

УДК 913(9):574

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЗЕМНЫХ И ПОДВОДНЫХ БИОТОПОВ О. ГАЛИНДЕЗ (АРГЕНТИНСКИЕ ОСТРОВА, ЗАПАДНАЯ АНТАРКТИКА) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМУтевский А. Ю.¹, Сенная Е. И.², Березкина А. Е.³, Шмырев Д. В.¹, Попов В. С.²

¹Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, кафедра зоологии и экологии животных, 61022, Украина, г. Харьков, Майдан Свободы 4, andriy.utevsky@karazin.ua

²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, кафедра физической географии и картографии, 61022, Украина, г. Харьков, Майдан Свободы 4, o.sinna@karazin.ua

³Государственное учреждение Национальный антарктический научный центр МОН Украины, 01601, Украина, г. Киев, бульвар Тараса Шевченко, 16, uac@uac.gov.ua, anna.berezkina@i.ua

Реферат. Геоинформационные системы являются современным инструментом сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации. Представлены результаты объединения в единый геоинформационный ресурс результатов акустической съемки дна избранных участков акваторий, анализа биоразнообразия подводных ландшафтов, химического и морфологического анализа примитивных почв о. Галиндез (Аргентинские острова, Западная Антарктика). Для визуализации данных использовано стандартное картографическое отображение и трёхмерное моделирование с использованием ArcGISTM.

Modelling of terrestrial and underwater biotopes of Galindez Island (Argentine Islands, West Antarctica) using a geographic information system.

Utevsky A. Yu., Sinna O. I., Berezkina A. Y., Shmyrov D. V., Popov V. S.

Abstract. Geographic information systems (GIS) are a modern tool for the collection, storage, analysis and graphical visualization of spatial data and related information. The results of unification into a single GIS resource of the acoustic survey of selected areas of the bottom floor, biodiversity analysis of underwater landscapes and chemical and morphological analyses of primitive soils of Galindez Island (Argentine Islands, West Antarctica) are presented. Standard cartographic mapping and three-dimensional modeling using ArcGISTM are used to visualize the data.

Модельовання наземних та підводних біотопів о. Галіндез (Аргентинські острови, Антарктика) з використанням геоінформаційних систем.

Утевський А. Ю., Сінна О. І., Березкіна А. Є., Шмирьов Д. В., Попов В. С.

Реферат. Геоінформаційні системи є сучасним інструментом збору, збереження, аналізу та графічної візуалізації просторових даних і пов'язаної з ними інформації. Представлені результати об'єднання в єдиний геоінформаційний ресурс результатів акустичної зйомки обраних ділянок дна, аналізу біорізноманіття підводних ландшафтів, хімічного і морфологічного аналізу примітивних ґрунтів о. Галіндез (Аргентинські острови, Західна Антарктика). Для візуалізації даних використано стандартне картографічне відображення і тривимірне моделювання з використанням ArcGISTM.

1. Введение

Геоинформационные системы (ГИС) как инструмент сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации из области правительственного, коммерческого и хозяйственного использования активно переходят в область экологических и биологических исследований. ГИС дают возможность совместного использования различной информации на единой пространственной основе, объединяющей две основные информационные составляющие: графическую (картографическая, геопривязанная) и табличную (традиционную и наиболее часто применяемую форму организации баз данных). Именно такой подход дал возможность развить множество направлений и способов ГИС-анализа количественных и качественных данных об объектах и территориях в экологических исследованиях. Подходы к разработке ГИС стремительно развиваются и меняются, базы данных давно не являются уже только реляционными, представление графики выходит далеко за пределы только произведений «классической» картографии. Интенсивно используется дистанционное зондирование, космические снимки, 3D-моделирование комбинированных изображений. Современные сетевые технологии дают возможность анализа данных не только отдельным специалистам или группе специалистов, но и обеспечивают широкое распространение, обмен данными посредством WEB-решений, а также онлайн-анализ данных аналитическими средствами, доступными непосредственно в WEB-среде.

Преимущества ГИС могут быть широко использованы при реализации пространственного анализа в комплексных биологических исследованиях, анализе географически привязанных данных и пространственно зависимых показателях. Такой подход оказался эффективным при разработке проектов морских охраняемых районов [1]. ГИС также стали применяться при комплексных экологических описаниях морских прибрежных зон [2], а также глубоководных зон различных районов Мирового океана. Использование ГИС в анализе связей биоразнообразия с особенностями ландшафта позволило сформировать новый подход в экологических исследованиях, получивший название “Habitat mapping”. “Habitat mapping” в настоящее время активно используется в морских экологических и биологических исследованиях [3]. Начинает применяться он и в Антарктике. Применение этого подхода связано с обоснованием выделения морских охраняемых районов [4]. Однако значительная часть доступных ГИС представляет собой коллекцию разнообразных картографических материалов [5] или имеет глобальный характер, охватывая значительные территории и акватории [6, 7].

2. Задачи

В связи с этим авторы провели исследования, направленные на описание сравнительно небольших по площади участков дна и суши в районе УАС «Академик Вернадский». Целью исследования являлось описание биоразнообразия бентосных сообществ и их связи с особенностями рельефа дна для обоснования создания охраняемых районов [8, 9]. Для решения поставленной задачи в районе исследований была создана сеть наземных и подводных биогеографических полигонов, на которых регулярно учитываются биологические объекты и собираются образцы (мхи, лишайники, водоросли, беспозвоночные, почвы) с определением координат точек сбора или учета [8-14]. Для подводных наблюдений в акватории о. Галиндез были выделены четыре района, в которых закладывались трансекты с определенными координатами для визуального учета (а также с использованием подводной фотографии) компонентов бентосных сообществ. Первичные данные о структуре рельефа дна были получены с использованием акустической съемки.

3. Методология

Для анализа географического распределения, связи с ландшафтом, осуществления пространственного анализа данных о биоразнообразии бентосных сообществ была использована привязка по координатам x , y , z . Для визуализации данных использовано стандартное картографическое отображение и трёхмерное моделирование. Методология современного внедрения ГИС в биологические исследования бентосных сообществ акваторий вблизи УАС включает несколько взаимосвязанных этапов и составляющих:

- сбор данных по разным направлениям исследований (биологические, географические) в ходе экспедиций на УАС;
- конвертация и интеграция в ГИС данных разных форматов и направлений исследований;

- систематизация в ГИС данных полевых исследований и результатов их камеральной обработки, анализ данных;
- оформление результатов исследований и их представление в виде наглядных картографических произведений, 3D-моделей, профилей, а также в научно-популярной форме в WEB-среде.

3.1. Сбор данных в ходе экспедиций на УАС

Для обеспечения возможности дальнейшего пространственного анализа в ГИС данных биологических исследований в ходе экспедиций на УАС осуществляется геопривязка при проведении подводной съемки бентоса выделенных акваторий, а также – акустическая (эхолотная) съемка.

При организации подводной съемки биоты GPS-навигатором фиксируются координаты заложения трансект. Фотосъемка биоты по трансекте осуществляется чаще всего на глубинах 1, 5, 10, 15 метров, а по возможности – на глубине 20, 30 метров и больше. В отдельных случаях производится дополнительная съемка биоты и на промежуточных глубинах. Для дальнейшего ГИС-анализа важно, что фиксируются глубина для каждого места сбора информации, что в дальнейшем позволяет провести геопривязку этих данных в ГИС-программе.

Эхолотная съемка акваторий в районе закладки трансект осуществляется картплоттером LOWRANCE HDS7® (Echosounder+GPS) ежегодно, начиная с 2012 г., для обеспечения комплексного анализа данных биологических исследований на пространственной основе. Благодаря этому в рамках биологических исследований на УАС заложена основа для развития дополнительного направления – биогеографического, с дальнейшим потенциальным выходом на комплексное изучение подводных ландшафтов (рис.1).



Рис.1. Трек акустической съемки акватории Galindez I. со стороны Penola Strait

3.2. Конвертация и интеграция в ГИС данных разных форматов и направлений исследований.

Все собранные данные экспедиционных исследований интегрируются в ГИС-среду путем применения разных алгоритмов конвертации.

Данные съёмки биоразнообразия на начальном этапе вносятся в ГИС по координате начала трансекты. Затем эти данные дополняются после уточнения локализации трансекты, а также ключевых точек сбора данных на разных глубинах, по модели рельефа дна, построенной на основе эхолотных данных.

Для первичной визуализации данных эхолотной съёмки (представленной в исходных форматах файлов *.usr, *.sl2 и др.) используется программа DrDepth (рис. 2), для конвертации данных в ГИС-формат применяется программное обеспечение SonarViewer (программа от компании Lowrance – производителя эхолота) (рис. 3).

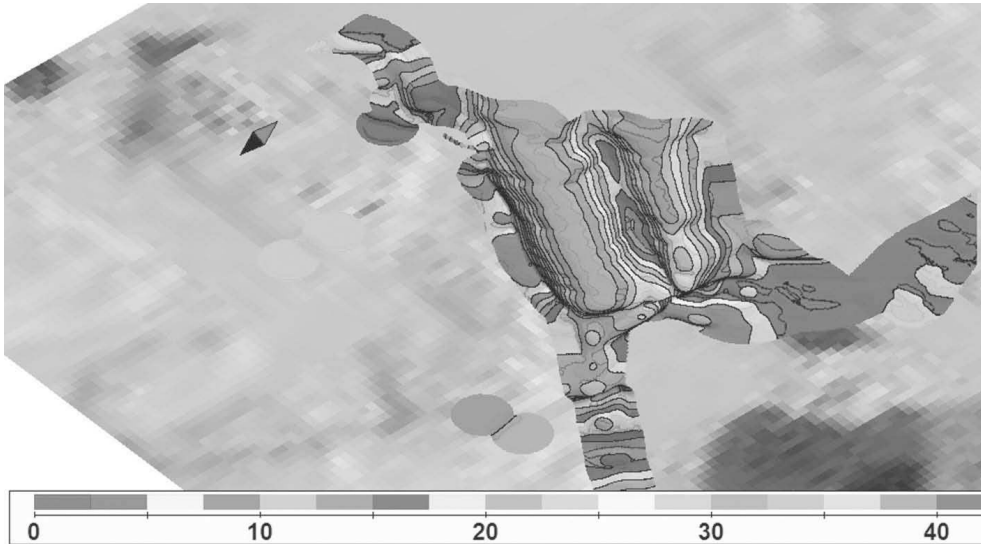


Рис. 2. Предварительная визуализация рельефа дна акваторий в программе DrDepth по данным эхолотной съёмки (участок Meek Channel – между островами Grotto I. та Galindez I.)

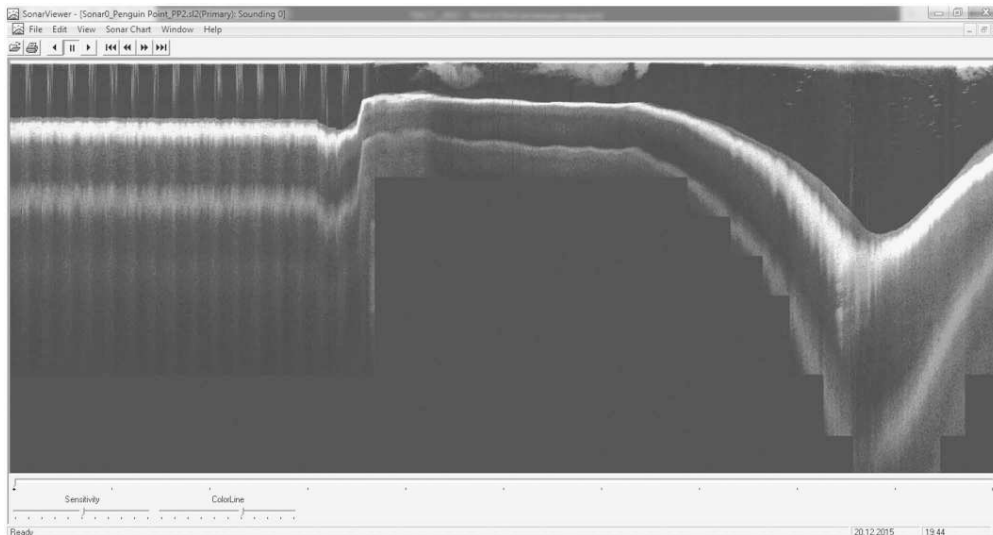


Рис. 3. Фрагмент эхограммы трека съёмки исследуемого участка акватории в проливе Penola, визуализированный в программе Sonar Viewer

На первичном этапе обработки мы получаем GPS-трек эхолотной съёмки в виде точечного файла, в атрибутах которого содержится информация о глубинах и другие параметры съёмки. Данные загружаются в ArcGIS – полнофункциональную ГИС, используемую в работе как основную программу для систематизации и комплексного анализа данных.

3.3. Систематизация данных полевых исследований и результатов их обработки, ГИС-анализ данных.

На основе массива точек по треку эхолотной съёмки по значениям атрибута ГИС-слоя – глубина с применением инструмента *Topo to Raster* в ArcGIS строится модель рельефа дна (глубин исследуемого участка акваторий). В 2016 г. детализирована и усовершенствована общая цифровая модель рельефа района станции «Академик Вернадский» (по данным съёмок отдельных участков и существующих батиметрическим картам), соответствующая единая поверхность рельефа использована в качестве базовой подложки при построении большинства карт и трёхмерных моделей, что позволяет анализировать распределение всех показателей в трёхмерном пространстве, с привлечением не только координат x , y , но и высоты/глубины – z . Это раскрывает значительно большие возможности анализа биологических и геохимических процессов, связанных с рельефом, экспозицией склонов, углом наклона поверхности и т.д.

Соответственно, в одном ГИС-проекте совмещаются модель глубин и точечный слой с координатами заложения трансект. Создаётся линейный ГИС-слой местоположения трансекты, в его пределах – в отдельном точечном слое – наносятся точки сбора информации о биоте, с привязкой по цифровой модели глубин (рис. 4).

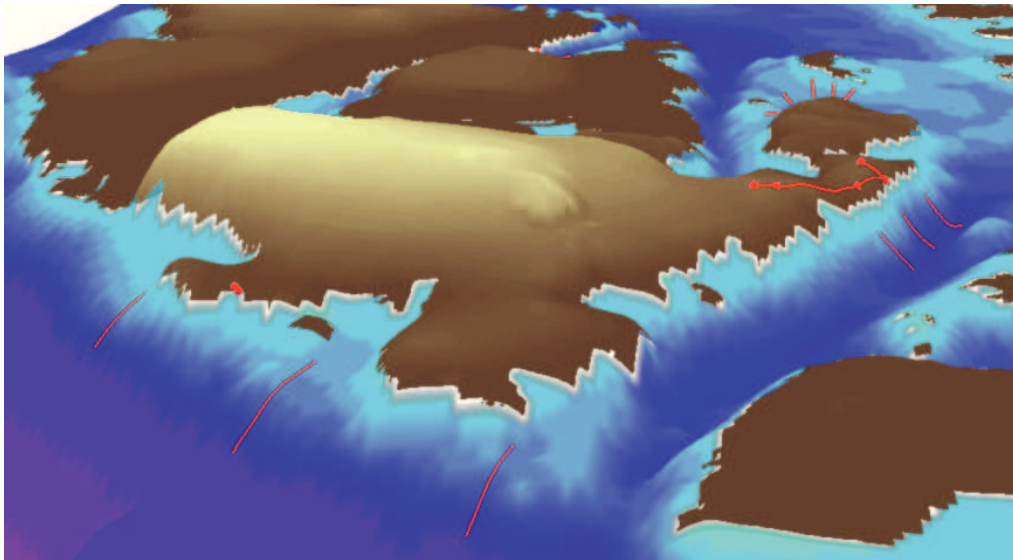


Рис. 4. Трансекты для описания биоразнообразия, визуализированные на модели глубин, с обозначением точек сбора информации и фотоматериалов.

Каждая линия и точка получает идентификатор в атрибутах, по которому в дальнейшем устанавливаются связи и отношения с другими элементами базы данных. Например, в пределах биогеографического полигона PenguinPoint трансекты будут иметь названия PP1, PP2 и т.д., в пределах трансекты точки будут нумероваться PP1_5 и т.д., при этом второе число фиксирует глубину отбора образца, в данном примере – 5 метров.

К каждой точке на трансекте привязываются все данные камерального анализа полевых материалов о биоразнообразии. Результаты биометрического анализа фотоматериалов по методике неразрушающего анализа [15], представленные в виде Excel-таблиц, приводятся в соответствующий вид для интеграции в ГИС. Затем они привязываются к слою точек отбора образцов путём установления связи с идентификатором (по ключевому одинаковому столбцу с названием-идентификатором

точки в атрибутах ГИС-слоя и листе Excel-таблицы). После этого все количественные показатели становятся доступными для анализа и отображения в ГИС. В базу данных ГИС вносятся фотоматериалы по трансектам, в отдельном столбце атрибутов для каждой точки прописывается директория хранения фотоматериала. Таким образом, устанавливается связь геокодированной точки отбора образцов с фотоматериалом, который при необходимости визуализируется в ГИС-проекте кликом на соответствующей точке.

По слою линий трансект и цифровой модели глубин инструментами приложениями ArcGIS 3D Analyst строятся профили глубин. Это инструмент можно применить для любой линии на модели, если такая необходимость возникла в процессе исследований. Но для всех существующих трансект сохраняется рисунок профиля, вносится в базу данных и привязывается в атрибутах слоя линий трансект, аналогично – фотоматериалу в точках сбора информации. Кроме профиля глубин, аналогичным образом к линиям трансект привязываются данные камеральной обработки морфометрических данных в виде обобщённых графиков по всей трансекте.

В 2016 г. отобраны образцы почв на суше вблизи районов закладки трансект. При сборе образцов зафиксированы координаты, высота над уровнем моря, а также выполнено фотодокументирование (общий характер окружающего ландшафта, фото с масштабом участка до и после взятия пробы) (рис. 5). В камеральных условиях выполнен химический анализ проб. Исходная гипотеза предполагает, что ГИС-моделирование процессов геохимического переноса веществ позволит установить существующие взаимосвязи между сушей и водной средой, реакцию бентосных сообществ на внешние факторы, если таковая окажется существенной.



Рис. 5. Пример фотодокументирования района сбора образцов почв.

4. Результаты

Таким образом, в одном ГИС-проекте и в пределах единой базы данных систематизируются все результаты как полевых, так и камеральных исследований за разные годы. В графической (картографической) составляющей ГИС-проекта мы имеем географически-привязанные данные в виде нескольких основных слоёв:

- точки исследования биоразнообразия (бентосных сообществ) на разных глубинах – точечный слой;
- трансекты-биоразнообразия акваторий (бентосных сообществ и отдельных видов) – линейный слой;
- точки отбора образцов почв на суше – точечный слой;
- трансекты перепада высот между точками отбора образцов почв – линейный слой;
- точки замера глубин акваторий в ходе акустической съёмки эхолотом – точечный слой;
- цифровые модели рельефа островов и дна акваторий в районе УАС, построенные на основе данных эхолотной и геодезической съёмок и представленные в виде ГИС-файлов поверхностей.

В атрибутах указанных векторных слоёв интегрированы количественные и качественные показатели. В каждом слое, в отдельной строке, которая характеризует отдельную точку или линию на карте, содержатся десятки показателей, которые в любой момент могут быть визуализированы в ГИС отдельно или вместе, могут быть задействованы для применения разных инструментов ГИС-анализа, использованы для разработки наглядных карт и серий карт.

Используя различные количественные атрибуты в точках, можно визуализировать их в ГИС в виде диаграмм, выводить на экран фото биоты, сравнивать обобщённые показатели. Кроме того, наличие данных в 12 трансектах на разных участках акваторий в районе станции позволяет проводить интерполяцию данных по отдельным показателям, а привлечение результатов за разные годы исследований в одних и тех же точках – анализировать динамику изменения состояния биоты.

Продолжение исследований в данном направлении и накопление полевого материала по другим участкам акваторий позволит расширить результаты исследования в область комплексного анализа существующих закономерностей с постепенным переходом к апробации методик прогнозирования и биоиндикации геоэкологических процессов на локальном уровне.

5. Обсуждение: оформление результатов исследований и их представление в виде наглядных картографических произведений, 3D-моделей, профилей, а также в научно-популярной форме в WEB-среде.

Несмотря на весомые преимущества использования ГИС для анализа и визуализации данных в одном проекте, часто стоит задача оформления наглядных карт и 3D моделей в распространённых графических форматах. Данные о биологическом разнообразии и рельефе суши и дна акваторий в различных вариантах картографической визуализации (преимущественно способы изолиний, количественного фона, картодиаграмм) оформляются стандартными средствами ArcGIS в режиме компоновки карт (рис. 6, 7).

Содержание гигроскопической влаги в грунтах о. Галиндез 2016 г.

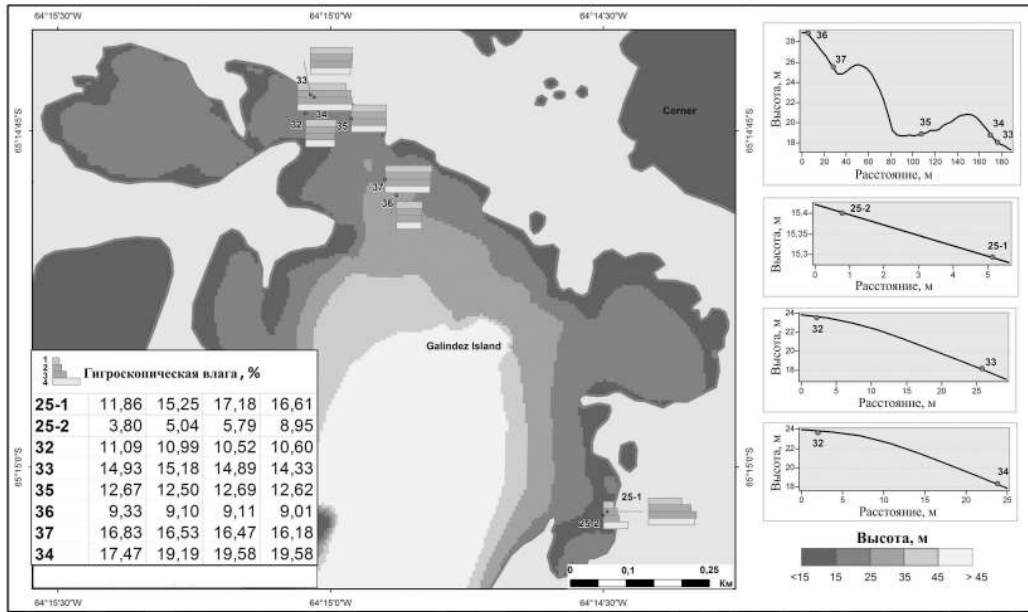


Рис. 6. Пример оформления отдельной карты в общей серии карт по результатам химического анализа образцов почв о. Галиндез

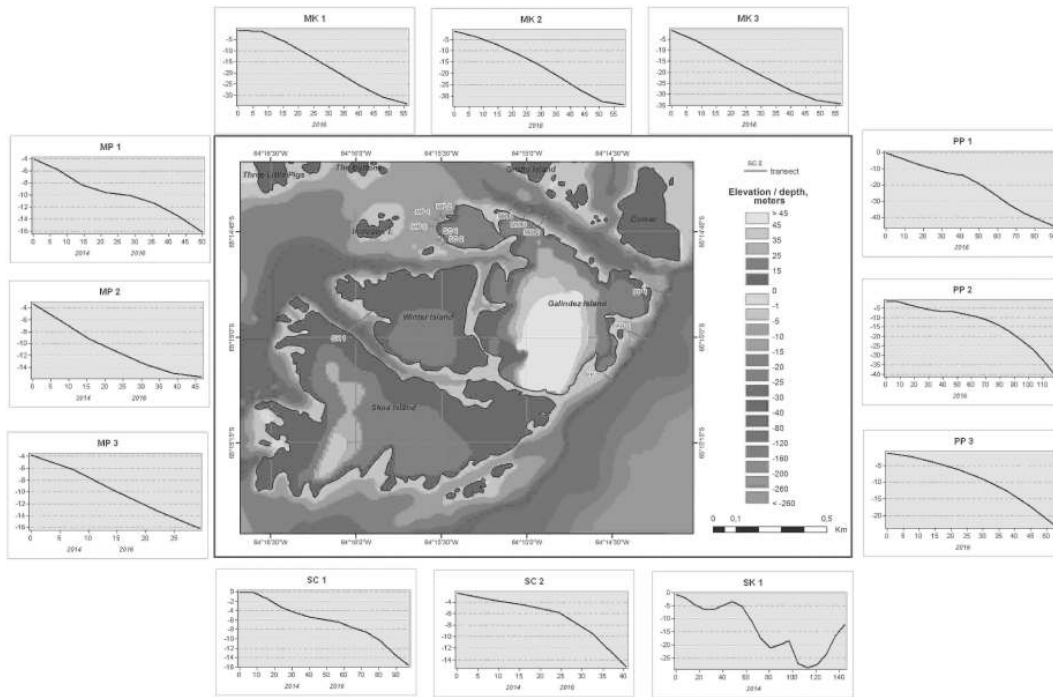


Рис.7. Пример дополнения картографического изображения о. Галиндез профилями трансект

Приложение ArcScene позволяет создавать 3D модели как для базовых данных цифровых моделей глубин всего района исследований и ключевых участков, так и в трёхмерной среде просматривать и анализировать различные расчётные и интерполированные данные (рис. 8). В едином проекте трёхмерной визуализации ArcScene загружены с соответствующей настройкой отображения обобщённая цифровая модель района исследований, наложены космические снимки, дополнительно настроено отображения трансект (биоразнообразия и морфометрический анализ) и почв (фотодокументация, химический анализ). Использование 3D-моделей расширяет наглядные средства демонстрации результатов исследований широкому кругу пользователей, а также в целом предоставляет самим исследователям другие варианты как инструментального, так и в целом – визуально интуитивного анализа данных.

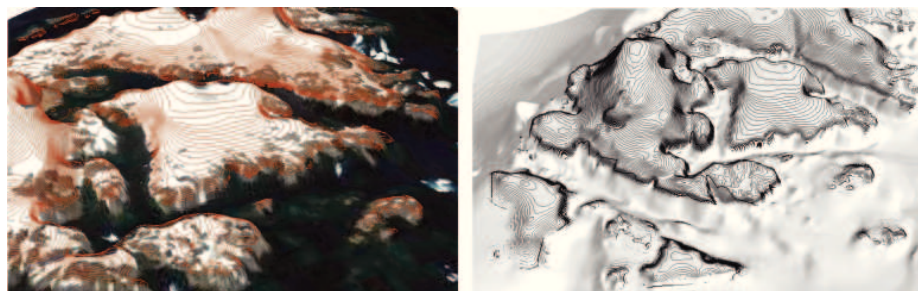


Рис. 8. Варианты трёхмерной визуализации слоёв в ArcScene

Экспорт данных из ArcScene в графический формат *.vml даёт возможность дальнейшей публикации моделей в WEB-среде с сохранением функций трёхмерного просмотра и навигации по модели.

Стоит отметить, что ГИС-проект, как среда систематизации и анализа всех данных украинских антарктических исследований, в частности – биологических, рассматривается нами больше как научная версия разработки с закрытым или ограниченным доступом для работы узкого числа заинтересованных специалистов. Это связано как с необходимостью сохранности первичных данных, обеспечения безопасности функционирования проекта национального значения, так и с многогранностью и сложностью представленных данных и результатов, которые для пользователя-неспециалиста являются скорее недостатком, чем преимуществом. Однако, популяризация данных украинских антарктических исследований представляется нам актуальной задачей, решать которую, по нашему мнению, наиболее целесообразно в Интернет-среде. Потому перспективным направлением является разработка WEB-ресурса, наполнение которого наглядными материалами планируется выполнить на основе использования материалов существующего ГИС-проекта.

Список литературы

1. [Электронный ресурс]. URL: <http://marineprotectedareas.noaa.gov> – National Oceanic and Atmospheric Administration USA. (Дата обращения: 23.12.2016 г.)
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ozcoasts.gov.au/> - Australian Government – Goscience Australia, Australian Online Coastal Information. (Дата обращения: 23.12.2016 г.)
3. **Seafloor** Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHAB Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats / Edited by: Peter T. Harris and Elaine K. Baker, Elsevier Inc. 2012. 890 p., <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-385140-6.00067-0> 2012.
4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nature.com/articles/srep33163>. Oliver T. Hogg et. al. Landscape mapping at sub-Antarctic South Georgia provides a protocol for underpinning large-scale marine protected areas. Scientific Reports 6, Article number: 33163 (2016), doi:10.1038/srep33163 (Дата обращения: 23.12.2016 г.)
5. [Электронный ресурс]. URL: https://data.aad.gov.au/aadc/mapcat/display_map.cfm?map_id=13278 – Australian Antarctic Data Centre. (Дата обращения: 23.12.2016 г.)
6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.add.scar.org/home/add7> – Antarctic Digital Database Map Viewer, SCAR. (Дата обращения: 23.12.2016 г.)
7. [Электронный ресурс]. URL: <http://quantarctica.npolar.no> – A Free GIS package for Antarctica, Norwegian Polar Institute. (Дата обращения: 23.12.2016 г.)

8. **Utevsky A. Yu.** On Marine Protected Area network in the Akademik Vernadsky Station region. Meeting Document // CCAMLR Science. – 2012a. – SC-CAMLR-XXXI/BG/04.
9. **[Электронный ресурс]**. URL: <https://www.ccamlr.org/en/wg-emm-12/25> – Utevsky A. Yu. The first site of the Marine Protected Area network in the Akademik Vernadsky Station region: Argentine Islands, Skua Creek. Meeting Document // CCAMLR Science. – 2012b. – WG-EMM-12/25. (Дата обращения: 23.12.2016 г.)
10. **[Электронный ресурс]**. URL: <https://www.ccamlr.org/ru/wg-emm-14/41> – Utevsky A. Yu., Sennaya E. I., Kolesnykova M. Yu. Realization of the Marine Protected Area network in the Akademik Vernadsky Station region // CCAMLR Science – 2014. – WG-EMM-14/41. (Дата обращения: 23.12.2016 г.)
11. **Березкина А. Е.,** Моисеенко Е. В., Норчевский Р. В. Изучение биоразнообразия архипелага Аргентинских островов с помощью геоинформационных технологий // VI IAC – VI International Antarctic Conference, Kyiv, Ukraine (May 15–17). – 2013. – P. 74–77.
12. **Утевский А. Ю.,** Сенная Е. И., Попов В. С., Шрестха М. Ю. Биогеографический полигон PENGUIN POINT в акватории антарктической станции «Академик Вернадский»: пространственный анализ и отображение данных о рельефе дна и подводном биоразнообразии // Материалы II Международной научно-практической конференции ПРИРОДНАЯ СРЕДА АНТАРКТИКИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ (к. п. Нарочь, 18–21 мая 2016 г.). – С. 335–340.
13. **Сенная Е. И.,** Попов В. С., Утевский А. Ю., Подлесный А. А. Геоинформационное моделирование подводного рельефа в районе антарктической станции «Академик Вернадский» (UA) для анализа биоразнообразия // VII Міжнародна наукова конференція «Антарктичні дослідження: нові горизонти та пріоритети»: тези. – К., 2015. – С. 160–161. = Sinna O. I., Popov V. S., Utevsky A. Yu., Pidlisnyi O. O. GIS modeling of submarine relief near the antarctic station “Academician Vernadsky» (UA) for biodiversity analysis // VII International Antarctic Conference “Antarctic research: new horizons and priorities”: abstracts. – К., 2015. – P. 161–162.
14. **Таширев А. Б.,** Таширева А. А., Березкина А. Е. Роль криоценозов в формировании почв на ледниках Западной Антарктики // Доповіді Національної академії наук України. – 2012. – №4. – С. 155–161. <http://dspace.nbuv.gov.ua/xmlui/handle/123456789/49503>.
15. **Utevsky A.,** Shmyrov D., Utevskaia O. Non-destructive morphometric analysis of some background species of the Antarctic benthos, Argentine Island Archipelago // VI IAC – VI International Antarctic Conference, Kyiv, Ukraine (May 15–17). – 2013. – P. 69–73.