

Автоматизация научных исследований морей и океанов

УДК 556.043

В.Г. Любарцев, С.П. Любарцева

Визуализация результатов гидротермодинамического моделирования

Описывается *UVT (User Visualization Tool)* – программное обеспечение для визуализации результатов гидротермодинамического моделирования. Обсуждаются современные требования к такого рода программным продуктам. *UVT* позволяет эффективно строить карты, вертикальные профили, временные ряды и разрезы изменчивости скалярных и векторных переменных состояния. На примере моделей Средиземного и Адриатического морей демонстрируются некоторые возможности пакета. Приводится сравнение пакета с аналогичными разработками. Оцениваются тенденции его дальнейшего развития.

Оперативная система прогноза состояния морской среды состоит из трех компонент: системы наблюдения в приближенном к реальному времени режиме; набора гидротермодинамических моделей, обеспечивающих предсказание состояния системы в различных пространственно-временных масштабах; специальных средств для распространения и использования результатов прогноза в социуме. Для того чтобы быть востребованным в обществе, конечный продукт оперативной системы прогноза должен быть не только научным, но и высокотехнологичным. Это предполагает разработку специализированного программного обеспечения для визуализации результатов гидротермодинамического моделирования. Такой инструментальный разрабатывается в Морском гидрофизическом институте НАН Украины в рамках международного проекта *MFSTEP (Mediterranean ocean Forecasting System: Toward Environmental Predictions, www.bo.ingv.it/mfstep)*. Это программное обеспечение *UVT (User Visualization Tool)* – средство визуализации результатов моделирования для конечных пользователей, описание которого является предметом данной статьи. Идея создания *UVT* принадлежит координатору проекта профессору Болонского университета Н. Пинарди (Италия). Перед разработчиками была поставлена задача создания гибкого и мощного (охватывающего широкий круг интересов потенциального пользователя) пакета, который был бы доступен в освоении и не требовал специальных навыков программирования. Кроме того, в соответствии с современным видением предполагается широкое использование автоматических «интеллектуальных» алгоритмов визуализации при минимальном участии пользователя вплоть до последних этапов. От конечного пользователя не требуется понимания сложной архитектуры пакета: его функции должны быть оптимизированы, каждая настройка оправдана, а их количество сведено к минимуму. Программный продукт, выполненный в рамках такого подхода, позволяет решать задачу визуализации с максимальной степенью эффективности. Именно в этом со-

© В.Г. Любарцев, С.П. Любарцева, 2007

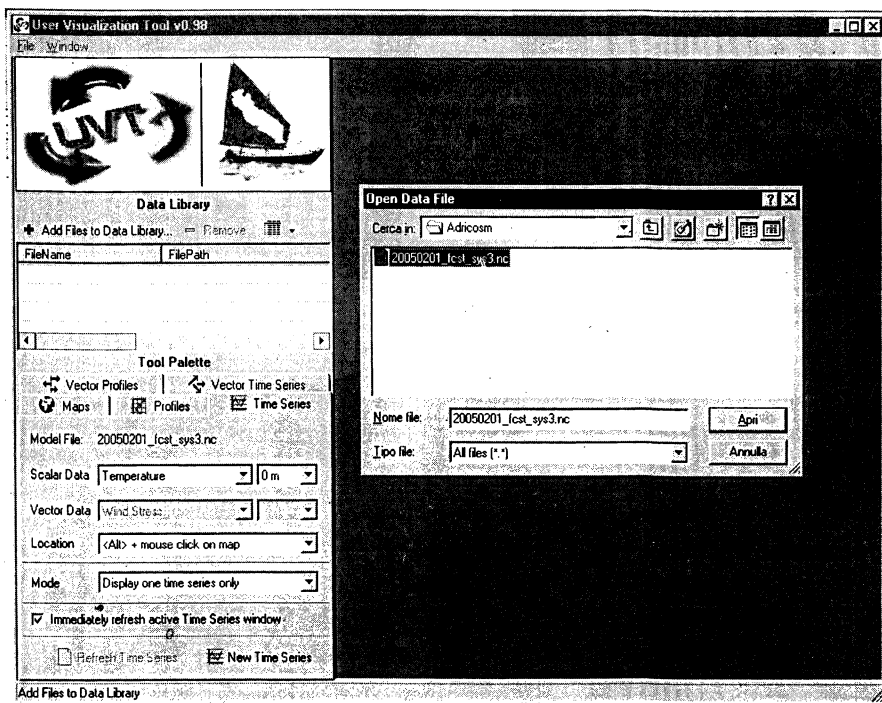
стоит главное отличие *UVT* от таких популярных в океанологических исследованиях универсальных пакетов для визуализации, как *SURFER* и *GRAPHHER*.

UVT функционирует в операционной системе *Windows* (98, NT, 2000, XP), не имеет системных ограничений и выполнен в рамках современного подхода «скопировал и запустил», т.е. не нуждается в процедуре инсталляции. На вход программы подаются результаты трехмерного гидротермодинамического моделирования – массивы данных о скорости течения, температуре, солености, а также о некоторых переменных состояния, связанных с обменом на границе океан – атмосфера: скорости ветра, компонентах радиационного баланса и т.д. Как правило, это достаточно большие файлы. Так, например, в проекте *MFSTEP*, где наряду с большой гидротермодинамической моделью Средиземного моря [1] эксплуатируются четыре региональные модели с разрешением 5 км и девять шельфовых моделей с разрешением 1,5 – 2 км, размер файлов колеблется от 20 до 100 Мбайт. В качестве универсального в рамках проекта *MFSTEP* был выбран *netCDF*-формат (*Network Common Data Form*, <ftp.unidata.ucar.edu/software/netcdf>). Данный формат разрабатывается для обслуживания больших массивов однородной информации и хорошо подходит для одномерных, двумерных и трехмерных результатов гидротермодинамического моделирования. Важным преимуществом использования *netCDF*-файлов является кроссплатформенность. Кроме того, разработчиками свободно распространяется библиотека программ доступа для наиболее известных трансляторов языков высокого уровня, в том числе для *FORTRAN*.

На рис. 1 представлено рабочее окно программы визуализации. Слева расположена панель управления, поле справа предназначено для размещения рабочих окон, одно из которых является активным. Под логотипом проекта расположены средства пользовательской библиотеки, в которую записываются подлежащие визуализации файлы. Меню библиотеки предусматривает вывод подробного списка файлов, добавление новых файлов и уничтожение ненужных. Ниже в виде закладок представлены основные функциональные блоки программы. Это построение карт, разрезов, вертикальных профилей и временных рядов изменчивости скалярных и векторных переменных состояния. Справа активизировано диалоговое окно. Видно, что из папки *Adricosm*, в которой в качестве примера хранятся результаты расчетов в рамках модели Адриатического моря [2], в пользовательскую библиотеку загружается *netCDF*-файл, содержащий результат прогностического расчета состояния системы в период с 1 по 9 февраля 2005 г.

Основным функциональным блоком программы является блок построения карт. Через него может осуществляться управление другими блоками. Рис. 2 иллюстрирует решение задачи построения карт в рамках модели Адриатического моря [2]. В пользовательскую библиотеку помещен соответствующий файл. Активизируется закладка «Карты». В ней последовательно, сверху вниз, с помощью выпадающего списка заполняется имя файла и следующая информация: дата, подлежащие визуализации скалярное поле (здесь солености) и векторное поле (скорости течения), горизонт (0 м в обоих случаях), выбранный пользователем тип береговой линии (Адриатическое море в масштабе 1:25000).

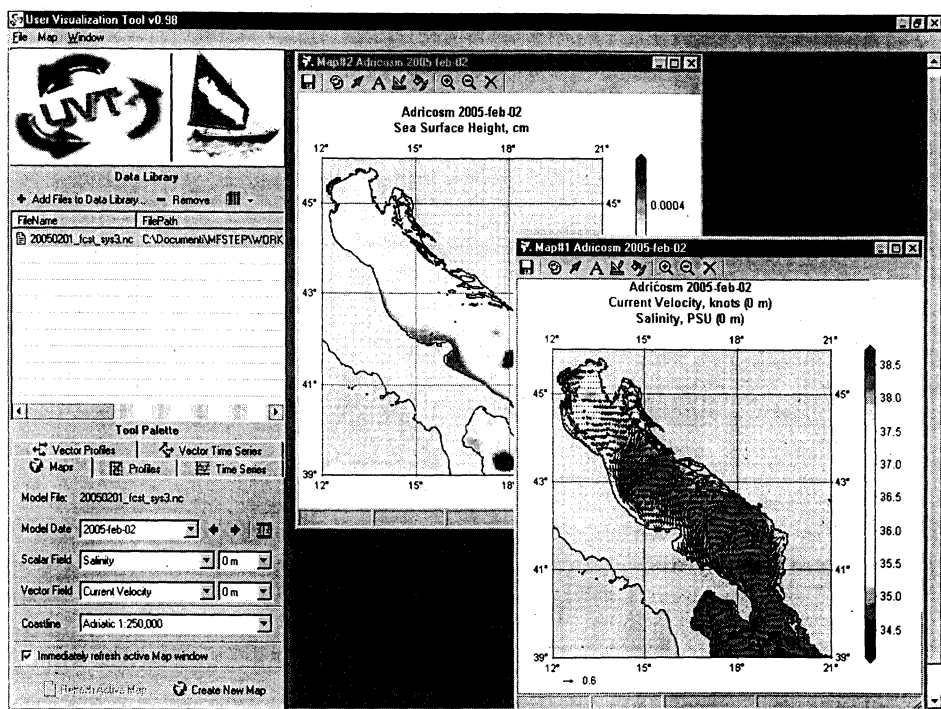
Необходимо заметить, что файлы, содержащие результаты моделирования, варьируют от модели к модели. Разработчики моделей, как правило, сами решают, какие переменные состояния и их физические производные подлежат визуализации. Так, в модели Адриатического моря рассчитываются или задаются скорость и модуль скорости течения, температура, соленость, плотность, глубина, уровень моря, напряжение и интенсивность ветра на поверхности моря, компоненты радиационного баланса. *UVT* анализирует *netCDF* (выходной файл модели) и автоматически формирует необходимые пользователю выпадающие списки. После заполнения командных строк с помощью кнопки «Создать новую карту» происходит построение необходимой карты. Нажатие соответствующих управляющих кнопок позволяет получить карту на сутки вперед и назад. Кроме того, пользователь может осуществить автоматическую анимацию карт.



Р и с. 1. Пример загрузки файла с результатами моделирования в библиотеку пользователя пакета *UVT*

Под активной картой скорости течения и солености для иллюстрации многооконного режима приведена построенная ранее карта уровня. Каждое окно имеет собственные элементы управления, позволяющие экспортировать графический объект, редактировать его, удалять из окна. Предусматривается экспорт в *emf*-, *wmf*-, *gif*- и *BMP*-форматы, а также передача данных в стандартные картографические пакеты. Для получения качественного графического объекта созданы легкодоступные и чрезвычайно удобные редакторы скалярных и векторных полей, текстовых характеристик. Исключительно полезной для визуализации мелкомасштабных особенностей графических объектов является реализующаяся автоматически функция масштабирования –

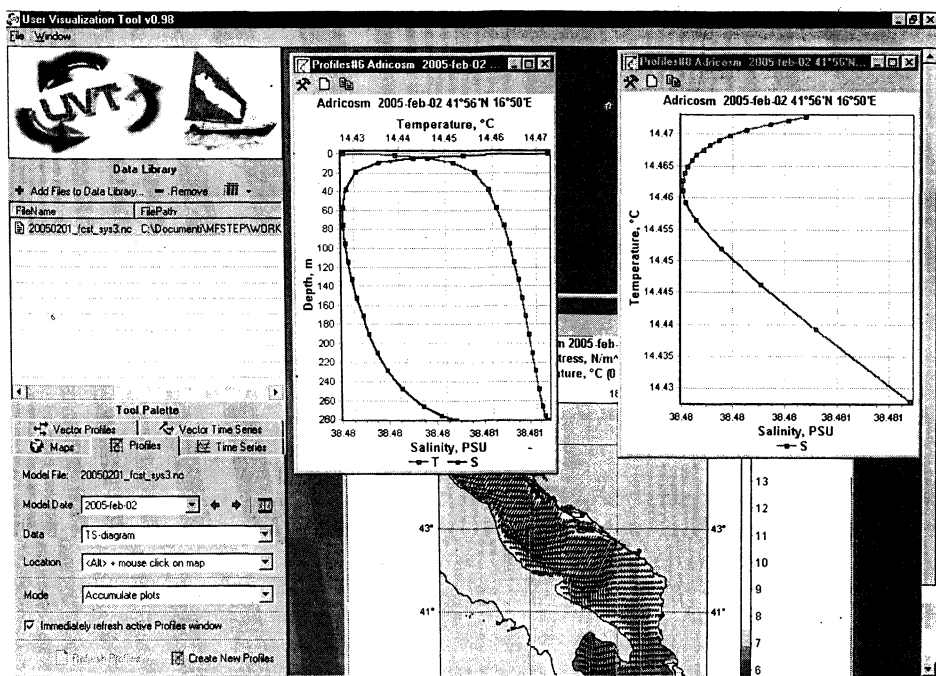
увеличения или уменьшения определенной части графического изображения. При движении курсора мыши по карте в специальной динамической строке под картой автоматически появляются текущие «обобщенные координаты курсора» – соответствующие широта и долгота точки, значения скалярного и векторного поля в этой точке. Таким образом, *UVT* позволяет с помощью карт эффективно исследовать горизонтальную изменчивость модельных полей температуры, солености, скорости и модуля скорости течений на различных масштабах, а также распределение напряжения и интенсивности ветра и компонент радиационного баланса на поверхности. Многооконный режим позволяет сравнивать карты между собой, возможность анимации дает представление о временной изменчивости переменных состояния. Кроме того, пользователь программы получает высококачественный, эффектный, практически готовый к публикации графический материал.



Р и с. 2. Пример построения карт в *UVT* в рамках модели Адриатического моря

Процедура построения вертикальных профилей скалярных переменных состояния показана на рис. 3. Реализуются два подхода к решению задачи. При первом подходе предполагается, что предварительно построена карта. Затем активизируется закладка «Профили». Из списка «Данные» выбирается название необходимой скалярной переменной состояния. Затем, после щелчка мыши на карте с удерживанием кнопки «Alt», программа автоматически строит вертикальный профиль в соответствующих положении курсора мыши координатах. Во втором случае из списка «Местоположение» выбирается нужный физико-географический регион. С помощью кнопки «Создать новый профиль» генерируется соответствующий средний вертикальный профиль. Режим «Мода» позволяет выбрать между построением одного профиля и на-

капливанием профилей на одном рисунке. В одном из окон на рис. 3 приводится соответствующая *TS*-диаграмма, построение которой выполняется автоматически. Подобно картам, профили по желанию пользователя сдвигаются на сутки во времени или анимируются. Кроме того, поддерживается масштабирование профилей. Таким образом, разработанный в *UVT* инструментарий позволяет анализировать вертикальную структуру скалярных полей. В частности, эволюцию термо-, гало- и пикноклина, формирование верхнего конвективного слоя, промежуточных водных масс, придонного однородного слоя и т.п.

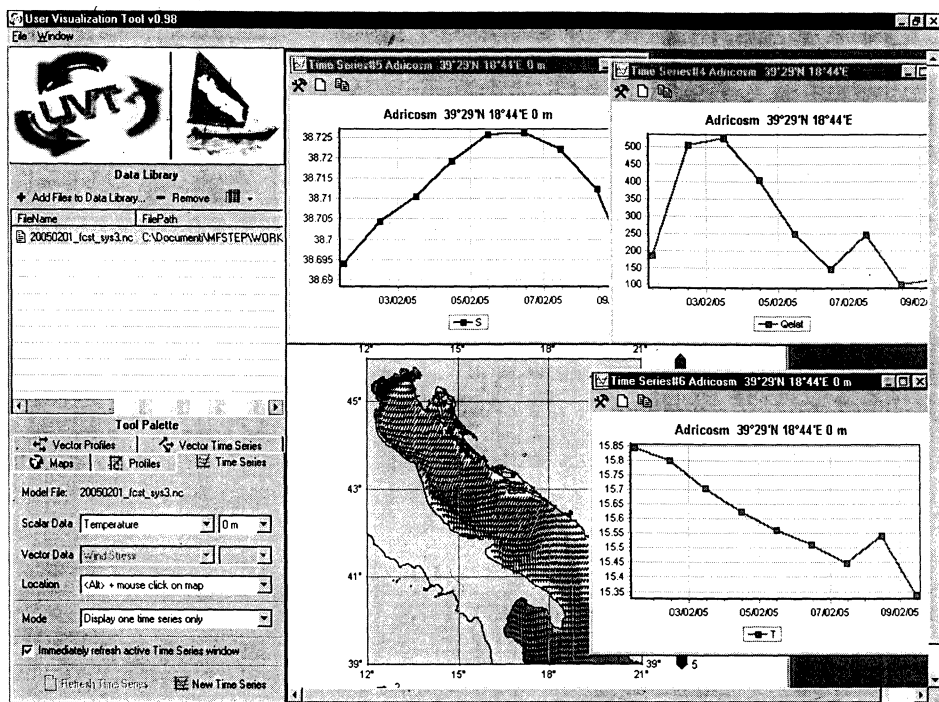


Р и с. 3. Пример построения вертикальных профилей скалярных переменных в *UVT*

Чтобы построить временные ряды скалярных переменных (рис.4.), необходимо загрузить в пользовательскую библиотеку файлы, соответствующие нужному промежутку времени. Как в случае с вертикальными профилями, предлагается два метода построения временных рядов: по положению курсора мыши на карте и по выбору в списке физико-географического района. На рис. 4 построены временные ряды для солёности и температуры воды на поверхности, а также для скрытой теплоты парообразования, полученные с помощью модели Адриатического моря [2] в точке с координатами 39°29' с.ш., 18°44' в.д. Подобно профилям, для временных рядов скалярных переменных реализованы функция масштабирования и режим накопления. Визуализация временных рядов дает представление о временной изменчивости гидрофизических полей (суточной, мезомасштабной, сезонной, межгодовой), а также о причинно-следственных связях в системе.

Построение вертикальных профилей векторных переменных состояния иллюстрируется рис. 5. В качестве примера рассматривается прогноз состоя-

ния Адриатического моря [2]. Сначала с помощью инструментария для построения карт создается распределение солёности и скорости течения на поверхности моря 1 февраля 2005 г. Затем активизируется закладка «Профили вектора». Положение курсора мыши на карте в точке с координатами $44^{\circ}18'$ с.ш., $14^{\circ}43'$ в.д. вызывает автоматическое построение вертикального профиля скорости течения в этой точке, данный профиль расположен в правом нижнем окне. В левом нижнем и правом верхнем окнах приводятся профили, соответствующие 5 и 9 февраля 2005 г., полученные с помощью сдвига во времени. Векторные профили можно масштабировать и анимировать. Возможно построение средних профилей для заранее выделенных физико-географических районов.

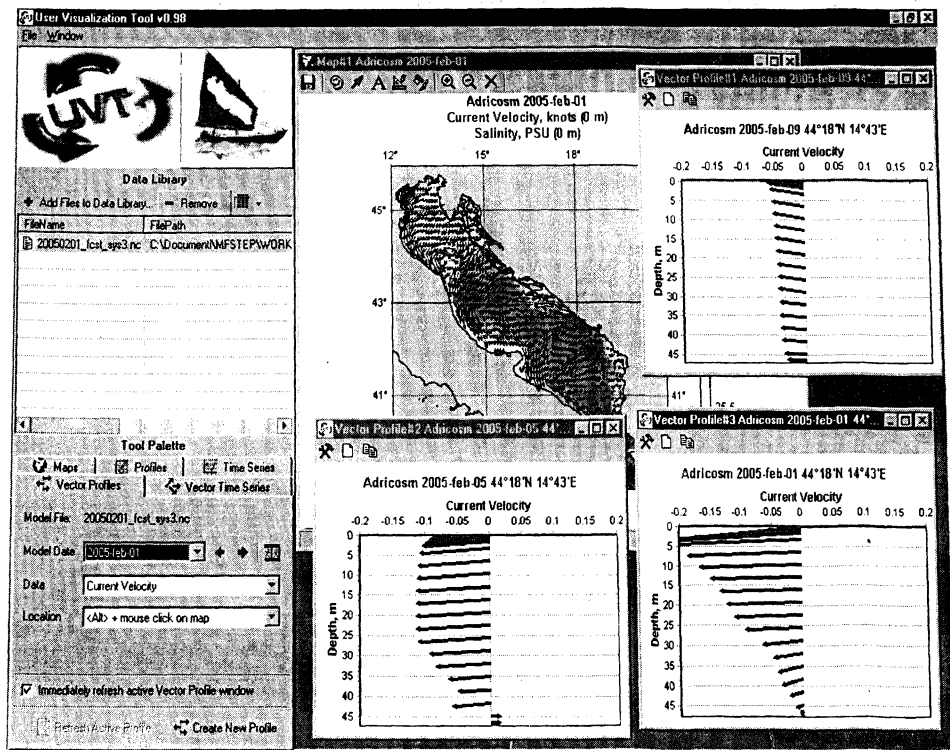


Р и с. 4. Пример построения временных рядов скалярных переменных в UVT

На рис. 6 представлено построение временных рядов векторных переменных состояния. Процедура построения логически вытекает из описанных выше методов построения временных рядов скалярных переменных и вертикальных профилей векторных переменных. На фоне карты, построение которой является начальным шагом процедуры, в верхнем окне приводится временная изменчивость скорости ветра в выбранной точке. В нижнем окне построен соответствующий временной ряд для скорости течения на поверхности.

Построение разрезов продемонстрировано на рис. 7 на примере прогностического расчета в рамках модели Средиземного моря [1]. Обычно в библиотеку пользователя помещается соответствующий выходной файл модели. Сначала происходит построение карты. Затем активизируется закладка «Раз-

резы». Выбираются дата и переменная состояния, здесь – температура. С помощью курсора мыши на карте можно выбрать произвольный разрез. Тогда как на рис. 7 показан результат выполнения альтернативной функции – выбор из списка стандартного разреза «Гибралтар – Хайфа». В список стандартных разрезов внесены проливы, разрезы, которые строятся по экспериментальным данным, а также те, что пересекают наиболее гидродинамически активные зоны Средиземного моря. Разрезы легко масштабируются и анимируются. *UVT* снабжен *help*-системой и «Руководством для пользователя».



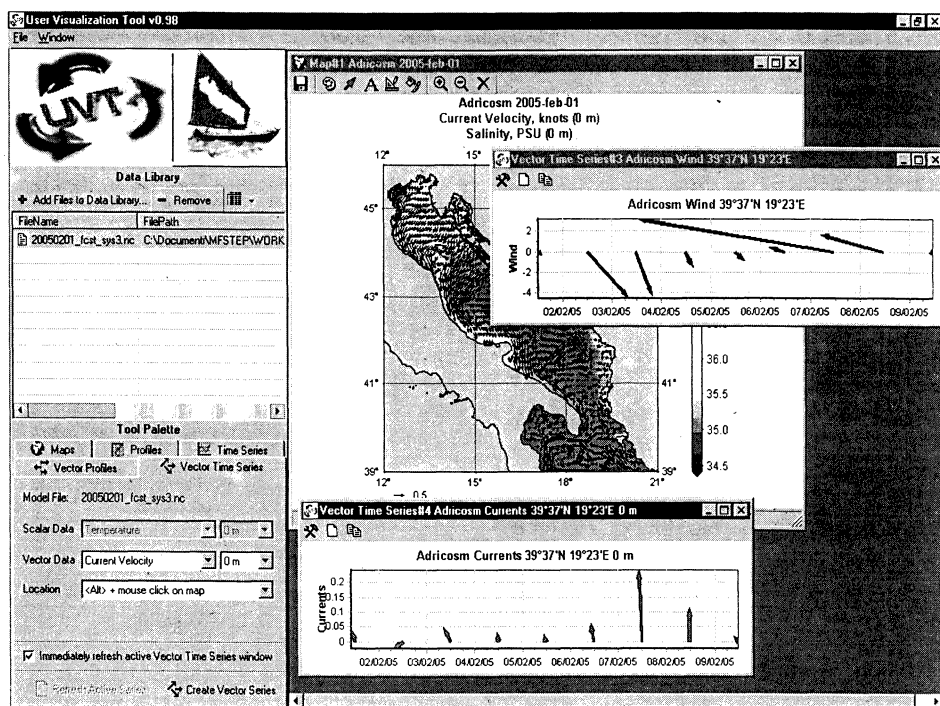
Р и с. 5. Пример построения вертикальных профилей векторных переменных в *UVT*

Необходимо заметить, что в данный момент программные продукты типа *UVT* не являются широко распространенными. В эпоху слабой вычислительной техники и грубых гидротермодинамических моделей в них просто не было необходимости. В данный момент разработка такого рода программных средств видится чрезвычайно перспективной. Во-первых, для валидации гидротермодинамических моделей было бы весьма полезным объединить средство визуализации с системой управления базами данных, содержащими как данные контактных измерений, так и спутниковую информацию. Во-вторых, необходимо развивать междисциплинарное моделирование морских экосистем, что предполагает значительное увеличение количества переменных состояния и, следовательно, стремительный рост объемов информации. Без эффективной визуализации анализ результатов моделирования экосистем просто невозможен.

В смысле общности решаемых задач наиболее близким к *UVT* программным продуктом является *ODV* (*Ocean Data View*) [3]. С одной стороны, *ODV*

ISSN 0233-7584. Мор. гидрофиз. журн., 2007, № 5

ориентирован на визуализацию междисциплинарных экспериментальных данных, поэтому он обладает более мощной, чем *UVT* системой анализа входных файлов. С другой стороны, этот пакет более громоздкий и значительно сложнее в освоении. Не принижая достоинств *ODV*, подчеркнем, что *UVT* дает возможность использования не одной, а целого арсенала моделей. При этом выбор модели легко осуществляется самим пользователем без изменения кода, через специальные текстовые файлы.

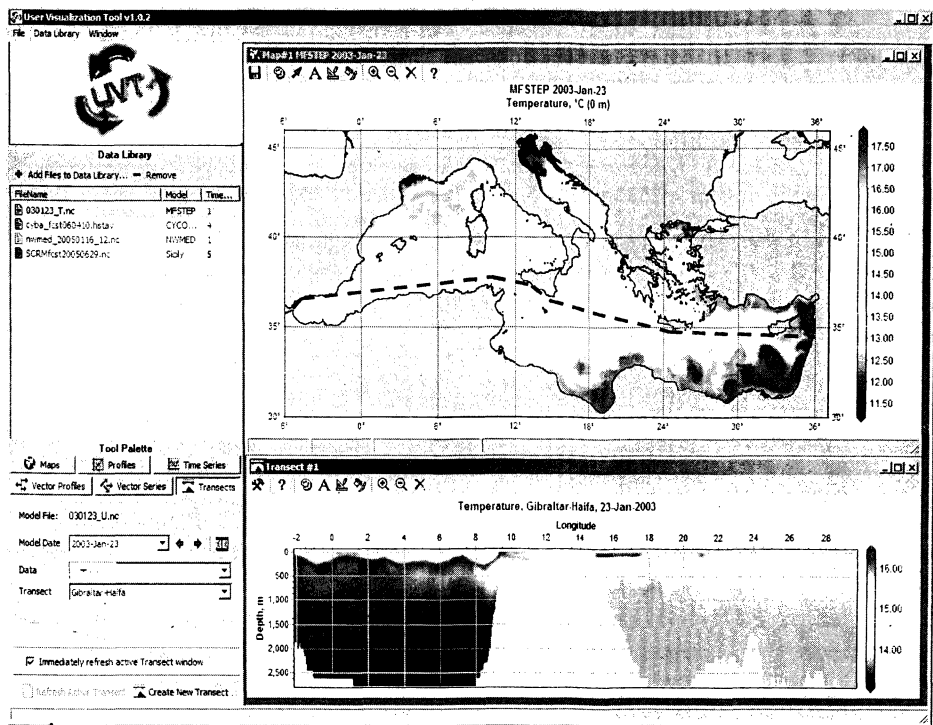


Р и с. 6. Пример построения временных рядов векторных переменных в *UVT*

Для обработки результатов океанографических съемок в МГИ НАН Украины была разработана программа «Гидролог» [4, 5]. В ней при исследовании экспериментальных данных, в частности, решается задача построения вертикальных профилей, карт и разрезов гидрофизических переменных состояния. В отличие от *UVT* программа загружает данные в установленном для пользователей МГИ специальном формате. Кроме того, построение карт и разрезов осуществляется при использовании пакета *SURFER*. Такой подход вполне оправдан для визуализации данных небольших гидрологических съемок, но едва ли может оказаться эффективным для обработки результатов современного моделирования.

Процесс разработки *UVT* является интерактивным, разработчик постоянно контактирует с создателями моделей. Несмотря на то, что свежая версия *UVT* регулярно публикуется в Интернете (www.bo.ingv.it/mfstep), процесс разработки программы еще не закончен. В ближайшее время будут реализованы блок построения временной изменчивости вертикальных профилей ска-

лярных переменных и блок расчета потоков воды, тепла и соли. В данный момент *UVT* поддерживает визуализацию моделей Средиземного [1] и Адриатического [2] морей, Лионского залива [6], центральной части Средиземного моря [7] и Кипрского сектора Средиземного моря [8]. Планируется дальнейшее продолжение этого модельного ряда.



Р и с. 7. Пример построения разрезов в *UVT* в рамках модели Средиземного моря

Таким образом, разработанное программное обеспечение предоставляет эффективный доступ к большим массивам информации, полученной в результате расчетов в рамках самых современных гидротермодинамических моделей, содействует проведению научных исследований и дальнейшему распространению результатов среди конечных пользователей.

UVT является некоммерческим программным пакетом, который разрабатывается при финансовой поддержке проекта *MFSTEP – EVK3-CT-2002-00075*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pinardi N., Masetti E. Variability of the large-scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modeling: a review// *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*—2000. — №158. — P. 153 – 173.

2. *Zavatarelli M., Pinardi N.* The Adriatic Sea modelling system: a nested approach// *Annales Geophysicae*. –2003. –№1(II). – P. 345 – 364.
3. *Belokopytov V.N.* «Oceanographer»: applied software for oceanographic surveys // International Symposium on Information Technology in Oceanography (ITO-98) 12 – 16 October, 1998. Abstracts. – Goa, India, 1998. – P.79.
4. *Belokopytov V.N.* Ocean Station Tool: Software package for processing and analysis of oceanographic data // International Marine Data and Information Conference – IMDIC (May, 31 – June 3, 2005). Abstracts. – Brest, France, 2005. – P.67.
5. *Schlitzer R.* Ocean Data View. –2003. <http://www.awi-bremerhaven.de/GEO/ODV>.
6. *Echevin V., Crépon M., Mortier L.* Simulation and analysis of the mesoscale circulation in the northwestern Mediterranean Sea// *Annales Geophysicae*. –2003. – №1(II). – P. 281 – 298.
7. *Sorgente R., Drago A.F., Ribotti A.* Seasonal variability in the Central Mediterranean Sea circulation// *Ibid.* – P. 299 – 322.
8. *Zodiatis G., Lardner R., Lascaratos A. et al.* High resolution nested model for the Cyprus NE Levantine Basin, eastern Mediterranean Sea: implementation and climatological runs// *Ibid.* – P. 221 – 236.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 06.05.06
После доработки 05.06.06

ABSTRACT *UTV* (User Visualization Tool) – software for visualization of hydrothermodynamic modeling results – is described. Up-to-date requirements to such software are discussed. *UTV* permits to construct efficiently maps, vertical profiles, time series and sections of scalar and vector variables of state. Some possibilities of the package are demonstrated on the example of the models of the Mediterranean and the Adriatic seas. It is compared with similar software. Tendencies of its further development are defined.