ПРОГРАММЫ МНОГОМЕРНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ПОМЕХ ДЛЯ ЗАДАЧ НИЗКОЧАСТОТНОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ДЛЯ КРОСС-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ.

А.А. Любушин, доктор физ.-мат. наук
Институт физики Земли РАН им. О.Ю.Шмидта,
123995, Москва, Большая Грузинская, 10; факс: +007-495-2556040;
e-mail: lyubushin@yandex.ru
http://AlexeyLyubushin.narod.ru/Index.htm

Ниже приводятся инструкции для пользователя двух программ по анализу данных.

1. Программа **Compen.exe** для компенсации помех.

Программа предназначена для многомерной адаптивной компенсации влияния нескольких измеряемых внешних помех (общее число - не больше 9) на один скалярный временной ряд. Предназначена для использования в системах низкочастотного геофизического мониторинга.

Принцип работы:

Входной файл - Compen.inp
Выходной файл - Compen_out.dat

Compen.inp → COMPEN → Compen_out.dat

Вводной файл Compen.inp является текстовым файлом и представляет собой следующую последовательность записей:

```
Nser, Ncomp
FileName_01
..........
FileName_Nser
Leng, Lshift
```

Здесь:

Nser - общее число обрабатываемых временных рядов, $2 \le Nser \le 10$.
Ncomp - номер ряда в последовательности файлов, который необходимо компенсировать от влияния прочих временных рядов, $1 \le Ncomp \le Nser$;

FileName_01
.....
FileName_Nser - в столбик перечислены имена файлов, в которых находятся значения обрабатываемых временных рядов. Сами исходные файлы временных рядов должны представлять собой последовательности отсчетов в произвольном текстовом формате ("длинные колонки чисел");

Leng - длина временного окна адаптации в количестве отсчетов, $64 \le Leng$, если это значение очень велико, то компенсация происходит неадаптивно, по всей выборке;

Lshift - смещение временных окон адаптации, $1 \le Lshift \le Leng$, если компенсация происходит по всей выборке, то значение Lshift никак не влияет на работу алгоритма. Если же длина окна адаптации меньше длины всей выборки, то тогда чем меньше

значение Lshift, тем медленнее работает программа (медленее всего при Lshift=1). В то же время, чем больше Lshift, тем больше величина возможной нестыковки результата компенсации между соседними окнами адаптации. Если Lshift=1, то нестыковка отсутствует (наиболее плавная, но и самая трудоемкая адаптация).

Выводной файл Compen_out.dat в случае нормальной работы алгоритма представляет собой временной ряд – результат компенсации в формате "длинная колонка чисел". Если же параметры вводного файла заданы неправильно, то он содержит диагностику. Заметим, что число отсчетов в выводном файле может быть меньше, чем в исходных временных рядах на величину смещения временного окна. Это уменьшение отсутствует, если Lshift=1 или если компенсация происходит по всей выборке.

Пример входного файла:

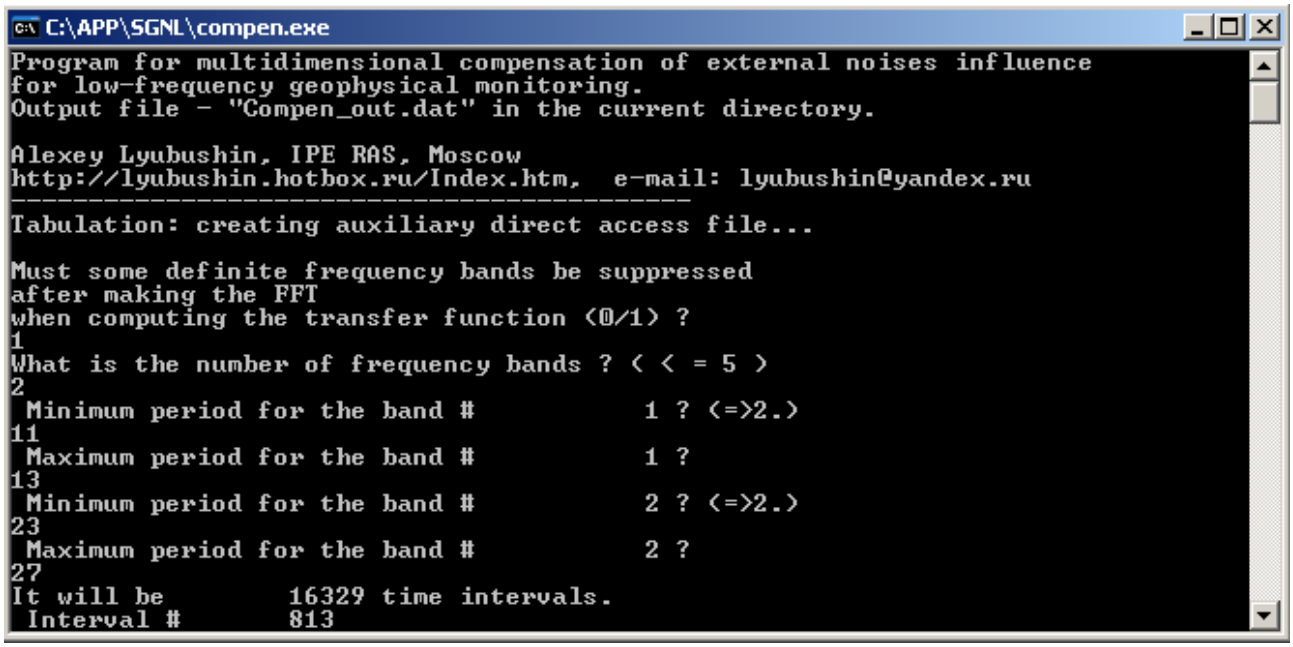
```
4 3
Atm_01.dat
Atm_02.dat
Lev.dat
Temp.dat
672 1
```

Здесь общее число анализируемых сигналов равно 4, компенсировать от влияния остальных надо сигнал с номером 3, то есть, находящийся в файле Lev.dat. Длина окна адаптации равна 672 отсчетам, а смещение окна равно 1 (минимальному значению).

Программа в каждом окне адаптации устраняет общий линейный тренд у каждого фрагмента сигнала, переходит к приращениям, проводит итеративную срезку выбросов (т.н. винзоризацию) осуществляет косинусное сглаживание выборки на концах окна (для уменьшения влияния удаленных частот на оценку передаточной функции), совершает быстрое преобразование Фурье, вычисляет все периодограммы и кросс-периодограммы, сглаживает их значения в скользящем частотном окне радиуса 1/64 от длины окна и вычисляет комплексную векторную передаточную функцию. Далее опять вычисляются дискретные преобразования Фурье, но теперь уже не производится ни срезка выбросов, ни косинусное сглаживание на концах (поскольку эти операции нужны были лишь для оценки передаточной функции) и производится компенсация фильтром Винера в частотной области. Результат компенсации подвергается обратному преобразованию Фурье, то есть происходит возвращение во временную область. В выводном массиве накапливаются компенсированные приращения от середины каждого временного окна – поскольку временные окна могут сильно перекрываться. Если компенсация производится неадаптивно, от всей выборки, то результат компенсации получается сразу для всей выборки также. В конце, поскольку компенсация производилась для рядов в приращениях, осуществляется интегрирование выборки (то есть, вычисление последовательных кумулятивных значений) от начального значения компенсируемого сигнала.

Поскольку в геофизических временных рядах часто присутствуют сильные монохроматические компоненты приливного происхождения, то они могут исказить оценку передаточной функции. Во избежание этого в программе предусмотрен запрос относительно того, надо ли устранять при вычислении передаточной функции, после быстрого преобразования Фурье, определенный набор частотных полос. Общее число таких полос может быть не более 5. Границы полос задаются в виде значений максимальных и минимальных периодов каждой полосы. Периоды задаются в безразмерной форме, в

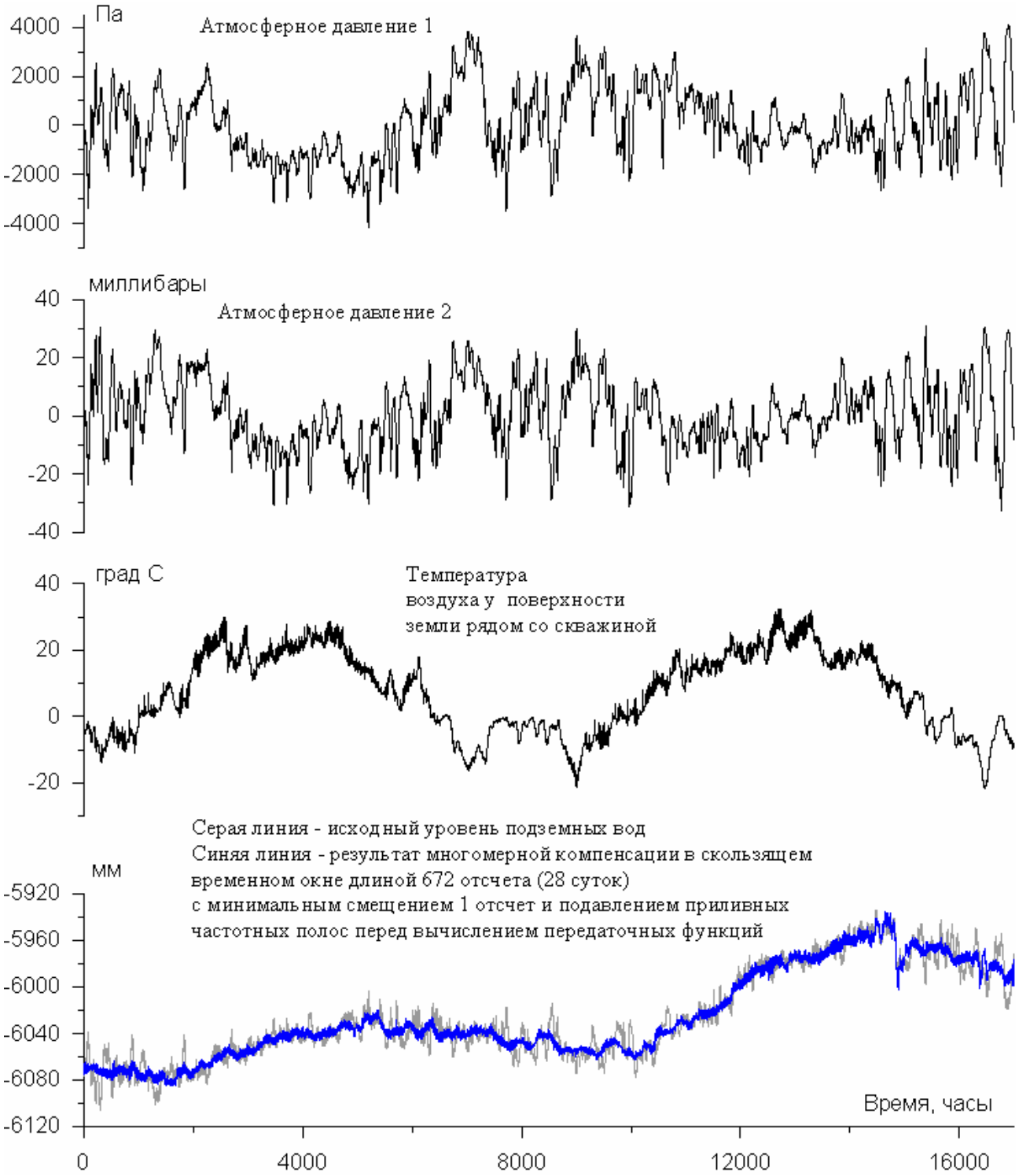
единицах длины интервала дискретизации, причем, значения граничных периодов могут быть и дробными числами от длины интервала дискретизации. Ниже приводится копия экрана диалога по вводу таких полос.



Здесь подтверждается, что необходимо подавить частотные полосы (вместо «да» вводится «1»). Если ответить «0» (нет), то ввод частотных полос подавления опускается, Далее идет запрос на число полос (не более 5) и дается ответ, что таких полос 2 штуки. Затем для каждой полосы последовательно вводятся значения минимального и максимального граничных периодов. В данном случае, поскольку анализируются данные с 1-часовыми опросами, граничными периодами являются 11 и 13 часов для 1-ой полосы и 23 и 27 часов – для 2-ой. Таким образом, подавляются полусуточные и суточные приливные частотные полосы.

Передаточная функция в подавленных частотных полосах вычисляется путем интерполяции оценок с соседних частотных полос.

Ниже приводится рисунок с графиками внешних воздействий (помех) на уровень подземных вод в скважине и результат компенсации. Ряды имели длину интервала опроса 1 час. Компенсация производилась в скользящем временном окне длиной 672 часа (28 суток) со смещением 1 час. Подавлялись приливные частотные полосы, описанные выше.



2. Программы **CrosSp.exe** и **CrosCor.exe** для кросс-спектрального анализа 2-х временных рядов.

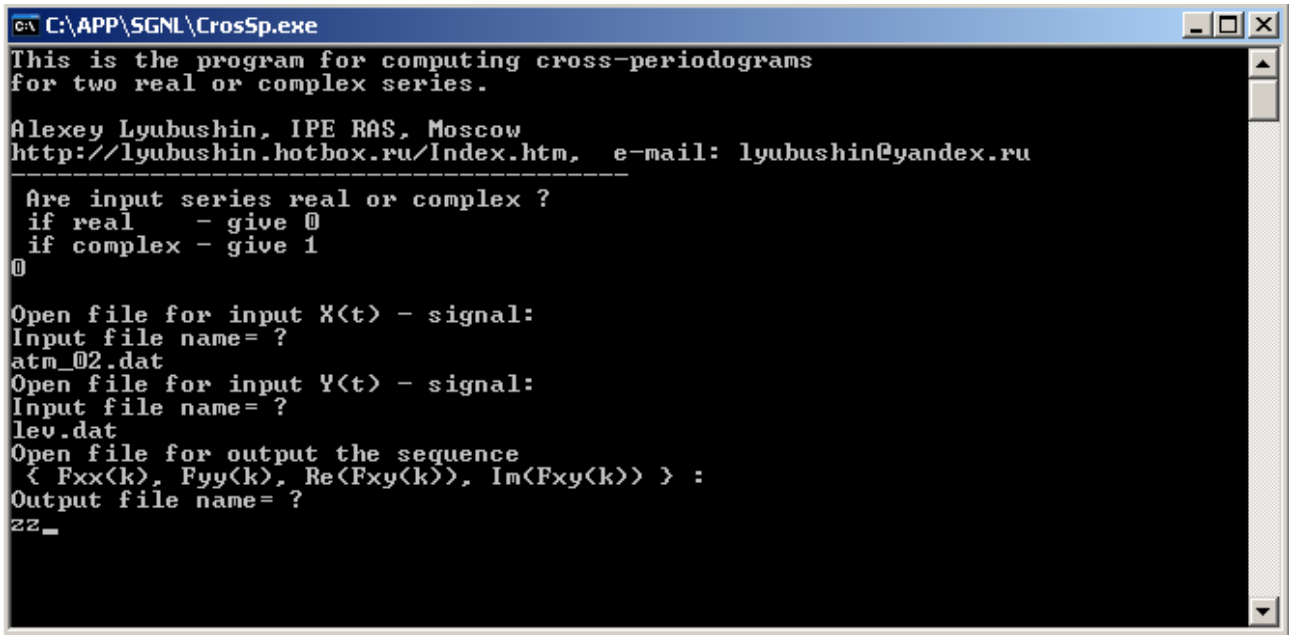
Эти программы предназначены для вычисления непараметрической оценки квадрата модуля спектра когерентности, амплитудной частотной передаточной функции, косинуса и синуса разности фаз для пары временных рядов.

Исходные данные должны представлять собой последовательности значений двух синхронных временных рядов, записанных в виде простых текстовых файлов. Если ряды вещественные, то каждый файл, как и в предыдущей программе, должен быть

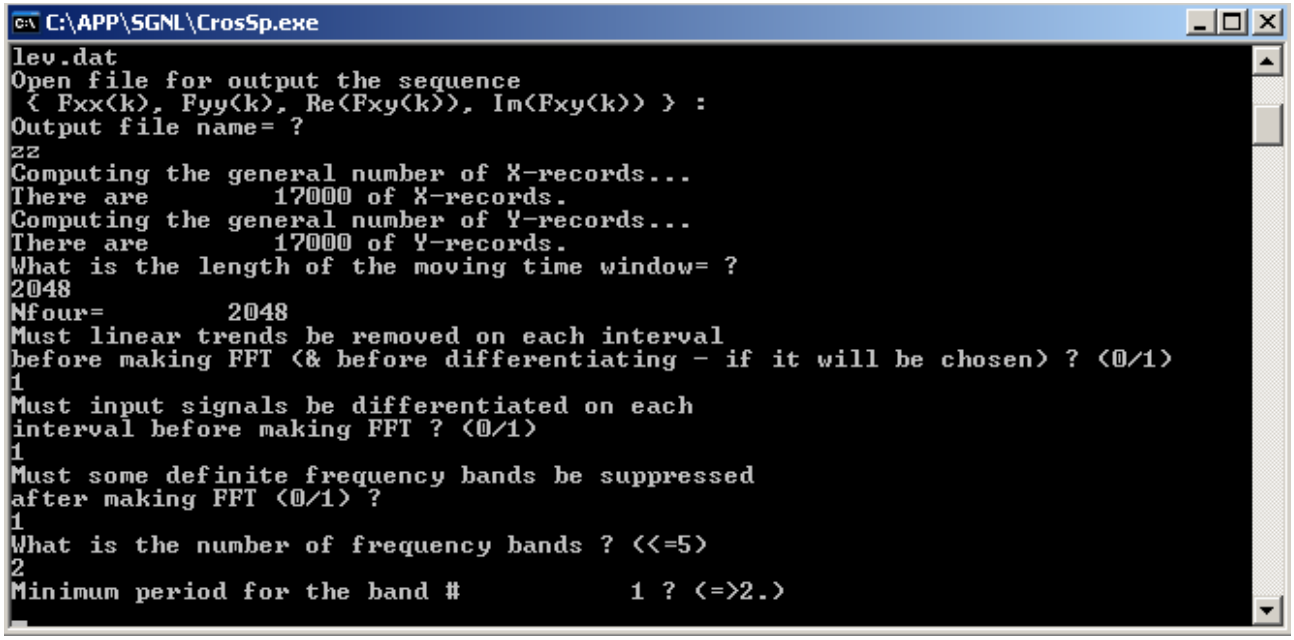
последовательностью отсчетов, записанных как «длинная колонка чисел». Длины рядов могут различаться – в этом случае обрабатывается лишь минимальная длина. Если ряды – комплексные, то входные файлы должны иметь структуры «две длинных колонки чисел», из которых первая колонка – это вещественные значения, а вторая – комплексные.

Вычисление кросс-спектральных оценок состоит из 2-х этапов. На первом этапе, в результате применения программы **CrosSp**, создается файл значений периодограмм и кросс-периодограмм. Эти значения вычисляются в перекрывающихся временных окнах заданной длины (длина окна выбирается пользователем). В каждом окне вычисляются, после определенных преобразований, периодограммы, а в конце все значения периодограмм от всех временных окон и для всех значений частот усредняются. Предварительные преобразования выбираются пользователем программы и состоят из устранения линейного тренда в каждом окне, перехода к приращениям и подавления определенных частотных полос. Для задач низкочастотного мониторинга устранение линейных трендов и переход к приращениям является желательной операцией. Что же касается подавления определенных частотных полос, то эту операцию следует производить тогда, когда в сигналах имеются монохроматические компоненты, например, приливного происхождения. Также как и в программе компенсации границы полос задаются в виде значений максимальных и минимальных периодов каждой полосы. Периоды задаются в безразмерной форме, в единицах длины интервала дискретизации, причем, значения граничных периодов могут быть и дробными числами от длины интервала дискретизации.

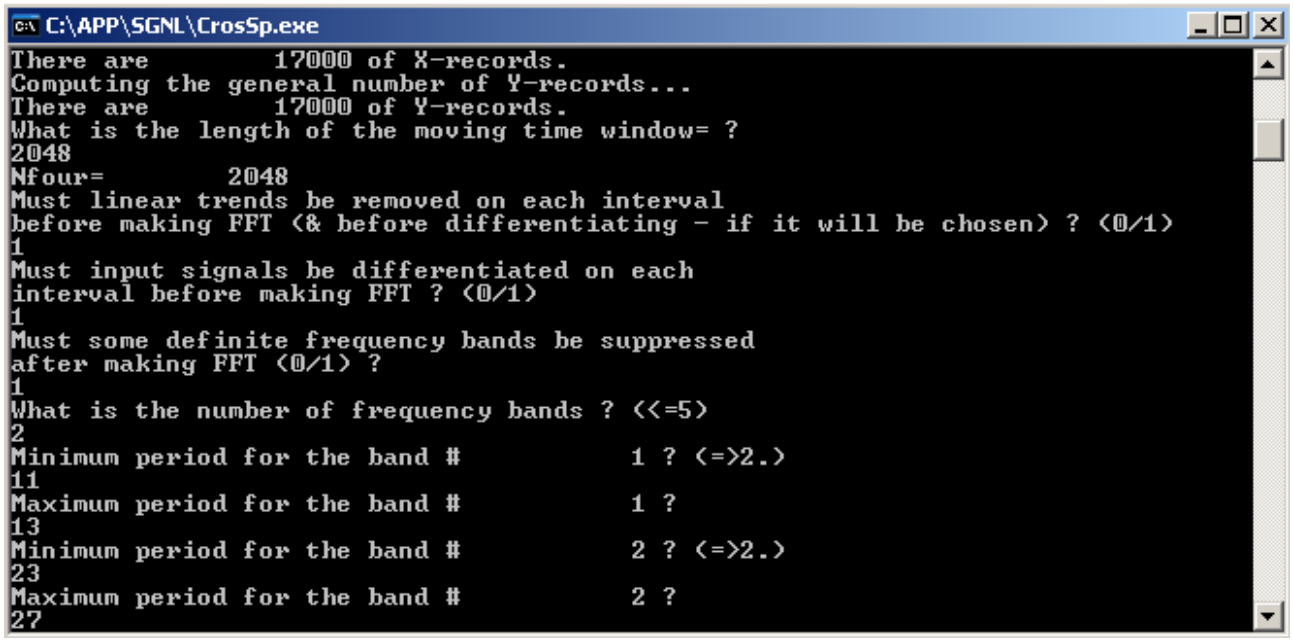
Ниже приводятся копии экрана диалога программы **CrosSp**.



Здесь на вход программе подаются 2 вещественных временных ряда и вводится имя выводного файла, в котором будут сохранены результаты вычисления периодограмм. Далее:



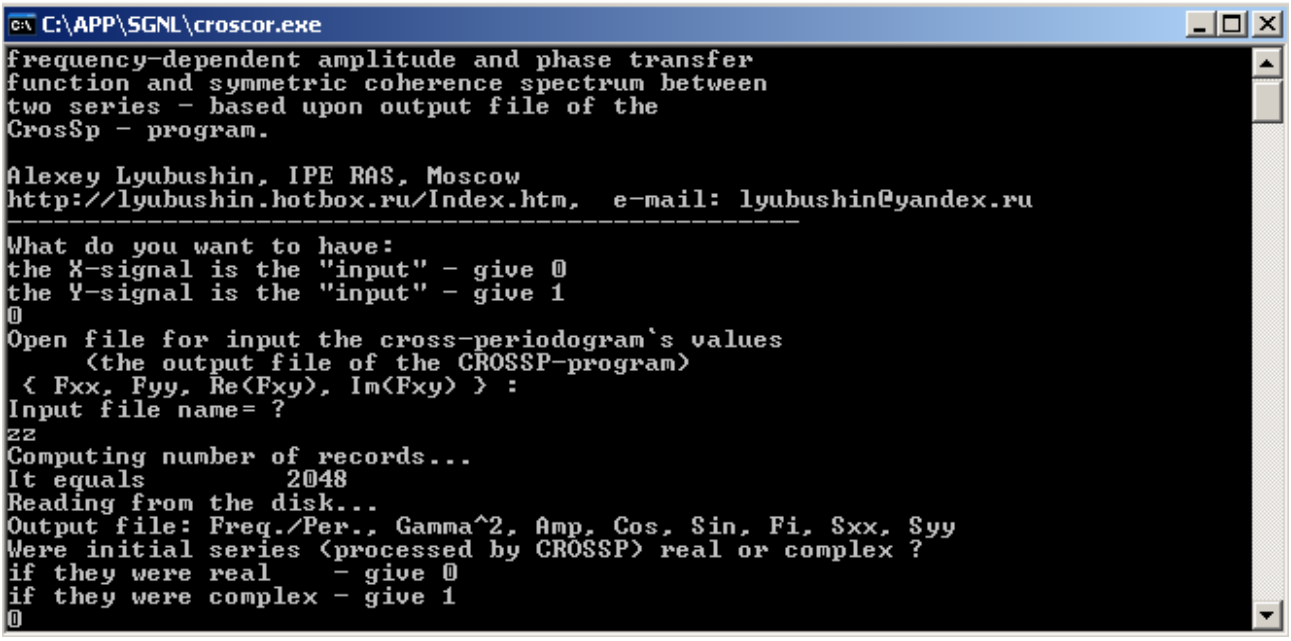
Здесь задается длина скользящего временного окна в 2048 отсчетов, программе предписывается в каждом окне устранять общий линейный тренд и переходить к приращениям («дифференцировать»). Кроме того, предлагается предварительно подавить 2 частотные полосы. Далее вводятся граничные периоды частотных полос подавления:



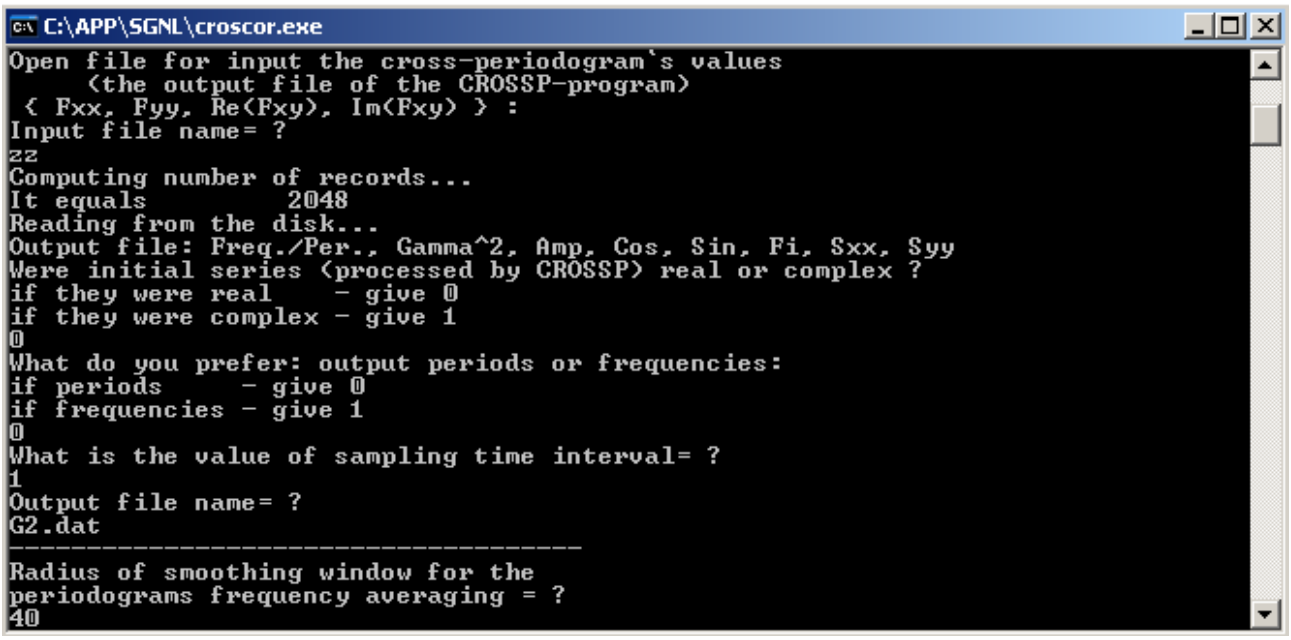
- эти значения равны 11 и 13 – для 1-ой полосы и 23 и 27 – для 2-ой. То есть давятся полусуточные и суточные приливные компоненты. Кросс-спектральные характеристики в подавленных частотных полосах будут вычислены путем интерполяции оценок с соседних частотных полос.

Второй этап состоит в применении программы **CrosCor.exe**. Для этой программы входным файлом является выводной файл программы **CrosSp**, который может быть использован многократно, при подборе оптимального радиуса сглаживания периодограмм. Основным параметром программы является радиус частотного окна усреднения периодограмм. При его большом значении оценки будут гладкими, но

малочувствительными, тогда как при малом значении они могут быть слишком зашумленными. Ниже приводятся копии экрана диалога программы **CrosCor**.



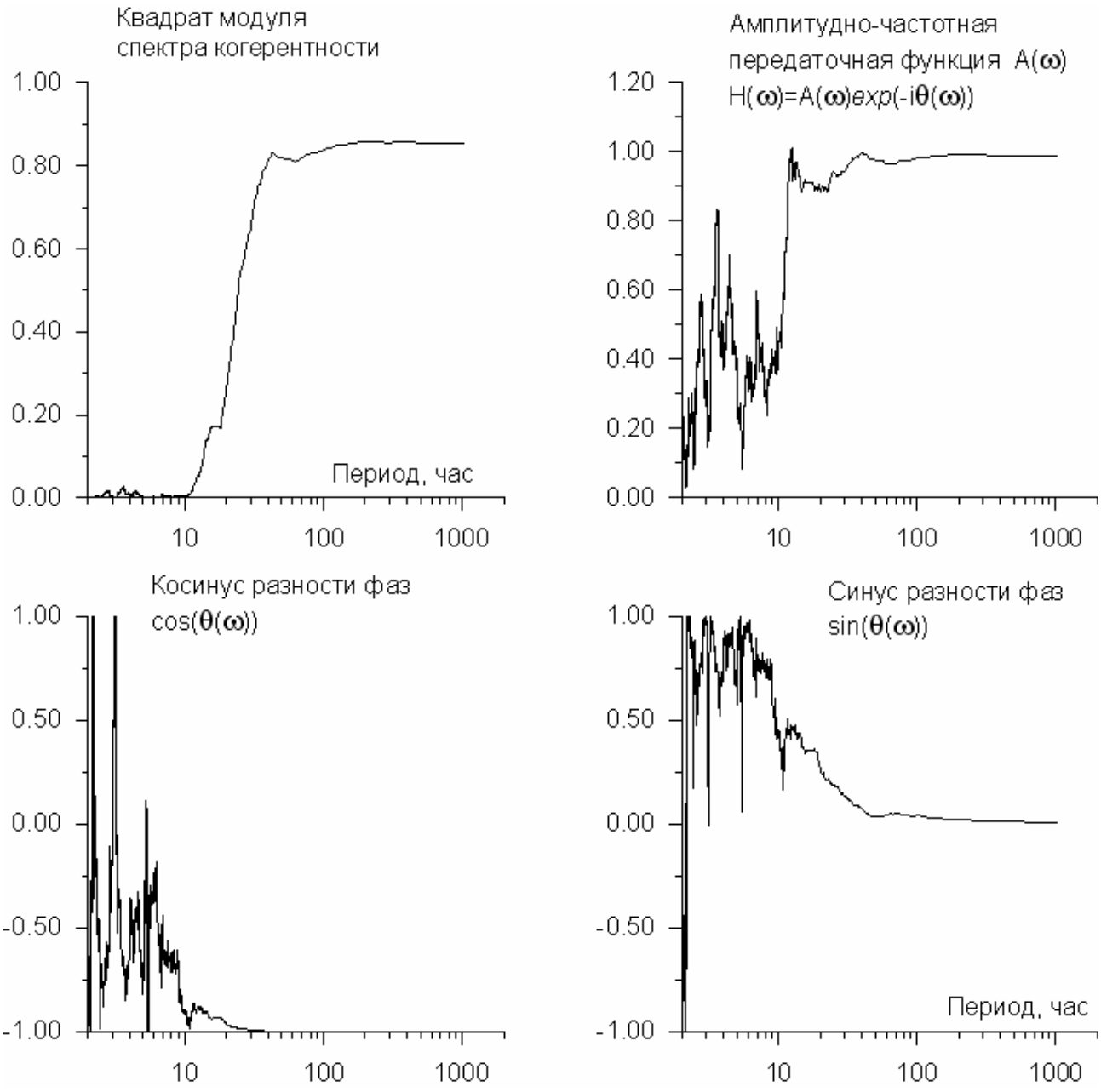
Здесь программе задается в качестве входного файла выводной файл программы **CrosSp**, который уже создан на диске. Сообщается, что выводной файл будет иметь вид 8 колонок: 1-я – период или частота; 2-я – квадрат модуля спектра когерентности; 3-я – амплитудная частотная передаточная функция; 4-я и 5-я – косинус и синус разности фаз; 6-я – сама разность фаз в градусах и, наконец, 7-я и 8-я – сильно усредненные значения спектров мощности сигналов X и Y. Далее, запрашивается какой из ранее введенных сигналов считается «входным», а какой «выходным». Здесь выбран сигнал атмосферного давления как входной (X – это файл Atm_02.dat, а Y – файл Lev.dat). Далее подтверждается, что временные ряды, обработанные программой **CrosSp**, были вещественными.



Здесь запрашивается вид первой колонки выводного файла: значения периодов или частот, в данном случае выбраны периоды. Для вычисления периодов (или частот) необходимо знать значение длины интервала дискретизации – здесь выбрано значение 1 (1 час). Затем задается

имя выводного файла (G2.dat). Самым последним параметром является радиус окна сглаживания периодограмм, о котором уже было написано выше. Это значение подбирается экспериментально, исходя из вида графиков столбцов выводного файла. Для данной длины окна число частот равно половине длины в отсчетах. Например, для длины 2048 имеем 1024 частот. Поэтому значение 40 вполне приемлемо. Обычный выбор радиуса сглаживания для 2048 лежит в пределах от 10 до 50.

На следующем рисунке представлены графики кросс-спектральных характеристик, полученных при введенных выше значениях параметров:



Литература.

Любушин А.А. Многомерный анализ временных рядов систем геофизического мониторинга. - Физика Земли. 1993. N3. С.103-108.

Любушин А.А. (2007) «Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга». М.: Наука, 2007, 228с.