

КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НА ПРИМЕРЕ ЗАЛИВА АНИВА

О. В. Кусайло

Сахалинский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск)

ВВЕДЕНИЕ

Для более полного представления о распространении обитающих на дне и в придонном слое моря промысловых гидробионтов, прежде всего моллюсков, иглокожих и крабов, необходимо знать характер типов донных отложений.

В связи с геоморфологическими задачами исследования донных отложений в заливе Анива рассматривались в работах (Донные..., 1979; Рыбаков, 1998). В первой из них дан подробный анализ материалов, полученных в виде проб на двух профилях с севера на юг и с востока на запад (всего 10 станций), на основе которых построена карта донных осадков залива, но небольшая плотность наблюдений не позволяет оценить подробные границы залегания каких-либо грунтов. В работе В. Ф. Рыбакова (1998) на основе проведения повторных промеров и отбора проб донных осадков детально исследовался участок прибрежной зоны в юго-восточной части залива (от м. Грина до м. Мраморный). Длина профилей составляла 2–2,4 км, то есть преимущественно в данной работе была освещена область прибрежного мелководья. Был собран весьма представительный материал (более 2500 промеров и 162 анализа проб донных осадков), что позволило получить подробную картину распределения грунтов прибрежного мелководья для относительно небольшого участка залива Анива.

Несомненно, традиционные методы картирования дна – отбор проб грунта с помощью трубок или дночерпателей, а также фото- и видеосъемка, хотя и дают точные результаты, но дороги по финансовым и трудозатратам. К тому же эти методы не обеспечивают необходимой плотности наблюдений, а полученные результаты основаны на интерполяции данных, что отрицательно сказывается на точности построенных карт.

В последнее время появились способы определения типов донных грунтов акустическими методами, с использованием судового эхолота и последующей цифровой обработкой акустического вторичного эха (основанной на сейсмических методах обработки сигнала) (Collins et al., 1996). Они позволяют оперативно строить карты грунтов или исследовать долговременное влияние раз-

личных факторов на донные осадки района, а также одновременно выполнять другие исследования. В зависимости от частоты и мощности судового эхолота аппаратура, основанная на методах акустической классификации дна, позволяет определять тип грунта на глубину до 0,5 м.

Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии имеет на своем научно-промысловом судне «Дмитрий Песков» эхолот Kaijo Denki, который позволяет исследовать донные отложения акустическими методами. Прибор испытывался в течение 2003 г. в заливе Анива, его исследование представляет повышенный интерес в связи с изучением запасов моллюсков, иглокожих, крабов и проводящимся здесь строительством завода СПГ и специального терминала в районе пос. Пригородное. Работы на терминале сопровождаются выемкой грунта и его сбросом в точке дампинга в центральной части залива. Выполненные исследования дают представление о распределении грунтов до антропогенного воздействия, их проведение в период активного сброса грунтов и иных строительных работ позволит в дальнейшем объективно оценить их воздействие на дно залива. Цель статьи – представление полученных результатов по гидроакустической классификации грунтов залива Анива.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА

Исследования по определению типов донных отложений проводились в заливе Анива на НПС «Дмитрий Песков». Для работы использовалась система для исследования дна при помощи акустических методов QTC View фирмы Quester Tangent Corporation (Канада). Прибор представляет собой бортовой блок, подключаемый к судовому эхолоту (в данном случае Kaijo Color Net Graph, с рабочей частотой 24 kHz). Для определения координат исследуемой точки используется судовая GPS, выход которого также подключен к блоку QTC View. Управление блоком, калибровка, сбор и предварительная обработка данных осуществляются при помощи компьютера, оснащенного программным обеспечением QTC View DACS (Data Acquisition Controller Software) и CAPS (Calibration and Processing Software). Блок-схема системы представлена на рисунке 1.

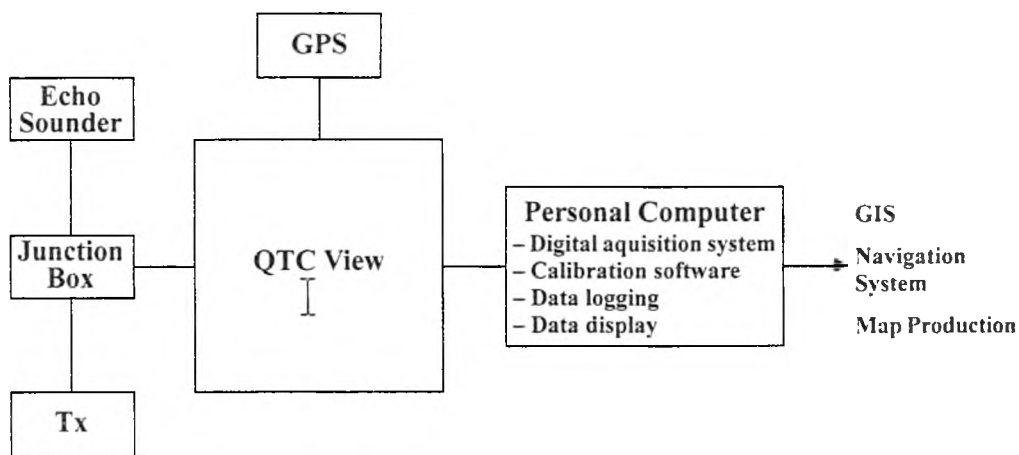


Рис. 1. Блок-схема цифровой обработки эхосигнала

Кратко приведем метод обработки данных, используемый в блоке QTC View. Каждый акустический отклик преобразуется в цифровую форму и обрабатывается несколькими алгоритмами, которые характеризуют сигнал по энергетическим и спектральным компонентам, генерируя цифровой ряд, состоящий из 166 элементов, описывающих форму эха. Большое количество элементов неприменимо для дальнейшей обработки, поэтому последующий статистический анализ минимизирует эти значения и приводит к трем условным компонентам, и каждое эхо отображается как точка в трехмерном пространстве, называемом «Q-space» (рис. 2). Прибор калибруется на различных площадках дна, эти данные сохраняются в файлах, из которых создается каталог, загружаемый в бортовой блок при запуске системы. Анализ каждого эха производится в бортовом блоке, и в компьютер передаются практически готовые данные, снабженные координатами судна и классификационными метками (Tsemahman et al., 1997).

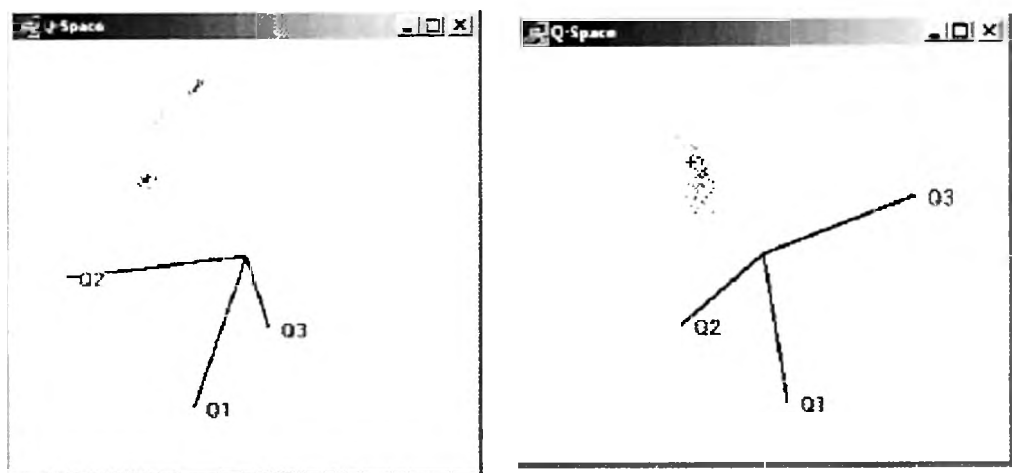


Рис. 2. Пример отображения точек эха в трехмерном пространстве Q_3

Программное обеспечение позволяет визуально контролировать полученные данные, определять отсутствующие в базе данных типы грунтов, а также подготавливает полученные данные в виде файлов, удобных для последующего представления в GIS-приложениях. Настройка параметров усиления эхосигнала, калибровка параметров работы, а также обработка данных и преобразование их в текстовый формат производятся под управлением программы QTC View CAPS. Классификация дна – под управлением программы QTC View DACS. Интерфейсы программ похожи и отличаются лишь различными рабочими функциями (рис. 3).

Система достаточно помехоустойчива, однако на качество получаемых данных влияют несколько факторов: волнение моря, различные технические шумы большой мощности либо превышение допустимой глубины моря в исследуемом районе, которая для используемого в исследованиях эхолота составляет 400 м. Например, при работе в ледовом поле в момент столкновения с льдиной производится шум, при котором данные не идентифицируются. Также классификация дна на судне проекта СТР-420 типа «Надежный» невозмож-

на при волнении моря более 4 баллов. Для контроля качества получаемых данных в программном обеспечении предусмотрено специальное окно, в котором отображается соответствие каждой анализируемой точки каталогу в процентном соотношении. При дальнейшей обработке точки, которые не попадают в нижний 50%-ный порог соответствия каталогу, отфильтровываются. Также о превышении шумового порога можно судить по «пилообразным» сигналам в окне записи рельефа дна. При появлении таких шумов классификация обычно прекращается до наступления более благоприятных условий регистрации, что учитывается при обработке данных.

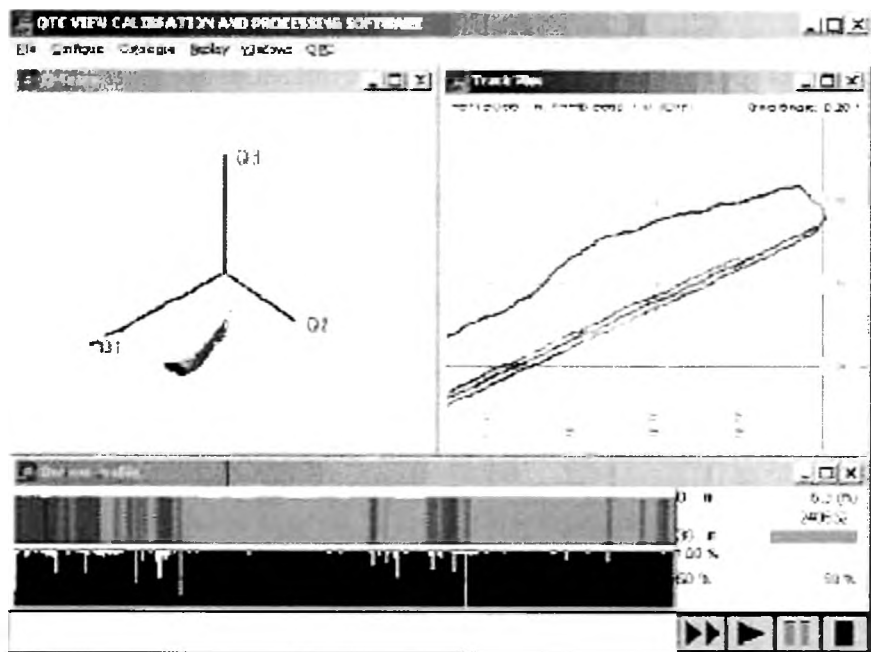


Рис. 3. Программный интерфейс

Для исследований использовалась методика, описанная в руководстве по применению аппаратуры QTC View (QTC View Operator's manual and reference, 1997). При движении судна галсами, на основе коллекции калибровочных данных, составляется карта донных отложений. Калибровка системы производится на площадках с известными типами грунтов, либо донные отложения определяются с помощью традиционных методов. При калибровке рельеф дна не должен иметь ярко выраженных перепадов, и судно должно находиться в пределах 50 м от начальной позиции, так как необходимо многократное накопление эхосигнала на достаточно однородном участке. Каждая площадка записывается, и в дальнейшем из накопленных калибровочных файлов создается каталог, на основе которого и производится классификация дна. После создания каталога калибровка может и не проводиться. В этом случае производится предварительная обработка данных в Q-пространстве, где выделяются различные по характеристикам эхосигналов участки, определяются их координаты и временно присваиваются им соответствующие имена. Из созданных этим методом калибровочных файлов создается каталог, и данные

снова классифицируются на основе вновь созданного каталога. В дальнейшей работе необходимо определить на выявленных участках параметры грунта традиционными методами и использовать их в дальнейшей обработке данных. Это же относится и к ситуации, когда система определяет ранее неизвестный тип грунта. В этом случае при обработке выделяется группа эхосигналов, отличная по положению в Q-пространстве от основных данных, ей присваивается имя, и создается дополнительный калибровочный файл. Каталог обновляется, и на основе обновленного каталога данные переклассифицируются заново.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предварительная калибровка производилась на площадках, соответствующих океанографическим станциям на стандартных разрезах в заливе Анива (рис. 4). Собрана коллекция предварительных калибровочных файлов. Анализ этих файлов в Q-пространстве показал, что донные отложения залива по акустическим характеристикам можно разделить на четыре типа, различаемых при существующем разрешении системы QTC View. Более точная калибровка с использованием видеосъемки дна была произведена на полигоне в районе пос. Пригородное. Для видеонаблюдений использовалась подводная цветная видеокамера J. W. Fishers DV-1 drop video в подвесном исполнении с 6-миллиметровым объективом и освещением четырьмя галогенными лампами мощностью 40 Вт. Коллекция калибровочных файлов, собранных в районе полигона, была сопоставлена с предварительными данными, проанализирована в Q_3 -пространстве и сопоставлена с материалами видеосъемки дна. Это позволило определить типы грунтов, полученных при предварительной калибровке, так как грунты в районе полигона оказались представлены во всех четырех акустических типах, характерных для имеющихся на данный момент акустических съемок в заливе Анива. Грунты по акустическим характеристикам различаются в следующих выделенных условных классах:

- крупная галька (размер порядка 10 см) с различными примесями типа ракушки;
- мелкая галька (размер порядка 3 см);
- песок;
- ил.

Необходимо отметить, что определяющим фактором при классификации грунта является его основная фракция, которая и определяется системой. Выбранные кадры видеозаписей на калибровочных площадках в районе полигона представлены на рисунках 5–8. Из калибровочных файлов, наиболее характерных для этих четырех типов грунта, был создан каталог, на основе которого производилась классификация донных отложений в заливе Анива.

Анализировались материалы, полученные на протяжении 2003 г. в различных экспедициях на НПС «Дмитрий Песков» в заливе Анива. Исследования по классификации дна проводились в основном от 10- до 50-метровой изобаты в западной и северо-восточной части, а также в процессе других работ по всей площади залива, но с меньшей плотностью наблюдений (рис. 9). Для обработки использовались данные, отфильтрованные по шуму, с достоверностью определения более 75%.

Калибровочные площадки
в районе полигона Пригородное

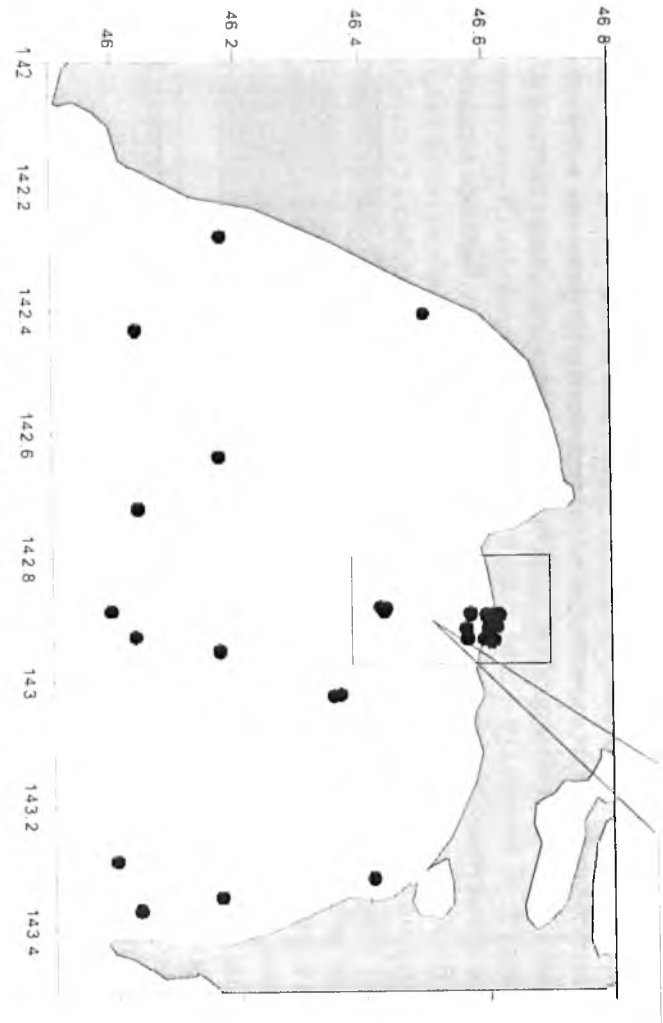


Рис. 4. Расположение калибровочных площадок

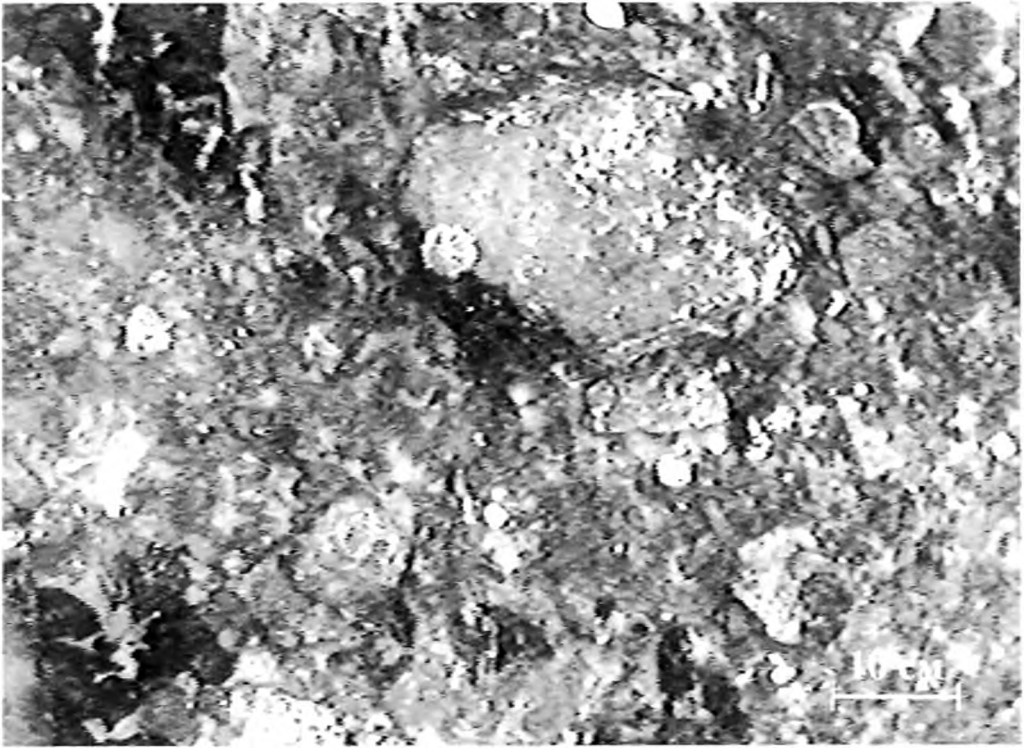


Рис. 5. Фрагмент дна, акустически определенный как крупная галька

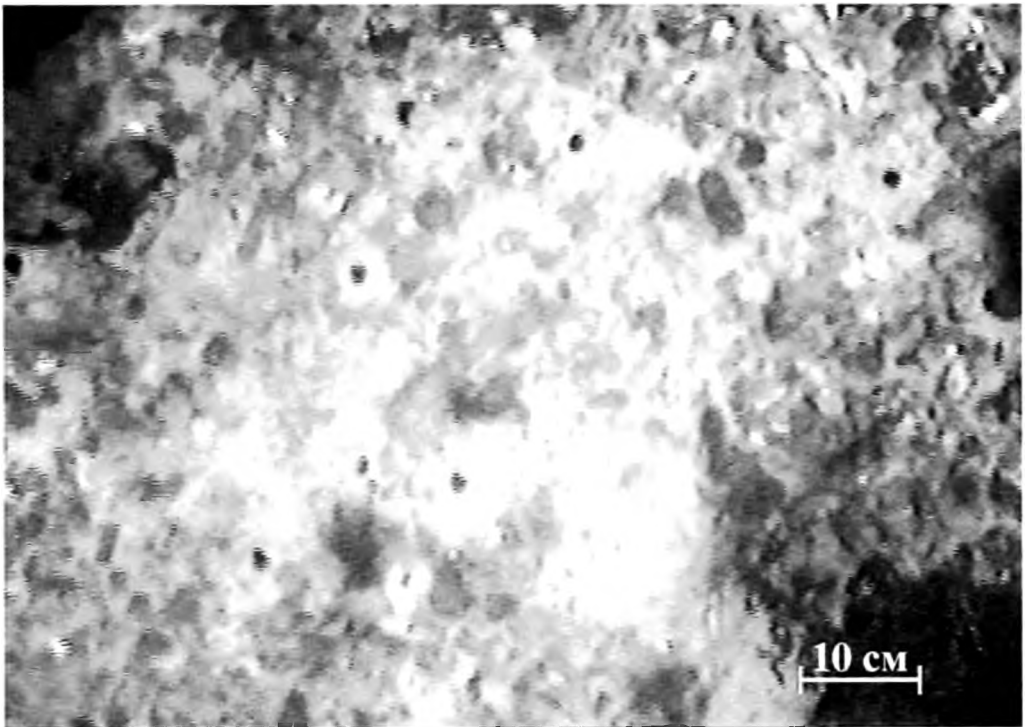


Рис. 6. Фрагмент дна, акустически определенный как мелкая галька

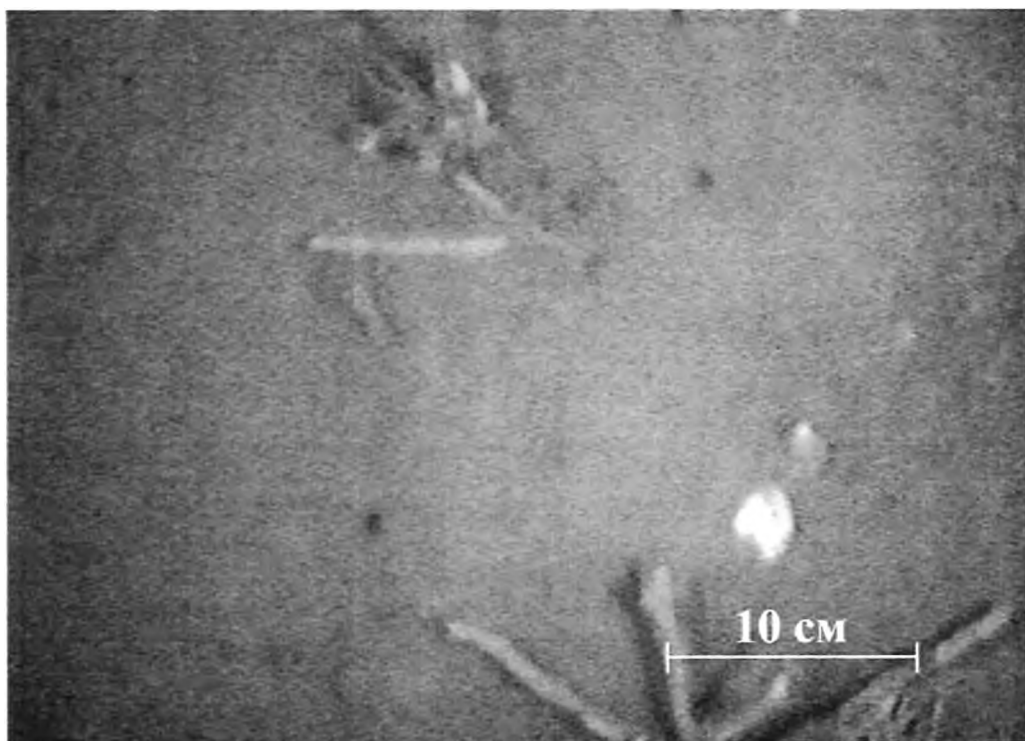


Рис. 7. Фрагмент дна, акустически определенный как песок

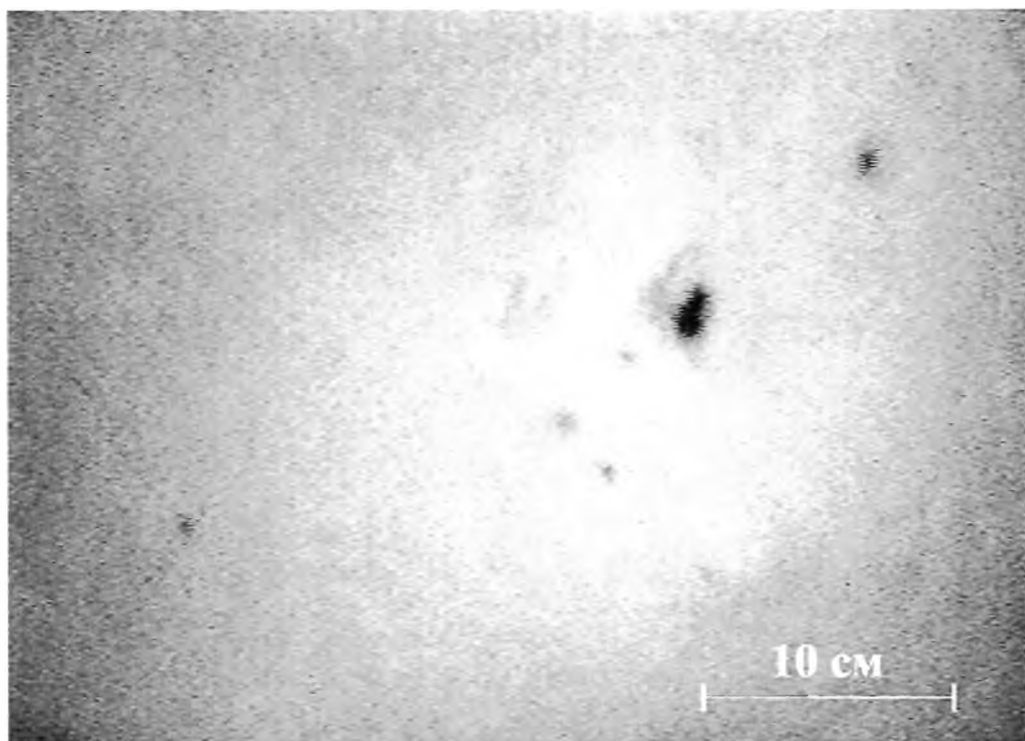


Рис. 8. Фрагмент дна, акустически определенный как ил

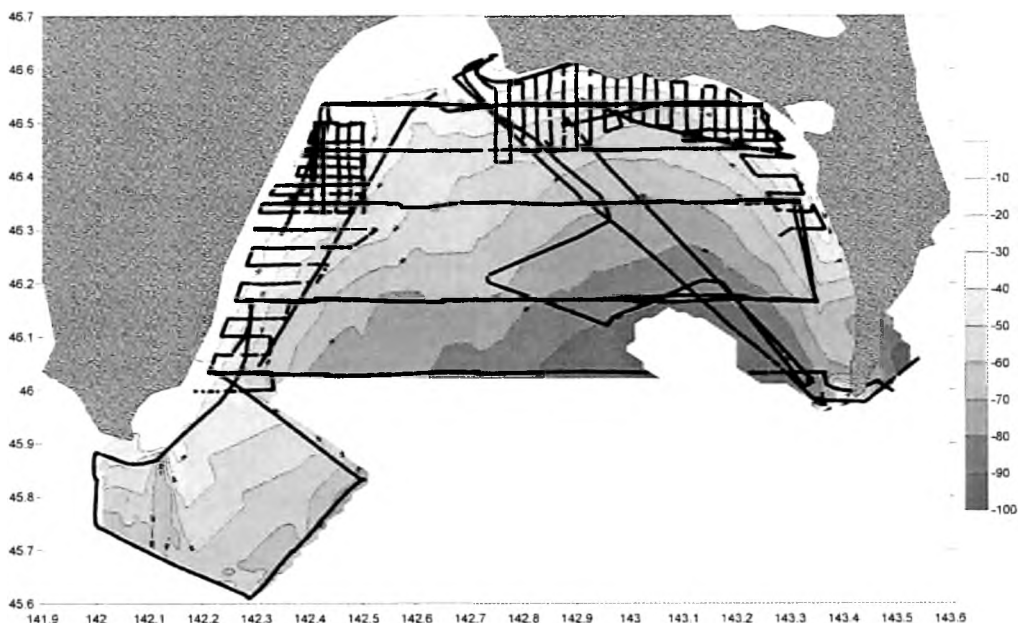


Рис. 9. Карта глубин и объем проведенных работ в заливе Анива за период 2003 г.

Первичная обработка материалов на исследованной площади залива Анива в пакете программ QTC показала возможность мониторинга распределения донных осадков, в то же время границы между однородными участками грунта, как правило, размыты. Определенно выделяются участки, где подавляюще преобладает какой-либо тип. При использовании инструментов интерполяции программ Surfer 8 и Ocean Data View были построены карты распределений донных отложений зал. Анива. На рисунках 10–13 представлены распределения четырех основных акустических типов грунта. В таблице в процентном соотношении представлено распределение грунтов в различных диапазонах глубин и по всей площади залива Анива.

Таблица

Распределение грунтов по типам гидроакустической классификации в различных диапазонах глубин

Диапазон глубин	10–20 м	20–30 м	30–50 м	50–100 м	10–100 м
Крупная галька	79,1	20,9	11,6	12,8	28,6
Мелкая галька	17,5	39	21,7	10,9	17,6
Песок	3	39	66,4	57,6	46,6
Ил	0,4	1	0,3	18,7	6,4

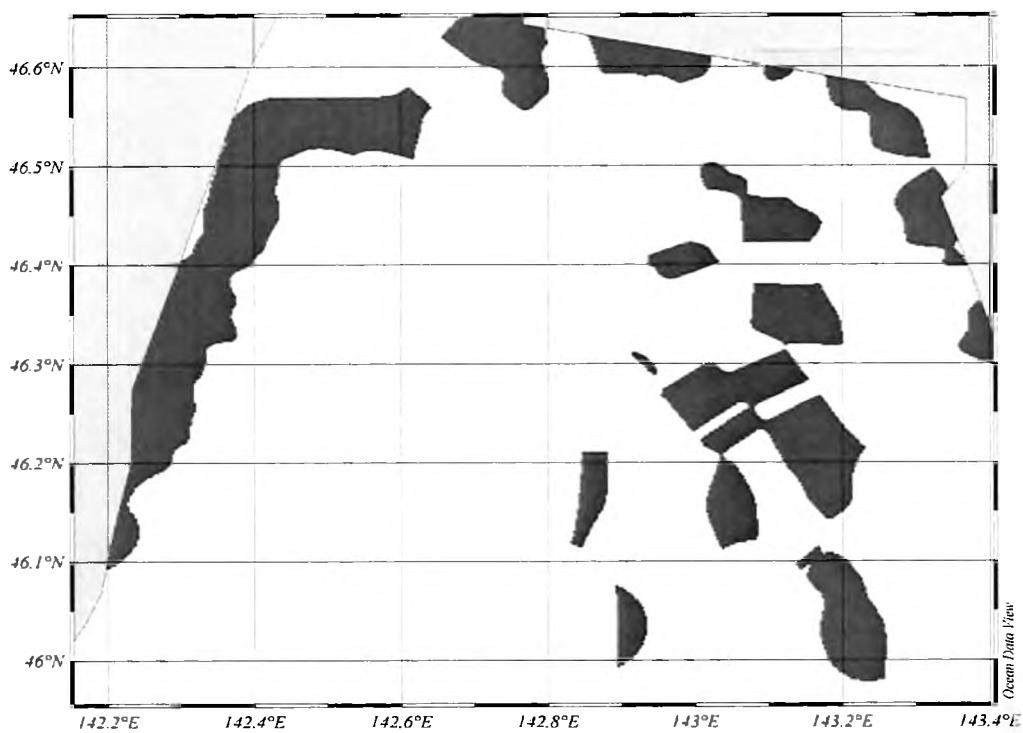


Рис. 10. Распределение крупного галечника

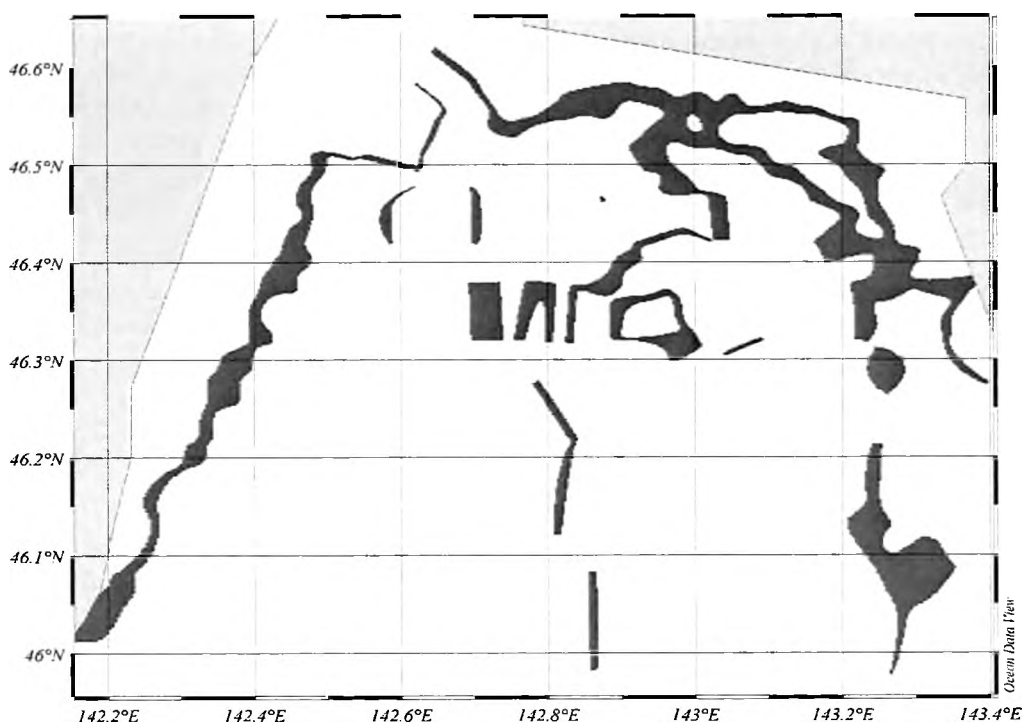


Рис. 11. Распределение мелкого галечника

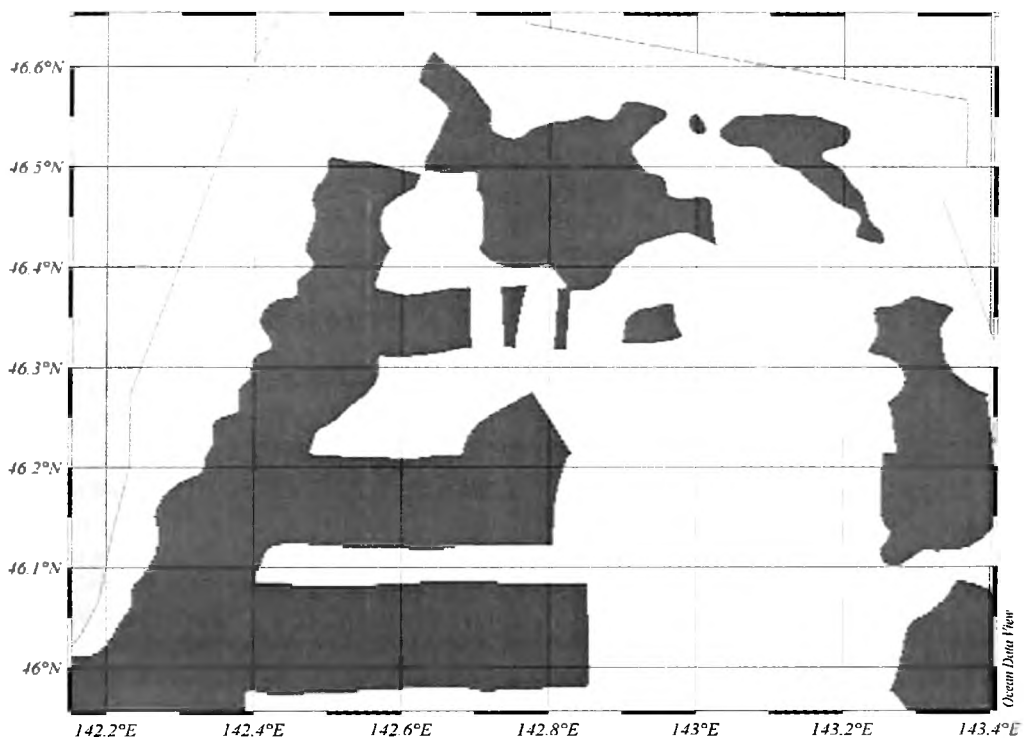


Рис. 12. Распределение песка

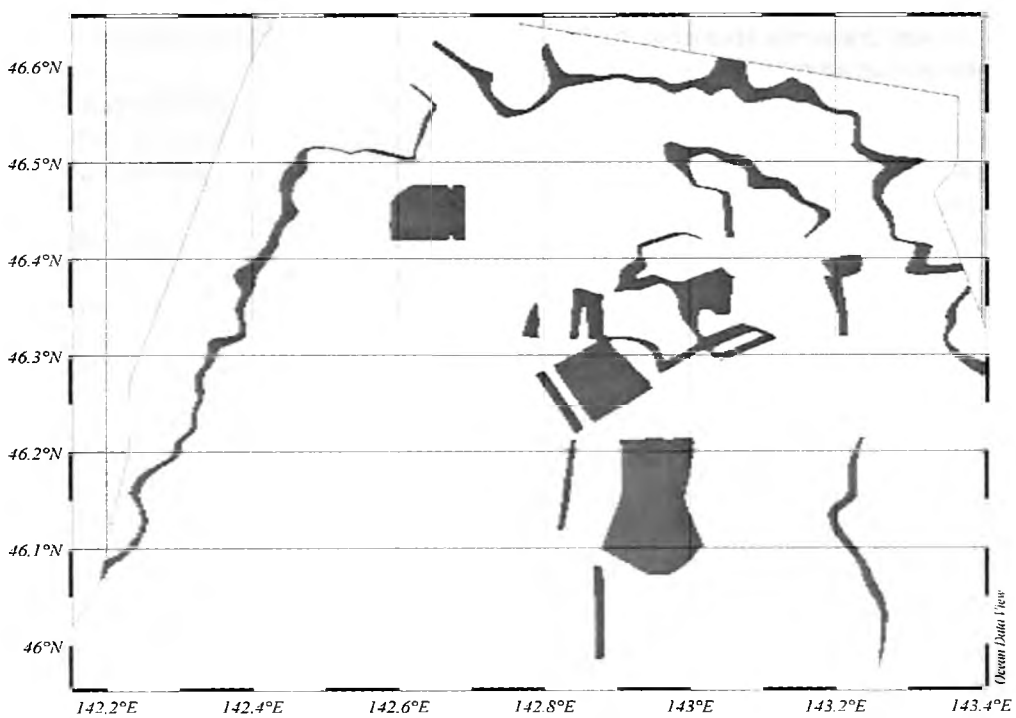


Рис. 13. Распределение ила

Акустический тип грунта, определяемый как крупная галька, распределен преимущественно в диапазоне глубин от 10 до 30 м, с увеличением глубины встречается реже и в целом по заливу занимает 28,6% исследованной акватории. Мелкая галька встречена, в основном, на глубинах от 20 до 50 м и имеет долю 17,6% от всей площади залива. Больше всего в заливе Анива песка (46,6%), причем его больше в глубокой части залива. Ила немного, всего 6,4% от всей исследованной площади, и залегает он в основном на юго-востоке залива, на остальной территории – незначительные примеси. При записи акустического профиля в юго-западной части залива тип «песок» определялся практически без примесей других классов, чего не наблюдалось на других участках залива Анива. В западной и северо-восточной шельфовых зонах залива до изобаты 50 м наблюдается практически идентичное распределение грунтов. В центральной части залива исследования проводились с небольшой плотностью. Полученные данные указывают, что здесь встречается в основном песок (в западной половине) и ил (в восточной половине) с незначительными примесями гальки.

Все вышесказанное соответствует нашим представлениям о гидродинамической обстановке залива Анива. Преобладание крупной гальки на мелководной части залива свидетельствует об активных процессах диссипации энергии в этой зоне, как то прибойные явления и приливные течения. Иловые осадки подтверждают наличие постоянного вихревого процесса в юго-восточной части залива, что приводит к его аккумуляции в центральной зоне вихря. Распределение других типов грунтов, возможно, также свидетельствуют о влиянии течений, что подтверждено океанографическими исследованиями залива.

ВЫВОДЫ

В результате исследований построены карты распределения грунтов залива Анива, представленные в удобном для дальнейшего использования виде и основанные на гидроакустической классификации дна.

В процессе дальнейших исследований карта классификации грунта будет уточняться. В обработке уже находится большое количество данных по заливу Анива, после окончания которой будет построена новая карта, с большей плотностью наблюдений и более точным распределением грунтов.

В представленном материале пока не определен скальный класс грунтов. Уже имеются наблюдения, точно определенные как скальный грунт, каталог обновлен, и классификация донных отложений будет проходить с обновленным каталогом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Донные** осадки южной части Охотского моря. – М. : Изд-во «Наука», 1979. – 148 с.
2. **Рыбаков, В. Ф.** Морфолитодинамика подводного берегового склона залива Анива / В. Ф. Рыбаков // Географ. исслед. мор. побережий. – Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 1998. – С. 85–97.
3. Collins, W. T. A digital approach to seabed classification / **W. T. Collins, R. S. Gregory, J. T. Anderson** // Sea Technology. – 1996. – Vol. 37, No. 8. – P. 83–87.
4. **QTC View Operator's manual and reference** / Quester Tangent Corporation, Sidney, BC, Canada. – 1997. – Document Number SR-33-OM01-R01.
5. Tsemahman, A. S. Acoustic Seabed Classification and Correlation Analysis of Sediment Properties by QTC VIEW / **A. S. Tsemahman, W. T. Collins, B. T. Prager** // Oceans'97 MTS/IEEE Proceedings, Halifax, Canada. – 1997. – Vol. 2. – P. 921–926.

Кусайло, О. В. Классификация грунтов акустическими методами на примере залива Анива / О. В. Кусайло // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2005. – Т. 7. – С. 305–316.

На основе технологии цифровой обработки вторичных эхосигналов впервые получено распределение типов грунтов в заливе Анива по их гидроакустическим отражающим свойствам. Подробно рассмотрены технология распознавания типа грунта и его статистическая классификация. Анализируется технология калибровки и каталогизации грунтов по видеоизображениям контрольных площадок. Дано распределение грунтов в заливе Анива по типам гидроакустической классификации в различных диапазонах глубин.

Табл. – 1, ил. – 13, библиогр. – 5.

Kusailo, O. V. Classification of grounds by acoustic methods using Aniva Bay as an example / O. V. Kusailo // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas : Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. – Yuzhno-Sakhalinsk : SakhNIRO, 2005. – Vol. 7. – P. 305–316.

Based on technology of the digital processing the secondary echo-signals, a distribution pattern of the ground types in Aniva Bay was first obtained by their hydroacoustic reflecting features. A recognition technology of the ground type and its statistic classification are considered in details. The calibration technology and grounds cataloguing by the videopictures of the control sites are analyzed. The grounds distribution pattern in Aniva Bay is given by the types of hydroacoustic classification in different depth ranges.

Tabl. – 1, fig. – 13, ref. – 5.