

DOI: 10.18454/2079-6641-2017-18-2-89-98

УДК 512.24

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ И ВИСТЛЕРОВ

Ф. В. Королев

Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032,
г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4

E-mail: korolevfedos@yandex.ru

Велась разработка web интерфейса, для визуализации расчета пространственного распределения корреляционных связей между интенсивностью потока вистлеров и планетарной грозовой активностью.

Ключевые слова: вистлер, атмосферика, гроза, корреляция, AWDANet, WWLLN

© Королев Ф. В., 2017

MSC 68U35

THE PROGRAM COMPLEX FOR ANALYSIS OF THUNDERSTORM ACTIVITY AND WHISTLERS

F. V. Korolev

Vitus Bering Kamchatka State University, 683032, Petropavlovsk-Kamchatsky,
Pogranichnaya st., 4, Russia

E-mail: korolevfedos@yandex.ru

A web interface was developed to visualize the calculation of the spatial distribution of correlation links between the whistler flux intensity and planetary thunderstorm activity.

Keywords: Whistler, atmosphere, thunderstorm, correlation, AWDANet, WWLLN

© Korolev F. V., 2017

Введение

Изучение магнитосферно-ионосферных является актуальной задачей фундаментальной науки, расширяя наши знания о процессах в верхней атмосфере и околоземном космическом пространстве, и в то же время напрямую связано с прикладной задачей контроля и прогноза космической погоды.

Магнитосфера – область околоземного космического пространства, в которой поведение плазмы контролируется магнитным полем Земли [1]. В результате обтекания солнечным ветром магнитосферы Земли образуется магнитная полость, размеры которой определяются динамическим равновесием кинетического давления плазмы, солнечным ветром и магнитным давлением поля Земли. Уменьшение давления солнечного ветра на плазму приводит к увеличению объема магнитосферы и заполнению её ионосферной плазмой. Ключевую роль при описании динамики плазмы играют разнообразные электростатические и электромагнитные колебания и волны. Наряду с внутренними источниками волн в плазме важную роль в динамике магнитосферно-ионосферной системы играют внешние источники, которые могут иметь естественную природу, например, излучение молниевых разрядов во время грозовой активности. Волна, образованная импульсным излучением, уходящая в магнитосферу Земли и возвращающаяся обратно в магнитно-сопряженную точку, где она и может быть зарегистрирована – называется вистлером [2].

Свистящие атмосферерики (вистлеры) - особые радиосигналы диапазона очень низких частот (ОНЧ), возникающие в результате распространения электромагнитного импульса грозового разряда в плазмосфере Земли вдоль силовой трубки магнитного поля. Во время движения вистлер претерпевает частотную дисперсию: сначала приходят высокочастотные составляющие сигнала, затем, с нарастающим запаздыванием, более низкие частоты. Вид дисперсионных кривых при этом существенно зависит от состояния плазмосферы, в частности от электронной концентрации, что делает вистлер естественным индикатором состояния плазмосферы Земли. В связи с этим исследование вистлеров является актуальной задачей для изучения космической погоды [3].

Программный комплекс

В ходе проделанной работы было спроектировано web-приложение для сопоставления данных, зарегистрированных всемирной сетью локализации гроз (*WWLLN*), с данными, зарегистрированными автоматической системой распознавания и анализа вистлеров (*AWDANet*). Данные в программу загружаются из *.log*-файлов, которые пользователь загружает на сервер. В программе предусмотрены фильтрация по уровню возмущенности магнитного поля (*k* и *kp/ap* индексы), а также возможность выбора информации о грозах и вистлерах, зарегистрированных в дневное время.

На первом этапе прямо во время считывания информации о грозах из *.log*-файла происходит распределение ударов молний (*УМ*) по ячейкам градусной сетки Земли в зависимости от заданного пользователем разбиения. В проведенных экспериментах было выбрано разбиение на ячейки размером 3 градуса по долготе и широте. Затем для каждой ячейки вычисляется количество *УМ* на каждом 15 минутном интервале в течение рассматриваемого периода времени.

В памяти компьютера эта информация хранится в виде двумерного массива из $\frac{360}{D} \times \frac{180}{D} \times k$ элементов (рис.1), где D – введенный пользователем размер ячейки в градусах по долготе и по широте, k – количество 15-минутных интервалов в загруженных файлах, т.е. каждый элемент массива содержит еще один массив, предназначенный для группировки гроз по минутным интервалам.

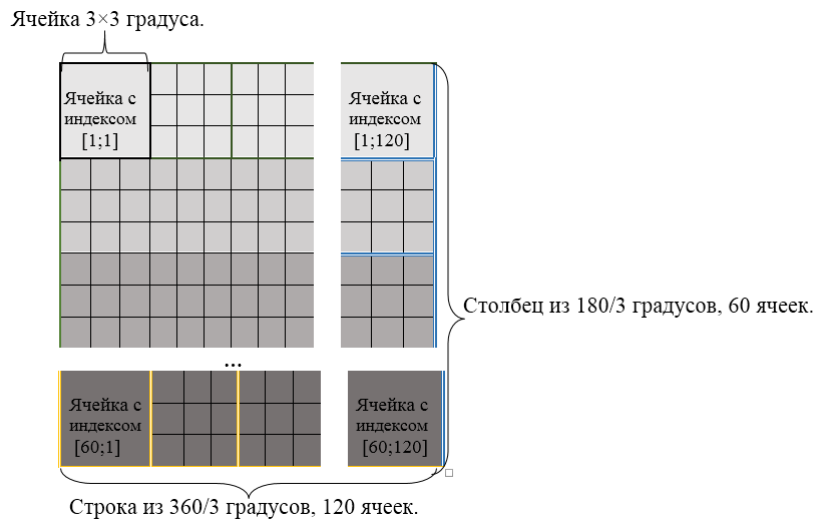


Рис. 1. Структура массива с грозам

Представление массива в памяти предполагает, что каждые $\frac{360}{D}$ элементов образуют новую строку, итого получаем $\frac{180}{D}$ строк, однако индексация идет по порядку. Индексация элементов основного массива в случае $D = 3$ представлена на (рис.2).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	...	240
...										7200

Рис. 2. Нумерация ячеек в массиве

Во время считывания очередной строки из *.log*-файла определяются минутный интервал и номер ячейки градусной сетки анализируемых данных, после чего полученные значения суммируется с ранее посчитанным количеством УМ для выбранной ячейки. Если пользователь указал что нужна фильтрация всех данных только в дневное время то, на каждое считывание строки накладывается фильтр по времени восхода и захода солнца которое вычисляет класс *SunriseSunset.java*. Данному классу для вычислений необходимо передать широту, долготу, дату и сдвиг по времени формата *UTC*(в случае Камчатки это +12). Если пользователь указал фильтрацию по индексам возмущенности геомагнитного поля, то при считывании сравнивается значение введенное пользователем со значением каждого трехчасового интервала из загруженного файла индексов.

Главными достоинствами предложенного алгоритма считывания и способа представления данных в памяти, являются:

- Быстрая обработка и структурирование огромных объемов данных.
- Для массива с грезами не хранятся ячейки с нулевыми значениями, это позволяет эффективнее использовать память.
- Структура массива удобна для будущего расширения функционала программы.
- Возможность легкой адаптации под любую структуру считываемых данных.

После распределения загруженных данных по массиву происходит расчет корреляционной зависимости между количеством УМ для каждой ячейки градусной сетки и количеством зарегистрированных на полуострове Камчатка вистлеров.

Обозначим через X вектор значений количества УМ по 15 минутным фрагментам в заданной ячейке градусной сетки Земли, а через Y вектор значений количества зарегистрированных на полуострове Камчатка вистлеров по тем же 15 минутным фрагментам.

Согласно технологии быстрого расчета корреляционных коэффициентов для текущей градусной ячейки рассчитывается среднее и среднее квадратов по X :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

$$(\bar{x})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)^2, \quad (2)$$

для данных о зарегистрированных вистлерах рассчитывается среднее и среднее квадратов по Y :

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (3)$$

$$(\bar{y})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i)^2. \quad (4)$$

Далее по формуле (5) рассчитывается ковариация, по формуле (6) и (7) дисперсия по X , Y .

$$cov = \bar{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y} \quad (5)$$

$$\sigma_x = \bar{x^2} - (\bar{x})^2 \quad (6)$$

$$\sigma_y = \bar{y^2} - (\bar{y})^2 \quad (7)$$

По формуле (8) рассчитывается корреляционная зависимость между векторами значений X и Y .

$$cor = \frac{cov}{\sqrt{\sigma_x} \cdot \sqrt{\sigma_y}} \quad (8)$$

Расчеты повторяются для каждой ячейки градусной сетки, причем если σ_x или σ_y равны нулю то расчет не производится и корреляция считается равной нулю.

После завершения расчетов генерируется *.lxt*-файл с вычисленными коэффициентами корреляции, записанными в виде трех столбцов - долгота, широта, коэффициент корреляции. Также генерируется *.gnu*-файл, предназначенный для представления полученных значений в графическом виде на карте, в системе *gnuplot* (Рис.3).

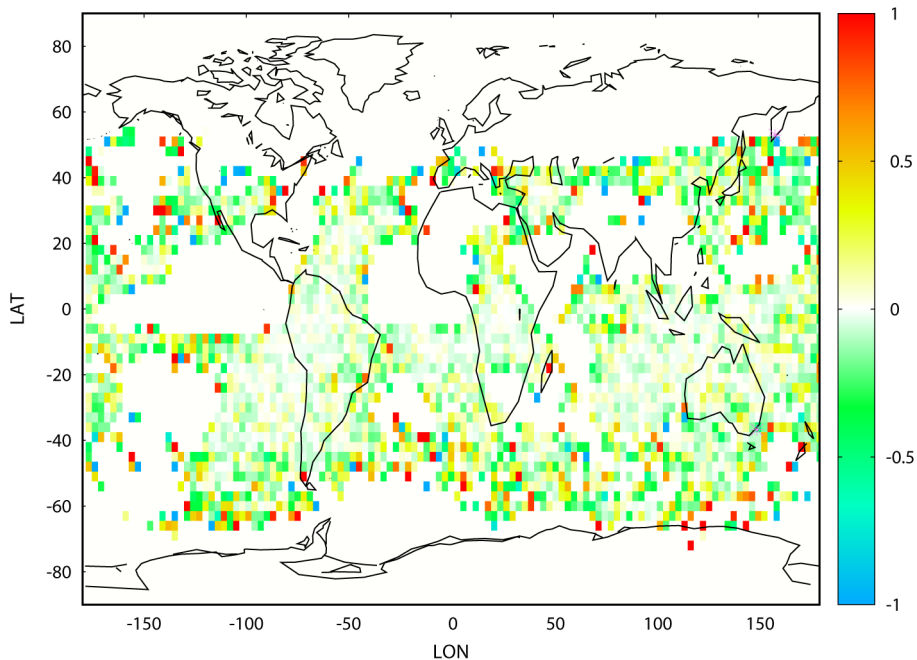


Рис. 3. Построение корреляционных значений из посчитанного файла в *gnuplot*.

Еще одной возможностью разработанного web-приложения является визуализация карты с данными расчетов в окне браузера, при этом по наведению курсора мыши выводится информация о выбранной ячейке (Рис.4).

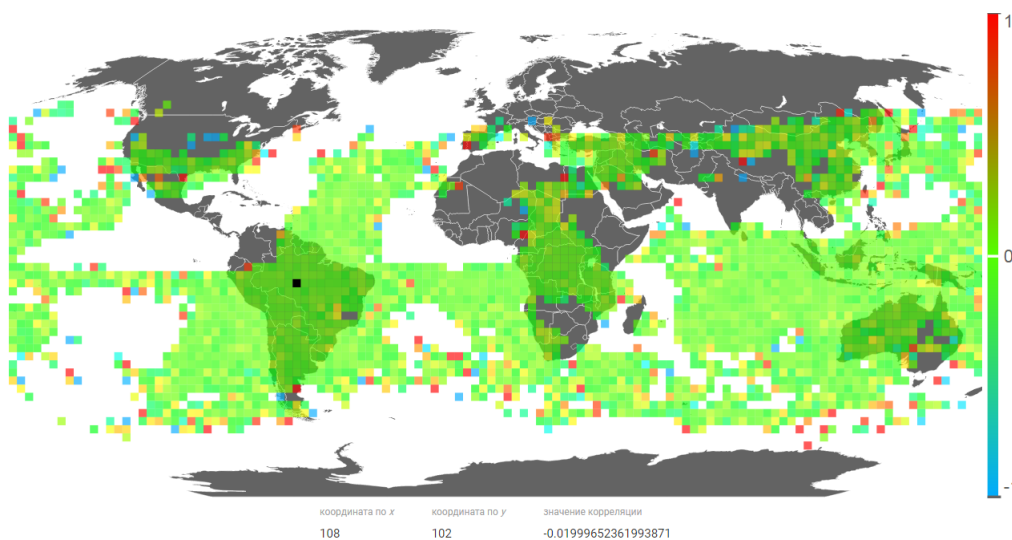


Рис. 4. Построение корреляционных значений в браузере.

Заключение

Был разработан программный комплекс для сопоставления данных, зарегистрированных всемирной сетью локализации гроз (*WWLLN*), с данными, зарегистрированными автоматической системой распознавания и анализа вистлеров (*AWDANet*). Были произведены тесты данных за один месяц 01.01.2013 – 01.02.2013. Результаты вычислений представлены на рисунках 5-12.

Построение без фильтров:

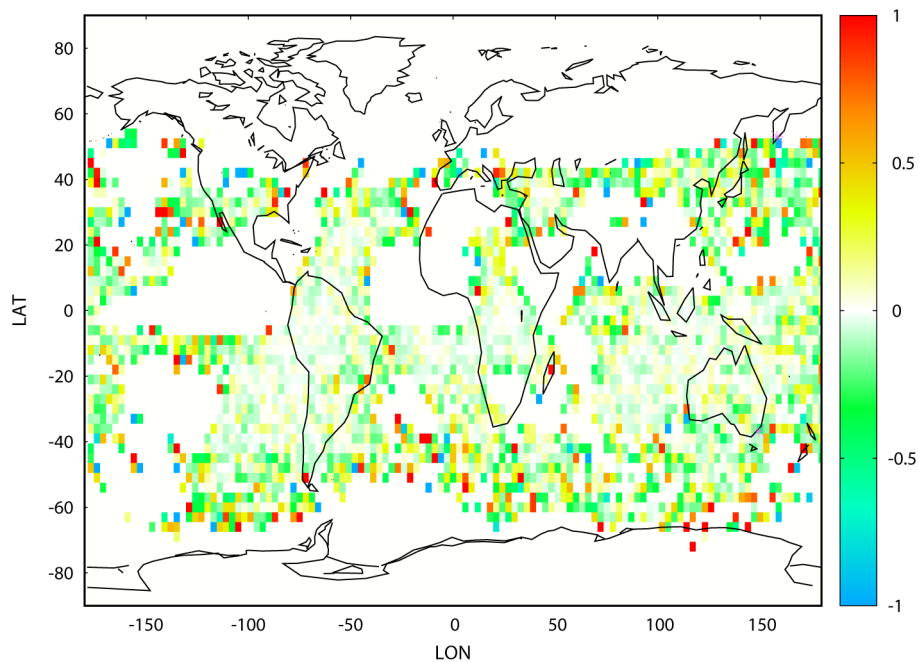


Рис. 5. Построение в *gnuplot*.

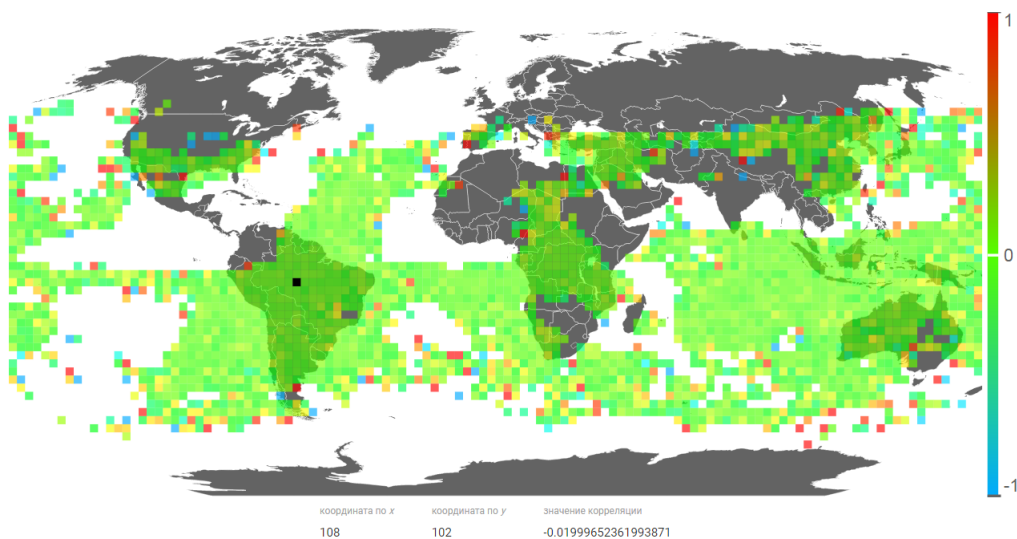


Рис. 6. Построение в браузере.

Построение с включенным фильтром при $k=4$:

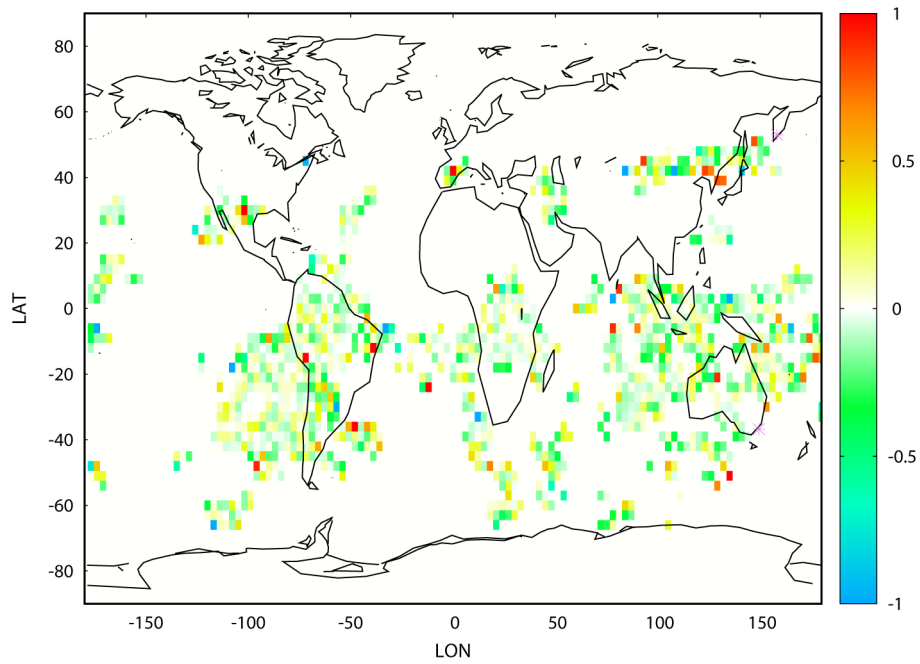


Рис. 7. Построение в *gnuplot*.

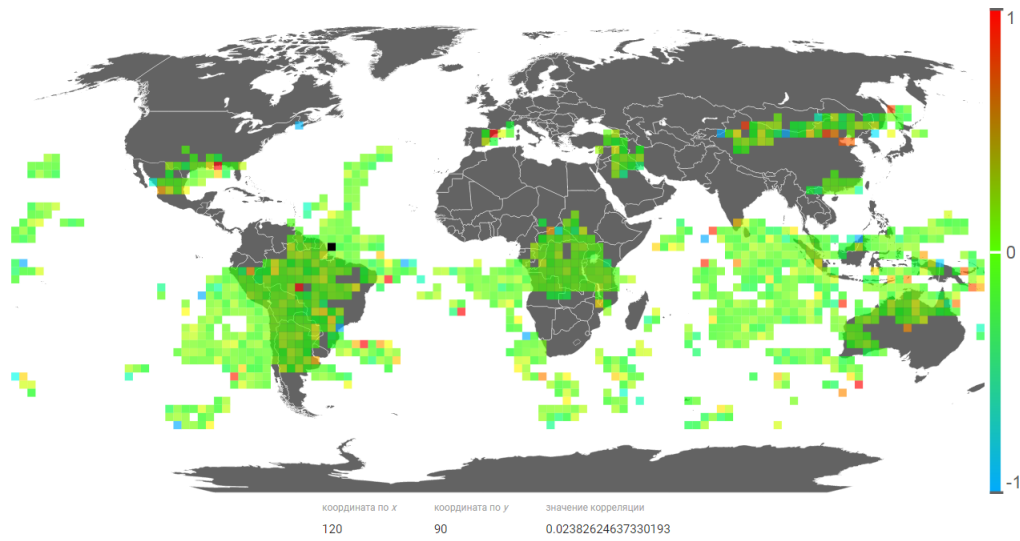


Рис. 8. Построение в браузере.

Построение с включенным фильтром при $kr=10$:

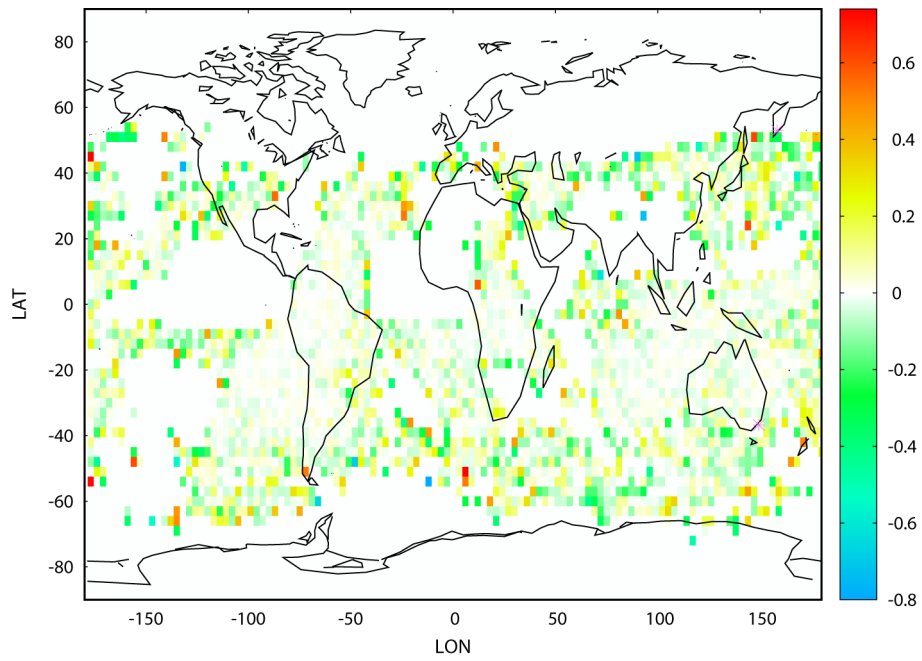


Рис. 9. Построение в *gnuplot*.

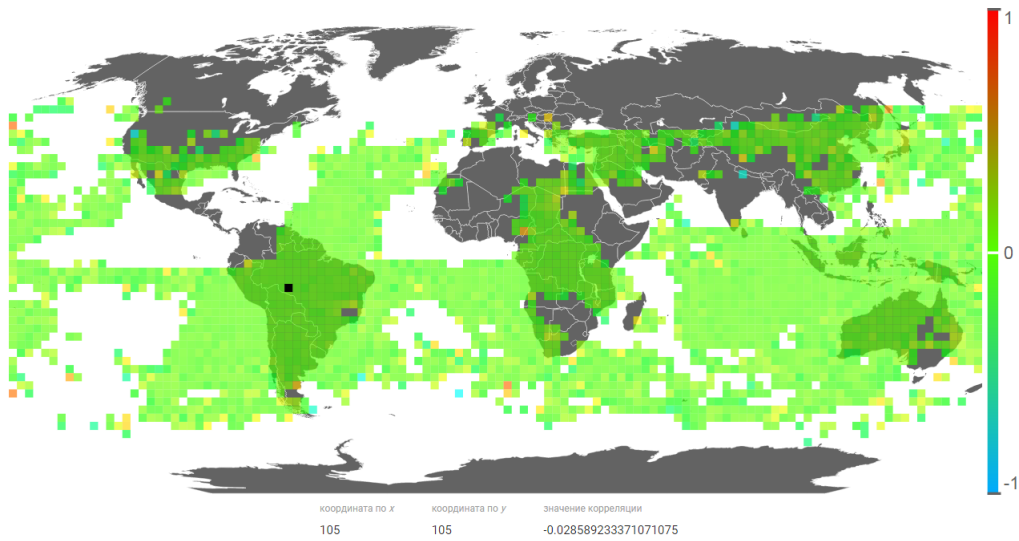


Рис. 10. Построение в браузере.

Построение с включенной фильтрацией по времени восхода и захода солнца:

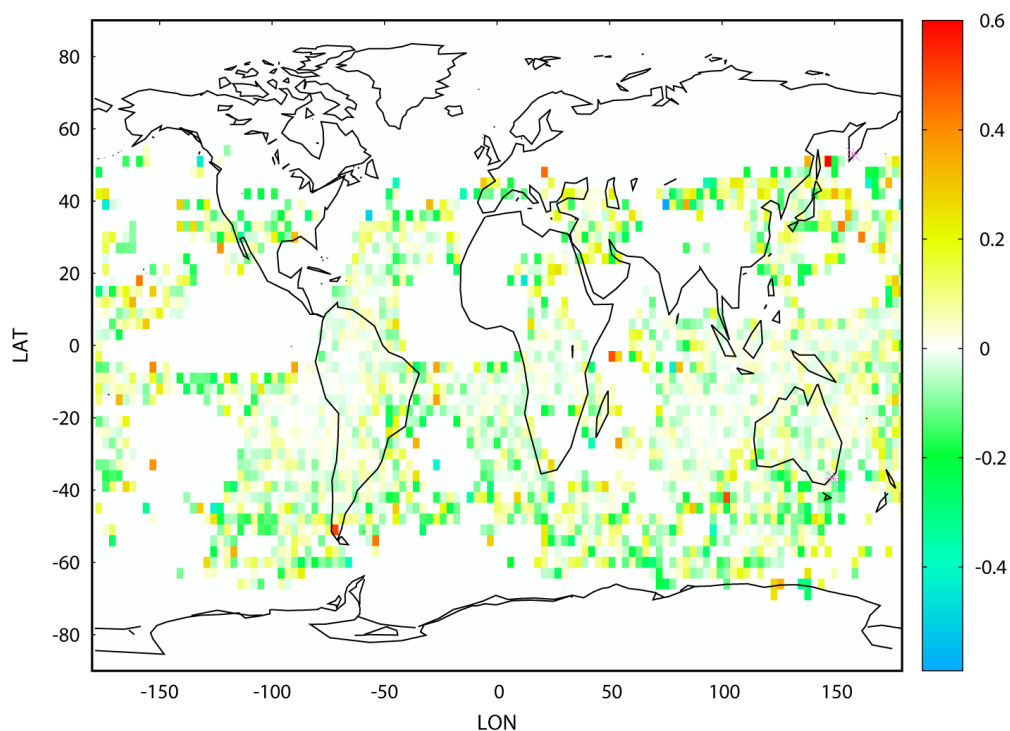


Рис. 11. Построение в *gnuplot*.

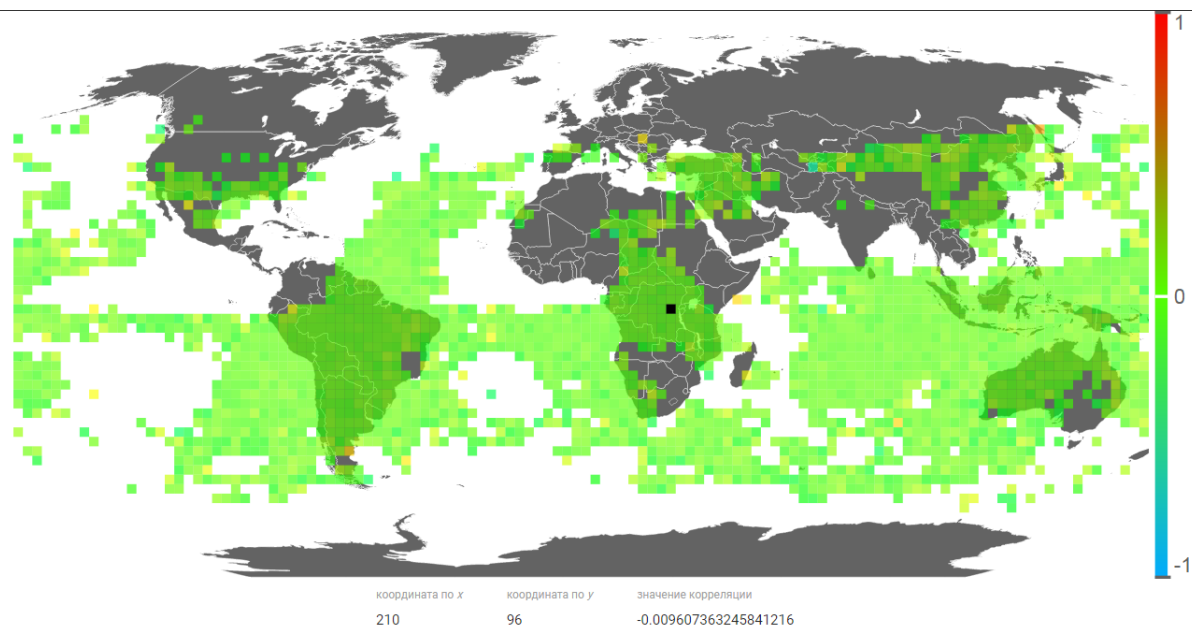


Рис. 12. Построение в браузере.

Комплекс реализован в виде web-сервиса, что позволяет после установки на сервер легко использовать его с помощью любых мобильных устройств.

Автор благодарит к.ф.-м.н. Н.В. Черневу (ИКИР ДВО РАН) за любезно предоставленные данные по активности вистлеров.

Список литературы

- [1] Петрукович А. А., “Некоторые аспекты ионосферно-магнитосферных связей”, *Успехи физических наук*, **185:6** (2015), 649-654. [Petrukovich A.A. i dr. Nekotorye aspekty ionosferno-magitosfernyh svyazej. *Uspehi fizicheskikh nauk*. 2015. vol. 185. no 6. 649-654.].
- [2] Гершман Б. Н., Угаров В. А., “Распространение и генерация низкочастотных электромагнитных волн в верхней атмосфере”, *Успехи физических наук*, **72:2** (1960), 235-271. [Gershman B.N., Ugarov V.A. Rasprostranenie i generacija nizkochastotnyh jelektromagnitnyh voln v verhnej atmosfere. *Uspehi fizicheskikh nauk*. 1960. vol. 72. no 2. 235-271].
- [3] Collier A. B. et al., “Correlation between global lightning and whistlers observed at Tihany, Hungary”, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, **114:A7** (2009).

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Петрукович А.А. и др. Некоторые аспекты ионосферно-магнитосферных связей // Успехи физических наук. 2015. Т. 185. №6. С. 649-654.
- [2] Гершман Б.Н., Угаров В.А. Распространение и генерация низкочастотных электромагнитных волн в верхней атмосфере // Успехи физических наук. 1960. Т. 72. №2. С. 235-271.
- [3] Collier A. B. et al. Correlation between global lightning and whistlers observed at Tihany, Hungary // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2009. Т. 114. №. А7.

Для цитирования: Королев Ф.В. Программный комплекс анализа грозовой активности и вистлеров // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2017. № 2(18). С. 89-98. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-18-2-89-98

For citation: Korolev F. V. The program complex for analysis of thunderstorm activity and whistlers, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2017, **18**: 2, 89-98. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-18-2-89-98

Поступила в редакцию / Original article submitted: 25.05.2017