

УДК 004.422.81

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
СИСТЕМЫ ГЕОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ КОРЫ**

Е.А. Плисовицкая

Представлены результаты модернизации программного обеспечения системы геомагнитного мониторинга земной коры, действующей на территории Бишкекского геодинамического полигона.

Ключевые слова: вариации магнитного поля; измерительная аппаратура; разностный метод; искажение хода магнитного поля.

**SOFTWARE PACKAGE OF THE GEOMAGNETIC MONITORING
THE EARTH'S CRUST SYSTEM**

E.A. Plisovickaya

The article presents the results of modernization of the software package of the geomagnetic monitoring the Earth's crust system working on the Bishkek's area.

Keywords: variation of the magnetic field; measuring equipment; the difference method; the distortion of the magnetic field running.

На территории Бишкекского геодинамического полигона (БПП) Научной станцией Российской академии наук (НС РАН) в течении 30 лет с помощью магнитовариационных станций ведется геомагнитный мониторинг земной коры. Задачей геомагнитных наблюдений является выявление связи вариаций вектора напряженности геомагнитного поля Земли с деформационными процессами земной коры, и вариациями других геофизических полей [1].

Станции размещены на 7 стационарных измерительных пунктах (СИП), и обеспечивают непрерывные измерения модуля полного вектора напряженности магнитного поля Земли в пунктах их установки. Кроме этого, имеется одна мобильная станция, с помощью которой проводятся дискретные с частотой один раз в неделю измерения магнитного поля в 10-ти пунктах на территории БПП. Программное обеспечение для предварительной обработки геомагнитных данных включает в себя несколько программ, работавших под управлением системы MS DOS, созданных в 1980-х годах. В виду активного развития технологий это программное обеспечение уже не поддерживается современными операционными системами. Геомагнитные данные хранились в базе данных, разработанной с помощью СУБД Paradox 3.5. СУБД Paradox име-

ет ограничения на размер таблиц с данными, что стало причиной создания алгоритма разбиения таблиц на разные файлы. Таким образом, база данных представляет собой каталог с файлами, количество которых с каждым годом увеличивалось. Со временем объем накопленных геомагнитных данных стал превышать ограничения на размер базы данных. Операторы были вынуждены вручную архивировать часть данных из каталога базы данных, чтобы работать с программами обработки.

Кроме устаревшего программного обеспечения и разрозненной базы данных, причиной для модернизации программного обеспечения системы геомагнитного мониторинга стало введение в эксплуатацию измерительной аппаратуры нового поколения. Поэтому возникла необходимость создания современного программного обеспечения для системы геомагнитного мониторинга земной коры, которое бы обеспечивало работу с измерительной аппаратурой как старого, так и нового поколения. На рисунке 1 показана схема модернизированной системы геомагнитного мониторинга земной коры.

Для хранения сведений о геомагнитных наблюдениях была создана новая база геомагнитных данных DataMAG с помощью СУБД MySQL, максимальный размер таблиц в которой ограничен только предельным размером файла в файловой

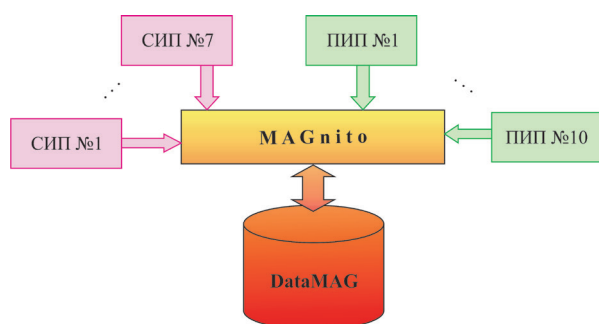


Рисунок 1 – Схема модернизированной системы геомагнитного мониторинга земной коры (СИП – стационарные измерительные пункты, ПИП – передвижные измерительные пункты)

системе. Преимуществом разработанной базы геомагнитных данных DataMAG является ее пригодность для подключения к ней сторонних программ обработки данных и прямой доступ к любым геомагнитным данным. Было разработано специальное программное обеспечение, позволяющее перенести всю информацию из старой базы данных в новую базу геомагнитных данных DataMAG.

Новая программа обработки геомагнитных данных MAGnito разработана на языке программирования Delphi. Созданное программное обеспечение для системы геомагнитного мониторинга полностью заменяет старые программы обработки геомагнитных данных. Кроме этого, были добавлены новые возможности: алгоритм коррекции ошибок при чтении файлов с зарегистрированными данными, алгоритм ликвидации технических помех в зарегистрированных временных рядах изменения магнитного поля и автоматизированное резервное сохранение базы геомагнитных данных.

Предварительная обработка геомагнитных данных с помощью программы MAGnito осуществляется согласно описанному ниже алгоритму. В первую очередь, первичные данные со всех измерительных пунктов (стационарных и передвижных) записываются в базу геомагнитных наблюдений DataMAG. Зарегистрированные данные считываются из файлов, записанных измерительной аппаратурой, в состав которой в настоящее время входят два типа измерительных станций: магнитовариационные станции МВ-07 и современные оверхаузеровские магнитометры POS-1 [2]. Программа проводит *предварительный анализ считанных данных* с помощью алгоритма коррекции ошибок при чтении файлов. Производится проверка считанных данных на строгое соответствие структуре регистрационных данных: MAG-файлам (для станций МВ-07) или POS-файлам (для магни-

тометров POS-1). Если файл имеет ошибки записи зарегистрированных данных, то программа пропускает забракованные фрагменты без потери всей информации из файла.

В отдельных случаях потеря или искажение зарегистрированных данных неизбежны и появляется необходимость восстановления первичных данных, которое в программе реализовано для двух случаев: *ликвидация техногенных помех (скачков) в ходе магнитного поля*; восстановление хода магнитного поля за определенный непрерывный промежуток времени при условии имеющихся корректных данных на близлежащей станции. Для наглядности процесса восстановления, в программе выводимые промежуточные участки графиков хода магнитного поля прорисованы различными цветами, конечные точки выделенных участков отмечены маркерами (рисунок 2). Это позволяет оператору при работе с большим объемом поступающей информации повысить скорость обработки данных.

В первом случае рассматриваются техногенные помехи, которые могут появляться в результате перемещения любых металлических предметов вблизи датчика, приводящие к скачкообразному изменению естественного хода магнитного поля Земли, регистрируемого магнитометром. К появлению техногенных помех может также привести работа бытового оборудования или проезжающий мимо автомобиль. В этих случаях зарегистрированное магнитное поле не отражает естественных изменений магнитной индукции, поэтому ликвидация таких помех не только оправдана, но и необходима для повышения достоверности и точности выполняемых вычислений при дальнейшем анализе и интерпретации геомагнитных данных. При этом восстановление хода магнитного поля в периоды действия помех осуществляется по достоверным данным, зарегистрированным в точках, соответствующих границам этих интервалов. Например, на *Станции 1* в ходе магнитного поля имеются подряд n некорректных отсчетов $\{x_1, x_n\}$. Ниже представлен порядок (алгоритм) восстановления хода магнитного поля по крайним точкам.

- Определяются крайние точки (отсчеты магнитного поля) x_0 и x_{n+1} по которым будет проходить восстановление. Эти значения магнитного поля не изменяются после выполнения алгоритма.
- Значение первого элемента массива восстановленных данных $\{\bar{x}_i\}$ определяется как среднеарифметическое значение крайних точек:

$$\bar{x}_1 = \frac{x_0 + x_{n+1}}{2}.$$

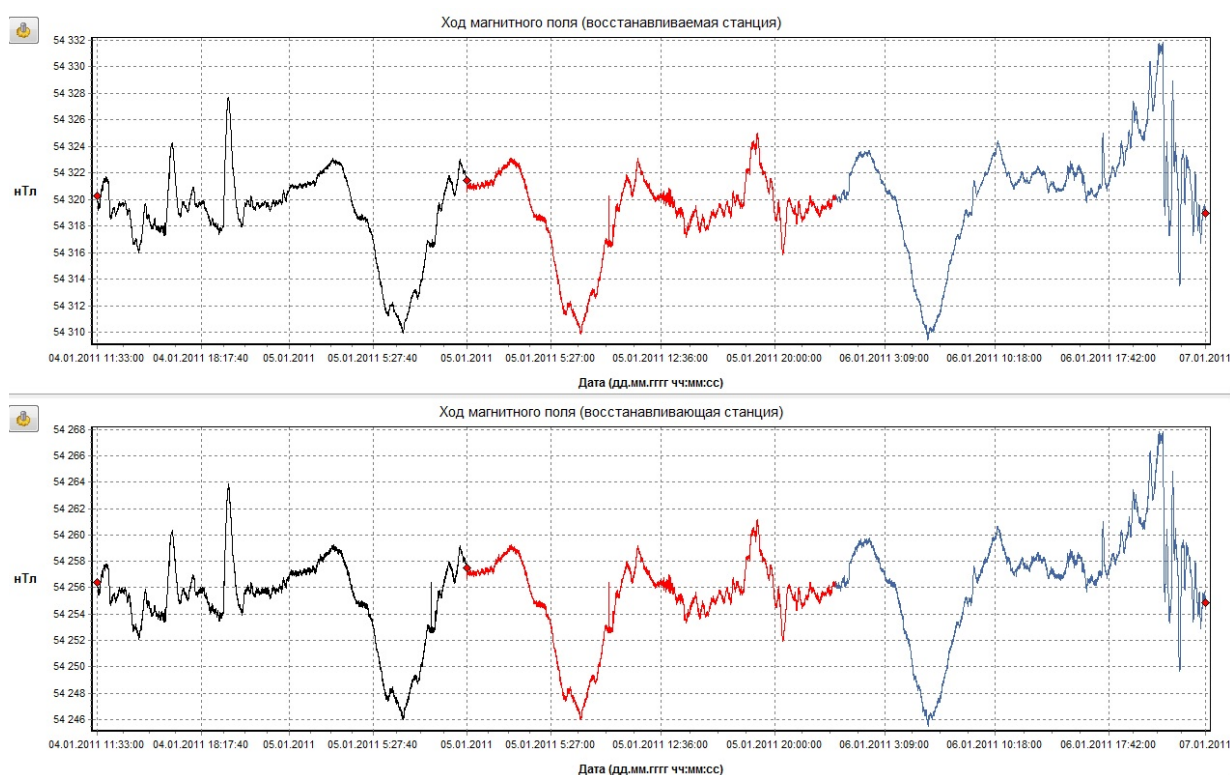


Рисунок 2 – Внешний вид графиков в программе MAGnito при восстановлении первичных данных

- Значение второго элемента массива восстановленных данных вычисляется как средн-арифметическое значение первого элемента массива восстановленных данных и крайней точки x_{n+1} и так далее по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{\bar{x}_{i-1} + x_{n+1}}{2}, i = 2, \dots, n.$$

- Новый массив данных $\{\bar{x}_i\}$, полученный таким образом, считается восстановленной частью хода магнитного поля для Станции 1.

Во втором случае при потере или искажении хода магнитного поля за определенный непрерывный промежуток времени восстановление хода магнитного поля осуществляется при условии имеющихся корректных данных на близлежащей станции. Возможность использования для восстановления утерянных или искаженных корректных данных с близлежащей станции обусловлена тем, что ход магнитного поля земной коры мало изменяется в близлежащих точках на местности [3, 4].

После процедуры коррекции и восстановления первичных данных проводится вычисление суточной разности хода магнитного поля, измеренного на различных станциях. Анализ разностных временных рядов, так называемый разностный

метод, применяется с целью исключения главной (постоянной) составляющей, значительно превышающей по уровню переменную составляющую магнитного поля Земли [3].

Важной составляющей работы оператора является выявление искажения хода магнитного поля типа “ступень” (далее ступень) и добавление сведений о нем в базу геомагнитных наблюдений. Программа MAGnito всегда проверяет исходные геомагнитные данные на наличие ступени в ходе магнитного поля при построении разностей хода магнитного поля. Для устранения обнаруженной ступени оператору необходимо определить уровень ступени и добавить сведения о ней в базу геомагнитных данных. Оператор определяет уровень ступени вручную, исходя из графика хода магнитного поля, поэтому данный процесс не может быть автоматизирован. Если это не первая ступень в ходе магнитного поля по данной станции, то уровень, определенный оператором, будет сложен с уже записанным в базу данных уровнем ступени соответствующей станции. После записи в базу данных информации о найденной ступени прорисовка графиков хода магнитного поля для данной станции происходит с учетом нового уровня ступени.

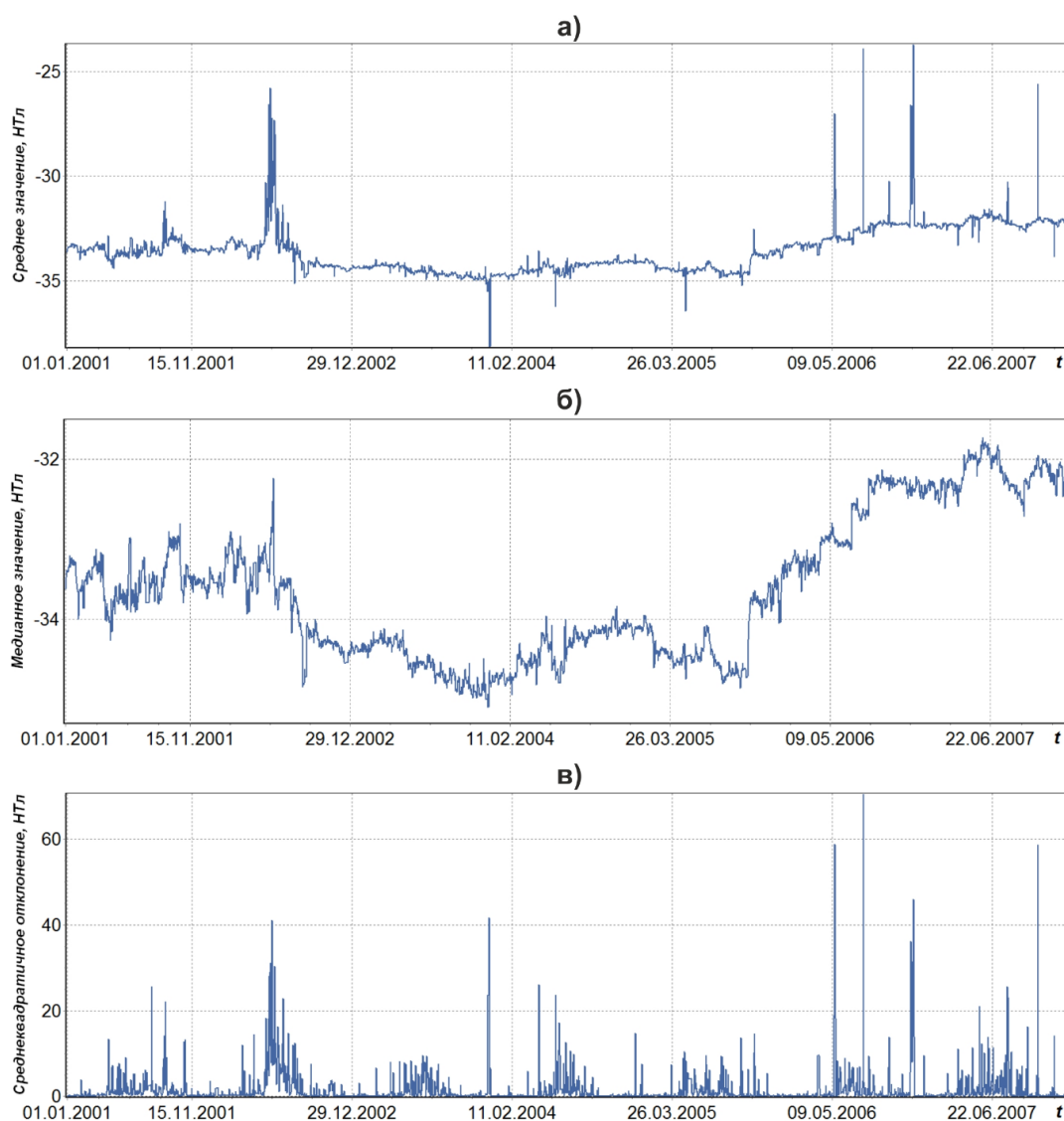


Рисунок 3 – Пример графиков временных рядов среднесуточных параметров геомагнитного поля Земли на измерительном пункте Шавай за 7 лет:
 а – среднее значение; б – медиана; в – среднеквадратичное отклонение

После вычисления разностей программа производит вычисление среднесуточных параметров: среднего значения, медианы и среднеквадратичного отклонения. Медиана разности – это срединное значение отсортированного по возрастанию (убыванию) массива данных разности. Среднесуточные характеристики хода магнитного поля необходимы для построения временных рядов за большие промежутки времени, длительностью год и более. Накопив в базе данных достаточное количество среднесуточных данных, оператор может производить

построение временных рядов среднесуточных параметров разностей (рисунок 3). В программе временной ряд по одному из трех среднесуточных параметров разности можно построить за любой промежуток времени по любому измерительному пункту. Временные ряды являются основными выходными данными программы.

Так как магнитное поле Земли изменяется очень медленно, то значительные вариации напряженности магнитного поля можно увидеть только на временных рядах длительностью десятки лет.

В программе также предусмотрено *автоматизированное резервное сохранение базы геомагнитных данных DataMAG*. Программа создает резервную копию базы данных при каждом ее закрытии. При каждом открытии программы происходит проверка на существование не актуальных (сохраненных более недели назад) копий. Хранение более ранних вариантов копий базы данных не рационально, поскольку каждый день в базу геомагнитных наблюдений добавляется до 100 тысяч записей. Резервное копирование также может быть произведено в любой момент времени в любую папку, определенную оператором в настройках программы. Оператор может восстановить базу геомагнитных наблюдений из любого указанного файла резервной копии базы данных.

Новое усовершенствованное программное обеспечение с 2012 г. внедрено и используется в технологии геомагнитного мониторинга земной коры, проводимого на территории Бишкекского геодинамического полигона Научной станции РАН, что обеспечивает значительное сокращение време-

ни на обработку геомагнитных данных, повышает их качество и достоверность.

Литература

1. *Трапезников Ю.А.* Отчет о результатах проведения опытно-методических прогностических наблюдений в пределах сейсмогенных зон Средней Азии в 1991–1993 гг. / Ю.А. Трапезников, В.Д. Брагин и др. Бишкек, 1994. С. 68–84.
2. *Ильичев П.В.* Отчет (промежуточный) по НИР “Разработка аппаратно-программных средств и основ технологий электромагнитного мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах и оценки их опасностей” / П.В. Ильичев, В.В., Бобровский Д.С. Мясников, О.А. Лашин, Е.А. Плисовицкая // ИС РАН, 2012, гос. рег. № 0120.0713073. С. 55.
3. *Яновский Б.М.* Земной магнетизм: учеб. пособие / Б.М. Яновский; под ред. В.В. Металловой. Л.: Изд. Ленингр. ун-та, 1978.
4. *Кошкин Н.И.* Справочник по элементарной физике / Н.И. Кошкин, М.Г. Ширкевич. М.: Наука, 1975.