

УДК 528.856

DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12512

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ГИДРОЛОКАТОРА БОКОВОГО ОБЗОРА НА ПРИМЕРЕ ОДНОГО УЧАСТКА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЕНИСЕЙ

И.А. Бабий, О.А. Галимзянов, А.Е. Гончаров

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

✉ babii-igor@mail.ru, olegatop99@gmail.com, goncharovae@sibsau.ru

В настоящей работе рассмотрен вопрос обработки изображений с гидролокатора бокового обзора, полученных в ходе полевых работ в нижнем течении реки Енисей. Описывается методика создания цифровой карты по сонограммам с наложением ее на космический снимок. Произведен анализ нескольких гидролокационных изображений, полученных при помощи гидролокатора бокового обзора.

Ключевые слова: гидролокатор бокового обзора (ГБО), дистанционное зондирование, геоинформационная система, сонограмма, цифровая карта, река Енисей.

VISUALIZING AND PROCESSING SIDE-SCAN SONAR IMAGES: A CASE OF THE LOWER REACHES OF THE ENISEI RIVER

I.A. Babiy, O.A. Galimzyanov, A.E. Goncharov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation

In this paper, the authors discuss some issues of collecting and processing side-scan sonar (SSS) images collected during a survey of the lower reaches of the Enisei River. A technique is suggested for the construction of sonar image mosaics and interpreting data.

Keywords: side-scan sonar (SSS), remote sensing, geographical information system, sonogram, digital map, Enisei River.

Статья получена: 04.08.2020

Принята к публикации: 28.08.2020

Опубликована онлайн: 01.12.2020

Введение

Создание более точных карт поверхности дна мирового океана, в том числе с использованием гидролокатора бокового обзора (ГБО) [1], является актуальной задачей на сегодняшний день. Не менее актуальной она является и для картографирования речных систем. В отличие от традиционных методов гидрографических исследований со сбором батиметрических данных галсовыми, либо попеченными, промерами, ГБО позволяет визуализировать донную поверхность с достаточно высоким разрешением. При этом удешевление и, как следствие, большая доступность различных гидроакусти-

ческих приборов [2–4] существенно расширило возможности для проведения исследования внутренних водоемов, в частности в отдаленных районах Крайнего Севера и Арктики.

Несмотря на то, что принципы работы ГБО достаточно описаны в научной и научно-технической литературе [5–7], необходимо обратить внимание на фундаментальную работу Филиппа Блонделя (Батский университет, Великобритания), которая сфокусирована именно на вопросах прикладного использования ГБО как в полевых условиях, так и в лабораторных при обработке полученных данных [8]. Системы ГБО позволяют получать изо-

бражение водной среды путем преобразования значений амплитуды собственного акустического сигнала, отраженного от объектов, в последовательные ряды пикселей, составляющие изображение дна водоема. Таким образом, данная система, измеряя амплитуду сигнала, переводит значения в тон пикселей будущего изображения. Жесткие и плотные объекты отражают больше сигнала гидролокатора, чем мягкие и рыхлые. Следовательно, по тону или цвету пикселя можно строить предположения о залегающем объекте. Однако существуют и другие факторы, влияющие на тональность пикселей на конечном изображении: характеристики самого водного объекта (состав воды, ее плотность, температура); параметры проведения сканирования – диапазон сканирования (ширина полосы сканирования) и частота испускаемого звукового сигнала, маршрут съемки, скорость движения сканирующего устройства и другие источники, возникновение и влияние которых не всегда возможно предвидеть и предотвратить, например, различные движения водных потоков на поверхности и под водой, погодные условия, которые также приводят к движению воды [4; 8]. Основываясь на знаниях причин и факторов, влияющих на процесс сканирования, а также параметров и настроек аппаратуры, можно изучать изображения, полученные гидролокатором, для исследования дна водных объектов.

Таким образом, целью работы является сбор, обработка и анализ гидрографических данных для построения географической информационной системы (стратегический проект СибГУ им. М.Ф. Решетнева "Енисей - Арктика"). Именно для этого проводились изыскания. Основной проблемой, с которой столкнулся коллектив в ходе проведения исследований при помощи ГБО – интерпретация и картирование водных объектов. В статье предлагаются подходы к решению этих задач.

Материалы и методы исследования

В данной статье будут рассмотрены некоторые результаты изучения нижнего течения реки Енисей в районе устья реки Сальная Курья, с использованием ГБО. Исследования ГБО выполнялись на расстоянии около 30 метров от правого берега Енисей (Рис. 1).

В работе использовался ГБО «Starfish 990F» (компания «Tritech»), предназначенный для проведения работ на глубинах до 30 метров.

Рассмотрим на Рис. 2 встречающиеся объекты, а также характеристики водного пространства. На изображении можно выделить четкую береговую линию, поскольку судно со съемочным оборудованием двигалось вдоль береговой линии. В левой части изображения присутствует светлый объект, тень от которого «оторвана» на некоторое расстояние, следовательно, объект находится в толще воды, а не

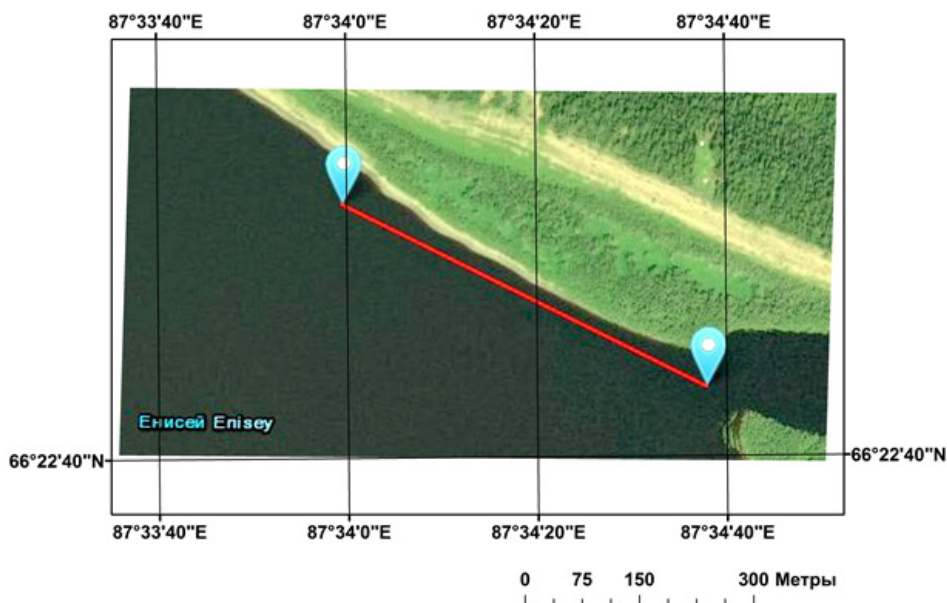


Рисунок 1 – Маршрут съемки ГБО.

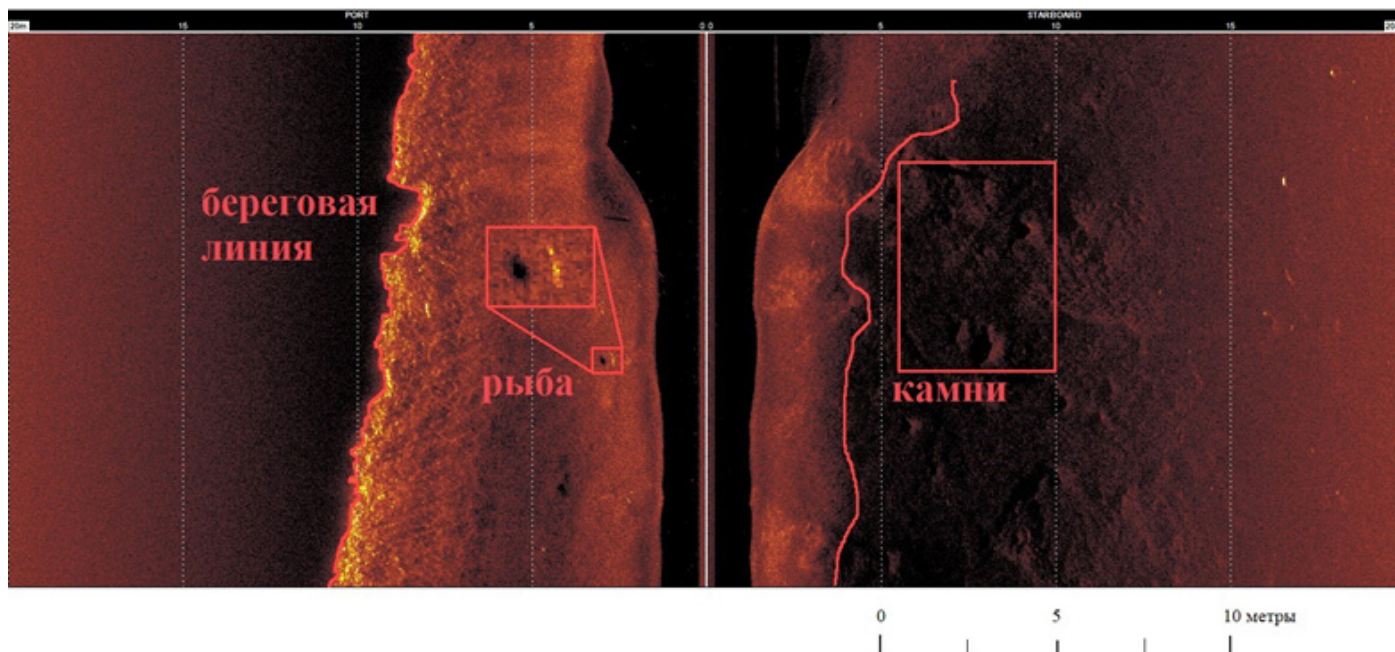


Рисунок 2 – Фрагмент сонограммы.

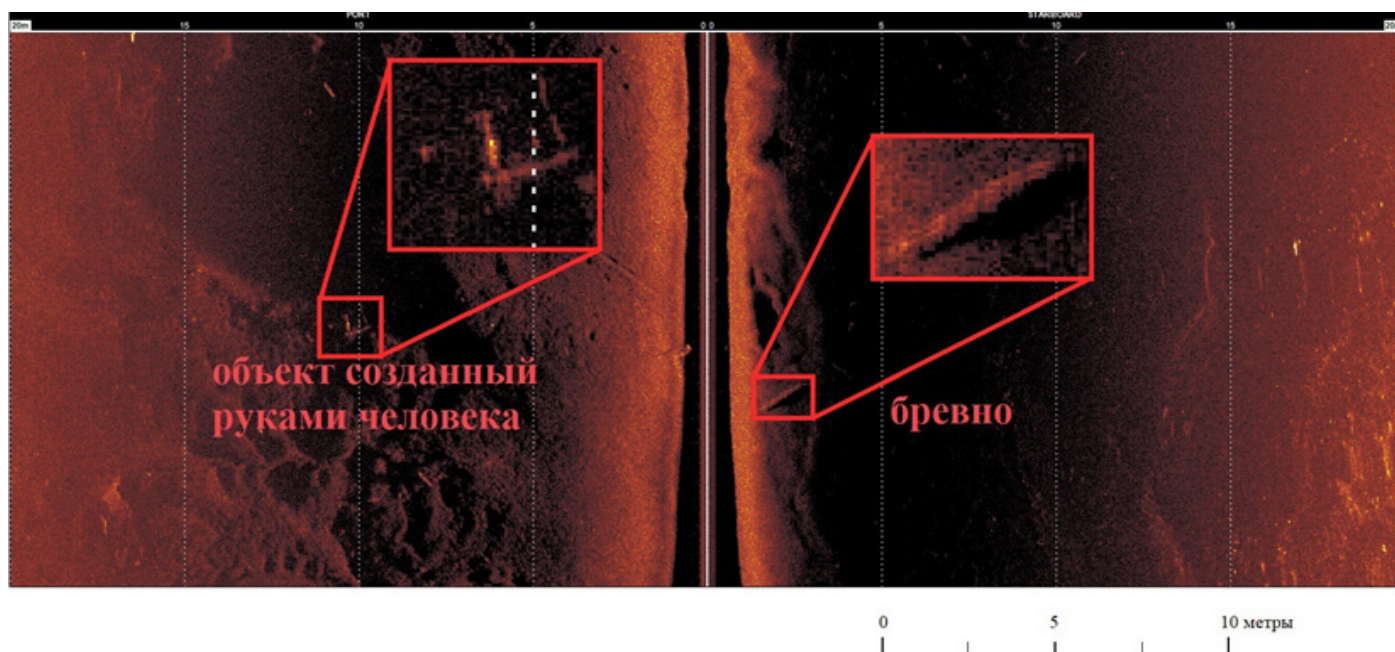


Рисунок 3 – Фрагмент сонограммы.

«лежит» на дне: можно предположить, что это – рыба. В правой части изображения видны затененные области – отсутствие или частичная потеря данных, которые могут возникать из-за неровностей донной поверхности, в результате чего создается «тень» и акустический сигнал не отражается. Также на этом изображении объекты, отбрасывающие тень, вероятнее всего, являются крупными каменистыми образованиями. По мере увеличения глубины (на изображении – слева, направо) данные становятся менее информативными, так как глубина не является постоянной на исследуемой территории. Не обладая батиметрическими данными, это

можно определить аналитически по размеру «черной области» в центре изображения, характеризующей толщину воды под гидролокатором – чем она меньше, тем мельче водоем. При нахождении в этой области плавающей мусора, различных взвесей, можно произвести грубую оценку уровня загрязнения воды крупными частицами. По косвенным признакам изображений, было определено, что изменения глубин на всем маршруте съемки значительны – наблюдаются как мелкие участки, глубина которых до 0,5 м, так и крупные углубления, с глубиной более 5 м. По большей части, материал дна однородный, предположительно галечный.

Если объекты легко распознаются по тени, это позволяет нам судить об их положении и размере. Информативной является форма и интенсивность отражения сигнала. Так, например, в левой части на Рис. 3 зафиксирован объект, отражательная способность которого больше, чем окружающих его объектов, это свидетельствует о различии материала донных объектов. Объект едва различим, и имеет неестественную для природных объектов угловатую форму. Таким образом, на основании правильной прямоугольной формы и высоких значений отражательной способности можно предположить, что объект имеет антропогенное происхождение. Бревно легко опознается (в правой части на Рис. 3) по своей вытянутой форме.

В целом, охарактеризовать весь объем данных сканирования можно следующим образом: неравномерное по глубинам донное основание, имеющее множество резких перепадов. На дне заметны следы человеческой деятельности – вытянутые в длину борозды, вероятно, следы от якорей и якорных цепей. На протяжении всего съемочного пути на дне водоема и в толще воды встречаются различные предметы, такие, как одиночные бревна, скопления кустарниковой растительности, булыжники, одиночные рыбы и их стаи, а также антропогенные объекты.

Однако сонограмма и ее описание – это не конечный продукт при гидроакустическом исследовании водоема. Сонограмма может быть использована как основной источник при составлении карт водных объектов или в качестве дополнительного источника информации в случае исследования конкретного объекта, находящегося в толще воды или залегающего на дне водоема. Различные тематические карты водоемов могут быть использованы, например, для маломерного судоходства, рыболовства, строительных работ, изучения подводных объектов исторического наследия, природоохранной деятельности.

Примеры построения «мозаики» по гидроакустическим снимкам представлены в работах американских исследователей [2–3; 9], однако они ориентированы на использование рыболовных эхолотов, для которых существует коммерческое картографическое ПО. «Starfish Scanline» функцией картографирования не обладает. В рамках камеральной обработки нам удалось спроецировать сонограмму ГБО на космический снимок высокого разрешения, для отображения окружающих объектов и визуального восприятия результата работы. Работа была выполнена в программном пакете QGIS.

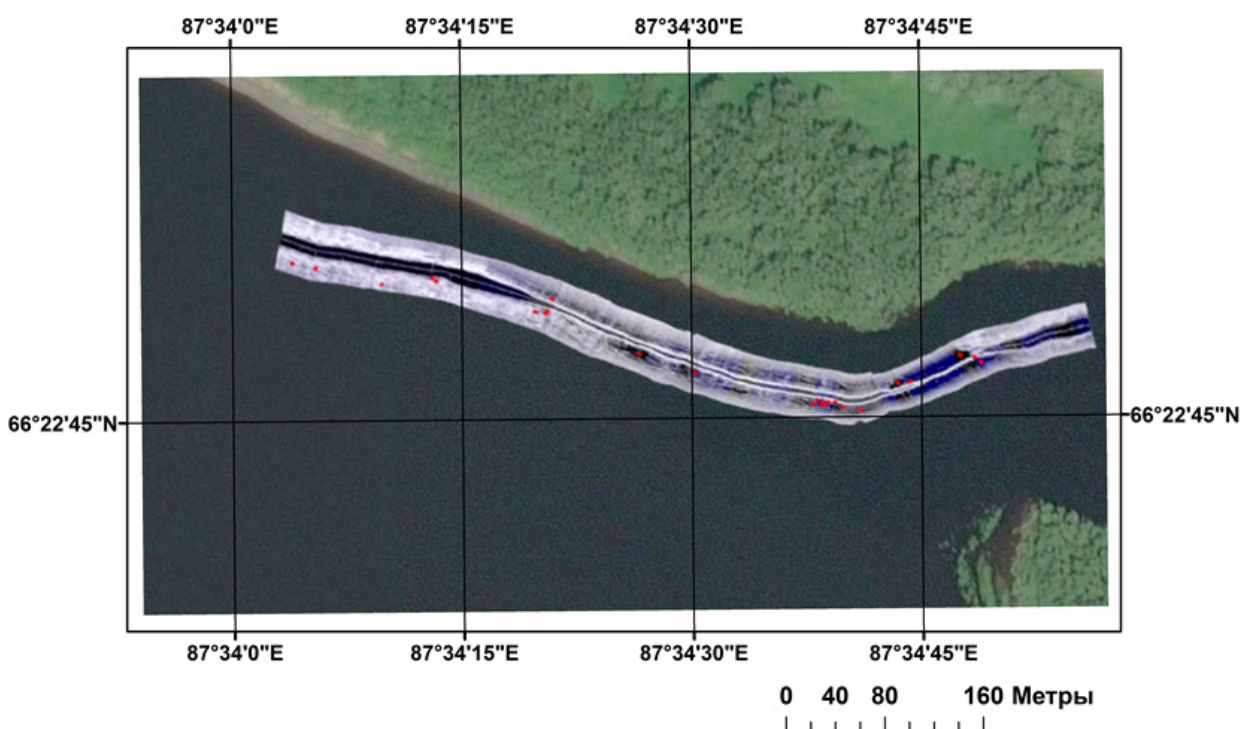


Рисунок 4 – Сонограммная мозаика, наложенная на космический снимок.

Сонограмма гидролокатора представляет собой файл с расширением LogDoc, который визуализируется программным обеспечением производителя прибора «Starfish Scanline». Программное обеспечение предлагает два способа извлечения данных – непосредственно готовая сонограмма и так называемые «сырые данные», представляющие собой таблицу с занесенными в нее параметрами, полученные во время гидроакустической съемки. Мы воспользовались функцией извлечения готовой сонограммы. Таким образом, файл сонограммы был поделен на 43 фрагмента, представляющие собой детали большого пазла, одинакового размера по длине и ширине изображения. Для каждого элемента пазла в таблице были зафиксированы координаты 15 точек. Это необходимо для проведения процедуры географической привязки каждого элемента, а также этого количества точек достаточно для проведения трансформации отображения сонограмм полиномом второго порядка, чтобы увеличить точность работы. Таким образом, географическая привязка задала данным естественное расположение в пространстве для каждой сонограммы не в виде «прямой линии», а по траектории движения плавсредства со съемочным оборудованием, со всеми поворотами на маршруте, во время исследовательских работ (Рис. 4). По мере географической привязки, элементы один за другим присоединяются друг к другу, составляя единую мозаику.

Проблему при проведении географической

привязки составляли так называемые «угловые фрагменты» (фрагменты, находящиеся на участках изменения направления движения судна), им уделялось особое внимание. Поскольку не всегда представляется осуществлять съемку прямыми галсами, на снимках видны резкие изгибы, которые могут привести к сильному искажению сонограммы, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на четкости изображения и точности привязки. В нашей работе присутствует фрагмент крутого поворота (Рис. 5), можно увидеть, насколько сильно изменилась форма фрагмента после пространственной привязки и трансформации изображения, также необходимо обратить внимание, что на внешнем углу сонограммы образовался «надрыв» – это отсутствие данных в этом месте, следствие крутого поворота.

Объединение различной информации, ее сравнение и сопоставление позволяет вывести закономерности, которые ранее не были известны, а также посмотреть на некоторые данные «по-новому». Одним из примеров такого подхода к работе с информацией являются ГИС. Системы такого рода позволяют на основе географической информации проводить автоматизированное картографирование.

По окончании сбора сонограммного пазла, средствами QGIS был добавлен слой космического снимка высокого разрешения, загруженного нами с геоинформационной системы Google Earth [10]. Объединение снимка и данных гидролокатора позволяет определить положение

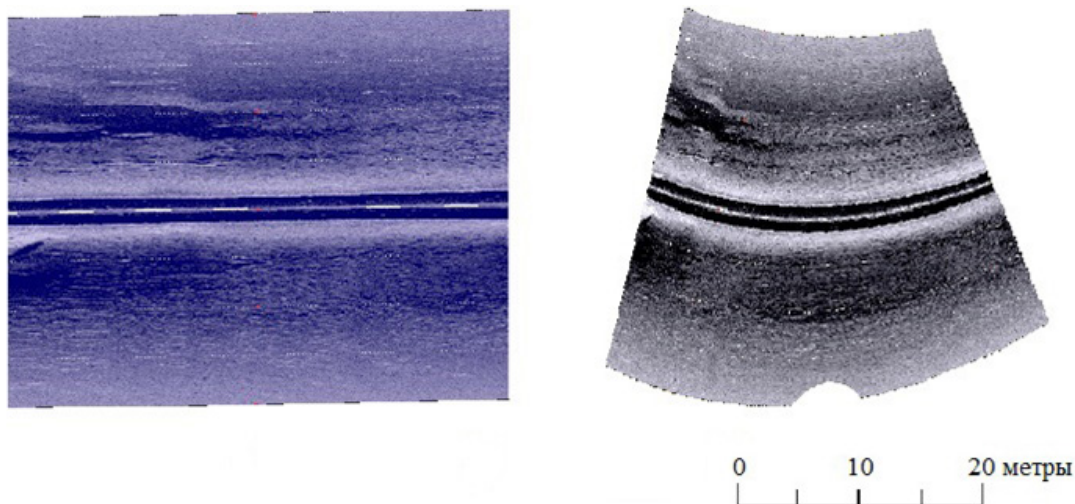


Рисунок 5 – Изменение угловой сонограммы после географической привязки и трансформирования полиномом второго порядка.

объектов в толще воды и на дне водоема относительно береговой линии, и в целом для правильного визуального восприятия.

Результаты

В результате визуального анализа полученной мозаики были обнаружены объекты, а также выделены явления, проявляющиеся на сонограммах. Условно, обнаруженные явления и объекты можно разделить на несколько групп. Непосредственно сами объекты, выделяющиеся на фоне относительно ровной поверхности речного дна, о которых можно предположить, что они являются обломками деревьев, так как имеют характерную вытянутую прямоугольную форму, а их объемность определяется за счет падающей тени. Также было замечено, что данные объекты обладают высокими значениями отраженного звукового сигнала. Вторая группа обнаруженных особенностей – это участки с искажением и потерей отражающегося звукового сигнала, что приводит, в конечном счете, к потере данных. Участки подобного рода необходимо определять с помощью координат и местоположений таких «темных пятен» на карте для повторного исследования данной

области. На участках, где траектория отклоняется от прямолинейного движения, происходит «растягивание» растрового изображения, что впоследствии влияет на работу по распознаванию объектов. Учитывая расположение этих участков, также можно будет избежать искажений или минимизировать радиус поворота.

Все обнаруженные нами объекты были представлены на карте путем создания нового слоя, хранящего информацию о местонахождении, номер сонограммного снимка (фрагмент пазла), а также краткую описательную характеристику. Эти данные находятся в атрибутивной таблице слоя.

Такой способ представления информации позволил обнаружить некоторые характеристики объектов, которые были не так очевидны в первоначальном виде данных ГБО. Так, например, на стыке двух сонограмм был обнаружен объект вертикального залегания, обладающий высокой отражательной способностью звука, и характерной вытянутой звуковой тенью, это может свидетельствовать о действительно крупном объекте. Также в окрестностях объекта обнаружены и другие источники высокого отражения, имеющие характерную прямоугольную форму и собственную тень (Рис. 6–7).

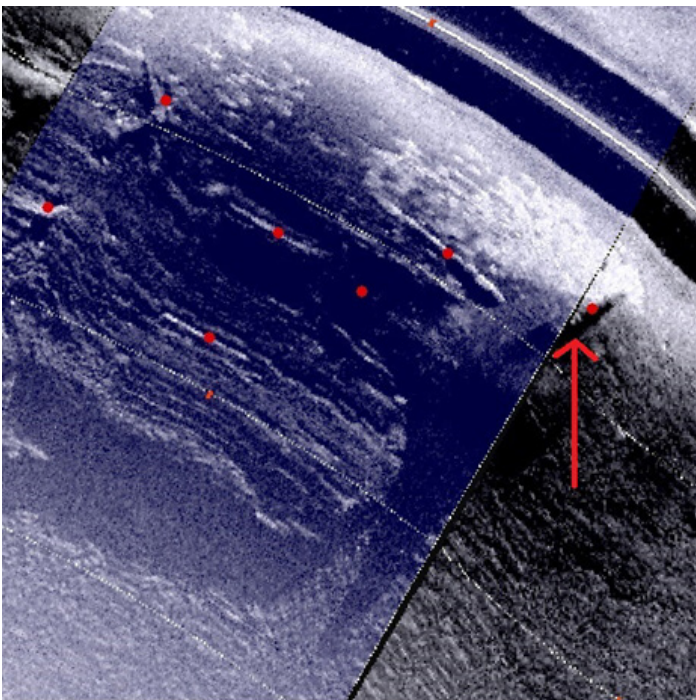


Рисунок 6 – Фрагмент сонограммной мозаики, с обнаруженным вытянутым вертикально залегающим объектом на стыке сонограмм.

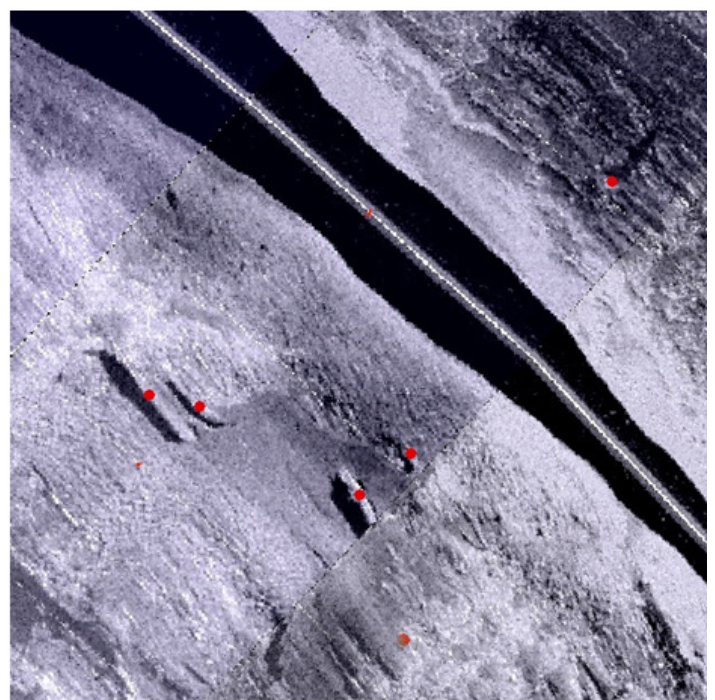


Рисунок 7 – Фрагмент сонограммной мозаики, с обнаруженными вытянутыми горизонтально залегающими объектами.

Заключение

В данной работе были предложены подходы интерпретации и картирования участка реки Енисей вблизи его правого притока – Курейки, по результатам гидролокационной съемки для создания ГИС, с помощью программного пакета QGIS. Проведен анализ визуализированных данных гидролокационной съемки. Затем данные были разделены на 43 фрагмента, для более детальной работы с каждым фрагментом – географическая привязка по 15 точкам и трансформирование каждого из 43 фрагментов полиномом второго порядка. Удалось получить единую полосу элементов сонограмм с визуализацией донной обстановки относительно местности в программе QGIS с использованием космического снимка. Все объекты, выявленные в ходе анализа, были зафиксированы на полученной геоинформационной карте с присвоением номера, а также с уточнением их координат.

Создание перечня обнаруженных объектов при помощи ГБО является важным этапом в обработке полученных данных.

Однако такой анализ данных на сегодняшний день не может проходить без человека, несмотря на существующие методы автоматизации этого процесса. Результаты дают возможность для рационального проведения повторных наблюдений, если потребуется, а также позволяют развить дальнейшее использование данных путем наложения на карту дополнительных слоев, например, батиметрической информации, для выявления закономерностей развития или общих характеристик исследуемой области.

Таким образом, развитие методов дешифрирования и обработки материалов, полученных ГБО, могут способствовать распространению подобной, относительно недорогой, доступной аппаратуры. Использование ГБО значительно увеличит продуктивность исследований водных объектов. Результаты таких исследований могут внести вклад в развитие судоходства, рыболовства, упростить поисковые и спасательные операции, а также разведывательные работы при строительстве.

Список литературы:

1. Порохов И.В., Сущенко А.А., Кан В.А. Об одной задаче определения донной поверхности по данным гидролокатора бокового обзора // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики: труды Международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика Г. И. Марчука. 2015. С. 597–602.
2. Kaeser A., Litts T. An Illustrated Guide to Low-Cost Sonar Habitat Mapping v1.0. 2014. URL: <https://www.fws.gov/panamacity/resources/An%20Illustrated%20Guide%20to%20Low-Cost%20Sonar%20Habitat%20Mapping%20v1.1.pdf> (дата обращения: 22.03.2020).
3. Hamill D., Buscombe D., Wheaton J.M. Alluvial substrate mapping by automated texture segmentation of recreational-grade side scan sonar imagery // PLoS ONE. 2018. 13(3): e0194373. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194373>
4. Goncharov A.E. An assessment of the condition of the Igarskaia Protoka on the Yenisei in 2018: side-scan sonar imagery interpretations and bathymetry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 822. 012041 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/822/1/012041
5. Урик Роберт Дж., Основы гидроакустики. Перевод с английского Н. М. Гусева, Ю. Ф. Тарасюка, Л. Ф. Штейнмана, В. С. Яхонтовой. Ленинград: «Судостроение», 1978. 448 с.
6. Robert J. Urick, Principles of underwater sound, New York. McGraw-Hill Book Company, 1975
7. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использование гидрографических сонаров. Санкт-Петербург: Нестор-История, 2010. 348 с.
8. Blondel P. The Handbook of Sidescan Sonar. Chichester, UK: Praxis Publishing Ltd, 2009. 316 p.
9. Kaeser A.J., Litts T.L., Tracy T.W. Using low-cost side-scan sonar for benthic mapping throughout the Lower Flint River, Georgia, USA // River Res. Applic. 2013. 29. P 634–644. doi:10.1002/rra.2556
10. Google Earth: <https://earth.google.com/> (дата обращения 15.10.2020)

References:

1. Porohov I.V., Sushchenko A.A., Kan V.A. Ob odnoj zadache opredeleniya donnoj poverhnosti po dannym gidrolokatora bokovogo obzora // Aktual'nye problemy vychislitel'noj i prikladnoj matematiki: trudy Mezhdunarodnoj konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu so dnya rozhdeniya akademika G. I. Marchuka. 2015. S. 597–602. (In Russian)
2. Kaeser A., Litts T. An Illustrated Guide to Low-Cost Sonar Habitat Mapping v1.0. 2014. URL: <https://www.fws.gov/panamacity/resources/An%20Illustrated%20Guide%20to%20Low-Cost%20Sonar%20Habitat%20Mapping%20v1.1.pdf> (accessed 22.03.2020)
3. Hamill D., Buscombe D., Wheaton J.M. Alluvial substrate mapping by automated texture segmentation of recreational-grade side scan sonar imagery // PLoS ONE. 2018. 13(3): e0194373. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194373> (accessed 15.04.2020)
4. Goncharov A.E. An assessment of the condition of the Igarskaia Protoka on the Yenisei in 2018: side-scan sonar imagery interpretations and bathymetry // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 822. 012041 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/822/1/012041
5. Urik Robert Dzh., Osnovy gidroakustiki/ Perevod s anglijskogo N. M. Guseva, YU. F. Tarasyuka, L. F. SHtejnmana, V. S. YAhontovoj, Leningrad. Sudostroenie, 1978. 448 p. (In Russian)
6. Robert J. Urick, Principles of underwater sound, New York. McGraw-Hill Book Company, 1975
7. Firsov Y. G., Osnovy gidroakustiki i ispol'zovanie gidrograficheskikh sonarov. Sankt-Petersburg: Nestor-Istoriya, 2010. 348 p. (In Russian)
8. Blondel P. The Handbook of Sidescan Sonar. Chichester, UK: Praxis Publishing Ltd, 2009. 316 p.
9. Kaeser A.J., Litts T.L., Tracy T.W. Using low-cost side-scan sonar for benthic mapping throughout the Lower Flint River, Georgia, USA // River Res. Applic. 2013. 29. P 634–644. doi:10.1002/rra.2556
10. Google Earth: <https://earth.google.com/> (accessed 15.10.2020)