos», Oct. 6–10, 2014, St.-Petersburg, Russia. St.-Petersburg, 2014. P. 407–409.*
- Stewart B.* An account of the construction of the self-recording magnetographs at present in operation at the Kew Observatory of the British Association // *Rep. of the British Assoc. for the advancement of sci. for 1859. London: Taylor & Francis, 1860.*
- Sunspot and geomagnetic-storm data derived from Greenwich observations 1874–1954. London: Her Majesty's Stationery Off., 1955. App. 1. P. 102–103.
- UK DATA. URL: <http://www.bgs.ac.uk/data/Magnetograms/home.html>. Дата обращения: 01.09.2016 г.
- Valberg P.A.* Designing EMF experiments: What is required to characterize «exposure»? // *Bioelectromagnetics*. 1995. V. 16. P. 396–401.
- Villorosi G., Dorman L.I., Ptitsyna N.G., Iucci N., Tyasto M.I.* Forbush decreases as indicators of health-hazardous geomagnetic storms // *Proc. 24 Inter. cosmic ray conf. Roma, 1995.*
- Vincze G., Szasz A., Liboff A.R.* New theoretical treatment of ion resonance phenomena // *Bioelectromagnetics*. 2008. V. 29. P. 380–386.

Сведения об авторах

ПТИЦЫНА Наталья Григорьевна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 5Б. Тел.: +7 (812) 323-78-45. E-mail: nataliaptitsyna@ya.ru

PTITSYNA Natalia G. – Ph.D., senior researcher, St.-Petersburg Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences. St.-Petersburg, Russia. Tel.: +7 (812) 323-78-45. E-mail: nataliaptitsyna@ya.ru

СОКОЛОВ Сергей Николаевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 5Б. Тел.: +7 (812) 323-78-45. E-mail: sergnsokolov@yandex.ru

SOKOLOV Sergei N. – Ph.D., senior researcher, St.-Petersburg Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences. St.-Petersburg, Russia. Tel.: +7 (812) 323-78-45. E-mail: sergnsokolov@yandex.ru

СОЛДАТОВ Вадим Алексеевич – ведущий инженер, Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 5Б. Тел.: +7 (812) 323-78-45. E-mail: Vadim.A.Soldatov@gmail.com

SOLDATOV Vadim A. – M.Sci., leading engineer, St.-Petersburg Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences. St.-Petersburg, Russia. Tel.: +7 (812) 323-78-45. E-mail: Vadim.A.Soldatov@gmail.com

ТЯСТО Марта Ильинична – заведующая Лабораторией магнитосферных возмущений, Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 5Б. Тел.: +7 (812)323-78-45. E-mail: mtyasto@mail.ru

TYASTO Marta I. – D.Sci., Head of Laboratory of Magnetospheric Disturbances, St.-Petersburg Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences. St.-Petersburg, Russia. Tel.: +7 (812) 323-78-45. E-mail: mtyasto@mail.ru

DATABASE OF HISTORICAL GEOMAGNETIC AND AURORAL ACTIVITY ORIENTED FOR SOLAR-TERRESTRIAL RESEARCH

N.G. Ptitsyna, S.N. Sokolov, V.A. Soldatov, M.I. Tyasto

St.-Petersburg Branch of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation,
Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, Russia

Abstract. In recent years in situ data have resulted in explosive growth in our knowledge and understanding of solar-terrestrial processes. However, the space era began only in the mid-20th century and thus in situ data alone is not enough for analyses of the solar driven geomagnetic variations from decades to centuries. The Russian network of magnetic and meteorological observatories provides one of the longest data series. The magnetograms of St.-Petersburg (SPE, 1869–1877), Pavlovsk (SLU, 1878–1941) and Voeikovo (LNN, 1946–2016) provide a multi-year series of continuous records of variations of the declination (D), horizontal (H) and vertical (Z) components of the geomagnetic field. We created an archive of the collection of magnetograms as digital images and made these images available online. The database also includes data for geomagnetic storms from the catalogues of Pavlovsk (1878–1941) and Voeikovo (1947–1954) as well as data on the auroras registered by 141 Russian meteorological stations in 1837–1909. Our database is designed for providing web access to the Russian collection of historical geomagnetic and auroral activity information. It is targeted specifically for the research in various aspects of the space weather and climate, including heliomagnetobiology. User is given an easy access to the individual magnetograms at various zoom levels.

Keywords: database, digital image, magnetogram, magnetic storm, aurora borealis, historical data on geomagnetic and auroral activity.