

**ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ  
ОРГАНИЗАЦИИ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ХЛОРОФИЛЛА  
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОКЕАНА НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ  
ДАННЫХ**

**Адаменко О.С., Анкудинов А.А., Картушинский А.В.  
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент, Картушинский А.В.**

*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время значительно возросло внимание к проблемам научного направления, называемого синергетикой. Методы синергетики применимы и к океану, и к протекающим в нем гидрофизическим и гидробиологическим процессам. Одной из задач в данной области знаний является изучение процессов самоорганизации. Океан – это самоорганизующаяся система, которая занимает большую часть территории нашей планеты и оказывает значительное влияние на формирование климата, что обусловлено характером взаимодействия между атмосферой и океаном. Неоднородности температурного поля океана и потоки тепла в атмосфере создают условия для запуска физического процесса самоорганизации в локальных областях океана. Сформированные гидрофизические процессы существенным образом влияют на гидробиологическую структуру отдельных акваторий океана. Основным биологическим показателем, определяемым на большой площади при помощи дистанционных методов зондирования, является концентрация хлорофилла.

Формирующиеся на поверхности океана температурные поля и поля концентрации хлорофилла, являются показателями поверхностной структуры океана. Для определения изменчивости структурной организации поверхностного слоя океана необходима количественная оценка изменений параметров в пространстве. В качестве объекта для таких оценок можно использовать фронтальные зоны, то есть зоны, в которых градиенты основных гидрофизических полей значительно отличаются от средних значений градиентов вне пределов данной зоны. Градиент — характеристика, показывающая направление наискорейшего возрастания некоторой величины, значение которой меняется от одной точки пространства к другой. Для оценки количественного показателя градиентов поверхностного слоя океана различают широтный, меридиональный и абсолютный градиенты.

Температурные фронтальные зоны наиболее удобно изучать с помощью спутниковых данных, так как с применением специального программного обеспечения они позволяют оценивать пространственные масштабы и время существования фронтальных зон, их структуру и изменчивость. Данные собираются на протяжении относительно длительного отрезка времени (порядка 30 лет) и включают в себя информацию о значениях гидрологических параметров и нескольких биологических параметров (для различных длин волн сканера) по поверхности Мирового океана. Доступ к данным свободный, формат хранения – HDF (Hierarchical Data Format), являющийся одним из самых распространенных на данный момент.

Необходимость разработки современного программного обеспечения для обработки и анализа спутниковых данных в настоящее время ориентирована на научные и прикладные задачи. Одна из проблем – это жесткая привязка программных модулей к директории с входными данными, что зачастую это создает неудобства при анализе выходной информации. Однако, основной проблемой является недостаточная

скорость обработки информации. В силу того, что объемы информации велики и отдельный исходный файл содержит пиксельные сведения по всей поверхности Мирового океана, количество файлов, задействованных при анализе должно быть достаточно большим. Кроме того, крупномасштабные процессы в океане, как правило, долговременные и для их наблюдения необходимы снимки на протяжении длительного промежутка времени.

В качестве инструмента для исследования изменчивости структурных компонент поверхности океана используется информационная система (ИС) SSVOSatD (Sea Surface Variability of Ocean based on Satellite data), которая может работать с данными на любом носителе, так как жесткой привязки к директории с входными данными нет. При разработке программного обеспечения используется интегрированная среда разработки (IDE) приложений Borland Builder C++ 6.0 Enterprise. IDE Builder 6.0 относится к RAD системе (система быстрого проектирования). Проблема быстроты обработки входной информации решена за счет предварительного конвертирования входных данных в специальный формат SSV, основанный на представлении информации в бинарном виде. Такой подход существенно сокращает время обработки информации.

При работе с ИС SSVOSatD используются средненедельные спутниковые данные по концентрации хлорофилла и температуре поверхности океана. Пространственное разрешение составляет 9x9 километров. Используемые спутниковые данные измерены приборами дистанционного зондирования SeaWiFS, CZCS, AVHRR, MODIS и скомпонованы для периода исследования с 1982 по 2010 год.

Основной задачей исследования является анализ изменчивости компонент на различных пространственно-временных интервалах, поэтому в ИС разработан модуль, позволяющий формировать выборки с заданным усреднением по акватории и времени. Переход от средненедельных значений к среднемесячным, среднесезонным, среднегодовым позволяет фильтровать мелкомасштабные изменения параметров, позволяя проследивать более крупную устойчивую динамику процессов. Результатом усреднения является карта секторов, по которым и реализуется работа алгоритмов обработки данных. Размерность карты зависит от пространственного усреднения, количество файлов – от временного усреднения. В качестве опции, в модуле формирования выборки заложен расчет градиентов. Расчет градиентов позволит выделять фронтальные зоны, структура которых зависит от интенсивности адвекции, диффузии и солнечной радиации.

Функциональные возможности ИС заключаются в следующем:

- обеспечение усреднения входных данных по времени (месячное, сезонное, годовое) и масштабу расчетной сетки (8, 16, 32, 64, 128), которое позволяет выделять крупномасштабные и долговременные гидрофизические процессы;
- визуализация кластеров по значениям градиентов, что подразумевает процесс разбиения выборки на однородные группы с указанием количества выделяемых кластеров и максимального числа итераций расчета, реализованного по алгоритму k-средних (позволяет визуально выделить зоны в океане со схожими изменениями значений градиентов, что дает наглядное отображение фронтальных зон). Сектора, в которых изменения значений существенно отличаются, окрашиваются в разные цвета, что приводит к формированию карты кластеров (рисунок 1);
- расчет коэффициентов корреляции (позволяет выявлять наличие или отсутствие связи между процессами, происходящими в отдельных районах океана в сравнении с показателями в соседних квадратах на карте);

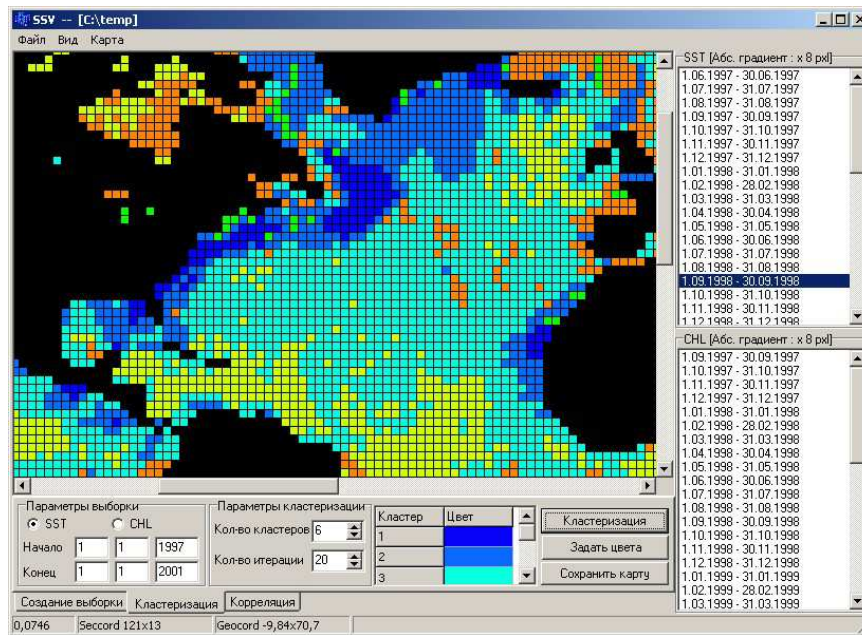


Рисунок 1. – Карта кластеров для Северной Атлантики. Черным цветом обозначена суша (материки), светлые поля – зоны с наименее схожими изменениями значений градиентов.

- вывод изображения в виде таблицы корреляции и корреляционной карты, полученной на основе вычислений парных корреляций, отображающих связи между соседними секторами (Рисунок 2);
- вывод графика кросс-корреляции по выделенным секторам с учетом временного лага (позволяет проводить оценку интервала инерции по времени), который необходим для анализа интенсивности статистической связи между двумя секторами с учетом временной задержки динамики процессов между секторами (Рисунок 3);

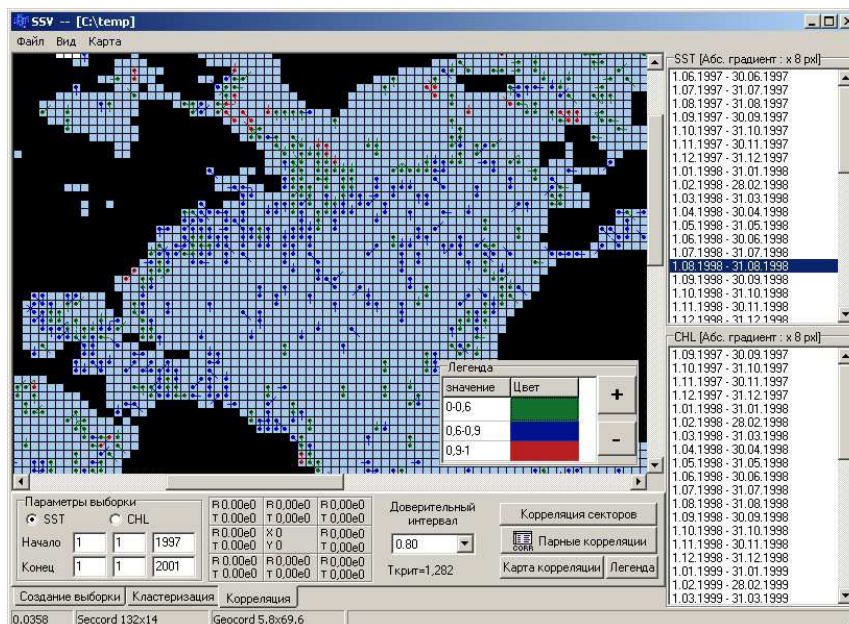


Рисунок 2. – Карта коэффициентов корреляции для Северной Атлантики. Светлые квадраты – квадраты с наименьшими значениями коэффициентов корреляции.

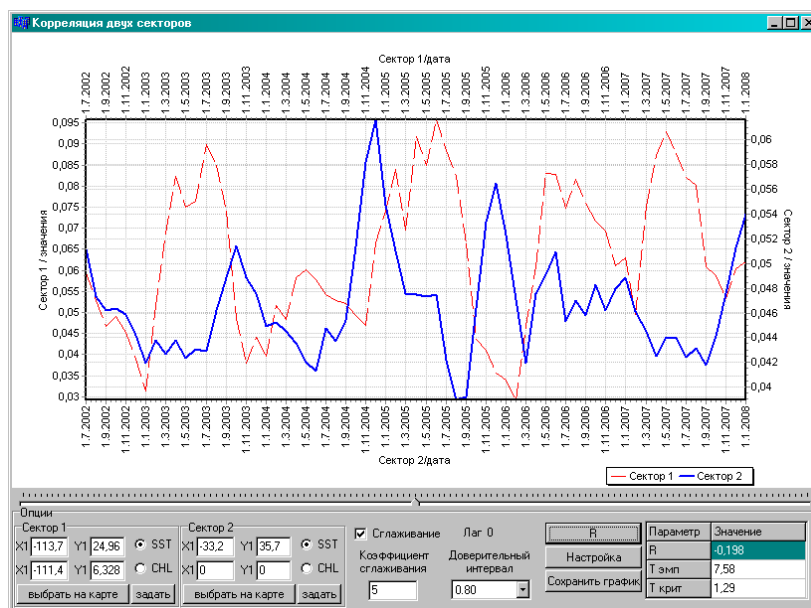


Рисунок 3. – График значений кросс-корреляции между двумя определенными секторами. Оси абсцисс – дата, оси ординат – величина градиентов.

Таким образом, разработанная информационная система представляет собой удобный инструмент для изучения процессов самоорганизации в океане по физическим параметрам (температура воды, градиент температуры) и биологическим показателям (концентрация хлорофилла, концентрация фитопигментов) на основе спутниковых данных. Программные средства позволяют анализировать особенности средненедельной, среднемесячной, среднесезонной и межгодовой изменчивости полей температуры и хлорофилла в поверхностном слое Мирового океана по данным спутниковых измерений. В программном пакете реализованы алгоритмы, необходимые для изучения процессов самоорганизации в зонах с высокой энергетической активностью, фронтальных зонах и фронтальных разделах на основе применения статистических методов кластерного и корреляционного анализа.