

В.В.Долотов, А.В.Долотов

Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРЫМА В СЕТИ ИНТЕРНЕТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Описываются основные возможности интерактивного картографического представления результатов наблюдений за состоянием прибрежной зоны Крыма в сети Интернет с использованием современной открытой библиотеки *leaflet* для *javascript*. В отличие от специализированных информационных систем и атласов разработанный продукт не предъявляет особых требований к аппаратному обеспечению компьютерной техники и их платформе, поскольку программной основой информационного представления являются стандартные браузеры. Таким образом, естественно, расширяется круг пользователей информации, которая предназначена не только для специалистов, но также для руководителей управленческих структур и простых пользователей сети Интернет. В соответствии с принципами построения *leaflet* в системе максимально реализованы методы интерактивности и оптимальной функциональной доступности. Помимо детальной информационной составляющей по структуре береговой зоны Крыма, основой системы являются первичные данные натурных наблюдений, а также специализированные массивы в виде результатов обобщения данных по отдельным регионам и направлениям исследований. Предполагается обеспечение периодического информационного пополнения системы с размещением ее в открытом доступе, например, на сайте Морского гидрофизического института РАН.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Крым, прибрежная зона, натурные наблюдения, геоинформационные системы, интернет-технологии*

Информационные системы играют большую роль в оценке состояния природной среды и ее динамики. Именно они позволяют своевременно предвидеть необратимые природные изменения, включая их возможные катастрофические последствия. Ранее многократно отмечалось, что природа Крыма, наряду с ее привлекательностью, характеризуется значительной уязвимостью, особенно заметной в прибрежной зоне моря. Стремление максимально использовать природные ресурсы прибрежной зоны выводит ее экологическую систему из равновесного состояния в ситуацию, граничащую с невозможностью восстановления. Трезво оценивая текущую ситуацию, Верховная рада Крыма еще в 2004 г. приняла Постановление о создании кадастра пляжей Крыма [1], который, однако, отсутствует до сих пор.

Морской гидрофизический институт РАН (МГИ) занимается изучением динамики береговой линии Крыма на различных ее участках уже несколько десятилетий, при этом в организации накоплен большой массив данных наблюдений как непосредственно за пространственным положением отдельных объектов прибрежной зоны, так и за определяющими это положение процессами: обилием осадков, количеством и качеством речных стоков,

особенностями прибрежных течений, динамикой наносов и пр. Полученные результаты позволили сотрудникам МГИ разработать уникальные программные продукты, в том числе математические модели распространения речных стоков и научно обоснованную методику формирования кадастра пляжей. Все эти материалы неоднократно докладывались на международных конференциях, в средствах массовой информации, в Верховной раде и Министерстве туризма Крыма. Однако, несмотря на это, процессы деградации пляжей и берегов полуострова до сих пор продолжают свою разрушительную деятельность, которая уже привела к катастрофическим результатам на огромной территории северо-западного и, частично, южного побережья.

Отсюда напрашивается достаточно определенный вывод о том, что либо до управленческих структур не доходят сведения об имеющихся научных разработках, либо до текущего момента просто не было средств на реализацию предлагаемых проектов. В настоящее же время с учетом повышенного внимания руководства РФ к развитию туристических и рекреационных услуг на базе Крыма не учитывать все имеющиеся сведения недопустимо. Именно поэтому в МГИ предпринимаются усилия по популяризации накопленных знаний среди широких масс и, конечно же, заинтересованных специалистов. Так, в плане реализации этой задачи МГИ при поддержке РФФИ в 2015 г. подготовил и выпустил подробный иллюстрированный атлас [2], детально описывающий современное состояние каждого индивидуального участка побережья Крыма. Атлас был высоко оценен специалистами и на основании их незначительных замечаний предполагается подготовить его второе издание.

Другим примером представления данных наблюдений являются различные информационные системы, которые, с учетом последних разработок в области картографических сервисов сети Интернет, позволяют вывести имеющиеся результаты на совершенно иной уровень. По оценкам специалистов в области геоинформационных систем (ГИС), являющихся основой для представления данных на поверхности Земли, очень серьезный прогресс в решение проблемы представления большого количества геопривязанных данных в сети Интернет внесла специализированная библиотека *leaflet*, разработанная в 2011 г. Владимиром Агафонкиным [3] в виде приложения к популярному языку программирования *Javascript*. Библиотека *leaflet* оказалась настолько удачной, что, помимо ее совершенствования, сообщество пользователей создало огромное количество дополнительных модулей [4], позволяющих выполнить интерактивное представление данных в сети Интернет с максимальным качеством и большим объемом данных. Следует отметить, что свою долю заинтересованности к библиотеке проявили и ведущие разработчики ГИС-инструментов. Так, наиболее известная американская фирма *ESRI* также разработала модуль представления своих форматов данных совместно с *leaflet* [5].

Основной целью настоящей работы является оценка возможностей *leaflet* для представления океанографических данных.

Форматы данных. Океанографические форматы данных, очевидно, характеризуют пространственные распределения большого количества измеряемых показателей в трехмерной системе координат (долгота, широта и

глубина). Как правило, дополнительным измерением является время, поскольку наиболее важно иметь представление не только о текущем состоянии изучаемой акватории, но также о тенденциях, скорости и причинах ее трансформации. Конечно, достаточно трудно представить, чтобы все эти данные сохранялись в едином массиве, однако даже такая сложная проблема была решена введением формата *netCDF* [6], который, однако, удобен скорее для хранения данных, чем для их анализа, поскольку большие массивы требуют большего времени на поиск и выборку. Однако, несмотря на то, что данное мнение достаточно субъективно, объективным фактом является сохранение данных в более простых вариантах, например, по результатам одной экспедиции и в простейших форматах, вплоть до текстовых. До недавнего времени такое положение доставляло немало неудобств при организации информационных систем, поскольку при этом приходилось либо подстраиваться под имеющиеся форматы данных, либо выполнять их преобразование в более удобные, в зависимости от поставленных задач.

Положение серьезно изменилось в последние десятилетия в связи с развитием ГИС-технологий, предложивших *SHP*-формат [7] хранения пространственных данных одновременно с их характеристическими свойствами. При этом высокая плотность упаковки данных позволяет быстро идентифицировать объекты на карте и осуществлять выборку на основе их свойств. Все это позволило указанному формату хранения данных стать своеобразным стандартом в мире ГИС-технологий и он же может использоваться, в частности, и при организации соответствующих интернет-сервисов. Указанная выше библиотека *leaflet* использует еще более сжатый архивный формат хранения данных, что позволяет обеспечить необходимую скорость передачи данных, а, следовательно, и быстродействие системы в целом.

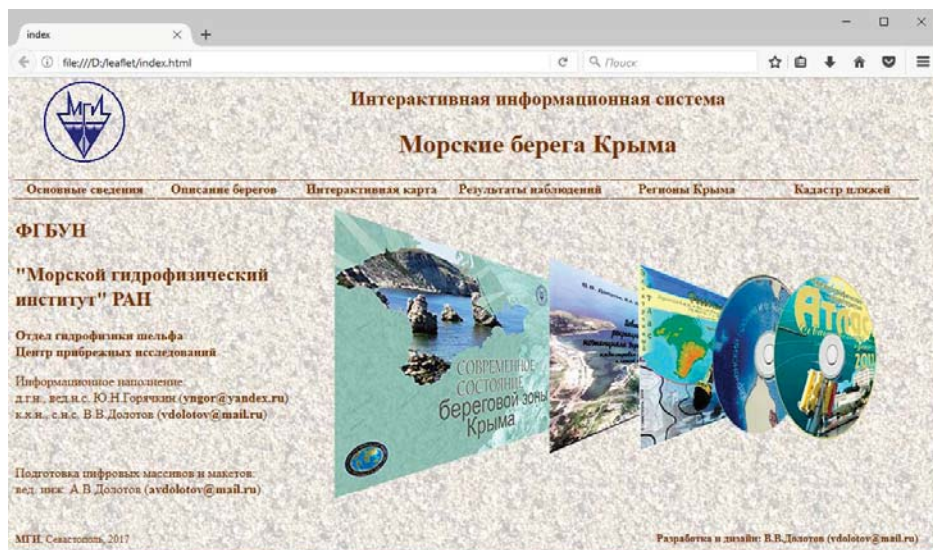
Однако следует заметить, что в процессе реального пространственного анализа пока еще редко используются технологии трехмерного представления данных, чаще же специалисты оценивают выборки в виде двумерных вертикальных разрезов и горизонтальных сечений, а также одномерные вертикальные профили на океанографических станциях, получаемые с использованием зондирующих комплексов. В этом случае первичными данными являются именно вертикальные профили, а двумерные пространственные карты получают методами интерполяции. Последние могут быть представлены в виде регулярных прямоугольных (*GRID*) или нерегулярных треугольных (*TIN*) сеток, либо сгенерированных на их основе изолиний. При этом сеточные модели имеют неоспоримое преимущество в плане возможностей представления, поскольку они являются цифровыми массивами, представляющими значения в каждом узле сетки. Карта же изолиний визуализирует лишь положение линейных распределений, не информируя об изменчивости параметров в промежутках между линиями. Однако, визуализация как тех, так и других может быть значительно более выражена цветовыми схемами, такими как градиентная или светофорная (3-х или 5-ти цветная). В последнем случае на распределении выделяются области, соответствующие схеме «хорошо – удовлетворительно – плохо» или «отлично – хорошо – удовлетворительно – плохо – катастрофично». В настоящей работе использовались все три варианта представления распределений, которые приведены ниже.

Организация данных. Весь комплекс результатов наблюдений за состоянием прибрежной зоны крымского побережья представлен в нескольких вариантах: первичные данные, подготовленные для анализа обработанные данные, результаты региональных наблюдений, текстовые обобщения в виде научных публикаций. Основная цель работы состояла в разработке пилотной версии системы визуализации пространственных океанографических данных в сети Интернет с использованием современных инструментов. При этом «домашняя страница» проекта сформирована в виде, представленном на рис. и представляющем некоторые из проектов – доноров данных.

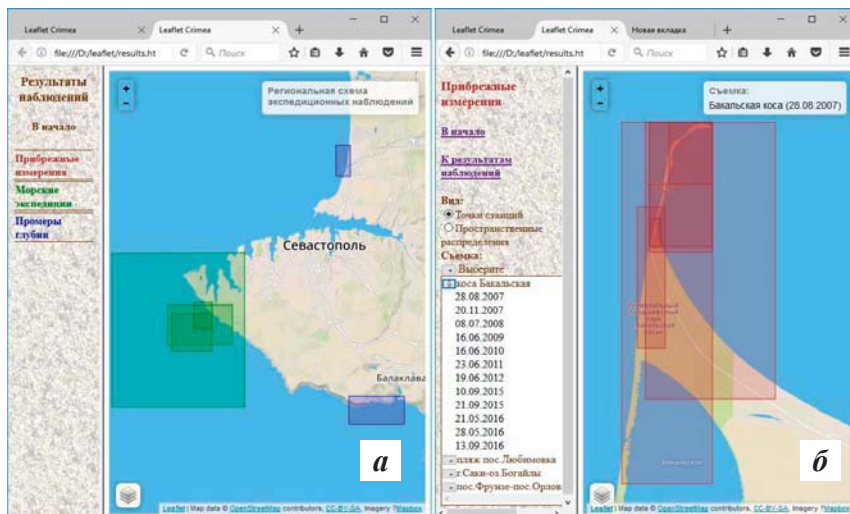
Первые этапы разработки были направлены на формирование интерактивной Интернет-версии работы [2], материалы которой послужили основой для наполнения трех первых разделов информационной системы. Полученные результаты, имеющие законченный вид, уже представлены на конференции [8] и далее не рассматриваются. Дальнейшие же разработки были направлены на организацию возможностей оперативного представления результатов исследований как в виде первичных данных, так и после их постобработки. В целом результаты исследований МГИ подразделяются на морские и прибрежные сухопутные и далее речь пойдет лишь о сухопутных исследованиях, как более соответствующих тематике работы. В дальнейшем, однако, предполагается проанализировать и возможности представления глубоководных измерений, основываясь на опыте ведущего ГИС-разработчика [9, 10] и некоторых собственных разработках.

Поскольку некоторые первичные результаты измерений могут быть представлены наиболее оперативно, для их пространственной визуализации выделен специальный раздел, включающий, помимо результатов морских и прибрежных наблюдений, еще и данные промеров глубин, выполняемых часто, в виде отдельной съемки (рис.2, а).

На карте все районы исследований обозначены полигонами, включающими информацию по каждой съемке, отображаемую в верхнем правом углу



Р и с . 1 . Стартовая страница Web-сайта, представляющего информационную систему.

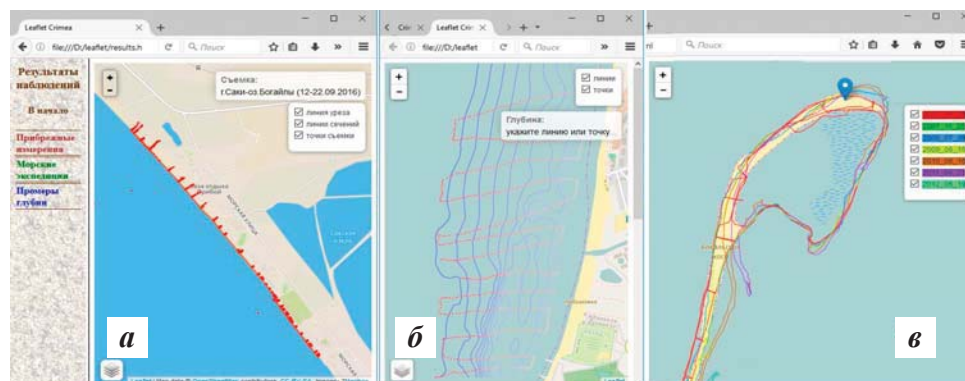


Р и с . 2 . Пространственное представление результатов выполненных наблюдений по отдельным категориям.

карты. Щелчок на полигоне переносит пользователя в район исследований с представлением всех результатов (рис.2, б). При этом как результаты прибрежных исследований, так и результаты промеров глубин могут быть представлены в виде точек, имеющих значения координат и возвышения уровня/глубины либо в виде изолиний, соответствующих урезу воды или расчетным значениям, а также поперечных сечений с теми же характеристиками (рис.3).

Обработанные данные представлены в разделе региональных исследований и визуализируются в виде специально сформированных линейных объектов, включающих соответствующие им точки, что позволяет представить, например, величины смещения береговой линии на отдельных участках за различные периоды (рис.3, в). Возможна также реализация специального измерителя расстояний в рамках используемых технологий.

Выше уже было отмечено, что, основываясь на таких свойствах морской среды, как непрерывность или неразрывность, исследователи часто представ-



Р и с . 3 . Варианты визуализации данных прибрежных исследований: в виде точек (а, б); с использованием линейных объектов (б, в).

ляют ее характеристики в виде пространственных распределений по отдельным разрезам и сечениям. При этом вертикальные разрезы могут быть в плане не прямолинейными, в сечения не всегда горизонтальными. Так, например, часто анализируются пространственные распределения характеристик морской среды в придонном слое вод переменной глубины, или на определенных изоповерхностях, например, изопикнических. В этом случае динамика распределений характеристик морской среды в течение некоторого периода позволяет анализировать их изменение во всем объеме водных масс.

Одним из примеров реализации такого проекта является долговременный анализ экологического состояния вод Севастопольской бухты по данным с 1998 г. по настоящее время [11]. В настоящей работе представлены данные по наблюдениям, выполненным на расширенной сетке станций в трех вариантах (рис.4). При этом два первых варианта представлены сеточными моделями с непрерывным трехцветным градиентом и его «светофорным» аналогом, организующем все значения показателя на три равные области по 33,3 % в каждой. Последний вариант представлен привычной для всех океанологов схемой изолиний.

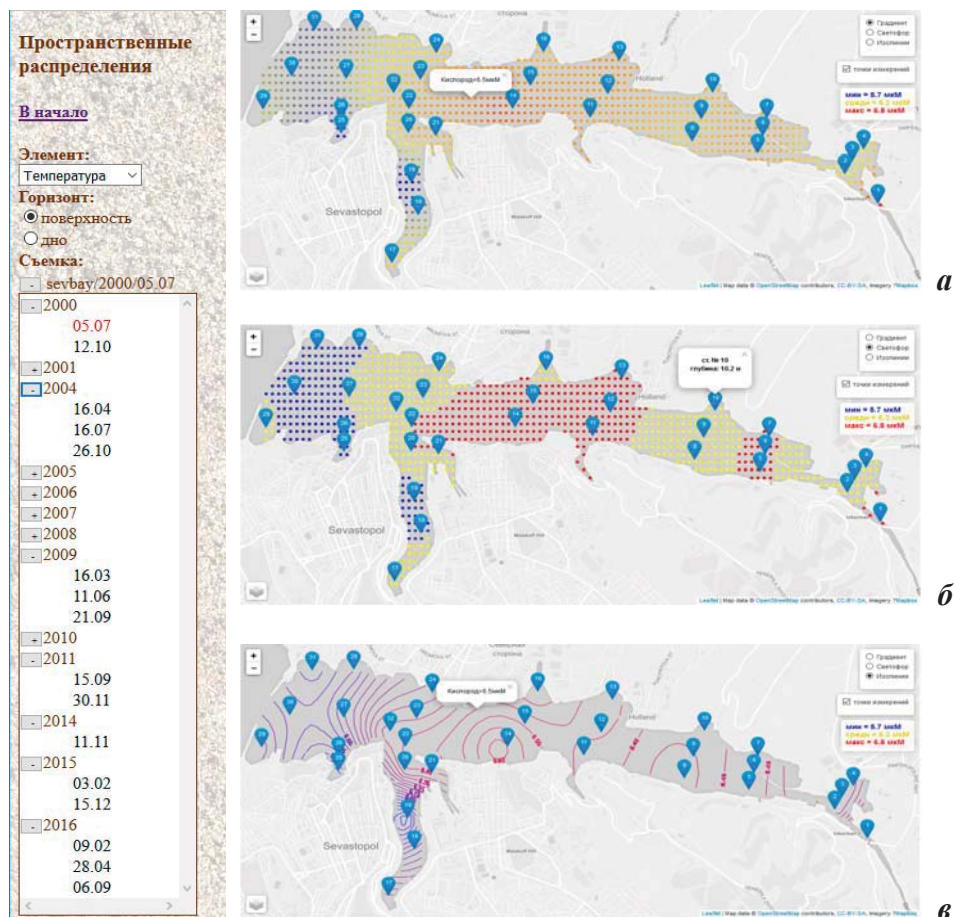
Следует отметить, что все представленные на рис.4 объекты, т.е. точки, линии и маркеры, имеют свойство, характеризующее их значение, которое может быть выведено на карту, как это показано на всех трех представленных вариантах. Указанное свойство позволяет в перспективе, к примеру, выполнять расчет индексов состояния морской среды и антропогенной нагрузки в соответствии с рекомендациями [12].

И, наконец, заключительный раздел в настоящей версии системы предназначен для представления результатов измерений и анализа текущего состояния кадастра пляжей Крыма и их рекреационных зон на примере выполненных ранее измерений. В настоящее время этот раздел находится в работе и, возможно, станет отдельным *Web*-инструментом для выполнения специализированных задач, что обуславливается его несомненной важностью, а инструментальные решения по реализации кадастровой оценки пляжей высоко оценены не только специалистами, но также и Правительством Крыма, наградившим разработчиков Почетной грамотой.

В отличие от вышеописанных алгоритмов, кадастровая оценка пляжей предполагает выполнение многочисленных вычислений с использованием измеренных и нормативных показателей с представлением результатов в виде динамических графиков. Критическая оценка возможностей реализации последней задачи, однако, не вызывает опасений в возможностях реализации и предполагает использование в качестве основы известных специализированных библиотек С3-D3 [13].

В настоящей работе рассматривается лишь первая стадия реализации этого направления, а именно, визуализация картографического материала.

В отличие от простейших результатов измерений, представляющих собой, чаще всего, XYZ-массивы, кадастровая оценка пляжей включает необходимость создания специализированной базы данных (БД), включающей более 80 измеренных и расчетных величин и, кроме того, таблицы нормативных показателей для каждой из трех категорий пляжей: муниципальных, баз отдыха и пансионатов, а также лечебных учреждений, т.е. санаториев. Структу-

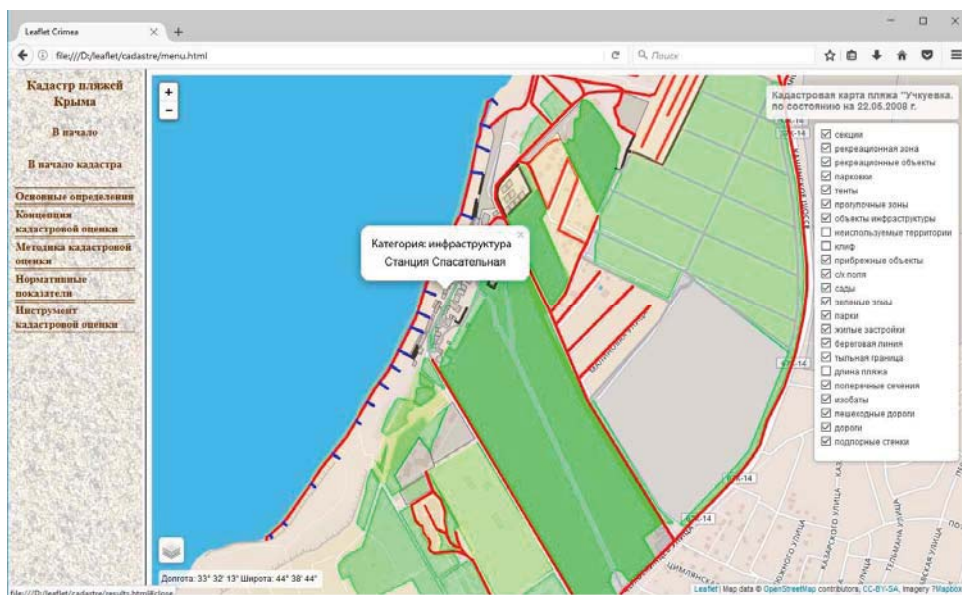


Р и с . 4. Варианты представления пространственных распределений: непрерывный градиент (а); светофор (б) и изолинии (в); слева приведен список выполненных съемок.

ра такой БД уже разработана и многократно описана [14] и в настоящее время требует лишь ее воплощения и оперативного наполнения.

Несколько более сложной задачей представляется реализация выборки пляжей для анализа и органичное картографическое представление всей совокупности материалов. Последняя задача решалась в 2008 г. на базе данных съемки пляжа «Учкуевка», расположенного на северной стороне Севастополя. Как показала практика, представление достаточно большого количества разнородных объектов, включая их индивидуальные показатели и обозначения на единой многослойной тематической карте алгоритмами *leaflet* выполняется без заметной временной задержки. Пользователи могут включать и отключать отображение отдельных слоев и получать сведения об отдельных объектах (рис.5).

К некоторому сожалению, в настоящее время остаются еще нереализованными алгоритмы выбора пляжей и съемок для сравнения и анализа динамики по отдельным показателям. Однако, по мнению авторов, опыт разработки специализированного модуля кадастровой оценки пляжей, вполне заслуживает отдельного описания.



Р и с . 5 . Вариант представления кадастровых пространственных данных на примере рекреационной зоны пляжа «Учкуевка».

Выводы. По мнению авторов, выполненные работы, несомненно, демонстрируют реальную перспективу оперативного представления океанографических данных в сети Интернет. Отработанные решения, несомненно, позволят обеспечить оперативный доступ к получаемой информации всем заинтересованным лицам, в первую очередь, специалистам и руководителям муниципальных структур. В связи с этим появляется уверенность в том, что организация защиты чрезвычайно уязвимой экологической системы прибрежных зон моря получит новый инструмент оценки ее динамики и своевременного принятия необходимых решений.

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 гриттехнологий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Основные направления развития санаторно-курортного и туристского (рекреационного) комплекса АРК до 2010 года.* Постановление Верховной Рады Автономной Республики Крым от 17 марта 2004 г. № 849-3/04.
2. *Современное состояние береговой зоны Крыма /* Под ред. Ю.Н.Горячкина.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015.– 252 с.
3. *Leaflet.* An open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps. <http://leafletjs.com>
4. *Leaflet Plugins.* <http://leafletjs.com/plugins.html>
5. *ESRI-Leaflet.* A lightweight set of tools for using ArcGIS services with Leaflet. <http://esri.github.io/esri-leaflet/>

6. *Формат netCDF*. <http://www.oceanographers.ru/forum/viewtopic.php?t=80>
7. *ESRI Shapefile Technical Description*. An ESRI White Paper.– July 1998.– 34 p.
8. *Долотов В.В., Долотов А.В.* Перспективы интернет-реализации информационных систем океанографического характера // Международная конференция ИнтерКарто/ИнтерГИС-23 «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий Азиатско-Тихоокеанского региона в условиях глобальных климатических изменений», 26-28 июня 2017 г., г.Южно-Сахалинск.– М.: Изд-во Московского университета, 2017.– т.2.– С.182-192.
9. *Setting a New Course for the Arc Marine Data Model*. <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2013/04/03/setting-a-new-course-for-the-arc-marine-data-model/>
10. *ArcGIS for Maritime: Bathymetry*. <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/maritime/bathymetry/technical-information>
11. *Konovalov S., Vladymyrov V., Dolotov V., Sergeeva A., Goryachkin Yu., Vnukov Yu., Moiseenko O., Alyemov S., Orekhova N., Zharova L.* Coastal Management Tools and Databases for the Sevastopol Bay (Crimea) // Proceedings of the Tenth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (Ed. E. Özhan), MEDCOAST 11, 25-29 October 2011. Rhodes, Greece.– MEDCOAST, Mediterranean Coastal Foundation, Dalyan, Muğla, Turkey, 2011.– v.1.– P.145-156.
12. *244170 PEGASO DOW – FP7 ENV.2009.2.2.1.4 Integrated Coastal Zone Management*. Collaborative project. Version 6 – November, 2009.
13. *C3.js D3-based reusable chart library*. <http://c3js.org/>
14. *Долотов В.В., Амоша А.И., Иванов В.А., Саломатина Л.Н.* Разработка основных положений кадастровой оценки пляжей Крыма, варианты реализации // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь, 2006.– вып.14.– С.147-156.

Материал поступил в редакцию 11.08.2017 г.

V.V.Dolotov, A.V.Dolotov

INTERNET IMPLEMENTATION OF CRIMEA NEARSHORE MONITORING RESULTS BASED ON MODERN CARTOGRAPHIC SOLUTIONS

The main opportunities of leaflet interactive maps realized for Crimea nearshore monitoring are described. Unlike specialize information systems and atlases the developed instrument does not impose both the hardware and software requirements and limits by usual browser. This fact, naturally, extends the circle of users not only specialists but also any leaders of administrative structures and some Internet explorers. In according to the leaflet structure the system has a many interactive features and optimal function availability. Besides the detailed informative constituent about Crimea nearshore structure, the system database consists of original in situ data and also special structured data array both for specific regions and particular researches. It's periodically supposed to supplement the system by new data and open access providing on the Marine Hydrophysical Institute site, for example.

KEYWORDS: Crimea, nearshore, natural investigation, GIS, Internet maps, leaflet