

В.В.Долотов, А.В.Долотов

*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ДЛЯ МОНИТОРИНГА
АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ШЕЛЬФОВЫЕ ЗОНЫ КРЫМА**

Описывается ГИС-инструмент океанографической направленности, разрабатываемый в качестве системы мониторинга антропогенных воздействий на шельфовые зоны Крыма. Инструмент представляет собой специализированную систему усвоения и визуализации океанографических данных, предназначенную, в первую очередь, для диагностики распространения загрязнений в морской среде с использованием результатов контактных методов исследований и спутниковых изображений. Первая версия системы включает результаты измерений, выполненных в процессе трех съемок 2015 г. на НИС «Бирюза» в районе м. Фиолент и пос. Кацивели.

Ключевые слова: *ГИС, прибрежная зона, океанографические данные, спутниковые изображения, анализ, визуализация*

В настоящее время с развитием геоинформационных систем отчетливо наблюдается тенденция организации пространственных баз данных в специализированных ГИС-форматах, таких как *shape*-файлы ведущего разработчика ГИС, фирмы *ESRI* [1], растровые и сеточные структуры, структурированные геобазы данных. С точки зрения океанографии особый интерес представляют современные возможности трехмерной визуализации и анализа данных с использованием технологий, аналогичных *ESRI ArcMarine* [2]. С учетом этого, а также необходимостью реализации специализированных алгоритмов выборки данных из трех и более мерных массивов с последующей их обработкой и визуализацией представляется целесообразным разработка специализированной ГИС океанологической направленности на базе универсальных или оригинальных ГИС-форматов. Серьезным доводом в этом плане является стоимость готовых ГИС-инструментов, а также санкционные ограничения их поставок организациям Крыма.

Первый вариант информационной системы «Морские берега Крыма» был реализован в Морском гидрофизическом институте (МГИ) в 2013 г. [3] и представлял собой лишь набор результатов прибрежных исследований, представляемых на фоне базовой карты с использованием ГИС-форматов. Используемая при этом базовая векторная многослойная карта послужила в дальнейшем основой для разработки более совершенной аналитической системы с возможностью усвоения океанографических данных натуральных наблюдений, представления растровых изображений, сеточных цифровых массивов, а также вывода готовых иллюстрационных материалов, в том числе в формате *GeoTIFF*. Разработка выполнялась в соответствии с предложенной ранее концепцией [4] и предназначалась, в первую очередь, для визуального анализа процессов распространения загрязнений в морской среде.

Внутренняя картографическая основа использует прежнюю базовую многослойную векторную карту, ограниченную в настоящей версии побе-

режем Крымского п-ова, а также специализированную базу данных (БД) результатов наблюдений, полученных в процессе выполнения экспедиционных работ на НИС «Бирюза» в периоды 28 – 31 июля, 9 – 10 сентября и 21 сентября 2015 г. в районе Южного берега Крыма.

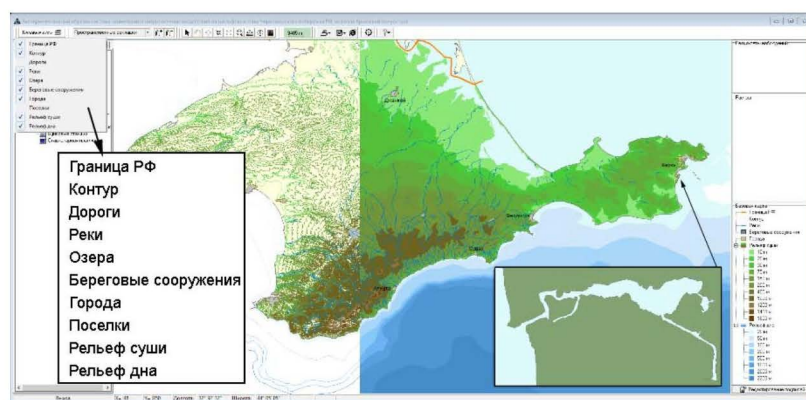
В качестве тестовых растровых данных использовался современный спутниковый снимок района исследований, а также сканированные фрагменты карты масштаба 1:100000.

Картографическая основа ГИС представлена базовой картой, включающей возможности масштабирования, организации пространственных закладок и вывода подписей в различных вариантах. В ее состав входят 10 векторных тематических слоев в формате *ESRI Shape* [1], два из которых («рельеф суши» и «рельеф дна») имеют варианты полилинейного и полигонального представления, формирующие, соответственно, и два варианта визуализации базовой карты: контурный и сплошная заливка (рис.1). Цветовая гамма рельефа представлена в 4-х вариантах и может быть скорректирована или дополнена пользователем. Полный состав тематических слоев приведен в виде списка на рис.1.

Базовая карта использует БД географических наименований, расположение и формат представления которых настраивается пользователем и, кроме того, определяется масштабом карты.

Все используемые векторные материалы взяты из свободных источников Интернета [5]. Дополнительно файлы контура Крыма и прибрежных сооружений тщательно корректировались с использованием современных спутниковых снимков, что повысило точность отображения пространственного положения береговой линии и качество топологии (см. врезку на рис.1) в среднем до 5 м [6].

База данных. Исходя из поставленных задач, алгоритмы построения БД реализовывались с учетом наличия комплекса традиционных океанографических измерений, выполняемых МГИ в содружестве с Институтом морских биологических исследований РАН (гидрология, гидрохимия, гидробиология, оптика, измерения векторов скоростей течений, а также временных серий измерений некоторых показателей на стационарной плат-



Р и с . 1 . Два варианта представления картографической основы: изолинии высот и глубин (слева), сплошная заливка (справа).

форме и буйковых станциях). Все они представлены в БД в виде векторных *ESRIshape*-файлов и таблиц формата *DBF*, которые обрабатываются как связанные по пространственно-временным координатам в рамках одной съемки. Помимо этого, иногда в процессе съемок используется менее традиционное оборудование. Так, в некоторых из указанных съемок использовался «комплекс гидрохимический попутных измерений» (КГПИ), представляющий собой проточную систему прокачки заборной воды с заданного горизонта с измерением некоторых показателей на борту судна. При этом сами измерения выполняются автоматически с интервалом около одной минуты, что логически сходно с массивами данных, получаемых с использованием буйковых станций и позволяет также реализовать визуализацию временных серий.

В отличие от этого, используемые в БД растровые данные связаны с предыдущими лишь пространственно и не включаются в перечень данных конкретной съемки. Более того, возможно использование серии растровых снимков одного района для различных периодов.

С учетом этого, алгоритмы усвоения результатов наблюдения разрабатывались, исходя из выходных форматов регистрирующих приборов, а также распространенного варианта электронных таблиц *MSExcel*, формируемых обычно вручную.

Центральным звеном с точки зрения построения БД являются гидрологические данные, автоматически записываемые зондирующими *CTD*-комплексами в специальном океанографическом формате [7], включающем паспортный файл описания всех выполненных станций, а также серии измерений температуры, солености и условной плотности на различных горизонтах каждой из них. Все указанные файлы имеют текстовый формат с табличной структурой. В формате БД файл описания станций является основным для формирования сетки станций на карте для всех видов измерений. Алгоритмом усвоения гидрологических данных в БД выполняется преобразование паспортного файла в точечный *shape*-файл, внутренне связанный с файлом *DBF* и представляющий все результаты.

Вторым автоматически генерируемым выходным форматом является файл оптических измерений показателя ослабления света для разных каналов. Он имеет более сложную текстовую структуру, разделенную заголовками, и характеризует для каждого из каналов показателя по глубине для всех станций. В заголовках также указываются результаты измерения глубины видимости белого диска и цветность воды для станции в целом. В процессе усвоения данных эти величины записываются в паспортный гидрологический файл описания станций.

Несколько иным форматом представлены данные по направлениям и скоростям течений, получаемые с использованием *ADCP* [8]. Эти данные для каждой станции формируются в файлы с записью проекций скоростей на прямоугольные оси координат для вертикальных профилей с разрешением около 4 м.

В отличие от автоматически формируемых файлов, практически не содержащих ошибок, исходные файлы по гидрохимии и гидробиологии формируются вручную в формате *MSExcel* и требуют длительного времени для выполнения анализов. При этом файлы различных съемок могут сущест-

венно отличаться по количеству и списку показателей, а каждый из показателей может быть озаглавлен по-разному. Так, содержание растворенного кислорода обозначают как химической формулой «O₂», так и различными сокращениями от английского «OXYGEN» и русского «KISLOROD». В дополнение к этому в различных съемках один и тот же показатель может быть измерен в различных единицах, а иногда еще существуют и его производные, например, процентное содержание кислорода в морской воде.

С учетом этого, было принято решение предварительно создать структуру метаданных БД с описанием всех характеристик используемых показателей. В процессе импорта данных при обнаружении отсутствующего в БД показателя пользователю выдается соответствующее сообщение с вариантами игнорирования данного показателя, выбора его аналога из списка либо указания полной характеристики с записью в БД. В настоящее время состав текущей версии БД включает 84 показателя.

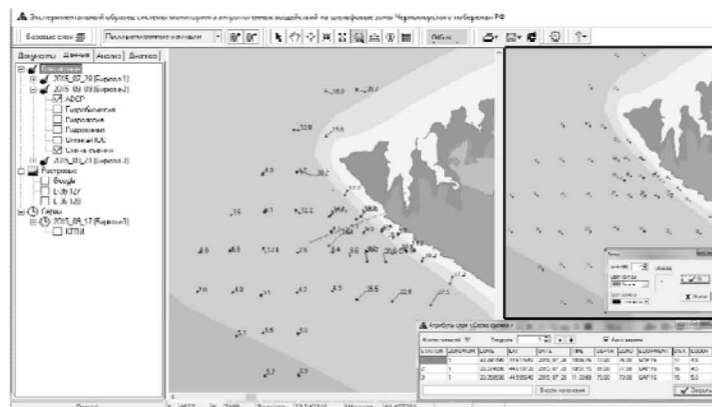
Для усвоения растровых изображений, детектируемых по файловому расширению, в БД автоматически создается специальный каталог, в который и переносятся изображения. При этом модуль импорта выбирает лишь геопривязанные файлы типов *JPG* и *TIF*, имеющие соответствующий им *world*-файл [9]. Файлы формата *GeoTIF* используются на основе внутренней географической информации.

Структура интерфейса пользователя традиционна для ГИС и включает три основных составляющих: панель БД, картографический фрейм и панель легенды (рис.1). В процессе загрузки программы на панель БД загружаются все данные текущего проекта, систематизированные в три группы: контактные данные натурных наблюдений, растровые изображения и временные серии, при этом первые и последние сортированы по датам съемок (см. далее рис.2, *слева*).

Внутри каждой съемки наличие данных представлено по видам измерений (предметам) и отдельную позицию занимает «Схема съемки», используемая в процессе картографической визуализации всех видов данных. В процессе выбора данных для отображения на карте соответствующие позиции дублируются в панели легенды, которая позволяет управлять и условными обозначениями представления данных.

Визуализация результатов съемок. Отображение результатов контактных наблюдений на карте осуществляется выбором их из списка БД. Выбранные данные помечаются значком, повторный щелчок на котором убирает указанные данные с представления на карте. В соответствии с концепцией программы, данные, имеющие в атрибутивной таблице сведения о пространственном расположении точек, отображаются в соответствии с этой информацией, а при отсутствии таковой, данные о положении станций выбираются из паспортного файла съемки. На рис.2 для примера представлены результаты измерения скоростей течений (рис.2, *слева*) и схема съемки с ее атрибутивной таблицей (рис.2, *справа на врезке*).

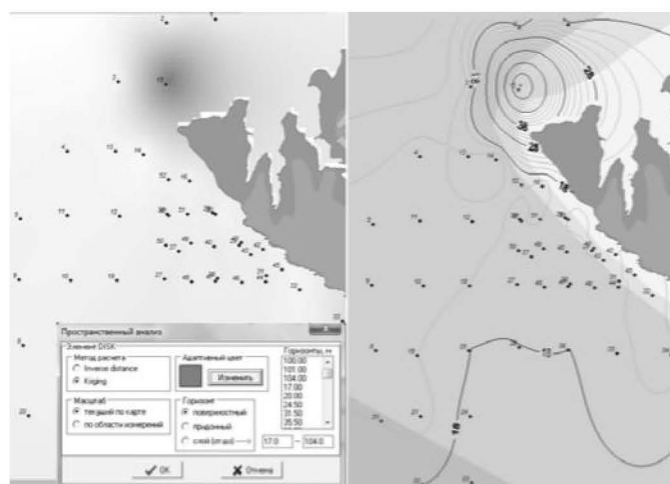
Другим способом доступа к данным атрибутивной таблицы является получение информации по объекту на карте с помощью специального инструмента. Выбор всегда осуществляется по объектам выбранного в панели легенды слоя и выдает атрибутивную информацию для единичного объекта.



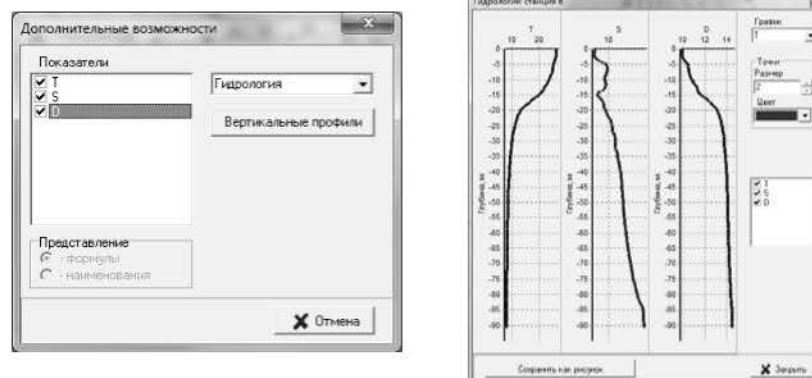
Р и с . 2 . Пример визуализации векторов течений (слева) и схемы съемки (врезка справа).

Пространственный анализ данных. Щелчок правой кнопкой мыши на названии слоя в легенде всегда отображает список показателей атрибутивной таблицы и при выборе любого из них позволяет выполнить интерполяцию с получением пространственного распределения по заданному горизонту или слою (рис.3, слева).

В качестве результата на карту выводится результирующее распределение, при перемещении курсора по которому в строке статуса выводится рассчитанное значение в ячейке сетки. Полученные таким образом цифровые массивы для разных показателей и слоев сохраняются в БД постоянно и загружаются совместно с соответствующими предметными данными. При необходимости они могут быть удалены оператором. Наличие регулярного цифрового массива позволяет также построить соответствующую карту распределений в виде изолиний (рис.3, справа). Концепцией программы предусмотрено сохранение цифровых массивов на постоянной основе на



Р и с . 3 . Пространственное распределение глубины видимости белого диска в виде регулярной сетки (слева) и изолиний (справа).



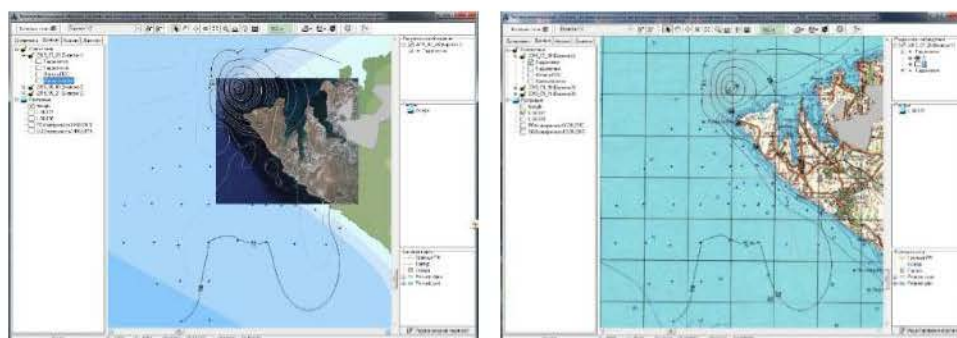
Р и с . 4 . Запрос (слева) и результат (справа) построения вертикальных профилей.

диске в каталоге съемки. Карта же изолиний является временным объектом и не сохраняется в процессе работы, однако может отображаться и в отсутствие цифрового массива на карте.

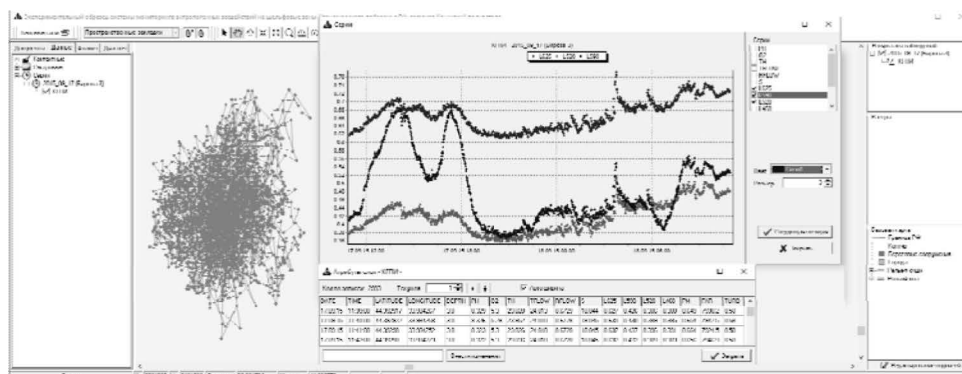
Помимо указанных выше возможностей программа позволяет выполнять построение вертикальных профилей любых показателей атрибутивной таблицы. Вызов меню построения выполняется из информационного окна на конкретной станции из слоя, имеющего данные по вертикальному зондированию, например, гидрологического. В этом случае кнопка «Дополнительно» становится активной и вызывает появление запроса параметров построения, после чего представляет результат построения в виде вертикальных профилей (рис.4).

Картографическое представление растровых материалов. Растровые материалы выбираются из БД аналогично контактным данным с размещением условных обозначений в соответствующей панели. Пример наложения карты изолиний на тестовый спутниковый снимок и отсканированную карту представлен на рис.5.

Работа с временными сериями. Отображение временных серий по умолчанию выполняется в виде одной или серии (в случае подвижного измерителя) точек. На рис.6 представлен вариант представления серии измерений с использованием КГИИ. Представленный на рисунке график позво-



Р и с . 5 . Примеры представления контактных данных на фоне растровых: космический снимок (слева), скапированная карта (справа).



Р и с . 6 . Программная визуализация временных серий измерений.

ляет простым щелчком мыши перейти в соответствующую атрибутивную таблицу результатов измерений на заданное время.

Функции экспорта. Необходимые для подготовки отчетных или аналитических материалов функции экспорта реализованы в виде модулей сохранения всех картографических представлений и графиков в виде отдельных изображений, либо в составе их форм. При этом подготовленные карты сохраняются по выбору пользователя в формате *JPG* с записью соответствующего *world*-файла, или в формате *GeoTIFF*.

Заключение. Разработана геоинформационная система для оперативного усвоения и визуализации результатов комплексных исследований состояния прибрежной зоны Крыма на основе натуральных наблюдений и спутниковых снимков. Дальнейшее развитие системы предполагает реализацию поддержки множественных проектов с возможностью использования одних и тех же данных, обеспечения выборки данных по заданным разрезам и горизонтальным сечениям, расширения аналитических возможностей и, в первую очередь, реализацию статистического модуля оценок.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме 0827-2014-0010 "Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей на основе современных методов контроля состояния морской среды и грит-технологий".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ESRI Shapefile Technical Description.*– An ESRI White Paper.– July, 1998.– 28 p.
2. *Izenor A.W., Spears T.W.* Utilizing Arc Marine concepts for designing a geospatially enabled database to support rapid environmental assessment. Defense R&D Canada – Atlantic. Utilizing Arc Marine concepts for designing a geospatially enabled database to support rapid environmental assessment // Technical Memorandum DRDC Atlantic TM 2009-061. July 2009.– 178 p.
3. *Долотов В.В., Горячкин Ю.Н.* Информационно-справочная система «Морские берега Крыма» // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь, 2013.– вып.27.– С.358-362.
4. *Долотов В.В., Долотов А.В.* Концепция построения системы мониторинга ан-

тропогенных воздействий на шельфовые зоны моря // Морской гидрофизический журнал.– 2015.– 6.– С.34-42.

5. *Векторная карта Украины.* <http://maps.ua/vector-map-ukraine>.
6. *Горячкин Ю.Н., Долотов А.В.* Некоторые результаты подготовки детальных цифровых массивов прибрежной зоны Крыма // Материалы Научной конференции «Ломоносовские чтения» 2015 года / Под ред. М.Э.Соколова, В.А.Иванова, Н.Н.Миленко, В.В.Хапаева, Н.В.Величко.– Севастополь: ООО «Экспресс-печать», 2015.– С.32-33.
7. *Океанологические информационные системы, базы и банки данных и знаний /* Под ред. акад. В.Н.Еремеева.– Севастополь: МГИ, 1993.– 19 с.
8. *Интернет-портал фирмы geo-matching.com.* <http://www.geo-matching.com/category/id43-adcps-acoustic-doppler-current-profilers.html>
9. *Формат файла географической регистрации.* Интернет-портал GIS-Lab. <http://gis-lab.info/qa/tfw.html>

Материал поступил в редакцию 29.05.2016 г.

V.V.Dolotov, A.V.Dolotov

USING OF GEOINFORMATIONAL SYSTEM FOR MONITORING OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE CRIMEAN SHELF

The geographic information system (GIS), developed as system of monitoring of anthropogenic impact on the Crimean shelf, is described. GIS represents the specialized geographic system for visualization of oceanographic data intended for pollution distribution in the marine environment diagnostics, based on contact research methods and satellite images. The program has traditional for GIS functionality and problem-oriented oceanographic realization. The main development direction is realization of three-dimensional data processing algorithms with creation of vertical profiles and spatial distributions within a layer of waters. The structure of GIS includes the basic vector map consisting of 10 thematic layers, and the database of research results executed in frame of three surveys of 2015 on research vessel "Biruzha" (Turquoise) around deep-water sewage outlet located on the Fiolent Cape.

KEYWORDS: GIS, coastal zone, oceanographic data, satellite images, analysis, visualization